

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: 132 (1952)

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: 02.05.2026

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

A.

Wissenschaftlicher Teil

Eröffnungsrede des Jahrespräsidenten
und Hauptvorträge

Vorträge, gehalten in den Sektionssitzungen

Partie scientifique

Discours d'introduction du Président annuel
et Conférences principales

Communications faites aux séances de sections

Partita scientifica

Discorso inaugurale del Presidente annuale
e Conferenze principali

Comunicazioni fatte alle sedute delle sezioni

Leere Seite
Blank page
Page vide

Eröffnungsansprache des Jahrespräsidenten der S. N. G.

bei Anlaß der 132. Jahresversammlung in Bern
23. bis 25. August 1952

Von

FRITZ BALTZER (Bern)

Entwicklungsphysiologische und genetische Betrachtungen zur Bildung geistiger Eigenschaften beim Menschen

Der Jahrespräsident, der die Tagung einzuleiten hat, hat wohl das Recht, in seiner Ansprache von etwas zu reden, was ihm nahe am Herzen liegt. Das ist der Grund, warum ich mich zu genetisch-entwicklungsphysiologischen Betrachtungen über die Bildung geistiger Eigenschaften beim Menschen entschloß. – Vor 1½ Jahren ist in den «Basler Nachrichten» eine Diskussion geführt worden über den Zusammenhang zwischen menschlicher Persönlichkeit und Erbgrundlage. Sie ist trotz der Größe des Gegenstandes ziemlich unfruchtbar im Sande verlaufen. Diese Erfahrung war ein zweiter Grund für das genannte Thema. Ein dritter Grund war der, daß das Thema auf dieser Tagung vom berufenen Fachmann weiter behandelt wird, indem Kollege BLEULER nach mir «Über Biologie und Entwicklungslehre der menschlichen Persönlichkeit» sprechen wird.

Sie wissen so gut wie ich, daß es sich bei diesem Thema um ein Wespennest handelt. Für jede Fakultät hat der Mensch einen anderen Aspekt, und auch innerhalb der zoologischen naturwissenschaftlichen Anthropologie gehen die Standpunkte auseinander. Der Zoologe kann beim Menschen mehr das untersuchen, was ihn mit der Tierwelt verbindet, oder – wie PORTMANN (z. B. 1951) – das spezifisch Menschliche in den Vordergrund rücken. Damit stellt sich die Frage: *Was* ist das spezifisch Menschliche und wie ordnet es sich unseren allgemein biologischen Erfahrungen ein oder unter oder steht über ihnen.

Ich möchte drei Fragen formulieren:

1. Nach den Erfahrungen der Vererbungswissenschaft wird jede biologische Entwicklung, auch jedes tierische Verhalten, in hohem Grade von Erbfaktoren bestimmt. In welchem Grade führen uns diese Erfahrungen auch für den Menschen zu einem stark deterministischen Standpunkt?

2. In welchem Grade wird eine strenge Bedingtheit, wenn nicht durch Erbfaktoren, so dann durch die Umwelt gegeben – eine Umwelt, die beim Menschen ihre ganz besondere Art und Mannigfaltigkeit hat? Der Mensch ist ein soziales Lebewesen. Das Erbgut ist mit der Befruchtung festgelegt. Dann vollzieht sich die Entwicklung des Keimes zunächst in der uterinen Umwelt der Mutter. Nach der Geburt folgt eine Periode, in der die Mutter als ernährendes und hegendes Wesen ausschlaggebende Bedeutung hat. Dann endlich entwickelt sich das Kleinkind hinein in eine soziale und eigentlich menschliche Umwelt, in eine sprachliche Gemeinschaft mit anderen Menschen, mit einer ungeheuer vielgestaltigen Tradition, Kultur, Zivilisation und Technik. In welchem Grade sind auch *diese* Einflüsse, so fragen wir, deterministisch? Und es ist weiter zu sagen, daß wir mit dieser eigentlich menschlichen Umwelt schon den Rahmen des rein Biologischen überschritten haben.

Dies gilt erst recht für die dritte, die menschlichste Frage:

3. In welchem Grade hat das menschliche Individuum auch den höchsten Säugetieren gegenüber eine neue Möglichkeit: die freie Entscheidung über seine Handlungen, über das, was es aus seiner individuellen Veranlagung macht?

Wie notwendig hier eine kritische Betrachtung der Grenzen ist, mögen (in freier Kürzung) zwei sich ergänzende Zitate deutlicher machen: Das eine stammt von G. JUST (1951), dem kürzlich verstorbenen Humangenetiker, der die Arbeit vieler Jahre den Beziehungen zwischen menschlicher Erbgrundlage, sozialer Umwelt und geistigen Leistungen gewidmet hat. «Was alles bietet sich», sagt er, «unter dem Namen Anthropologie heute an, wo überall von der Dringlichkeit der Aufgabe gesprochen wird, ein neues Bild des Menschen aufzurichten, wo die Antworten sich über die ganze Skala denkbarer Möglichkeiten ausbreiten. ... Es gibt nicht nur eine, sondern eine ganze Reihe philosophischer, theologischer, medizinischer Anthropologien. ... Gegenüber ihnen hat die biologische Anthropologie eine bescheidenere Aufgabe: Sie will nicht ein ideelles Bild des Menschen (in metaphysischem Sinn) aufrichten, sondern sie sucht – mit induktiven Mitteln – nur das *natürliche* Bild des Menschen, die Lebenserscheinung Mensch so unverzerrt wie möglich aufzufangen. Sie will nicht *fordern*, sondern feststellen, nicht *werten*, sondern beobachten...» (l. c., S. 41 ff.) Auch in dieser Beschränkung umfaßt die biologische Anthropologie durchaus legitime Gebiete über die Tierkunde hinaus, indem sie die dem Naturforscher zugänglichen *menschlichen Eigenschaften und Umwelten einzubeziehen* hat. Hierher gehören ein Teil der sozialen Beziehungen, biologisch-medizinisch die Beziehungen zwischen Hormonen und psychischem Verhalten sowie ein Teil der Psychologie, wieviel von ihr, darüber sind sich, soviel ich sehe, die Psychologen selbst nicht einig.

«Umgekehrt», fährt JUST fort, «bedarf die biologische Anthropologie eines kritisch philosophischen Oberbaues, um, soweit dies wissenschaftlich überhaupt erreichbar ist, ein *Gesamtbild* vom Sein und Wesen des Menschen zu geben.» Aber dieser Oberbau darf sich nicht «vom Boden

der biologischen Wirklichkeit allzuweit entfernen und von einem verzerrt gesehenen Anthropos ausgehen» (l. c., S. 45).

Das andere Zitat entnehme ich G. BALLYS Artikel «Der psychische Begriff in der medizinischen Psychologie» (1946): «Auf drei Weisen kann der Mensch *sich selbst* zum Gegenstand werden: als physikalisch-chemisch zu ergründende Natur; als biologisch zu erforschende lebendige Substanz; als *psychologisch zu beschreibendes* Lebewesen.» Dabei ist das wesentliche, über das JUSTSche Zitat hinausführende, das eigentliche Problem darin gegeben, daß wir uns selbst zum Gegenstand werden können, «daß ich in der freien Besinnung auf mich selbst mir selbst zur Aufgabe werde . . . daß ich also mein Leben nicht einfach leben kann, sondern *führen* muß» . . . daß der Mensch «die Freiheit hat, Selbstverwirklichung zu wollen – oder nicht zu wollen» (1946, S. 14f.). Es hat seinen tiefen Grund, daß in einem Fall der Biologe, im anderen Fall der Arzt spricht.

* * *

Kehren wir zunächst zur Frage der Determination durch das Vererbungsgeschehen zurück. Es ist bemerkenswert und beinahe schon trivial, daß die Ergebnisse der Erbforschung in sich selbst weniger deterministisch sind, als sie manchenorts betrachtet werden. Sie finden bei C. STERN in seinen 1950 erschienenen Grundlagen der menschlichen Vererbungslehre ein fesselndes und gut belegtes Kapitel über die Wirkung der Gene, der in den Chromosomen gelegenen Erbfaktoren. Diese Wirkung ist bei sehr vielen Genen unregelmäßig, und zwar aus entwicklungsphysiologischen Gründen: Der Weg vom Gen bis zu seiner Äußerung im Merkmal ist weit; er ist ein äußerst kompliziertes *Netzwerk* zahlreicher Entwicklungsprozesse, in dem die Genwirkungen an vielen Stellen durch fremde Einflüsse geändert werden können, sei es durch andere Gene, durch die Plasmaverteilung, sei es durch Faktoren der verschiedenen Umwelten oder durch die Kompliziertheit der Prozeßkette überhaupt.

Es sei hier aus der Morphologie nur *ein* Beispiel der menschlichen Genetik genauer betrachtet: *die Ausbildung des Klumpfußes*, des pied bot (WERTHEMANN, 1952). Der Klumpfuß ist nach innen gekrümmt, seine Sohle nach abwärts gebogen (Spitzfuß); das Fersenbein steht schräg.

Es ist sicher, daß er stark erblich bedingt ist und wahrscheinlich auf einem rezessiven Faktor beruht. Berechnet auf die Gesamtbevölkerung, hat er eine Häufigkeit von $\frac{1}{2}$ bis 1 Promille. In einzelnen Familienkreisen erreicht er jedoch eine Häufigkeit von 13 bis 16 Promille, also rund das 20fache; dies spricht durchaus für Erblichkeit.

Was uns hier besonders angeht, ist der *Ausbildungs- oder Manifestationsgrad* dieser Mißbildung, d. h. der Wirkungsgrad ihrer Erbgrundlage. In der Hälfte der Fälle hat nur *ein* Fuß den Klumptypus, der andere ist normal. Aber natürlich haben die Zellen beider Füße die gleiche Erb-anlage; diese ist jedoch nur bei der Entwicklung des einen Fußes wirksam geworden.

Für die herabgesetzte Manifestation spricht auch die Untersuchung von eineiigen Zwillingen. Diese haben infolge ihrer Entstehung aus dem gleichen Ei ein gleiches (chromosomales) Erbgut. Unter 40 EZ-Paaren waren aber nur in 13 Fällen beide Paarlinge wenigstens einseitig klumpfüßig. Bei den übrigen 27 Paaren war ein Paarling normal. Was vorhin für die beiden Füße einer Person gegolten hatte, wiederholt sich hier für erbgleiche Individuenpaare. Der Manifestationsgrad ist auch hier herabgesetzt.

4. Von Interesse ist noch folgendes: Der Klumpfuß stellt sehr wahrscheinlich wie viele andere Mißbildungen eine erbbedingte Entwicklungshemmung dar. Die Entwicklung geht bis zur 6.–8. Woche normal; aber die nachfolgenden Gestaltungsprozesse sind gestört. Es werden wohl ungefähr die richtigen Knochenelemente gebildet; sie sind aber von mehr oder weniger abweichender Form und abweichender Stellung. Auch die zugehörige Muskulatur und die Bänder werden topographisch und in den Maßen abnormal, was zu weiteren Störungen führt. Diese komplizierte «Maschinerie» muß man sich vor Augen führen, um zu verstehen, was Erbanlage und embryonales Entwicklungsmuster (hier für die Knochen- und Muskelemente) bedeuten. Von kleinen ersten Abweichungen, die nicht in beiden Fußanlagen gleich zu sein brauchen, können im Weiterschreiten der Entwicklung variable schwere Störungen ausgehen.

Wieso es dann bei symmetrischen Organen zu verschiedener Ausbildung kommt, für diese Frage finden wir bei GOLDSCHMIDT (1938, S. 223) eine interessante Betrachtung. Darnach stellen sich schwankende Manifestationen und Asymmetrie vor allem ein:

1. wenn Gene in ihrer Wirkungsstärke abgeschwächt sind, von denen Wachstumsprozesse (Förderung oder Hemmung) abhängen; in diese Gruppe gehört offensichtlich der Klumpfuß hinein;

2. wenn in der Embryonalentwicklung «Engpässe» in der Ausbreitung genbedingter Wachstumsfaktoren vorhanden sind. Sie steigern die Möglichkeit der Ungleichheit. Man braucht nur daran zu denken, daß das Wachstum von der Blutzufuhr, von Hormonen und (z. B. bei der Gliedmaßenentwicklung) auch von der Nervenversorgung abhängt, so haben wir Beispiele solcher Engpässe.

* * *

Die Genetik führt, entwicklungsphysiologisch betrachtet, automatisch zu einer weiteren Tatsache von großer allgemeinbiologischer Tragweite. Wir betrachteten schon, daß jede Genwirkung erst über ein sehr verwickeltes Netzwerk von embryonalen Prozessen zu dem endgültigen Merkmal führt. In diesem Netzwerk befinden sich Wirkungsorte für äußerst zahlreiche Gene. Dementsprechend wird *jede* Eigenschaft nicht nur von *einem*, sondern von *sehr vielen* Genen kontrolliert. Auch die Zeit, nicht nur der Ort ihrer Wirkung ist normiert. Von dieser polygenen Grundlage der Merkmalsbildung aus gelangen wir zu einem prinzipiellen Gegensatz zwischen zwei Hauptphasen des individuellen Werdens:

Die Verteilung und Übertragung der Erbfaktoren im Kern (also mindestens des größten Teiles des Erbgutes) von den Eltern auf die Kinder durch die Geschlechtszellen und die Befruchtung geschieht «organisiert zufallsmäßig». So müssen wir diese Verteilung nennen, weil dafür gesorgt ist, daß jeder Geschlechtszelle von jeder Erbfaktorenkategorie ein Vertreter einverleibt wird.

Aber mit der embryonalen Entwicklung des Individuums ändert sich das Bild. An die Phase der Verteilung der Erbfaktoren schließt jetzt die Phase ihrer intensivsten *Zusammenwirkung* an. Dies gilt sowohl für die einzelne Zelle wie für vielzellige Organe und für den Keim als Ganzes. Hier hat die Entwicklung in hohem Grade die Fähigkeit, die *Tendenz*, ein proportioniertes, harmonisches, in seinen Funktionen ausgeglichenes Ganzes zu werden. Dies kommt ja auch schon im SPEMANNschen Terminus des embryonalen «Organisators» und in der «Selbstorganisation» zum Ausdruck. Sie ist eine ebenso grundlegende Fähigkeit des sich entwickelnden Keimes, wie es die beschränkt zufallsmäßige Verteilung der Erbfaktoren in der Übertragungsphase war. Mit Sicherheit spielt dabei nicht nur der durch den Kern übertragene Genbestand, sondern auch der Bau des Eiplasmas eine wichtige Rolle. Aber *wie* sich in diesem Doppelsystem die Gen- und Plasmavorgänge verflechten, ist größtenteils unbekannt. Es läßt sich wohl sagen, daß von dieser Organisationsfähigkeit die Sicherung der normalen Entwicklung zu einem großen Teil abhängt. Lassen wir dahingestellt, ob sich in ihr, wie es SPEMANN einmal vorsichtig andeutete (1936, S. 278), eine fundamentale psychische Eigenschaft der lebenden Substanz ausdrückt. Ein Beweis ist nicht zu führen.

Schließlich ist eine dritte Betrachtung hinzuzufügen, wobei wir auch hier zunächst bei morphologischen Eigenschaften bleiben wollen: Der allergrößte Teil der in ihrem Erbgang analysierbaren Eigenschaften beim Menschen bezieht sich nicht auf normale Charaktere, sondern auf abweichende, oft anormale, oft pathologische Varianten derselben. Diese werden gerade durch ihren *abweichenden* Charakter erst genetisch verfolgbar.

So kennt man (WERTHEMANN, 1952) für die Fuß- und Handentwicklung etwa ein Dutzend verschiedener angeborener Anomalien, die Einzelgenen zugeordnet werden können, neben dem Klumpfuß z. B. die Ausbildung von mehr oder weniger als fünf Zehen, die Verdoppelung der großen Zehe, diejenige von Mittelfußknochen usw. Sie erweitern das Bild, das wir uns von der Steuerung der Fuß- oder Handentwicklung durch Erbfaktoren machen können; aber trotzdem ist es schwer, von den anormalen Fällen zur Erbbedingtheit der normalen Entwicklung als Ganzem zu kommen. Diese kennen zu lernen ist aber das allgemeine Ziel.

Fassen wir zusammen:

1. Es ist richtig, daß der Erbfaktorenbestand einen mosaikartigen Charakter hat und glücklicherweise für jedes Individuum mosaikmäßig neu zusammengestellt wird.

2. Ebenso richtig aber ist, daß die embryonale Entwicklung als Einheit verläuft, in die sich die Wirkung der Gene einordnet.
3. Es ist weiter nicht unwesentlich, daß wir mit variablen Genwirkungen rechnen müssen, da gerade damit Möglichkeiten für die Wirkungen der Umwelt gegeben sind. Alle drei Dinge sind biologisch eine Grundlage für die Individualität und, auf das Psychische projiziert, für die Persönlichkeit, dieses höchste Glück der Erdenkinder.

* * *

Damit kommen wir zur Betrachtung der zweiten Gruppe von Faktoren, zu denjenigen der Umwelt. Es dreht sich darum, wie diese Einflüsse mit den Wirkungen der Erbfaktoren in Beziehung zu setzen sind, mögen diese nun im Kern liegen (Gene) oder im Plasma. Auch hier möchte ich nur *ein* Beispiel betrachten: die Möglichkeit des *Phänokopierens*. Man kann durch *äußere* Einwirkungen Entwicklungen auslösen, die normalerweise durch Erbfaktoren hervorgebracht werden. Dies eben sind Phänokopien. Ein sehr schönes Beispiel hat GLOOR (1945) in Zürich für *Drosophila* ausgearbeitet.

Es gibt bei dieser Fliege eine erbliche mehr oder minder kopflose Anomalie, namens *cryptocephal* (*crc*). Sie wird durch einen einfachen rezessiven Erbfaktor verursacht, der im II. Chromosom liegt. Oder richtiger gesagt: Der Kopf wird zwar gebildet, aber nicht, wie in der normalen Entwicklung, ausgestülpt. Die Wirkung des Erbfaktors *crc*, der den Ausstülpungsprozeß hemmt, trifft außerdem noch andere Eigenschaften an verschiedenen Organen. Mit anderen Worten: Es entsteht ein kompliziertes Schädigungs- und Hemmungsmuster.

Und nun das für uns Wesentliche: Die gleichen Anomalien entstehen, wenn junge normale *Drosophilapuppen* (Vorpuppen) während 40 Min. einer Temperatur von 40° ausgesetzt werden. Der Umweltfaktor hat also in einer bestimmten Entwicklungsphase in die Maschinerie der Puppenentwicklung wie ein Erbfaktor eingegriffen. Das Geleise der Maschinerie ist dabei die Grundlage, der Erb- oder stellvertretend der Außenfaktor bewirkt als Auslöser die Abweichung vom normalen Entwicklungsweg.

Das, worauf es hier ankommt, ist diese Vertretbarkeit. Umweltfaktoren und Erbfaktoren stehen einander, worauf auch Herr BLEULER hinweisen wird, nicht *gegenüber* als zwei in ihrer Wirkung gegensätzliche Faktorengruppen, sondern sie bilden, etwas extrem gesagt, in den Geleisen der Embryonalentwicklung eine Einheit. — Solcher Phänokopien gibt es viele. Immer werden dabei durch bestimmte Umweltfaktoren Entwicklungsbesonderheiten hervorgerufen, für die sonst Erbfaktoren verantwortlich sind.

Wir haben mit allem Gesagten gegenüber der atomistischen Betrachtung der einzelnen Erbfaktoren die Vorstellung des embryonalen *Entwicklungsmusters* betont. Es ist nicht unwahrscheinlich, daß solche Muster auch in der Stammesgeschichte weiter wirken. Wenn Erbfaktoren

mutieren, wirken sich die Veränderungen in einem schon vorhandenen Entwicklungsmuster aus, und damit werden ihren Wirkungen bestimmte Richtungen gegeben. Diese Vorstellung ist nahe verwandt mit derjenigen der Orthogenese. Wie die Paläontologie zeigt, sind in der Stammesgeschichte *Formenreihen* recht häufig, in denen eine einmal eingeschlagene Entwicklung Schritt für Schritt weiter geführt wird bis zu einem spezialisierten Endtypus. Bekannte Beispiele sind die Stammreihen der Pferde oder der Elefanten im Tertiär. Sie können, wenn wir theoretisch weiter interpretieren, als *finale* Entwicklung gedeutet werden. Jedenfalls aber bildet das zu Beginn der Reihe bestehende Entwicklungsmuster eine kausale richtunggebende Grundlage. Es hat, um einen Ausdruck CUÉNOTS (1950) zu gebrauchen, ein «potentiel évolutif». «Bien que je range», sagt der Autor weiter (I. c., S. 537), «l'explication des orthogénèses parmi les incertitudes . . . je crois que les fondateurs des lignées (die Ausgangsformen der Stammreihen) ont en puissance le déroulement futur des espèces avec lequel interfèrent les effets du milieu, c'est-à-dire du hasard.» Weder die paläontologischen noch die vergleichend-anatomischen Befunde erlauben es jedoch, die Entwicklung des gesamten Tierreiches unter diesem Gesichtspunkt, etwa als Orthogenese auf den Menschen hin, zu betrachten, wie dies u. a. H. P. LECOMTE DU NOÛY (1947) vorschwebte.

* * *

Gehen wir nun zu geistigen Eigenschaften über, so ergibt sich sofort ein Gegensatz:

Für den Vererbungsforscher wird die Erbanalyse durch die Feststellung mendelnder Gene und die Untersuchung ihrer Wirkungen gekrönt. Dann ist seine Analyse klar. Demgegenüber ist für geistige Eigenschaften zu sagen: Wir wissen zwar, daß psychische Eigenschaften sicher teilweise erbbedingt sind. Aber wir konstatieren ihre Erbbedingtheit fast immer nur als unaufgelösten Komplex; für den genaueren Erbgang, für die Wirkung einzelner Erbfaktoren haben wir nur geringe Unterlagen. «Wir kennen keinen einzigen Mendel-Fall», sagt JUST (1951) «für ein streng psychisches Merkmal. Musikalität – welches sind ihre Komponenten? . . . Krankhafte Störung des Geisteslebens – Schizophrenien – aber gerade hier ist alles im Fluß (wie Sie von Kollegen BLEULER hören werden), . . . Kriminalität, soweit sie nicht von außen ausgelöst ist – aber Kriminalität ist nichts Einheitliches, . . . psychomotorisches Tempo, d. h. das persönliche Tempo – vielleicht selber komplex ohne unmittelbare Entsprechung von Physischem und Psychischem» (I. c., S. 16).

Es ist begreiflich, daß für die Reichweite von Erbgut und Umwelt und für die Zusammenarbeit dieser beiden Kräfte bei der Entwicklung geistiger Eigenschaften als menschliches Material gerade die eineiigen Zwillinge in großem Umfang herangezogen worden sind. Die große morphologische Ähnlichkeit solcher erbgleicher Zwillinge geht bis ins Einzelne, bis in die Detailbildung der Ohren, der Nase, des Gesichts über-

haupt, des Knochenwachstums usw. Sie läßt für die Bestimmung der körperlichen Entwicklung unbestreitbar ein Übergewicht des Erbgutes erkennen.

Wie weit dies aber auch für geistige Eigenschaften gilt, ist sehr schwer festzustellen. Auch sei vorweg bemerkt, daß Zwillingsuntersuchungen im Gegensatz zur Kreuzungsanalyse niemals zur Feststellung einzelner Erbfaktoren, sondern nur in globo zur Feststellung einer Erbgrundlage als Gesamtheit führen können.

Ein großes Material liegt für geistige Debilität vor: bei eineiigen, erbgleichen Zwillingspaaren sind in 94 % der Paare jeweils beide Paarlinge debil, bei zweieiigen, erbungleichen Paaren nur in 50 %. Damit ist die Erbgrundlage der Debilität sehr deutlich gezeigt (STERN, l. c., S. 494).

