

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: 113 (1932)

Rubrik: Eröffnungsrede des Jahrespräsidenten und Hauptvorträge

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 26.11.2025

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

II. Teil
Eröffnungsrede des Jahrespräsidenten
und
Hauptvorträge

Vorträge
gehalten in den Sektionssitzungen

II^e Partie
Discours d'introduction du Président annuel
et
Conférences principales

Communications
faites aux séances de sections

II^a Partita
Discorso inaugurale del Presidente annuale
e
Conferenze principali

Comunicazioni
fatte alle sedute delle sezioni

Leere Seite
Blank page
Page vide

Leere Seite
Blank page
Page vide

Eröffnungsrede des Jahrespräsidenten der S. N. G.

zur 113. Jahresversammlung in Thun und auf dem Jungfrauoch

Über den eiszeitlichen Aaregletscher und die Quartär- chronologie*

Von

PAUL BECK

Hochverehrter Herr Bundesrat!

Hochansehnliche Versammlung!

Im Namen der Stadt Thun, des Berner Oberlandes und des Kantons Bern heisse ich die Schweizerische Naturforschende Gesellschaft, ihre Ehrengäste und Freunde zur 113. Jahresversammlung herzlich willkommen. Zum ersten Mal vereinigt sie sich in den Mauern unserer alten Zähringer- und Kyburgerstadt zur wissenschaftlichen Arbeit. Wir Thuner und Berner wünschen ihr reichen Erfolg, hier, wie im strahlenden Hochgebirge des Jungfrauochs, wohin uns die Schlußsitzung führen wird.

Gestatten Sie mir, hochverehrte Versammlung, Ihnen zur Begrüßung einige Ergebnisse der geologischen Erforschung der Thuner Landschaft und des Aaregebietes bis Bern, speziell des eiszeitlichen Aaregletschers vorzulegen und sie mit den durch PENCK und BRÜCKNER „klassisch“ gewordenen ostalpinen Verhältnissen zu vergleichen. Dadurch hoffe ich, die Kenner unserer Landschaft an deren besondere Bedeutung zu erinnern, den andern Gästen aber die Betrachtung derselben, die uns der Gutwettergott in reichstem Masse bescheren möge, zu erleichtern und zu vertiefen.

1. Einleitung: Schwierigkeiten der Datierung quartärer Ablagerungen

Müsste ich ein Motto nennen, so könnte es leider nur lauten: Unser Wissen ist Stückwerk! trotzdem die Frage der Gletscher-
veränderungen eines der ersten Hauptprobleme der S. N. G. bildete

* Der vorliegende Vortrag ist als vorläufige Mitteilung einer eingehenderen und mit graphischen Darlegungen versehenen Darstellung aufzufassen.

und durch die Ausschreibung einer Preisarbeit schon 1817 in Angriff genommen wurde. Wenn wir, ungeachtet der vielen seither gewonnenen Kenntnisse, nur bescheiden von den gesicherten Resultaten sprechen dürfen, so liegt dies an der Eigenart der Quartärablagerungen. Andere geologische Formationen sind konstant und durch Leitfossilien bezüglich des relativen Alters bestimmbar. Im Quartär dagegen fehlen ausgedehnte, einheitliche Ablagerungen und sichere Leitfossilien, so dass nur ein kompliziertes, kaum datierbares Stückwerk den Forschungen zu Grunde liegt. Es können somit wohl die einzelnen Ablagerungen eingehend beschrieben und die Formen der quartären Talbildung charakterisiert werden; das Erfassen und Deuten grösserer Zusammenhänge und ihre chronologische Einordnung bleibt bei dem Mangel an eindeutigen Beweismitteln stets individuell. Zur Begründung chronologischer Reihen eignen sich nur die reichhaltigsten und klarsten Ablagerungsgebiete mit konsequenten Abflussverhältnissen und von so grossem Umfang, dass die hochalpinen Nährgebiete mit den ausseralpinen Abschmelzungen eine Einheit bilden. Das umfangreiche Beobachtungsmaterial ist dann, ausgehend von der reichsten Gliederung, detailliert und konsequent zu deuten, so dass ein harmonisches und widerspruchloses Gesamtbild aller bekannten Verhältnisse entsteht. Solche Grundlagen treten aber äusserst selten auf. In der Schweiz besitzt das Aaregebiet bis Bern die notwendigen Eigenschaften zur Gewinnung chronologischer Reihen in reichem Masse.

2. *Der würmzeitliche Aaregletscher und seine Rückzugsstadien*

a) **Jungmoränen bei Bern**

Studieren wir im folgenden die Grundzüge der Vereisung des Aaregebietes. Zuerst wollen wir aber dankbar der ersten Erforscher des Quartärs von Bern und seiner weitem Umgebung gedenken: BERNHARD STUDER, ISIDOR BACHMANN und ARMIN BALTZER, welcher letzterer seine Beobachtungen im grossen Werk: *Der diluviale Aaregletscher*¹ zusammenfasste. In der zugehörigen Kartenaufnahme 1:25,000² unterstützten ihn die heute noch lebenden FRIDOLIN JENNY in Basel und ERNST KISSLING im Haag. Aus neuester Zeit bilden die geologische Exkursionskarte der Umgebungen von Bern, von ED. GERBER³ in Bern, und die Belpbergkarte, von R. RUTSCH⁴ in Basel, wertvolle Unterlagen. Mit den Problemen des Aaregebietes beschäftigt sich ferner der Sprechende seit 25

Jahren, wobei die verschiedenen sich folgenden Publikationen 17—27 die mühsame Herausarbeitung der grossen Linien erkennen lassen, die Ihnen heute vorgelegt werden.

Während der Maximalvereisung der letzten oder Würmeiszeit erfüllte der Aaregletscher die Täler seines gesamten alpinen Einzugsgebietes hoch hinauf mit Eis, sandte einen Gletscherarm über den Brünig ins Reussgebiet und verschmolz bei Bern mit dem Rhonegletscher, der ihn staute. Ein Kranz von Moränenzügen (Jungmoränen) bezeichnet auf den Molassehöhen beidseitig des Aaretals die Eisausdehnung. Die drei wichtigsten Moränenreihen sind noch im Kandertal über Reichenbach, ²⁴ also im Alpeninnern, deutlich vorhanden. Sie entsprechen den Stellungen des Würmgletschers, die J. HUG im Limmattal als Killwangen-, Schlieren- und Zürichstadien bezeichnete. Der mittlere dieser Wälle steigt vom Gurten in die Ebene hinaus, umschliesst die Altstadt von Bern und lehnt sich dann an den Südwesthang des Ostermundigen-Dentenberges; die innerste Moräne umschliesst das Dorf Muri. Diese drei Jungmoränenzüge besitzen aber nicht die normalen Abstände voneinander, weil jedem von ihnen ein besonderes Regime zukommt. Der äusserste liegt, auf den Aaregletscher bezogen, viel zu hoch über dem mittleren, weil sich die gewaltige Stauung durch den Rhonegletscher und die dadurch bedingte Vergrösserung des Einzugsgebietes des Aaregletschers geltend machte. Die mittlere und die innere Moräne sind viel zu nahe beieinander, was sich daraus erklärt, dass sich im Bernerstadium das Aareeis auf Aare- und Gürbetal verteilte und überdies ein Teil über den Brünig ins Reussgebiet floss, während es im Muristadium weder den Hügelrücken Riedhubel-Belpberg, noch den Brünig überschreiten konnte und sich ganz auf das Aaretal konzentrierte. Müssen die obersten Wälle am Gurten als Normaltypen ganz wegfallen, so eignen sich dagegen die Berner- und die Murimoräne zur Gewinnung allgemein gültiger Resultate, die durch die nahe Lage noch an Klarheit gewinnen. Von Muri an alpenwärts lagert sich das Quartärmaterial reichlicher, differenzierter und lückenloser als in irgendeinem untersuchten Gletschergebiet, ohne Stauungen, ohne Bifurkationen, durch das Zusammenfliessen verschieden grosser Gletscher weitgehend kontrollierbar in einem Quertal, das von den Firnen der Hochalpen direkt der Kander und der Aare entlang ins Vorland hinabsteigt ²³.

b) Spiezerschwankung und Muristadium

Die Moränendecke, in welche die Aareschlinge von Bern eingeschnitten ist und welche die erwähnten Moränenwälle unmittelbar trägt und keine Rhoneerratika enthält, somit als Hauptmoräne der Würmvereisung aufzufassen ist, dies im Gegensatz zu ED. GERBERS Darstellung als Rissmoräne auf der Karte von Bern, setzt sich, wie die Aufschlüsse an den Aaresteilhängen beweisen, flussaufwärts bis gegen Münsingen hin fort. Sie trägt neben verschiedenen wenig bedeutenden Moränenwällen auch den Stirnwall von Muri, der auf dem linken Ufer bis gegen Belp hin streicht. Das terrassenförmige Innere dieses Gürtels liegt eine Stufe tiefer als das allgemeine Plateau von Bern und setzt sich auch längs der Aare als mittlere Terrasse fort. Dass diese Eintiefung älter ist als die Murimoräne, beweisen die Moränenhügel, die sich bei Kleinwabern auf dieser Terrasse befinden. Der damit zwischen Berner- und Muristadium angedeutete Gletscherrückzug wird von Rubigen an durch junge Vorstoßschotter in zahlreichen, z. T. grossen Kiesgruben direkt nachgewiesen. Diese Schotter lagern zwischen Rubigen und Münsingen auf der Würmmoränendecke und tragen Grundmoräne, die durch Drumlinhügel gegliedert ist. Im Grabental östlich Münsingen ist die Ueberlagerung 1 km weit quer zum Aaretal aufgeschlossen. Bei Uttigen und im Glütschtal oberhalb Thun beweisen Gesamtprofile mit hangender und liegender Moräne die grosse horizontale Ausdehnung dieser Gletscherschwankung, die bis nach Spiez reicht und über 30 km misst. Wir wollen sie als Spiezerschwankung bezeichnen.²² Von einer so ausgedehnten Schwankung sind noch weitere Spuren zu erwarten. Der Murivorstoss schloss bei Konolfingen den mittlern Kiesentalausgang ab und staute die Torfmöser von Ursellen-Stalden. Er versperrte aber auch die Oeffnung des untern Kiesentales zwischen Oppligenbergli und Hauben und verursachte so die Aufschüttung der Stauschotter von Helisbühl, Oberdiessbach und Freymettigen. Die Zulg bildete die Schotterböden des Emberges und der Weid. Der linksseitige Gletscherrand stiess mit dem Kander eislapen bis unterhalb Blumenstein vor, überschritt aber den Rücken Riedhubel-Seftigen-Mühledorf-Belpberg nicht, sondern ergoss nur seitliche Abflüsse ins Gürbetal. Diesem Umstand ist zum grossen Teil die morphologische Verschiedenheit des Aare- und des Gürbetals zuzuschreiben.

c) Wichtrach- und Thunstadien

Das Aaretal ist in den Murimoränenboden schroff eingetieft, was auf eine starke Gletscherschwankung hinweist (Gwattschwankung). Bei Jaberg senken sich Moränenwälle auf dem linken Ufer bis zur Aare. Zwischen Oppligen und Oberwichtlach deutet das „Tal“ auf eine junge Ablenkung des Kiesenbaches durch einen längere Zeit stillstehenden Gletscherrand hin. Der Boden des abgelenkten Tales setzt sich von Wichtrach an auf der rechten Talseite als Terrasse bis über Münsingen hinaus fort. Er entspricht den untersten Terrassen der Aareserpentinen bei Bern. Nennen wir diesen Gletscherhalt *Wichtrachstadium*¹⁹. Die Strättligemoräne, die vor der Kanderablenkung diesen Fluss vom Thunersee trennte, taucht am Giebel und Hubelhölzli im Becken von Thun unter den rezenten Kanderschuttkegel. Mehrere Flussablenkungen stehen mit dem *Thunstadium*¹⁹ des Aaregletschers in engster Beziehung: so die Kander im heute verlassenen Glütschtal, die Bäche vom Grüsisberg und der Kohlernbach östlich des Thuner Schlossberges, die Zulg im Schnittweihertal und in der Dornhalden unterhalb Heimberg²³. Die schon erwähnte Gwattschwankung, welche das Wichtrach-Thunstadium vom Muristadium trennt, erzeugte die tiefste nacheiszeitliche Erosion des Aaretals. Seitdem arbeiteten Kander und Zulg, Rothachen und Kiesen an der Aufschüttung. Mit dieser Gletscherschwankung muss auch das durch Seitenerosion in die lockern Schuttmassen eingeschnittene Becken von Belp, das nicht als Zungenbecken zu deuten ist, in direkte Beziehung gebracht werden. Versuchen wir die Depression der Schneegrenze für die Stadien von Wichtrach und Thun zu bestimmen, so kommen wir, gestützt auf die mittlere Höhenlinie des Einzugsgebietes, auf ca. 900 m, wobei für beide Stellungen kein wesentlicher Unterschied besteht. Beide bilden zusammen eine gut abgegrenzte einheitliche Gruppe. Der Kandergletscher erreichte während des Wichtrachstadiums mit einem linken Arm Oberstocken und Pohlern, mit dem rechten, der sich zwischen Pinserwald und Aaregletscher durchzwängte, den Westrand des Plateaus von Amsoldingen. Im Thunstadium füllte das Kandereis noch das Becken von Wimmis-Reutigen, wobei die freiwerdende Kander durch den Aaregletscher, der an der Strättligemoräne lag, verhindert wurde, das Aaretal direkt zu erreichen. So schnitt die Kander das eisrandbedingte Glütschtal ein, das ursprünglich bis nach Uetendorf reichte.

d) Reichenbach- und Kanderstegstadium

Suchen wir in den Alpentälern nach weiteren Rückzugsstellungen, so finden wir im Aaretal erst bei Interlaken diesbezügliche Andeutungen in den vielen kristallinen erratischen Blöcken an den Hängen über Ringgenberg und Niederried¹⁸ und in der Wallmoräne von Gsteig²⁷. Die zugehörige Stirn moräne dürfte unter dem Schutt des Bödeli begraben sein. Eine entsprechende Stellung nahm der Kander gletscher im Becken von Mülönen-Reichenbach ein,²⁴ wo die Serpentinien der Talwege des Suldbaches und der Kiene einen Gletscherhalt andeuten. Die ausgedehnte Beckenform dieses Reichenbachstadiums weist auf eine vorherige Schwankung von unbestimmbarem Ausmass hin. Gute Moränenkränze fehlen hier wie in den meisten Alpentälern, da letztere zu eng und zu steil sind, um die Formen der Moränenwälle zu bewahren. Wo brauchbare Formen erhalten sind, sprechen sie für einen Gletscherstand mit 600 m Schneegrenzenerniedrigung gegenüber heute. In den Alpentälern ist es unmöglich, einzig auf die geringen Moränenreste abzustellen, wenn man das Gesamtbild rekonstruieren will. Die zahlreichen Lücken können aber leicht und ebensicher durch den Vergleich der Mittellinien der Höhen der Einzugsgebiete ergänzt werden, wie die vorliegende Karte zeigt. (Siehe auch²³.) Die letzte Hauptstellung entspricht einer Schneegrenzendepression von 300 m. Aare- und Urbachgletscher erreichten noch den Kessel von Innertkirchen, der untere Grindelwaldgletscher den Grund (bei der Station), die weisse Lutschine Stechelberg, die Kander die Moränen von Büschels bei Kandersteg (Kanderstegstadium).

Die drei Hauptrückzugstellungen lassen sich in vielen tiefer und flacher gelegenen Nebentälern für das ganze Oberland feststellen. Die heutigen Gletscher sind noch vielfach von den Wällen aus dem Jahre 1600 und den jüngern Kränzen von 1820 und 1850 umgürtet.

3. Die Penck-Brücknersche Quartärnomenklatur und ihre Abänderungen für die Würmrückzugsstadien

a) Die Penck-Brücknersche Quartärnomenklatur

Das grosse Werk „Die Alpen im Eiszeitalter“⁵ verlegt einen sehr grossen Teil der alpinen Talbildung in die Quartärzeit, wobei allerdings die Wirkung der Eiserosion in stark überschätzter Weise in den Vordergrund gestellt wurde, eine Frage, die hier nicht

erörtert werden soll. Nach den ältern und jüngern Deckenschottern, sowie den Alt- und Jungmoränenkränzen samt den zugehörigen Hoch- und Niederterrassen des Alpenvorlandes gliederten die beiden Forscher die Quartärzeit in die von Zwischeneiszeiten unterbrochenen grossen Vergletscherungen der Günz-, Mindel-, Riss- und Würmeiszeit. Letztere entstand durch eine Senkung der Schneegrenze gegenüber heute um 1200 m und wurde nach den Moränenwällen, die den Würmsee in Bayern abdämmen und vom Würmfluss durchschnitten sind, benannt. Auch dieser Gürtel ist dreifach wie bei Bern, Zürich, am Rhein usw. Der Spiezerschwankung entsprechend, fand PENCK die Schotter der Laufenschwankung, benannt nach Laufen an der Salzach zwischen dem Alpenrand und Rosenheim, welche zeitlich zwischen die mittlere und die innere Jungmoräne gehören. Bei einer Schneegrenzendepression von 900 m stellten PENCK und BRÜCKNER bei Weilheim an der Ammer und bei Kirchbichl im untern Teil des alpinen Inntales Moränenzüge fest und nannten sie Bühlstadium, was unsern Wichtrach-Thunstadien gleichkommt. Da diese Moränen teilweise auf Schottern liegen, wurde eine vorherige Gletscherschwankung, die Achenschwankung, nach dem Quertal des Achensees genannt, angenommen, was unserer Gwattschwankung entspricht. Endlich wurden zwischen Innsbruck und Brennerpass mit einer Schneegrenzendepression von 600 m das Gschnitzstadium nach der schönen Stirnmoräne von Trins im Gschnitztal und mit 300 m Depression das Daunstadium nach den geringen Moränenresten von Mutterberg und Langental am Daunkogel im Stubaital bezeichnet. Diese Namen wurden zum Teil mit Rücksicht auf die alphabetische Reihenfolge gewählt, ohne dass die namengebenden Lokalitäten irgendwelche konsequenten und glaziologischen Beziehungen zueinander aufgewiesen hätten. Dies rächte sich.

b) Die Abänderungen für die Würmrückzugstadien

Der interstadiale Charakter der Laufenschwankung konnte mangels beweisender Profile nicht aufrecht erhalten werden⁶; die Laufenschotter gelten heute als interglazial. O. AMPFERER⁷ wies nach, dass die Vorkommnisse von Kirchbichl nicht Wallmoränen, sondern Drumlins seien. Damit fielen das Bühlstadium und die Achenschwankung fort. An ihre Stelle führten K. TROLL⁸ für die Moränen von Weilheim und diejenigen von Stephanskirchen am

Inn, beide ausserhalb des Alpenrandes, die Bezeichnung Ammerseestadium und R. von KLEBELSBERG⁹ für die inneralpinen Moränenreste mit 900 m Schneegrenzendepression den Namen Schlernstadium ein. Diese Namen sind aber kaum geeignet, das System zu festigen; denn der Ammersee liegt ausserhalb der Weilheimermoränen und der Schlern im Südtirol trug zusammen mit der Seiseralpe einen ausgedehnten Plateaugletscher, von dem einzelne Zungen steil herunterhingen. Diese Verhältnisse unterscheiden sich scharf von den üblichen Talgletschern. Überdies ist die Moränennatur der zum Ausgangspunkt genommenen Ablagerungen zwischen riesigen Schuttmänteln und zahlreichen Bergstürzen auch im Originalbericht fraglich. Noch sei auf den scheinbaren Widerspruch hingewiesen, dass sowohl dem ausseralpinen Ammerseestadium, wie auch dem inneralpinen Schlernstadium eine Schneegrenzendepression von zirka 900 m entspricht. Den als Quellgebiete der Gletscher wichtigen südlichen Nebentälern des Inntales gegenüber erhebt sich die im Karwendel in zirka 3000 m Höhe gipfelnde Nordkette der Tiroleralpen, die das Eis staute und ins Längstal des Inn ablenkte. Doch ermöglichen einzelne tiefe Einschnitte, wie Fernpass, Katzenloch- und Seefeldpass, sowie das schon erwähnte Achenseetal von einer gewissen Eishöhe an Abflüsse ins Vorland. So konnte ein geringer Vereisungsunterschied explosionsartig wirken und das Eis ins Alpenvorland hinaustreten lassen. Weisen wir noch darauf hin, dass WERNER HEISSEL¹⁰ in Innsbruck neuestens für die klassische Gschnitzmoräne bei Trins im Gschnitztal eine Depression der Schneegrenze um 900 m statt der klassischen 600 m feststellte und dass auch die wenig gut erhaltenen Daunmoränen in der Nähe des Daunkogels einer stärkern Schneegrenzensenkung, nämlich 400—500 m, entsprechen, so bleibt von den einst klassischen Rückzugsstadien fast nichts mehr übrig. Neuestens machen O. AMPFERER und O. REITHOFER¹¹ darauf aufmerksam, dass die Gschnitzmoränen in der Umgebung des Arlbergpasses an mehreren Stellen Schotter überlagern, was die beiden Autoren zur Annahme einer stärkern Schwankung (Ferralschwankung) veranlasst. Sie benutzen diese, um die Gschnitz- und Daunstadien als selbständige Schlusseiszeit (AMPFERER) oder Schlussvereisung (REITHOFER) von der Würm-Bühlzeit abzutrennen.

c) Vergleich mit dem Aaregebiet

Vergleichen wir die Feststellungen in den Ostalpen mit dem Aaregebiet, so ergibt sich für die wichtigen Halte im Rückzug eine vollständige Übereinstimmung, indem das Ammerseestadium der Wichtrachstellung, das Schlernstadium den Thunermoränen, die 600 m-Moränen dem von Reichenbach und die 300 m-Wälle dem von Kandersteg entsprechen. Die Ferwallschwankung am Arlberg stellt sich neben die Beckenbildung von Reichenbach-Mülinen, was beweist, dass ihr Ausmass und daher auch ihre Bedeutung im Gesamtbild recht klein ist und dass sie nicht überschätzt werden darf. Zur Abtrennung einer besondern Schlussvereisung liegen bei uns keine Anhaltspunkte vor. Aber auch am Arlberg ist die Grösse der Oszillation im Verhältnis zur Gesamtrückzugsstrecke sehr unbedeutend.

4. Sind die Spiezer- und die Laufen-Achenschwankung interstadial oder interglazial?

a) Vergleich zwischen Spiezer- und Laufen-Achenschwankung

Besonderes Interesse verdient die Frage der Laufen- und Achenschwankungen. Fassen wir die heutigen Feststellungen über die fraglichen Schotter im Vorland und im Inntal zusammen, so ergibt sich, dass Schotter von jugendlichem Charakter, teils fluvio-glazial, teils Flachseeablagerungen, teils Grundmoränen (letzteres vor den Mündungen der grossen Seitentäler, wie dem Silltal bei Innsbruck) vom innern Jungmoränenkranz (Moränen von Ölkofen = Muristadium) an bis hoch ins Inntal und seine Seitentäler hinauf (im Silltal bis 1400 m) von Drumlin und einer wechselnd mächtigen Grundmoränendecke überlagert werden. Genau dasselbe kommt im Aaretal in der Spiezerschwankung vor, wo die drumlin-besetzten Schotter bei Spiez oberhalb des Jungbühlgürtels bei Thun beginnen und beidseitig des Aaretals bis Rubigen ins Becken des Muristadiums reichen. Die Terrassen des Aaretals und die Inntal-terrasse gleichen einander morphologisch und (sehr gut im frischen Charakter der gröbern Kiesablagerungen) stellenweise, wie z. B. oberhalb Hötting, sogar in überraschender Weise. Nach den Ergebnissen des Aaretals wären die beiden PENCKSchen Schwankungen von Laufen und vom Achensee zu einer einzigen Einheit zu vereinigen, und so bleibt zu untersuchen, welcher der beiden Auffassungen der Vorzug zu geben ist, der Zuteilung in die Hochvereisung des Würm-

gletschers wie im Aaretal oder in die Riss-Würmzwischenzeit wie im Inn-Salzachgebiet. Die diesbezüglichen Studien führen zur Untersuchung der vorwürmzeitlichen Ablagerungen. In den Ostalpen kennt man mangels tiefer Taleinschnitte im Alpenvorland und wegen der viel mächtigeren Ablagerungen keine ausgedehnten tiefern Schotter und ist daher gezwungen, die Laufenschotter und die Inntalerrassenschotter der letzten Interglazialzeit zuzuweisen. Im Aaretal fällt diese Notwendigkeit weg, weil von Bern bis über Spiez hinauf unter der liegenden Moräne der Spiezerschwankungsschotter noch ältere Schotter und Moränen erbohrt oder durch Flüsse und Bäche aufgeschlossen sind.

b) Die vorwürmzeitlichen Ablagerungen im Aaretal

Diese, der Risseiszeit einzuordnenden ältern Schotter, unterscheiden sich hauptsächlich durch ihre Deltastruktur und die schlammige Zusammensetzung der tiefen Schichten von den horizontal gelagerten jüngern Schottern der Würmzeit. Sie sind im Marzili in Bern bis 76 m erbohrt worden ohne den Felsgrund zu erreichen. Zahlreiche Bohrungen zur Ermittlung der Grundwasserhältnisse im Aaretal beweisen das Vorhandensein von Seeablagerungen mit wechselnder Oberflächenform bis nach Thun und auf der ganzen Breite des Aaretals. Oberhalb der Ackerfluh bei Uttigen lieferte der Aaregrund kreidige Tone mit Muschelresten. Doch beteiligen sich diese alten Schotter auch sichtbar am Aufbau der linksseitigen Aaretalerrasse von Kirchdorf bis ins Kandertal. Am ersten Ort erscheinen sie in Sandgruben und in Brunnenstollen. Längs der Aare bis Uttigen^{19, 22}, längs des alten Kanderlaufes im heutigen Glütschtal, an der Kander und der Simme sind sie durch allerlei Anrisse als verkittete Nagelfluh aufgeschlossen. An der Ackerfluh bei Uttigen und im Glütschtal sind: 1. Die hängende Murimoräne, 2. Schotter der Spiezerschwankung und 3. die liegende Bernermoräne direkt über 4. den Deltaschottern sichtbar. Im untern Teil des Glütschtales wechselt die alte Ablagerung ihren Charakter, indem sie sich aus grossen bis riesigen eckigen Blöcken, die zwingend auf einen Zusammenhang mit einem Gletschervorstoss hinweisen, aufbaut. Beim Hahni, oberhalb des Glütschtales, durchschneidet die vor 220 Jahren abgeleitete Kander die jungen und alten Ablagerungen bis auf eine Felschwelle und entblösst zwischen den alten Deltaschottern und dem Fels-

grund eine starke Grundmoräne. Weit oben bei Hondrich bespült die Kander die letzten von Moränen eingeschlossenen Deltaschotter. Talaufwärts erscheinen an der Kander und an der Simme über den Deltaschottern mächtig interglaziale Horizontalschotter. Diese reichen tief in den Suldraben, bis gegen Kien und ins Kireltal hinauf²⁴.

c) Ihre Deutung als Rissablagerungen

Versuchen wir diese Ablagerungen zu deuten, so ist das erste Problem die Erklärung der Ursache des hohen Aareseestandes zur Zeit dieser alten Ablagerungen^{19, 23}; denn die Schotter liegen auf weite Strecken 40 m höher als der heutige Thunersee, der seinerseits durch Kander und Zulg seit dem Thunstadium mindestens um weitere 30 m aufgestaut wurde. Im Glütschtal und bei Hondrich sind sogar Andeutungen einer Überhöhung des alten Seespiegels um 60 bis 70 m vorhanden, so dass eine Gesamtstauung von 90 bis 100 m in Frage kommt. Eine Eisbarriere des Rhonegletschers fällt ausser Betracht, da sich dieses Phänomen in der letzten Eiszeit hätte wiederholen müssen, was nicht der Fall ist. Eine hypothetische, seither abgetragene Felsschwelle im breiten offenen Tal von Bern ist undenkbar. Von allen Erklärungen ist diejenige einer Stauung durch die in der Mittel- und Nordschweiz weit verbreiteten Hochterrassenschotter, welche unter den heutigen Talböden auch als Rinnenschotter bezeichnet werden, die einzig passende. Nach F. MÜHLBERG hängt dieser mit einer Vereisung, die älter ist als die grösste Vergletscherung, zusammen. Wir gelangen für unsere Ablagerungen zu folgender Erklärung: Nach dem tiefsten Einschneiden der Felstäler lagerte ein Gletschervorstoss (Kandervorstoss¹⁹) die Grundmoräne im Hahni an der Kander ab, drang etwas über Bern hinaus vor, deponierte die tiefste Grundmoräne der Aareschlingen unterhalb Bern, blieb dort lange stationär und lagerte den nach der grossen Interglazialzeit besonders reichlichen Alpenschutt als gewaltige, bis an den Jura und ins Rheintal hinausreichende Barriere ab. Der grosse morphologische Umschwung von der frühern vorwiegenden Talbildung zur spätern Aufschüttung ist zweifellos tektonisch bedingt, indem die Alpen gegenüber dem Mittelland etwas einsanken oder das Vorland gehoben wurde, schätzungsweise 150—200 m. Durch das rasche Schwinden des Gletschers (Simmeschwankung¹⁹) entstand der erste Alpenrandsee im Aaretal, von dem der heutige Thunersee nur ein geringer Überrest ist. Einzelne

Seeteile erhielten durch die Aaregletscherzunge selbst Schutz gegen die folgende Zuschotterung durch Kander, Simme und die Mittellandflüsschen. Als die Verlandung bis ins untere Glütschtal vorgedrungen war, setzte die Vereisung ein, die durch die Deltamoräne im Glütschtal dokumentiert wird (Glütschvorstoss)¹⁹. Nach erneutem Rückzug des Eises setzten sich die Auffüllung des Sees (interglaziale Deltaschotter) und seine langsame Absenkung fort. Die Riss-Würm-Interglazialzeit durchtalte dann diese Ablagerungen mehr in die Breite als in die Tiefe. Parallelisieren wir diese Verhältnisse mit PENCK und BRÜCKNER, so fällt die älteste Vereisung, die offenbar der MÜHLBERG'schen Hochterrasseneiszeit entspricht, aus dem üblichen Rahmen heraus und muss als Altriss bezeichnet werden, da sie der grossen Interglazialzeit mit der tiefsten Felsalbildung nachfolgt. Die ältern Deltaschotter gehören dann in die Mittelrisszeit und die Deltamoräne im untern Glütschtal ins Jungriss oder die grösste Vereisung. Die folgenden Deltaschotter und mit ihnen der Hauptteil der alten Ablagerungen im Aaretal leiten von der Nachrisszeit in die letzte Interglazialzeit über. Aus dieser stammen die erwähnten Suld- und Kireltalschotter und die Erosion der Hochterrassenbarriere, deren Reste teils als Rinnenschotter (Karlsruhe unterhalb Bern), teils als Plateauschotter (Forst und Frienisberg) bezeichnet werden. Das Aaretal besitzt so viele Schotter und Moränen, dass es nicht zugänglich erscheint, schon den obersten Schotter ins Interglazial und die zweite Moräne in die Risseiszeit zu stellen, wie dies heute im Inngebiet geschieht.

d) Vergleich der Inntalterrasse und der Höttingerbreccie mit den Aaretalablagerungen

Im Nordtirol treten unter der zweiten Moräne ebenfalls Ablagerungen auf, nämlich die durch ihre warme Flora berühmte Höttingerbreccie¹² (A. PENCK), die ihrerseits selber einer dritten Grundmoräne auflagert. Eine Bohrung bei Rum zwischen Innsbruck und Hall i. T. erreichte bei 199 m Tiefe den Felsboden noch nicht, was für diesen Alpentheil eine bedeutende Senkung beweist. Auch hier wurden lakustre Ablagerungen durchfahren. Damit entspricht das Längstal des Inn demjenigen des Thuner- und Brienersees, nur dass letzteres durch den weit vorprallenden Aaregletscher gegen die Zuschüttung durch Seitenflüsse geschützt wurde. O. AMPFERER¹³

glaubt, gestützt auf die Bohrungen im untern Inntal bei Kufstein, welche den Fels in 98 und 92 m Tiefe antrafen, eine lokale Verbiegung des Inntales in der Längsrichtung um zirka 150 m und eine serienweise Aufschüttung, der wiederholten relativ ruckweisen Senkung entsprechend, annehmen zu müssen. Er fasst die Rinnenschotter und die Inntalterrasse als eine Einheit von über 450 m Mächtigkeit, die der letzten Interglazialzeit angehöre, auf. Demgegenüber darf darauf hingewiesen werden, dass sich die lokale Verbiegung des Inntales auch im Verlauf der alten Felsterrassen widerspiegeln müsste, was nicht der Fall ist. Die Senkung darf wohl mit der allgemeinen Senkung der Alpen, die zur Hochterrassenverschotterung und der grossen Randseebildung führte, parallelisiert werden. Im Aaretal gehören die grossen Schotterterrassen in ihren jüngern Teilen der Mittelwürmschwankung von Spiez an und sind durch Moränen einwandfrei von den tiefer gelegenen Seeablagerungen der Risseiszeit getrennt. Bei der komplizierten Natur der Inntalterrasse ist es nicht ausgeschlossen, dass sich auch dort trennende Moränen vorfinden. Wie im Aaregebiet die sehr groben Suldtalschotter, die groben Deltaschichten und die Schlammsande unter dem Talboden eine Einheit bilden, so gehören möglicherweise die sogenannten alten Innkonglomerate von Nassereith, Pendling, Durchholzen, Angath und Brannenburg, teils als grobe Schichtköpfe, zu den erbohrten lakustren Ablagerungen. Dass sie hinter und damit wohl auch unter der Inntalterrasse liegen können, wurde in einem Stollen bei Schwaz nachgewiesen, eine Situation, die mit unserem Glütschtal übereinstimmt. Damit soll angedeutet sein, dass zwischen beiden Gebieten keine unüberbrückbaren Differenzen bekannt sind und dass eine den schweizerischen Verhältnissen entsprechende Erklärung nicht ausgeschlossen ist. Sie lautet:

I. Inntal bei Innsbruck 1932	II. Nach Penck und Brückner 1909	III. Aaretal
7. Moränendecke mit Drum- lins = Würm	Jungwürm Bühl	Muri- und Wichtrachmo- ränen
6. Jüngere Inntalschotter = Riss-Würminterglazial	Laufenschwankung	Schotter der Spiezerschwan- kung
5. Mittlere oder Sockel- moräne = Riss	Aussen- u. Mittelwürm- moränenkränze	Gurten- und Bernermoräne
4. Höttingerbreccie = Min- del-Rissinterglazial	Würm - Rissintergla- zial	Zuschüttung des Aaresees durch interglaziale Delta- schotter und Erosion

I. Inntal bei Innsbruck 1932	II. Nach Penck und Brückner 1909	III. Aaretal
3. Liegende Moräne z. B. im Lepsiusstollen = Mindel	Jungriss	Deltamoräne des Glütschvorstosses
2. Ältere Innkonglomerate und erbohrte Rinnenschotter = Günz-Mindel-Interglazial oder voreiszeitliches Pliocaen	Mittelriss	Deltaschotter der Simmeschwankung
1. Unbekannt	(Altriss)	Hahnimoräne des Kander- vorstosses

e) Deckenschotter und alpine Felsterrassen als Äquivalente der Mindel- und Günzzeiten im Aaregebiet

Diese Parallelisierung zeigt, dass die Chronologie des Aaretals mit der alten PENCK- und BRÜCKNER'schen in volle Übereinstimmung gebracht werden kann, dass sie aber der heute in den Ostalpen vorherrschenden Auffassung schroff gegenübersteht. Wenn die unterste bekannte Inntalmoräne der 2. Vereisung und die alten Innkonglomerate der 1. Interglazialzeit oder gar dem Präglazial zugeschrieben werden, wie dies HANS WEHRLI¹⁴ tut, dann verlegt man die ganze oder doch den weit überwiegenden Anteil der Felsalpbildung ins Pliocaen und teilt dem Quartär nur eine Rolle der vorwiegenden Aufschüttung zu. Solche hochbedeutende Vorgänge könnten sich aber nicht auf das Inntal beschränken, sondern dürften das ganze Alpengebiet beherrschen. So führt uns die Diskussion, ob die Laufen-Inntalterrassenschotter einem Würmstadium oder der letzten Interglazialzeit angehören, zur Aufrollung der ganzen alpinen Quartärchronologie, d. h. zur Nachforschung nach den alpinen Äquivalenten der ersten Eiszeiten und den Talbildungsfragen.