Viel schwieriger ist die Frage für normale geistige Eigenschaften zu beantworten. Dabei wurde vor allem in den USA mit Testen für die verschiedenen geistigen Fähigkeiten und Charaktere gearbeitet, für Intelligenz im engeren Sinn, Unterrichtsleistungen, Geschicklichkeit, Willens- und Gemütscharaktere. Es ist hinzuzufügen, daß solche Teste allmählich zu einer gut durchgearbeiteten Methodik geworden sind und daß auch die Fehlerquellen genauer gewürdigt werden.

Das folgende ist nur ein äußerst kleiner Ausschnitt aus den zahlreichen Untersuchungen dieser Richtung.

NEWMAN und seine Mitarbeiter haben folgende drei Gruppen von Zwillingen mit dem BINETSchen Intelligenztest untersucht (vgl. STERN, l. c., S. 495):

52 zweieiige, also *erbverschiedene* Zwillingspaare, deren Paarlinge jeweils (in der Familie) zusammen aufwachsen; also ZZ, *Umwelt-ähnlich*.

50 eineiige *erbgleiche* Zwillingspaare, die Paarlinge auch hier zusammen aufwachsend = EZ, *Umwelt-ähnlich*.

22 eineiige *erbgleiche* Zwillingspaare, wobei die Paarlinge jeweils als Adoptivkinder in verschiedenen Familien, meistens auch an verschiedenen Orten, getrennt aufwachsen; also EZ, *Umwelt-verschieden*.

Der Test ergibt in Punkten, wie groß jeweils die *Differenz zwischen den zusammengehörenden Zwillingspartnern* für die geprüften Eigenschaften ist, und aus der Gesamtheit der Paare jeder Gruppe läßt sich ein Mittelwert der Punktzahlen berechnen. Dann ist theoretisch folgendes zu erwarten: Wenn nur das Erbgut maßgebend ist, sind bei den EZ, seien sie nun Umwelt-ähnlich *oder* Umwelt-verschieden aufgewachsen, gleiche Werte zu erwarten. Wenn dagegen nur die Umwelt entscheidet, sind in den Gruppen der Umwelt-ähnlichen EZ *und* ZZ gleiche Werte vorauszusehen.

Das Resultat war wie folgt: Die Testmittelwerte zeigen für die Gruppe ZZ-Umwelt-ähnlich eine große Differenz, nämlich 8,5, für die EZ-Umwelt-ähnlichen Paare eine kleine Differenz, 3,1. Für die Gruppe EZ-Umwelt-verschieden steht die Differenz *in der Mitte* und beträgt 6,0. Dies spricht für die *Zusammenwirkung* beider Faktorengruppen (Erbgut und Umwelt).

Beeinträchtigt wird das Ergebnis durch den Umstand, daß die Testresultate auch schon beim gleichen Individuum variieren und außerdem auch innerhalb der gleichen Gruppe von Paar zu Paar stark verschieden sind. Die Berechnung in Mittelwerten zeigt also nur eine scheinbare Einheitlichkeit.

Naturgemäß sind die getrennt aufwachsenden eineiigen Zwillinge die interessanteste Gruppe. Für sie haben NEWMAN und seine Mitarbeiter (1942) versucht, die *Abhängigkeit* der Intelligenzentwicklung (immer gemessen durch Teste) *vom Milieu* zu verfolgen. Letzteres ließ der Autor durch fünf unabhängige Gutachter bewerten nach einer Skala von 0 bis 50 unter den Gesichtspunkten: Länge der Schulzeit, Bedingungen der Erziehung, soziale und hygienische Verhältnisse. Dann läßt sich die Frage prüfen, ob und in welchem Grade durch ein günstigeres Milieu die Intelligenzleistung gehoben wird. In einer größeren Zahl von Fällen trifft dies auch zu, in einer nicht unbedeutenden Zahl von Fällen aber nicht. In einem Fall war der Zwillingspartner, der im sozial ungünstigeren Milieu aufwuchs, seinem begünstigten eineiigen Zwillingenbruder sogar erheblich überlegen.

Natürlich hat es ein großes Interesse, außer Intelligenzleistungen auch die verschiedenen Charaktereigenschaften zu untersuchen. Diese scheinen in verschiedenem Grade erbbedingt zu sein (NEWMAN, l. c.). Nach Stufen von stärker zu schwächer erbbedingt lassen sie sich wie folgt anordnen: geistige Beweglichkeit (mental ability) > Schulintelligenz (in verschiedenen Fächern auffallend verschieden) > motorische Aktivität und emotional balance. «The human heredity-environment problem differs with respect to every character studied. There is no general solution for the problem as a whole.» (NEWMAN et al., 1942, (S. 151.) Auch GOTTSCHALDT (1939 u. a. O.) ist zu Abstufungen gekommen, die sich aber nicht mit den NEWMANSchen zu decken scheinen.

Es fragt sich, wie weit man mit der Bewertung in Testzahlen kommt. Die Wirkungen der Umwelt wie der angeborenen Veranlagung lassen sich, wofür Herr BLEULER ein schlagendes Beispiel geben wird, jeweils nur für den Einzelfall und nur an der ganzen individuellen Lebensgeschichte ablesen.

Ich möchte diesen Abschnitt mit einer, wie mir scheint, richtigen und grundsätzlichen Bemerkung STERNS abschließen (1950, S. 503): «Die Diskussion, über den Einfluß von Erbgut und Umwelt auf die Entwicklung geistiger Eigenschaften ist sehr oft hitziger (auch wohl schematisierender, d. V.) geführt worden, als es bei wissenschaftlichen Problemen üblich ist. Vererbung und Umwelt wurden als Kräfte gegensätzlicher Grundanschauungen betrachtet, und man versuchte mit der Existenz der einen die Nichtexistenz der anderen zu beweisen. Manche Untersucher, die von den Tatsachen der Vererbung stark beeindruckt waren, suchten die möglichen Umwelteinflüsse wegzu erklären (explain away).» Ebenso geschah das Umgekehrte. «Die Schwierigkeiten, beim Menschen völlig kontrollierte und klare Untersuchungsbedingungen zu haben, sind so groß, daß man praktisch bei jeder Untersuchung Lücken

finden wird. Der Genetiker kann keine a-priori-Grenze gegenüber einer spezifischen Umwelt setzen. Andererseits wird die Annahme verschiedener geistiger Begabungen eine bessere Hilfe sein für die Ausbildung günstiger Umwelten als das Suchen nach einem „standardisierten besten Milieu“ unter der Annahme, für Normalbegabungen gäbe es keine erblichen Differenzen.»

* * *

Damit wäre nach der Formulierung des Titels meine Betrachtung beendet. Der Mohr, hoffe ich, hat seine Schuldigkeit getan und könnte gehen. Aber eine kurze Betrachtung glaube ich doch auch der letzten, menschlichsten Frage, dem Problem der geistigen Entscheidungsfreiheit, schuldig zu sein, obgleich der Biologe hier mehr als Zaungast am Rande steht.

Man kann dieses Problem vergleichend-psychologisch betrachten und fragen: Welche Grundlagen für die Entstehung und Beurteilung unserer menschlichen Entscheidungsfreiheit gibt uns der Vergleich mit dem Verhalten der höchsten Säugetiere, im besonderen der Menschenaffen? Und welche fundamentalen Gegensätze trennen den Menschen von dieser Gruppe? Eine solche Fragestellung liegt dem Biologen naturgemäß besonders nahe. Denn mit der Tatsache, daß der Mensch bei aller Sonderart morphologisch sicher den Primaten angehört, wird auch für seine psychischen Eigenschaften das Problem der stammesgeschichtlichen Ableitung gestellt.

Ich beschränke mich auf diese Fragestellung. Es kann sich hier schon aus Raumgründen nicht darum handeln, das gesamte äußerst komplexe Problem der morphologischen und geistigen Sonderart sowie der Stammesgeschichte des Menschen ausführlicher zu betrachten. Dem folgenden Abschnitt liegen Arbeiten von FISCHEL, BALLY, GEHLEN, LORENZ und PORTMANN zugrunde¹.

Das Säugetier niedriger Stufe steht nur in Beziehung zur Vergangenheit. Wo die Zukunft eine Rolle spielt, sind die Handlungen erbmäßig

¹ Ich danke Frau Dr. MEYER-HOLZAPFEL für wertvolle Literaturhinweise und für kritische Besprechungen. Der Leser findet eine vielseitige kritische Auseinandersetzung in dem Buche von A. GEHLEN, das 1950 in 4. Auflage erschienen ist, ausführliche, aber weniger auf den Menschen als Sonderart eingestellte Darstellungen in HEBERER (1943), eine interessante Untersuchung über die Bedeutung des Spiels für das Problem der Freiheit in G. BALLY (1945), ferner tier- und humanpsychologisch vergleichende Untersuchungen bei FISCHEL und LORENZ. Insbesondere letzterer hat in einem Aufsatz (1950) die Beziehungen zwischen dem Verhalten der höheren Säugetiere und des Menschen eingehend erörtert. Von A. PORTMANN ist das Buch «Biologische Fragmente zu einer Lehre vom Menschen» 1951 in 2. Auflage erschienen.

Wohl auch bei diesem problematischen Stoff könnte man das STERNsche Zitat wiederholen, es werde die Diskussion oft hitziger geführt, als es bei wissenschaftlichen Problemen üblich ist. Die Grenze zwischen wissenschaftlicher und weltanschaulicher Darlegung ist früher oft verloren gegangen, und dies geschieht auch heute.

gebunden und nicht direkt zielbezogen. So versteckt zwar das Eichhörnchen Nahrungsvorräte und findet auch später einen Teil davon wieder, indem es generell nach Depotplätzen sucht. Aber es sucht nicht *bestimmte* Vorräte an ihren *besonderen* Plätzen wieder auf.

Der Säuger höherer Stufe aber bekommt außer der Beziehung zur Vergangenheit auch eine freiere Beziehung zum Handlungsziel, zur Zukunft überhaupt.

Nur ein Beispiel:

Ein Schimpanse sieht eine außerhalb seines Käfigs liegende Banane. Er holt sie, wenn sie nahe genug liegt, mit dem Arm durch die Gitterstäbe herein. Wenn sie außer Armreichweite liegt, gebraucht er zur Verlängerung des Armes als Werkzeug einen Stock, einen Ast, einen Haken, auch (ganz unzuweckmäßig) ein Tuch, oder, im Fall höchster Leistung, zwei Stöcke, die er ineinander zu stecken entdeckt hat. Diese Armverlängerungen können irgendwo im Käfig liegen. Er braucht sie nicht zusammen mit der Banane im Blickfeld zu haben. Er kann ihre Brauchbarkeit *vorweg* denken. Er kann, auch in *neuen* Situationen, tun, was Erfolg bringen wird. Sehr oft ist diese Zielbezogenheit nur locker, unordentlich, spielerisch und die Werkzeuge ungeeignet. Aber dennoch bedeutet sie trotz Fehlschlägen (nach FISCHER) eine größere Ausnützung von Erfahrungen. Damit steht ihm verhältnismäßig viel Zeit für Betätigungen zur Verfügung, die über die bloße *Lebenshaltung* hinausgehen und zu einer erweiterten *Lebensgestaltung* führen können. Gleichzeitig geben sie ihm eine erweiterte sachlich-objektive Erfahrung der Umwelt, eine Erfahrung, die in höchstem Grad durch eine bei vielen Tieren vorhandene angeborene Neugier unterstützt wird. Diese treibt sie zur Untersuchung aller in ihrer Umwelt erreichbaren Gegenstände. Das Tier wird «weltoffen». — So bekommt der Stock — wir nehmen das Beispiel des Schimpansen wieder auf — eine Fülle verschiedener Eigenschaften (er ist lang, hohl, kann zum Graben, Stechen, Hebeln und Klettern oder als Prothese benützt und andere Gegenstände können in ihn hineingesteckt werden). Er wird zum Spielobjekt und damit zu einem «schöpferischen» Gegenstand, durch den in den verschiedensten Situationen neuartiges Handeln angeregt werden kann. Nach BALLY führt vor allem das Spiel der Jungtiere, auch gerade bei höheren, sozial lebenden Säugern zu dieser Weltoffenheit. Sie verschwindet mit dem Eintritt der Geschlechtsreife. Im Alttier dominiert ein stärker erblich festgelegtes Verhalten, ein «tierischer Ernst», der uns bei alten Menschenaffen so starken Eindruck macht.

Für den Menschen schließt hier eine zweite fundamentale Tatsache an: Bei ihm ist, verglichen mit allen höheren Säugetieren, die Jugendphase ganz auffallend verlängert; der erwachsene Zustand und die Geschlechtsreife wird erst viel später erreicht (retardierte Entwicklung). Damit konnte auch die Weltoffenheit in hohem Grade gesteigert werden. Nach BALLY ist diese Ausdehnung des Spielalters verbunden mit dem Zurücktreten der Instinktziele ein ausschlaggebendes Moment für die geistige Entwicklung des Menschen gewesen. Mit ihm öffnete sich «der

menschliche Weg, der Weg zur Kultur» (1945, S. 75), von der Natur hinweg.

Daß das Spiel des jugendlichen Alters für die psychische Entwicklung des Menschen eine große Bedeutung hat, ist ein suggestiver, schon auf Schiller zurückgehender Gedanke. Immerhin sind – vergleichend-psychologisch betrachtet – Bedenken anzumelden: Bleiben wir beim Beispiel der Affen, da ihre Organisation (Greifhand, Augentier) derjenigen des Menschen nahesteht. Wohl muten die Spiele der jungen Affen in Gefangenschaft sehr menschenkinderartig an. Ob aber dieses Spielen auch in freier Natur ebenso mannigfaltig-weltoffen ist, bleibt unsicher, und naturgemäß muß die Ausgangsbasis für alle stammesgeschichtlichen Überlegungen der freie Naturzustand sein.

Ferner ist mit FISCHER (1936, 1939) und GEHLEN (l. c. S. 159, «Leistungsgrenzen der Tiere») hervorzuheben, daß die Grenze der schöpferischen Tätigkeit der jungen Anthropoiden im Vergleich zum Menschen *sehr* tief liegt. Die Ziele, um die sich das Tier bemüht, sind meistens vom Menschen oder der Natur, nicht aber *vom Tiere* selbst gesetzt. Wenn LORENZ (1950, S. 489) die Experimentierspiele und den Neugiertrieb des seine Umwelt untersuchenden Affen mit dem Forschungstrieb des Mannes als «fundamental identisch» bezeichnet, so ist dies eine wohl sehr optimistische Deutung. Der Wert des Spieles als eines Faktors für die Entstehung der Weltoffenheit wird durch diese Einwendungen nicht beeinträchtigt.

Zur Retardierung der menschlichen Entwicklung stehen die Besonderheiten des morphologischen Baues in engster Beziehung. Der Mensch *behält* charakteristisch jugendliche Züge (hohe Schädelwölbung, Unterstellung der Gebißregion unter die Hirnschädelregion, sehr hohes Hirngewicht, freigelegte Hand, Standfuß, unbehaarte Haut; vgl. GEHLEN, l. c., S. 107). Gleichzeitig bleibt er, wie dies für jugendliche Zustände allgemein gilt, auffallend unspezialisiert. Er steht damit dem jugendlichen und sogar dem fötalen Bau der Menschenaffen und der Primaten überhaupt nahe, steht zugleich in starkem Gegensatz zum ausgewachsenen Anthropoiden. Es ist klar, daß dieser dauernd jugendliche Bau der Annahme entgegenkommt, daß beim Menschen parallel zum körperlichen Verhalten auch psychisch die jugendliche Weltoffenheit zu einem Dauerzustand geworden ist. Hier verbindet sich die Frage der fundamentalen Sonderart des Menschen mit dem Problem seiner Stammesgeschichte. PORTMANN (1951 u. a. O.) nimmt auf Grund vergleichend-embryologischer Untersuchungen an, es sei beim Menschen die früher sehr lange (zweijährige) uterine Entwicklung durch Frühgeburt stark abgekürzt worden. Infolgedessen durchlaufe der neugeborene Mensch eine beträchtliche Zeit, die eigentlich noch in die uterine Phase gehören würde, extrauterin. Gerade damit habe sich seine Weltoffenheit zum spezifisch menschlichen Typus gesteigert.

Wie viele stammesgeschichtliche Fragen bleibt auch diese Hypothese der Entstehung des Menschen ohne entscheidende Beweise. Paläontologisch ist sie nicht faßbar. Daß im Tierreich juvenile Stadien zu

Ausgangspunkten gerade für stammesgeschichtlich *stark abweichende* neue Entwicklungen geworden sind, ist wahrscheinlich. So kann man die Tausendfüßlerlarve als Ausgangsform für den Insektentypus betrachten. Zahlreiche Fälle einer derartigen Entstehung neuer Typen — durch Neotenie — sind in DE BEER (1951) zusammengestellt.

Viel schwerer ist vorstellbar, daß eine solche stammesgeschichtliche Entwicklung bei Säugetieren von einer Frühgeburt, die auf den mütterlichen Organismus angewiesen ist, ausging.

Die auffallend lange Jugendphase des Menschen hat auch LORENZ, von tierpsychologischen Beobachtungen her, zu einer Neoteniehypothese geführt. Die dauernd jugendlichen Charaktere des menschlichen Baues sowie die Verzögerung der Geschlechtsreife werden nach diesem Autor in erster Linie durch Domestikation herbeigeführt. In der Tat neigen domestizierte Tiere wie unsere Haustiere dazu, den jugendlichen Typus länger beizubehalten. So bleibt der Haushund länger infantil als der Wolf, von dem er abstammt. LORENZ nimmt einen solchen Einfluß auch für den Menschen an. Daß dieser schon sehr früh, sobald er den Gebrauch des Feuers entdeckt hatte, in künstlichen domestizierenden Lebensbedingungen lebte (des Wohnens, der Ernährung, des Soziallebens), wird allgemein angenommen. Die nicht zu übersehende Schwierigkeit dieser Hypothese liegt darin, daß die Annahme der Domestikation nicht für den ersten Anfang, sondern erst für eine weitere stammesgeschichtliche Entwicklung des Menschen Geltung haben kann.

Mit weniger Schwierigkeiten läßt sich mit der Annahme der Domestikation eine wichtige psychologische Erwartung verbinden: Nach den Erfahrungen an Haustieren gehen bei Domestikation häufig (und auffallend rasch) *angeborene* psychische Eigenschaften verloren. Der Wolf büßte bei seiner Entwicklung zum Haushund seine Wildheit zugunsten größerer sozialer Verträglichkeit ein, während die Natur das gleiche Tier auf Wildheit festgehalten hat. Durch solche Instinktverluste wurde beim Menschen nach LORENZ eine wichtige Grundlage für eine gesteigerte Weltoffenheit gegeben.

Damit kommen wir zu der am Eingang dieses Abschnitts gestellten Frage der freien Entscheidung zurück. «Der Preis, um den der Mensch die konstitutive Freiheit seines Denkens und Handelns erkaufen mußte», ist der teilweise Abbau erbbedingter (instinktiver) Verhaltensweisen. Es ist wichtig, diesem lapidaren Satz auch die Fortsetzung folgen zu lassen, die ich etwas verkürzt wiedergebe: Niemand kann klarer als der vergleichende Verhaltensforscher «ermessen, wie absolut neu das gewaltige Regulativ der Erhaltung und Höherentwicklung des Lebens ist, das dem Menschen in seiner vernunftmäßigen Verantwortlichkeit gegeben ist». «Das moralische Gesetz in uns hat (nach dem genannten Autor) ausgesprochen den Charakter einer phylogenetisch nie dagewesenen Neuschöpfung . . . Ich behaupte, daß man die Einzigartigkeit des Menschen erst zu sehen bekommt, wenn man sie von jenem Hintergrunde alter historischer Eigenschaften sich abheben läßt» (l. c., S. 494). In dieser Formulierung steckt die Grenze, die der Biologe bei der Betrachtung

der höheren menschlichen Eigenschaften erreicht. Andere Wissenschaften müssen hier die Führung übernehmen.

Aber eine Betrachtung kann der Tierpsychologe doch noch hinzufügen: In einer so komplexen Natur mit erbbedingten, weltoffen handelnden und ethischen Eigenschaften bleiben Spannungen bestehen, zumal ein sehr folgenschwerer Gegensatz: Der Mensch besitze zwar eine ungeheure Beherrschungsmöglichkeit der Außenwelt (wie das gegenwärtige technische Zeitalter überdeutlich beweist); andererseits habe er, da sein soziales Verhalten in hohem Grade auf erbbedingten konservativen Grundlagen beruhe, «eine niederschmetternde Unfähigkeit, die Probleme des menschlichen Zusammenlebens zu lösen» (l. c., S. 491). Es ist hier nicht der Raum, die mannigfaltigen Betrachtungen wiederzugeben, die LORENZ, von Tierbeobachtungen ausgehend, um diese Frage herumgruppiert. Sie sind, wenn auch größtenteils hypothetisch, ungemein anregend und können als Brücke zu den Geisteswissenschaften dienen.

Es liegt in der Natur seiner Arbeit, daß ein Tierpsychologe, wenn er sich mit dem Menschen befaßt, diesen gleichsam von unten her betrachtet. Sein Objekt sind, da er vom tierischen Verhalten herkommt, die primitiven, aber doch schon rein *menschlichen* Züge. Der Tierpsychologe hat mit seiner Betrachtungsweise recht insofern, als er auf diesem Wege dazukommen kann, *Grundlagen* des menschlichen Wesens zu erkennen. Zugleich schränkt er sich damit freiwillig ein. Er kann nicht die großen geistigen Leistungen einzelner Menschen oder Kulturen der Menschengeschichte zum Gegenstand seiner Untersuchung machen, Leistungen, die nicht weniger als die Grundeigenschaften Träger der Menschheitsentwicklung sind. Ohne sie können wir uns die Entwicklung der menschlichen Kultur nicht denken. Wie PORTMANN (1951 u. a. O.) und vor allem GEHLEN (1950) hervorheben, spielt hier die besondere, auf Sprache und Tradition gegründete Art der menschlichen Gesellschaft eine entscheidende Rolle. Und gerade durch sie bestehen die großen Einzelleistungen als Beispiele menschlicher Freiheit neben denjenigen der Unfreiheit in nicht geringerer Wirklichkeit.

Kürzlich fand ich in einem Brief von HERMANN HESSE aus dem Jahr 1949 folgende Stelle (Neue Schweizer Rundschau 1952, S. 193): «Es kommt einzig darauf an, daß jedem von uns ein Erbe und eine Aufgabe mitgegeben ist. Er hat von Vater- und Mutterseite, von vielen Ahnen her, von seinem Volk, von seiner Sprache her gewisse Eigenschaften, gute und böse, angenehme und schwierige, geerbt, Talente und Mängel, und all dies zusammen ist „Er“, und dies einmalige . . . hat er zu verwalten und zu Ende zu leben, reif werden zu lassen und schließlich mehr oder weniger vollkommen zurückzugeben.» Hier sind vom Künstler die drei Dinge genannt, mit denen wir uns beschäftigt haben: Erbe im strengen Sinn, Umwelt in seiner geistig-menschlichen Bedeutung, ethische Bewertung und Aufgabe als höchstes menschliches Ziel. Ich glaube, ich kann meine Ausführungen nicht besser als mit diesen Worten des 75jährigen Dichters beschließen.