Zu den ostalpinen Ansichten bilden die Ergebnisse aller mit dieser Frage beschäftigten schweizerischen Geologen einen schroffen Gegensatz, indem sie feststellten, dass die Aufschotterung der Talrinnen erst nach der grossen Interglazialzeit mit der Hochterrasse begann, wozu die Ablagerungen bei Thun mit der Hahnimoräne und den hochliegenden Seeschottern eine gute Veranschaulichung bieten. Um Günz- oder Mindelschutt kann es sich in der Schweiz nicht handeln, weil diesen beiden Eiszeiten die viel höher gelegenen ältern und jüngern Deckenschotter samt den zugehörigen Moränen entsprechen. Der jüngere Deckenschotter ist im Aaregebiet nicht einwandfrei nachgewiesen, weil er sich mit den Resten der

Hochterrasse kreuzt und vom Rhonegletscher quer zur allgemeinen Abdachung überflutet wurde. Doch dürfen wir die quellenreichen, moränenbedeckten Schotter der Frienisbergkuppe ihm ziemlich sicher zurechnen (F. NUSSBAUM). Den alpennächsten älteren Deckenschotter entblösst sehr wahrscheinlich eine Kiesgrube über Oberhünigen in 900 m Meereshöhe. Setzen wir die Gefälle der Deckenschotter der Mittelschweiz alpenwärts fort, so treffen wir auf entsprechende Systeme von Felsterrassen^{19, 23}. Mit dem jüngern Deckenschotter korrespondiert im Aaregebiet in zirka 700 m das Kirchetniveau und mit dem ältern Deckenschotter das Burgfluhniveau in zirka 1000 m Höhe. Führen wir noch das Simmenfluhniveau in zirka 1500 m Höhe an, so sind alle drei grossen Felsterrassensysteme in die Diskussion eingeführt. Höher können wohl noch mehrere ins Pliocaen zurückreichende Terrassen nachgewiesen werden. Doch bilden sie, wie auch die Gipfel- und Gratflur der Schweizeralpen, keine grössern zeitlichen Einheiten.

f) Zur Datierung der alpinen Felsterrassensysteme

Interessanterweise setzen sich diese Felsterrassen nicht nur ins Wallis hinüber, wie F. MACHATSCHKE und W. STAUB¹⁵ zeigten, sondern durch die Bündneralpen ins Nord- und Südtirol und in die Ostalpen überhaupt fort. Dort wurden sie durch R. VON KLEBELSBERG¹⁶ beschrieben und datiert, gestützt auf A. WINKLER und E. BRÜCKNER. Unsere Gipfelflur, sein Hochgebirge, bezeichnet er als „alttertiär“, unser Simmenfluhniveau, seine „Zone oberster Verflachungen“, als altpliocaenes, unser Burgfluhniveau als altpliocaenes, und das Kirchetniveau, sein Innsbrucker Mittelgebirge, als jungpliocaenes bis präglaziales Oberflächensystem. Da diese Bodenformen — sie sind in den Ostalpen schöner und ausgedehnter entwickelt als in der Schweiz — durchaus einheitlichen Charakter besitzen, so scheint nur eine von beiden Deutungen möglich zu sein. Gegen die Übertragung der ostalpinen Auffassung auf die Schweizeralpen sprechen ausser den Deckenschottern noch weitere geologische Verhältnisse. Hier sei nur auf folgende Punkte hingewiesen: Sowohl auf dem untern Bergli am Sigriswilergrat über dem Thunersee¹⁸, wie auch am Monte Baldo zwischen dem Gardasee und der Etsch beteiligen sich marine, oligocaene Schichten an der Zusammensetzung des Simmenfluhneaus und der Gipfelflur. Der mit dem Monte Baldo konkordant eingefaltete Monte Brione am obern

Ende des Gardasees baut sich aus untermiocaener Molasse auf. Gebirgsbildung und Abtragung zur Gipfelflur, sowie die Entstehung der Zone oberster Verflachungen müssen demnach bedeutend jünger sein als altmiocaen. Somit fallen in der Umgebung des Gardasees die Altersbestimmungen für die beiden obersten Formengruppen dahin. Aber auch in der Schweiz beweist der Umstand, dass die pontische Molasse des Napfs keine oder sehr seltene, sicher aus dem Aarmassiv oder den helvetischen Decken stammende, sondern fast ausschliesslich unterostalpine und penninische Gerölle enthält, dass das Aarmassiv samt seiner heutigen Gipfelflur noch im Obermiocaen unter dicken Schichten molassischer, penninischer und unterostalpiner Gesteine lag und erst in der Pliocaenzeit entstanden sein kann. Dieser Beweis bleibt auch dann bestehen, wenn eine Umlagerung der oligocaenen Nagelfluh in die miocaene stattfand. Im gleichen Sinne zeugen auch die Ergebnisse der allgemeinen Alpentektonik, welche mit EMILE ARGAND die letzte grosse orogenetische Bewegung als insubrische Phase der Alpenbildung ins Pliocaen setzt.

Im Lauterbrunnental und in der Umgebung von Fiesch im Wallis treten im Simmenfluhniveau Talformen auf, welche nur durch Gletscherwirkungen zu erklären und zwischen Simmenfluh- und Burgfluhniveau zu datieren sind. Ferner spricht die Anlage der von der alpinen Norm stark abweichenden Täler der Rabiusa (westlich) und der Rabiosa (östlich) beiderseits des untern Hinterrheins ebenfalls für Flussablenkungen durch einen Gletscher im Simmenfluhniveau.

Im Gegensatz zur schweizerischen geht die ostalpine Datierung der Gipfelflur und der nächsttiefern Formen von den ältesten Anhaltspunkten aus, dem Alttertiär in der Steiermark. Da es sich dabei um Feststellungen am Alpenrand handelt, so ist es wohl denkbar, dass ihre Übertragung auf das Alpeninnere und die westlich gelegenen Alpentheile nicht statthaft ist, indem die ältesten Flächen gegen Westen in zunehmendem Masse von jüngern Denudationsvorgängen überarbeitet wurden. Damit kann der Gegensatz der beiden Datierungen überbrückt und in Übereinstimmung gebracht werden, besonders da diese Gräte und Flächen hüben und drüben ins Tertiär gestellt werden.

Diese Ausführungen mögen genügen, um zu zeigen, dass die Datierung der ostalpinen Felsterrassen durch R. VON KLEBELSBERG

nicht stichhaltig und somit ungeeignet ist, zu beweisen, dass die tiefste Talbildung der Alpen schon vor der Eiszeit oder in der ersten Interglazialzeit abgeschlossen war. Setzt man aber mit PENCK und BRÜCKNER, deren umfassende Kenntnis des Alpen-glazials sich immer wieder Geltung verschafft, und den Schweizer Geologen, die in kleinern und zusammenhängenderen Gletschergebieten sicherer schliessen können, den Beginn der Talaufschüttung, speziell die lakustren Rinnenschotter auch für das Inntal ans Ende der Mindel-Rissinterglazialzeit, so sind genügend Moränen und Schotter vorhanden, um die jüngern Teile der Inntalerrasse einer Schwankung, die Höttingerbreccie der letzten Interglazialzeit und die alten Innkonglomerate, sowie die Rinnenschotter der Risszeit zuzuteilen. Dann fällt der vermeintliche chronologische Gegensatz zwischen Ost- und Westalpen, der morphologisch weder für die Schuttböden, noch für die Felsterrassen besteht, dahin und ein einheitliches Gesetz, dasjenige diskontinuierlicher Hebungen und Senkungen mit mehrfachem Wechsel von Vereisung, Erosion und Aufschotterung beherrscht die Alpen vom Léman bis zum Benaco (Gardasee).

Wir aber dürfen wohl der Freude Ausdruck geben, dass unser Aaregebiet, dessen landschaftliche Schönheit weltberühmt ist, dem Naturforscher hervorragendes Arbeitsmaterial zur Verfügung stellt, indem es auf engstem Raum eine reiche Menge geologischer Dokumente vereinigt, die anderswo auf Riesendistanzen verknüpft werden müssen.

Noch bleibt mir die angenehme Pflicht, den Herren P.-D. Dr. HELLMUTH GAMS, Dr. WERNER HEISSEL und Dr. TSCHERMAK, alle in Innsbruck, die mich in liebenswürdigster Weise in die ostalpinen Quartärprobleme einführten, herzlich zu danken.

Hochgeehrte Damen und Herren! Dass nicht nur unser Wissen, sondern auch die Grundlagen, auf die es aufbaut, Stückwerk sind, dürften Ihnen die gemachten Ausführungen in reichem Masse bewiesen haben. Sie bilden nur eine kleine Annäherung an die wissenschaftliche Wahrheit. Aber im Streben nach dem Fernen, dem Unerreichbaren liegt der geheime, unwiderstehliche Reiz, der den Forscher zwingt, seine Kraft, seinen Geist, seine Zeit dem Suchen neuer Erkenntnisse zu widmen. Erreicht er auch nur bedingte

Wahrheiten, so nähert er sich doch Schritt für Schritt dem fernen Ziel.

Uns alle führt der wissenschaftliche Forschungstrieb heute hier in Thun zusammen. Zum 113. Mal versammelt er die schweizerischen Naturforscher zum Gedankenaustausch. Möge ein guter Geist über der Tagung walten, dass sie die an sie geknüpften Erwartungen in reichster Masse erfüllt und wertvolle wissenschaftliche Fortschritte zeitigt.

In diesem Sinne erkläre ich die 113. Jahresversammlung der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft als eröffnet.

Literatur

- ¹ A. BALTZER: Der diluviale Aaregletscher. Beitr. z. geol. Karte d. Schweiz. 30. Liefg. 1896.
- ² FR. JENNY, A. BALTZER und E. KISSLING: Geologische Exkursionskarte der Umgebungen von Bern. 1891.
- ³ ED. GERBER: Geologische Karte von Bern und Umgebung. Kümmerly & Frey, Bern. 1926.
- ⁴ R. RUTSCH: Geologische Karte des Belpberges. 1 : 25,000. Kümmerly & Frey. Bern. 1926.
- ⁵ A. PENCK und ED. BRÜCKNER: Die Alpen im Eiszeitalter. Leipzig. 1902 bis 1909.
- ⁶ A. PENCK: Ablagerungen und Schichtstörungen der letzten Interglazialzeit in den nördlichen Alpen. Sitz.-Berichte Preuss. Akademie d. Wiss., math.-physik. Kl. XX. 1921.
- ⁷ O. AMPFERER: Glazialgeologische Beobachtung im untern Inntal. Zeitschr. f. Gletscherkunde. II. 1907.
- ⁸ K. TROLL: Die Rückzugsstadien der Würmeiszeit im nördlichen Vorland der Alpen. Mitt. geogr. Ges., München. XVIII. Bd. 1./2. H. 1925.
- ⁹ R. von KLEBELSBERG: Beiträge zur Geologie der Südtiroler Dolomiten. I. Teil. Zeitschr. deutsch. geol. Ges. 79. Bd. 1927.
- ¹⁰ W. HEISSEL: Mündliche Mitteilung.
- ¹¹ O. REITHOFER: Über den Nachweis von Interglazialablagerungen zwischen der Würmeiszeit und der Schlussvereisung im Ferwall- und Schönferwalltal. Jahrb. d. geol. Bundesanstalt, 81. Bd. 1931. Heft 1 und 2. Wien.
- ¹² A. PENCK: Die Höttingerbreccie und die Inntalerrasse nördlich von Innsbruck. Abh. d. preuss. Ak. d. Wiss., math.-physik. Kl., 1920.
- ¹³ O. AMPFERER: Über die Bohrung von Rum bei Hall in Tirol und quartäre Verbiegungen der Alpentäler. Jahrb. geol. Staatsanstalt, Wien. 1921.
- ¹⁴ H. WEHRLI: Monographie der interglazialen Ablagerungen im Bereich der nördlichen Ostalpen zwischen Rhein und Salzach. Jahrbuch d. geol. Bundesanstalt, 78. Bd. 1928, H. 3 und 4. Wien.
- ¹⁵ F. MACHATSHECK und W. STAUB: Morphologische Untersuchungen im Wallis. Eclogae geol. Helvetiae, Vol. XX. 1927.

- ¹⁶ R. von KLEBELSBERG: Die Haupt-Oberflächensysteme der Ostalpen. Verh. d. geol. Bundesanstalt, Nr. 2/3, Wien. 1922.
- ¹⁷ P. BECK: Der diluviale Bergsturz von St. Beatenberg. Mitt. Nat. Ges. Bern. 1907.
- ¹⁸ Derselbe: Geologie der Gebirge nördlich von Interlaken. Beitr. z. geol. Karte d. Schweiz. 59. Liefg. 1911.
- ¹⁹ Derselbe: Grundzüge der Talbildung im Berner Oberland. Eclogae geologicae Helvetiae. Vol. XVI. 1921.
- ²⁰ Derselbe: Nachweis, dass der diluviale Simmegletscher auf den Kander-Aaregletscher hinauffloss. Mitt. Nat. Ges. Bern. 1921.
- ²¹ Derselbe: Gliederung der diluvialen Ablagerungen bei Thun. Eclogae geol. Helv. Vol. XVII. 1922.
- ²² P. BECK und Ed. GERBER: Geologische Karte Thun-Stockhorn. Spez.-Karte 96 d. Beitr. z. Geol. Karte d. Schweiz. 1925.
- ²³ P. BECK: Eine Karte der letzten Vergletscherung der Schweizeralpen. 1. Mitt. d. Naturw. Ges. Thun. 1926.
- ²⁴ Derselbe: Geologische Untersuchungen zwischen Spiez, Leissigen und Kien. Ecl. geol. Helv. Vol. 21. 1928.
- ²⁵ Derselbe: Vorläufige Mitteilung über die Bergstürze und den Murgang im Kandertal (Berner Oberland). Ecl. geol. Helv. Vol. 22. 1929.
- ²⁶ Derselbe: Geologisches Panorama von Thun. Spez.-Karte Nr. 82 d. geol. K. d. Schweiz. 1932.
- ²⁷ H. GÜNZLER-SEIFFERT, P. BECK und Mitarbeiter: Blatt 395. Lauterbrunnen. Geol. Atlas d. Schweiz 1 : 25,000. 1932.

Theorien der Entwicklung im Lichte neuer Experimentalergebnisse

Von

H. SPEMANN, Freiburg i. B.

Einer höchst ehrenvollen, dankbar angenommenen Einladung des Vorstandes der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft folgend, darf ich Ihnen heute über Theorien der Entwicklung im Lichte neuer Experimentalergebnisse berichten.

Es ist ein umfangreiches Gebiet, das es zu durchwandern gilt, und die Zeit begrenzt. Ich glaube daher in Ihrem Sinne zu handeln, wenn ich die Tatsachen in den Vordergrund rücke und die Theorien nur soweit berühre, als die Experimente aus ihnen entspringen und wieder in sie einmünden. So will ich denn sofort mitten in die Tatsachen hineingehen.

Experimentelle Eingriffe in den Gang der Entwicklung sind vor allem an den Eiern und jungen Keimen von zwei Tiergruppen vorgenommen worden: an den Eiern der Amphibien zuerst von WILHELM ROUX und an den Eiern von Seeigeln zuerst und vor allem von HANS DRIESCH. Da man zum Verständnis dieser Experimente die normale Entwicklung kennen muss, so werde ich mich aus Gründen der leichteren Darstellung auf die Amphibien-eier beschränken. Ich kann das um so eher, als die meisten der zuerst an Seeigeleiern angestellten Versuche an Amphibieneiern wiederholt und als die neuen Fortschritte durch Experimente an diesen Eiern erzielt wurden.

Die normale Entwicklung des Amphibieneies, also des Eies von Molchen, Fröschen, Unken, ist in ihren gröberen Zügen leicht zu beobachten und seit langem bekannt. Durch fortgesetzte Teilung, wegen der an der Oberfläche auftretenden Furchen Furchung genannt, entsteht die Keimblase oder Blastula, deren dicker Boden (die vegetative Keimhälfte) von grossen dotterreichen Zellen gebildet wird, während ihr dünnes Dach (die animale Keimhälfte) aus zahlreichen kleineren, dotterärmeren Zellen besteht. Nun setzt

ein sehr verwickelter Prozess ein, die sogenannte Gastrulation. Sein Endergebnis ist, dass das gesamte vegetative Material ins Innere eingestülpt, also von animalelem Material überzogen wird. Längs der Einstülpungsstelle, dem Urmund oder Blastoporus, geht dann das äussere Keimblatt, das Ektoderm, in die beiden inneren Keimblätter, das Mesoderm und das Entoderm, über.

Damit haben die Anlagen der wichtigsten Organe, der Haut und des Zentralnervensystems, des Achsenskeletts und der Muskulatur, des Darms und der Leibeshöhle, im wesentlichen ihre endgültige Anordnung erreicht. Ihre sichtbare Differenzierung beherrscht die nächste Phase der Entwicklung.

Die Anlage des Zentralnervensystems entsteht im Ektoderm der Rückenseite, vom Urmund aus nach vorn, als eine verdickte, schildförmige Platte, die in ihrer vorderen Hälfte breiter ist als in der hinteren. Es ist die Medullarplatte, deren Ränder zu Wülsten, den Medullarwülsten, erhoben sind. Unter Zusammenrücken der Wülste schliesst sich die Platte zum Rohr, dem Medullarrohr. Dieses schnürt sich von der Epidermis ab und sinkt in die Tiefe. Sein dickeres Vorderende, aus dem breiteren Vorderteil der Medullarplatte entstanden, wird zum Gehirn; seine dünnere hintere Hälfte zum Rückenmark.

Die Medullarplatte ist unterlagert vom Mesoderm. Während sie sich zum Rohre schliesst, sich ablöst und in die Tiefe sinkt, gliedert sich das Mesoderm in fünf nebeneinanderliegende Streifen. Aus dem mittleren wird die Anlage des Achsenskeletts, die Chorda dorsalis. Daran schliesst sich rechts und links je eine Reihe von Urwirbeln oder Somiten. Von diesen hinwiederum setzen sich ab die paarigen Anlagen der Leibeshöhle oder des Coeloms.

Das Entoderm endlich bildet zunächst eine breite, nach oben offene Rinne, wie eine Mulde, deren Ränder sich dann nach der Mitte zusammenbiegen, und in der Mittellinie, also gerade unter der Chorda, das Darmrohr zum Abschluss bringen.

All diese Vorgänge, welche bei günstiger Temperatur überraschend schnell ablaufen, beruhen im wesentlichen nicht auf Neuerzeugung von Keimsubstanz, sondern auf Umordnung der schon vorhandenen. Die einzelnen Bezirke des älteren Keims sind daher schon im jüngeren vorhanden, aber in anderen Lagebeziehungen. Diese frühere Lage liesse sich feststellen, wenn es möglich wäre, die einzelnen Zellgruppen durch die Verschiebungen bei der Ga-

strulation hindurch genau zu verfolgen. Um dies zu erreichen, muss man sie irgendwie kenntlich machen. Diese Aufgabe ist zuerst von W. Roux gestellt und zu lösen versucht worden, freilich in technisch unzulänglicher Weise; seither von zahlreichen anderen Forschern. Zu einem endgültigen Erfolg haben diese Bemühungen aber erst geführt, als W. Vogt die Methode der Vitalfärbung zur Setzung scharf begrenzter Marken verwendete. Auf diese Weise liess sich mit grosser Genauigkeit bestimmen, welcher Bezirk der frühen Gastrula sich einstülpt, um Chorda, Somiten, Leibeshöhle, Darmrohr zu bilden, welcher Teil des oberflächlich bleibenden Ektoderms sich zum Medullarrohr verdickt und gegen die umgebende Epidermis abgrenzt. Es liess sich mit einem Wort eine genaue topographische Karte der späteren Organanlagen in der beginnenden Gastrula entwerfen.

An Hand einer solchen topographischen Karte lassen sich nun leicht die beiden Grundauffassungen der Entwicklung ableiten.

Ist ein solcher Keimbezirk, dessen späteres Schicksal es sein wird, Medullarplatte oder Chorda oder Urwirbel zu bilden, schon in sich zu diesen Organen bestimmt, determiniert, oder liegen die Ursachen zu dieser Bestimmung, ganz oder zum Teil, noch in anderen Keimbezirken, vielleicht gar im Ganzen des Keims?

Nimmt man die erstere Möglichkeit an und dehnt sie auf immer kleinere Keimbezirke und auf immer frühere Entwicklungsstadien aus, so kommt man zu einer Auffassung der Entwicklung, die man als Präformations- oder Mosaiktheorie bezeichnet. Dann entspricht also dem konstruierten Anlagenmuster in der beginnenden Gastrula eine wirkliche, gleichsinnige Verschiedenheit der einzelnen Bezirke. Sie tragen in sich alle spezifischen Faktoren für ihre Weiterentwicklung, die also ohne Einfluss von seiten der Umgebung, von seiten des Ganzen, in der vorgezeichneten Richtung abläuft. Die Teile entwickeln sich dann unter Selbstdifferenzierung. Es entsteht bei der Entwicklung nichts eigentlich Neues; es wird nur unsichtbare Mannigfaltigkeit in genau entsprechende sichtbare umgewandelt.

Entscheidet man sich dagegen für die zweite Möglichkeit und führt diese Auffassung bis in ihre letzten Konsequenzen durch, so kommt man zur Theorie der Epigenese. Nach ihr ist das Einzelne nicht schon in den Anfangsstadien präformiert, vielmehr entsteht es neu, unter Wechselwirkung der Teile.

Es ist das unvergängliche Verdienst von W. Roux, diese Frage zuerst so scharf erfasst und so weit durchgedacht zu haben, dass sie zur experimentellen Prüfung reif war. Aufgenommen und entscheidend weitergeführt wurde sie dann vor allem von HANS DRIESCH.

Es wäre ebenso lehrreich wie reizvoll, sich in jene ersten grundlegenden Experimente und in die Erörterungen, die sich daran anschlossen, zu vertiefen. Leider ist diese historische Behandlung der Frage hier nicht möglich; wir würden sonst über der Vergangenheit die aktuelle Gegenwart versäumen müssen. Ich will also sofort das Experiment schildern, von dem aus es dann entscheidend weitergeht.

Ein zur Selbstdifferenzierung befähigter Keimteil kann sich, der Definition nach, auch ohne Einfluss der Umgebung, seiner prospektiven Bedeutung (H. DRIESCH) entsprechend weiter entwickeln. Die gegebene Methode, ihn auf diese Fähigkeit zu prüfen, ist also seine Isolation. Diese wurde zuerst an den ersten beiden Furchungszellen des Seeigeleies vorgenommen (H. DRIESCH), später auf Anregung eines Experiments von O. HERTWIG an den ersten Furchungszellen vom gewöhnlichen Molch, *Triton taeniatus*. Dasselbe Experiment wurde dann auf spätere Entwicklungsstadien beider Keimarten ausgedehnt.

Führt man dieses Experiment an Tritoneiern aus, vom ungefurchten Ei an bis zur beginnenden Gastrula, so erhält man vor allem zwei Ergebnisse von bedeutungsvoller Verschiedenheit.

Nach medianer Durchtrennung, wo jede Keimhälfte sämtliche präsumptive Anlagen zur Hälfte enthält, entstehen Zwillinge von halber Grösse, aber normalen Proportionen.

Bei frontaler Durchtrennung dagegen entwickelt sich nur aus der dorsalen Hälfte ein wohlproportionierter Embryo von halber Grösse, aus der Hälfte also, welche die Anlagen von Medullarplatte, Chorda und Urwirbeln fast ganz besitzt, nicht aber die Anlage der Epidermis. Die ventrale Hälfte dagegen liefert nur ein nicht weiter gegliedertes Bauchstück.

Dies ist, wie gesagt, der Fall nach Durchtrennung bis zum Beginn der Gastrulation. Bei älteren Keimen dagegen, schon bei älteren Gastrulen, entsteht aus einer halben Gastrula auch ein halber Embryo.

Uns interessiert zunächst das Verhalten der jüngeren Keime.

Wenn aus einer halben Gastrula an Stelle eines halben Keims ein ganzer entsteht, von halber Grösse, aber normalen Proportionen, so bedeutet das, dass die präsumptiven Organanlagen beim Aufbau des Embryos eine andere Verwendung gefunden haben als bei der normalen Entwicklung. Besonders deutlich ist das bei der Entwicklung der dorsalen Keimhälfte. Sie enthält keine präsumptive Epidermis; wenn sich trotzdem ein normal proportionierter Embryo aus ihr entwickelt, bei dem sich also das Ekto-derm nach normaler Proportion in Medullarplatte und Epidermis gegliedert hat, so muss präsumptive Medullarplatte zur Bildung von Epidermis verwendet worden sein. Das heisst aber, beide sind zu Beginn der Gastrulation noch nicht determiniert, oder wenigstens nur labil, noch nicht unwiderrufflich fest.

Wenn das aber der Fall ist, so muss an diesem Punkt eine tiefer gehende Analyse einsetzen können. So lange nämlich die einzelnen Keimbezirke noch für einander eintreten können, so lange müssen sie sich auch, falls dies technisch ausführbar ist, tatsächlich miteinander vertauschen lassen. Präsumptive Epidermis müsste dann zu Gehirn werden können und umgekehrt.

Die technischen Schwierigkeiten lassen sich durch ein sehr einfaches, selbst gefertigtes Instrumentarium überwinden, das Experiment geht und hat den erwarteten Erfolg.

Daraus folgt zunächst zweierlei:

Erstens folgt, in Uebereinstimmung mit dem Ergebnis der Durchschnürungsversuche, dass die einzelnen Keimbezirke zu Beginn der Gastrulation noch nicht, oder wenigstens noch nicht in fester, unwiderrufflicher Weise zu ihrem spätern Schicksal bestimmt sind; dass sie vielmehr noch mehrere Möglichkeiten der Entwicklung haben;

zweitens folgt daraus, dass an dem neuen Ort irgend ein Einfluss herrschen muss, durch welchen nunmehr die Richtung der Entwicklung festgelegt wird.

Auch dieser letztere Schluss liess sich schon aus den Zerteilungsversuchen ziehen und ist auch von HANS DRIESCH schon gezogen und in die Formel gebracht worden: Das Schicksal eines Keimteils ist eine Funktion seiner Lage im Ganzen. Aber doch hat die neue Methode ganz neue Wege zu einer tieferen Analyse eröffnet. Durch die nunmehr gegebene Möglichkeit, kleine Keimstücke von beliebiger Herkunft an bestimmter Stelle eines anderen

Keims einzupflanzen, ist zugleich die weitere Möglichkeit gegeben, diese Stücke sowohl wie den Ort der Einpflanzung auf ihre Fähigkeiten zu prüfen. Dazu kommt das weitere, dass die Methode nach verschiedenen Seiten hin abgeändert und besonderen Zwecken angepasst werden kann.

So kann man ein zu prüfendes Keimstück sehr leicht unter die Epidermis bringen, und zwar von frühesten Entwicklungsstadien an, indem man es durch einen kleinen Schlitz in die Furchungshöhle einer beginnenden Gastrula einsteckt. Mit dem Verschwinden der Furchungshöhle während der Gastrulation kommt das Implantat in den engen Spaltraum zwischen dem äusseren und den inneren Keimblättern zu liegen, kann sich den letzteren einfügen oder eventuell auf das erstere eine Wirkung ausüben.

Nicht weniger wichtig ist eine weitere Abwandlung der Methode. Statt Stückchen derselben Art (homöoplastische Transplantation) kann man auch solche fremder Arten (heteroplastische Transplantation), ja sogar Gattungen und Ordnungen (xenoplastische Transplantation) miteinander vereinigen. Namentlich diese letztere Methode hat in jüngster Zeit Ergebnisse von grosser theoretischer Tragweite zu Tag gefördert, worauf später noch zurückzukommen sein wird.

Die heteroplastische Transplantation bietet zunächst den grossen methodischen Vorteil, dass das eingepflanzte Gewebe lange Zeit, unter Umständen sogar dauernd vom Gewebe des Wirts unterscheidbar bleibt.

So lässt sich die Vertauschbarkeit der präsumptiven Epidermis und Medullarplatte mit unübertrefflicher Klarheit demonstrieren.

Auch in diesem Fall sind es wieder zwei Bezirke eines und desselben Keimblattes, welche für einander eintreten können. Die Vertretbarkeit geht aber noch weiter. OTTO MANGOLD hat gezeigt, dass auch mesodermale Organe, wie Muskeln, Nieren, aus verpflanztem Ektoderm entstehen können.

Uebereinstimmend folgt aus all diesen Experimenten einmal die relative Indifferenz der geprüften Keimteile in jenem frühen Entwicklungsstadium, und dann das Vorhandensein eines bestimmten Einflusses am neuen Ort.

Von welchen Teilen mag nun dieser bestimmende Einfluss ausgeübt werden?

Die nächstliegende Vermutung ist: von solchen, welche dem zu determinierenden Stück direkt benachbart sind. Das hat sich denn auch schon in weitgehendem Masse bestätigt. Dafür nur einige Beispiele.

Das Wirbeltierauge ist ein zusammengesetztes Gebilde, dessen Bestandteile von sehr verschiedenen Mutterböden geliefert werden, welche ursprünglich flächenhaft nebeneinander ausgebreitet durch die Faltungsvorgänge bei der Entwicklung ineinander geschoben werden. Die Anlage der Retina, der Augenbecher, entsteht aus dem vordersten Teil der Hirnanlage; die Augenlinse aus der den Augenbecher bedeckenden Epidermis. An dem Ort, wo der Augenbecher die Epidermis berührt, in dem Zeitpunkt, in dem dies geschieht, wuchert die Linse ein. Es lag nahe, dieses räumliche und zeitliche Zusammenpassen auf einen kausalen Zusammenhang zwischen beiden Vorgängen zurückzuführen. In der Tat, nimmt man die Anlage des Augenbechers frühzeitig weg, so unterbleibt die Linsenbildung entweder ganz oder sie findet wenigstens in mehr oder weniger unvollkommener Weise statt. Bringt man anderseits fremde Epidermis über den Augenbecher, oder noch besser, verpflanzt man den ausgeschnittenen Augenbecher an anderer Stelle unter die Epidermis, so bildet sich, innerhalb gewisser Grenzen, an dieser fremden Stelle eine Linse.

Ebenso wird der Keimbezirk, aus welchem später das Zentralnervensystem entsteht, also die präsumptive Medullarplatte, bei der normalen Gastrulation von Chorda und Mesoderm unterlagert. Ich vermutete schon vor vielen Jahren, dass dadurch die Bildung der Medullarplatte hervorgerufen, induziert wird. Und in der Tat, bringt man solches Chorda-Mesoderm an fremder Stelle unter die Epidermis — nach der vorhin erwähnten Methode, durch Einstecken in die Furchungshöhle — so entwickelt sich an dieser Stelle, wie zuerst A. MARX gezeigt hat, nicht Epidermis, sondern Medullarplatte.

Ein weiteres Beispiel solcher induktiven Entwicklung wurde jüngst von O. MANGOLD beigebracht, durch ein Experiment, bei welchem ein Haftfaden durch untergeschobenes Kopfmesoderm hervorgerufen werden konnte.

Ein solches Hervorrufen eines Entwicklungsprozesses an einer Stelle, wo er sonst nicht stattgefunden hätte, kann man Induktion, diese Art der Entwicklung induktive Entwicklung nennen. Der

Keimbezirk, von welchem die Induktionswirkung ausgeht, ist das Aktionssystem, der Keimbezirk, welcher die Wirkung erfährt, das Reaktionssystem.

In allen bisher bekannt gewordenen Fällen ist die Induktion einseitig gerichtet. Der Augenbecher induziert Linse, Chordamesoderm induziert Medullarplatte, Kopfmesoderm induziert Haftfaden, und nicht umgekehrt.

Durch induktive Entwicklung können nun aber auch viel kompliziertere Gebilde entstehen, offenbar durch Zusammenwirken mehrerer Faktoren, die auch schon bis zu einem gewissen Grade einzeln unterscheidbar sind. So kann man vollkommene sekundäre Embryonalanlagen erhalten, mit eigener Beweglichkeit, mit Hirn, Augen und Hörblasen, Chorda, Muskeln und Exkretionsorganen; und zwar gemeinsam gebildet vom Implantat und vom Wirtskeim.

Derartige sekundäre Embryonalanlagen erhält man, wenn man ein Stück der oberen Urmundlippe einer jungen Gastrula einem anderen Keim an indifferenter Stelle einpflanzt.

Ein solches kleines Stück der oberen Urmundlippe bildet also im Wirtskeim ein neues Organisationszentrum; es wirkt organisatorisch auf seine neue Umgebung. Man kann es daher als einen „Organisator“ bezeichnen. Mit diesem komplexen Begriff lässt sich vorläufig der merkwürdige Sachverhalt am besten erfassen.

Dadurch ist natürlich unsere Neugierde noch nicht befriedigt; im Gegenteil, sie ist erst recht geweckt worden. Von den zahlreichen andrängenden Fragen sei hier nur noch eine von allgemeiner Bedeutung behandelt, auf welche neueste Experimente eine überraschende Antwort gegeben haben.

Es handelt sich um die Frage, welchen Anteil das Implantat und der Wirtskeim, also das Aktions- und das Reaktionssystem, am Zustandekommen und an der genaueren Beschaffenheit der induzierten Anlage haben, und damit um einen fundamentalen Wesenszug des Induktionsvorganges überhaupt.

Ist das Reaktionssystem nur der bildsame Stoff, aus welchem das Aktionssystem als Bildner das Organ, die Embryonalanlage formt, oder enthält es die Fülle der Anlagen und der „Organisator“ hat die Aufgabe, daraus die sinnvolle Auswahl zu treffen?

Oder anders ausgedrückt: werden im Implantat durch die Induktion eigene Gestaltungstendenzen geweckt, oder werden ihm solche, zugleich mit seinem Schicksal am neuen Orte, aufgeprägt?

Eigene Gestaltungstendenzen des Implantats lassen sich naturgemäss nur nachweisen, sofern sie von denen des Wirts abweichen; sie können also bei der gewöhnlichen Transplantation, homöoplastisch, nicht sichtbar gemacht werden. Sie werden dies aber, wenn die verbundenen Partner in ihrer Form genügend verschieden sind, also unter Umständen schon bei Vereinigung von Keimen verschiedener Spezies (heteroplastisch).

So zeigte schon das vorhin geschilderte Austauschexperiment zwischen Triton taeniatus und cristatus einen derartigen Unterschied. Dort war an einer cristatus-Gastrula präsumptives Kiemenektoderm durch präsumptive Medullarplatte von taeniatus ersetzt worden. Diese hatte sich ortsgemäss an der Kiemenbildung beteiligt, dabei aber die herkunftsgemässen taeniatus-Charaktere beibehalten. Die Kiemenstummel dieser Seite waren weiter entwickelt und anscheinend auch anders verteilt als auf der normalen cristatus-Seite.

Sollte es nun gar möglich sein, Keime verschiedener Gattungen oder gar Ordnungen durch xenoplastische Transplantation zur Wechselwirkung zu bringen, so wären höchst interessante Aufschlüsse zu erwarten. Denn solche Embryonen haben unter Umständen an entsprechenden Orten Organe von ganz verschiedener Herkunft und Gestalt.

So hat die Tritonlarve im Munde kleine Zähnchen, entsprechend den Zähnen der übrigen Wirbeltiere; die Kaulquappen dagegen haben an derselben Stelle Hornkiefer, welche nicht nur ganz anders aussehen, sondern auch ihrer Entstehung nach mit Zähnen nicht das geringste zu schaffen haben. Die Tritonlarve hat ferner hinter dem Munde lange Haftfäden; die Kaulquappe breite, niedere Haftnäpfe.

Wenn es nun möglich sein sollte, Froschepidermis, etwa von der hinteren Bauchgegend, in frühesten Entwicklungsstadien in die Mundgegend einer Tritonlarve zu verpflanzen, wird sie dann dort den Charakter von Mundhaut annehmen, wie Tritonhaut es nach solcher Verpflanzung tut? Wird sie also Mundorgane bilden? Und Mundorgane welcher Art? Zähne und Haftfäden, wie es dem Wirtskeim entspricht, oder Hornkiefer und Haftnäpfe, wie es den Anlagen des Spenders zukommt?

Dass dieses unwahrscheinliche Experiment ausführbar ist, davon konnte ich mich schon vor vielen Jahren durch eigene

Versuche überzeugen; doch starben die operierten Keime immer ab, ehe sie eine Antwort auf die gestellte Frage gegeben hatten. Im Sommer 1931 ist es aber dem Geschick und der Ausdauer eines meiner Mitarbeiter, Dr. SCHOTTÉ, gelungen, diese Schwierigkeit zu überwinden, und der Erfolg lohnte die Mühe. Es liess sich mit Sicherheit zeigen, dass Bauchhaut von Frosch in der Mundgegend einer Tritonlarve zu Mundhaut umgewandelt wird und dort an der richtigen Stelle das ihr eigentümliche Haftorgan, nämlich Haftnäpfe bildet.

Daraus lassen sich nun aber Schlüsse von grosser Tragweite ziehen.

Die Haut der Bauchgegend, welche normalerweise keine Haftnäpfe bilden würde, enthält doch — neben vielen andern — die Anlagen dazu. Diese werden geweckt durch einen ihnen gemässen Reiz, der insofern spezieller Natur sein muss, als er eben das ortsgemässe Organ hervorruft, insofern aber allgemeiner Natur, als er in Tritonektoderm nicht Haftnäpfe, sondern Haftfäden induziert hätte. Der Auftrag an die Epidermis hatte gewissermassen nur ganz allgemein auf „Mundbewaffnung“ gelautet, und nun lieferte die fremdartige Epidermis diejenige Art von Mundbewaffnung, welche ihr eigentümlich ist.

Einen derartigen Reiz könnte man einen „komplexen Situationsreiz“ nennen.

So wird auch bei der Verkettung der Vorgänge nach homöoplastischer Transplantation und wahrscheinlich auch bei der normalen Entwicklung der Anruf des Aktionssystems immer allgemeinerer Natur sein als die Antwort des Reaktionssystems.

Was die Natur eines solchen komplexen Situationsreizes sein könnte, dafür fehlen uns bis jetzt alle sicheren Anhaltspunkte. Ich will deswegen darauf verzichten, mich hier in die Diskussion von Möglichkeiten einzulassen.

* * *

Nach all diesen neueren Erfahrungen scheint nun der alte Streit zwischen den Theorien der Präformation und der Epigenese mit einem vollen Siege der letzteren geendigt zu haben. Aber so einfach liegen die Dinge doch nicht. Tatsachen von genau demselben Gewicht wie die zuletzt angeführten scheinen auch wieder in die Richtung der Präformation zu deuten. Darüber und

über die Möglichkeit einer Vermittlung zwischen den anscheinend unversöhnlichen Gegensätzen zum Schluss noch ein paar Worte.

Wir haben vorhin gehört, dass bei manchen Amphibien die Linsenbildung vom Augenbecher abhängig ist, indem einerseits ohne Augenbecher zum mindesten keine vollkommen ausgebildete Linse entsteht, anderseits aber der Augenbecher auch in fremder Epidermis eine Linse zu induzieren vermag. Nun hat sich aber bei anderen Formen, sogar bei solchen, welche mit den zuerst untersuchten nahe verwandt sind, eine weitgehende Unabhängigkeit der Linsenbildung gezeigt; und was das merkwürdigste ist: es hat sich herausgestellt, dass bei einer Form (*Rana esculenta*), bei welcher der Augenbecher nachweislich die Fähigkeit besitzt, in fremder Epidermis eine Linse zu induzieren (Filatow), trotzdem die normalen Linsenbildungszellen ihrerseits imstande sind, sich auch ohne Augenbecher zur Linse zu differenzieren.

Diese doppelte Bestimmtheit schien auch für die Determination der Medullarplatte zu gelten; doch weisen neuere Ergebnisse von W. ERDMANN, welche in neuester Zeit von J. HOLTFRETER (noch unveröffentlicht) bestätigt wurden, darauf hin, dass hier noch andere höchst merkwürdige Verhältnisse vorliegen. Im übrigen aber ist dieses Verhalten weit verbreitet beim werdenden und beim fertigen Organismus. H. BRAUS, dem es zuerst bei einem Entwicklungsprozess aufstieß, nannte es im Anschluss an W. RHUMBLER mit einem der Technik entlehnten Ausdruck das „Prinzip der doppelten Sicherheit“. F. E. LEHMANN spricht im gleichen Sinn von einer „kombinativen Einheitsleistung teilweise gleichsinniger Faktoren“. Ich habe dafür die Bezeichnung „synergetisches Prinzip der Entwicklung“ vorgeschlagen. Die Bestätigung und Festigung dieses Prinzips scheint mir eines der wichtigsten Ergebnisse all dieser und ähnlicher Versuche.

* * *

Und nun noch einmal: Epigenese oder Präformation, induktive Entwicklung oder Selbstdifferenzierung? So hatte die ursprüngliche Frage gelautet. Die Experimente gaben darauf die überraschende Antwort: sowohl das eine wie das andere.

Oder vielleicht richtiger: erst das eine, dann das andere?

So scheint es in der Tat zu sein. Zum mindesten lässt sich ein solcher Fall experimentell herstellen.

Man kann in präsumptiver Epidermis durch unterlagertes Mesoderm Medullarplatte induzieren — also sicher induktive Entwicklung. Ist die Wirkung aber einmal erfolgt, ist das unterlagerte Stück entgegen seiner natürlichen Bestimmung zu Medullarplatte determiniert, so geht seine Entwicklung auch nach seiner Isolierung in der neu eingeschlagenen Richtung weiter — also ebenso sicher Selbstdifferenzierung. Es ist durchaus wahrscheinlich, dass auch die normale Entwicklung in dieser Weise verläuft.

* * *

Lassen Sie mich mit einem Wort persönlicher Ueberzeugung, die ich niemand aufdrängen will, also mit einem Bekenntnis, schliessen. Bei all meinen Experimenten wurde der werdende Organismus nicht als ein totes Ding betrachtet und behandelt, sondern als ein lebendiges Subjekt. Ich bin nicht gesonnen, darauf eine Philosophie aufzubauen; jedenfalls keine, die über meinen eigenen Hausbedarf hinausgeht. Wohl aber habe ich die Absicht, nach diesem heuristischen Prinzip exakt weiter zu experimentieren; denn ich glaube, die Erfahrung gemacht zu haben, dass man gut mit ihm fährt, und ich möchte glauben, dass man auch über das engere Gebiet der Entwicklungsphysiologie hinaus bis weit in die Medizin hinein gut damit fahren würde.

La vérité mathématique et la réalité

Par

F. GONSETH, Zurich

Un sujet tel que celui de cette conférence ne peut guère être abordé que par un biais. C'est pourquoi je m'en vais commencer par vous citer deux opinions où la vérité mathématique et la réalité sont plus ou moins mises en opposition.

La première est de GAUSS, elle se trouve dans une lettre à BESSEL, et se résume brièvement ainsi :

Mieux vaut une seule de ces vérités éternelles que les résultats de mille expériences.

La seconde est d'EINSTEIN et se trouve dans le petit ouvrage intitulé : *Geometrie und Erfahrung*. Je ne cite pas textuellement, mais je crois serrer le sens d'assez près. EINSTEIN sépare dans les axiomes de la géométrie le côté purement formel ou purement logique du contenu intuitif. Seules les relations de pure logique — dit-il — sont du ressort des mathématiques, tandis que le contenu des axiomes doit être annexé à la physique. Quant à la vérité des constructions mathématiques, elle ne conditionne pas la réalité physique, et réciproquement.

Il faut le constater : Ces deux grands esprits ne se rencontrent pas. Le premier semble placer les résultats abstraits, auxquels le mathématicien parvient par le seul exercice de son esprit, au plus haut degré de l'échelle des valeurs scientifiques.

Et si l'on admet qu'il existe des vérités éternelles, expressions de nécessités supérieures, transcendentes à notre intelligence ; si l'on admet que, par exemple, l'équation

$$2 + 3 = 3 + 2$$

est une vérité de cet ordre ; si l'on conçoit un monde idéal où la vérité est la dernière loi, ne faut-il pas admettre aussi que GAUSS ait raison ?

Le second de nos grands hommes semble faire assez maigre cas de cette vérité éternelle. Ayant dépouillé la géométrie, et par extension nécessaire l'ensemble des mathématiques, de toute signification dans l'ordre du réel, il les laisse vivre d'une vie exsangue, comme les ombres élyséennes. En particulier, la vérité mathématique ne pouvant pas fournir la garantie d'une réalité dans le monde physique, *aucune réalité ne pouvant plus être démontrée par la logique pure*, l'idée de vérité se dégrade et se trouve rejetée hors du cercle des préoccupations essentielles.

Et si l'on admet qu'il existe une réalité tellement concrète que l'on puisse distinguer sans équivoque ce qu'est le contenu de réalité des axiomes ou, en général, de la formulation d'un fait quelconque, EINSTEIN semble avoir raison à son tour.

Veillez remarquer que les deux savants dont nous avons opposé les opinions ne peuvent en aucune façon être regardés comme les défenseurs d'un point de vue exclusif. On sait bien les travaux de géodésie que GAUSS entreprit à côté de ses recherches de mathématiques pures; on sait que ses méditations sur la possibilité d'une géométrie non-euclidienne le conduisirent à vérifier expérimentalement le théorème de géométrie concernant la somme des angles d'un triangle. Et, d'autre part, il serait véritablement absurde de vouloir prétendre que le créateur de la théorie de la relativité n'apprécie pas à sa valeur la méthode mathématique.

En dépit de ces circonstances, il n'y a pas à s'y méprendre sur l'évidente divergence des opinions: le mathématicien tient son regard attaché sur son idéal de vérité, tandis que le physicien met la réalité physique au premier plan — la vérité des formules qu'il emploie lui étant, au fond, secondaire.

Quelque intérêt qu'il puisse y avoir à confronter les opinions de deux savants aussi considérables que GAUSS et EINSTEIN, nous ne les avons cités ici que comme représentants de deux mentalités différentes. Derrière GAUSS on peut apercevoir la grande majorité des mathématiciens d'autrefois et d'aujourd'hui. La presque totalité des mathématiciens actuels souscriraient encore sans hésiter à une affirmation telle que celle-ci: « Les vérités mathématiques sont des vérités absolues, que jamais rien ne viendra ébranler. » Les mathématiciens ne doutent pas qu'ils aient ancré leur science sur le terrain de la vérité pure, et peu nombreux sont ceux qui n'aperçoivent pas dans ce fait une certaine prééminence de leur science.

Les autres sciences ne semblent pas contester cette position d'exception.

Tandis qu'elles voient leurs résultats constamment remis en question, leurs vues en apparence les mieux assises souvent menacées et parfois renversées, elles semblent à peine s'étonner de la sécurité dont jouissent les mathématiques. Mais — conséquence inévitable — la spéculation mathématique leur paraît, *dans son essence*, étrangère à leurs préoccupations habituelles. Elles acceptent de se servir du calcul comme d'un instrument dont il ne faut pas contester l'efficacité. Mais le trait essentiel, la recherche de la vérité abstraite, elles l'ignorent presque totalement.

Bien, que par ses applications, la science mathématique pousse des rameaux dans les directions les plus diverses, son idéal de vérité la met cependant à part — *en marge* — du reste des sciences. L'orgueil plus ou moins légitime qui reste sensible à travers la citation de GAUSS anime encore la mathématique actuelle. Et le reste des sciences partage plus ou moins le détachement d'EINSTEIN, en ce qui concerne la recherche des « vérités éternelles ».

Mesdames et Messieurs, la discussion de notre sujet s'ouvre ainsi sur une querelle. Mon intention est d'esquisser, en traits naturellement assez sommaires, vu le temps relativement court dont nous disposons, d'esquisser comment on peut chercher une conciliation sur une position intermédiaire, plus rapprochée à vrai dire d'EINSTEIN que de GAUSS. Mais qu'il me soit permis tout d'abord de dire quelques mots sur la valeur d'une tentative de ce genre. Je ne crois pas que, en ce qui concerne l'opportunité de considérations aussi générales aussi peu délimitées, je puisse compter sur un acquiescement unanime. Peut-être quelqu'un d'entre vous serait-il tenté de me faire observer : « La phrase de GAUSS que vous avez citée n'est qu'un à côté dans l'œuvre du grand mathématicien et n'ajoute rien à ses mérites. Et peu importe qu'EINSTEIN ait tort ou raison, en ce qui concerne le contenu et la forme des axiomes. C'est là une opinion qui ne touche à rien d'essentiel. L'intérêt de son œuvre est ailleurs. La question des rapports entre les notions de vérité et de réalité est une question de philosophes. Elle n'intéresse la science que de loin. » A cette objection, on peut répondre simplement qu'il est impossible de se soustraire à la nécessité de « philosopher ». Qu'on le veuille ou non, on est toujours le prisonnier d'une certaine philosophie. Examinons par exemple la notion

de vérité. C'est là une de ces notions primitives qu'il est vain de vouloir définir. Mais il n'est pas inutile de se rappeler comment s'est constitué le sens que nous lui attribuons. Il est né de la spéculation mathématique et s'est ensuite exprimé, développé, explicité dans la Théorie des Idées de Platon. Il s'est transmis à peu près inaltéré dans la tradition mathématique. Du reste, les autres sciences ont aussi conservé cet héritage : Le savant qui dit encore aujourd'hui : « Le but ultime de la science est la recherche de la Vérité » fait de la philosophie platonicienne, comme M. Jourdain faisait de la prose. On peut donc prétendre que l'idéal de vérité des mathématiciens appartient au cycle de la philosophie platonicienne.

De même l'idée de chose avec laquelle la science a opéré jusqu'à aujourd'hui appartient au cycle aristotélicien. Une chose possède par elle-même, selon cette idée, certaines propriétés distinctives par lesquelles elle peut être saisie et classifiée.

Je ne veux pas dire que, du fait seul que ces notions ont pris leur sens dans un cycle d'idées périmé, elles aient perdu leur efficacité. Au contraire, tant qu'on ne s'éloigne pas trop des conditions initiales où elles ont pris naissance, elles conservent un sens suffisamment bien délimité pour qu'on puisse s'en servir avec profit. Mais ce serait une grave erreur que de porter cette signification dans un domaine très éloigné de ces conditions initiales, en imaginant que cette signification est elle-même donnée de façon parfaite et ne varietur. C'est ainsi que dans la physique de l'atome, spécialement dans la Théorie des quanta, la notion ordinaire d'objet ne paraît plus adéquate aux nouvelles réalités qu'il faut y concevoir.

C'est de la même façon qu'on est, le sachant ou à son insu, euclidien pour la notion d'espace, cartésien pour celle de raison, newtonien pour celle de temps, etc., etc. En un mot, on ne fait pas de science indépendamment de toute philosophie. L'esprit de celui qui se refuse aux discussions dites philosophiques dans le présent est habillé des lambeaux des philosophies anciennes.

C'est pourquoi je n'hésite pas à prétendre que la science ne peut se soustraire au devoir d'examiner les notions fondamentales dont elle se sert, de les mettre en accord les unes avec les autres, de rechercher quels sont leurs rapports réciproques. . . . Tout ce travail de réflexion et de mise au point, c'est là ce que l'on pourrait spécialement appeler la philosophie de la science. Que les bases

d'une philosophie de ce genre aient été déjà jetées, je n'en veux prendre pour preuve que les travaux de HELMHOLTZ sur les origines empiriques de la géométrie et de l'arithmétique.

C'est maintenant dans le cadre de cette philosophie que vient se placer la tentative de conciliation dont j'ai déjà parlé. La thèse que je formule est maintenant la suivante: Il est possible d'esquisser un ensemble de vues, que l'on peut si l'on veut nommer une philosophie, au sein de laquelle les notions fondamentales telles que celles de vérité, de réalité, de concret et d'abstrait, de chose, d'espace, de temps, etc., prennent un sens adéquat aux besoins actuels de la science, et dans laquelle en particulier l'opposition par laquelle nous avons abordé notre sujet, disparaît.

* * *

Pour atteindre mes fins, il faut tout d'abord que je m'attaque à ce qu'on peut appeler le boulevard de la notion de vérité absolue, je veux dire l'infailible sécurité de la spéculation mathématique. Je prétends que si l'on y regarde de plus près et sans parti pris, cette infailibilité apparaît plus ou moins chancelante. Comme les autres sciences, les mathématiques peuvent être le théâtre d'un de ces bouleversements qui ruinent toute une théorie. Pour le faire voir, fixons tout d'abord les traits essentiels d'une révolution de ce genre. Choisissons l'exemple de la relativité dite restreinte, qui est encore dans toutes les mémoires: cet exemple est devenu si classique qu'il va nous suffir de quelques mots.

On se souvient qu'avant la découverte d'EINSTEIN, une certaine partie de la physique était le siège de contradictions intolérables. Il était impossible de faire accorder la cinématique ordinaire et la théorie de l'électromagnétisme. Pour que les contradictions disparaissent, il suffit de substituer au schéma théorique de la cinématique ordinaire un autre schéma pouvant rendre les mêmes services; une autre cinématique; la cinématique, précisément, qui fait l'objet de la théorie de la relativité dite restreinte. Ces deux cinématiques, la cinématique ordinaire et celle d'EINSTEIN étant d'ailleurs dans le même rapport que deux géométries, l'une euclidienne et l'autre non euclidienne.

Voilà donc le schéma de cet événement scientifique si considérable. Nous allons voir maintenant que les mathématiques — toutes proportions gardées — offrent à un œil un peu averti, un

spectacle absolument pareil. Le siège de la révolution que nous allons décrire se trouve même dans le domaine qu'on considérerait un peu comme le Saint des saints, dans la logique. Je ne pourrai malheureusement aller au but aussi directement qu'il y a un instant, à propos du passage d'une cinématique à l'autre. Je ne pourrai me dispenser de remonter aux fondements, et de commencer, si singulier que cela paraisse, par une digression sur la notion de l'objet, sur la notion tout ordinaire de chose matérielle, possédant forme et couleur et occupant une certaine portion d'espace. C'est là une notion des plus simples et dont le sens est des moins problématiques. Je vous prie cependant de ne point vous arrêter à cette indubitable simplicité. L'observation des tout petits enfants a mis hors de doute qu'ils ne possèdent pas dès leur naissance la connaissance de ce que c'est qu'un objet. Ils ne savent pas dès leur première enfance rassembler et coordonner les impressions sensorielles qui devraient appartenir à *un seul et même objet*. Ces impressions qui varient lorsque l'objet et l'enfant se déplacent l'un par rapport à l'autre, ou lorsque l'objet affecte des sens différents, restent comme éparpillés dans la conscience, et ne sont pas encore associés. L'objet n'est pas encore reconnu comme identique à lui-même sous ses différents aspects, il n'est pas encore individualisé, il n'est pas encore perçu comme tel.

Au contraire, il faut un assez long développement physique et mental pour que les impressions tactiles viennent rejoindre les impressions visuelles, et s'y superposer ; pour que la mémoire des yeux s'accorde avec celle des lèvres et des doigts. L'enfant n'entre que petit à petit en possession du mécanisme mental qui va lui permettre de réaliser la permanence et l'identité de l'objet sous la multiplicité des sensations, de concevoir l'unité du lieu sous la diversité des images.

Il y a donc, dans le développement de l'enfant, un stade où celui-ci ne possède pas encore la faculté de nouer en faisceaux les sensations qui l'assaillent. Il n'a pas encore à sa disposition le système de normes ; sa mémoire n'a pas encore dégagé et fixé les points de repères qui le rendront capable de comprendre le langage des signaux que ses sens captent. Ces repères et ces normes forment la substance de ce que nous voulons appeler une *forme intuitive*. *Les sensations ne deviennent objet que par projection sur cette forme, que par leurs rapports au cadre des normes et des repères.*

Ces observations mettent clairement en lumière que ce que nous nommons un objet n'est qu'un découpage plus ou moins schématique de la réalité. L'objet n'est pas directement donné, comme une réalité immédiate, dans une intuition qui en prendrait possession d'un seul coup et jusque dans son essence. L'objet n'est au contraire qu'un schéma, fourni par un mécanisme mental assez compliqué; il n'est qu'une image imparfaite, on est tenté de dire provisoire et superficielle, image non pas d'une réalité en soi, mais une résultante des associations et des coordinations dont cette réalité nous a fourni l'occasion.

Veillez maintenant établir une comparaison entre la façon dont se forme en nous la représentation d'un objet et la façon dont le physicien, par exemple, fixe l'aspect de l'une ou de l'autre de ses réalités. Il a besoin tout d'abord d'un certain nombre d'observations qui viendront remplacer les impressions sensorielles immédiates. Ces observations ne deviennent ensuite réalité que sur la base d'un certain schéma théorique, comme celui de la cinématique ordinaire ou comme celui de la cinématique d'EINSTEIN, ou aussi, pour ne pas chercher si loin, comme celui de la géométrie ordinaire. *Ce schéma théorique correspond à ce que nous avons nommé la forme intuitive.* L'acte d'interprétation qui, sur la base des observations d'une part, du schéma théorique d'autre part, construit une réalité, *correspond à l'acte mental* qui construit l'objet par la projection des sensations sur l'ensemble des repères intuitifs. Ainsi donc, dans la perception du plus simple des objets, on peut déjà distinguer les traits essentiels de toute investigation scientifique de la réalité, et en particulier cette *activité interpré-
tatrice* qui confère un caractère nettement schématique à toute notre connaissance du monde extérieur.

Poussons notre comparaison un pas plus loin. Le schéma théorique nécessaire à l'interprétation des résultats d'observation met en relation les différentes grandeurs physiques telles que la distance, la masse, la vitesse, le potentiel, etc., et ces relations sont les *lois* du domaine envisagé. Si notre comparaison est fondée, la forme intuitive, où la création mentale « *objet* » prend naissance, doit contenir aussi les lois de l'objet, en même temps que les autres notions qui y interviennent. Existe-t-il vraiment des lois de ce genre? Sans doute. La plus simple est peut-être la suivante: *Un objet ne peut être à la fois présent et absent.* Par une légère

progression dans l'abstrait, en intégrant pour ainsi dire l'absence sur toute la gamme des localisations, on passe de l'absence au non-être, et de même on passe de la présence à « l'être tout court », en laissant tomber dans l'oubli tout ce qui est qualité sensible.

Les premières lois de l'objet s'énoncent alors ainsi :

a) Pour tout objet on a seulement les deux possibilités suivantes :
Il est ou il n'est pas. On peut apercevoir dans cet énoncé la forme la plus primitive du principe logique du tiers exclu.

Une seconde loi de l'objet serait ensuite la suivante :

b) Les deux possibilités précédentes s'excluent. C'est la forme primitive du principe logique de contradiction.

On pourrait y ajouter le principe d'identité :

c) Tout objet reste le même (avant ou après un déplacement).

Les notions qui viendraient ensuite sont celles qui s'expriment par les conjonctions *et* et *ou*, qui mettent en relation tout d'abord deux objets quelconques. L'une des nouvelles lois qu'on obtiendrait immédiatement serait équivalente, par exemple, à la règle de logique que voici :

Nier *a* ou *b* c'est affirmer non-*a* et non-*b*

et ainsi de suite. Je n'ai nullement l'intention de reprendre toutes les formules de la logique et de montrer que chacune d'elles correspond à une loi de l'objet. Ce que j'en ai dit me paraît suffisant pour faire voir que l'on peut envisager la logique d'un point de vue où la notion de vérité absolue n'intervient en aucune façon. La logique prend au contraire la forme d'un chapitre de la physique du premier chapitre pourrait-on dire, de celui qui formule les lois — empiriques naturellement — de l'objet quelconque. Je résume cette digression dans la formule que voici : *La logique sous sa forme la plus primitive, peut être envisagée comme une physique de l'objet quelconque.*

J'insisterai encore sur le fait que les lois de l'objet nous paraissent de la plus haute évidence ou de la plus grande banalité, parce qu'elles sont inscrites dans la forme intuitive où la notion d'objet est fondée. Mais il est clair que cette évidence est maintenant d'ordre physiologique, et n'a plus rien à faire avec l'idéal d'une vérité absolue. La sécurité avec laquelle les lois de la logique peuvent être employées n'est que l'expression de l'efficacité, de l'adéquation de la physique de l'objet à la réalité qu'elle vise.

Maintenant que nous avons découvert ce qui pourraient être les origines empiriques de la logique, je ne vous exposerai pas comment celle-ci se constitue en un schéma abstrait ou théorique, dont le champ d'application s'éloigne de plus en plus de son objet primitif. Le trait essentiel de cette extension consiste à *porter* les lois de l'objet dans la sphère des *objets mentaux*, des objets de pensée.

Cette extension est d'ailleurs toute naturelle, et dans la physique aussi, ou dans toute autre science, il arrive souvent qu'une théorie, inventée pour servir d'explication à certains phénomènes soit portée au delà de son champ d'application primitif. L'exemple que j'ai rappelé de la cinématique ordinaire qui ne voulait pas cadrer avec l'électromagnétisme en est une illustration.

Dans la comparaison que nous sommes en train de faire, les analogies deviennent de plus en plus nombreuses et de plus en plus pressantes. Mais — pensez-vous peut-être — il y a un point où cette comparaison boîtera nécessairement. Pour en rester justement à la cinématique ordinaire, l'extension qu'on en faisait au delà de sa sphère d'efficacité, qui ne dépasse pas une certaine décimale dans l'approximation, cette extension s'est heurtée à des contradictions insurmontables et il a fallu y renoncer. Tandis que la logique, pourvu qu'on en respecte les règles, ne pourra jamais se heurter à la contradiction. Eh bien, les faits ne respectent pas plus le schéma théorique de la logique que toute autre théorie. Depuis longtemps on sait que si l'on met une certaine obstination, une certaine raideur à appliquer les lois de notre soi-disant infallible logique, il y a certaines contradictions qu'il est impossible d'éviter. Ces antinomies ne sont, pour la plupart, pas nouvelles. Avec raison on ne les a guère considérées comme un vrai péril pour les mathématiques. Ce sont au contraire — selon l'expression de Poincaré — des pièges dans lesquels on ne tombe que si on le veut bien. Et pourtant, en raison même de leur bénignité, il est profondément irritant de ne pouvoir les écarter sans compromettre aussi maints résultats auxquels on ne voudrait pas renoncer.

Voici la forme ingénieuse qu'on peut donner à l'un d'eux : Il y a dans une bibliothèque des catalogues, et parmi ceux-ci des catalogues qui se mentionnent eux-mêmes et d'autres qui ne se mentionnent pas. Il semble bien que les deux propriétés « de se mentionner » et « de ne pas se mentionner » doivent être des contra-

dictoires au sens de la logique ordinaire. Et pourtant, si l'on imagine « le catalogue de tous les catalogues qui ne se mentionnent pas », les choses ne vont pas sans difficultés. Si l'on admet que ce nouveau catalogue se mentionne on peut immédiatement en déduire qu'il ne se mentionne pas et inversement. Les deux hypothèses, dont *l'une* semble devoir être exacte, conduisent toutes deux à une contradiction.

Evidemment, rien ne nous oblige à imaginer ce catalogue paradoxal. Mais là n'est pas la question. Le fait qui compte, c'est que la logique ne contient aucune règle qui nous défende de le faire, et qui puisse nous empêcher de raisonner comme nous l'avons fait.

Les classes d'objets qui interviennent dans la logique classique doivent être supposées finies. Sur ce point, le domaine des mathématiques, même élémentaires, déborde le domaine de la logique, puisque la plupart des classes d'objets que le mathématicien considère sont infinies, comme la classe ou l'ensemble des nombres entiers ou celle des nombres premiers, ou encore l'ensemble des points d'une droite ou d'un plan, etc. La théorie des ensembles infinis, qu'on peut considérer comme une extension de la logique ordinaire aux classes infinies, fait apparaître d'autres paradoxes, qu'il ne nous sera pas nécessaire de préciser. Ce sont spécialement ces derniers qui ont fortement occupé les mathématiciens et qui ont été l'occasion d'une discussion extrêmement vive, et encore en cours, sur les fondements des mathématiques et de la logique.

Eh bien, si l'on recherche les origines de ces paradoxes, on découvre qu'ils tiennent aux causes que voici :

La logique actuelle permet d'imaginer des relations non seulement entre des objets différents, mais elle admet aussi qu'un objet puisse entrer en relation avec lui-même. Exemple : un catalogue qui se mentionne lui-même. D'autre part elle ne formule aucune restriction concernant les incompatibilités qui peuvent exister entre les diverses relations possibles. Or, il se présente que c'est là trop de libertés à la fois. La logique éviterait certainement les paradoxes tel que celui que je vous ai cité si elle pouvait renoncer, soit au libre choix des incompatibilités, soit à faire intervenir des relations partant d'un objet et y revenant.

Enfin, si l'on examine les antinomies auxquelles conduit la théorie des ensembles, on découvre une cause de trouble encore plus profonde. Un ensemble se définit — selon CANTOR — comme

étant une collection infinie d'objets possédant une propriété caractéristique, sur la foi de laquelle chacun de ces objets est attribué à l'ensemble comme élément.

D'après cette définition les éléments d'un ensemble sont donc des objets au sens que j'ai déjà nommé aristotélien, sens selon lequel les objets sont à considérer comme possédant a priori et de par eux-mêmes certaines propriétés par lesquelles ils peuvent être saisis et classifiés. Il se révèle que cette façon de concevoir l'élément de l'ensemble ouvre la voie aux contradictions.

Nous voici arrivés en un point où nous pouvons reprendre notre comparaison. De même que l'hypothèse du temps absolu ou newtonien, tel qu'il intervient dans la cinématique ordinaire, était la cause du désaccord avec l'électromagnétisme, l'hypothèse de l'objet aristotélien est la cause du désaccord avec le reste de la spéculation mathématique.

Pour que la comparaison soit enfin concluante, il doit suffir — nous semble-t-il — de montrer que la substitution d'une nouvelle notion de l'objet est susceptible de ramener l'équilibre.

Cet objet est ce que j'appelle un *objet purement logique*. Il est aux objets matériels dans la même relation d'abstraction que la droite l'est à ses réalisations physiques, telles que la trajectoire d'un rayon lumineux ou l'arête d'une règle à dessiner.

Ces objets logiques n'ont aucune propriété a priori. Ils n'ont pas d'autres fonctions que d'entrer en relations logiques avec d'autres objets du même genre, et ils n'ont pas d'autres propriétés que celles que ces relations leur confèrent, etc.

Je ne pense naturellement pas à vous exposer dans le détail les traits de la théorie de ce nouvel objet logique.¹ Qu'il me suffise de dire

- a) qu'en acceptant pour les objets logiques les règles de la physique de l'objet quelconque en ce qui concerne l'être et le non-être;
- b) qu'en bannissant les relations qui ne s'établissent pas entre des objets différents;
- c) et en édictant, quant aux collections d'objets logiques infinies certaines règles extrêmement simples et qui ne font qu'exprimer la liberté que nous avons d'imaginer toujours de nou-

¹ F. GONSETH: *Commentarii mathematici helvetici*. Vol. 5, 1933. Sur l'axiomatique de la théorie des ensembles et sur la logique des relations, pp. 108—132.

veaux objets et de les mettre, ou non, en relations les uns avec les autres,

les paradoxes sont tout naturellement rejetés hors de la logique et hors des mathématiques.

Ainsi, trait pour trait, nous avons retrouvé dans le domaine qui semblait le plus à l'abri, le schéma d'une de ces révolutions qui semblaient devoir épargner les mathématiques. La conclusion qui me semble s'imposer est la suivante :

Si, sans se laisser arrêter par la simplicité des notions fondamentales, on porte la discussion jusque dans la sphère de l'intuition, on peut mettre à découvert les origines empiriques de tout l'édifice mathématique, sans en excepter la logique.