Literatur

- G. BALLY: Vom Ursprung und von den Grenzen der Freiheit. Schwabe, Basel 1945.
— Der Psychebegriff in der medizinischen Psychologie. Schweiz. Arch. für Neurologie und Psychiatrie. LVII 1946.
- G. R. DE BEER. Embryos and Ancestors. Rev. Edition Oxford University Press, 1952.
- L. CUÉNOT: L'évolution biologique. Les effets, les incertitudes. Masson, Paris 1951.
- W. FISCHEL: 1935. Vergleichende Untersuchung des Verhaltens der Wirbeltiere. Erg. d. Biologie II.
— Tiere mit Gefühl und Verstand. Verlag Hugo Bermühler, Berlin-Lichterfelde 1936.
— 1939. Die Psyche und die Stammesentwicklung der Tiere. Zoolog. Anzeiger 127.
- A. GEHLEN: Der Mensch, seine Natur und seine Stellung in der Welt. 4. Aufl. Athenäum-Verlag, Bonn 1950.
- H. GLOOR: 1945. Zur Entwicklungsphysiologie und Genetik des Letalfaktors *ere* bei *Drosophila melanogaster*. Julius-Klaus-Archiv, Bd. XX.
- R. B. GOLDSCHMIDT: Physiological Genetics. 1st ed. McGraw-Hill Book Co. New York 1938.
- K. GOTTSCHALDT, 1939: Phaenogenetische Fragestellungen im Bereich der Erbpsychologie. Z. Abst.lehre 76.
- G. HEBERER: Die Evolution der Organismen. Ergebnisse und Probleme der Abstammungslehre. G. Fischer, Jena 1943.
- G. JUST. Vier Vorträge, Springer, 1951.
- K. Z. LORENZ: Ganzheit und Teil in der tierischen und menschlichen Gemeinschaft. Studium generale, 3. Jahrg., Heft 9, Springer, Berlin.
- H. NEWMAN: Twins and Supertwins. Hutchinsons scientific and technical publications, New York 1942.
- P. LECOMTE DU NOÛY: Human destiny. Longmans, Green & Co., London 1947.
- A. PORTMANN: Biologische Fragmente zu einer Lehre vom Menschen. Benno Schwabe, Basel. 2. Aufl. 1951.
- H. SPEMANN: Experimentelle Beiträge zu einer Theorie der Entwicklung. Springer, Berlin 1936.
- C. STERN: Principles of Human Genetics. Freeman & Co., San Francisco 1950.
- A. WERTHEMANN: Handbuch der speziellen pathologischen Anatomie und Histologie. IX, 6. Springer, Berlin 1952.

Biologie und Entwicklungslehre der Persönlichkeit

Von

M. BLEULER (Zürich)

I.

100 bis 200 Jahre lang sind alle großen Fortschritte der Medizin naturwissenschaftlichem Denken entsprungen und sind in engem Zusammenhang mit der Biologie und dem Tierexperiment entwickelt worden. Die Lehre von den Infektionskrankheiten, die Stoffwechsellpathologie, die Endokrinologie, die Ernährungslehre, die Entdeckung der Antibiotica, um nur Stichworte zu nennen, gingen aus der Anwendung biologischen Forschens hervor. Die Grundlagen der Chirurgie, Asepsis, Schmerzbekämpfung, Blutstillung, gehören der Biologie an. Die auf der Biologie fußende Medizin hat die Sterblichkeit der Gebärenden auf beinahe Null reduziert, die furchtbarsten Epidemien zum Verschwinden gebracht, die Kindersterblichkeit auf einen kleinen Bruchteil der früheren herabgesetzt, viele tödliche Krankheiten heilbar gemacht, die allgemeine Lebenserwartung um viele Jahre erhöht. Begreiflich, daß sich unter diesen Umständen die Biologie in jeder Hinsicht als Grundlage der Medizin durchgesetzt hat, wie sich das schon im Lehrplan für die herangehenden Mediziner ausdrückt.

Ich weise Sie auf Binsenwahrheiten hin. Gewiß – aber es geschieht mit Absicht. Ich möchte Ihnen vor Augen führen, wie erstaunlich es angesichts solcher Binsenwahrheiten ist, daß in den letzten Jahren eine geistige Einstellung entstehen konnte, welche der biologisch gerichteten Medizin den Kampf angesagt hat, welche glaubt, daß sie am Wesentlichen der Heilkunde vorbeiführe, welche mit anderen, mehr geistigen und vergeistigten Einstellungen dem Menschen besser helfen will. Sie spricht von der materialistischen Einstellung der Medizin, empfindet das naturwissenschaftliche Denken als «kalt und unmenschlich» und ruft nach Reduktion, ja nach Austilgung des biologischen Unterrichtes für den jungen Mediziner. Sie will große Fächer wie die Psychopathologie wieder aus der Verbindung mit der Medizin heraustrennen, deren Eingliederung in die Medizin noch vor kurzem als einer der größten Kulturfortschritte gepriesen worden war.

Wie konnte die biologiefeindliche Strömung angesichts der elementaren Erfolge der biologischen Medizin Boden gewinnen? Wie können ernsthafte, hochbedeutende Männer sie vertreten? Neben tief in der

heutigen Kultur verankerten Gründen sind es wichtige Mißerfolge am Kranken selbst, die die Kritik an der biologischen Einstellung der modernen Medizin aufkommen ließen. Soviel sie nämlich erreicht hat, so hat sie doch auch auf vielen Gebieten versagt. Wir müssen offen zugeben, daß wir vielen leidenden Menschen mit unseren rein naturwissenschaftlich-medizinischen Kenntnissen bisher nur jämmerlich wenig helfen konnten: Ich denke vorerst an die sogenannten psychosomatischen Leiden. Zu ihnen gehören die banalsten Kopfschmerzen, Magenbeschwerden, Menstruationsstörungen, Kreuzschmerzen und Schlaflosigkeit; zu ihnen gehören aber auch lebensgefährliche Krankheiten wie die schwere Fettsucht, die schwere Magersucht, die Blutdruckkrankheit, die Geschwürkrankheit des Magens und viele andere. Es dämmert uns heute die Erkenntnis, daß diese wichtigen und häufigen Leiden kaum ihresgleichen am Tier haben, sondern daß sie sich eher aus dem menschlichen, geistigen Wesen erfassen und behandeln lassen.

Wenn die Fortschritte der biologisch gerichteten Medizin schon vor vielen körperlichen Leiden stillzustehen scheinen, so erst recht vor vielen seelischen. Um die Jahrhundertwende hatte die Welle der Begeisterung für die biologische Medizin die Psychiatrie völlig weggetragen. Die Psychiatrie von WERNICKE und KRAEPELIN erwartete von ihrer Eingliederung in eine naturwissenschaftliche Systematik allein schon entscheidende Fortschritte. Heute können wir feststellen, daß die nach der älteren Biologie gerichtete Medizin in der Psychiatrie nur auf gewissen Teilgebieten große Erfolge hatte, so u. a. in bezug auf Paralyse und Krampfkrankheiten. Auf weiten Gebieten hat sie aber enttäuscht. Der Mendelismus zum Beispiel, von dem man sich die Abklärung vieler Gegebenheiten an seelisch Kranken erhofft hatte, hat diese Abklärung in keiner Weise gebracht. Ebenso haben die Hirnpathologie, die pathologische Physiologie und die Endokrinologie bisher im Kerngebiet der Psychiatrie nicht weitergeführt. Demhingegen haben sich uralte menschliche Einstellungen, die ihresgleichen außerhalb des Menschlichen kaum haben, erneut als fruchtbar erwiesen, so Liebe und Achtung dem Leidenden gegenüber, Hingabe, Beispiel, Demut, Freude, Tradition. So ist es kein Wunder, daß die biologiefreudliche Einstellung besonders stark gegen die Psychiatrie anbrandet, daß sie sie der klassischen Medizin entreißen und erneut wie oft schon in der Kulturgeschichte der philosophisch-geistigen Betrachtung erschließen will.

Wir stehen heute vor der elementaren Frage: Hat die Biologie noch mitzureden, wenn es sich um die Entwicklungslehre der menschlichen Persönlichkeit und ihrer Abweichungen vom Harmonischen handelt? Oder hat die Biologie haltzumachen vor den Versuchen, das Werden des Menschlichen und die Abweichung dieses Werdens zu verstehen und zu beeinflussen?

Es ist vom erkenntnistheoretischen, philosophischen und theologischen Standpunkt aus viel zu dieser Frage gesagt worden. Meiner ganzen Arbeitsrichtung nach kann ich sie vor Ihnen nicht auf dieser Ebene betrachten, und unsere Gesellschaft würde auch nicht den geeig-

neten Rahmen dafür bieten. Ebenso wenig will und kann ich mit einem Ja oder Nein auf die Grundfrage antworten; meiner Überzeugung nach haben vielmehr geistes- und naturwissenschaftliche Betrachtungsweisen nebeneinander Platz.

Ich habe mir heute eine beschränkte Aufgabe gestellt, die gerade den Naturforscher und den biologisch eingestellten Arzt berührt: Ich möchte zeigen, *daß das biologische Denken während Jahrzehnten in einer falschen Weise in die Lehre von der Entwicklung der menschlichen Persönlichkeit hineingetragen worden ist*; ich möchte Sie davon überzeugen, daß viele Lehren der Biologie in der Entwicklungslehre der Persönlichkeit, d. h. in der modernen Psychologie und Psychopathologie, deshalb unfruchtbar waren, ja auf vielen Gebieten schädlich wurden, weil sie zu schematisch, zu naiv, zu unbedacht und auch oft in veralteter Art angewendet worden sind.

Meine heutige These geht dahin, daß viele Mißerfolge der biologisch eingestellten Forschung bei den Versuchen, die Persönlichkeit zu verstehen, nicht der Biologie als solcher zuzuschreiben sind, sondern ihrer unsachgemäßen Anwendung.

II.

Ich möchte für meine Darstellung ein Beispiel aus der klinischen Alltagspraxis herausgreifen. Es ist in vielmonatiger Arbeit genau untersucht worden und wird durch einen Mitarbeiter unserer Klinik später in Einzelheiten beschrieben. Ein Mädchen von 16 Jahren erkrankte an einer schweren Geistesstörung. Zu Beginn der Erkrankung hatte es seit kurzer Zeit als Bürolistin im Welschland gearbeitet. Die Krankheit brach – für die Beteiligten wie ein Blitz aus heiterem Himmel – in der Nacht aus. Elisabeth begann laut schreiend und singend in ihrem Zimmer alles durcheinanderzumachen und warf schließlich Kleider, Geschirr und Möbelstücke zum Fenster hinaus. Zur Rede gestellt, sprach sie wirr und unverständlich. Auch ihr Ausdruck war rätselhaft und uneinfühlbar; man spürte nicht mehr, ob sie verzweifelt war oder Theater machte; ihr Wesen wirkte seltsam maniert und clownhaft. In der Klinik wechselten Zustände einer religiösen Ekstase, in denen sie mit halluzinierten mystischen Gestalten verkehrte, und völliger Verwirrung mit kurzen lichten Momenten. In der Verwirrung sagte sie zum Beispiel:

«Als der Vater fünf Finger aufhielt, ich wußte es nicht. Ich hatte Mühe, es zu wissen. Ich mußte immer von vorne anfangen, es zu zählen. Ich glaubte, es sei etwas Unwahres. Mein Gefühl hat mich gedrängt und Angstgefühl in mich suggeriert. Der Verstand stand im Zweifel und wollte Übermacht gewinnen. Es gab einen Zusammenprall. Es tönte wie Hexenstimmen. Ich fürchtete mich und glaubte, sie seien in mir. Eine kam in mich hinein und eine ging hinaus...» usw.

Die Kranke zerriß ihre Kleider, legte sich in sonderbaren Haltungen auf den Boden, wollte an den Ärzten heraufklettern, kurz, schien voll-

kommen von Sinnen. Im Laufe einer Behandlung, während der man sich täglich stundenlang auf das geduldigste mit ihr abgab und sie sich aussprechen und auch zeichnen konnte, trat eine wesentliche Besserung auf. Nach etwas mehr als einem Monat schien sie von ihrer Geisteskrankheit geheilt. Sie ist seither interkurrent erkrankt und einem von der Geisteskrankheit unabhängigen Leiden erlegen, das ich in diesem Zusammenhang nicht weiter zu diskutieren habe.

Angesichts eines derartigen geistigen Zusammenbruches richtet sich unser Sinnen und Trachten sofort auf das Warum? Es läßt sich an diesem – keineswegs etwa außergewöhnlichen – Beispiel sehr schön zeigen, wie ein naives biologisches Denken in der Ursachenforschung in Sackgassen führte und, wie wir hoffen können, daß in Zukunft ein richtigeres biologisches Denken weiter führen wird.

III.

Nachdem sich die Erwartung, körperliche Ursachen der Geistesstörung zu finden, in allen solchen Fällen als trügerisch erwiesen hatte, richtete sich das Augenmerk auf das *Familienbild*. Ein Blick auf den Stammbaum scheint uns weiterzuhelfen. Die Krankheit unserer Patientin spielte sich in ähnlicher Art bei mehreren ihrer nächsten Verwandten ab, bei der Mutter, zwei Geschwistern der Mutter und der Großmutter. Also, so vermutete man schon seit 100 Jahren angesichts ähnlicher Stammbäume: Die Ursache liegt in der Vererbung. Seit den Psychiatern die Gesetze des frühen Mendelismus bekannt geworden sind – es war das im Laufe des Ersten Weltkrieges –, geht man natürlich angesichts dieses Stammbaumes weiter. Man stellt fest: direkte Übertragung durch drei Generationen, Belastung immer nur von einer Seite, grob gerechnet und den Altersaufbau berücksichtigend, etwa die Hälfte der Nachkommen von einem geisteskranken Elter wieder geisteskrank, keine Blutsverwandtschaft der Eltern der Geisteskranken – also, so mußte man vermuten, einfach-dominanter Erbgang.

Damit schien die psychiatrische Ursachenforschung auf die damalige Erbbiologie zurückgeführt. Nach vieljährigen Bemühungen kam die Enttäuschung. Sie begann alsobald, als man sich daran machte, die Familienbilder nicht eines, sondern vieler Persönlichkeitszusammenbrüche gemeinsam zu übersehen. Während sich die Vermutungen aus Einzelstammbäumen bei vielen neurologischen, ophthalmologischen und anderen körperlichen Krankheiten, die sich auf einen Einzeldefekt zurückführen lassen, an großem Untersuchungsgut bestätigten, geschah bei den Persönlichkeitsstörungen nichts dergleichen.

Im Gegenteil. Um wieder bei unserem Beispiel zu bleiben: Zuzufolge mannigfacher psychopathologischer Gemeinsamkeiten und zuzufolge des gemeinsamen Mangels an erkennbaren körperlichen Ursachen ordnet man Geistesstörungen wie die in Frage stehende zur Gruppe der Schizophrenien ein. Die Schizophrenien, massenstatistisch untersucht, treten nun unter den Verwandten Schizophrener nachgewiesenermaßen erheb-

lich häufiger auf als in der Durchschnittsbevölkerung, aber sie zeigen im allgemeinen keinesfalls die Merkmale der einfachen Dominanz. (94 % aller Schizophrenen haben zwei nichtschizophrene Eltern, unter den Kindern eines schizophrenen Elters sind lange nicht 50 % und unter denjenigen zweier schizophrener Eltern lange nicht 75 % Schizophrene, um nur einige wenige Daten zu nennen, denen eine lange Reihe gleichsinniger hinzugefügt werden könnte.)

Niemals konnte im Bereich der gestörten Persönlichkeitsentwicklung ohne somatische Grundlage ein bestimmter Erbgang, den ein Einzelstammbaum nahegelegt hatte, an Massenuntersuchungen bestätigt werden. Die Erbpsychiatrie hat gewiß lange nicht vor dieser Erscheinung kapituliert: Die Massenstatistiken wurden vergrößert; nicht nur der Fehler der kleinen Zahl, sondern mannigfache andere statistische Fehlerquellen wurden sorgfältig ausgeschaltet, namentlich wurde der Altersaufbau des Untersuchungsgutes gehörig berücksichtigt; man dachte nicht nur an einfache, sondern auch an komplizierte mendelistische Erbgänge, man berücksichtigte auf Grund der Zwillingsforschungen die Manifestationswahrscheinlichkeiten, man dachte an Polyphänie und an Polygenie, man betrachtete die Möglichkeit, daß nicht der Schizophreniebegriff, sondern engere oder weitere Kreise einer Erbeinheit entsprechen könnten. — Alle diese Untersuchungen brachten uns keinen Schritt der Entdeckung von mendelistischen Gesetzen in bezug auf die schizophrene Katastrophe näher. Wenn ein Erbgang an einzelnen Befunden wahrscheinlich schien, so wurde er an weiteren Befunden widerlegt; wenn man versuchte, eine bestimmte Störung als einer Erbeinheit entsprechend abzugrenzen, trat sofort die enge familiäre Verwandtschaft zu andern, mehr oder weniger ähnlichen Störungsbildern an den Tag, und wenn man umgekehrt versuchte, weite Krankheitsbilder als erbbiologische Einheiten anzusprechen, so zeigte sich hinwiederum eine gewisse Selbständigkeit der nosologischen Unterbegriffe in den Familien. So verhinderte das Phänomen, das ich bedingte Einheitlichkeit im Erbgang genannt habe, schließlich überhaupt eine fruchtbare Auszählung der Merkmalsträger: Hielt man sich an Einzelmerkmale, so mußte dieses Trachten bald als unsinnig erscheinen, da im Erbgang oft das eine Merkmal für das andere aufzutreten schien; wollte man sich an ein allgemeineres Störungsbild halten, so zeigte es nach allen Seiten fließende Grenzen. Wo man immer nur zu zählen beginnen wollte, so erwies es sich, daß die erhaltenen Zahlen mehr von willkürlichen Begriffsbeschreibungen abhingen als von der Natur.

Angesichts der konkreten Schwierigkeiten, die mendelistische Erbbiologie in die Erforschung der Persönlichkeitsentwicklungen und ihrer Störungen einzuführen, begann man sich erst über die Gründe Gedanken zu machen. Man gelangte zur Feststellung: Während die ältere mendelistische Erbbiologie sich mit der Übertragung von Einzeleigenschaften unabhängig vom gesamten Individuum beschäftigt, bedeutet eine gesunde wie eine kranke Persönlichkeitsentwicklung immer ein Ganzes. Nie hängt sie bedingungslos von einem Einzelfaktor ab, auch nicht von

einem Erbfaktor, sondern immer nur von der Gesamtheit aller Einflüsse, die sie formen.

Das sind die Schwierigkeiten praktischer und theoretischer Art, vor denen die Einführung der Erbbiologie in die Ursachenlehre der gesunden und krankhaften Persönlichkeitsentwicklung vor 12 Jahren stecken geblieben ist. An dieser Stelle ist sie bis heute noch festgefahren.

IV.

Im Verlaufe der letzten Jahrzehnte hat sich aber in der Ursachenforschung über Persönlichkeitsstörungen auch eine ganz andere, schon alte Richtung weiter entwickelt, und zwar ganz unabhängig von den erbpsychiatrischen Untersuchungen: Man versuchte gesunde und kranke Persönlichkeitsentwicklungen als Folge von seelischen Einwirkungen zu erklären. Kehren wir zu unserem Beispiel zurück und führen wir uns summarisch vor Augen, was solche Bemühungen ergeben.

Vorerst wollen wir uns die zeitlichen Beziehungen zwischen Elisabeths Krankengeschichte und der ungünstigen Entwicklung ihrer engsten Umgebung, vor allem der Krankengeschichte ihrer Mutter, vergegenwärtigen: Beide, Mutter und Vater, hatten vor der Ehe an schweren neurotischen Erscheinungen gelitten. Die Triebhaftigkeit im weitesten Sinne des Wortes war ihnen als etwas Verabscheuungswertes erschienen, denen sie hohe asketische Ideale der Wissenschaft entgegengestellt hatten. Der Vater hatte in engem Zusammenhang mit diesem Konflikt eine schwere Magenneurose durchgemacht; seine spätere Frau hatte sich ganz der Askese ergeben und einen Geliebten und ihre Wissenschaft der treuen Pflege ihrer Mutter geopfert. Er verehrte in seiner Frau einen «Übermenschen-Charakter», wie er sagte, und die Verbindung mit ihr erschien ihm jenseits des Triebhaft-Allzumenschlichen. Sie empfand in ihm ein neues Objekt ihres Aufopferungsbedürfnisses nach dem Tode ihrer Mutter. Die Ehe, die auf einer derart unnatürlichen Grundlage eingegangen war, wurde nur ganz kurze Zeit als «Idealehe» empfunden. Bald kam es zu schweren Störungen, wie es wohl kaum anders sein konnte, da jedes der Ehegatten dem andern reife Liebe versagte; jedes erwartete vom andern dafür Unmögliches, nämlich gleichzeitige Befriedigung von Sehnsüchten, die sich bei ihnen widerstrebten, mehr triebhaft-urmäßige und intellektuell-asketische. Die Entwicklung des Mannes in dieser Ehesituation blieb innerhalb des Begreiflichen: Er, der wenigstens im Beruf eine Erfüllung hatte, litt zwar schwer unter den Eheschwierigkeiten, wurde ermüdbar und erbittert, wandte seine Interessen von Frau und Kind ab und war zu Hause kurz angebunden und streng. Die Persönlichkeit der Frau hingegen entwickelte sich in den nächsten Jahren zur schwersten geistigen Umnachtung.

Eindrucksvoll ist, festzustellen, wie die Krankheit der Tochter Schritt für Schritt dem elterlichen Unglück und der Krankheit der Mutter folgte. Im Säuglingsalter, in dem ihr noch rechte Pflege zuteil wurde,

entwickelte sie sich unauffällig. Kurz darauf, als sich die Mutter in ihrer weltabgewandten Haltung versteifte und dazwischen zunehmend Wut- und Verzweiflungsausbrüche zeigte und als sich der Vater vom warmen Zusammensein mit der Familie eher abwandte, begann das Kind in der Entwicklung seiner Beziehungen zu den Mitmenschen stillzustehen und wurde in sich zurückgezogen und nur dem unbeseelten Spielzeug hingegeben. Als sich die elterliche Situation nach einer unerwünschten Geburt verschlimmerte, traten bei Elisabeth erstmals krankhafte Reaktionen auf, und zwar in Form einer Eifersuchts-einstellung dem kleinen Schwesterchen gegenüber, die sich in beängstiger Weise kundtat. Elisabeth war fünf Jahre alt, als sich bei der Mutter die eigentliche Geisteskrankheit vorbereitete. Damals entwickelte Elisabeth ein krankhaftes Zwangsgrübeln mit Versündigungsideen. Nachdem bei der Mutter der helle Wahnsinn ausgebrochen war und sie für viele Monate lang hospitalisiert werden mußte, kam Elisabeth zu einer liebevollen Pflegerin voll echter Mütterlichkeit. Diese Episode ihres Lebens beeindruckt uns heute wie ein Experimentum crucis der Natur: Wie sich Elisabeths Kranksein im Zusammensein mit der erkrankenden Mutter entwickelt hatte, so genas sie in ihrem zarten Alter noch rasch in den Händen der gesunden und mütterlichen Pflegerin. Sofort aber trat ein Rückfall auf, als sie sieben Monate später wieder in die Pflege der halbwegs genesenen, gefühlkalten, feindseligen Mutter kam. Das Kind wurde scheu und ängstlich, war in der Schule unruhig und zappelig und brachte es nicht zu annehmbaren Schulleistungen trotz guter Intelligenz. In den folgenden Jahren spannte sich das Verhältnis zwischen Mutter und Kind noch stärker. Die Mutter will es in Pflichten einführen, es reagiert mit Trotz und Ablehnung, wird geschlagen, verhöhnt und geschulmeisternd, erkrankt in dieser Lage an Asthma, das die Mutter als neue Belastung, ja als frechen Affront empfindet. Beim neuen Ausbruch des hellen Wahnsinns der Mutter – Elisabeth ist nun 15jährig – erschreckt das Kind durch seine nach außen zur Schau getragene Gleichgültigkeit. Es soll die Mutter im Haushalt ersetzen, tut es aber nur widerwillig und ungenügend. Es muß deshalb zu Konflikten mit dem Vater kommen. Nach der Heimkehr der wieder nicht völlig geheilten Mutter beginnt es sich in Träumereien zu verlieren, die wahnhaftes Färbung erhalten. Nun soll Elisabeth von zu Hause fort, zu fremden Leuten in eine Sekretärinnenstelle. Die Situation ist spannungsgeladen. Sie verläßt die Eltern, nachdem sie als Ersatz der Mutter als Hausmütterchen versagt hatte, von schwersten Selbstvorwürfen gepeinigt, nach einem kalten und quälenden Abschied. Wenige Tage danach bricht in der Fremde die Katastrophe aus, von der ich ausgegangen bin.

Aus zahllosen Briefen, Tagebuchblättern, Zeichnungen und aus den eingehenden Aussagen von Elisabeth in den ärztlichen Besprechungen wissen wir, daß der Zusammenhang zwischen Geisteskrankheit von Mutter und Tochter nicht nur ein zeitlicher war, sondern von Elisabeth überaus quälend als ein ursächlicher erlebt worden ist. Die krankhaften Zweifel und Selbstquälereien, die Elisabeth in ihrem 6. Lebensjahr,

während die Mutter vor der ersten schweren Geistesumnachtung stand, entwickelte, konnte sie fünf Jahre später ihren Tagebuchblättern anvertrauen: Im Anschluß an eine spöttische Bemerkung eines Gassenjungen seien ihr, die sie noch mehr als ein anderes Kind und geradezu krampfhaft an die Unfehlbarkeit der Mutter geglaubt hatte, plötzlich Zweifel an derselben aufgestiegen. Immerfort hätte sie nun vergleichen müssen zwischen dem asketischen Idealbild einer Wissenschaftlerin, das die Mutter ihr in Worten eingeprägt hatte, und der krankhaften Verzerrung dieses Idealbildes, das sie ihr vorlebte. Den Zweifeln an der Mutter folgte auf den Fuß die Angst, Angst vor dem Schwinden jedes Haltes mit dem Verlust des Mutterglaubens, Angst aber auch, selbst sündig zu sein, weil sie schlecht über die Mutter dachte. Anfangs äußerte sich diese Angst in wilden Träumen von Dämonen, die sie martern wollten; später wurde sie bewußt und klar. Zwanghaft grübelte sie nun immer im Kreise herum: Die Mutter liebt mich nicht, die Mutter ist keine rechte Mutter, sie ist böse und sündig – es ist aber böse und sündig und überheblich, solches von der Mutter zu denken – deshalb bin ich schlecht, deshalb straft mich Gott mit bösen Träumen, mit Dummheit und Ungeschicklichkeit – damit büße ich, daß ich so leiden muß – ich kann nur gut sein, wenn ich die Mutter nicht hasse, nur dann verletze ich die Ehrfurcht vor der Mutter nicht, wenn ich werde, wie sie selbst ist – aber wenn ich bin wie sie selbst, dann bin ich zum Vater böse und dumm und wieder sündig.

Freilich, die Grübelsucht nahm erst gegen die Pubertät hin diese klare Gestalt an. Vom frühen Schulalter an aber setzte sie sich schon aus denselben Zügen zusammen, nur kindlicher und unbestimmter und zusammenhangloser ausgedrückt. An einigen kurzen Beispielen aus ihren Schriften will ich Elisabeth selbst zu Worte kommen lassen. Über die Rückkehr von der lieben Pflegemutter zur Mutter, die eben gebessert aus der Nervenklinik heimgekommen war, schrieb sie später:

«Ich kehre nun also wieder zurück zu meinen Eltern und Schwestern. Langsam aber begann ich wieder zu spüren, daß es nicht mehr die gleiche Umgebung war, die ich bei meinen Verwandten genossen hatte. Mißtrauen und Unmut, die nun einige Zeit geschlummert hatten, wurden wieder aufgeweckt. – Die Mutter war ja anständig, sie sorgte für mich, aber ihr Charakter und ihre innere Stellung gegenüber mir war gleich geblieben ... konnte ich mich dem Gefühl der Verlassenheit und Befremdung nicht enthalten.»

Anschaulich schilderte sie auch, wie das Asthma ein Mittel zur Auseinandersetzung mit der Mutter wurde. Es bedeutete ihr das Asthma manchmal ein Versuch, die Mutter doch an sich zu binden und ihre Anteilnahme zu erregen. Wenn das nicht gelang, so quälte sie die Mutter mit dem Asthma und befriedigte ihre unterdrückte Empörung über ihr kaltes Verhalten. Und dann war plötzlich wieder das Asthma eine Strafe für diese sündige Haltung gegen die eigene Mutter. Sie schrieb z. B.:

«Trotz allem Aufwand war es mir nicht möglich, aufzustehen und die Schule zu besuchen, mir ebenfalls bewußt, wie ich die Mutter dadurch

ärgern konnte. Und wirklich, die Mutter trat in mein Zimmer, der Unmut und die Auflehnung verfinsterten ihre Stirne, zwei Augen des Vorwurfs suchten mich zu durchbohren, und ihre Lippen schleuderten mir als Morgengruß grimmige Worte zu.»

Oder:

«Die Mutter war natürlich froh, daß sie mich nicht mehr zu pflegen hatte...»

Oft phantasierte Elisabeth auch von zwei Müttern, einer in der Traumwelt mit Wärme und Güte und einer in der Wirklichkeit, die keine wirkliche Mutter war. Diese paradoxen Überlegungen glossierte sie z. B. wie folgt:

«Sie ist eben nicht die Mutter meiner Gesinnung und Lebensanschauung, darum mochte sie mich nicht leiden.»

In ihren Zeichnungen und Kinderdichtungen wiederholen sich immer und immer wieder die Gestalten von einer Mutter und einer Stiefmutter, von denen die eine verzerrt und erstarrt ist, die andere gütig und wahrhaft mütterlich.

Im Falle von Elisabeth wie in allen ähnlichen Fällen wurde die mühselige Erforschung der objektiven und subjektiven Vorgeschichte dadurch reich belohnt, daß sie eine Türe zum Verständnis ihrer Geisteskrankheit öffnete. Nach dieser Erforschung erschien die Geisteskrankheit plötzlich nicht mehr als etwas völlig Unbegreifliches, jedem menschlichen Empfinden Fremdes, sondern als Spiegelbild der inneren Entwicklung. Als solches empfand sie jedenfalls die Kranke selbst. Wenn man nicht müde wurde, stundenlang ihre Äußerungen abzulauschen, so ersah man deutlich, daß sie in zwei verschiedenen Welten zu leben wähnte, die engste Beziehungen hatten zu den zwei verschiedenen Muttergestalten ihres Innenlebens. An die Welt der Wirklichkeit des Verstandes und der Logik konnte sie nicht glauben, weil sie sie dazu führte, die eigene Mutter zu verachten, sich damit in Schuld, Einsamkeit und Leere zu verlieren und bis zu Selbstmordabsichten zu verzweifeln. Dann gab es aber noch eine Welt der Träume und des Phantasierens, eine Welt, in der die unerträgliche Wirklichkeit keine Wirklichkeit mehr war, in der Elisabeth dasselbe wurde wie die geistesranke Mutter und von ihren Überheblichkeits- und Schuldgefühlen erlöst war. «Nur wenn ich so werde, wie die Mutter war, bin ich erlöst vom Bösen», hatte sie schon monatelang vor dem Ausbruch der Geisteskrankheit geschrieben.

Wenn man ihre Lebensgeschichte und ihre innere Einstellung zur Welt und zur Krankheit einmal kannte, so erschienen nun ihre verwirrten Äußerungen urplötzlich verständlich, beinahe vernünftig. «Als der Vater fünf Finger aufhielt, ich wußte es nicht. Ich hatte Mühe, es zu wissen. Ich mußte immer von vorne anfangen, es zu zählen.» Hier handelt es sich nicht um Unsinn, sondern um eine der ersten Schwierigkeiten von Elisabeth. Tatsächlich schien sie in den ersten Schuljahren manchmal selbst das Zählen verlernt zu haben, und der erzürnte Vater hatte es ihr wie einem kleineren Kinde ungeduldig an den Fingern wieder beizubringen

versucht. Die scheinbar so verwirrten Äußerungen geben nun aber auch die richtige Erklärung der psychologischen Ursachen des damaligen Nicht-mehr-zählens-Könnens: «Ich glaubte, es sei etwas Unwahres. Mein Gefühl hat mich gedrängt und Angstgefühl in mich suggeriert.» Tatsächlich handelte es sich nicht um Dummheit und wirkliches Nichtkönnen, vielmehr litt Elisabeth damals bereits an der furchtbaren Angst vor der Wirklichkeit; die wirkliche Mutter schien ihr unwahr im Lichte von dem, was sie von ihr erwartete; der liebe Gott war unbegreiflich, da er sie so leiden ließ; das ganze Dasein wurde zwanghaft in Zweifel gezogen und negiert. Aus dieser Zweifelsucht und Negation des Wirklichen heraus mochte sie auch nicht mehr auf 5 zählen; wenn die Mutter und ihr Kinderglaube nicht wahr waren, so sollten auch die Zahlen nicht mehr wahr sein.

«Der Verstand stand im Zweifel und wollte Übermacht gewinnen. Es gab einen Zusammenprall.» Die Welt des Glaubens und die Wirklichkeit waren bei ihr aufeinandergeprallt, der Verstand hatte ihr mit Übermacht zeigen wollen, daß die Mutter verächtlich sei. «Es tönte wie Hexenstimmen.» Tatsächlich hatte Elisabeth diese Probleme in Angstträumen von ungezählten Nächten als Hexenstimmen erlebt und dann erneut wieder in ihrer Geisteskrankheit. «Ich fürchtete mich und glaubte, sie seien in mir.» Tatsächlich hatte sie geglaubt, die Bosheit, die sie an der Mutter erlebte, der ganze Hexentanz, der ihr Verhalten darstellte, sei ihre eigene Schuld, sie sei böse, und nicht die Mutter. «Eine kam in mich hinein, und eine ging hinaus.» Die Hexenstimme, die in sie hineingegangen war, war die Krankheit der Mutter, ihr ganzer böser Geist, und dafür war jene Hexenstimme hinausgegangen, die ihr immerfort vorgesagt hatte, sie sei überheblich und sündig, weil sie besser sei als die Mutter . . .

Diese psychodynamische Betrachtung hat so zu einem Erfolg geführt: Was unbegreiflich und verwirrt war, kann nun als innere Auseinandersetzung mit dem qualvollen Lebensschicksal, vor allem mit der geisteskranken Mutter, verstanden werden. Wir haben aber auch die Geisteskrankheit der Mutter lebensgeschichtlich studiert, und sie war wieder in offensichtlichem Zusammenhang mit der Geisteskrankheit ihrer Mutter und ihrer älteren Geschwister (d. h. von Großmutter und Tanten von Elisabeth).

Nun denn, würde man naiv zu folgern versucht sein, ist die Problematik nach den Ursachen von Elisabeths Geistesstörung gelöst. Es handelt sich um eine krankhafte Persönlichkeitsentwicklung unter dem Drucke schwerster Erlebnisse. Wenn sich in ihrer Familie Geistesstörungen häufen, so wegen des seelischen Druckes, den die Erkrankung der älteren Generation auf die jüngere ausübt. Wir hätten keine Heredität vor uns, sondern Pseudoheredität.

So einfach ist die Sache aber nicht. Die Schwierigkeiten beginnen wieder, sobald wir die Erfahrungen über die lebensgeschichtlichen Wurzeln eines solchen Persönlichkeitszusammenbruches verallgemeinern möchten. Wir würden dann, wenn wir einmal gröblich schematisieren,

sagen: gesunde Persönlichkeitsentwicklung bei günstiger Lebensgeschichte, krankhafte Persönlichkeitsentwicklung bei gestörter, quälender Lebensgeschichte. Man braucht die Erkenntnisse über den Zusammenhang zwischen Lebensgeschichte und Persönlichkeit nur derart auszudrücken – und schon hat man sie ad absurdum geführt. Denn günstige Entwicklungen der Persönlichkeit kommen auch bei schwersten Lebenserfahrungen vor. Man hat geradezu den Eindruck, daß dieselbe innere Qual, die den einen krank macht, den andern stählt, kräftigt, zu besonderen Leistungen befähigt. Und wenn man versuchen will, den Grad der lebensgeschichtlichen Schädigung mit dem Grad der krankhaften Folgen auf die Persönlichkeitsentwicklung zu vergleichen, so merkt man schmerzlich, daß beides unmeßbare Größen sind. Die Frage ist falsch gestellt – so schön es wäre, wir könnten sie stellen, um die am Einzelfall vermutete ursächliche Bedeutung der Persönlichkeitsstörung zu beweisen. Letzten Endes kommt man zur Feststellung, daß eine lebensgeschichtliche Schädigung nicht an sich quälend und schädigend ist, sondern daß sie so quälend schwer ist, als sie eine gegebene Persönlichkeit quälend schwer nimmt, und daß sie sie nur schädigt, wenn sie sich schädigen läßt.

Wenn die äußeren Ursachen von Persönlichkeitsstörungen einfach und eindeutig lägen, so würde man auch hoffen, daß ursächliche Erkenntnisse, wie sie sich uns in bezug auf die Erkrankung Elisabeths aufgedrängt haben, für die Verhütung und Heilung benutzt werden könnten. Nur bis zu einem gewissen Grade ist das der Fall. Das lebensgeschichtliche Verständnis für die Persönlichkeitsentwicklung läßt uns tatsächlich hin und wieder innere Beziehungen zum Kranken finden, läßt uns nach langem Bemühen da und dort das Glück erleben, daß eine Besserung im Anschluß an diese innere Beziehung auftritt. Solche Erfolge sind aber gerade bei der Schizophrenie, aber auch bei vielen psychosomatischen Leiden unsicher, unregelmäßig und lassen oft lange auf sich warten. Wer billige Heilungen aus der Anwendung von lebensgeschichtlichen Erkenntnissen erwartet, täuscht sich oft. Wenn man vieljährige Erfahrungen in Behandlung und Prophylaxe berücksichtigt, so entsteht der vorläufige Eindruck, daß lebensgeschichtliche Einflüsse auf die Persönlichkeitsentwicklung zwar bestehen und auch verwertet werden können, daß sie aber kaum in einem einfachen Kausalitätsverhältnis allein und eindeutig die Persönlichkeitsentwicklung und ihre Abweichungen vom Gesunden bedingen.

V.

Meine Damen und Herren, wo stehen wir jetzt? Ich habe Ihnen am Beispiel eines psychotischen Zusammenbruchs zuerst gezeigt, wie die Erforschung des Einzelfalles zwei scheinbar widersprechende Erklärungen seiner Ursachen nahelegt: Hereditäre Ursachen erscheinen ebenso offensichtlich wie lebensgeschichtliche. Wollen wir freilich versuchen, die widersprechenden Vermutungen aus dem Einzelfall in der

einen wie in der andern Richtung zu verallgemeinern, so geraten wir in Schwierigkeiten. Es will uns weder gelingen, die Vermutung nach der Erblichkeit in klare, einfache Regeln einzufügen, wie wir das aus einer einfach-mendelistischen Einstellung heraus gerne täten; ebensowenig gelingt es uns aber, aus den psychogenetischen Erkenntnissen allein eine Ursachenlehre aufzubauen. Am Einzelfall scheinen wir vor einem «embarras de richesse» zu stehen, vor zwei gleichermaßen einleuchtenden ursächlichen Erklärungsmöglichkeiten; mit den Erfahrungen an vielen Fällen verglichen, führen vorläufig beide Betrachtungsweisen in eine Sackgasse.

Sie denken vielleicht, ich hätte mit der Krankengeschichte von Elisabeth ein außerordentliches Beispiel gewählt. Dem ist nicht so. Ich habe einen wesentlichen Teil meines Lebens damit verbracht, Persönlichkeitsentwicklungen nachzugehen. Ich habe nicht nur Schizophrene als Probanden für diese Untersuchungen gewählt, sondern auch Neurotiker und Psychopathen, und besondere Mühe habe ich darauf verwendet, Kranke mit sogenannten psychosomatischen Leiden zu untersuchen. Das Ergebnis war immer dasselbe: Man brauchte die Familiengeschichte nur wirklich sorgfältig zu durchforschen, so entdeckte man familiäres Vorkommen der ganzen Krankheit oder wichtiger Komponenten derselben; umgekehrt brauchte man nur die Lebensentwicklung sorgfältig zu studieren, und man entdeckte die einleuchtendsten Zusammenhänge zwischen Lebensgeschichte und Fehlentwicklung der Persönlichkeit.

Die Grundlagen scheinen uns so unter den Füßen zu wanken, wenn wir die dem einfachen und älteren biologischen Denken entnommene Fragestellung: Anlage oder Milieu, nature or nurture, Erbleiden oder psychoreaktives Geschehen auf die Lehre von der Persönlichkeitsentwicklung anwenden wollen. Ich will versuchen, Ihnen zuerst zu skizzieren, wie man das Problem fälschlich zu lösen versucht hat und dann wie man hoffen darf, es in Zukunft besser zu lösen.

Als falsch hat sich die naiv-biologische Forderung erwiesen, die an den Psychiater herangetragen wurde: Benutzen Sie doch die einfachen Mittel, die in der Biologie so erfolgreich sind, um Umwelt und Anlage endlich auch in Ihrem Fache sauber zu trennen! Untersuchen Sie doch bloß einmal erblich Belastete in günstiger Umgebung und erblich Unbelastete in ungünstiger Umgebung! Wenden Sie die Zwillingslehre in der Psychiatrie an – und Sie werden bald Klarheit schaffen!

Armer Psychiater! Wenn er diesen Postulaten folgt, so kommt er nicht weiter. Vorerst findet man kaum je Persönlichkeitsstörungen in unbelasteten Familien; Schizophrene, Neurotiker, Psychopathen, psychosomatisch Kranke stammen eben meistens aus Familien, in denen Persönlichkeitsstörungen der einen oder andern Art sich häufen. Noch seltener findet man erblich mit Persönlichkeitsstörungen Belastete, die in einem einwandfreien Milieu ohne schwersten inneren Druck aufwachsen. Persönlichkeitsstörungen der älteren Generation pflegen eben als ein qualvoller Druck auf der jüngeren Generation zu lasten. Findet

man einmal Ausnahmen von diesen Regeln, so bilden sie meistens Anlaß zum Verdacht, daß sie nicht genügend genau untersucht sind. Und nun die Zwillingsforschung, die man in so einfacher Weise aus der Biologie und der körperlichen Medizin in die Psychiatrie übernehmen wollte; sie will bekanntlich den Anteil zwischen Umwelt und Anlage am Zustandekommen einer Eigenschaft durch den Vergleich der Korrelationshäufigkeit bei ein- und zweieiigen Zwillingen bestimmen. Diese Methode ist derart dogmatisch aus der Biologie übernommen worden, daß man lange vergessen hat, auf welchen selbstverständlichen Grundlagen sie beruht. Die erste Grundlage mag richtig sein: Eineiige Zwillinge sind erbgleich, zweieiige weitgehend erbverschieden. Die zweite Grundlage der Methodik aber liegt in der Annahme, daß sich eineiige Zwillinge von zweieiigen eben *nur* durch die Gleichheit oder Verschiedenheit ihrer Erbmasse unterscheiden, daß hingegen die Milieuunterschiede, unter denen ein- und zweieiige Zwillinge aufwachsen, in beiden Fällen von derselben Bedeutung wären. Und diese zweite Annahme ist in der Psychiatrie vollkommen falsch. Es ist keine Rede davon, daß das Milieu, unter dem zwei eineiige Zwillingspartner heranwachsen, ebenso ähnlich oder unähnlich sei wie das Milieu, unter dem zwei zweieiige Zwillingspartner heranwachsen. Das Milieu nämlich, auf das es in der Psychiatrie ankommt, ist die Welt der zwischenmenschlichen Beziehungen. Wenn man eineiige Zwillinge analysiert hat, so weiß man, was für ein gewaltiges inneres Erleben nur schon die Tatsache der Existenz eines eineiigen Zwillingsschwes- ters bedeutet. Es ist ganz anders als das Erleben einer zweieiigen Zwillingsschwester. So dann schaffen sich eineiige Zwillinge durch ihre Ähnlichkeit zum vorderein ein ähnlicheres Milieu als zweieiige Zwillinge. Dies gilt auch dann, wenn sie getrennt aufwachsen. Ich kannte zwei eineiige Zwillingsschwester, die durch ein Muttermal kosmetisch entstellt wurden. Ihre ganzen Beziehungen zu den Mitmenschen wurden durch diese Entstellung beeinflußt. Man konnte also bei ihnen nicht sagen, daß die große Ähnlichkeit der späteren Persönlichkeitsentwicklung einzig durch die Erbgleichheit verursacht sein könnte. Sie könnte ebensogut durch die besonders große Ähnlichkeit der zwischenmenschlichen Umwelt, in der beide Partner aufwachsen, bedingt sein.

Die in der Biologie üblichen Methoden zur Beantwortung der Frage, ob Erblichkeit oder Umwelt eine Persönlichkeitsentwicklung erklären könnten, sind also in der Psychiatrie nicht brauchbar. Man frug auch: Wieviel Erblichkeit und wieviel Umweltwirkung? Auf eine solche Fragestellung stützte sich vor allem die sog. mehrdimensionale Diagnostik, die sich die Konstitution als eine, psychisches Erleben der Umwelt als eine andere Dimension vorstellte. Aber auch sie kam nicht zum Ziel und ermangelte der Methoden, um die eine Dimension von der andern zu trennen.

Heute muß die Arbeit von zwei Generationen von Forschern als mißlungen betrachtet werden, die versucht haben, die Persönlichkeitsentwicklung und alle Störungen, die mit ihr zusammenhängen, mit der einfachen und bereits veralteten biologischen Fragestellung, was und

wieviel daran vererbt und nicht vererbt sei, zu bearbeiten. Es gibt Stimmen, wie diejenige von STERN, die diesen Mißerfolg einfach damit erklären, daß man am Menschen nicht experimentieren kann wie in der Biologie. Und in der Tat kann man beim Menschen keine Zuchtexperimente machen, kann nicht *experimenti causa* Kinder einer bestimmten Abstammung in eine vorbestimmte günstige oder ungünstige Umwelt setzen usw.

VI.

Meines Erachtens gehen aber diese methodischen Betrachtungen am tiefern Grund vorbei, weshalb die naive Übertragung einfachbiologischer Fragestellungen auf die Lehre von der Persönlichkeitsentwicklung scheitern mußte. Ich halte dafür, daß nicht nur die Methode unbrauchbar, sondern auch unsere Fragestellung falsch war. Und in der Tat, wenn wir suchen, welche vorgefaßten Meinungen einer solchen Fragestellung stillschweigend zugrunde gelegt worden sind, so müssen wir einfach und schlicht feststellen, daß sie ganz und gar unrichtig waren. Fragt man nämlich, ob die Umwelt oder die Vererbung eine Persönlichkeitseigenart bedingt hätten oder wieviel Umwelt und wieviel Vererbung an ihrer Genese beteiligt seien, so setzt diese Frage voraus, daß Vererbung und Umwelt unabhängige Größen seien. Gerade das aber ist nicht der Fall.

Nach unseren heutigen Kenntnissen ist die Umwelt, die die Persönlichkeitsentwicklung beeinflusst, vorwiegend die *menschliche Gemeinschaft*, die Welt der Beziehungen des Kindes zur Mutter, zum Vater, zu Geschwistern und Kameraden, des Erwachsenen zum Ehepartner, zu den Vorgesetzten, Freunden und Untergebenen. Gemeinschaft wird aber von allen Partnern mitgestaltet. Es ist Widersinn, anzunehmen, ein Mensch könne in verschiedene menschliche Gemeinschaften unabhängig von seinen Anlagen gestellt werden. Die Gemeinschaft hängt ja nicht nur davon ab, wie die andern zu uns sind, sondern ebenso sehr wie wir zu den andern sind. Ein gefälliger, lieber Mensch lebt in einer völlig wesensverschiedenen Welt von der eines kalten, abstoßenden Rohlings. Wir formen durch unser Wesen die Umwelt, die uns wieder formt.