Et maintenant, si nous revenons aux deux opinions contradictoires que nous avons citées au début, ni l'une, ni l'autre ne pourra plus nous satisfaire.

Pour celle de GAUSS tout d'abord, la chose est immédiatement claire. La logique étant d'origine empirique, ses règles étant calquées sur celles de la physique de l'objet quelconque, les vérités éternelles dont parle GAUSS ne sont plus essentiellement différentes des vérités d'expérience.

D'autre part, il est également impossible de donner complètement raison à EINSTEIN, car si la logique elle-même a des origines empiriques, si la logique elle-même possède un contenu appréciable de réalité, comment faire le partage entre ce qui est, dans les assertions mathématiques, pure logique et contenu de réalité ? C'est là une constatation que viendrait confirmer une analyse plus ample et plus approfondie, qui embrasserait, en même temps que la logique, aussi les fondements de l'arithmétique et de la géométrie : Il n'est pas possible de vider les axiomes de leur contenu intuitif ou de leur contenu de réalité. Il n'existe pas de logique qui puisse traiter les jugements et les assertions, les axiomes et les théorèmes comme des schémas absolument vides de sens.

Au fond, l'idée d'une logique de ce genre est la sœur cadette de la notion de vérité absolue. Elles appartiennent toutes deux au même cycle d'idées. Elles sont toutes deux insuffisantes, mais de façon en quelque sorte complémentaire : L'une imagine que l'on peut complètement dégager l'abstrait de l'empirique, et l'autre qu'on peut complètement débarrasser l'empirique de l'abstrait.

En résumé les deux notions de vérité purement abstraite et de réalité purement concrète sont toutes les deux trop schématiques, trop exclusives. Elles correspondent certainement, dans leur opposition idéale, à une certaine opposition de fait. L'abstrait s'oppose certainement au concret, le rationnel à l'empirique, le théorique à l'expérimental. Tant qu'on pouvait imaginer que les deux termes de cette opposition pouvaient être isolés l'un de l'autre et réalisés chacun pour soi, la situation semblait parfaitement nette, et paraissait ne pas recéler d'embûche. C'était donc là une vue trop sommaire. Mais par quoi la remplacer? Il est clair que la pensée ne peut renoncer à des notions aussi fondamentales. Celles-ci ne peuvent rester vides de sens. Et si elles ne sont pas réalisées sous des formes nouvelles, elles le resteront sous les formes anciennes. Il y a donc une impérieuse nécessité à retrouver une nouvelle formule d'accord, à recréer un nouveau *modus vivendi*. Mais où faut-il aller chercher un point d'appui?

Avant de passer à la seconde partie de mon exposé, qui s'efforcera de répondre à cette dernière question, permettez-moi d'intercaler ici une remarque. Le chemin que nous avons suivi pour faire voir que plusieurs des notions fondamentales sur lesquelles l'esprit s'appuie, et plus généralement ce qu'on pourrait appeler l'idéologie métascientifique, ne correspondent plus aux besoins actuels, ce chemin est certainement le chemin du mathématicien. Aussi n'ai-je peut-être pas suffisamment appuyé sur le fait que la question que nous traitons, malgré le jour un peu mathématique dont nous l'avons éclairée, est d'une portée tout à fait générale. Cette idéologie entoure et pénètre la pensée plus spécifiquement scientifique; souvent elle l'informe et l'oriente, et il serait bien malaisé de décider quand l'une finit et quand l'autre commence. Je n'en veux pour preuve que les deux citations qui ont ouvert notre débat. Il y a un point où la pensée la plus concrètement scientifique vient se heurter à ces questions générales.

D'autre part, nous avons surtout parlé jusqu'ici de vérité et de réalité, mais qu'il soit bien clair que ce sont au fond les rapports de toute théorie à son domaine expérimental dont il s'agit. Nous nous sommes arrêtés sur l'affirmation que l'on ne peut complètement isoler l'une de l'autre les notions de vérité abstraite et de réalité concrète, mais nous aurions pu dire tout aussi bien que le théorique et l'expérimental ne peuvent pas être réalisés isolé-

ment, non seulement dans la pratique de la recherche scientifique, mais dans leur essence même. Et la question qui reste ouverte, c'est d'arriver à se représenter comment ils se constituent simultanément et quelle est la structure qu'ils impriment, à eux deux, à notre connaissance. Il est à peine nécessaire d'observer que ce sont là des questions qui se posent à partir de toute autre science. En particulier, les derniers développements de la physique les ont déjà rejointes par d'autres voies.

Revenons maintenant à notre sujet et résumons la situation. Les faits semblent montrer que, malgré l'incomparable solidité de l'édifice mathématique, la spéculation mathématique n'est pas essentiellement différente de toute autre spéculation théorique, et que la vérité absolue ne l'habite pas. Même dans le domaine des mathématiques, l'idée d'une vérité absolue est une idée trop simple.

D'autre part, la signification du mot « réalité » est, elle aussi, problématique. Il n'y a pas de sensations toutes brutes, et qui nous apportent une réalité toute faite. Tout est d'abord enrobé dans l'espace et le temps qui constituent aussi la substance de ce que nous avons appelé des formes intuitives. La simple perception d'un objet est l'aboutissement d'une activité mentale essentiellement schématisante. Et toute tentative de pénétrer davantage dans la réalité de cet objet, à partir des données intuitives ou expérimentales, nécessite la création de nouveaux schémas. La mesure des distances, par exemple, est en fonction d'une construction géométrique sous-jacente qui oriente à la fois les manipulations et les calculs. Et, à mesure qu'on progresse dans la description de la réalité, cette description exige des concepts de plus en plus abstraits, pour aboutir par exemple aux notions d'entropie ou de probabilité d'existence. Le réel ne se laisse serrer de près qu'à l'aide de l'idéal et du schématique. Nous en revenons toujours au même point : l'abstrait et le concret, l'idéal et le réel, n'ont pas une existence parfaitement autonome : ils se définissent l'un par rapport à l'autre. Mais encore une fois, comment faut-il concevoir les modalités de leur genèse simultanée ?

Mesdames et Messieurs, il nous faut tout d'abord nous rendre compte de ce que nous sommes en droit d'exiger. Et, pour avoir un point de comparaison, peut-être le plus simple est-il d'examiner comment l'une des vues que nous repoussons a bien pu prendre naissance. Ainsi, par exemple, l'idée platonicienne ou néo-platoni-

cienne, selon laquelle la réalité ne peut être, dans sa structure, que manifestation de la vérité — idée qui, d'ailleurs, pour plusieurs, n'appartient pas encore au passé. Comme j'ai eu déjà l'occasion d'en faire la remarque, la notion de vérité existant pour soi et indépendamment de toutes circonstances a sa source dans le succès de la déduction mathématique. La façon dont l'arithmétique et la géométrie se trouvent réalisées dans les choses devaient frapper avec force un esprit encore neuf. Le succès de la théorie rationnelle de la musique, sans parler des premières explications du système planétaire, devaient puissamment renforcer la croyance que l'étude des nombres et des figures pouvaient dévoiler les derniers mystères. Cette idée devait perdre ensuite de sa forme spécifiquement mathématique, et pénétrer plus ou moins profondément dans tous les compartiments de la pensée. Le point à retenir de ce processus est — me semble-t-il — le suivant : Les rapports à établir entre la vérité et la réalité furent aperçus nettement — du moins on le crut — en un endroit particulièrement adéquat. Une fois conçue, cette idée servit plus ou moins de schéma explicatif dans un domaine plus étendu.

L'histoire d'une théorie qu'on rejette peut être d'un précieux enseignement. Pour nous, la première chose à faire c'est également de rechercher le cas spécial et particulièrement favorable. J'espère que notre tentative ne perdra pas de son intérêt, lorsque je vous aurai dit qu'il n'est pas du tout nécessaire d'aller chercher ce terrain favorable dans les nouvelles théories, mais que la géométrie élémentaire y suffit parfaitement.

Pour base de notre discussion, nous allons choisir tout simplement la notion de droite telle qu'on l'introduit dans les premiers éléments. Chacun retrouvera dans ses souvenirs la façon dont cette notion lui a été suggérée. On propose à l'élève différents exemples, où on lui demande d'apercevoir la notion à définir : le faite d'un toit, l'arête d'une règle à dessiner, ou, en dernière analyse, la trajectoire d'un rayon lumineux, la ligne de visée. On lui demande d'abstraire de ces différents exemples quelque chose qu'ils ont en commun, d'apercevoir en chacun d'eux une chose idéale, la droite géométrique. De même on lui demande d'imaginer un objet de plus en plus petit, plus petit encore que tout objet qu'il aurait déjà imaginé, pour conduire son esprit à la notion de lieu précis, de point géométrique. On lui demande encore d'apercevoir sur les exemples proposés, les premières propriétés de ces êtres abstraits,

les droites et les points. C'est là un acte de véritable création mentale qu'il faut se garder de diminuer. Supposons cet acte accompli, supposons les notions acquises. Nous dirons alors que les exemples dans lesquels on les a d'abord aperçues en sont des réalisations. Ainsi donc, la ligne de visée réalise dans le phénoménal la notion idéale de droite qui, elle, appartient au monde mental.

Remarquons bien que ce passage de la notion intuitive, de la ligne de visée, à la notion idéale, la droite, est quelque chose qui ne peut absolument pas être décrit. Une fois qu'on la conçu, on peut l'évoquer. Mais notre pouvoir d'explication ne va pas plus loin. Il y a là un fait d'une essence tout à fait sui generis.

Il n'est naturellement pas question de dire que la droite *est* dans la ligne de visée : on sait fort bien qu'il n'y a pas de trajectoire parfaitement droite. Et l'arête d'aucun corps ne peut fournir une réalisation en principe meilleure, puisque, si l'on descend à l'échelle atomique, la notion même d'arête s'évanouit dans l'indéterminé. Sans doute, ce sont les réalisations physiques qui nous ont suggéré les notions géométriques, mais on peut dire que c'est par le fait d'une connaissance imparfaite de la réalité, par un heureux malentendu, que nous avons accepté la suggestion. On rend en partie compte de ces circonstances en disant que la droite est une image schématique de la réalité. Dans un schéma, la réalité ne se trouve pas représentée dans tous ses détails, seuls certains traits sont conservés, et certains rapports évoqués. Un schéma n'est en aucune façon une représentation fidèle en un sens absolu : il n'est compréhensible que si on en possède la clef explicative. Ce qu'on exprimera en disant que l'adéquation du schéma à son objet est symbolique. Tous ces caractères se retrouvent dans le parallélisme existant entre la notion de droite et ses réalisations. C'est pourquoi nous appellerons « schématisation axiomatique » le processus mental dont elle est l'aboutissement. Axiomatique, parce que les premiers rapports qu'on aperçoit entre les éléments de ce schéma sont les axiomes de la géométrie.

On n'insistera jamais trop sur le fait que cette schématisation axiomatique s'accompagne d'une véritable transmutation des notions qui y participent. Nous dirons que, pour passer d'un sens à l'autre, il faut franchir un seuil d'axiomatisation. L'axiomatisation dédouble les notions qui lui sont soumises en un abstrait et un concret relatifs l'un à l'autre.

La notion idéale de droite géométrique n'a-t-elle rien gardé de ses origines intuitives? On peut faire ici une expérience de pensée aussi simple qu'instructive. On peut donner de la géométrie élémentaire (comme aussi des autres géométries) des modèles fort différents les uns des autres. L'un des plus simples s'obtient de la façon que voici: On appelle droite tout cercle passant par un point fixe choisi d'avance, et angle de deux droites l'angle des deux cercles que nous leur faisons ainsi correspondre, et ainsi de suite. On change les noms de toutes les notions de la géométrie, et il se présente que si l'on a su choisir ce déguisement, la géométrie ainsi masquée imite tous les gestes de la géométrie primitive. La géométrie entière peut être ainsi transposée, sans y changer un iota.

Y a-t-il des raisons de préférer l'un de ces modèles à tout autre? En quoi diffèrent-ils et qu'ont-ils en commun? Il est peut-être plus facile de découvrir tout d'abord ce qu'ils ont en commun. Dans ce but, il faut rechercher ce qu'on pourrait apercevoir d'identique dans les uns et les autres. La chose ne comporte pas de difficultés extraordinaires. Voici comment on procédera:

On va envisager les notions fondamentales, la droite, le point, etc., sous un aspect encore plus dépouillé. On va dire: Je ne veux retenir de la droite que le fait d'être un certain objet d'une certaine catégorie, dont je ne veux connaître d'avance aucune propriété. Et de même pour les points. Lorsque une droite A devra contenir un point a , je dirai maintenant que A et a sont dans une certaine relation, qui n'aura plus aucune signification intuitive, donc une relation de seule logique. Les axiomes indiqueront d'eux-mêmes comment ces relations sont à traiter et comment il faut les combiner. La géométrie tout entière est alors un édifice de relations logiques, où interviennent la relation J qui correspond à l'incidence d'un point et d'une droite, la relation P qui correspond au parallélisme de deux droites, et ainsi de suite. Sous ce nouvel aspect, deux modèles différents de notre géométrie ne peuvent naturellement plus être distingués l'un de l'autre. Ce qu'ils ont en commun, c'est donc la structure logique.

Mais je ne sais si vous avez observé une ressemblance assez frappante entre ce que je viens de dire, du passage aux relations logiques, et ce que je disais tout à l'heure du passage aux notions de la géométrie. Je demandais qu'on veuille bien apercevoir une même notion idéale, la droite, dans des images intuitives différentes,

et maintenant je demande qu'on aperçoive une même relation logique dans des relations géométriques différentes. Je demande qu'on veuille bien faire abstraction de certaines différences que nous savons distinguer pour imaginer une identité idéale, d'un genre plus abstrait encore.

Vous devinez maintenant où j'en veux venir : l'introduction des relations logiques n'est pas autre chose qu'une nouvelle schématisation axiomatique. Pour passer du géométrique au logique, il faut franchir un nouveau seuil d'axiomatisation. Tout à l'heure, le géométrique était un abstrait par rapport à l'intuitif. Maintenant c'est un concret par rapport au logique. Abstraction il y a un instant, c'est maintenant une réalisation d'un abstrait plus subtil.

En franchissant ce nouveau seuil d'axiomatisation, les notions géométriques ont perdu une partie de ce que l'on pourrait appeler leur substance, tout ce qui est forme, tout ce qui rappelle le monde des sens ou des phénomènes. En un mot, ce sont justement les caractères qu'on s'accorde à nommer spécifiquement géométriques, qui ne trouvent pas accès dans le domaine de la logique.

C'est en revanche dans ce que l'axiomatisation a fait disparaître qu'il faut chercher ce qui fait l'individualité de l'un ou de l'autre de nos modèles. Par conséquent, si l'on veut savoir où se fonde l'idée du géométrique, ce n'est pas du côté de la logique qu'il faut regarder, où il n'y en a plus trace ; c'est dans l'autre direction, vers l'intuitif. Le géométrique a sa sphère d'existence comprise entre la première axiomatisation, qui lui faisait un visage abstrait face au côté intuitif de notre connaissance, jusqu'à la seconde qui en faisait un concret face au côté purement logique. C'est dans ce double rôle que s'épuise la signification du mot géométrie. En résumé, les notions géométriques sont des images idéales appuyées sur le réel objectif, des représentations schématiques dont le sens n'est intelligible qu'en tenant compte des réalités qu'elles visent. Il n'y a pas de droite sans la connaissance préliminaire de certaines réalisations plus ou moins grossières ; l'idée de droite ne peut être complètement isolée de ces images intuitives. La distinction entre abstrait et concret n'est donc pas un fait existant de par lui-même. Cette opposition est le fait d'une méthode de notre esprit, lorsqu'il recherche la connaissance, méthode qu'on aurait tout lieu de nommer méthode axiomatique.

Il me faut encore ajouter un trait au tableau que je suis en train de dresser. Je vous ai montré les notions de la logique succédant à celles de la géométrie dans le processus axiomatique qui va vers l'abstrait. Il va sans dire que la géométrie n'est pas le seul champ de réalisation possible pour les relations de la logique, mais ceci est un détail sans importance pour ce que nous avons en vue. Le trait que je voudrais ajouter se rapporte aux notions intuitives qui précèdent les notions de la géométrie : les notions d'arête d'un corps, de ligne de visée, etc. Ces notions appartiennent à ce qu'on pourrait appeler la sphère de l'objet, au même titre que celles, par exemple, de maison ou de cheval. Est-il possible de distinguer, dans la façon dont elles se constituent, un processus qui rappelle notre axiomatisation ? La réponse est déjà contenue dans ce que j'ai eu l'occasion de dire de la notion de l'objet chez les petits enfants : elle est nettement affirmative. Toutes les explications que j'ai données à ce moment-là concourraient à faire voir que la notion même de l'objet est abstraite d'un concret, concret représenté par les sensations diverses dans lesquelles il s'agit d'apercevoir une permanence idéale, celle de l'objet.

Il en va de même des concepts tels que ceux de maison, de plante ou de cheval, par exemple. Le concept de maison, que nous ne choisissons entre tous que pour fixer les idées, ne se définit certainement pas au sens aristotélicien, en énumérant sans en oublier une, toutes les propriétés distinctives que la maison doit posséder : qu'elle a des murs et un toit, des fenêtres, et une porte au moins, etc. L'une ou l'autre de ces propriétés peut manquer, sans que la chose décrite cesse d'être une maison véritable. A la rigueur, on pourrait imaginer une maison sans fenêtre et une maison sans porte, dans laquelle on entrerait par la fenêtre, et ainsi de suite. Non, l'énumération des qualités soi-disant distinctives n'est pas la voie par laquelle le concept en question s'est formé. Au contraire, on peut admettre que, de la connaissance de telle et telle maison, l'esprit a dégagé, a abstrait un certain *type*, aux contours plus ou moins fixes, à la signification plus ou moins rigide. Un objet est reconnu comme étant une maison, s'il est suffisamment conforme à ce type, l'appréciation de la conformité pouvant d'ailleurs varier selon les circonstances. Le type est, dans la sphère de l'objet, la notion idéale, abstraite, et les individus qui ont concouru à la formation de ce type, ou qui lui sont par la suite re-

connus conformes, en sont les réalisations. De ce point de vue, la notion de type paraît prendre dans les sciences énumératives ou descriptives, la même position de principe, la même vertu explicative que les notions géométriques dans les sciences dites exactes.

Jetons maintenant un rapide regard sur ce que nous venons de faire. Nous avons encadré l'axiomatisation qui donne naissance aux notions géométriques de deux axiomatisations, l'une qui la précède et qui donne naissance aux concepts des différents objets, l'autre qui lui succède et par laquelle les notions de la logique se constituent en objets de pensée autonomes. A trois étages différents de la pensée, nous avons reconnu que ce qui vient s'inscrire dans notre connaissance, ce n'est certainement pas une reproduction directement fidèle du monde extérieur; ce qui est inscrit dans notre esprit, c'est au contraire un étagement d'images schématiques, sommaires et provisoires. Dans les trois cas, la connaissance même de la réalité prenait la voie marquée par les mots: abstraction, schématisation et axiomatisation.

Nous avons dit: Il nous faut tout d'abord apercevoir sur un point favorable ce que nous pourrions mettre à la place de l'idée trop simple qui oppose les deux termes: vérité et réalité. C'est ce que nous venons de faire: à trois reprises. Et je ne pense pas qu'il soit encore nécessaire de souligner combien le processus de la schématisation axiomatique tel que je viens de l'exposer, dépasse le cadre étroit des opinions traditionnelles. La formulation d'un axiome n'est ni l'expression d'une vérité transcendante, ni une définition arbitraire: C'est, au contraire, une opération qui descend profondément dans la description du réel, et qui, en le saisissant, lui donne l'empreinte, à la fois idéale et provisoire, qui convient à la structure de notre esprit.

Et de même que le domaine de la géométrie resterait toujours fermé à celui qui se refuserait à en imaginer les notions fondamentales, à créer par son propre effort les images qu'on cherche à lui suggérer, de même je ne crois pas qu'une enquête sincère, sur ce que le mot de réalité peut signifier, puisse éviter l'effort qu'exige la nette conception de la méthode axiomatique que nous venons d'esquisser très sommairement.

Maintenant, d'ailleurs, le point essentiel est atteint. Le reste de notre tâche est marqué d'avance. Nous aurions à nous rendre compte si l'idée nouvellement acquise doit rester enfermée dans le

domaine qui lui a donné naissance, ou bien si elle convient aussi à d'autres domaines de la pensée. Or, rien ne s'oppose à ce que notre méthode fasse rapidement tache d'huile. Les autres parties des mathématiques tout d'abord peuvent facilement être placées sur la même base. On rejoint ainsi tout naturellement les vues de HELMHOLTZ sur l'origine empirique de l'arithmétique, auxquelles j'ai déjà fait allusion. Et quant à la logique ordinaire, nous avons à peine à revenir sur ce que nous en avons déjà dit. *Voir* dans les règles de la logique une extension des lois de la physique de l'objet quelconque, c'est précisément faire le pas décisif pour l'engendrer selon notre méthode. Bien plus : le passage de la logique ordinaire à la logique modifiée qui permet d'éviter les antinomies, est rigoureusement et strictement une schématisation axiomatique à partir de la logique d'Aristote. La notion d'élément logique est l'abstrait dont le concret relatif est l'objet au sens d'Aristote.

On se dirige ensuite vers la physique, par une pente toute naturelle. Notre méthode a précisément donné aux mathématiques élémentaires l'aspect d'un chapitre de la physique ; à la logique l'aspect d'une théorie de l'objet ; à l'arithmétique celui d'une théorie des groupements et des permutations de plusieurs objets ; à la géométrie celui d'une théorie de l'espace sensible ou de l'espace physique. Sur la base de notre méthode, la voie s'ouvre tout naturellement à la compréhension des géométries non-euclidiennes, théories elles aussi du même espace. Le fait que ces différentes géométries sont également vraies du point de vue mathématique, c'est-à-dire qu'elles sont également non-contradictoires, ne préjuge en aucune façon de leur plus ou moins grande efficacité pour la représentation de l'espace des phénomènes.

Et puisque nous venons de rencontrer à nouveau la vérité mathématique, qu'il me soit permis d'ajouter une brève remarque. Les notions du vrai et du faux se retrouvent dans la reconstruction axiomatique de la logique ordinaire. Mais ces notions ont perdu leur redoutable visage d'absolu : elles aussi, elles ont pris la forme de notions idéales et schématiques, abstraites des concordances et des discordances de la sphère intuitive. Elles continuent alors à vivre d'une vie un peu diminuée et ramenée à l'échelle humaine.

Pour en revenir à la physique, il n'y a qu'un pas à faire pour passer de la géométrie à la cinématique, que celle-ci soit classique ou einsteinnienne. Les cinématiques sont en effet des théories de

l'espace-temps, absolument comme les géométries sont des théories de l'espace tout court. On pourrait continuer de la sorte, mais on peut aussi immédiatement envisager les choses d'un point de vue plus général. Au même titre que la géométrie vis-à-vis de nos représentations intuitives, toute théorie rationnelle est au matériel d'observations qui la supporte, dans la relation axiomatique d'un abstrait au concret de ses réalisations. Des sciences dites exactes, on peut passer aux sciences plus spécialement descriptives et énumératives. L'introduction de la notion de type, dont j'ai déjà parlé, permet aussi de les apercevoir dans la position axiomatique.

Le cycle des incarnations de notre méthode n'est pas encore complet. Il y a un autre problème qui est tout proche de celui de la signification des notions mathématiques ou généralement des notions scientifiques: c'est le problème de l'efficacité du langage, le problème de l'adéquation des mots aux choses. Encore ici, les mots sont des abstraits selon la méthode de la schématisation axiomatique. Et ce n'est pas sans un certain saisissement que l'on voit alors la notion même de l'être tomber de son piédestal, dans la foule des notions imparfaites et sommaires.

Ainsi de proche en proche, on reconnaît dans tout ce qui est expression et objet de cette expression, pensée et objet de la pensée, connaissance et objet de la connaissance, le dualisme dont nous avons aperçu le modèle dans la géométrie élémentaire. Dans tous les domaines et à tous les étages, l'activité de notre esprit lorsqu'il tend à la connaissance, reste profondément identique à elle-même.

Et enfin, veuillez observer que mes explications elles aussi, n'échappent pas à cette règle. Je vous demande de ne pas vous laisser arrêter par les différences certaines qu'il y a entre la fonction du langage ordinaire, et celle du langage des symboles des mathématiciens, ou entre la formation de nos connaissances intuitives et l'érection de la théorie qui en est la plus éloignée. Je vous demande de faire abstraction de ces différences, et de concevoir une identité qui leur soit commune à tous. ... Vous reconnaissez ici même l'image de la schématisation axiomatique.

Et je ne saurais formuler de conclusion plus frappante que celle-ci: *Même les explications que je vous ai données apportent leur témoignage en faveur des vues que j'ai formulées.*

La Géologie du Jungfrauoch

Conférence faite le 8 août 1932 sur le Plateau du Jungfrauoch (3493 m)

par

LÉON-W. COLLET

Professeur de Géologie à l'Université de Genève

Dans sa belle synthèse des Alpes Occidentales, EMILE ARGAND a montré que les Alpes ont été formées dans un sillon marin, une Méditerranée ancienne, que les géologues qualifient de *géosynclinal*. L'Indo-Afrique formait la rive méridionale de cette mer, dont le rivage septentrional, dans la région qui nous occupe, était constitué par le massif de Gastern et le massif de l'Aar.

Le célèbre géologue autrichien EDOUARD SUESS envisageait le rivage nord du géosynclinal comme un *avant-pays*, tandis que les terres qui le limitaient au Sud représentaient l'*arrière-pays*. Tous deux étaient des zones rigides de l'écorce terrestre, alors que le fond de la mer qui les unissait se trouvait être, au contraire, une zone élastique. Des faits d'observation, indéniables, prouvent un déplacement de l'arrière-pays vers l'avant-pays. Pour satisfaire à cette poussée venant du Sud, le fond du géosynclinal s'est plissé, donnant ainsi naissance aux nappes penniques. La région du Helsenhorn qui ferme au loin, vers le Sud, la vallée du glacier d'Aletsch appartient aux plus basses de ces nappes qui forment les Alpes Pennines.

Sous l'effet de la poussée alpine les massifs de l'Aar et de Gastern, qui auparavant ne formaient qu'une seule masse dans l'avant-pays, ont acquis leur individualité actuelle. Mais cette poussée alpine ne s'est pas fait sentir de la même manière sur les roches cristallines et les roches sédimentaires de couverture. En effet, plus rigides que les sédiments, les granites et les gneiss ont été cassés en coins, tandis que les sédiments de couverture se plissaient pour former les nappes des Hautes Alpes calcaires bien connues à la suite des travaux de MAURICE LUGEON.

Les montagnes que nous voyons d'ici encadrer le glacier d'Aletsch, appartiennent au massif de l'Aar. Ce sont, sur rive

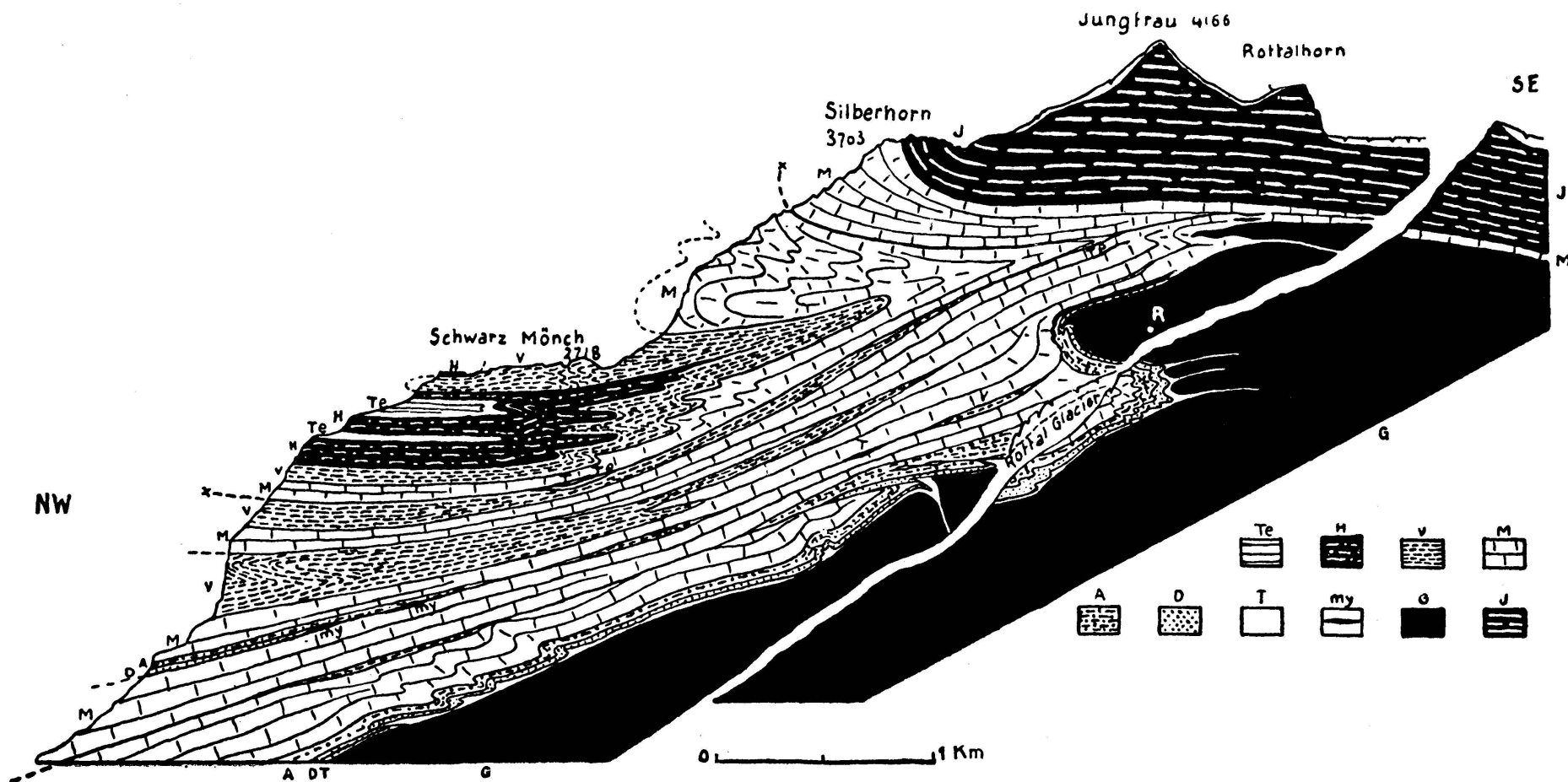


Fig. 1. PROFIL DE LA JUNGFRAU, d'après Léon-W. Collet et Ed. Paréjas

Te = Tertiaire. H = Hauterivien. V = Valanginien. M = Jurassique sup. A = Argovien. D = Dogger. T = Trias.
 my = Mylonites gneissiques. G = Cristallin du massif de Gastern. J = Granite. R = Cabane du Rottal (S. A. C.).

gauche: l'Eggischhorn, le Kamm, le Faulberg, le Grüneck et le Trugberg. Sur rive droite: le Dreieckhorn, le Kranzberg.

Le massif de Gastern n'est pas un massif au sens géographique, mais bien au sens géologique. En effet, il forme ici le soubassement de la Jungfrau, du Jungfraujoeh et du Mönch. Je vous le montrerai à peu de distance d'ici tout à l'heure, à la base de l'hôtel Fels et du Sphinx.

Pour bien comprendre la géologie du Jungfraujoeh, jetons un coup d'œil sur la grande planche que d'aimables collègues ont tant de peine à maintenir contre le vent du Nord qui nous vaut enfin le beau temps. C'est le profil de la Jungfrau et du Mönch.

Du point de vue géologique la Jungfrau est très importante, car sur son versant ouest, celui du Rottal, on peut étudier sa structure de Stechelberg au sommet de la montagne, soit sur une coupe naturelle de 3200 mètres de hauteur. Les éléments structuraux qu'on y reconnaît appartiennent au Cristallin de Gastern à la base, à mi-hauteur au sédimentaire de couverture de ce dernier massif, et enfin au Schwarzmönch et au sommet de la Jungfrau à la nappe de Morcles-Doldenhorn, la plus inférieure des nappes des Hautes Alpes calcaires.

Vous remarquerez sur ce profil qu'au SE le sédimentaire qui sépare le granite du sommet de la Jungfrau du Cristallin de Gastern est très fortement réduit, tandis que sur le versant N-W de la montagne les roches sédimentaires ont une très grande épaisseur, comme vous pouvez vous en rendre compte en jetant un coup d'œil sur la formidable paroi calcaire du versant nord du Mönch. Cette observation s'explique aisément si l'on tient compte du fait que la nappe Morcles-Doldenhorn, comme l'ont montré BUXTORF et LUGEON, s'enracinant dans la zone du Lötschental, a déferlé par dessus le massif de Gastern. Ainsi le sédimentaire de couverture de ce dernier massif a été raclé au S-E et empilé sous forme d'écailles sur le versant N-W.

Le granite qui forme le sommet de la Jungfrau appartient au noyau d'une digitation inférieure de la nappe Morcles-Doldenhorn, tandis qu'une digitation supérieure apparaît en involution au sommet du Schwarzmönch et sous le Silberhorn.

L'étude que nous venons de faire du profil de la Jungfrau va nous permettre de mieux saisir les conditions géologiques du Jungfraujoeh.

Au Jungfraujoch nous nous trouvons dans la continuation, au N-E, de la partie supérieure du profil de la Jungfrau. Nous allons dans quelques minutes pouvoir toucher, à l'hôtel Fels, au contact non seulement du granite de la Jungfrau avec le sédimentaire sous-jacent, mais encore étudier les complications de ce dernier et celles du Cristallin de Gastern sous-jacent.