Und umgekehrt: Das, was wir Persönlichkeit nennen, ist auf kulturelle Maßstäbe bezogen. Sie ändern rasch von Zeitepoche zu Zeitepoche, von Ort zu Ort, von Gesellschaftsklasse zu Gesellschaftsklasse. Wer in einem intellektuellen Kreise des 20. Jahrhunderts eine bestimmte Persönlichkeit ist, könnte unmöglich dieselbe Persönlichkeit in einer Söldnertruppe der Renaissance sein. Schon die Kulturabhängigkeit der Persönlichkeit zeigt uns, daß in ihr nicht elementare, biologische Eigenschaften direkt ans Tageslicht treten, sondern daß wir in der Persönlichkeit immer bereits eine Integration von angeborenen Eigenschaften und umweltbedingter Entwicklung vor uns haben. Wir sehen niemals vererbte Anlagen, die die Persönlichkeit ausmachen, sondern immer nur Äußerungen derselben, die durch die kulturelle Umwelt mitbedingt sind. Das, was

uns an Grundlagen der Persönlichkeit vererbt mitgegeben ist, ist schon umweltgeprägt, wenn wir es feststellen.

Die Umwelt des Menschen gestaltet seine ursprünglichen Reaktionsbereitschaften, wie diese seine Umwelt gestalten. Ebenso wie die Umwelt auf uns wirkt, wirken wir auf sie. Gerade darin liegt ein großer Unterschied zwischen Mensch und Objekt der älteren Biologie. Als ich als kleiner Knabe mit kleinen Handreichungen dabei sein durfte, als der verehrte alte Professor STANDFUSS seine berühmten Experimente mit Schmetterlingen machte, war das so ganz anders. Wenn er Puppen sortierte, um die einen in einem wärmeren Schrank zu halten als die andern, dann war die Umwelt dieser Puppen gewiß nicht durch sie selbst mitbestimmt, sondern völlig unabhängig von ihnen und ihrem Erbgut. Ihre Umwelt bestimmte einzig Professor STANDFUSS. Und deshalb konnte er auch klipp und klar Umwelteinflüsse von Erbeeinflüssen auf die Farbe der Schmetterlingsflügel trennen. Wie ganz anders der Mensch! Die Umwelt, die seine Persönlichkeit formt, bestimmt nie Professor STANDFUSS oder ein anderer Biologe allein, der Mensch, das Versuchsobjekt selbst, wie er aus seinen Anlagen hervorgegangen ist, formt seine Umwelt aktiv mit.

Wenn wir fragen, hängt x von a oder von b ab, so setzt diese Frage voraus, daß nicht a und b gegenseitig Funktionen voneinander sind. Wenn wir fragen, hängt die Persönlichkeit von der Umwelt oder von der Äußerung vererbter Anlage ab, so hat dies zur Voraussetzung, daß beide nicht Funktionen voneinander sind. Gerade das aber sind sie.

Es ist dem naturwissenschaftlichen Denken an sich nicht fremd, die beständige Wechselwirkung von Umwelt und Anlage mitzuberücksichtigen. Schon bei Tier und Pflanze ist die Ontogenese nicht allein aus der Summe von Einzeleinflüssen, erblichen und anlagebedingten, zu verstehen. Wie Herr Prof. BALTZER so eindrucksvoll ausgeführt hat, ist schon in der Biologie immer mehr die Tendenz zu berücksichtigen, ein proportioniertes, harmonisches, in seinen Funktionen ausgeglichenes Ganzes zu entwickeln. Die «Selbstorganisation» schafft erst aus der Summe von Anlagen und Einflüssen ein lebensfähiges Wesen. Von solchen Gedanken der modernen Biologie hat die Psychiatrie bisher zu wenig Kenntnis genommen. Die neuen Erkenntnisse eines Faches dringen ja gewöhnlich erst nach einer Latenzzeit in andere Fächer ein. Was man in der Psychiatrie unter «biologischem Denken» heute leider noch versteht und was ich kritisierte, ist atomisierende Biologie. Diese aber – ich zitiere Herrn Professor Fritz LEHMANN – ist auf keinen Fall als repräsentativ für die jetzige Epoche zu betrachten. «Die mendelistische Genetik der vorhergehenden Epoche», sagt LEHMANN, «bekommt heute ihren Sinn erst durch die genetische Entwicklungsphysiologie. Heute sind für uns Organismen, die sich entwickeln, Systeme, die hoch integriert sind.» So hat die heutige Biologie jenes alte biologische Denken, das ich aus der Psychiatrie ausmerzen möchte, bereits überwunden. Ähnliche Gründe, die es in der Psychiatrie unfruchtbar werden ließen, haben ihm in der Biologie selbst Schranken gesetzt. Es ist also nicht

eine Eigenart des Menschen gegenüber dem Tier, daß ein Teil seines Wesens nicht mehr als Mosaik, als eine Vielheit von genischen und erworbenen Einzeleinflüssen, betrachtet werden kann. Eine menschliche Eigenart liegt vielmehr erst darin, daß bei der Selbstorganisation die persönliche Erfahrung an der Umwelt einen ungleich weiter reichenden Einfluß gewinnt als beim Tier und zugleich die Umwelt umgekehrt auf Grund der persönlichen Erfahrung aktiver beeinflußt wird. Von dieser Umwelt, die wir selbst gestalten und die uns wieder gestaltet, sind die Beziehungen zu den Mitmenschen, gemeinsame Gesinnungen, Tradition, Sitte, Moral, wichtige Aspekte.

Nach modernen Untersuchungen ist der Einfluß der Beziehung zur Mutter schon auf die körperliche wie die geistige Entwicklung des Säuglings von ausschlaggebender Bedeutung. Schon das Verhalten der Mutter wird durch dasjenige des Säuglings mitgestaltet. Bei Menschen, die in großer Isolierung von Mitmenschen aufgewachsen sind, kann sich nicht einmal ein so elementarer Trieb wie die Sexualität entwickeln; isoliert Aufgewachsene sind nicht nur allgemein retardiert, sondern auch asexuell. Wie grundverschieden ist das von den Verhältnissen beim Tier, dessen Sexualität zwar vom Partner mitgeprägt und mitausgelöst wird, sich aber doch viel unmittelbarer und unabhängiger von der Umwelt entwickelt. Wenn sich die neuen, so faszinierenden Arbeiten über bei Wölfen auferzogene Kinder als richtig erweisen, so zeigen sie wiederum, daß der Mensch in seinem Wesen so sehr formbar ist, daß er sich unter Tieren völlig dem Tiere angleichen kann, während Umgekehrtes unmöglich ist.

Die Auffassung vom Wachsen der Persönlichkeit unter der dauernden Wechselwirkung zwischen Äußerungen von Anlage und Umwelt liegt aber auch geisteswissenschaftlichen Erkenntnissen nahe, die oft formuliert, aber noch wenig in die Medizin hineingetragen worden sind. Man kann zum Beispiel feststellen, daß es kein Ich ohne ein Wir gibt. Beide Begriffe wachsen aneinander, wie der ganze Mensch zusammen mit seiner Umwelt in der Wechselwirkung zwischen ihm selbst und der Umwelt heranwächst. Der Mensch hat sich die äußere Welt unterworfen und unterliegt ihr gleichzeitig.

VII.

Sind all das graue Theorien? Ich glaube, daß die neue Betrachtungsweise im Gegenteil von unmittelbar-praktischer, höchster Bedeutung ist. Wir müssen keine Zeit mehr damit vergeuden, im Rahmen der Persönlichkeitsentwicklung und ihrer Störungen wie im alten, einfachen Tierexperiment spezifische Folgen von spezifischen Wirkungen entdecken zu wollen, zum Beispiel die typische und regelmäßige Folge eines Einzelgens oder eines psychischen Einzeleinflusses. Es ist fortschritts-hemmend, wenn Familienforschung und Forschung nach der Psychogenese wie bisher völlig unabhängig, ja in feindseligem Geiste voneinander getrieben werden. Von diesem Standpunkte aus wird auch die

Gefährlichkeit der heutigen Kluft zwischen amerikanischer und vielen europäischen psychiatrischen Schulen deutlich, die einander nicht mehr verstehen können, weil die einen die Umwelteinflüsse unter völliger Mißachtung der Anlagen und die andern die Anlagen ohne Beachtung der Umwelt studieren.

Wir müssen das Kräftespiel übersehen, das sich aus dem Hin und Her mannigfacher Einflüsse, zwischen Ich und Wir, eigener Welt und Umwelt, zu einer einheitlichen Persönlichkeit formt. Eine biologische Gegebenheit, ein Gen, ein Hormon, ein Trauma z. B., ist nie *die einzige* Ursache einer Persönlichkeitsentwicklung oder -erkrankung, sondern nur ein Einzeleinfluß unter anderen, ein Einzelton in einem Konzert. Derartige Einzeleinflüsse zu erkennen und konditional zu werten, lehrt uns die moderne Biologie in so reichem Maße, daß die biologische Forschungsrichtung in der Psychiatrie trotz ihrer früheren Fehler voll zukunftsfröher Verheißung ist. Endokrinologische oder verhaltenspsychologische Erfahrungen am Tierreich z. B. ließen in jüngster Zeit starke Kräfte auf das Werden der Persönlichkeit entdecken. Wenn sie nicht im alten atomisierenden Geist betrachtet werden, sondern im synthetischen, zu dem sich Biologie und Psychiatrie heute gemeinsam durchgerungen haben, versprechen sie große Fortschritte und stehen in keinem Gegensatz zu geisteswissenschaftlichen Betrachtungen. Freilich handelt es sich hier erst um Entwicklungen, die sich anbahnen. Es schien dem heutigen Stand unserer Wissenschaft noch besser angepaßt, vorerst in einem Übersichtsreferat auf die *Hindernisse* hinzuweisen, die die falsche Anwendung der Biologie in der Lehre von der Persönlichkeitsentwicklung gesetzt hat, statt erst begonnene Forschungen schon in den Mittelpunkt zu stellen. Denn heute müssen wir diese Hindernisse erst wegräumen, damit wir der Zukunft entgegengehen können.

Die neuere Auffassung hat aber heute schon befruchtende Folgen auf geistige Hygiene und Behandlung. Sie zeigt uns z. B., wie unsinnig die bisherigen Versuche waren, erbbedingte Störungen als unheilbar von umweltbedingten abzutrennen. Sie haben sich verheerend ausgewirkt. Wir können auch nur stümperhaft Psychotherapie treiben, wenn wir verkennen, daß ein und dasselbe Umwelterlebnis verschiedenen Menschen Verschiedenes bedeutet.

Gerade Elisabeth konnten wir nur besser verstehen, wenn wir berücksichtigten, daß das Kind von Mutter und Vater geformt wurde, sie wieder formte und daß es bereits auf Grund seiner persönlichen, der Mutter ähnlichen Eigenart auf andere wirkte und von ihnen wieder beeinflußt wurde. Nur aus diesem Verständnis heraus wurde es möglich, hinter der Maske ihres Irrsinns und hinter ihrer Verwirrung noch das Menschliche zu erkennen, war es auch möglich, mit der kleinen Kranken wieder eine gemeinsame Sprache zu finden und gemeinsam mit ihr zu fühlen. Die Schaffung einer menschlichen Gemeinschaft dem Irrsinn zum Trotz war aber das Wesentliche an ihrer Behandlung. Auf dieselben elementaren Wahrheiten stoßen wir bei der Behandlung jeder Persönlichkeitsstörung.

Meine Damen und Herren, falsch angewendete Biologie ist in der Menschenkunde gefährlich. Richtig angewendetes biologisches Denken läßt elementare Einflüsse auf die Menschwerdung erkennen und sie in ihrer Beziehung zum gesamten Menschen sehen; es läßt damit auch geisteswissenschaftlichen Betrachtungen den Weg breit offen; es fördert das gegenseitige Verstehen und die Gemeinschaft und kann beitragen, Sorgenkindern wie Elisabeth zu helfen.

Literatur,

die gleichzeitig Heredität und Umweltwirkung auf die Persönlichkeitsentwicklung und ihre Störungen berücksichtigt, gibt es nur spärliche. In bezug auf die Schizophrenielehre habe ich in einem Sammelreferat (M. BLEULER, Forschungen und Begriffswandlungen in der Schizophrenielehre, Fortschritte der Neurologie und Psychiatrie und ihrer Grenzgebiete, 19. Jahrg., Heft 9/10, 1951) die Notwendigkeit darzulegen versucht, Anlage und Umwelt in ihrer dauernden Wechselwirkung zu berücksichtigen.

Ein gutes Beispiel einer modernen Betrachtung der Psychogenese einer schweren Geistesstörung gibt Frau M. A. SECHEHAYE (La réalisation symbolique. Revue suisse de psychologie et de psychologie appliquée, suppl. 12, Bern, Verlag Huber, 1947).

Der heutige Stand der psychiatrischen Erbforschung wurde am Internationalen Kongreß für Psychiatrie 1950 in Paris eindrucksvoll dargestellt (F. J. KALLMANN, L. S. PENROSE, J. A. FRASER-ROBERTS, E. SLATER und E. STROEMGREN in Psychiatrie sociale, Paris, Hermann & Co., éditeurs, 1950). Für die Schizophrenie sind die bisherigen Erbuntersuchungen klar zusammengefaßt von BRUNO SCHULZ in «Die Schizophreniegefährdung der Verwandten Schizophrener» (Ärztliche Monatshefte, Jahrg. V, S. 299, 1949/50).

Albrecht von Haller

Von

ALEXANDER VON MURALT

«Vor etwa 25 Jahren, als die Naturwissenschaften eben wieder auf einem höchsten Gipfel standen, obgleich das Gesetz der natürlichen Zuchtwahl noch nicht bekannt war, öffnete Herr Reinhart eines Tages seine Fensterläden und ließ den Morgenglanz, der hinter den Bergen hervorkam, in sein Arbeitsgemach, und mit dem Frühgold wehte eine frische Sommermorgenluft daher und bewegte kräftig die schweren Vorhänge und die schattigen Haare des Mannes.» So beginnt Gottfried Keller sein Sinngedicht. «Als die Naturwissenschaften eben wieder auf einem höchsten Gipfel standen»: mit feiner Ironie macht sich der lebensheitere Dichter über die Überheblichkeit der Naturwissenschaften lustig, denen periodisch in jedem Jahrhundert der Stand ihres Wissens als ein Höhepunkt erschien.

Wenn ich heute zu Ihnen über ALBRECHT HALLER spreche, so soll uns das wohlwollend spöttische Gesicht Gottfried Kellers in der Bewertung der Vergangenheit und beim Vergleich mit dem von uns heute erreichten «höchsten Gipfel» begleiten. So werden wir gezwungen, der wissenschaftlichen Leistung des Gelehrten HALLER vielleicht etwas weniger, dem Menschen dafür aber etwas mehr Glanz zu geben.

ALBRECHT HALLER wurde am 16. Oktober 1708 in Bern als jüngster von vier Söhnen geboren. EMANUEL HALLER, der Vater, war Kanzler der Landvogtei Baden, des von den Römern schon als Thermalquelle bekannten und durch die Badener Disputationen in die Geschichte der Reformation eingegangenen Städtchens an der Limmat. Im Haslihof bei Bern verbrachte HALLER seine Jugend bis zum Tode des Vaters im Jahre 1721 unter der Obhut seiner Stiefmutter.

Er kam dann anderthalb Jahre lang an das Gymnasium nach Bern, absolvierte die klassischen Prüfungen, mit besonderer Bewilligung vor der Erreichung der gesetzlichen Altersgrenze, und bezog mit 15 Jahren im Herbst 1723 die Universität Tübingen als Student der Naturkunde und Medizin.

Menschliche Leichen gab es zwar keine, und die Anatomie wurde an Hunden gelehrt. Auch die botanischen Exkursionen scheinen nicht gerade befriedigend gewesen zu sein, denn HALLER schreibt, die Studenten seien in der Regel «ohne Pflanzen, meist wohlbesoffen nach Hause» gekommen. Besser kommen die Tübinger Mädchen weg, von denen HALLER schreibt: «Das Frauenzimmer ist schön und ungezwungen, auch eben sprödigkeitshalber ohne Nachrede.»

Dem frühreifen, vereinsamten Jüngling hat Süddeutschland mit seiner warmen Lebenslust die Augen geöffnet, wie es das kürzlich veröffentlichte Reisetagebuch sehr schön durchblicken läßt.

1725 ging HALLER zu ALBINUS und BOERHAVE nach Leyden, wo er sich am 23. Mai 1727 im Alter von 18 Jahren die Doktorwürde erwarb. In den zwei folgenden Jahren führte ihn eine Reise nach London, wo er DOUGLAS besuchte, und nach Paris, um bei LE DRAN und WINSLOW zu arbeiten. In Paris wurde er von einem Arbeiter beim Ausgraben von Leichen entdeckt und angezeigt und mußte sich durch rasche Flucht der Bestrafung entziehen. An der Universität Basel bildete er sich weiter in Anatomie aus und übernahm vorübergehend den Unterricht. Dort lernte er auch JOHANNES GESNER kennen, mit dem er die erste Alpenreise unternahm. 1728 entstand das Gedicht «Die Alpen», das wie eine frische Sommermorgenluft auf die unter Lehrhaftigkeit verstaubte deutsche Poesie wirkte und den Zeitgenossen zum ersten Male einen naturnahen Ausblick auf die Schönheit der Bergwelt eröffnete. Selbst scheint er aber seiner dichterischen Begabung nicht zu viel Zutrauen geschenkt zu haben, denn er schreibt einem Freund: «Die Dichtkunst ist so schwierig, daß man in ihr nichts leisten kann, ohne ein Genie zu sein, und wie schade ist es für ein Genie, sich darauf beschränken zu müssen, Verse zu machen.» In den folgenden acht Jahren hat HALLER im ganzen 25 Ausflüge in die Alpen gemacht, deren botanische Resultate er erst später in Göttingen veröffentlichte. 1729 zieht er nach seiner Heimatstadt Bern und eröffnet als Arzt eine Praxis, ohne sich aber in den Mauern der auf Machtpolitik und fremden Dienst eingestellten Aristokratenstadt, zu deren regierungsfähigen Geschlechtern er zwar gehörte, wohlzufühlen. Als Baron MÜNCHHAUSEN ihm im Frühjahr 1736 die Professur der Anatomie, Botanik und Chirurgie an der eben gegründeten Universität Göttingen antrug, nahm er mit Freuden diese Möglichkeit, in eine Welt größerer Horizonte zurückzukommen, an. Anfangs September verließ er mit seiner Frau und drei Kindern Bern, hatte bei der Einfahrt in Göttingen das Unglück eines Radbruches am Wagen und verlor nach einem Monat seine Frau als Folge dieses ersten Unfalles. Göttingen wurde ihm leider aber auch in der Folge zu einer Unglücksstadt, er verlor nach zwei Jahren den ältesten Sohn, nach weiteren zwei Jahren die zweite Frau und ihr Kind, und selbst litt er sehr unter dem Göttinger Klima. Wie die Verhältnisse in Göttingen waren, geht aus einem für die damalige Bevölkerung nicht gerade schmeichelhaften Gedicht hervor, welches er zur Einweihung der Georgia-Augusta-Universität verfaßt hatte:

Ein einsam Volk, in öder Ruh erzogen,
wird jetzt der Reinlichkeit, ja selbst der Zier gewogen
und öffnet fremdem Witz, den ungewohnten Schooß.
Die Handlung streut aus arbeitsarmen Händen
Bequemlichkeit und Reichthum aus;
Die Ordnung zieht die Stadt aus ihrem Grauß
und selbst des Ekels Klagen enden;
Der Lehrstuhl ist besetzt, und eine stille Jugend
lernt mit der Weisheit auch die Tugend.

1739 gründete HALLER die «Göttingischen Zeitungen von Gelehrten Sachen», deren Leitung er 25 Jahre lang behielt und die er in dieser Zeit durch 12 000 Beiträge bereicherte. 1751 gründete er die Königliche Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, deren Vorsitz er übernahm und deren Entwicklung zu einer der angesehensten Akademien ihm persönlich zu verdanken sein dürfte. Der erste Anstoß zur Gründung der Akademie ist durch den Philosophen ANDREAS WEBER gegeben worden, dessen Vorschläge durch MÜNCHHAUSEN an HALLER weitergeleitet wurden. Die Stiftung und erste öffentliche Versammlung fand am 10. November 1751, am Geburtstag Georgs II., im damaligen großen juristischen Hörsaal statt. Schon 1747 erschienen die *Primae lineae physiologiae*, der Grundstein eines neuen Wissensgebietes, der Physiologie. Wohl hatten Männer wie ANDREAS VESALIUS, WILLIAM HARVEY und MARCELLO MALPIGHI im 16. und 17. Jahrhundert durch ihre grundlegenden Arbeiten die experimentelle Betrachtung der Lebensvorgänge und ihre funktionelle Darstellung erschlossen, HALLER aber war es, der als erster diese neue Betrachtungsweise zu einem eigentlichen Lehrgebäude aufbaute. Daß dies schon seinen Zeitgenossen bewußt war, geht aus einem Brief von SPALLANZANI an HALLER hervor, in dem er schreibt, die Physiologie verdanke ihm so viele neue Erkenntnisse, daß sie «viel mehr als von ihm (HALLER) erfunden erscheine, als durch ihn gefördert.» 1753 ließ sich HALLER leider durch das Angebot einer Staatsstelle in Bern, der Stelle eines Rathaus-Ammanns, die ihm durch das Los zugefallen war, verführen, Göttingen zu verlassen und in seine Heimat zurückzukehren. Heimweh, die Sorge um die Sicherheit seiner Kinder und die gesundheitlichen und gesellschaftlichen Widerwärtigkeiten scheinen diesen für HALLERS Weiterentwicklung unglücklichen Entschluß herbeigeführt zu haben. Von Bern aus gab HALLER das große, in acht Bänden erschienene monumentale Handbuch der Physiologie, die *Elementa physiologiae corporis humani*, von 1757 bis 1763 heraus. Von 1758 bis 1762 lebt HALLER in Roche bei Aigle als Salzdirektor der bernischen Salinen, 1762–1767 als stellvertretender Landvogt in einem entzückenden Herrschaftshaus im französischen Stil in Aigle. Von 1767 an ist er als Mitglied des Berner Ehegerichtes, der Oberappellationskammer und Assessor des Sanitätsrates in Bern tätig, wo er am 20. Dezember 1777 an der Inselgasse 5 gestorben ist. Das Miterleben der Französischen Revolution und ihrer Auswirkungen auf seine engere Heimat ist HALLER, dem autoritätsgläubigen, erkonservativen Protestant erspart geblieben. So weit der äußere Lebenslauf, der so einfach an Hand

der wichtigsten Lebensdaten zu zeichnen ist. Was wissen wir aber vom Menschen, von seinen Wünschen und Plänen, von seinem Wesen und seiner Ausstrahlung auf seine Schüler und Zeitgenossen?