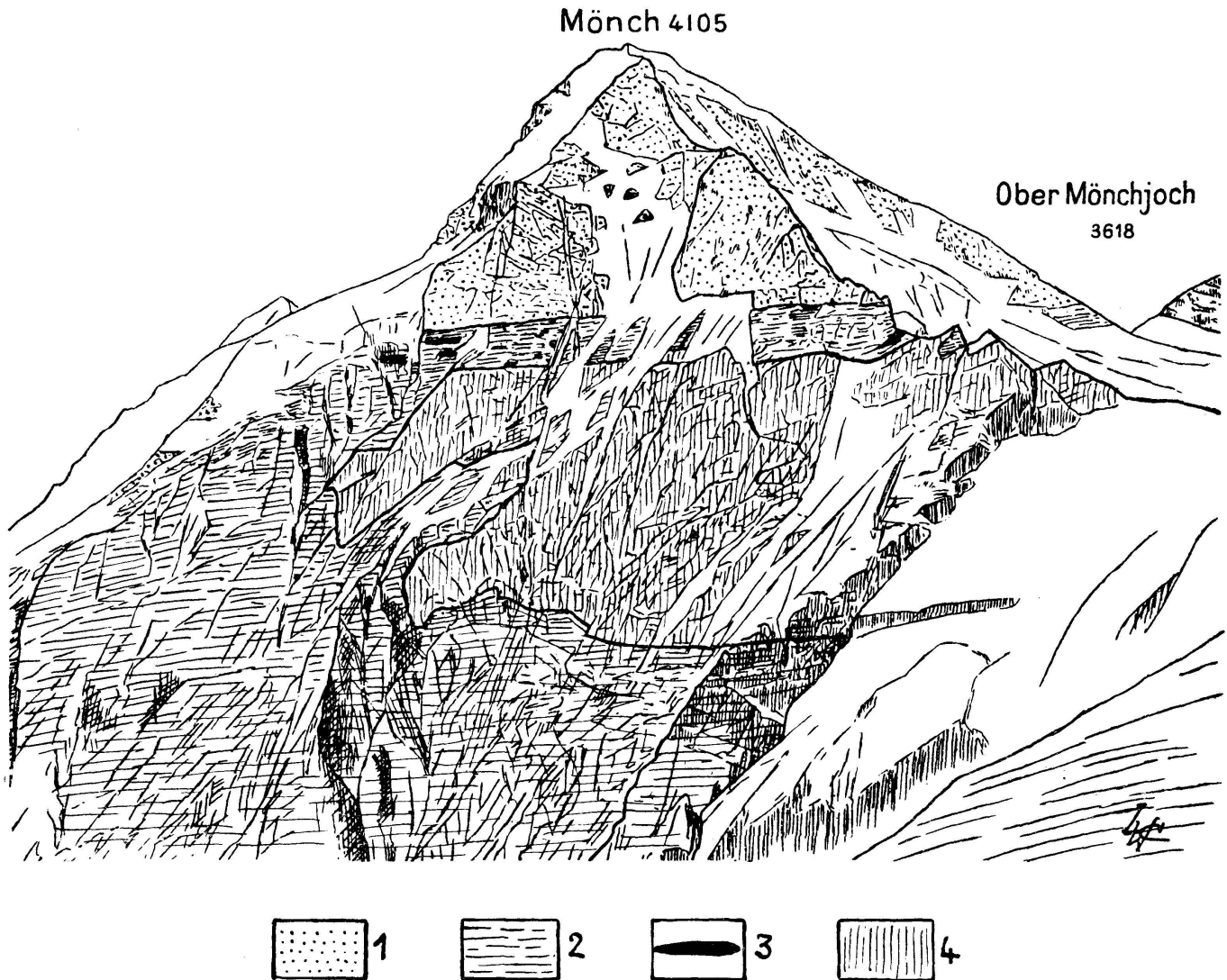


Fig. 2. LA PAROI NORD DU MÖNCH, d'après Léon-W. Collet et Ed. Paréjas
1 = Granite. 2 = Sédimentaire. 3 = Mylonites. 4 = Cristallin du massif de Gastern.

Le plateau du Jungfraujoch, sur lequel nous nous trouvons, est entaillé dans les couches tendres du sédimentaire qui supporte le granite de la Jungfrau. Il en est de même de l'Obermönchjoch que vous voyez entre le Mönch et le Trugberg. Malgré la neige fraîche des jours passés, qui saupoudre la paroi nord du Mönch, il est aisé de voir d'ici que la partie sommitale de cette montagne

est en granite à patine rougeâtre contrastant avec le gris-noir des calcaires qui descendent jusqu'à la cabane du Guggi, ce nid d'aigle rouge que vous voyez à vos pieds, très bas. Le même phénomène s'observe dans la partie supérieure du Sphinx, là tout près de vous.

Le Berghaus, le Touristenhaus et la Station Scientifique Internationale sont bâtis sur le Cristallin de Gastern qui supporte une épaisse zone noire de sédimentaire sur laquelle repose le granite qui forme le sommet du Sphinx. Vous pourrez fort bien vous rendre compte de ces derniers faits lors de votre prochaine visite à la Station Scientifique.

Ces grandes lignes observées, il vaut la peine de regarder d'une manière plus détaillée la paroi nord du Mönch que nous pouvons presque toucher du doigt. Sous le granite du sommet on repère facilement une bande de sédimentaire noirâtre, sous laquelle nous voyons deux coins de Cristallin de Gastern, à patine brunâtre, entourés à l'avant par du sédimentaire. Ceux d'entre vous qui participeront à l'excursion du Rottal, dans deux jours, retrouveront ces mêmes éléments tectoniques à l'Ouest d'ici, mais à une altitude inférieure. Nous en déduisons donc une montée d'axe vers le N-E.

Si vous examinez maintenant plus spécialement la bande de sédimentaire que nous voyons entre les gneiss de Gastern du coin supérieur et le granite du sommet du Mönch, vous remarquerez de petites lentilles facilement reconnaissables à leur couleur rougeâtre qui tranche sur le noir des calcaires. Ce sont des *mylonites* cristallines, c'est-à-dire des lentilles de roches cristallines écrasées. Que font-elles au milieu des calcaires ?

Nous avons dit précédemment que sous l'influence de la poussée alpine le massif de Gastern avait été cassé en un certain nombre de coins. Les deux coins que je viens de vous montrer dans la paroi nord du Mönch appartiennent à cette catégorie de phénomènes. Certains de ces coins cristallins, plus minces, sont laminés et tronçonnés. Ce sont ces tronçons qui forment les lentilles de mylonites.

On ne voit pas ici la liaison des mylonites avec un coin cristallin, mais j'ai trouvé, avec M. le Professeur PARÉJAS, le développement de ce phénomène dans l'Innerfaflertal, petit vallon qui s'ouvre au Nord de Fafleralp dans le Lötschental.

Vous trouverez de ces mylonites tout près d'ici dans le sédimentaire qui supporte le sommet granitique de l'hôtel Fels. Nous les verrons ensemble dans quelques minutes. Le même phénomène

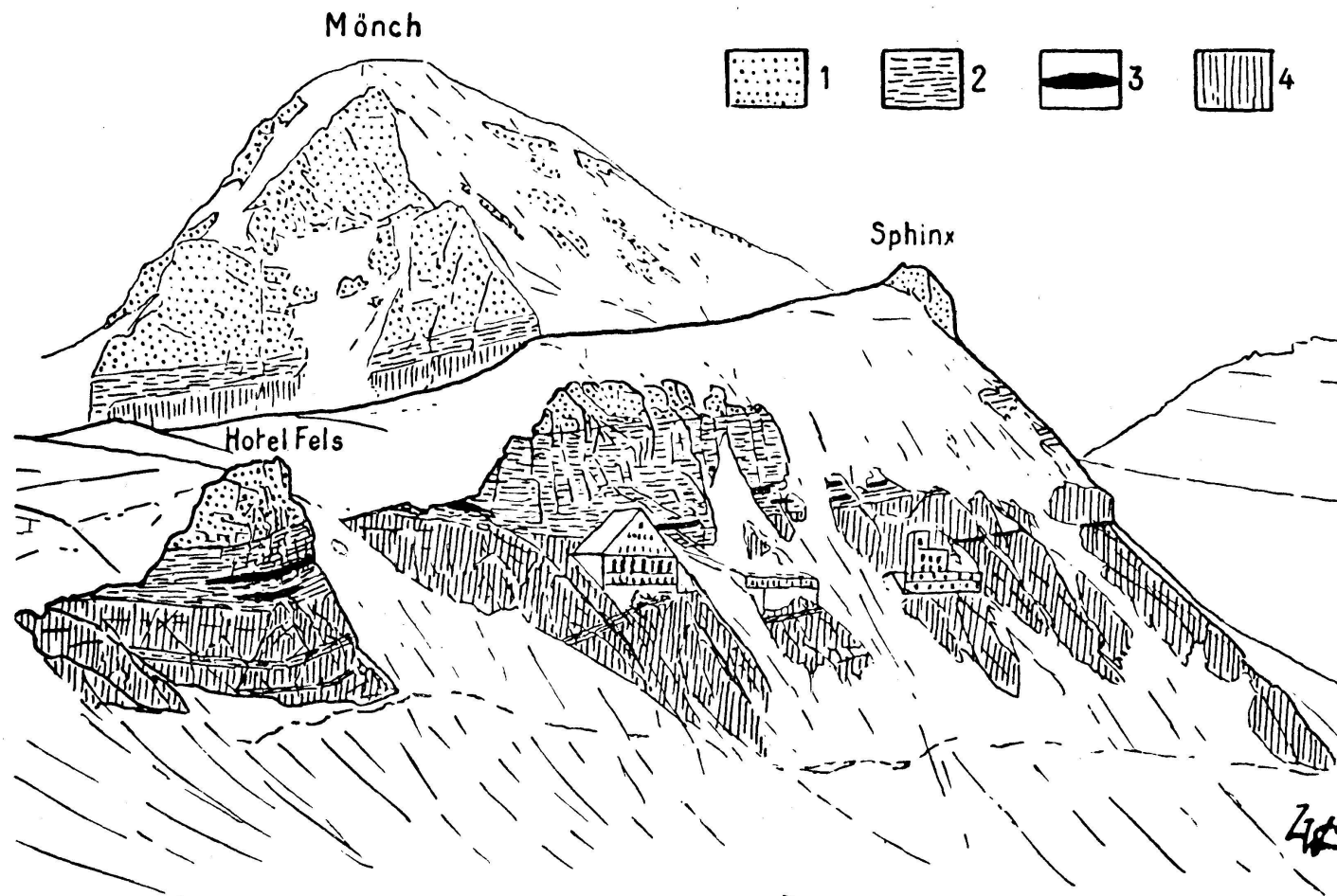


Fig. 3. GÉOLOGIE DE LA RÉGION DU JUNGFRAUJOCH, d'après Léon-W. Collet et Ed. Paréjas
 1 = Granite de la Jungfrau. 2 = Sédimentaire. 3 = Mylonites gneissiques. 4 = Cristallin de Gastern.

se retrouve à l'Obermönchjoch. Il n'y a là rien d'étonnant, car il s'agit de la même zone de sédimentaire. Enfin si lors de votre visite de la Station Scientifique vous jetez un coup d'œil, de la plateforme supérieure, sur le sédimentaire du Sphinx, vous y reconnaîtrez aussi des mylonites.

Je vous invite maintenant, Mesdames et Messieurs, à gagner l'entrée de la galerie d'où nous pourrons étudier l'hôtel Fels.

Du sommet à la base de ce rocher vous distinguez les éléments suivants :

- 1° Le granite du sommet de la Jungfrau d'une patine jaune-rougeâtre et d'une épaisseur qui ne dépasse pas 15 mètres. Il repose
- 2° sur une première zone de sédimentaire, de couleur noire. Le contact du granite avec le sédimentaire peut être facilement étudié en détail sur le versant nord. J'y conduirai plus tard ceux d'entre vous qui désirent récolter des échantillons. Ce contact est mécanique, car le Trias renversé manque ici et des échardes de cristallin pénètrent dans le sédimentaire. Vous voyez deux zones de mylonites. Une supérieure, continue, reconnaissable à sa patine rougeâtre, et une zone inférieure dont nous ne voyons qu'une lentille.

Cette première zone de sédimentaire est supportée par :

- 3° une première zone de Cristallin de Gastern d'une épaisseur de 8 mètres environ. Elle recouvre :
- 4° une deuxième zone de sédimentaire presque complètement recouverte par la neige.

En septembre 1930, après une longue période de chaleurs, on pouvait voir encore deux zones de Cristallin de Gastern séparées par une très mince bande de calcaires.

Ces zones de Cristallin de Gastern appartiennent à autant de coins séparés par du sédimentaire.

Résumons nos observations. Les sommets de la Jungfrau, de l'hôtel Fels, du Sphinx et du Mönch sont formés par du granite qui appartient à la zone externe du Lötschental. Il chevauche les sédiments de couverture du massif de Gastern. Ce dernier, également sous l'effet de la poussée alpine, a été cassé en un certain nombre de coins cristallins dont les plus supérieurs ont été sectionnés, ce qui a produit les lentilles de mylonites.

Si j'ai pu vous montrer toutes ces belles choses sur le terrain, c'est que pendant treize années, avec mon dévoué collaborateur et ami M. le Professeur PARÉJAS, nous avons lutté contre les éléments pour arracher à la Jungfrau quelques-uns de ses secrets.

Vous ne m'en voudrez pas, Mesdames et Messieurs, d'adresser d'ici à M. PARÉJAS qui est en Chine, quelques pensées affectueuses.

Je vous remercie, Mesdames et Messieurs, de votre aimable attention.

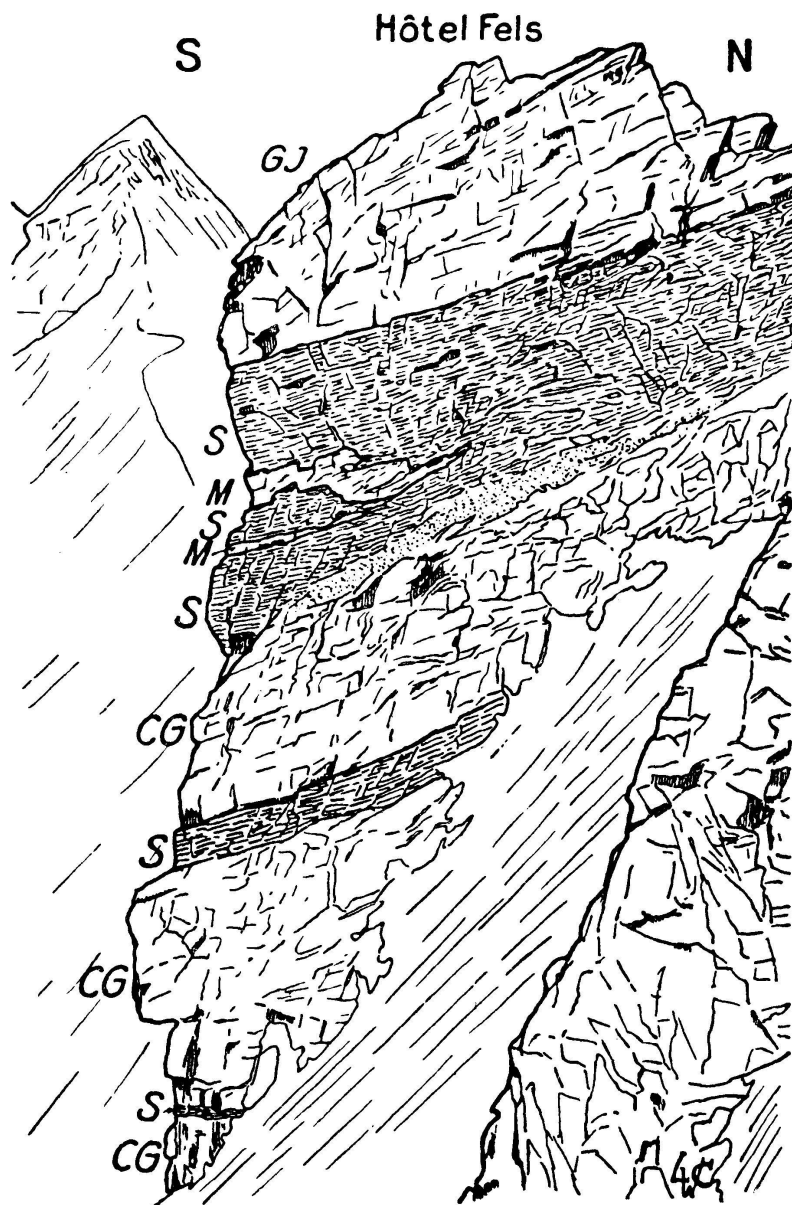


Fig. 4. GÉOLOGIE DE L'HOTEL FELS
d'après Léon-W. Collet et Ed. Paréjas

GJ = Granite de la Jungfrau. S = Sédimentaire.
M = Mylonites gneissiques. CG = Cristallin de Gastern.

Der Mensch bei Sauerstoffmangel

Von

A. FLEISCH, Dorpat¹

Bei der bequemen Fahrt auf diese Höhe von rund 3500 m haben die meisten von Ihnen an sich selbst Wahrnehmungen gemacht von Symptomen, die Ihnen im Tieflande fremd sind, so z. B. leicht bläuliche Verfärbung der Fingernägel und der Lippen, oder beschleunigte und vielleicht auch mühsame Atmung, Pulsbeschleunigung, Unwohlsein und eventuell Schwindelgefühl. Einzelne empfinden vielleicht eine geistige Benommenheit, und es ist nicht ausgeschlossen, dass schon in dieser Höhe kurzdauernde Ohnmachten auftreten. Es sind dies alles die Initialsymptome einer leichten Bergkrankheit.

Auf die älteren Theorien über die Entstehung der Bergkrankheit brauche ich kaum einzugehen. Die Annahme von LONGSTAFF, dass die Bergkrankheit auf einem Zusammentreffen von körperlicher Anstrengung, Ungewohntheit und Nahrungsmangel beruhe, ist längst widerlegt, und ebenso die Behauptung des italienischen Physiologen Mosso, dass ein Verlust der Blutkohlenensäure die Ursache sei.

Es ist heute sicher, dass der Sauerstoffmangel die Ursache der Bergkrankheit ist. Und da wir alle mehr oder weniger von einem gewissen Sauerstoffmangel hier oben betroffen sind, so dürfte wohl die Erörterung dieses Themas von Interesse sein.

Zum Verständnis, wieso es in dieser relativ geringen Höhe von 3500 m, wo der Luftdruck nur von 720 auf 500 mm Hg reduziert ist, schon zu einem Sauerstoffmangel kommen soll, muss ich einige Worte über die physiologische Regulierung der Atmung vorausschicken; denn auf den ersten Blick erscheint es unverständ-

¹ Vortrag, gehalten an der Tagung der Schweiz. Naturforschenden Gesellschaft auf Jungfrauoch, 8. August 1932.

lich, warum wir den Sauerstoffmangel nicht einfach durch verstärkte Atmung kompensieren, wie wir das im Tiefland machen, wo die Sauerstoffbelieferung unseres Organismus bei schwerer Arbeitsleistung beinahe zehnmal grösser werden kann als in der Ruhe. Die Erklärung dafür, dass der Sauerstoffmangel nicht durch verstärkte Atmung kompensiert wird, ist gegeben durch das regulatorische Agens der Atmungsgrösse. Die Stärke unserer Atmung wird nämlich reguliert durch die Kohlensäure, bzw. die Wasserstoffionen-Konzentration (C_H), welche im Atmungszentrum herrscht, das im verlängerten Marke gelegen ist. Wird durch verstärkte Körperarbeit mehr Kohlensäure gebildet, so wird die Reaktion des Blutes und infolgedessen dann auch die Reaktion im Atmungszentrum nach der sauren Seite verschoben. Dadurch wird die Atmung vergrössert und beschleunigt, wodurch in vergrössertem Masse Kohlensäure aus der Lunge und damit aus dem Blute entfernt wird. Die verstärkte Atmung dauert so lange, als überschüssige Kohlensäure im Blute vorhanden ist. Ist aus irgendeinem Grunde, z. B. willkürlich verstärkte Atmung, der Kohlensäurespiegel des Blutes unter die Norm gesunken, so dass das Blut und damit auch die Reaktion im Atmungszentrum zu alkalisch geworden ist, so steht das Atmungszentrum still, bis durch die fortwährend im Körper sich bildende Kohlensäure die Reaktion genügend nach der sauren Seite verschoben ist, um das Atmungszentrum wiederum zu erregen. Dies ist der Fall, wenn die Spannung der freien Kohlensäure im arteriellen Blute, welches das Atmungszentrum umspült, 40 mm Hg beträgt, und diese Kohlensäurespannung von 40 mm Hg ist im arteriellen Blute dann vorhanden, wenn in der Alveolarluft der Lungen ebenfalls eine Kohlensäurespannung von 40 mm vorhanden ist. Dies ist tatsächlich immer der Fall, indem unsere Alveolarluft immer 5—6 % Kohlensäure enthält.

Damit haben wir bereits das Verständnis erhalten, warum wir den Sauerstoffmangel nicht einfach durch verstärkte Atmung kompensieren können. Da die Kohlensäure der hauptsächlichste Regulator der Atmungsgrösse ist, so ist es dem Organismus unmöglich, den Sauerstoffmangel grosser Höhen durch verstärkte Atmung zu kompensieren. Denn durch verstärkte Atmung würde die Kohlensäure ausgewaschen, das Blut würde alkalisch und dadurch würde die Atmung stillstehen. Im Tiefland kommt es, auch bei intensiver Arbeit, hingegen nicht zu einem Sauerstoffmangel, weil im Tiefland der

Sauerstoffbedarf sich annähernd parallel verändert mit der Kohlensäureproduktion.

Wenn ich gesagt habe, dass nur die Kohlensäure die Atmungsintensität reguliere und dass infolgedessen die Kohlensäurespannung in der Lungenluft konstant bleiben müsse, so gilt dies nur in erster Annäherung. Bei schwerem Sauerstoffmangel wird nämlich die Atmung auch ohne vergrösserte Kohlensäureproduktion etwas verstärkt, und infolge der vermehrten Kohlensäureauswaschung sinkt dann die Kohlensäurespannung in den Lungen. Es ist bis heute noch nicht klar geworden, welcher Faktor bei Sauerstoffmangel die Atmung vergrössert. Es kommen hierfür folgende Mechanismen in Frage:

1. Sauerstoffmangel erregt direkt das Atmungszentrum, aber weniger stark als Kohlensäure.
2. Infolge Sauerstoffmangel entstehen im Atmungszentrum fixe Säuren, wie Milchsäure, welche die C_H und damit die Atmung vergrössern.
3. Sauerstoffmangel steigert die Empfindlichkeit des Atmungszentrums, so dass es auf die gleiche C_H stärker reagiert. Diese Empfindlichkeitssteigerung kommt wahrscheinlich, wie FLEISCH zeigen konnte, durch nervöse Impulse vom Grosshirn zustande.

Auf Grund der eben gewonnenen Erkenntnis, dass die Kohlensäure in erster Linie die Atmungsintensität reguliert, und dass deshalb immer eine gewisse Kohlensäurespannung in der Lungenluft vorhanden sein muss, sind wir nun imstande, die Zusammensetzung der Alveolarluft in der Tiefe und in der Höhe kausal zu verstehen. Schon auf Meeresniveau fällt auf, dass die Sauerstoffspannung in der Lungenluft nur 100 mm beträgt, währenddem sie in der atmosphärischen Luft 152 mm ist. Dies hängt damit zusammen, dass einmal die Luft in der Lunge immer wasserdampfgesättigt ist, so dass vom Gesamtdruck rund 45 mm auf den Wasserdampf entfallen; vom restlichen Druck entfällt dann $\frac{1}{5}$ auf Sauerstoff. Da aber in der Lunge Sauerstoff absorbiert und ersetzt wird durch Kohlensäure, so ist von der Sauerstoffspannung die Kohlensäurespannung zu subtrahieren. Nur dieser Rest entspricht dann der Sauerstoffspannung unserer Lungenluft, und nur diese Sauerstoffspannung ist massgebend für die Sauerstoffresorption ins Blut. Dadurch, dass in der Höhe durch Akklimatisationsvorgänge die

Kohlensäurespannung in der Lunge kleiner wird, wird erreicht, dass die Sauerstoffspannung in der Lunge höher ist, als diese Berechnung ergibt. Namentlich in extremen Höhen ist der Unterschied ausserordentlich wirksam. Ohne diese Reduzierung der Kohlensäurespannung in der Lunge wäre in 9000 m Höhe die Sauerstoffspannung in der Lunge auf Null gesunken. Wir sehen daraus, einen wie ungeheuren Anteil die Akklimation daran hat, dass der Mensch in Höhen über 6000 m vorstossen kann.

Da für den Transport des Sauerstoffes durch das Lungenepithel hindurch ins Blut nur die reinen Diffusionskräfte ohne jede aktive Sekretion zur Verfügung stehen, so kann im arteriellen Blute die Sauerstoffspannung höchstens gleich gross sein wie in der Lunge. Auch bei den kleinen Sauerstoffspannungen ist das Blut relativ noch stark gesättigt, wie aus der Dissoziationskurve des Hämoglobins entnommen werden kann. Bei 40 mm Sauerstoffspannung z. B., wie in 7000 m Höhe gefunden worden ist, ist das Blut noch zu über 70 % seiner maximalen Kapazität mit Sauerstoff gesättigt. In bezug auf die Dissoziationskurve des Hämoglobins macht sich ein neuer Akklimationsvorgang geltend, weil die Dissoziationskurve um so höher verläuft, je kleiner die Kohlensäurespannung im Blute ist. Je niedriger die Kohlensäurespannung im Blute ist, um so mehr Sauerstoff kann das Blut bei gleicher Sauerstoffspannung aufnehmen. Wir kommen somit zur Feststellung, und die experimentellen Befunde bestätigen dies, dass in der Höhe der Sauerstoffgehalt des Blutes relativ wenig sinkt, dass hingegen die Sauerstoffspannung stark zurückgeht. So fand BARCROFT in den Anden in 4500 m Höhe die Sauerstoffsättigung des Blutes noch zu 85 %, während die O₂spannung von 100 auf 50 mm gefallen war. Die Ursache für die Bergkrankheit ist somit nicht der Sauerstoffmangel im Blute — denn es wäre im Blute genügend Sauerstoff vorhanden — sondern ursächlich für die Bergkrankheit ist der ungenügende Druck des Sauerstoffes, wodurch er in nur ungenügender Weise ins Gewebe diffundiert. Offenbar verlangen die empfindlichen Teile des Organismus, wie das Zentralnervensystem und namentlich das verlängerte Mark, dass der Sauerstoff mit einer gewissen Druckhöhe angeboten wird.

Nun möchte ich Ihnen die hauptsächlichsten Symptome des Sauerstoffmangels kurz aufzählen, um Ihnen zu zeigen, wie vielfältig seine Einflüsse sind.

Die Atmung wird erhöht, hauptsächlich durch Zunahme der Atmungsfrequenz. Allerdings ist diese Steigerung nicht bedeutend. In der Unterdruckkammer bei einem Luftdruck entsprechend einer Höhe von 7000 m fanden wir selbst eine Zunahme des Atmungsvolumens um etwa 50 %. Das ist wenig, wenn wir bedenken, dass durch körperliche Arbeit die Atmung auf das Sieben- bis Zehnfache gesteigert werden kann.

Die Zahl der roten Blutkörperchen steigt, wie Ihnen allen bekannt ist, schon in den klimatischen Stationen der Schweiz deutlich an. Auf dem Pamir-Plateau fand HINGSTON, der Mediziner der Mount Everest-Expedition im Jahre 1924, in 5000 m Höhe die Erythrocytenzahl im Kubikmillimeter zu rund 8 Millionen, gegenüber 4,5 bis 5 Millionen in der Tiefe. Diese Vermehrung kommt zustande teils durch Ausschwemmung der Erythrocyten aus den Depots, wie der Milz, zum Teil durch verstärkte Neubildung im Knochenmark, wodurch zahllose Jugendformen von Erythrocyten im Blute kreisen. Es handelt sich dabei nicht etwa nur um eine Eindickung des Blutes, sondern um eine wirkliche Vermehrung, indem auch der totale Hämoglobinbestand des Organismus vermehrt wird.

Genau so wie die Verstärkung der Atmung, so ist auch die Vermehrung der roten Blutkörperchen als Akklimatisationsvorgang aufzufassen, indem dadurch die Sauerstoffkapazität des Blutes vermehrt wird. Andererseits hat die Vermehrung der roten Blutkörperchen auch eine ungünstige Konsequenz, indem dadurch die Viskosität des Blutes stark erhöht und dadurch die Herzarbeit vergrößert wird.

Auch diese vergrößerte Blutviskosität versucht der Körper wiederum zu kompensieren, indem der Eiweissgehalt des Blutserums vermindert wird, was seinerseits die Viskosität etwas herabsetzt.

Es wurde eben gesagt, dass die Vermehrung der roten Blutzellen die Kreislaufarbeit vergrößere. Dementsprechend kommt es in der Höhe beim ruhenden, nicht akklimatisierten Menschen zu einer Pulsbeschleunigung und häufig, aber durchaus nicht immer, zu einem Anstieg des Blutdruckes. So wurde auf dem Mount Everest keine charakteristische Änderung des Blutdruckes festgestellt. Nach der Akklimatisierung kann der Puls selbst in 5000 und 7000 m Höhe bei absoluter Körperruhe Normalfrequenz aufweisen. Bei der Kangchendzönga-Expedition 1931 wurde von dem medizinischen Mitglied HARTMANN bei einem Teilnehmer in 7600 m Höhe

bei absoluter Ruhe noch der normale Ruhepuls von 64 gefunden. Im allgemeinen aber steigt, auch nach guter Akklimatisation, die Pulsfrequenz in Ruhe, sofern die Höhe über 6000 m beträgt, was zeigt, dass auch in absoluter Ruhe ein ungedecktes Sauerstoffbedürfnis im Organismus besteht, welches auf nervösem Wege zu Pulsbeschleunigung führt. Dass über 6000 m die Zirkulation stark gestört ist, beweisen die kalte Haut und die kalten Extremitäten, die nicht mehr warm zu bringen sind. Offenbar wird hier der Blutstrom zugunsten der lebenswichtigen Organe gedrosselt. Sobald aber reiner Sauerstoff geatmet wird, werden Haut und Extremitäten wieder warm. Auffällig ist, dass der normale Ruhepuls schon durch kleinste körperliche Arbeit stark und für lange Zeit in die Höhe getrieben wird. Bei der Mount Everest-Expedition 1922 hatte ein Mitglied in 8200 m Höhe fast dauernd eine Pulsfrequenz von 200, was als Alarmsignal für einen versagenden Kreislauf zu deuten ist; denn bei dieser hohen Pulsfrequenz sinkt das vom Herzen geförderte Minutenvolumen wegen der geringen Herzfüllung.

Über das Verhalten des vom Herzen geförderten Minutenvolumen liegen wenig Befunde vor. BARCROFT fand in den Anden in 4300 m keine Veränderung, währenddem GROLLMANN in gleicher Höhe in Colorado eine Zunahme bis 40 % fand, die allerdings nach Akklimatisierung wieder verschwand. Sicher wirken die extremen Höhen von zirka 8000 m herzscheidend, indem 1. Pulsunregelmäßigkeiten auftreten, und 2. alle Teilnehmer der Everest-Expedition eine Herzdilatation davontrugen, die erst nach drei Wochen wieder verschwand.

Die Reaktion des Blutes wird in verschiedener Hinsicht beeinflusst. Einmal entstehen fixe Säuren des Intermediärstoffwechsels, wie Milchsäure, die namentlich bei Arbeitsleistung im Urin ausgeschieden werden. Andererseits haben wir gesehen, dass die freie Kohlensäure im Blute stark absinkt. Um das Blut durch diesen Kohlensäureverlust nicht alkalisch werden zu lassen, scheiden die Nieren eine entsprechende Menge von Alkali, speziell Natriumbikarbonat, aus. Durch diesen gleichzeitigen Verlust von sauren Valenzen durch die Atmung und alkalischen Valenzen durch den Urin wird die C_H des Blutes kaum verändert; wenigstens liegen einheitliche Resultate über C_H -Änderungen nicht vor.

Der Stoffwechsel wird bei den meisten Personen beim Übergang zur Höhe etwas gesteigert. In den klimatischen Höhenlagen

kommt es gerne zu einem Eiweissansatz, über 4000 m hingegen zu einem intensiven Eiweisszerfall. Auf noch viele andere Änderungen, die der Höhengaufenthalt bewirkt, will ich nicht eingehen; Interessenten finden alles Wünschenswerte in dem Werke von LOEWY „Physiologie des Höhenklimas“.

Nur zwei Punkte seien noch erwähnt, nämlich das Verhalten der Muskelkraft und der Sinnesorgane. Bei der Kangchendzönga-Expedition 1931 stellte RICHTER durch fortlaufende Messungen der Unterarmbeuger mit dem Dynamometer fest, dass in 7600 m Höhe keine Verringerung der Muskelkraft eingetreten ist. Hingegen ist in diesen Höhen die Funktion der Sinnesorgane herabgesetzt. Für eine Druckempfindung braucht man die doppelte Reizschwelle, und bei allen Himalaya-Expeditionen beobachteten viele Teilnehmer eine Reduzierung der Geschmacks-, Geruchs- und Gehörsempfindung.

Für denjenigen, der in die Höhe steigt oder fährt, sind am auffallendsten die psychischen Änderungen, die Ihnen allen aus dem Aufenthalt in klimatischen Stationen bekannt sind. Sobald man in die Höhe kommt, fühlt man sich psychisch angeregt, die Müdigkeit ist verschwunden und man fühlt sich viel frischer als im Tiefland; es setzt auch sofort ein vermehrter Tätigkeitsdrang ein. Mit dieser Erregung der psychischen Funktionen geht parallel ein vermindertes Schlafbedürfnis. Wenn man zum erstenmal in 2000 bis 2500 m übernachtet, so ist der Schlaf oberflächlich, von aufgeregten Träumen und häufigem Erwachen unterbrochen, und trotz des schlechten und kurzen Schlafes fühlt man sich am folgenden Tage nicht müde. Ferner ist man resistenter gegen Narcoticis. Diese Veränderungen unserer Psyche und ebenso vieler körperlicher Symptome erklären sich von einem einheitlichen Gesichtspunkt aus, nämlich, dass im Höhenklima etwa bis zu 3000 m ein verstärkter Tonus des sympathischen Nervensystems sich geltend macht, eine Anschauung, die ich schon 1926 geäußert habe. Zum Symptomenbild eines Überwiegens des sympathischen Nervensystems gehören auch die meisten Symptome des mässigen Höhenklimas, nämlich Steigerung der Pulsfrequenz, des Blutdruckes, der Atmung, des Grundumsatzes und der Körpertemperatur. Im gleichen Sinne spricht auch, dass im Höhenklima der Organismus stärker empfindlich wird gegen Adrenalin, dieses stärkste Sympathicus-Reizmittel. Die physiologische Wirkung des Höhenklimas als die Konsequenzen eines Überwiegens

des sympathischen Nervensystems aufzufassen, ist allerdings nur angängig, wenn es sich um eine Höhe bis zirka 3000 m handelt. Steigen wir höher empor, so tritt zusehends immer mehr das Bild der Bergkrankheit auf. Der Beginn ist individuell verschieden, selten schon bei 2000 m, über 4000 m hingegen sind fast alle Nicht-Akklimatisierten krank.

Das Bild der Bergkrankheit ist folgendes: Bläuliche Verfärbung der Nägel, Lippen und Wangen infolge ungenügender Sauerstoffsättigung des Blutes. Puls und Atmung werden beschleunigt, die Atmung wird beschwerlich. Am auffälligsten sind die psychischen Veränderungen, es erfolgt eine geistige Erschlaffung, Verlust an Willensenergie, starke Müdigkeit, die einen sofort einschlafen lässt, Kopfschmerzen sind häufig. Am wohlsten fühlt man sich noch liegend bei vollkommener Körperruhe. Jegliche Körperarbeit, überhaupt alles, was den Stoffwechsel und damit den Sauerstoffbedarf erhöht, also auch die Kälte, verstärkt die Symptome rapid. Schwere Atemnot und Muskelschwäche treten auf, das Bewusstsein wird unklar, die psychischen Funktionen versagen, Übelkeit und gelegentlich auch Erbrechen können auftreten, Ohnmachten sind keine Seltenheit. Auffällig ist, dass bei den schweren Stadien der Bergkrankheit der Intellekt sehr viel mehr leidet, als man selbst glaubt. Als ich in der Unterdruckkammer des Physiologischen Institutes Zürich bei einem Luftdruck entsprechend 7000 m Höhe zum erstenmal experimentierte, fühlte ich mich zwar sehr elend, empfand aber noch die Befriedigung, trotz der Bergkrankheit noch exakte Beobachtungen anstellen und klare Protokolle schreiben zu können. Bei der Rückkehr zu Normaldruck entpuppten sich diese Protokolle dann allerdings zu nichts anderem brauchbar als zum Beweis der psychischen Insuffizienz bei 7000 m Höhe. Die Ablesungen mussten falsch gemacht oder falsch notiert worden sein; zudem waren die Protokolle unvollständig, und kaum leserliche Zahlen standen sinnlos auf dem Papier. Dem bekannten englischen Physiologen HALDANE passierte in der Unterdruckkammer mit einem Luftdruck entsprechend einer Höhe von 7200 m folgendes: Er will die blaue Verfärbung seines Gesichtes beobachten und hält zu diesem Zweck die Rückseite eines Spiegels lange Zeit vors Gesicht; zudem gibt er andauernd falsche Befehle durchs Telephon. Falsche Reaktionen sind häufig. Bei der berühmten Ballonfahrt von TISSANDIER mit zwei Begleitern im Jahre 1875 werden alle drei Insassen in 8000 m

ohnmächtig. Einer erwacht wieder, erkennt die Lebensgefahr und will den Ballon senken. Zu diesem Zwecke wirft er Sand aus, der Ballon steigt und zwei Insassen sterben zwischen 8000 und 8500 m Höhe.

Die Bergkrankheit beruht ganz sicher auf einem Mangel an Sauerstoff, bzw. ungenügendem Sauerstoffdruck; denn Einatmung von reinem Sauerstoff bringt die Symptome sofort zum Verschwinden.

Ich habe Ihnen die Symptome der Bergkrankheit zum Teil aus eigener Erfahrung in der Unterdruckkammer beschrieben. Bei aktivem Emporsteigen in die Berge sind die Symptome genau die gleichen, wie die vielen Himalaya-Expeditionen dartun. Allerdings kommt bei allen Himalaya-Expeditionen ein neues Moment hinzu, das das Vordringen stark erleichtert. Das ist die Akklimatisation, indem ein wochenlanger Aufenthalt in 5000—7000 m Höhe dem eigentlichen Gipfelsturm vorangeht. Nur durch die Akklimatisation ist es möglich geworden, eine Höhe von 8540 m ohne Zuhilfenahme von Sauerstoff zu erreichen, während beim Nicht-Akklimatisierten diese Höhe tödlich wirkt. Der erreichte Punkt von 8540 m war noch 300 m unter dem Gipfel, und die grosse Frage lautet, ob die restlichen 300 m ohne Zuhilfenahme von Sauerstoff vom Menschen überhaupt erreicht werden können. Die meisten Teilnehmer glauben es; aber wir müssen daran erinnern, dass die Teilnehmer in der genannten Höhe von schwerster Bergkrankheit befallen waren. Sie konnten nur eine Strecke von 20 m gehen und mussten dann wiederum 1—2 Minuten lang ausruhen unter willkürlich verstärkter Atmung. Die Stundenleistung war nur noch 33 m Höhendifferenz. Ich neige eher zur Ansicht von FINCH, der schreibt, dass der Mount Everest nur mit Hilfe von Sauerstoff erreichbar sei, und der bekennt, dass in jener Nacht in 7800 m bei stärkstem Sturm und Kälte nur der Sauerstoff ihnen das Leben gerettet habe. Auf jeden Fall ist der Versuch, ohne Sauerstoff in 8900 m Höhe vordringen zu wollen, ein Wagnis, das mit hoher Wahrscheinlichkeit mit dem Leben zu bezahlen ist.

Dass bei Atmung von reinem Sauerstoff viel grössere Höhen erreicht werden können, ist physiologisch selbstverständlich und durch Ballonfahrten und Fliegen bewiesen. Allerdings ist über zirka 15,000 m auch mit reinem Sauerstoff und vorheriger Akklimatisation nicht hinauszukommen wegen der ungenügenden Sauerstoffspannung. Wer noch höher will, der steige in die Gondel unseres Landsmannes PICCARD.

Rückblick und Ausblick auf die Erforschung der kosmischen Ultrastrahlung auf alpinen Hochstationen

Von

VICTOR F. HESS, Innsbruck

Schon bald nach der Entdeckung der sehr durchdringenden kosmischen Ultrastrahlung (auch Höhenstrahlung oder Weltraumstrahlung genannt) im Jahre 1912 wurde erkannt, dass für die weitere Erforschung dieser neuen Strahlung nicht nur Luftfahrzeuge, sondern auch hochgelegene Orte an der Erdoberfläche besonders geeignet sind: Ist ja doch die Intensität der Ultrastrahlung in 2 km Höhe schon dreimal, in 5 km Höhe rund zehnmal so gross wie in Meereshöhe. Schon 1913/1914 wurden von V. F. HESS und M. KOFLEK am Obir (2040 m) in Kärnten, 1914 von dem bekannten, leider früh verstorbenen Schweizer Physiker ALBERT GOCKEL auf dem Aletschgletscher und am Eggishorn Beobachtungen der Ultrastrahlung ausgeführt. Nach dem Kriege war der Berliner Physiker W. KOLHÖRSTER der erste, der zum Teil gemeinsam mit G. v. SALIS die Bergbeobachtungen wieder aufnahm. In den Jahren 1923—1926 arbeitete er auf dem Firn des Jungfraujochs und auf dem Mönchgipfel und stellte Veränderungen der Intensität der Ultrastrahlung je nach der Stellung des Fixsternhimmels fest, deren Erforschung noch heute nicht abgeschlossen ist. BÜTTNER führte analoge Untersuchungen 1927/1928 am Jungfraujoch, in den Öztaleralpen und auf der Zugspitze aus, deren meteorologische Station eine willkommene Stütze für diese Arbeiten bildete. 1927 und 1929 untersuchten zwei Mitarbeiter des Vortragenden, die Herren O. MATHIAS und R. STEINMAURER mit Registrierapparaten die Ultrastrahlungsschwankungen auf dem 3100 m hohen Sonnblickgipfel in den Salzburger Alpen, dessen Lage (freier Horizont und Bestehen einer ganzjährigen meteorologischen Beobachtungsstelle) besonders günstig

für derartige Arbeiten ist. Diese Untersuchungen wurden 1929 auf 1930 ein ganzes Jahr hindurch weitergeführt, unter Mitwirkung des Wetterwartes L. WINKLER vom Meteorologischen Observatorium am Sonnblick. In Nord- und Südamerika wurden kürzere Versuchsreihen auf Berggipfeln bis gegen 5000 m Höhe von W. F. G. SWANN, sowie von R. A. MILLIKAN und einigen andern Forschern ausgeführt.

In den letzten Jahren erkannte man indes, dass nur Apparate höchster Empfindlichkeit, wie sie eigentlich nur in Laboratorien, nicht aber auf Expeditionen gebraucht werden können, für die weiteren Untersuchungen über Ultrastrahlung in Betracht kommen. Anordnungen dieser Art sind insbesondere von G. HOFFMANN (Halle) und von E. STEINKE (Königsberg) ausgearbeitet worden. Die Aufstellung solcher Anordnungen kann naturgemäss nur in Gebäuden, auf erschütterungsfreier Unterlage erfolgen.

Wenngleich die Empfindlichkeit dieser Apparate genügt, um auch im Meeresniveau die kleinsten Änderungen der Strahlungsintensität zu verfolgen, so bietet deren Aufstellung in Höhenobservatorien doch ganz besonderes Interesse: Denn nur in Höhen von etwa 2000 m aufwärts weist die Ultrastrahlung auch noch die weicheren, d. h. weniger durchdringenden Komponenten auf, von deren Erforschung man vielleicht am ehesten erwarten kann, die Ursachen der Strahlungsschwankungen zu ergründen.

Die Aufstellung der empfindlichen Hochdruckapparate von HOFFMANN oder von STEINKE erfordert ausserdem die Anwendung grosser Metallpanzer, d. h. Umgeben des Apparates von unten und nach der Seite mit mächtigen, mindestens 10 cm dicken Blei- oder Eisenblöcken, welche die störende Wirkung der Gammastrahlen der im Erdboden enthaltenen radioaktiven Substanzen abschirmen. Solche Panzer ergeben Gesamtgewichte von 1000 bis 2000 kg, deren Transporte auf Berggipfel ohne Bergbahn nur mit ungeheuren Schwierigkeiten und grossen Kosten möglich wäre. Demgemäss kommen für die jetzt noch durchzuführenden Untersuchungen mit solchen gepanzerten Präzisionsinstrumenten nur Bergobservatorien in Betracht, die mittels Zahnradbahn oder Seilbahn bequem erreichbar sind.

HOFFMANN und LINDHOLM (1928) wählten dazu die Station Muottas Muraigl (2450 m) im Engadin, die vom Observatorium Davos verhältnismässig leicht erreichbar ist. Nach Abbruch der

dort ausgeführten sehr ergebnisreichen mehrmonatlichen Untersuchungen wurde im Sommer 1931 vom Vortragenden mit Unterstützung der Preussischen Akademie der Wissenschaften, der Österreichisch-Deutschen Wissenschaftshilfe und der Akademie der Wissenschaften, sowie des Sonnblickvereines in Wien auf dem mittels Seilbahn (Nordkettenbahn Innsbruck) von der Stadt Innsbruck aus das ganze Jahr zugängliche, in 40 Minuten Fahrzeit erreichbare Hafelekar (2300 m), ein kleines Observatorium zur mehrjährigen Beobachtung der kosmischen Ultrastrahlung errichtet. Dieses in einem Holzhaus untergebrachte Observatorium ist nunmehr schon ein Jahr ununterbrochen im Betrieb und hat sehr wertvolle Ergebnisse geliefert, über welche bereits in einem Vortrag in der Sektion „Physik“ der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft bei der Tagung in Thun gestern berichtet worden ist. Das Observatorium Hafelekar enthält als Hauptinstrument eine selbstregistrierende STEINKEsche Hochdruckapparatur, die auf einem grossen Betonsockel in einem mittels elektrischer Heizung und automatischer Regelung auf konstanter Temperatur gehaltenen Raume aufgestellt ist. Eine ähnliche Anordnung ist zur Ausführung paralleler Beobachtungen im Tale (580 m), im Institut für Strahlenforschung an der Universität Innsbruck untergebracht.

Diese beiden Stationen sind Glieder eines mit durchaus gleichartigen Apparaten ausgestatteten Stationsnetzes, das simultane Registrierung der Ultrastrahlenschwankungen in verschiedenen geographischen Breiten ermöglichen soll.

Die Stationen sind die folgenden: Åbisko (nördl. Schweden, 68° nördl. Br.), Königsberg in Preussen, Potsdam, Dublin (Irland), Innsbruck und Hafelekar (Österreich), Bandoeng (Java) und Kapstadt (Südafrika). An den Beobachtungen sind die Herren J. CLAY (Amsterdam), AXEL CORLIN (Lund), V. F. HESS und R. STEINMAURER (Innsbruck), W. KOLHÖRSTER (Potsdam), J. J. NOLAN und C. O'BROCHAIN (Dublin), W. F. SCHONLAND (Kapstadt) und E. STEINKE (Königsberg) beteiligt, welcher letzterer die allseits verwendete hochempfindliche Standart-Apparatur gebaut hat.

In der Schweiz würde das 3500 m hoch gelegene Jungfraujoch mit seinem mustergültigen Internationalen Forschungsinstitut eine sehr schöne Gelegenheit zu analogen Dauerbeobachtungen bieten. Das im Fels direkt eingebaute Forschungsinstitut wie das Berghaus kommen selbst freilich für derartige Messungen weniger

in Betracht, da der Sphinx-Felsen einen grossen Teil des Himmels abblendet und daher nicht Strahlen von allen Teilen des Himmels gleichmässig die Apparate erreichen könnten. Dagegen würde die Beobachtung in einem eigens aufzustellenden kleinen Beobachtungshäuschen am Mönchsattel eine ungemein wichtige Ergänzung der früher genannten Simultanmessungen darstellen.

Es würde dem Vortragenden eine Freude sein, wenn die vorliegenden Ausführungen Schweizer Kollegen die Anregung dazu gäben, das Jungfrauoch dem vorhin erwähnten Internationalen Stationsnetz zur Erforschung der Ultrastrahlung anzugliedern und zu der 2300 m hoch gelegenen Forschungsstation Hafelekar-Innsbruck eine noch wertvollere Station in 3500 m hinzuzufügen.

Zur Hydrologie des Hochgebirges der Schweizer Alpen¹

Von

O. LÜTSCHG, Zürich

„L'expérience est son propre critère.“
Stuart Mill.

Im viel verzweigten Arbeitskreis der Gewässerkunde bildet zweifellos die planmässige Aufstellung der Wasserbilanz von Flussgebieten das Kernstück. Sie erfordert in allererster Linie eine vollständige Klarstellung der Beziehungen zwischen Niederschlag, Abfluss und Verdunstung.

Zur Lösung dieser Aufgabe geht man am sichersten von kleinen natürlichen Landschaftsgebieten aus, die in sich möglichst homogen, aber nach ihrer Lage zum Meer, Höhe über Meer, ihrer Gestalt, Beschaffenheit und Bekleidung des Bodens verschieden sind. Jahrzehnte hindurch begnügte man sich damit, nur die Unterschiede zwischen Niederschlag und Abfluss oder die Abflusskoeffizienten festzustellen. Ja eine Zeitlang schien es, als ob die Forschung vor einer zahlenmässigen Erfassung der Vorgänge überhaupt haltzumachen beabsichtige. Führende Geologen zweifelten an der Erfassbarkeit des Wasservorrates im Boden, überhaupt an der Möglichkeit einer genauen Bestimmung von Rücklage und Verbrauch früherer Niederschläge. Gegen solche Argumente wurde aber mit Recht Sturm gelaufen. Die Kluft, die lange Zeit zu bestehen schien, ist heute trotz aller Schwierigkeiten überbrückbar geworden.

Meine Abteilung für Gewässerkunde² führt heute in folgenden Bezirken Einzelforschungen aus:

¹ Vortrag, gehalten am 8. August 1932 an der Jahresversammlung der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft auf dem Jungfrauoch.

² Zurzeit der Schweiz. Meteorolog. Zentralanstalt angegliedert.

Nr.	Gebiet	Mittlere Höhenlage d. Gebietes	Periode 1. X.—30. IX.	Anzahl Jahre	untersucht werden
1	Davosersee	m ü. M. 2003	1927/30	3	Niederschlag
2	Tamina	1800	1929/31	2	„
3	Grimsel	2709	1919/31	12	Niederschlag u. Abfluss
4	Inner Wäggitäl . .	1360	1925/31	6	„ „ „
5	Rhonegletscher . .	2720	1920/23	3	„ „ „
6	Aletschgletscher . .	2918	1915/31	16	„ „ „
7	Oberes Saastal . . .	2850	1922/31	9	„ „ „
8	Barberine	2329	1926/31	5	„ „ „ ¹
9	Salanfe	2329	1929/31	2	„ „ „
10	Baye de Montreux	1213	1931/32	1	„ „ „ ²
11	Suchet (Jura) . . .	—	1927/31	4	Niederschlag

Aus vorstehender Tabelle³ geht recht eindrucksvoll hervor, dass der Charakter dieser Landschaften ein recht ungleicher ist. Für jeden einzelnen dieser Forschungsbezirke ist nun, soweit möglich, eine vollständige Wasserhaushaltsrechnung aufgestellt worden. Ausser Niederschlag und Abfluss wurden also für kürzere Zeitabschnitte auch Rücklage und Verbrauch früherer Niederschläge, und zwar nach Menge und jahreszeitlicher Verteilung in Rechnung gezogen. Arbeiten dieser Art sind heute noch sehr selten, da die zahlenmässige Erfassung von Rücklage und Verbrauch mit erheblichen Schwierigkeiten und Kosten verbunden ist. Und mit zunehmender Höhenlage des Forschungsbezirkes wachsen solche naturgemäss noch besonders stark an, nicht nur der Abgelegenheit und schweren Zugänglichkeit der Gebiete wegen, sondern weil sich zu der recht zeitraubenden Ermittlung der unterirdischen Speicherung, der Wasserkapazität des Bodens, noch die Bestimmung der Schnee-, Firn- und Gletschermassen und ihrer Veränderungen, also auch deren Verbrauch gesellen.

Die Lösung dieser schwierigen Frage setzt selbstverständlich für jede einzelne Landschaft die Einrichtung eines engmaschigen Netzes von Niederschlagsstationen für die Aufstellung einer genauen Niederschlagskarte, sowie den Bau und Betrieb einer erstklassigen Wassermessstation voraus.

¹ Abfluss in Verarbeitung. ² Niederschlag und Abfluss in Verarbeitung.
³ Über die Eigenart der einzelnen Forschungsbezirke sei im weitern auf die Hauptergebnisse S. 273—277 hingewiesen.

Die höheren Regionen speichern in Form von Schnee, Firn und Eis, die sich allmählich in einen Gletschereisstrom umwandeln, den Ueberschuss an Niederschlägen auf (Rücklagen); in den trockenen, warmen Zeiten geben ihn die Gletscher durch Schmelzung (Ablation) an den Bach wieder ab (Aufbrauch früherer Rücklagen). Die ausgleichenden Eigenschaften der Gletscher erstrecken sich aber nicht nur auf Jahreszeiten und Einzeljahre, sondern auch über Zeitabschnitte von zehn, fünfzig und mehr Jahren. Für eine zahlenmässige Erfassung von Rücklage und Aufbrauch müssen alle diese Erscheinungen erkannt und auf das genaueste erforscht werden, denn nur auf Grundlage solcher Erkenntnis kann das vorliegende Problem in befriedigender Weise seiner Lösung zugeführt werden.

Dass mit dem Fortschritt der Forschungen auch in den zur Ausführung gelangten Methoden Verbesserungen erzielt werden konnten, braucht nicht näher erläutert zu werden. Es genügt, wenn auf den grossen Wert terrestrischer und luftphotogrammetrischer Aufnahmen für die zahlenmässige Bestimmung der festen Rücklagen in Form von Schnee, Firn und Eis noch im besondern hingewiesen wird.

Ein abschliessendes Urteil über die Genauigkeit der für die Aufstellung der Wasserbilanzen nötigen Einzelwerte zu geben, ist heute noch nicht möglich; die Flusskunde hat aber einen so hohen Stand erreicht, dass die zahlenmässig genaue Lösung der vorliegenden Probleme in greifbare Nähe gerückt ist.

Über die Hauptergebnisse der Niederschlagsforschungen in unsern Sondergebieten geben die nachfolgenden Tabellen Aufschluss.

1. Davoserseegebiet

Periode: 1. Oktober 1927 bis 30. September 1930

Station	m ü. M.	Mittelwert (3 Jahre)
		cm
Klosters*	1207	124
Davos-Wolfgang*	1650	102
Drusatscha	1770	96
Seehorn	2240	64
Salez Mäder	2000	84
Totalpseeli	2520	161
Schatzalp ob Davos* . .	1868	101
Davos-Platz*	1560	91

* = Normalstationen mit täglicher Beobachtung.

2. Taminagebiet

Periode: 1. Oktober 1929 bis 30. September 1931

Station	m ü. M.	Mittelwert (2 Jahre)
		cm
Sargans*	507	142
Plantahof*	530	112
Valens*	925	151
Maprak*	823	124
Vättis*	951	116
Vindels	1623	135
Vättnerälpli	1885	146
Gelbberg	2083	168
First	2200	123
St. Martin	1396	154
Panäraalp	2028	178
Reichenau*	604	105
Flims*	1102	130
Elm*	958	166

3. Grimselgebiet

Periode: 1. Oktober 1919 bis 30. September 1931

Station	m ü. M.	Mittelwert (12 Jahre)
		cm
Guttannen*	1055	172
Gelmersee	2144	202
Grimsel-Hospiz	1900	217
Pavillon Dollfuss	2415	163
Abschwung	2900	218
Oberaarjoch	3310	259
Oberaaralp	2257	142
Kl. Siedelhorn	2430	209
Oberwald*	1370	163
Gletsch	1770	169 ¹
Furka (Galenhütten)*	2406	204
Scheidfluh	2800	229 ¹

¹ Mittelwert 1919/20—1929/30.

4. Inner-Wäggital

Periode: 1. Oktober 1925 bis 30. September 1931

Station	m ü. M.	Mittelwert (6 Jahre)
		cm
Innertal (Wärterhaus)*	910	211
Innertal (Schulhaus)*	935	193
Blattli	927	181
Hundsloch	920	225
Grossallmeindwald	1082	245
Rohr	1190	222
Bärlauialp	1380	231
Tannstafelalp	1335	224
Fläschlihöhe	1402	236
Fluhberg	1480	281
Abernalp	1125	295
Oberalp	1585	295
Durchgäng	1920	323
Torberglücke	2061	203
Twärmattli	1958	190
Rädertenalp (Lauibühl)	1515	257
Hohfläschenalp	1510	253

5. Rhonegletschergebiet

Periode: 1. Oktober 1920 bis 30. September 1923

Station	m ü. M.	Mittelwert (3 Jahre)
		cm
Gelmersee	2144	207
Grimsel-Hospiz	1900	193
Kl. Siedelhorn	2430	202
Oberwald*	1370	143
Gletsch	1770	132
Furka*	2406	171
Nägelisgrätli	2393	162
Hühnerboden	2700	307
Ruhstein	2780	132
Scheidfluh	2800	186
Triftlimmi	3130	221

6. Aletschgletschergebiet

Periode: 1. Oktober 1915 bis 30. September 1931

Station	m ü. M.	Mittelwert (16 Jahre)
		cm
Interlaken*	592	122
Lauterbrunnen*	810	120
Grindelwald*	1050	129
Eigergletscher*	2323	199
Jungfrauoch	3480	303
Sphinx	3460	249 ¹
Mönchsgrat	3810	376 ²
Trugberg	3530	180 ³
Kranzberg	3180	413 ¹
Konkordia	2850	243
Eggishorn	2250	132 ⁴
Fiesch*	1080	96
Binn*	1450	104

7. Oberes Saastal, Zermeigerngebiet

Periode: 1. Oktober 1922 bis 30. September 1931

Station	m ü. M.	Mittelwert (9 Jahre)
		cm
Saas-Fee*	1800	83
Mattmark	2117	81
Plattje	2210	98
Kessjen	2840	131
Weisstal	2270	139
Galmen	2690	120
Galmenhorn	2850	102
Schwarzenbergkopf	2565	188
Allalingletscher	3360	167
Ofentalpass	2800	189
Mondellipass	2800	233
Rothorn	3237	264 ⁵
Seewinenberg	3025	275
Schwarzenberg-Weisstor	3570	289

¹ Mittelwert 1929/30—1930/31. ² 1920/21—1930/31. ³ 1926/27—1930/31.
1915/16—1926/27. ⁵ 1922/23—1924/25.

8. Barberinegebiet

Periode: 1. Oktober 1926 bis 30. September 1931

Station	m ü. M.	Mittelwert (5 Jahre)
		cm
Mont Ruan	2860	374 ¹
Tour Sallière	2975	202 ¹
La Chaux-Derrière	2500	299
Fontanabran	2420	241
La Chaux-Devant	2354	282
Tanneverge	2501	392
Lac de Barberine	1900	252
Lac Vert	2610	260 ¹
Col du Grenairon	2644	93 ¹
Le Vieux Emosson	2170	286
Fenêtre de la Veudale	2470	278 ¹
Pointe de la Feniva	2180	270
Plateau Emosson	1800	209
Châtelard (Wasserschloss)	1850	231
Châtelard-Village*	1123	125
Marécottes*	1090	130
Martigny-Ville*	480	88

9. Salanfegebiet

Periode: 1. Oktober 1929 bis 30. September 1931

Station	m ü. M.	Mittelwert (2 Jahre)
		cm
La Tour	2211	299
Mine d'Arsenic	2190	199
Montagne de Salanfe	1973	178
Plan Nevé	2720	174
Gagnerie	2210	198
Savatan*	679	108
Dailly*	1253	150

¹ Mittelwert 1929/30—1930/31.

10. Baye de Montreuxgebiet

Das Niederschlagsnetz des Baye de Montreuxgebietes (Grösse 14,49 km², mittlere Höhe 1213 m ü. M.) umfasst 40 Stationen. Über die Ergebnisse dieser Studien werde ich an anderer Stelle berichten.

11. Suchetgebiet (Jura)

Periode: 1. Oktober 1927 bis 30. September 1931

Station	m ü. M.	Mittelwert (4 Jahre)
		cm
Montcherand*	565	99
Baulmes*	634	136
L'Auberson*	1110	151
Mathoulaz	1137	173 ¹
Suchet (Chalet)	1465	205 ¹
Suchet (Sagne)	1535	78
Vallorbe-Reposoir*	930	152
Le Sentier*	1024	166

Über die Frage, ob im Hochgebirge mit unseren Totalisatoren genügend genaue Ergebnisse erzielt werden, habe ich mich in Fachkreisen schon zu wiederholten Malen recht deutlich, und zwar in bejahendem Sinne ausgesprochen.² Wenn man ein Netz von 160 Niederschlagssammlern unter seiner Obhut hat, deren Ergebnisse prüft und verarbeitet und selbst 37 Jahre mit der Scholle des Hochgebirges aufs engste verwachsen ist, ist man wohl berechtigt, ein Urteil abzugeben. In der Beurteilung dieser wichtigen Frage gehe ich — wie so oft — mit meinem Freunde Professor Dr. KARL FISCHER von der Landesanstalt für Gewässerkunde in Berlin einig. FISCHER schreibt über unsere Niederschlagsforschungen im Wäggitäl wie folgt:³ „Den entscheidenden Beweis dafür, dass die Ermittlungen

¹ Mittelwert 1928/29–1930/31.

² LÜTSCHG, O. Zur Erforschung der Niederschlagsverhältnisse des Hochgebirges. Annalen der Schweiz. Meteorolog. Zentralanstalt, Jahrgang 1928. Zürich 1930.

LÜTSCHG, O. Mitteilungen der Hydrologischen Abteilung. Annalen der Schweiz. Meteorolog. Zentralanstalt, Jahrgang 1929. Zürich 1931.

LÜTSCHG, O. Zur Wasserwirtschaft des Kraftwerkes Wäggitäl. Sieben 1930.

³ FISCHER, KARL. Niederschlag, Abfluss und Verdunstung im Wäggitäl. Meteorologische Zeitschrift, Heft 3, 1931. Braunschweig 1931.

für das Wäggital im wesentlichen zutreffen, liefern meiner Überzeugung nach die Beziehungen zwischen Niederschlag, Abfluss und Verdunstung. Ich bin überhaupt immer mehr zu der Überzeugung gekommen, dass für stark gegliederte Gebirgsländer Gewissheit über die Richtigkeit der Niederschlagskarten nur durch Vergleichung mit den Abflussmengen gewonnen werden kann.“

Über die mittlere Wasserführung der in Untersuchung gezogenen Forschungsgebiete sei auf die nachfolgenden Zusammenstellungen (Seiten 273—277) hingewiesen.

Im Verhalten von Niederschlag, Abfluss und Verdunstung nimmt das Hochgebirge zweifellos eine Sonderstellung ein.

Die Grundgleichungen des Wasserhaushaltes für die in Untersuchung gezogenen Flussgebiete lauten:

$$\text{für längere Zeiträume: } N = A + V \quad (1),$$

$$\text{für kürzere Zeitabschnitte: } N = A + V + R - B \quad (2),$$

also $V = (N - A) + (B - R)$, wobei $N =$ Niederschlag, $A =$ Abfluss, $V =$ Gebiets- oder Landesverdunstung, $R =$ Höhe der Rücklagen, die sich aus dem Niederschlag des betreffenden Zeitabschnittes bilden, $B =$ die Höhe des Aufbrauches früherer Rücklagen.¹

Setzen wir den Unterschied $N - A = U$, so ergibt sich $R - B = U - V$ (3). Dieses Glied gibt also die Menge an, um die sich der im Gebiet vorhandene Wasservorrat in der in Untersuchung gezogenen Zeit ändert.

Als Rücklagen fallen namentlich die Schnee- und Eislagerung, die Einsickerung in den Boden, dann aber auch die Aufspeicherung in den Seen in Betracht. Während sich das Mass der Seespeicherungen an Hand der Wasserstandsbeobachtungen und zugehörigen Seeinhalte leicht auf dem Rechnungswege bestimmen lässt, sind für die Erfassung der Schnee- und Eisrücklagen und deren Aufbrauch jährlich wiederkehrende, zeitraubende Untersuchungen notwendig.

Erhebliche Rücklagen vermochten sich für die in Rechnung gezogenen Zeitabschnitte nur in den obersten Lagen der Gebiete, namentlich in den Firn- und Gletscherfeldern zu bilden. Die Rücklagen und Aufbrauchvorgänge, die die vorübergehende Schneelagerung und die Wasserkapazität des Bodens betreffen, sind, wo notwendig, in Rechnung gestellt worden. Der von Jahr zu Jahr wechselnde Witterungscharakter stellt naturgemäss einer genauen Ermittlung

¹ Vgl.: FISCHER, KARL. Die Grundgleichungen des Wasserhaushaltes eines Flussgebietes. Zentralblatt der Bauverwaltung, Heft 18, Jahrgang 1925. Berlin 1925.

dieser Beträge auf den Beginn der hydrographischen Jahre gewisse Schwierigkeiten in den Weg. Der Genauigkeitsgrad der Wasserbilanz wird dadurch leicht in Mitleidenschaft gezogen.

Ähnlich verhält es sich mit der Bestimmung von Rücklage und Aufbrauch in den Sammel- und Abschmelzgebieten der Gletscher. Grosse Gletscher gleichen sämtliche klimatische Schwankungen mehr-, ja vieljährig aus. Die Ausgleichung vollzieht sich durch ihre Grössenschwankungen (Dicken- und Längenausdehnung). Der Niederschlag sammelnde Gletscher wächst, der aufgespeicherten Vorrat abgebende schwindet. Ein Wechsel in der Gletscherzu- und abnahme vollzieht sich in recht ungleichen Zeiträumen. Eine Gesetzmässigkeit besteht nicht. Entsprechend der Ausdehnung, Lage, Höhe und Gestalt der Gletscher, kann die jährliche Zu- oder Abnahme an Eis, je nach der Witterung, Beträge von vielen Millionen m^3 erreichen.¹

Daraus erhellt, was für eine Bedeutung den Gletschern im Wasserhaushalte eines Gebietes, speziell bei der Aufstellung der Wasserbilanz zukommt, und dass es keine so leichte Aufgabe ist, aus der jeweiligen Abflussmenge vergletschter Gebiete die wahre Niederschlagsmenge zu bestimmen. Die Zahl der Forschungsjahre für die in Untersuchung gezogenen Gebiete reicht leider zu normalen Werten noch nicht aus. Die Studien können aber, dank der Opferwilligkeit der Elektrizitätswirtschaft, fortgesetzt werden, so dass in einem späteren Zeitpunkte darüber Bericht erstattet werden kann.

Ich beschränke mich heute auf die Bekanntgabe weniger, aber grundlegender Ergebnisse.

¹ Hiezu folgendes Beispiel: Um den Einfluss der Sonnenstrahlung allein auf die Schmelztätigkeit der Gletscher bei heiterem, beinahe windstillem Wetter zu bestimmen, habe ich am 28. Juli 1925 auf dem Allalingsletscher (ca. 2100 m ü. M.) in die Gletscheroberfläche Gletschereisplatten von $30 \times 30 \times 10$ cm Grösse, bestrahlte Fläche $0,09 m^2$, an besonnener und beschatteter Stelle eingefügt. Die Eisstücke wurden bündig zur Gletscheroberfläche gebracht, so dass die Bestrahlung durch die Sonne den natürlichen Verhältnissen beinahe vollständig entsprach.

Ergebnisse: Sonnenscheindauer = 10 Stunden und 20 Minuten.

An Sonne bestrahltes Eisstück
Abschmelzung = $34,50 kg/m^2$
= $34,50 mm$,

Im Schatten bestrahltes Eisstück
Abschmelzung = $5,30 kg/m^2$
= $5,30 mm$,

somit durch die Wirkung der Sonnenstrahlen allein, d. h. als Betrag für die Schmelzkraft der Sonnenstrahlung: $(34,50 - 5,30) kg/m^2 = 29,20 mm$ in total 10 Stunden 20 Minuten.

Das Grimselgebiet in der Finsteraarhorngruppe

Abflußstation: Aare, Rätherichsboden. Ostexposition. Grösse: 98,29 km², davon Gletscher: 52,02 km² = 52,9 % der totalen. Mittlere Höhe: 2709 m ü. M. Tiefster Punkt: 1707 m ü. M. (Rätherichsboden), höchster Punkt: 4275 m ü. M. (Finsteraarhorn), Differenz: 2568 m.

Zahl der Niederschlagsstationen im Gebiet und seiner nächsten Umgebung: 9.

Bilanz für die 9jährige Untersuchungsperiode 1919/20—1927/28: Mittlere Niederschlagshöhe $N_h = 2415$ mm.-Ozeanitätswinkel¹: 41°43'.