Er war der «große» HALLER, sein Name war in der ganzen damaligen gebildeten Welt bekannt; die Universitäten von Oxford, Utrecht und Halle hatten vergeblich versucht, ihn durch Berufung zu gewinnen, die Schwedische Akademie hat ihn als erste geehrt, andere folgten. Jedermann von Kultur, darunter auch der Kaiser Joseph II., machte ihm seine Aufwartung bei der Durchfahrt durch Bern, und mit der ganzen wissenschaftlichen Welt stand er in Korrespondenz. Seine Popularität soll ungeheuer groß gewesen sein, wie folgende Anekdote zeigt, die von Siegrist erzählt wird. Es wird berichtet, «daß eines Tages ein englisches Schiff von Seeräubern gekapert wurde, an dessen Bord sich eine Kiste voll Bücher befand, die für HALLER bestimmt waren. Als der Seeräuber dies bemerkte, lief er sogleich den nächsten Hafen an, um die Kiste weiterzubefördern, denn der Gedanke wäre ihm unerträglich gewesen, einen so trefflichen Gelehrten wie den Herrn VON HALLER geschädigt zu haben.» Aber war dieser Mann, dessen Lebenswerk eine Bibliothek für sich ist, glücklich, hat er die Befriedigung schöpferischer Arbeit gefunden und hat er Werte von dauerndem Bestand geschaffen? Diese Fragen lassen sich aus dem äußeren Lebenslauf überhaupt nicht und aus den gedruckten Werken nur schwer beantworten. Was bedeutet uns heute das Lebensbild eines HALLER, ist es die Entwicklung der äußeren Lebensverhältnisse oder die innere Entwicklung, die uns die Versenkung in die Biographie eines großen Wissenschafters und Mannes so spannend macht?

HALLER war ein Wunderkind und hat schon im frühesten Alter Wörterbücher und Lebensbeschreibungen verfaßt. Der Hang zum Enzyklopädischen ist ihm zeitlebens geblieben und hat zusammen mit seinem ungeheuer präzisen Gedächtnis zu einem in Druck und Schrift festgehaltenen gewaltigen, ja beinahe unfaßbaren Lebenswerke geführt. Wir leben in einer ganz anderen Zeit und fragen uns bei der Betrachtung der ungewöhnlichen Begabungen, die frühere Jahrhunderte hervorgebracht haben, wie z. B. derjenigen HALLERS oder der frühreifen musikalischen Begabung MOZARTS, ob nicht doch die geniale Begabung einzelner Individuen in unserer Zeit der mehr durchschnittlichen Begabung größerer Kreise gewichen ist. HALLER war von früher Jugend auf ein einsamer und besessener Arbeiter. Göttingen war für ihn die fruchtbarste Zeit seines Lebens, weil er dort beinahe ungehindert sezieren und experimentieren konnte. Durch seine Rückkehr nach Bern ist er aus dem befruchtenden Kontakt mit dem Experiment ausgeschlossen worden und von da an immer mehr der Gelehrsamkeit verfallen. Wenn JOHN FULTON schreibt, daß HALLERS Licht mit seinem Tod auslöschte und keine Schule seine Gedanken weitertrug, während sein Zeitgenosse JOHN HUNTER zum Begründer einer großen medizinischen Tradition wurde, so ist daran HALLERS Isolierung in der zweiten Hälfte seines Lebens schuld. In Göttingen war er auf dem besten Wege, eine Schule

zu begründen, denn er hat in vorbildlicher Weise begabte junge Leute zu selbständigem wissenschaftlichem Arbeiten herangezogen, unter denen MECKEL, der Großvater der berühmten Anatomen, wohl der Bedeutendste war. Er hätte zweifellos als Lebenswerk eine große Schule bilden können. Es lag aber im Geiste der Zeit, daß dem gedruckten Wort ein so großer und dem von Mensch zu Mensch springenden Funken ein so geringer Wert zugelegt wurde. «Die lächelnde Freude aber habe ich nie gefühlt», schrieb HALLER, und so blieb er in der Auswirkung seiner Menschlichkeit unfruchtbar. Die großen Nachschlagewerke, die er im Alter schuf, die *Bibliotheca botanica* (1771/72), die *Bibliotheca anatomica* (1774–76) und die *Bibliotheca chirurgica* (1775) und *Medicinae practicae* (1776), sind wohl ein bleibendes Denkmal seines ungeheuern Fleißes und werden in bibliographischen Kreisen sehr geschätzt. HALLERS großer Wurf waren aber zwei kleine Schriften, zwei in der Göttinger Akademie am 23. April und am 6. März 1753 gelesene Reden, *de partibus corporis humani sensibilibus* und *de partibus irritabilibus*. In diesen beiden Schriften ist sein größter Beitrag zur Physiologie, die Lehre von der Irritabilität und Sensibilität, enthalten. Man darf wohl sagen, daß wir erst heute genau verstehen, was HALLER sagen wollte, und daß es ein heiteres Vergnügen ist, festzustellen, welchen Unsinn die Epigonen seines und des letzten Jahrhunderts aus HALLERS grundlegenden Feststellungen gemacht haben. Besonders instruktiv ist die am 29. November vor hundert Jahren vor der Göttinger Akademie gehaltene Festrede RUDOLPH WAGNERS zur 100-Jahr-Feier. Die von HALLER auf Grund von über 400 umfangreichen Experimenten vorgetragene Irritabilitätslehre ist sofort von GAUBIUS und anderen aufgegriffen worden und als organische Grundkraft, später sogar als Lebenskraft oder *vis vitalis* beschrieben worden. KIELMEYER und REYL haben Ende des 18. Jahrhunderts diese Lebenskräfte gruppiert und, wie WAGNER sich ausdrückt, einen wahren Jahrmarkt von Kräften veranlaßt, den die Physiologen noch bis ins 19. Jahrhundert feilboten. «Die gewöhnlichen Ärzte, über welche schon GALEN zu seiner Zeit ein hartes Urtheil fällte, speiste man damit ab, und selbst die besten, mit sehr wenigen Ausnahmen, ließen sich von jenen seichten und blendenden Theorien hinreißen.» (WAGNER.) Aber noch im Jahre 1851 waren offenbar die Meinungen über HALLERS Irritabilitätslehre geteilt, und gute Physiologen, wie JOH. MÜLLER, VALENTIN und HENLE, werden von WAGNER als Gegner der HALLERSchen Lehre bezeichnet.

Wir sind heute in der glücklichen Lage, zu glauben, daß wir genau wissen, um was es sich handelt, und wir stehen, um mit Gottfried Keller zu sprechen, wieder einmal auf einem höchsten Gipfel der Naturforschung. Die Entwicklung der Physik hat dem Physiologen vom Jahre 1920 an Methoden in die Hand gegeben, mit denen es möglich wurde, das, was HALLER intuitiv herausgespürt hat, exakt zu erforschen. Die Elektronenröhre hat die Verstärkung und Messung der biologisch vorkommenden Ruhe- und Aktionspotentiale und der Elektronenstrahl-Oszillograph die trägheitsfreie Registrierung der zeitlichen Vorgänge

möglich gemacht. Erlauben Sie mir daher, kurz zu schildern, wie wir heute diese biologischen Grundprozesse sehen, um so HALLERS intuitive Ahnung der Vorgänge zu bewerten. Ich tue es deshalb, weil es mir scheint, daß in keiner Biographie, auch nicht in LEON ASHERS Festrede vom Jahre 1902, HALLERS wissenschaftliche Leistung mit den Ergebnissen der modernen Forschung wirklich in Verbindung gebracht wurde; teilweise deshalb, weil sie vor der Gewinnung dieser neuen Einsichten geschrieben wurden oder, wie im Falle der sonst ausgezeichneten menschlichen Darstellung HALLERS, die von RÜDIGER ROBERT BEER 1947 gegeben wurde, aus mangelnder wissenschaftlicher Schulung.

Unter Erregbarkeit oder Irritabilität verstehen wir heute die Fähigkeit eines Gewebes, auf einen Reiz mit einem spezifischen Erfolg zu antworten. Der Muskel kontrahiert sich, die Drüse sezerniert, der Nerv bildet ein Aktionspotential, der periphere Rezeptor bildet «Schauer» von Aktionspotentialen, und die zentralen Nervenzellen gehen aus dem Ruhezustand entweder in den Zustand zentraler Erregung oder Hemmung über. Der Nerv ist das einfachste System, denn dort entsteht auf einen Reiz hin nur *eine* Erregung, während beim Muskel der Erregung die Kontraktion und bei der Drüse die Sekretion folgt. Bei den peripheren Rezeptoren führt der Reiz zu komplizierten Erregungsfolgen, die je nach Rezeptor ganz verschieden sind, und im Zentralnervensystem ist der Erfolg eines einzelnen Reizes von sehr vielen Faktoren abhängig, die wir erst langsam zu verstehen beginnen.

Alle Vorgänge in der unbelebten Welt laufen so ab, daß letzten Endes die Entropie einem Maximum zustrebt. Man bezeichnet diese Erkenntnis als den zweiten Hauptsatz der Thermodynamik. Was ist Entropie? In molekularstatistischer Betrachtung kann man etwa sagen, daß die Entropie eine Größe ist, die über den Grad der Unordnung oder Ordnung in einem System etwas aussagt, und daß das Anwachsen der Entropie immer einer Zunahme der Unordnung entspricht. In der Fassung, die BOLTZMANN und GIBBS dem 2. Hauptsatz der Thermodynamik gegeben haben, lautet diese Aussage wie folgt: Der Zustand der Unordnung hat die größte Wahrscheinlichkeit.

Es ist ein wesentliches Merkmal des Lebens und aller belebten Vorgänge, daß sie scheinbar gegen dieses Grundprinzip verstoßen. Einzelne Autoren haben sogar bis auf den heutigen Tag geltend gemacht, daß in den submikroskopischen Dimensionen belebter Systeme solche Ausnahmezustände möglich sein könnten. Die kritische Sichtung des experimentellen Materiales zeigt aber immer wieder, daß der Verstoß gegen den 2. Hauptsatz der Thermodynamik nur scheinbar ist und daß in Wirklichkeit ein Prinzip hinter allen Lebensvorgängen zu finden ist, das der kürzlich verstorbene große Meister der Biochemie, OTTO MEYERHOF, als erster richtig erkannt hat, das Prinzip der energetischen Kopplung. Ein Beispiel möge die Gedankengänge erläutern: Im lebenden Nerven finden wir im Inneren eine 20mal höhere Kaliumkonzentration als außen und eine 10mal geringere Konzentration an Natrium-Ionen. Als elektrisches Äquivalent dieser einem Ordnungszustand entsprechenden

Ionenverteilung messen wir ein Ruhepotential von zirka 70 mV, welches durch die Sauerstoffatmung des Nerven zum größten Teil gegen die dem 2. Hauptsatz entsprechende Tendenz des Ausgleiches aufrechterhalten wird. Bei der Sauerstoffatmung nimmt die freie Energie im oxydativen Prozeß ab und wird durch energetische Kopplung auf den zur Erhaltung der Ionenordnung gegen die ausgleichenden Kräfte direkt energieliefernden Prozeß übertragen. Für sich betrachtet, nimmt im oxydativen Vorgang die Entropie zu, durch energetische Kopplung ist aber dafür gesorgt, daß das Ruhepotential konstant bleibt. SCHRÖDINGER hat dieses in allen Lebensvorgängen immer wieder auffindbare Prinzip «Ordnung aus Unordnung» genannt.

Die Aufrechterhaltung der besonderen Ionenordnungen in Nerven, Muskeln, Drüsen und anderen nervösen Systemen ist aber nichts anderes als die Grundlage der Irritabilität oder Erregungsfähigkeit dieser Gewebe, und sie ist von ALBRECHT HALLER zum ersten Male als Grundprinzip richtig erkannt worden.

Wir alle wissen, wie wichtig der Einfluß der Umgebung für die Entwicklung der wissenschaftlichen Forschung ist. Zufall und Erfindung sind die Schutzpatrone, die an der Wiege großer wissenschaftlicher Erfindungen stehen. Aber nur dem geschulten und gereiften Geist vermag der Zufall neue Horizonte der Erkenntnis zu weisen. Damit diese Ausblicke Gemeingut der menschlichen Kultur werden, muß die Zeit reif sein. HALLER war es nicht vergönnt, mit einer für seine Gedanken reifen Zeit rechnen zu dürfen, und durch seinen Wegzug von Göttingen hat er sich einer fruchtbaren Umgebung entzogen und ist damit aus diesem merkwürdigen Bann getreten, der die großen wissenschaftlichen Zentren in besonderer Weise auszeichnet.

HALLER war ein unglücklicher Wissenschaftler, dem besonders im späteren Lebensalter die Auswirkung auf eine seinem Geist entsprechende Umgebung nicht gegönnt war. Als Mensch tritt er uns heute an manchen Stellen seiner Tagebücher und Gedichte wieder viel näher, und zum Schluß sei ein Gedicht wiedergegeben, das er im Schmerz um den Verlust seiner Frau verfaßt hat und dessen verborgene Schönheit HALLER von einer ganz anderen Seite zeigt:

Mein stilles Glück, die Lust von wenig Stunden,
ist wie das Glück in einer Sommernacht,
ist ohne Spur, ist wie ein Traum verschwunden,
der Bettler oft zu kurzen Herrschern macht.
Verlaßnes Haus und vormals werte Zimmer,
wodurch ich jetzt, gejagt von Unruh, flieh,
zeigt mir ihr Bild und wiederholt mir immer,
hier ging sie oft, hier saß, hier ruhte sie!

Vulkanologie und Geochemie der Geysire und heißen Quellen Islands

Von

TOM. F. W. BARTH, Oslo

Die Vulkane Islands haben lebhaftes Interesse erweckt, und eine große Anzahl von Geologen vieler Länder war und ist mit ihrer Erforschung beschäftigt. Unter der großen Mannigfaltigkeit der vulkanischen Erscheinungen sind sowohl die Spaltenergüsse als die sogenannten Arealeruptionen für Island charakteristisch. Sie sind intensiv studiert worden, und unter den Schweizer Geologen hat sich besonders Dr. RITTMANN durch seine erfolgreichen Studien des Mechanismus der Spaltenergüsse hervorgetan.

In den weitgestreckten Lavaflächen der Umgebung des Sees Mývatn findet sich eine erstaunlich große Anzahl von Kleinkratern und anderen vulkanischen Kleinbildungen, die von H. RECK als Förderungsschlote der Lava aufgefaßt wurden (siehe Abb. 1) – deshalb der Name Arealeruption.

Dem isländischen Geologen THORARINSSON ist es aber gelungen, eine interessante und neuartige Erklärung dieser Kleinformen zu geben. Das heißt, neuartig ist sie eigentlich nicht, denn der bekannte, verstorbene Naturalist und Geograph Islands, THORVALDUR THORODDSEN, hatte schon in seinen geographischen Arbeiten von ungefähr 1880 die Erklärung angedeutet. Seine Arbeiten waren aber teils isländisch, teils dänisch geschrieben und blieben infolgedessen einem größeren wissenschaftlichen Kreise unbekannt.

Jetzt hat THORARINSSON den Gedanken aufgenommen und wissenschaftlich bearbeitet. Die Lava ist danach über eine flache Landschaft voll von Moorböden und wassergefüllten Vertiefungen geflossen und hat dadurch die Möglichkeit gehabt, das darunterliegende Wasser in sich zu inkorporieren, teils in Lösung, teils in Okklusion. Durch Erstarren der Lava ist das Wasser unter Bildung allerlei phantastischer Kleinkrater und Kleinvulkanformen explosionsartig wieder abgegeben worden.

Die isländischen, von RECK aufgestellten Arealeruptionen, die in seinem Klassifikationsschema eine große Rolle spielen, sind somit durch diese Untersuchungen überholt worden. Wahrscheinlich gibt es überhaupt nirgends Arealeruptionen im Sinne RECKS.

Man sieht an diesem Beispiel, wie die vulkanischen Kräfte sich mit dem Wasser verbinden können und wie diese Feuer-Wasser-Kombination sofort zu Thermalerscheinungen verschiedener Art Anlaß gibt.

Alle heißen Quellen und Dampfexhalationen sind durch diese Kombination von Feuer und Wasser erzeugt. Sie sind von Geologen, Chemikern, Physikern und Geographen des letzten Jahrhunderts intensiv

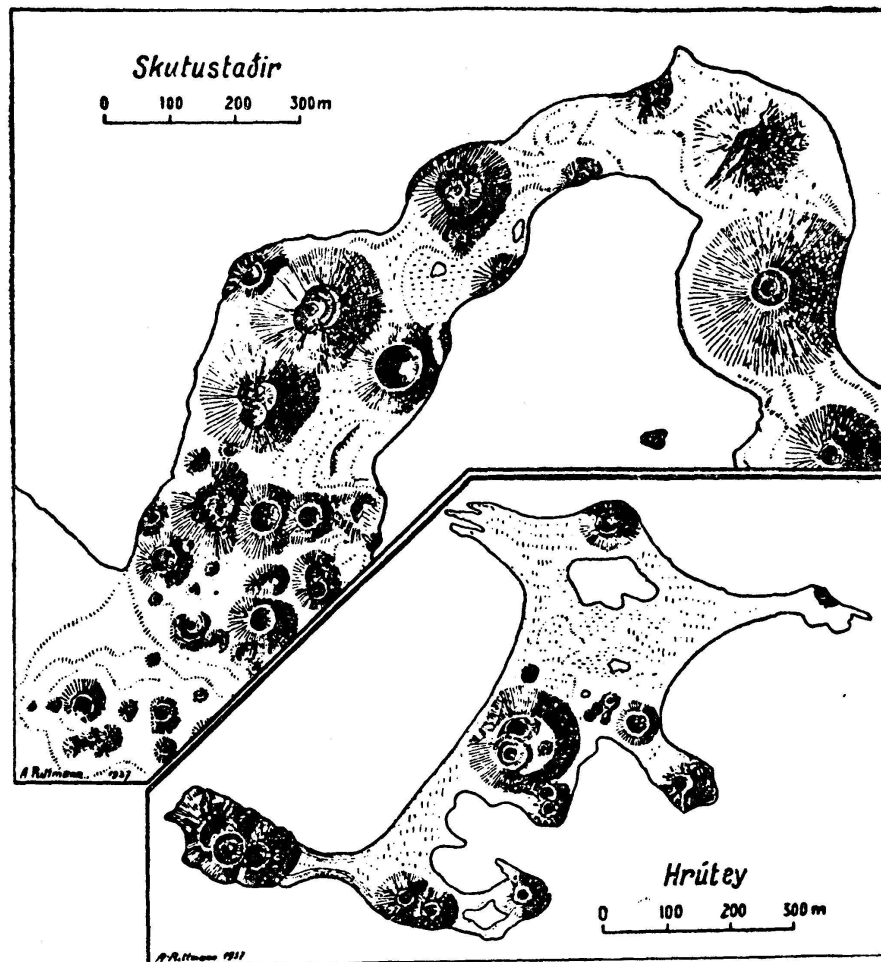


Abb. 1

Kratergruppen bei Mývatn (nach Rittmann).

untersucht worden. Unter ihnen hat sich der Schweizer Geologe Dr. SONDER durch klassifikatorische und chemische Erforschung zahlreicher Quellengebiete in besonders verdienstvoller Weise hervorgetan.

Im Folgenden werde ich zunächst über die Geysiraktivität berichten und eine neue Geysirtheorie vorlegen. Hierauf werden die Entstehung und Entwicklung der heißen Quellen diskutiert und ihre geochemische Stellung erklärt. Dadurch werde ich auch auf die große Bedeutung der Entgasungsprozesse der Erde zu sprechen kommen.

Die Geysire

Über die Geysiraktivität ist viel Interessantes zu berichten: Sie ist eines der eigentümlichsten Phänomene der Natur. Auf Island sind mehrere tausend einzelne heiße Quellen bekannt, aber höchstens 30 Geysire sind in Tätigkeit, d. h. weniger als 1 % der gesamten Anzahl heißer Quellen.

Im Yellowstone-Nationalpark gibt es nicht so viele heiße Quellen wie in Island, trotzdem sind davon mindestens 200 Geysire, d. h. ungefähr 10 % der Gesamtanzahl heißer Quellen des Nationalparkes. Die Geysiraktivität in Yellowstone ist also relativ viel häufiger als in Island.

Die Geysire haben eine Tendenz, sich zusammenzuhäufen; in Island existieren nur 4 Geysirgruppen oder -areale, innerhalb deren sich alle aktiven Geysire Islands befinden. Man muß daher annehmen, daß diese 4 Areale in Gegenden liegen, wo die Verhältnisse für Geysirtätigkeit besonders günstig sind.

Der Wahrscheinlichkeitsquotient in Island ist ja klein, weniger als 1 %. Aber innerhalb der vier erwähnten Geysirareale zeigen nicht weniger als 25 % der Gesamtanzahl heißer Quellen Geysirtätigkeit. Welches sind nun die Bedingungen, die eine Geysiraktivität voraussetzen?

BUNSEN hat auf einer Reise im Jahre 1847 einige der Geysire Islands besucht. Das Resultat seiner Reise war die berühmte Geysirtheorie, die heute noch weit verbreitet ist. Seiner Ansicht nach ist die Eruption von der Temperatur abhängig und erfolgt nur, wenn der Siedepunkt in irgendeiner Tiefe erreicht wird. Gleich nach einer Eruption ist das Quellenwasser verhältnismäßig kalt. Durch heiße Dämpfe wird es allmählich bis auf den Siedepunkt erwärmt; und eine Eruption folgt.

Meine Studien in Island zeigen aber einen davon verschiedenen Mechanismus an.

1. Es findet im allgemeinen kein regelmäßiges Steigen der Temperatur von einer Eruption zur nächsten statt. Jeder Geysir zeigt eine charakteristische Temperatur-Tiefen-Kurve, die von der Zeit gewissermaßen unabhängig ist.

2. Obschon die Temperatur mit der Tiefe steigt, ist das Steigen geringer als das des Siedepunktes mit der Tiefe; d. h. je tiefer im Brunnen, desto weiter ist man vom Siedepunkte der betreffenden Tiefe entfernt. Diese zwei Sätze sind voneinander abhängig. Sofern in irgendeiner Tiefe Überhitzung vorkäme, würde das aufsteigende Wasser sofort die oberen Teile des Geysirsystems auf Temperaturen weit über die wirklich beobachteten erwärmen.

Dieses kann man auch mathematisch verfolgen; ich werde hier aber nicht die Gleichungen bringen; zwei Beispiele werden die Prinzipien zur Genüge zeigen können.

In Uxahver und Ystihver, den zwei berühmtesten Geysiren Nord-Islands, wurden die Temperatur-Tiefen-Kurven durch Messungen bis auf sechs bzw. acht Meter Tiefe festgestellt. Von den auf diese Weise erhaltenen Daten läßt sich der Temperaturgradient mit der Tiefe

berechnen. Der Gradient wird schnell sehr klein, ja die maximalen Temperaturen, sogar in sehr großer Tiefe, sind für Uxahver und Ystihver 108° bzw. 107° .

Der Grund hierfür ist, daß in größeren Tiefen kein Mechanismus vorhanden ist, durch den Wärme von einem aufsteigenden Wasserkörper weggeführt werden kann. Alle Temperatur-Tiefen-Profile, die in Bohr-löchern der Thermalgebiete Islands gemessen worden sind, zeigen das- selbe, d. h. praktisch keinen Gradienten unterhalb etwa 20 bis 30 Meter Tiefe.

Ein Bohrloch einer Dampfquelle im Yellowstone-Park, die von Dr. FENNER im Jahre 1936 untersucht wurde, zeigte ganz andere Ver- hältnisse. Hier zeigt die Temperatur-Tiefen-Kurve einfach das Steigen des Siedepunktes mit der Tiefe an. Siehe Abb. 2. Deshalb hat sich hier eine Dampfquelle und kein Geysir gebildet.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß die Messungen, die ich in Island ausgeführt habe, ganz entschieden darauf hindeuten, daß Geysireruptionen nicht durch Überhitzung irgendeines Teiles des Geysirrohres erzeugt werden. Berechnungen zeigen, daß in den tieferen Teilen des Geysirsystems, in denen sich die explosive Kraft entwickelt, die Temperatur gewöhnlich niedriger ist als die des Siedepunktes in dieser Tiefe.

Meiner Ansicht nach, und in Übereinstimmung mit der Theorie des Isländers TH. THORKESSON, beruht die Geysirtätigkeit auf dem Vor- handensein von Schwärmen von Gasblasen, die, mit Wasser vermischt, einen kleineren hydrostatischen Druck ausüben als Wasser allein. Die so erzeugte Druckentlastung ist fähig, ein Aufrauschen und Kochen des Wassers, das sich jetzt unter einem kleineren Druck befindet, zu bewir- ken, was hinreicht, eine Eruption auszulösen. Siehe Abb. 3.

Entstehung und Entwicklung der Quellen

Unter der festen Kruste Islands befinden sich große Reservoirs geschmolzener Gesteinsmassen, die sogenannten Magmen, deren Kristal- lisationstemperatur (d. h. Erstarrungstemperatur) von ungefähr 1200° bis zu 700° gelegen ist. Durch allmähliche Abkühlung wird eine immer größere Fraktion des Magmas fest werden. Die nicht verfestbaren An- teile des Magmas, besonders die magmatischen Gase, akkumulieren sich infolgedessen mehr und mehr in der Restschmelze – vor allem Wasserdampf, aber auch andere Gase wie Schwefel, Chlor, Kohlensäure usw. Bald wird in dieser Weise ein Punkt erreicht, bei dem die Restschmelze mit den Gasen gesättigt ist. Oder, anders ausgedrückt, der innere Gas- druck der Restschmelze übersteigt den äußeren Druck, und die Schmelze fängt somit zu sieden an. Es ist hier der sogenannte zweite Siedepunkt, der durch Erhöhung der Gasspannung infolge Kristallisation erreicht wird, im Gegensatz zum bekannteren oder «gewöhnlichen» Siedepunkt, der durch Erhöhung der Gasspannung infolge Wärmezufuhr erreicht wird.

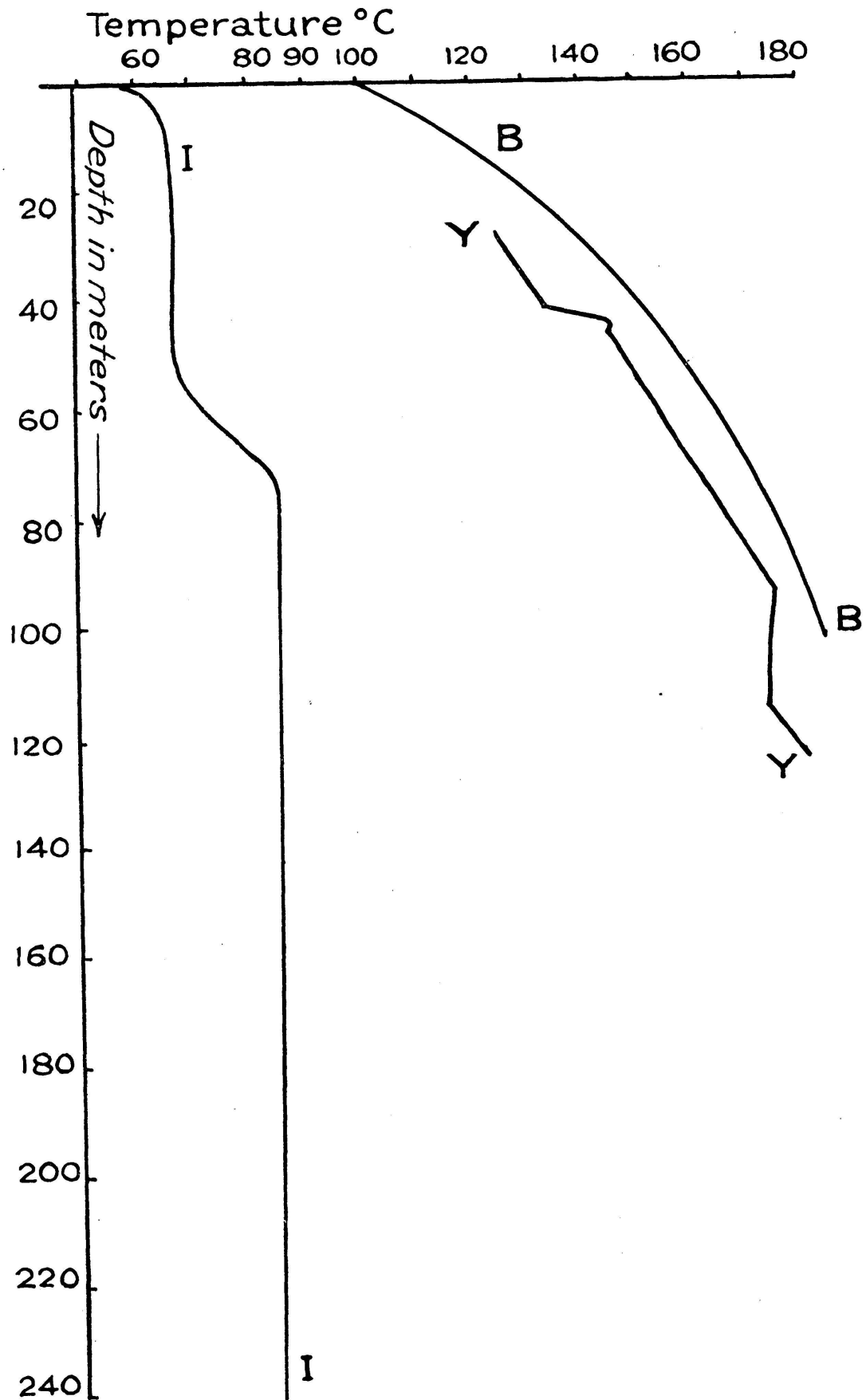


Abb. 2

Temperatur-Tiefen-Kurven: I-I, in einem Bohrloch von Sudur Reykir, Island. Y-Y, in einem Bohrloch bei Upper Basin, Yellowstone. B-B, Siedepunkt des Wassers.

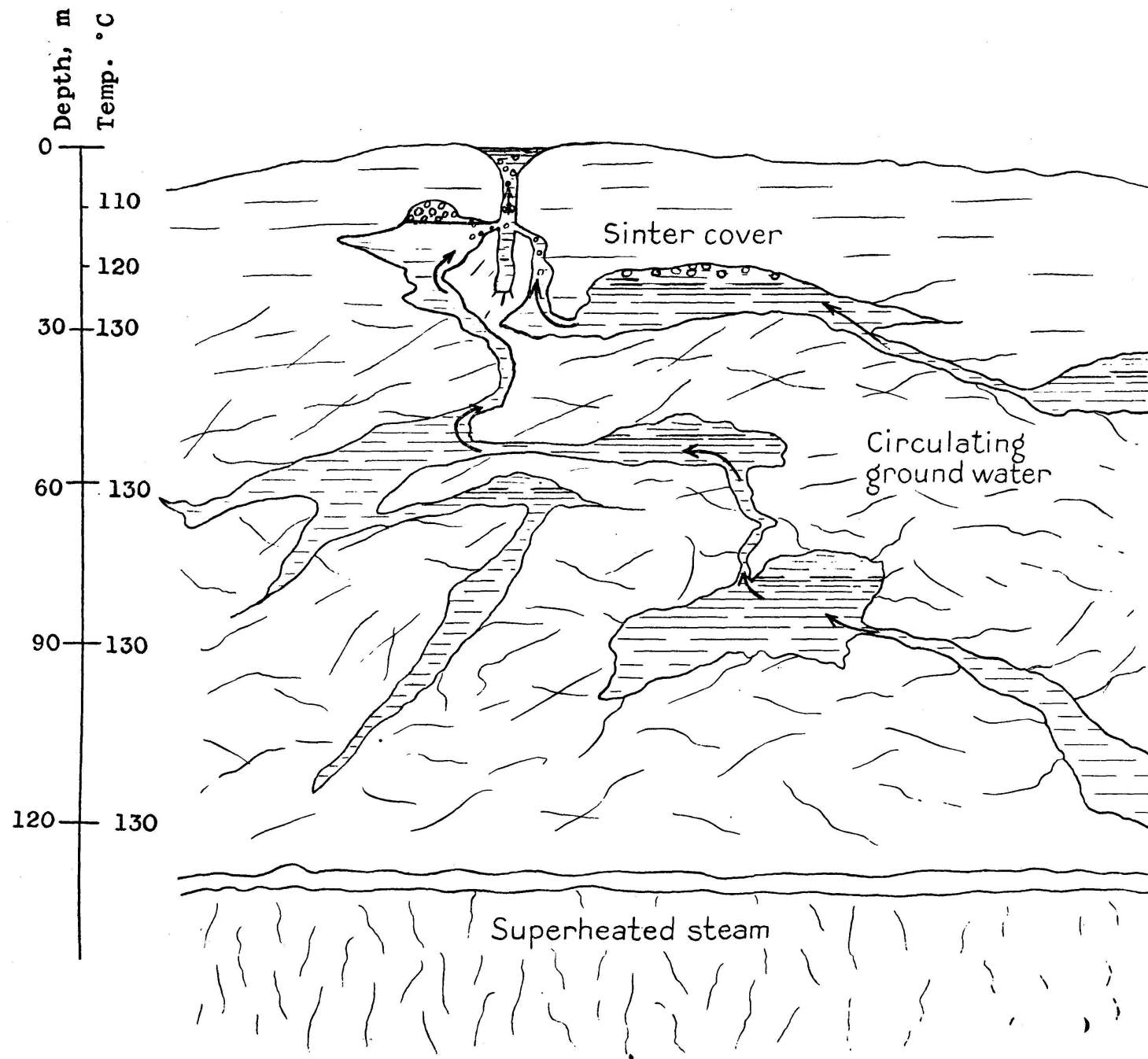


Abb. 3
 Schematisches Diagramm
 vom Großen Geysir

Sieden heißt, daß eine Gasphase über der Schmelze gebildet wird. Die Gase steigen empor und werden mit dem festen Gestein reagieren; sie werden einer dicken Schicht von Grundwasser begegnen, dadurch werden sie unter Erhitzung des Grundwassers in Lösung gehen, werden dann mit den im Grundwasser aufgelösten Substanzen und immer noch mit dem umgebenden Gestein reagieren. Schließlich wird ein Teil der Gasphase an die Erdoberfläche gelangen, teilweise im Quellenwasser gelöst, teilweise in Form von Quellengasen.

Es ist aber ohne weiteres klar, daß diejenigen Quellengase, die an der Oberfläche angetroffen werden, ganz verschieden sind von den primären, magmatischen Gasen – nicht nur infolge unterirdischer Reaktionen, sondern auch infolge von Verunreinigungen mit atmosphärischen und anderen Gasen.

Zahlreiche Analysen zeigen, daß man die Quellengase in zwei Gruppen einteilen kann:

1. die vulkanischen Gase, wesentlich H_2 , H_2S und CO_2 ;
2. die sekundären Gase, wesentlich N_2 und auch O_2 .

Die Quellen selbst lassen sich zweckmäßig nach ihrem relativen Gehalt an den betreffenden Gasen klassifizieren, wodurch eine natürliche Klassifikation erreicht wird: Diejenigen Quellen, die in direktester Beziehung zur vulkanischen Wirksamkeit stehen, haben einen großen Gehalt an H_2 , H_2S und CO_2 . Mit zunehmender Entfernung sinken zunächst die Gehalte an H_2 und H_2S , dann sinkt das CO_2 ; und schließlich, wenn die Quellen keine direkte Relation zur Vulkanität mehr aufweisen, sind alle drei dieser Gase ganz verschwunden; nun enthält die Quelle lediglich Stickstoff (inklusive Edelgase wie Argon) und vielleicht ein wenig Sauerstoff.

Die Entwicklungsgeschichte läßt sich jetzt gut rekonstruieren: Parallel mit der Veränderung des Gasgehaltes geht eine gesetzmäßige Variation der im Quellenwasser aufgelösten Substanzen. Beispielsweise sei erwähnt, daß *Sulfate* in den primären Quellen konzentriert sind und in der Entwicklungsserie regelmäßig abnehmen. *Chloride* verhalten sich umgekehrt: Sie sind in den primären Quellen fast nicht vorhanden, steigen aber dann regelmäßig an. *Fluoride* folgen den Chloriden. *Fe-* und *Al-Ionen* sind in den primären Quellen konzentriert usw. Es würde aber zu weit führen, die verschiedenen Komponenten für sich näher zu besprechen. Sehr charakteristisch ist nun die Wasserstoffionenkonzentration. *pH-Werte* lassen sich leicht im Felde messen. Viele Messungen sind deshalb gemacht worden, und überall habe ich dieselbe Regelmäßigkeit gefunden: Das vulkanische Quellenwasser ist ursprünglich sauer. Je länger es sich unter der Erde befindet, um so mehr Gelegenheit hat es, mit anderen Stoffen zu reagieren; dadurch wird es alkalischer.

Um die vulkanischen Zentren herum entsteht somit ein regelmäßiger geochemischer Zonenbau. Vom Zentrum gegen die Peripherie hin lassen sich also die geochemischen Variationen regelmäßig verfolgen. Jedes Element kann auf diese Weise studiert werden, und durch Extrapolieren

kann man versuchen, die Zusammensetzung der primären vulkanischen Phase zu bestimmen.

Die Frage der Herkunft der vulkanischen Energie soll hier nicht näher berührt werden; wir müssen uns damit begnügen, festzustellen daß sie als erste Bedingung der Quellentätigkeit tatsächlich vorhanden ist. Weitere Bedingungen sind (2) die großen Niederschlagsmengen und (3) die große Lockerheit oder Porosität der isländischen Gesteinsarten, die imstande sind, sehr schnell das Regenwasser zu absorbieren. Es ist charakteristisch, daß Island, das ein sehr feuchtes Klima hat, doch über größere Strecken wüstenartig trocken erscheint – alle Gewässer verschwinden in den klüftigen Laven, setzen ihren Weg unterirdisch fort und treten erst in den Vertiefungen zutage. In geringerer Tiefe begegnen dem Wasser heiße magmatische Gase und Dämpfe. Dadurch wird das ganze Grundwasser zu hohen Temperaturen erhitzt, und wenn es in Talsenken und Flußbetten oder in anderen Vertiefungen zutage tritt, bilden sich die zahlreichen heißen Quellen.

Die große Intensität und Extensität der heißen Quellen läßt sich somit durch die Kombination von vulkanischer Energie, starkem Niederschlag und lockerem Gesteinsboden erklären.

Die Entgasung

Zuletzt sei die fundamentale Frage gestellt: Warum existieren überhaupt echte juvenile Gasarten, d. h. Gase, die direkt aus dem Inneren der Erde kommen? Ich glaube, die Antwort ist, wir haben es mit einem fundamentalen Prozeß zu tun – mit einem großartigen Entgasungsprozeß – von weitreichender geologischer Bedeutung.

Es läßt sich thermodynamisch beweisen, daß gasförmige Moleküle im Erdinneren nicht im Gleichgewicht sind und daß sie infolgedessen gegen die Oberfläche diffundieren müssen. Wichtige Beobachtungen lassen sich dafür anführen, daß die ganze Hydrosphäre und die ganze Atmosphäre sekundär durch Entgasung entstanden sind. Diejenigen Gase, die bei der Entstehung der Erde sozusagen im Erdinneren gefangen genommen wurden, sind während der nachfolgenden geologischen Zeiten ununterbrochen auf Wanderung nach der Oberfläche. Die feste Erde verarmt ständig an Gasen, die zunächst in die Atmosphäre hineingelangen, und schließlich – im Falle von leichten Gasarten – an den Kosmos abgegeben werden.

Heute findet in Island eine lebhaftere Entgasung statt, und von diesem Gesichtspunkte aus betrachtet, bieten die Quellengase dem Geologen ausgezeichnete Gelegenheit, fundamentale geologische Probleme zu studieren. Er kann hier Relationen zwischen dem Erdinneren und der Oberfläche suchen. Die juvenilen Quellengase sind also Boten aus dem unzugänglichen Inneren der Erde. Aber trotzdem, und dies ist von besonderem Interesse, ist die chemische Zusammensetzung der Gase gar nicht typisch für die des Erdinneren.

Zwei Regionen bleiben wohl immer für uns unzugänglich: der Weltraum und das Erdinnere.

Vereinzelte Botschaften kommen aber aus beiden Regionen. Die Meteorite kommen aus dem Weltraum, die juvenilen Gase aus dem Erdinneren. Wir wissen, daß im Weltraum besonders leichte Gase vorhanden sind und daß die durchschnittliche Zusammensetzung des Weltraumes infolgedessen sehr weit von der Zusammensetzung der Meteorite entfernt ist. Ja wenn man näher daran denkt, sieht man ein, daß die Meteorite der Zusammensetzung nach in schroffem Gegensatz zum Weltraume stehen, woher sie kommen, daß sie aber eine merkwürdige Beziehung zum Erdinneren zeigen. Die juvenilen Gase zeigen hingegen eine enge Beziehung zum Chemismus des Weltraumes und sind verschieden von dem des Erdinneren, woraus sie kommen. Diese Botschaften zeigen somit in ihrer Zusammensetzung an, wohin sie gehen, nicht aber woher sie kamen. Wie läßt sich dies erklären? Die Erklärung ist vielleicht einfach: Die Boten sind gar nicht Vertreter des Chemismus ihrer respektiven Heimaten. Ganz im Gegenteil: Sie sind Verstoßene, die in ihre Heimat nicht passen, die sich neue Aufenthaltsorte suchen. Wenn man die Flüchtlinge betrachtet, die von Osten durch den Eisernen Vorhang schlüpfen, so sind sie keine Vertreter der politischen Farbe ihrer Heimat. Ihre Farbe zeigt an, wohin sie wollen, nicht woher sie kamen. Auf dieselbe Weise: Die Elemente der Meteorite finden in der Gesellschaft des Weltraumes kein Gleichgewicht, sie werden mit einem Überschuß von freier Energie geladen und so gezwungen, das Innere eines Planeten zu suchen; einige finden so die Erde und fallen zur Oberfläche, um im Laufe geologischer Äonen immer weiter in die Tiefe zu sinken.

Die Gase verhalten sich umgekehrt und finden im Erdinneren keine Ruhe, ihre freie Energie wird sich aber in der Gesellschaft des Himmelsraumes vermindern. Deshalb steigen sie empor, gelangen an die Erdoberfläche und versuchen noch weiter in die Höhe zu steigen.

So sehen wir, welche Gesellschaft von diesen Boten bevorzugt wird und welche gemieden wird. Wir können diese großartigen geochemischen Wanderungen betrachten und durch wissenschaftliche Studien versuchen, diejenigen Verhältnisse zu verstehen, die die Meteorite zur Flucht aus dem Himmelsraum veranlassen und die Gase zur Flucht vom Erdinneren zwingen. Durch weitere Theoretisierung eröffnet sich vor uns ein Ausblick auf die Möglichkeit, diese Wechselwirkung zwischen Geochemie und Kosmochemie in ein größeres System einzuordnen, ihr einen Platz in unserem Weltbilde zu schaffen.

Literatur

- ALLEN, E. T., and A. L. DAY. Hot springs of the Yellowstone National Park. Carnegie Inst. Wash. Publ. 466, 1935.
- BARTH, T. F. W.: Volcanic geology, hot springs, and geysers of Iceland. Carnegie Inst. Wash. Publ. 587, 1950.

- BUNSEN, R.: Physikalische Beobachtungen über die hauptsächlichsten Geysire Islands. Poggendorffs Ann. Phys. u. Chem., Vol. 72, S. 159–170, 1847.
- FENNER, C. N.: Bore-hole investigations in Yellowstone Park, Jour. Geol., Vol. 44, S. 225–315, 1936.
- RECK, H.: Die Masseneruptionen usw. Deutsche Islandsforschung. Vol. 2, S. 24–49, Breslau 1930.
- RITTMANN, A.: Die Vulkane am Mývatn in Nord-Island. Bull. Volcanol. Napoli, ser. 2, Vol. 4, S. 1–38, 1938.
- SONDER, R. A.: Studien über heiße Quellen und Tektonik in Island. Publ. Vulkaninst. I. Friedländer, Nr. 2, Zürich 1941.
- THORARINSSON, S.: Laxárgljufur and Laxárhraun. Geogr. Ann. S. 61–73, Stockholm 1951.
- THORKESSON, Th.: On thermal activity in Iceland and geyser action. Reykjavik 1940.

Les cultures d'organes et leurs applications en physiologie végétale

Par

W.-H. SCHOPFER

(Institut botanique et Jardin botanique, Université, Berne)

Dans la nature un végétal, plante supérieure ou microorganisme, croît sur un substrat ou dans celui-ci: sol, eau, être vivant servant d'hôte.

L'étude exacte et détaillée du développement d'un organisme a imposé aux expérimentateurs une nécessité à laquelle ils n'ont pu se soustraire à savoir, extraire le végétal de son milieu et tenter de le cultiver au laboratoire dans des conditions aussi voisines que possible de celles de la nature.

On créa des milieux nutritifs naturels ou artificiels, ces derniers devant contenir, exactement dosés et équilibrés entre eux, tous les constituants que la plante extrait de son substrat naturel.

L'histoire des sciences nous enseigne que, très tôt, des essais ont été effectués avec succès; nous pensons avant tout à ceux de WOODWARD (1699). Sans entrer dans des détails superflus ici, constatons simplement que, dès 1860, grâce aux travaux de PFEFFER et de SACHS, on savait cultiver une plante verte, autotrophe, sur des milieux synthétiques liquides contenant les sels minéraux indispensables. L'étude de la nutrition minérale des plantes supérieures a fait des progrès considérables; nos connaissances relatives aux éléments traces (Spurenelemente) se sont précisées; la méthode de culture de végétaux en milieu liquide (cultures sur eau, sans sol) est appliquée à l'échelle industrielle.

En 1870, J. RAULIN crée le premier milieu synthétique pour un organisme hétérotrophe (*Sterigmatocystis nigra*). Ce milieu, plus complexe que celui requis par une plante verte, contient du sucre que le Champignon, privé de chlorophylle, ne peut synthétiser.

Dès ce moment la microbiologie prend son essor; un nombre toujours plus considérable de microorganismes, Bactéries, Champignons, Flagellés peut être cultivé sur des milieux synthétiques. Chaque liquide nutritif est exactement adapté aux besoins et aux exigences de l'organisme étudié; seules ces conditions de culture permettent une étude rationnelle et précise de son métabolisme.

Mais, dès que l'on eut compris que l'étude de la morphogenèse était inséparable de celle du métabolisme, les cultures d'organes s'imposèrent.

Précisons rapidement ce qui caractérise la morphogenèse d'une plante supérieure. Douée d'une forme spécifique, manifestant une très nette polarité, elle possède des organes structurés constitués par des tissus et des cellules différenciés assumant des fonctions déterminées. Pourtant, au cours de toute son existence, la plante supérieure conserve des points végétatifs à l'extrémité de la racine, de la tige et de leurs ramifications; ce sont des méristèmes primaires, structurés, composés de cellules embryonnaires, totipotentes, possédant le pouvoir de se diviser. La croissance de la plante dépend de l'activité de ces cellules susceptibles de se différencier; les méristèmes primaires (points végétatifs) et secondaires (cambiums) fournissent donc les éléments grâce auxquels la morphogenèse s'effectue. Ce sont précisément ces tissus méristématiques qui peuvent être cultivés sur des milieux synthétiques, à l'instar des microorganismes. Nous citons ici les remarquables méthodes de culture de tissus créées par R. GAUTHERET et ses élèves; les résultats que leur application a permis d'obtenir sont d'une importance essentielle, tant pour l'étude de la morphogenèse que pour celle de la cytologie (1, 2).