(aus Isohyetenkarte)

Mittlere Abflusshöhe	$A_h = \underline{2195}$ mm	{	$A_{min.}$ 1924/25 = 1852 mm
			$A_{max.}$ 1919/20 = 2403 mm
Differenz	$N_h - A_h = \underline{220}$ mm		

Dieser Unterschied von 220 mm darf unter Berücksichtigung der Gletscherschwankungen und der Rücklagen und Aufbrauchvorgänge in der Untersuchungsperiode fast genau gleich der Gebietsverdunstung gesetzt werden. Der gewaltige Unteraargletscher gehört, seiner Ausdehnung und seines geringen Gefälles wegen, zu den trägsten Gletschern der Alpenwelt. Er reagiert deshalb nur wenig, sowie mit starker Verzögerung auf meteorologisch abnorme Perioden und zählt mithin zu den wirksamsten und langfristigen Abflussausgleichern.

*Das voralpine Inner-Wägital in den Schwyzer Alpen*²

Nordexposition. Grösse: 42,36 km². Felsen und Schutthalden: 8,84 km² (20,9 %), Wälder: 8,08 km² (19,1 %), Firn und Gletscher: —, Seen: 4,15 km² (9,8 %) bei Höchststand, übriges Gebiet: 21,29 km² (50,2 %). Mittlere Höhe: 1360 m ü. M. Tiefster Punkt: 900 m ü. M. (Stausee Innertal), höchster Punkt: 2297 m ü. M. (Muttristock), Differenz: 1397 m.

Zahl der Niederschlagsstationen im Gebiet: 18.

$$^1 \text{ tg } \omega = \frac{\text{Jahressumme der Niederschläge in mm}}{\text{Meereshöhe in m}}$$

vgl.: GAMS, H. Von den Follatères zur Dent de Morcles. Pflanzengeographische Kommission der S. N. G. Beiträge zur geobotanischen Landesaufnahme, 15. Bern 1927. S. 82 u. f.

² Vgl.: LÜTSCHG, O. Zur Wasserwirtschaft des Kraftwerkes Wägital. Siebnen 1930.

Bilanz für die 6jährige Untersuchungsperiode 1925/26—1930/31:
Mittlere Niederschlagshöhe $N_h = 2462$ mm. - Ozeanitätswinkel: $61^{\circ}05'$.
(aus Karte)

Mittlere Abflusshöhe	$A_h = \underline{2146}$ mm	$\left\{ \begin{array}{l} A_{min.} \text{ 1928/29} = 1711 \text{ mm}^1 \\ A_{max.} \text{ 1926/27} = 2598 \text{ mm} \end{array} \right.$
Differenz	$N_h - A_h = \underline{316}$ mm	

Das Total der Rücklagen auf 1. Oktober 1925 und 1. Oktober 1931 hält sich, unter Berücksichtigung der im Gebiete ausgeführten Erhebungen, die Waage, weshalb die Differenz $N_h - A_h$ gleich der mittleren Verdunstung des ganzen Gebietes gesetzt werden darf.

Das Rhonegletschergebiet in der Dammgruppe

Abflußstation: Rhone, Gletsch. Südexposition. Grösse: $38,87 \text{ km}^2$, davon Gletscher: $24,19 \text{ km}^2 = 62,2 \%$. Felsen und Schutthalden: $8,74 \text{ km}^2$ ($22,5 \%$), Wälder: $0,22 \text{ km}^2$ ($0,6 \%$), Firn und Gletscher: $24,19 \text{ km}^2$ ($62,2 \%$), Seen: —, übrige Gebiete: $5,72 \text{ km}^2$ ($14,7 \%$). Mittlere Höhe: 2720 m ü. M. Tiefster Punkt: 1760 m ü. M. (Gletsch), höchster Punkt: 3634 m ü. M. (Dammastock), Differenz: 1874 m.

Zahl der Niederschlagsstationen im Gebiet und seiner nächsten Umgebung: 10.

Bilanz für die 3jährige Untersuchungsperiode 1920/21—1922/23:
Mittlere Niederschlagshöhe $N_h = 2042$ mm. - Ozeanitätswinkel: $36^{\circ}54'$.
(aus Karte)

Mittlere Abflusshöhe	$A_h = \underline{2337}$ mm
Differenz	$N_h - A_h = \underline{-295}$ mm

Die vorliegende Untersuchungsperiode wird namentlich durch den aussergewöhnlich warmen und niederschlagsarmen Sommer und Herbst 1921 (Juli—Oktober) gekennzeichnet. Für das Wallis sind die Niederschlagssummen seit Bestehen des Stationsnetzes (68 Jahre) überhaupt die kleinsten. Die Niederschlagsarmut 1921 und des vorangegangenen Winters 1919/20 (sic) war eine nie dagewesene; bis zum 22. Oktober 1921 herrschte eine sommerliche Wärme. Der Verbrauch früherer Rücklagen (Ablationsbetrag der Gletscher) erreichte enorme Beträge. Um hierüber Anhaltspunkte zu erhalten, habe ich als Verdunstungsgrösse für das ganze Gebiet einen Be-

¹ Für die 13jährige Abflussperiode 1918/19—1930/31 ergeben sich folgende Minimal-, Maximal- und Mittelwerte:
 $A_{min.} = 1201$ mm (1920/21), $A_{max.} = 2689$ mm (1921/22), $A_m = 2092$ mm.

trag von 220 mm eingesetzt. Wenn wir die Rücklagen praktisch gleich Null setzen (gegenüber dem Aufbrauch kommt ihnen keine Bedeutung zu), so ergibt sich für den Aufbrauch

$$B = A + V - N = 515 \text{ mm,}$$

auf die totale Gletscherfläche bezogen, ein mittlerer Ablationsbeitrag von 830 mm Wasserhöhe, was einer Ablationsmasse von total rund 20 Millionen m³ entspricht.

Noch interessanter gestalten sich die Verhältnisse, wenn wir nur das Wärmejahr 1920/21 ins Auge fassen:

Ergebnisse:	N_h (aus Karte) =	1571 mm.	- Ozeanitätswinkel: 30°01'.
	A_h	=	<u>2410 mm</u>
Differenz	$N_h - A_h$	=	<u>- 839 mm</u>

In diesem aussergewöhnlichen Trockenjahr vermochten sich keine Rücklagen von Belang zu bilden, deshalb $R = 0$. Setzen wir für die Gesamtverdunstung des Gebietes einen Betrag von 300 mm ein (ein grösserer Wert darf entsprechend Gestalt und Bekleidung nicht in Rechnung gestellt werden), so ergibt sich für den Aufbrauch, bezogen auf das ganze Gebiet, $B = 1139$ mm. Dieser Wert entspricht einer Wassersäule über der Gesamtoberfläche der Gletscher des Einzugsgebietes von 1830 mm oder einer totalen Abflussmasse von 44,3 Millionen m³.

Stellen wir für den mittleren Wasserwert von Firn und Gletscher 0,6 in Rechnung, so erreicht der Gletscherschwund, bezogen auf die totale Gletscheroberfläche, eine Höhe von mindestens 3 Metern.

*Das Aletschgletschergebiet in der Finsteraarhorngruppe*¹

Abflußstation: Massa, Massaboden (Naters). Exposition: Süd-Südwest. Grösse: 205,01 km², davon Gletscher: 146,05 km² = 71,2% des totalen. Felsen und Schutthalden: 39,58 km² (19,3%). Wälder: 3,75 km² (1,8%). Firn und Gletscher: 146,1 (71,2%). Seen: 0,32 km² (0,2%). Übriges Gebiet: 15,40 km² (7,5%). Mittlere Höhe: 2918 m ü. M. Tiefster Punkt: 690 m ü. M. (Massaboden). Höchster Punkt: 4182 m ü. M. (Aletschhorn). Differenz: 3492 m.

Zahl der Niederschlagsstationen im Gebiet und seiner nächsten Umgebung: 9.

¹ Vgl.: LÛTSCHEG, O. Der Märjelsee und seine Abflussverhältnisse. Annalen der Schweiz. Landeshydrographie. Bd. I. Bern 1915.

Für die Grösse des Gebietes ist die Zahl der Niederschlagsstationen eine unzureichende, die grosse Fläche der Aletschhorngruppe ist mit gar keiner Station belegt. Der Genauigkeitsgrad der konstruierten Niederschlagskarte ist deshalb ein beschränkter.

Bilanz für die 5jährige Untersuchungsperiode 1923/24—1927/28:
Mittlere Niederschlagshöhe $N_h = 2844$ mm. - Ozeanitätswinkel: $44^\circ 16'$.
(aus Karte)

$$\begin{array}{l} \text{Mittlere Abflusshöhe} \quad A_h = \underline{2083} \text{ mm} \\ \text{Differenz} \quad N_h - A_h = \underline{761} \text{ mm} \end{array} \left\{ \begin{array}{l} A_{min.} \text{ 1924/25} = 1806 \text{ mm} \\ A_{max.} \text{ 1927/28} = 2773 \text{ mm} \end{array} \right.$$

Setzen wir für die mittlere Verdunstung des Gebietes $V = 200$ mm und für den Aufbrauch früherer Rücklagen $B = 200$ mm (Wärmesommer 1928) ein, so ergibt die Bilanzgleichung, bezogen auf das ganze Gebiet, $R = 760$ mm, auf die Gletscheroberflächen allein, eine Wassersäule von 1 Meter. Diese Akkumulation in den oberen und obersten Lagen des Gebietes entspricht den wirklichen Erscheinungen.¹

*Das obere Saastal in den Walliser Alpen (Penninen)*²

Abflußstation: Saaser Visp, Zermeiggern. Nordexposition. Grösse: $65,25 \text{ km}^2$, davon Gletscher: $29,09 \text{ km}^2 = 44,6 \%$ der totalen. Felsen und Schutthalden: $21,60 \text{ km}^2$ ($33,1 \%$). Wälder: $0,69 \text{ km}^2$ ($1,1 \%$). Firn und Gletscher: $29,09 \text{ km}^2$ ($44,6 \%$). Seen: $0,15 \text{ km}^2$ ($0,2 \%$). Übriges Gebiet: $13,72 \text{ km}^2$ ($21,0 \%$). Mittlere Höhe: 2850 m ü. M. Tiefster Punkt: 1729 m ü. M. (Zermeiggern). Höchster Punkt: 4203 m ü. M. (Rimpfischhorn). Differenz: 2474 m.

Zahl der Niederschlagsstationen im Gebiet und seiner nächsten Umgebung: 20.

Bilanz für die 9 jährige Periode 1922/23—1930/31:

Mittlere Niederschlagshöhe $N_h = 1904$ mm. - Ozeanitätswinkel: $43^\circ 51'$.
(aus Karte)

$$\begin{array}{l} \text{Mittlere Abflusshöhe} \quad A_h = \underline{1692} \text{ mm} \\ \text{Differenz} \quad N_h - A_h = \underline{212} \text{ mm} \end{array} \left\{ \begin{array}{l} A_{min.} \text{ 1924/25} = 1519 \text{ mm} \\ A_{max.} \text{ 1926/27} = 1990 \text{ mm} \end{array} \right.$$

¹ Vgl.: MAURER, J., u LÜTSCHG, O. Zur Meteorologie und Hydrologie des Jungfraugebietes. Festschrift zur Eröffnung der Hochalpinen Forschungsstation Jungfraujoch, S. 33—44, Zürich, Juni 1931.

² Vgl.: LÜTSCHG, O. Über Niederschlag und Abfluss im Hochgebirge. Zürich 1926.

Die Beträge für Rücklage und Aufbrauch heben sich nahezu auf. Der Differenzbetrag von 212 mm darf deshalb gleich der Gesamtverdunstung des Gebietes gesetzt werden.

Das Salanfegebiet in der Gruppe der Dent du Midi (Savoyer Alpen)

Abflußstation: Salanfe, Montagne de Salanfe. Nordostexposition. Grösse: 18,43 km², davon Gletscher: 1,28 km² = 6,9 % der totalen. Felsen und Schutthalden: 10,72 km² (58,2 %). Wälder: —. Firn und Gletscher: 1,28 km² (6,9 %). Seen: 0,012 km² (0,1 %). Übriges Gebiet: 6,42 km² (34,8 %). Mittlere Höhe: 2329 m ü. M. Tiefster Punkt: 1880 m ü. M. (Montagne de Salanfe). Höchster Punkt: 3222 m ü. M. (Tour Sallière). Differenz: 1342 m. Zahl der Niederschlagsstationen im Gebiet: 6.

Bilanz für die 2jährige Periode 1929/30 und 1930/31:

(Für jedes einzelne Jahr wurden Niederschlagskarten angefertigt.)

Ergebnisse 1929/30: Mittlere Niederschlagshöhe $N_{h1} = 2137$ mm
(aus Karte)

Mittlere Abflusshöhe $A_{h1} = 1860$ mm

Differenz $N_{h1} - A_{h1} = \underline{277}$ mm

Ergebnisse 1930/31: Mittlere Niederschlagshöhe $N_{h2} = 2611$ mm
(aus Karte)

Mittlere Abflusshöhe $A_{h2} = 2396$ mm

Differenz $N_{h2} - A_{h2} = \underline{215}$ mm

Mittelwerte für 1929/30—1930/31:

$$\frac{N_{h1} + N_{h2}}{2} = 2374 \text{ mm. -Ozeanitätswinkel: } 45^{\circ}33'.$$

$$\frac{A_{h1} + A_{h2}}{2} = \underline{2128} \text{ mm}$$

Differenz $N_h - A_h = \underline{246} \text{ mm}$

Die Rücklagen und Aufbrauchbeträge halten sich auch in diesem Bezirke annähernd das Gleichgewicht, weshalb die Differenz dem Mittelwert der Gesamtverdunstung gleichgestellt werden darf.

Ausgehend von der Erwägung, dass für eine wenn auch bescheidene Zahl von charakteristischen Landschaften der Schweizer Alpen verlässliche Werte vorliegen, habe ich den Versuch

gewagt, ihre Verdunstungsgrößen in Beziehung zur mittleren Höhenlage der Gebiete zu bringen. Verwenden wir hierzu ein Koordinatensystem, in welchem für die einzelnen Bezirke als Abszisse die Verdunstungswerte in Millimetern, als Ordinate die mittlere Höhenlage über Meer eingetragen wird, so ergibt sich als Hauptresultat die gewichtige Tatsache, dass die Gebietsverdunstung mit zunehmender mittlerer Höhenlage der Landschaft abnimmt, ein Ergebnis, welches

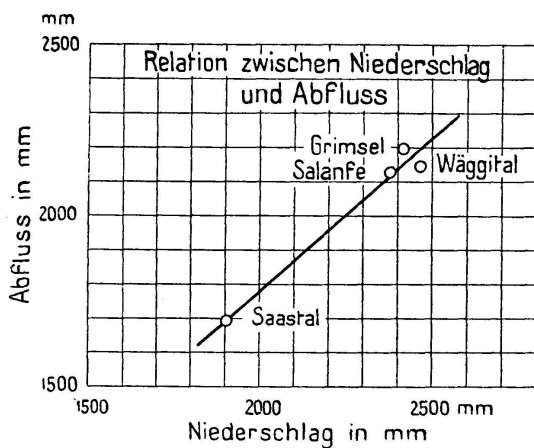


Fig. 1

Relation zwischen der mittleren Höhenlage der Gebiete und der Verdunstung

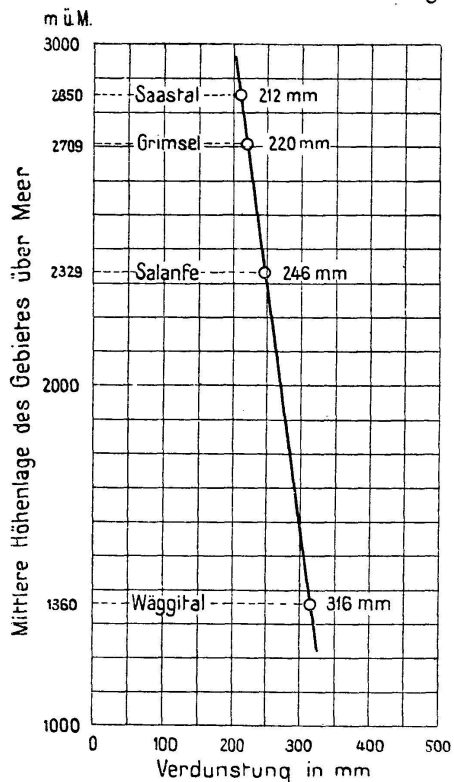


Fig. 2

übrigens mit unseren bisherigen Untersuchungen auf den Seen am Fusse der Alpen und in hochalpiner Lage harmoniert, trotzdem die Begriffe Landesverdunstung und Seeverdunstung scharf voneinander zu trennen sind (vgl. Fig. 1 und 2).

Bemerkenswert ist, dass sich die Landesverdunstung nur in recht bescheidenem Masse um die Eigenart der Bezirke zu kümmern scheint. Eine Erklärung für diese Erscheinung ist nicht leicht zu geben, weshalb es ratsamer sein dürfte, erst weitere Ergebnisse abzuwarten.

Die vier Punkte für Wäggitäl (316 mm), Salanfe (246 mm), Grimsel (220 m) und Saastal (212 mm) liegen genau auf einer Geraden, die Abnahme der Verdunstung mit der Höhe erreicht danach pro 100 m einen Betrag von rund 7 mm. Die geringe Streuung der Punkte (vgl. Fig. 2) beruht meines Erachtens nicht auf Zufälligkeiten, sondern es handelt sich dabei um Sonder-eigenschaften, teils der Jahresreihen, teils der Gebiete.

Zu weitergehenden Schlussfolgerungen reicht die Reihe der Sonderstudien und namentlich der Untersuchungsjahre noch nicht aus, weshalb ich von einer ausführlichen Kritik dieser Beziehungen absehe. Nehmen wir aber an — und dies dürfte in absehbarer Zeit auch der Fall sein — der Verlauf dieser Kurve (Fig. 2) sei durch eine hinreichende Zahl von Untersuchungen in absolut eindeutiger Weise festgelegt, ferner es lägen für sämtliche Forschungsbezirke für eine ganze Reihe von charakteristischen Einzeljahren auf dem Versuchswege ermittelte genaue Verdunstungswerte vor, dann kommt solchen Diagrammen in wissenschaftlicher und wirtschaftlicher Hinsicht — man denke dabei nur an die Sicherung eines geregelten ökonomischen Abflusses unserer Staubecken für die Energiewirtschaft — hohe Bedeutung zu, denn sie ermöglichen auf denkbar einfachste Weise eine zahlenmässige Erfassung des Gliedes ($R - B$), d. h. der Menge, um die sich der im Gebiet vorhandene Wasservorrat im vorangegangenen Jahr, in unserem Falle auf den jeweiligen Beginn des hydrographischen Jahres geändert hat.

Soll nämlich aus der Höhe des Niederschlages und des Abflusses zahlenmässig auf die Grösse von Rücklage weniger Aufbrauch ($R - B$) für bestimmte kurze Zeiträume geschlossen werden, so genügt es, anhand der Ergebnisse der ausgeführten Sonderstudien und der meteorologischen Verhältnisse die Gebietsverdunstung für den fraglichen Zeitraum festzustellen. Sie kann, sobald eine genügende Zahl von Sonderuntersuchungen für charakteristische Einzeljahre vorliegen, mit hinreichender Genauigkeit bestimmt werden.

Setzen wir die Differenzgrösse aus Niederschlag und Abfluss (U), sowie den ermittelten Betrag für die Gebietsverdunstung (V) in die Formel (3): $R - B = U - V$ ein, so entspricht eben dem Differenzbetrag ($U - V$) die Menge ($R - B$), um die sich der im Gebiet vorhandene Wasservorrat in der in Frage stehenden Zeit geändert hat.

Der nächste Schritt zu einer vermehrten Sicherstellung der Lage der Relationskurve (Fig. 2) besteht also darin, weitere Untersuchungen zur direkten Bestimmung der Verdunstung durch experimentelle Ermittlung der Rücklagen- und Aufbrauchbeträge für kurze Zeiträume, vorwiegend in verschiedenen vergletscherten Gebieten, auszuführen. Solche Studien sind im obern Saastale bereits an Hand genommen worden. Sämtliche Gletscher dieses eingehend erforschten Gebietes wurden nun auf den Beginn des hydrographischen Jahres (1. Oktober) auf photogrammetrische Weise durch das Geodätische Institut der Eidg. Techn. Hochschule, dank der lebhaften Unterstützung durch Herrn Schulratspräsident Prof. Dr. h. c. A. ROHN und den Herren Prof. Dr. h. c. BÄSCHLIN und Dr. ZELLER, vollständig neu vermessen (Firn- und Zungengebiet) und daraus die Flächen- und Massenvermehrung oder Verminderung, unter Berücksichtigung der Wasserwerte für Schnee und Firn, zahlenmässig genau ermittelt. Selbstverständlich ist es notwendig, auch die begonnenen Studien solange fortzusetzen, bis langjährige und einwandfreie Mittelwerte vorliegen, und nicht zuletzt muss dafür gesorgt werden, dass neue Gebiete erschlossen werden können.

Ausnahmefälle werden nicht ausbleiben. Die Art der Arbeit wechselt mit jeder Landschaft, weil jede letzten Endes ein Individuum ist. Ihre Charakterisierung kann nur durch Bewertung aller direkter und indirekter Beeinflussungen erfolgen. Erst auf der Synthese so gewonnener Ergebnisse darf der Versuch gemacht werden, „allgemeine“ Resultate aufzubauen.

Es wird also noch geraume Zeit vergehen, bis eine endgültige Lösung dieser für Wissenschaft und Wirtschaft gleich bedeutsamen Frage möglich ist. Das mögen sich oberflächliche Kritiker wohl merken!

Meine kurzen Ausführungen reden in überzeugender Weise, dass bei gründlicher Prüfung der Sachlage die restlose Lösung des vorliegenden Problems heute wohl möglich, aber noch dauernde Bemühung und unermüdliche Arbeit verlangt. Die Zukunft solcher Arbeiten wird davon abhängen, ob es meinem Institute wie bisher gelingt, seine Unabhängigkeit und Bewegungsfreiheit zu bewahren gegenüber den starken Faktoren, von denen sie getragen wird, sowohl gegenüber der Wirtschaft, wie gegenüber dem Staat. Für die Erreichung des festgelegten Zieles ist die

Freiheit von bürokratischen Hemmungen ein Erfordernis allerersten Ranges.

Zur Abklärung aller Fragen reicht wohl die Kraft des einzelnen Forschers nicht aus, nur kollektive Arbeit kann zum Ziele führen. Für den Einzelforscher gilt das eindrucksvolle Wort meines verstorbenen Freundes Prof. Dr. HANS STRASSER, Bern, mit welchem ich meine Uebersicht schliessen möchte:

„Der Einzelforscher muss einsehen, dass er nur Streckenarbeiter ist, der früher oder später auf der Strecke liegen bleiben wird. Aber das Bewusstsein, wenn auch noch so wenig, am Bau des Weges zu besserer Erkenntnis gearbeitet zu haben, befriedigt ihn, ist ihm genügend, ist sein Optimismus, sein Idealismus, sein Trost.“

Probleme der Hochgebirgsmeteorologie¹

Von

W. MÖRIKOFER,

Vorsteher des Physikalisch-Meteorologischen Observatoriums Davos

Probleme der Hochgebirgsmeteorologie hat die wissenschaftliche Forschung schon beinahe so früh zu lösen versucht, wie überhaupt meteorologische Beobachtungen angestellt wurden. So hat schon HORACE-BÉNÉDICT DE SAUSSURE vor bald 150 Jahren bei seinen Mont Blanc-Besteigungen meteorologische Daten gesammelt und speziell die Temperaturabnahme mit der Höhe mit einer Genauigkeit bestimmt, die noch heute überraschen muss. Eine wichtige Etappe der Entwicklung wurde dann später durch die Errichtung ständig bewohnter Bergobservatorien erreicht, und es ist wohl der gegebene Anlass, hier eines Jubilars zu gedenken. Am 1. September dieses Jahres werden nämlich fünfzig Jahre verstrichen sein, seit auf dem Säntis die regelmässigen Beobachtungen aufgenommen wurden, zuerst in Anlehnung an das Säntis-Gasthaus, fünf Jahre später in einem eigenen, noch jetzt bestehenden Observatoriumsgebäude. Die Säntiswarte verdankt ihre Entstehung einer Anregung des I. Internationalen Meteorologenkongresses von 1873 und wurde in der Hauptsache von dem jetzigen hochverdienten Direktor der Schweiz. Meteorolog. Zentralanstalt, Dr. J. MAURER, in den ersten Jahren seiner Tätigkeit an der Zentralanstalt installiert. Während Jahrzehnten war sie das einzige Gipfelobservatorium der Alpen und hat reiches Material zur Hochgebirgsmeteorologie geliefert. Seither sind in den Alpen noch mehrere Hochobservatorien zur Erforschung des Gipfelklimas gegründet worden, so auf der Zugspitze, dem Hohen Sonnblick und dem Monte Rosa, während sich anderseits die Observatorien von Davos und von Arosa mehr mit

¹ Vortrag, gehalten am 8. August 1932 an der Jahresversammlung der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft auf dem Jungfrauoch.

der Untersuchung des Klimas dauernd besiedelter Regionen und mit Spezialforschung befassen.

Die Errichtung der Hochalpinen Forschungsstation Jungfrauoch bietet nun auch der hochgebirgsmeteorologischen Forschung eine neue Arbeitsstätte, wie sie in solcher Meereshöhe nirgends sonst in Europa während des ganzen Jahres ständig bewohnt werden kann. Es erweckt ja den Anschein, als ob die Meteorologie beim Bau dieses Institutes zunächst etwas zu kurz gekommen sei, da hier am Südhang der Sphinx zweifellos die Temperatur- und die Niederschlagsverhältnisse einigermassen, die Windströmungen vollständig gestört sind und deshalb nicht als repräsentativ angesehen werden können. Andererseits ist es ganz klar, dass nicht das ganze Institut mit seinen vielfältigen Forschungsaufgaben auf den windumrausten Gipfel der Sphinx gestellt werden durfte, weil dort wissenschaftliche Präzisionsarbeiten sehr viel schwieriger auszuführen gewesen wären. Und leider verhindert für den Augenblick die Ungunst der Zeit die Ausführung des geplanten Spezialbaues für meteorologische Zwecke auf dem Sphinxgipfel.

Doch sollen uns diese Mängel die Freude am geschaffenen Werke nicht verdriessen, sondern wir wollen im Gegenteil versuchen, das Erreichbare aus den gegebenen Möglichkeiten herauszuholen. Den äussern Anlass dazu bietet uns das Internationale Polarjahr, das am 1. August dieses Jahres begonnen hat und den Zweck verfolgt, durch eine gleichzeitige Zusammenarbeit der Forscher aller Länder, in den Polargebieten wie in den übrigen Teilen der Erde, unser meteorologisches und geophysikalisches Wissen um einen grossen Schritt vorwärts zu bringen. Auch das höchste ständig bewohnbare Bergobservatorium der Alpen spielt in diesem Beobachtungsnetz eine wichtige Rolle, und so hat die Schweizerische Meteorologische Zentralanstalt den schon von DE QUERVAIN begründeten Holzpavillon oben auf dem Jungfrauochfirn neu und reicher ausgestattet. Ausserdem hat es sich aber auch durch ein Zusammengehen des Physikalisch-Meteorologischen Observatoriums Davos mit dem Jungfrauoch-Institut ermöglichen lassen, im Forschungsinstitut eine ganz moderne meteorologische Arbeitsstätte einzurichten und während des ganzen Polarjahres einen wissenschaftlich geschulten Meteorologen hier oben arbeiten zu lassen; so ergibt sich die Möglichkeit, auf dem Jungfrauoch neben der gewöhnlichen Meteorologie auch Spezialuntersuchungen, vor allem

Wolken- und Strahlungsforschung, in grossem Maßstabe durchzuführen. Auf diese Weise hoffen wir unsern Beitrag zur internationalen Zusammenarbeit beisteuern, aber auch für die Strahlungsklimatologie unseres Landes einen wichtigen Eckpfeiler setzen zu können.

Doch, nun wollen wir uns dem eigentlichen Thema unseres Referates zuwenden und sehen, was für Probleme uns die Hochgebirgsmeteorologie stellt.

Ganz ungleich ist unser Wissen vom Verhalten der einzelnen meteorologischen Elemente im Hochgebirge und speziell ihrer Änderung mit der Meereshöhe. Die wichtigsten dieser Probleme, ältere und neuere, wollen wir nun kurz durchgehen, damit Sie sich ein Bild davon machen können, was für spezielle Aufgaben ein Observatorium wie die Hochalpine Forschungsstation Jungfrauoch auf dem Gebiete der meteorologischen Forschung zu bearbeiten hat.

Wohl vertraut, da einem einfachen physikalischen Gesetze gehorchend, ist uns die Abnahme von Luftdruck und Luftdichte mit der Meereshöhe. In der Höhe, in der wir uns jetzt befinden, beträgt der Luftdruck ziemlich genau nur noch zwei Drittel des Wertes im Meeresniveau, ein Drittel der Atmosphäre liegt bereits unter uns. Die Luftdichte nimmt mit der Höhe etwas weniger schnell ab als der Druck, da die Luft in den höheren Schichten kälter und somit auch dichter ist, als es bei Temperaturgleichheit der Fall wäre.

Für die meisten Gase der Atmosphäre nimmt der Druck mit der Meereshöhe in gleichem Masse ab, eine wichtige Ausnahme bildet jedoch der Wasserdampf. Dieser zeigt eine sehr viel stärkere Abnahme mit der Höhe, und zwar befolgt die Abnahme des Wasserdampfdruckes ein verhältnismässig strenges Gesetz, so regelmässig, dass sich der Dampfdruck in höheren Gebirgslagen recht zuverlässig aus dem Dampfdruck an einer Basisstation berechnen lässt. Als Faustregel mag man sich merken, dass der Wasserdampfdruck auf die Hälfte abnimmt, wenn man im Gebirge um 2000 m höher steigt; da die Druckabnahme eine geometrische Progression befolgt, ist es dabei ganz einerlei, von welchem Niveau aus man diese Erhebung berechnet.

Infolge der starken Wasserdampfabnahme mit der Höhe erreicht die Austrocknungsgrösse im Hochgebirge sehr viel grössere Werte als in der Niederung. Je trockener die Luft, um so grösser ist eben ihr „Dampfhunger“, und desto stärker die Verdunstung.

Jedermann kennt die Wirkungen dieser starken Verdunstung, die z. B. die Haut spröde, Möbel rissig werden lässt.

Problematischer als der Wasserdampf ist die Beimengung anderer Substanzen in der Luft, und in dieser Beziehung haben gerade die letzten Jahre eine Wandlung der Anschauungen gezeigt. Während man z. B. früher mit dem Berner Jodforscher v. FELLEBERG annahm, dass die Jodkonzentration mit der Meereshöhe abnimmt, zeigte kürzlich CAUER auf dem Sonnblick, dass unter Umständen der Jodgehalt der Luft in der Höhe gleich gross sein kann wie in der Ebene. Ähnlich hohe Jodwerte fand nach mündlicher Mitteilung CAUER auch auf dem Jungfraujoch, wo er gerade jetzt seinen Untersuchungen obliegt.

Auch in bezug auf das Ozon der unteren Luftschichten sind wir jetzt besser orientiert. Seitdem im Jahre 1930 GÖTZ und LADENBURG in Arosa und FABRY und BUISSON in der Provence auch in den bodennahen Luftschichten einen ganz geringen Ozongehalt nachgewiesen haben, können wir annehmen, dass mit zunehmender Erhebung über das Meeresniveau, also auch im Hochgebirge, die Ozonkonzentration wohl anwächst; denn der Ursprung auch dieses Ozons ist zweifellos in der Stratosphäre zu suchen, wo dieses Gas ja in stärkerer Konzentration nachgewiesen ist.

Von den festen Beimengungen der Atmosphäre ist es ganz klar, dass sowohl Staub- wie Keimgehalt der Luft, die beide von den menschlichen Siedelungen ihren Ausgang nehmen, in der Einsamkeit des Hochgebirges auf ungeheuer niedrige Werte sinken.

Sehr viel reicher an Problemen ist im Hochgebirge das Gebiet der Lufterlektrizität. Wohl wissen wir, dass die Zahl der leichten Ionen mit der Meereshöhe zunimmt, dass die Leitfähigkeit mit der Höhe wächst, und dass besonders auf Berggipfeln die Zahl der positiven Ionen wegen der Spitzenwirkung der negativen Erdladung beträchtlich gesteigert ist, während andererseits das Potentialgefälle in der Höhe kleiner wird. Auch ohne Messungen können wir annehmen, dass die Zahl der schweren Ionen, die sich hauptsächlich an den Verbrennungsprodukten der menschlichen Siedelungen bilden, im Hochgebirge sehr viel kleiner ist als in der Niederung.

Aber obgleich schon mehrfach längere Beobachtungsreihen im Gebirge durchgeführt wurden, und speziell GÖCKEL gerade hier auf dem Jungfraujoch eingehende Untersuchungen angestellt hat,

die von unserer Gesellschaft mit dem „Schläffipreis“ ausgezeichnet und in die „Neuen Denkschriften“ aufgenommen wurden, sind wir über die Einzelheiten des Ionenhaushaltes noch keineswegs genau informiert. Speziell auch die für den Hochtouristen bedeutsame Hypothese, wonach die Bergkrankheit auf lokale Störungen der luftelektrischen Verhältnisse, besonders auf ein starkes Überwiegen der Zahl der Ionen eines Vorzeichens, zurückzuführen sei, bedürfte der Stütze neuer, eingehender Messungen an Stellen, die durch lokales Auftreten von Bergkrankheit ausgezeichnet sind. Nach unseren heutigen Anschauungen über die Wirkung luftelektrischer Vorgänge auf das Befinden vermögen wir allerdings nicht recht an eine solche Erklärung der Bergkrankheit zu glauben.

Bei der schon erwähnten starken Abnahme des Wasserdampfes mit der Höhe mag es auf den ersten Blick überraschen, dass die Menge der Kondensationsprodukte des Wasserdampfes — vor allem Regen oder Schnee — mit der Meereshöhe stark anwächst; und doch stellt deren Zunahme mit der Meereshöhe eine der auffallendsten Erscheinungen des Hochgebirgsklimas dar. Die Bodenerhebungen zwingen eben die feuchtigkeitgesättigte Luft zum Aufsteigen und dadurch zu Abkühlung und Kondensation, wobei durch die Steilheit der Böschung die Geschwindigkeit und damit die Ergiebigkeit der Kondensation gesteigert wird. Die Niederschlagsmenge zeigt deshalb ein starkes Anwachsen mit der Meereshöhe und mit der Steilheit der Täler und Hänge.

Doch unbeschränkt kann die Niederschlagsmenge mit der Meereshöhe auch nicht zunehmen. Der Wasserdampfgehalt der Luft nimmt ja mit der Höhe schnell ab, und auch die regenbringenden Wolken ziehen auch nicht in sehr grosser Höhe; somit muss auch die Menge des durch Kondensation in Form von Regen und Schnee aus der Luft ausgeschiedenen Wassers in grösseren Höhen wieder abnehmen. Die Meereshöhe, in der die grössten Niederschlagsmengen fallen, wurde in den meisten Gebirgen zu etwas über 1000 m bestimmt. Für die Alpen wird auf Grund früherer Untersuchungen meist eine Höhe von 2000 bis 2500 m als die Region der maximalen Niederschläge angesehen. Doch erweist sich diese verbreitete Annahme als durchaus unrichtig. Aus Kurven, die ich nach Daten von Direktor MAURER für das Berner Oberland für die Abhängigkeit der Niederschlagsmenge von der Meereshöhe aufgestellt habe, ergibt sich, dass in den Berner Alpen, also am nord-

westlichen, gegen Regenwinde freien Aussenhang der Alpenkette, die Niederschlagsmenge mit der Höhe dauernd anwächst und auch an der höchsten Meßstelle, am Mönchsgrat in 3800 m Höhe, noch keinerlei Tendenz zur Abnahme erkennen lässt. Diese starke Zunahme des Zuwachses in grösseren Höhen ist zweifellos zum Teil dem Einflusse der Meereshöhe zuzuschreiben, daneben aber auch der gerade an diesen Berner Oberländer Bergzügen grossen Steilheit der Geländeböschung.

Es ist klar, dass lokale Einflüsse die Niederschlagsmenge stark modifizieren können; vor allem im Windschutz ist der Niederschlag meist geringer, als der Meereshöhe entspricht. Ein Beispiel für die Wirkung des Windschutzes im grossen bietet das Wallis. An Hand einer Kurve, die ich nach den Angaben von Dr. O. LÜTSCHEG aus seiner grossen Studie über Niederschlag und Abfluss im Mattmarkgebiet zusammengestellt habe, ergibt sich nämlich, dass im Wallis, einem abgeschlossenen Binnental, die Niederschlagssumme durchschnittlich nur etwa halb so gross ist als in gleicher Meereshöhe in den Berner Alpen.

Alle diese Erkenntnisse über die Niederschlagsverhältnisse im Hochgebirge verdanken wir der Einführung der Totalisatoren, die nur einmal im Jahre abgelesen werden müssen. Um aber auch über die feinere Struktur der Niederschlagsverhältnisse in dieser grossen Seehöhe Aufschluss zu erhalten, wurden auf dem Dache des Jungfrauoch-Institutsgebäudes sowohl ein gewöhnlicher Niederschlagsmesser als auch ein elektrisch geheizter, registrierender Niederschlagsmesser zur fortlaufenden Aufzeichnung der Niederschläge aufgestellt und beide mit grossem Schneeschutzschirm versehen. Es stellt dies einen ersten Versuch dar, einen genaueren Einblick in die Niederschlagsverhältnisse in so grosser Meereshöhe zu gewinnen. Während schon in einer Höhe von 1600 bis 1800 m nahezu die Hälfte des Niederschlages in Form von Schnee fällt, können wir annehmen, dass in der Höhe des Jungfrauoches und darüber der gesamte Niederschlag als Schnee auftritt.

Die Probleme der Luftströmungen bieten dem Hochgebirgsmeteorologen ein besonders reiches Arbeitsfeld, ist er doch an seiner Arbeitsstätte den Winden in aussergewöhnlichem Masse ausgesetzt. Da in der freien Atmosphäre die Windgeschwindigkeit mit der Höhe stark anwächst, befinden sich die hohen Gipfel in der Region starker Luftbewegung. Andererseits erzeugen die Berge

selbst eine Störung des Strömungsfeldes, die im Luv zu Stauung und Geschwindigkeitserhöhung, im Lee zu Verminderung der Luftbewegung führt. Infolgedessen herrschen in freien Lagen, auf Bergkämmen und Gipfeln starke Winde, während die Gebirgstäler vorzüglich vor den gegen die Gebirge wehenden Luftströmungen geschützt sind. Drei typische Schweizer Stationen mögen als Beispiel dafür angeführt werden: Zürich in ziemlich freier Lage mit einer mittleren Windgeschwindigkeit von 2—3 m/Sek., Davos in ausserordentlich geschützter Hochtallage mit dem Minimum im Winter und einem Jahresmittel von 1,3 m/Sek., und der Säntis als freistehender Voralpengipfel mit einem Mittel von 6—8 m/Sek.

Noch ein Wort von den lokalen Windströmungen der Gebirge. Deren wichtigste ist der Föhn; er wird zwar durch das Gebirge erzeugt, wird aber vor allem in den tief eingeschnittenen Tälern stark fühlbar. Ähnlich verhält es sich mit dem täglichen Windwechsel von Berg- und Talwind; auch diese durch die tägliche Erwärmung erzeugten Luftströmungen spielen sich in der Hauptsache in den Tälern ab und treten in den Hochlagen weniger deutlich in Erscheinung. Doch auch die Firnregion hat ihren Lokalwind, den erst ganz neuerdings von TOLLNER genauer untersuchten Gletscherwind. Analog wie in jedem gewöhnlichen Tale bei Schönwetter tagsüber ein aufsteigender Talwind, nachts ein abwärtsfliessender Bergwind auftritt, so lässt sich bei ungestörter Wetterlage in den Gletscher- und Firngebieten tagsüber eine abwärtsgerichtete Luftströmung beobachten, der Gletscherwind. Die auf dem Firn liegende Luft kühlt sich hier eben ab, sie wird dadurch schwerer und fliesst, dem Gesetze der Schwere folgend, abwärts, wodurch eine gleichmässige, leichte Luftströmung entsteht. Sie besitzt keine grosse Mächtigkeit und ist unterhalb des Gletschers wohl auch nicht sehr weit zu verfolgen, da sie sich beim Herunterströmen adiabatisch erwärmt. Am unteren Ende des Gletschers schiebt sich diese Luftströmung unter den normalen Talwind, der aus den unteren Partien des Tales kommt und über dem Gletscherwind bis zur Kammhöhe emporsteigt. So bildet sich über Firn und Gletscher ein mehr oder weniger geschlossenes Zirkulationssystem aus. Eine dem normalen Windwechsel analoge Umkehr in der Nacht kann natürlich nicht eintreten, im Gegenteil wird dann die Abkühlung auf dem Gletscher den gewöhnlichen, abfliessenden Bergwind noch verstärken.

Ein interessantes Windproblem des Hochgebirges wurde kürzlich von TRAVNIČEK in Graz aufgeworfen. Dieser österreichische Forscher hatte festgestellt, dass die Unruhe im Luftmeer, gemessen an der Häufigkeit der Luftdruckwellen und der interdiurnen Luftdruckveränderlichkeit, nicht von Jahr zu Jahr ähnlich ist oder willkürlich schwankt, sondern in einer Periode von 25—30 Jahren eine grosse Schwankung durchmacht. Zur Erklärung dieser Tatsache untersuchte TRAVNIČEK nun die Windgeschwindigkeit, sowie die Häufigkeit von Sturm und Windstille in den Ostalpen und machte dabei zwei ganz überraschende Feststellungen: Einmal, dass auch die Windstärke einer Periode von etwa dreissig Jahren unterliegt, und sodann, dass auf den Hochstationen Sonnblick und Obir die Minima und Maxima dieser Gesetzmässigkeit gerade umgekehrt liegen als in der Niederung bei Wien; er schliesst daraus, dass sich offenbar der grösste Teil der Troposphäre gerade dann am schnellsten bewegt, wenn die Bodenwinde am schwächsten sind und umgekehrt.

Dieses Ergebnis hat nicht nur grosses theoretisches Interesse im Hinblick auf die Zirkulationstätigkeit in der Atmosphäre, sondern auch eine beträchtliche praktische Bedeutung. Da der Winddruck mit dem Quadrat der Windgeschwindigkeit geht und somit nach TRAVNIČEK im Maximum auf das Zweieinhalb- bis Dreifache des Minimums ansteigt, darf der Bergförster nicht an diesen Feststellungen vorübergehen; aber auch physiologische und hoctouristische Interessen werden von diesen Schwankungen berührt. Besitzen die Feststellungen von TRAVNIČEK allgemeine Gültigkeit, so können sie auch zur Prognose verwendet werden, und wir dürften für die Ostalpen ein relativ sturmarmes Jahrzehnt erwarten.

Im Hinblick auf die praktische Bedeutung dieser von TRAVNIČEK für die Ostalpen festgestellten Beziehungen habe ich nun die Frage geprüft, ob diese Gesetzmässigkeiten auch für unsere Schweizer Alpen Gültigkeit besitzen. Dabei hat sich aus einem Vergleich der vorzüglichen Windregistrierungen in Zürich und auf dem Säntis ergeben, dass in diesem Material weder von einer Periodizität, noch von einem entgegengesetzten Verhalten der Hochstation gegenüber der Niederung auch nur eine Spur zu bemerken ist. Dagegen lassen beide Stationen im letzten Halbjahrhundert eine Abnahme der durchschnittlichen Windgeschwindigkeit erkennen; so ist auf dem Säntis das Jahresmittel von nahezu 8 m/Sek.

in den Achtzigerjahren auf etwa $5\frac{1}{2}$ m/Sek. im letzten Jahrzehnt gesunken, und auch in Zürich ist eine merkliche Abnahme zu verzeichnen. Ob diese Schwächung der Windintensitäten reell oder durch eine allmähliche Abnutzung der Anemographen wenigstens zum Teil vorgetäuscht ist, kann ich nicht entscheiden.

So sehen wir, dass die Luftströmungen im Hochgebirge noch manches Problem bieten. Aus diesem Grunde mag es bedauerlich erscheinen, dass hier, an der Stelle der Forschungsstation, gute Windregistrierungen nicht möglich sind. Wenn auch wesentlich besser, so böte auch der Sphinxgipfel keine einwandfreie Aufstellung. Auch dieser Punkt ist im Osten und Westen von rund 600 m höheren Bergen, dem Mönch und der Jungfrau, überragt, und Winde aus diesen beiden Himmelsrichtungen würden deshalb stets abgelenkt und abgeschwächt werden. Da möchte es als wünschenswert erscheinen, auf einem dieser Gipfel selbst eine Windregistrierung einzurichten. Aber ganz abgesehen von den grossen technischen Schwierigkeiten und der Gefahr häufiger Störungen wollen wir auch über die Ergebnisse solcher Registrierungen nicht mehr allzu optimistisch denken. Vor kurzem hat nämlich ZISTLER auf Grund von Pilotballonaufstiegen gezeigt, dass sogar auf dem Gipfel der Zugspitze, die der höchste Punkt ihres ganzen Bergmassivs ist, die Luftströmungen bis in einige hundert Meter Höhe weitgehende Richtungsänderungen durch das Gebirge erfahren, und dass sich der Einfluss des Reliefs sogar bis in 2 km Höhe über dem Gipfel in schwachem Masse noch bemerkbar macht. Was man früher zu erreichen hoffte, nämlich auf freigelegenen Berggipfeln die Strömungsverhältnisse der freien Atmosphäre zu studieren, lässt sich somit nur in angenähertem Masse erreichen. Aus diesem Grunde wird während der Polarjahrbeobachtungen auf dem Jungfraujoch vor allem die Zugrichtung der unteren Wolken als Indikator für die Strömung der freien Atmosphäre benützt.

Kürzer können wir uns über die Temperaturverhältnisse fassen. Auf dem Jungfraujoch bewegen sich die Monatsmittel der Temperatur etwa zwischen 0° in den Hochsommermonaten und -12° im Winter, während in der schweizerischen Niederung die entsprechenden Werte etwa $+18^{\circ}$ und -1° betragen; die Jahresschwankung ist in der Höhe somit geringer als in der Tiefe. Es rührt dies hauptsächlich daher, dass in den Hochlagen infolge der häufigen Temperaturinversionen die Wintertemperaturen nicht so tief sinken,

wie zu erwarten wäre. Diese Erscheinung der Temperaturumkehr kommt dadurch zustande, dass die erkaltete Luft, der Schwere folgend, sich in den Talbecken und in der Niederung sammelt, während die wärmere sich darüber lagert. Zudem kommt bei Schönwetterlage im Hochgebirge die Sonnenstrahlung vorzüglich zur Wirkung, während dann häufig die Niederung unter einer Nebeldecke ruht. In solchen Fällen nimmt in den unteren Luftschichten die Temperatur nicht — wie es gewöhnlich der Fall ist — mit der Höhe ab, sondern zu.

Nicht nur der Jahres-, auch der Tagesverlauf der Temperatur ist stark von der Bodengestaltung abhängig. So sind auf Berggipfeln und ähnlich in Hanglage die täglichen Temperaturschwankungen sehr stark gemässigt, ähnlich wie im maritimen Klima, während auf Talsohlen der kontinentale Klimatypus mit grossen Temperaturschwankungen heimisch ist. Als Zahlenbeispiel hierfür sei angeführt, dass auf dem Rigi die Temperatur von 7 Uhr morgens bis 1 Uhr mittags um durchschnittlich nur 2° ansteigt, auf der Talsohle des Engadins dagegen um 8° .

In bezug auf die Wirkung auf den Menschen ist nun allerdings nicht die Lufttemperatur das geeignetste Mass, sondern die Abkühlungsgrösse, die die Gesamtheit der auf einen Körper von $36,5^{\circ}$ C. wirkenden äusseren Abkühlungsfaktoren, nämlich Lufttemperatur, Wind und Ausstrahlung, in physikalisch definiertem Masse erfasst. Auf Grund der von BIDER bearbeiteten Basler Registrierungen mit dem Davoser Frigorimeter habe ich berechnet, dass die Wärmeabgabe auf einem Hochgebirgsgipfel im Sommer etwa viermal, im Winter etwa zwei- bis dreimal so gross ist als gleichzeitig in der Niederung oder in geschützten Hochtallagen. Bei der Abkühlung spielt eben nicht etwa die Temperatur, sondern die Bewegung der Luft die Hauptrolle.

Schliesslich wenden wir uns nun noch zu den Strahlungsproblemen; gerade in der Hochgebirgsmeteorologie fällt ihnen eine besonders wichtige Rolle zu. Die Sonnenstrahlung erfährt beim Durchgang durch die Erdatmosphäre eine beträchtliche Schwächung durch Absorption und Diffusion, deren Wirkung um so stärker in Erscheinung tritt, je länger der vom Lichtstrahl in der Atmosphäre zurückgelegte Weg und je grösser die Dichte der durchlaufenen Luft ist. Die Strahlung ist deshalb morgens und abends schwächer als mittags, im Winter schwächer als im Sommer, im Tiefland

schwächer als im Hochgebirge. Die Zunahme der Sonnenstrahlungsintensität beim Anstieg aus der Niederung in das Hochgebirge ist somit eine charakteristische Eigenschaft des Hochgebirgsklimas.

Doch geht uns der diffundierte Strahlungsanteil nicht völlig verloren, sondern kommt uns als diffuses Himmelslicht wieder zu. Da die Diffusion mit der Länge der durchlaufenen Luftmasse anwächst, erscheint im Hochgebirge der Himmel weniger durch diffuses Licht erhellt, also dunkler und blauer als in der Niederung.

Das Typische an den Sonnenstrahlungsverhältnissen im Hochgebirge lässt sich durch eine Gegenüberstellung von Niederung und Hochgebirge folgendermassen charakterisieren. Im Hochgebirge finden wir einen wesentlich ausgeglicheneren Tages- und Jahresverlauf der Wärmestrahlung als im Tieflande, und speziell im Jahresgang sind die Variationen nur gering. Aus diesem Grunde sind die Hochlagen vor allem im Winter der Niederung bedeutend überlegen. Alle Unterschiede wachsen mit der Kurzwelligkeit der Strahlung; aus diesem Grunde sind Tages- und Jahresverlauf und Höhenzunahme bei der ultravioletten Strahlung sehr viel stärker ausgeprägt als bei der sichtbaren oder der Wärmestrahlung. Das Ultraviolett der Sonnenstrahlung zeigt deshalb sehr grosse Tages- und Jahresschwankung und grosse Unterschiede zwischen Tiefland und Hochgebirge, die besonders im Winter sehr stark sind.

Über das Mass der Zunahme der Sonnenstrahlungsintensität mit wachsender Meereshöhe sei folgendes festgehalten: Im Frühjahr, Sommer und Herbst zeigt die Strahlungsintensität einen ganz ähnlichen Verlauf; einzig im Winter sind wegen des niederen Sonnenstandes und der Dunstschicht der untersten 1000 Meter die Strahlungswerte im Tieflande bedeutend stärker gedrückt. Bemerkenswert ist ferner die Tatsache, dass trotz dem höchsten Sonnenstande im Sommer die Strahlungsintensität durchgehends im Frühjahr ihr Maximum hat; im Winter geht eben wegen der Kälte der Wasserdampfgehalt der Atmosphäre sehr stark zurück und ist auch im Frühjahr noch keineswegs wieder ersetzt, und infolgedessen erfährt auch die Strahlung nur eine geringe Wasserdampfabsorption.

Wichtig ist aber ferner, dass oberhalb der Dunstschicht der Niederung — beispielsweise oberhalb 1000 m — die Strahlung nur noch langsam mit der Höhe zunimmt, und dass die Strahlungsintensität auf den höchsten Alpengipfeln nur etwa 10 % grösser

ist als im Niveau der meisten Höhenkurorte; zwischen diesen einzelnen Orten vollends sind die Unterschiede der Strahlungsintensität verschwindend klein. Wichtiger als die Unterschiede der Intensität zwischen den verschiedenen Orten ist vielmehr die Häufigkeit des Sonnenscheins oder deren Korrelat, die Häufigkeit der Bewölkung. Während in der Niederung der Winter die wolkenreichste und der Sommer die heiterste Jahreszeit ist, verhält es sich im Gebirge gerade umgekehrt; das Charakteristikum des Hochgebirges ist die grosse Heiterkeit des Winters. Gegenüber den Hochtallagen ist jedoch die Gipfelregion wesentlich reicher an Bewölkung; wegen der aufsteigenden Luftströme ist eben auf den Gipfeln und Kämmen in der warmen Tages- und Jahreszeit die Wolkenbildung besonders intensiv, so dass man in Gipfel- und Passlagen häufig in Wolken und Nebel sitzt, wo ringsherum schönes Wetter herrscht. Mag sein, dass aus diesem Grunde gerade auch das Jungfraujoch verhältnismässig selten Gelegenheit zu Strahlungsmessungen bietet; zum Ausgleich dafür haben wir deshalb auch für unsere Arbeiten während des Polarjahres eingehende Wolken- und Nebeluntersuchungen vorgesehen, wofür es an Gelegenheit nicht mangeln wird.

In der heutigen Zeit, wo fast in allen Ländern grosse Geldmittel aufgewendet werden, um durch Höhengänge mit künstlichen Hilfsmitteln einen besseren Einblick in die Zustände der höheren Luftschichten zu erhalten und auf diese Weise die Treffsicherheit der Wetterprognose, die Sicherheit des Flugverkehrs und den Fortschritt meteorologischer Forschung zu fördern, liegt es auf der Hand, dass es unsere, der schweizerischen Forschung Aufgabe sein muss, auch diesen von der Natur in 3500 m Höhe vorgetriebenen Fixpunkt nach besten Kräften auszunützen. Dass es uns an dieser neuen Arbeitsstätte nicht an Problemen gebricht, hoffe ich mit diesem kurzen Überblick gezeigt zu haben.

Pflanzenphysiologische Probleme des Hochgebirges

Von

G. SENN, Basel

Die felsig-schneeige Umgebung des Jungfrauoch-Instituts drängt die Frage auf: „Ja, was hat denn der Botaniker in solchen Höhen zu suchen? Da wächst ja überhaupt nichts mehr!“ Diese Frage ist durchaus verständlich, aber doch nicht berechtigt. Dass der Botaniker auf dem Jungfrauoch etwas zu suchen hat, und was er dort finden kann, das soll im folgenden an einigen Beispielen klar gemacht werden. Ist ihm doch durch den Bau des wissenschaftlichen Instituts die Möglichkeit geschaffen worden, auch in der Eis- und Schneeregion Fragen an die Pflanzen zu stellen, welche prinzipiell wichtige Antworten erwarten lassen.

1.

Fragen zunächst an solche Pflanzen, die in der Schneeregion zu Hause sind und im Tiefland bisher noch nicht untersucht werden konnten, weil sie sich dort nur schwer kultivieren lassen. Ich denke in erster Linie an die Algen, deren Standort das Firnfeld ist, und die man je nach der Farbe, die sie dem Schnee verleihen, als grünen, gelben, braunen und roten Schnee bezeichnet. Fast durchwegs handelt es sich um einzellige Algen und Flagellaten, die dank ihrem Chlorophyllgehalt grün gefärbt sind oder infolge der Beimischung eines anderen Farbstoffs die erwähnten Färbungen des Schnees erzeugen. In morphologischer Beziehung sind sie schon wiederholt beschrieben worden, so zum Beispiel durch R. CHODAT (1896, S. 881). Über ihre Physiologie ist aber nur soviel bekannt, dass sie das aktive Stadium ihres Lebens im Schmelzwasser des Schnees durchlaufen, also etwa bei 0 Grad ihr Temperaturoptimum haben. Unterhalb dieser Tempe-

ratur, d. h. wenn das Wasser gefriert, gehen diese Algen in den Ruhezustand über, ebenso wenn das Wasser wärmer wird, falls sie nicht etwa infolge der Temperaturerhöhung vorher abgestorben sind.

Auf alle Algen einzugehen, welche den Schnee in verschiedener Weise färben, würde zu weit führen. Ich muss mich darauf beschränken, einiges über den sogenannten roten Schnee zu sagen, über den wir noch am besten Bescheid wissen. Er wird durch *Sphaerella (Chlamydomonas) nivalis* hervorgerufen, eine Verwandte des berühmten *Volvox*. Wenn diese in den Schmelzmulden des Firnschnees auftritt, sieht es aus, als hätte man verdünnten Himbeersaft in den Schnee gegossen. Betrachtet man diesen „roten Schnee“ mit einer etwa zehnmal vergrößernden Lupe, so lassen sich darin eben noch kleine rote Pünktchen erkennen. Unter dem Mikroskop erscheinen diese als rotgefärbte, unbewegliche kugelige Zellen mit einer ziemlich derben Membran. Die rote Färbung des Zellinhalts rührt von Carotin her, das, in einem fetten Öl gelöst, entweder die ganze Zelle oder nur deren mittlere Partien rot färbt, demzufolge dann in der Peripherie das Chlorophyllgrün sichtbar wird. Ob diese Zellen ausschliesslich Dauerstadien sind, welche nur einen schwachen Stoffwechsel besitzen, oder ob es sich um aktive Stadien handelt, die sich durch lebhaftere Assimilation der Kohlensäure auszeichnen, also das eigentliche vegetative Stadium der Alge repräsentieren, weiss man noch nicht. Vielleicht stellt wenigstens ein Teil der völlig roten Zellen das Dauerstadium dar; die teilweise grün gefärbten dagegen scheinen die vegetativen Individuen mit lebhaftem Stoffwechsel zu sein. Unter noch nicht bekannten Bedingungen gehen diese unbeweglichen Zellen in das bewegliche Stadium über, in welchem sie meist einen Teil des Carotins auflösen und dann wenigstens am Rande deutlich grün erscheinen. Statt einer festen, dünnen Membran tragen sie eine gallertartige, dicke Hülle, welche am einen verjüngten Ende der Alge die beiden Geisseln austreten lässt, mit deren Hilfe diese Zellen im Schmelzwasser herumschwimmen. Ob diese begeisselten Stadien rein vegetativen Charakter haben, oder ob sie auch die Fähigkeit besitzen, sich mit andern Zellen zu verschmelzen, sich also sexuell zu verhalten, wissen wir noch nicht. Dies wäre deshalb nicht ausgeschlossen, weil ihre Verwandten, die grünen *Chlamydomonaden*, diese Fähigkeit besitzen. Wir wissen auch nicht, in welchem Stadium und

unter welchen Bedingungen sie die Kohlensäure-Assimilation und ihre sonstigen Lebensfunktionen am intensivsten vollziehen. CHODAT (1896 S. 882) hat festgestellt, dass die Schwärmer ihre Bewegung über $+4^{\circ}$ C. sistieren. Wenn einmal genauere Untersuchungen über diese Frage ausgeführt werden, dürfen sie sich jedenfalls nicht darauf beschränken, die Temperatur des Wassers zu messen, in welchem sich die Schneealgen befinden; man wird vielmehr auch feststellen müssen, wie warm die Algenzellen selbst werden. Ist es doch sehr wohl denkbar, dass sie sich dank ihrer Rotfärbung wesentlich stärker erwärmen als ihre Umgebung, so dass sie vielleicht mit Hilfe dieser Wärme zum Abschmelzen des sie umgebenden Firnschnees beitragen. Also der interessanten Fragen genug, die sich auf dem Jungfrauoch mit seinem unerschöpflichen Schneevorrat, seiner niedrigen Lufttemperatur und seiner starken Sonnenstrahlung ohne besonders grosse Schwierigkeiten werden studieren lassen.

2.

Aber nicht nur die Physiologie der Schneealgen, auch diejenige der alpinen Bodenpflanzen, d. h. der Flechten, Moose, Farne und Blütenpflanzen bietet dem Botaniker viele Probleme, die er wenigstens zum Teil nur in einem hochalpinen Institut studieren kann. Das wichtigste Problem, dem er bei diesen Pflanzen gegenübersteht, ist ihre Fähigkeit, mitten im aktivsten Leben steif zu gefrieren und nachher wieder aufzutauen, ohne irgendwelchen Schaden zu nehmen. Bekanntlich ertragen die meisten unserer Tieflandpflanzen das Gefrieren nicht, sondern erfrieren dabei. Nun hat allerdings der russische Pflanzenphysiologe MAXIMOW (1912, S. 58) gezeigt, dass Traubenzuckerlösungen das Protoplasma der Pflanzen vor dem Erfrieren schützen. Ob die Widerstandsfähigkeit der Alpenpflanzen gegen niedrige Temperaturen tatsächlich auf der Umwandlung ihrer Stärke in Traubenzucker beruht, und weshalb sich die Tieflandpflanzen nicht auch auf diese Weise vor dem Erfrieren zu schützen vermögen, das sind noch offene Fragen.

Über den Stoffwechsel der Alpenpflanzen, speziell über ihre Kohlensäure-Assimilation und über ihre Transpiration, ist durch die Untersuchungen meiner Schülerin, M. HENRICI (1918 und 1921) und durch meine eigenen Versuche auf Muottas Muraigl (SENN 1922) zwar einiges, aber noch lange nicht alles bekannt geworden.

Da es sich bei diesen Forschungen herausgestellt hat, dass die Alpenpflanzen die optimalen Bedingungen für diese Funktionen bei niedriger Lufttemperatur und hoher Lichtintensität finden, ist zu erwarten, dass im Jungfrauoch-Institut, in dessen Umgebung niedrige Lufttemperatur stets, und starkes Licht wenigstens an hellen Tagen herrscht, die Lücken unserer bisherigen Kenntnisse unter den günstigsten Bedingungen ausgefüllt werden können. Dies gilt auch für Untersuchungen über die Atmung der Alpenpflanzen im Vergleich zu derjenigen der Tieflandgewächse, worüber noch jegliche Anhaltspunkte fehlen.

Neben diesen Grundfragen der Physiologie der Alpenpflanzen harren noch manche spezielle Probleme ihrer Lösung. So z. B. die Frage, wieso *Soldanella* imstande ist, ihre Blüten schäfte durch die auf ihr ruhende Schneedecke hindurchzustrecken, so dass sich ihre Blüten über derselben zu entfalten vermögen. Ist es ihre eigene bei der Atmung entwickelte Wärme, welche sie den Schnee durchzuschmelzen befähigt, oder ist es die strahlende Wärme der Sonne, welche die Schneedecke durchdringt und dann von den braunen Blüten schäften so stark absorbiert wird, dass diese mit der von aussen aufgenommenen Wärme den Schnee zu schmelzen vermögen?

Auch müssen die Ursachen des sogenannten Spalierwuchses mancher hochalpiner Sträucher, des Zwergwacholders (*Juniperus nana*), der Zwergweiden (*Salices*), der Alpenazalee (*Loiseleuria*) usw. endgültig festgestellt werden. Die Eigentümlichkeit dieser Pflanzen, sich stets den Steinen anzuschmiegen, scheint nach meinen bisherigen Versuchen auf Thermotropismus zu beruhen, d. h. auf der Fähigkeit der Pflanzen, zu warmen Gegenständen hinzuwachsen. Die bisher noch ausstehenden schlüssigen Experimente über diese Frage werden übrigens nicht nur für die Kenntnis des Thermotropismus der Alpensträucher von Wert sein, sondern für die Kenntnis des Thermotropismus überhaupt, weil wir über diesen sozusagen noch nichts wissen; tritt er doch bei den Tieflandpflanzen kaum in Erscheinung.

3.

Ausser Problemen der Physiologie der Alpenpflanzen können auf hochalpinen Stationen auch solche der Tieflandpflanzen mit Vorteil bearbeitet werden. Dabei handelt es sich in erster Linie um Fragen,

bei welchen der Einfluss niedriger Lufttemperatur und hoher Lichtintensität eine Rolle spielt. So hat STRASBURGER schon im Jahre 1878 (S. 605) festgestellt, dass freibewegliche Schwärmsporen der roten Regenalge (*Chlamydococcus*) und der grünen Kraushaaralge (*Ulothrix*) bei höheren Temperaturen von maximal $+ 35^{\circ}$ C. zu einer Lichtquelle hinschwimmen, vor der sie bei niedrigeren Temperaturen fliehen, also auf dieselbe Lichtintensität bei höherer Temperatur positiv, bei niedriger negativ reagieren. Dasselbe konnte ich (SENN, 1908, S. 119) für die sich innerhalb der behäuteten Pflanzenzelle bewegendenden Chlorophyllkörner feststellen. Während sie in den Blättchen des Laubmooses *Funaria* in Wasser von $+ 30$ bis $+ 20^{\circ}$ C. unter dem Einfluss des diffusen Himmelslichts sich nach denjenigen Wandpartien hinbegeben, welche dem Licht am stärksten ausgesetzt sind, kriechen sie bei gleicher Lichtintensität, aber in Wasser von nur $+ 4^{\circ}$ C., nach denjenigen Wandpartien, welche vom Licht bloss streifend getroffen, also schwach belichtet werden. Diese Wirkung kann bei niederen Temperaturen sogar durch die langwelligen roten Strahlen ausgeübt werden, welche bei mittleren Temperaturen phototaktisch wirkungslos sind. Ob diese negative Phototaxis ganzer Zellen oder ihrer Organe auf der Auflösung ihrer Stärke beruht, welche bei Temperaturen unter $+ 6^{\circ}$ C. stattfindet, wodurch ganze Zellen und Chromatophoren für Lichtreize auch sonst besonders empfindlich werden, ist sehr wohl denkbar, sollte aber noch mit genauen photometrischen Methoden untersucht werden. Hierzu bietet das Jungfrauojoch-Institut besonders günstige Gelegenheit.

Dasselbe gilt für die Untersuchungen über den Auf- und Abbau der Reservestoffe der Pflanzen, welcher bei höherer bzw. bei tiefer Temperatur erfolgt. Ich denke, ausser an die schon erwähnte Bildung und Wiederauflösung der Stärke, auch an die Umwandlung der gespeicherten Stärke in fette Öle, wie sie bei unseren Fettebäumen, z. B. der Birke und der Linde im Winter eintritt (A. FISCHER, 1891). Ich denke ferner an die Verhinderung anderer Kondensationsvorgänge durch niedrige Temperaturen, wie z. B. der Holzstoff- oder Ligninbildung durch Temperaturen unter $+ 5^{\circ}$ C. (ZINN, 1930).

Ob unter dem Einfluss der starken Verminderung des Luftdrucks, ähnlich wie im menschlichen und tierischen Organismus die roten Blutkörperchen vermehrt werden, auch bei den Pflanzen

bestimmte Zellen oder Zellorgane, z. B. die Chromatophoren, eine Vermehrung erfahren, scheint in einem hochalpinen Laboratorium unter besonders günstigen Bedingungen studiert werden zu können.

Da alle diese Tieflandpflanzen auf der Höhe des Jungfrau-joches ebensowenig wachsen wie die Alpenpflanzen, müssen sie eben hinauftransportiert werden. Dies kann dank der Bahnverbindung ohne Schwierigkeiten bewerkstelligt werden. Dass ihre Kultur in den Räumen des Instituts möglich ist, haben einige darin angestellte Versuche ergeben. Ja es wird auch gelingen, wenigstens die Alpenpflanzen dort oben im Freien zu kultivieren, wenn sie an geschützten Stellen gehalten werden. Zu dieser Hoffnung berechtigt uns die Tatsache, dass nicht weit unterhalb der Spitze des Finsteraarhorns Nivalpflanzen in Blüte gefunden worden sind.

* * *

So stellen die in hochalpiner Lage herrschenden Bedingungen den Botaniker vor die mannigfaltigsten Fragen, und zwar nicht etwa nur vor spezielle Fragen der Physiologie der Alpenpflanzen. Vielmehr handelt es sich um allgemeine Probleme der Pflanzenphysiologie, um alle diejenigen nämlich, bei welchen Temperatur und Lichtintensität eine Rolle spielen.

Literaturverzeichnis

- 1896 CHODAT, R.: Sur la flore des neiges du col des Ecandies. Bull. Herb. Boiss. Bd. 4, S. 879—889.
- 1891 FISCHER, A.: Beiträge zur Physiologie der Holzgewächse. Pringsh. Jahrb. f. wissensch. Botanik. Bd. 22, S. 73 ff.
- 1918 HENRICI, M.: Chlorophyllgehalt und Kohlensäure-Assimilation bei Alpen- und Ebenenpflanzen. Verh. Nat. Ges. Basel. Bd. 30, S. 43 ff.
- 1921 — Zweigipflige Assimilationskurven alpiner Schattenpflanzen und Flechten. Ebenda. Bd. 32, S. 107 ff.
- 1912 MAXIMOW, N. A.: Chemische Schutzmittel der Pflanzen gegen Erfrieren. Ber. d. deutsch. Bot. Ges. Bd. 30, S. 52, 293, 504.
- 1908 SENN, G.: Die Gestalts- und Lageveränderung der Pflanzen-Chromatophoren. Leipzig, W. Engelmann.
- 1922 — Untersuchungen über die Physiologie der Alpenpflanzen. Verhandl. d. Schweiz. Naturforsch. Ges. Bern, II, S. 154 ff.
- 1878 STRASBURGER, E.: Wirkung des Lichtes und der Wärme auf Schwärm-sporen. Jenaische Zeitschr. f. Naturwiss. Bd. 12, S. 551 ff.
- 1930 ZINN, B.: Abhängigkeit der Lignin- und Xylembildung von äusseren Faktoren. Diss. Basel. Effingerhof AG., Brugg.