On comprend qu'un organe constitué, partiellement au moins, par des cellules embryonnaires, séparé de la plante qui l'a formé, est également susceptible d'être cultivé en milieu synthétique, liquide ou solide; c'est notamment le cas pour les embryons séparés des cotylédons. En des pages savoureuses CHARLES BONNET, dans son célèbre ouvrage sur l'usage des feuilles (1754), nous décrit l'expérience, réussie semble-t-il, qu'il effectua; séparant de leurs cotylédons des embryons de *Phaseolus multiflorus* et de *Fagopyrum*, il les cultive dans le sol, en pots et en obtient des plantes. La méthode s'est heureusement perfectionnée; on sait aujourd'hui cultiver stérilement des embryons sur milieu synthétique gélosé et, aisément, on obtient des plantules différenciées que l'on peut conduire jusqu'à la floraison. Cette méthode est également susceptible d'applications pratiques. Certaines graines germent lentement étant donné l'imperméabilité du tégument séminal; c'est le cas pour *Pirus*, dont la germination requiert une année ou plus; l'embryon est extrait de la graine, repiqué sur un milieu gélosé stérile contenant du sucre et des sels minéraux; après trois semaines la plantule atteint un développement appréciable et peut être transplantée dans le sol où elle se développe comme une plante normale mais avec une avance considérable (3).

Un jeune ovaire peut également être cultivé dans les mêmes conditions; si la pollinisation a eu lieu auparavant, il produit in vitro des graines fertiles.

Surtout, les racines peuvent être aujourd'hui sans difficulté l'objet d'une culture en milieu synthétique. Une extrémité de racine de pois ou de tomate contient le point végétatif. Coupé à 1 cm environ de la pointe et placé dans une solution nutritive adéquate, le méristème

conserve son activité, les divisions cellulaires se produisent et la racine se développe, conservant sa forme spécifique et sa polarité et, dans certains cas, se ramifiant. La culture peut être repiquée indéfiniment si l'on coupe l'extrémité de la racine cultivée et la transporte dans un nouveau milieu.

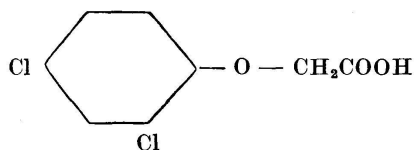
ROBBINS (4) qui, en 1922, fit les premiers essais de culture aseptique en milieu défini composé de glucose et de substances minérales, fut obligé d'ajouter à ce dernier de l'extrait de levure ou de la peptone qui devaient apporter des facteurs de croissance. Après la découverte de l'action de la vitamine B₁ (aneurine) sur les microorganismes (1934) (5), on s'avisait de substituer cette dernière à l'extrait de levure; en 1937, ROBBINS et BARTLEY (6), WHITE (7), BONNER et ADDICOTT (8) démontrèrent simultanément et indépendamment que la vitamine B₁ était un facteur de croissance indispensable à la culture de la racine utilisée comme test; le milieu de culture devient complètement synthétique et ne contient plus que des substances chimiquement définies: saccharose, que la racine reçoit normalement de la feuille, nitrate comme source d'azote, sels minéraux et éléments traces auxquels s'ajoute l'aneurine. Il est ainsi démontré, pour la première fois, que la racine est auxo-hétérotrophe pour une ou plusieurs vitamines qu'elle ne peut pas synthétiser en culture pure. Dans la nature elle les reçoit des feuilles. Les besoins des racines varient d'une espèce à l'autre; la vitamine B₁, l'acide nicotinique (vitamine PP), la pyridoxine (vitamine B₆) sont requises, seules ou en constellations de deux ou trois vitamines. Elles ont pour la racine la même spécificité d'action que pour les microorganismes, Bactéries et Champignons. Ajoutons que des acides aminés sont parfois requis.

Dès ce moment les recherches se multiplient et cette technique de culture d'organe est utilisée avec succès pour des fins diverses. En effet, les cellules méristématiques constituent des réactifs d'une extrême sensibilité à l'égard de diverses substances actives. L'action de toute substance paralysant, directement ou indirectement, la division cellulaire, s'exprime par un ralentissement ou un arrêt de la croissance.

Dans des conditions de culture définies la racine requiert, pour une croissance *in vitro* normale, une hormone de croissance du groupe des auxines; la substance utilisée est généralement l'acide indole-3-acétique. En 1936, M. GEIGER-HUBER et BURLET démontrent que la concentration de l'hormone détermine la réaction de la racine; à la concentration $M 2,86 \times 10^{-11}$ (soit 0,005 γ par litre de milieu) une accélération de la croissance de 100% par rapport aux contrôles se manifeste, alors qu'à la concentration $M 2,86 \times 10^{-5}$ la croissance est presque complètement bloquée. Ces résultats, maintes fois confirmés, ont ouvert une nouvelle voie dans l'étude des hormones végétales (9).

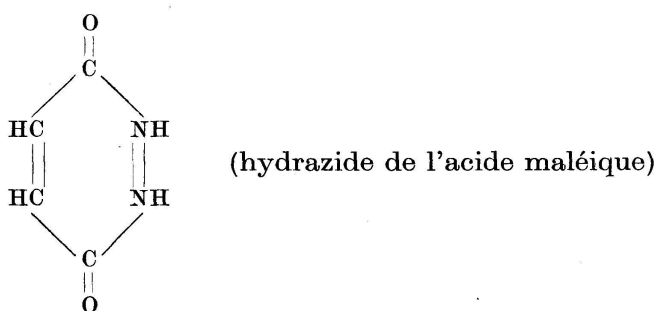
L'attention se concentre aujourd'hui sur les *substances* dites *herbicides*; utilisées dans la pratique pour le désherbage elles agissent plus ou moins spécifiquement sur un groupe de végétaux, Monocotylédones ou Dicotylédones. Des études détaillées ont montré que ces herbicides bloquent la croissance, agissent sur la morphogenèse et perturbent pro-

fondement le métabolisme. L'une des mieux étudiées parmi ces substances est l'acide 2,4-dichloro-phénoxy-acétique (2,4-D)



Avec M. BEIN, nous l'avons fait agir sur des cultures aseptiques de racines de *Zea mays* (Monocotylédone) et de *Pisum* (Dicotylédone) (10). Nous relevons une analogie frappante entre l'action du 2,4-D et celle de l'hormone de croissance, l'acide indole-3-acétique. A la concentration M. 10^{-11} le 2,4-D détermine une augmentation de la croissance de 70% et à la concentration M. 10^{-6} une inhibition de 70% par rapport aux contrôles. *Pisum* est beaucoup plus sensible et à la concentration M. 10^{-7} l'inhibition est de 90%. Il semble donc qu'avant d'agir comme inhibiteur, le 2,4-D exerce, dans les conditions où nous l'avons étudié, un effet hormonal positif. La différence essentielle réside dans le fait qu'en fonction de la concentration la toxicité du 2,4-D augmente beaucoup plus rapidement que celle de l'acide indole-3-acétique, d'où l'effet herbicide (11) du premier.

Une autre substance est actuellement à l'ordre du jour, l'hydrazide de l'acide maléique. Nous avons montré que cette substance inhibe chez *Pisum* la biosynthèse de la chlorophylle et celle des caroténoïdes (12). Comme SCHOENE et HOFFMANN l'ont montré (13), l'hydrazide maléique est un inhibiteur de la croissance racinaire. Soixante-dix γ d'hydrazide maléique pour 20 cm³ de milieu de KNOP dans lequel croît une plantule de *Pisum* déterminent une inhibition de 50% de la formation des racines latérales; l'activité des points végétatifs de ces dernières est plus rapidement entravée que celle du point végétatif de la racine principale.

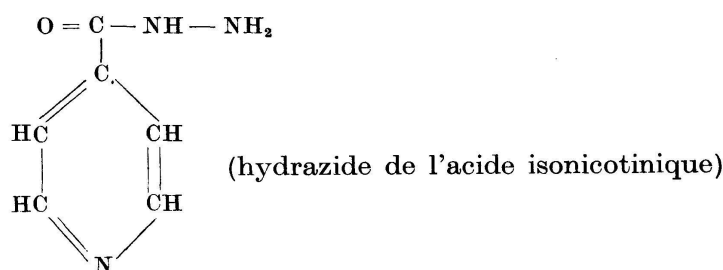


L'effet de l'hydrazide maléique est particulièrement remarquable sur les racines de *Pisum* en culture pure. Avec moins de 100 γ pour 10 cm³ de milieu de BONNER la croissance de la racine est diminuée de 50%. Un tel blocage suggère que l'hydrazide maléique doit, d'une manière ou d'une autre, empêcher l'action de l'hormone gouvernant la croissance racinaire. En effet, dans des conditions de concentration bien déterminées, l'acide indole-3-acétique est apte à rendre réversible l'effet de l'hydrazide maléique. Ce dernier fonctionne donc comme *anta-*

goniste physiologique de l'hormone de croissance. Quoique le chimisme du phénomène ne soit pas clair pour l'instant, un tel antagonisme est apte à nous faire mieux saisir le mécanisme de l'action hormonale.

Les *antibiotiques* n'intéressent que la bactériologie et la médecine, semble-t-il. On oublie que divers antibiotiques, parmi les plus actifs, sont produits par des Champignons dont beaucoup se trouvent dans le sol (*Streptomyces* par ex.). Pour autant que ces derniers croissent sur un substrat favorable, ils produiront dans la nature les inhibiteurs qu'on les oblige à former en fortes quantités *in vitro*. Ces antibiotiques naturels doivent agir sur la microflore, éventuellement sur les plantes supérieures et constituent un facteur écologique. Il importait donc d'examiner si ces antibiotiques n'agissent pas sur la croissance radiculaire, *in vitro* (plantules et racines en culture pure). Effectivement, la croissance radiculaire (racine principale et racines latérales chez *Pisum* cultivé sur milieu de KNO₃) est plus ou moins fortement inhibée par la streptomycine (14), la guanidine, constituant de cette dernière, la chloromycétine, l'auromycine et la pénicilline; les trois premières de ces substances sont également antichlorophyllogènes et anticarotinogènes. La sensibilité de la racine de *Pisum* en culture pure est plus grande encore; un taux de streptomycine de 12,5 γ diminue la croissance de plus de la moitié (14).

Le rimifon (hydrazide de l'acide isonicotinique), actif sur *Mycobacterium tuberculosis* et dont jusqu'à maintenant on ne connaissait que les propriétés antibactériennes s'est révélé être un inhibiteur fort actif de la croissance radiculaire. *In vivo*, le rimifon est également anticarotinogène (14).



Une étude approfondie de l'action de l'hydrazide de l'acide isonicotinique sur la racine *in vitro* nous a montré, qu'ici encore, dans des conditions déterminées de concentration, l'acide indole-3-acétique rend réversible l'inhibition produite par le rimifon. La figure suivante le démontre nettement (voir fig. 1).

Il y a donc antagonisme physiologique entre l'hormone de croissance et l'hydrazide de l'acide isonicotinique.

Toutes les substances dont nous venons d'évoquer l'effet agissent en ralentissant puis en bloquant les divisions cellulaires des méristèmes; il n'est pas démontré qu'elles agissent directement sur les mitoses; leur action primaire doit être recherchée dans le cytoplasme.

L'application de la méthode des cultures de racines à l'étude des *antagonismes compétitifs* a permis de préciser la nature de ces derniers. Un antagonisme est dit «compétitif» lorsqu'un inhibiteur déplace de son

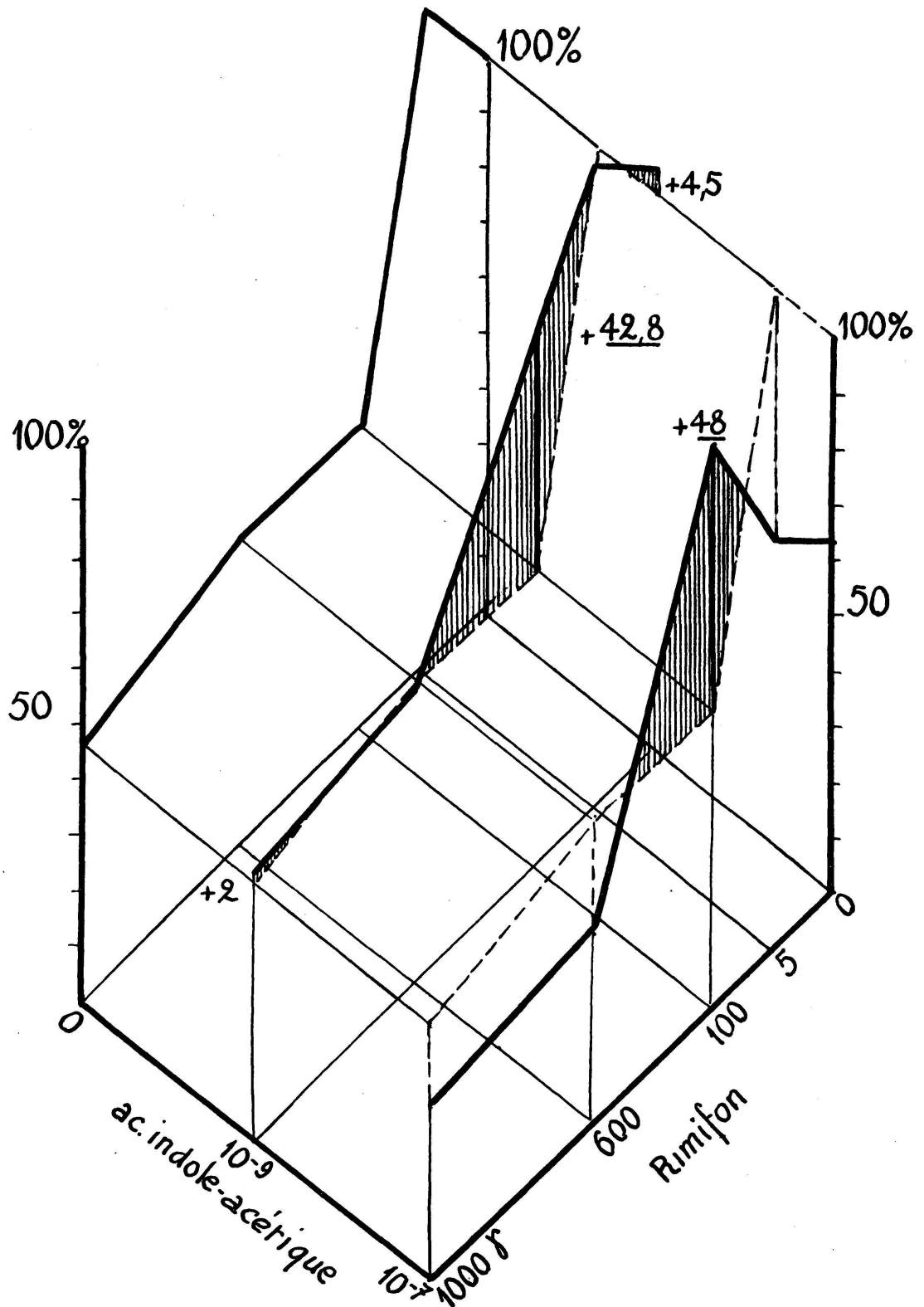
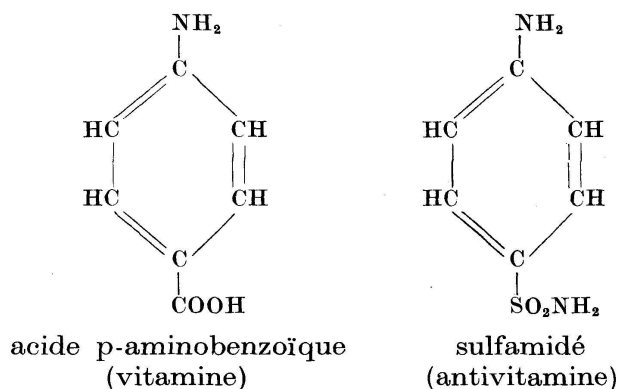


Fig. 1

Action de l'hydrazide de l'acide isonicotinique (rimifon) et de l'acide indole-3-acétique sur la racine de *Pisum* in vitro. La courbe de gauche exprime l'effet inhibiteur du rimifon seul. Les zones hachurées (avec M. 10^{-7} et 10^{-9} d'acide indole-3-acétique) indiquent l'intensité de la désinhibition soit la différence entre le rimifon seul et le rimifon + acide indole-3-acétique. Les croissances sont exprimées par rapport au contrôle comptant pour cent. Les cultures sont faites dans 20 cm³ de milieu.

support un métabolite essentiel (vitamine fonctionnant comme coferment); de structure très voisine il se substitue à lui mais ne peut assumer ses fonctions; il en résulte un blocage d'une chaîne métabolique importante et, par voie de conséquence, un arrêt de la division cellulaire, de la multiplication et de la croissance. L'action sur le métabolisme est primaire, celle sur la morphogénèse secondaire.

Un sulfamidé est bactériostatique car, selon les expériences et les théories de WOODS (15) et FILDES (16), il déplace l'acide *p*-aminobenzoïque, vitamine nécessaire au développement; il agit comme une anti-vitamine (17, 18).



L'effet bactériostatique du sulfamidé est rendu réversible par l'addition d'acide *p*-aminobenzoïque (APAB); ce dernier agit d'une manière très spécifique. Pourtant, en 1946 (19), nous avons montré que la désinhibition pouvait être obtenue non seulement à l'aide d'APAB, mais aussi de purines, adénine par ex. On sait que l'APAB est un constituant de l'acide folique. On peut donc admettre que l'APAB fait partie d'un système enzymatique participant à la biosynthèse des purines à partir d'un précurseur plus simple; les purines elles-mêmes sont des constituants des acides ribonucléiques et désoxyribonucléiques, ainsi que de coferments importants. Des faits identiques ont été mis en évidence par SHIVE et ROBERTS (20) à l'aide d'*Escherichia coli*. A la suite de ces observations il est aujourd'hui admis que le déplacement de l'APAB par le sulfamidé est un phénomène primaire dont l'effet est un arrêt de la biosynthèse de purines; l'effet final du déplacement s'exprime, entre autre, par une perturbation de la biosynthèse des acides nucléiques. Il a été démontré que la biosynthèse de certains acides aminés est également bloquée.

Or, nous avons montré que le sulfamidé arrête également la croissance radriculaire d'une plantule de *Pisum*; l'APAB est désinhibiteur. W. ANKER, dans un travail très détaillé, a retrouvé les mêmes phénomènes avec une culture pure de racine de *Pisum*. La figure 2 résume une expérience particulièrement démonstrative, faite avec l'irgafène (diméthyl-benzoyl-sulfanilamide) et l'APAB (21, 22).

A la concentration 1:6.10⁵ l'irgafène inhibe fortement; après addition d'APAB à la concentration 1:6.10⁵, la désinhibition est presque totale après 26 jours de culture.

Ici encore la désinhibition peut être obtenue avec d'autres substances que l'APAB; lorsque l'inhibiteur est le cibazol (sulfanilamidothiazol), la guanine et l'acide adénosinephosphorique ont une action compensatrice; lorsqu'on opère avec l'irgafène, la guanine et, parmi les pyrimidines, la thymine, l'uracile et la cytosine, qui sont également des constituants des acides nucléiques, fonctionnent comme désinhibiteurs.

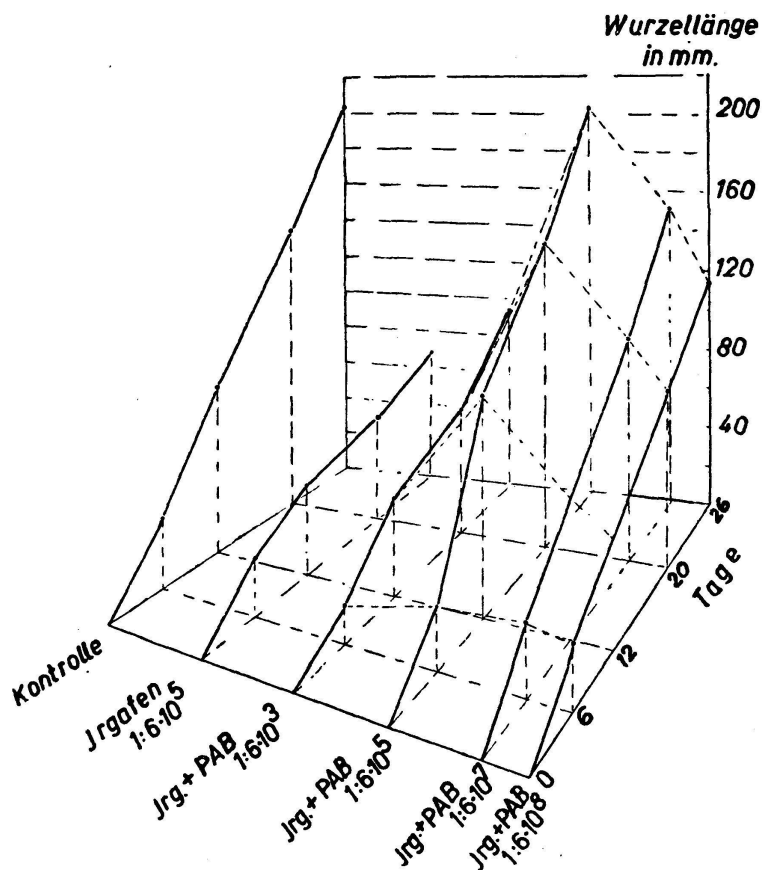


Fig. 2

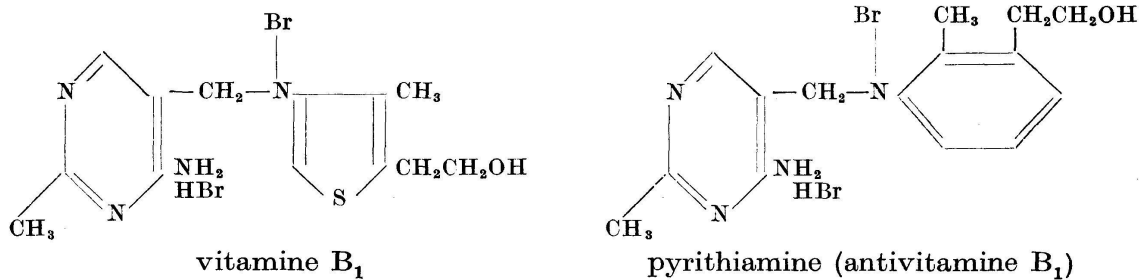
Croissance de la racine de *Pisum* en présence d'irgafène seul ou additionné d'APAB (d'après W. ANKER, 1951)

Pour la racine comme pour le microorganisme (*Saccharomyces*) il faut admettre que le sulfamidé perturbe le métabolisme des acides nucléiques; avec les cellules embryonnaires du méristème infiniment mieux qu'avec un microorganisme, il est possible de le démontrer par voie cytochimique. On relève entre autres que l'acide ribonucléique cytoplasmique des cellules méristématiques ayant subi l'action du cibazol est beaucoup plus rapidement attaqué par la ribonucléase que chez les cellules des méristèmes témoins.

Cet effet des sulfamidés nous permet d'entrevoir leur utilisation éventuelle en cytogénétique; en effet, les travaux de PETERS et ceux de FULLER attestent que certains sulfamidés ont une action polyploïdisante sur les cellules des méristèmes radiculaires d'*Allium cepa*; cette action,

plus faible que celle de la colchicine est cependant très symptomatique du fait que l'agent troublant les mitoses dérègle le métabolisme des acides nucléiques.

Une autre antivitamine, la pyriéthiamine, antagoniste de l'aneurine (vitamine B₁, antipolynévritique) nous a fourni des résultats inattendus. La pyriéthiamine diffère de l'aneurine du fait que le 4-méthyl-5-β oxyéthyl-thiazol de cette dernière est remplacé par une 2-méthyl-3-β oxyéthyl-pyridine (23 à 26).



Cette pyriéthiamine, déplaçant l'aneurine de son support, peut déclencher chez l'animal une avitaminose B₁ artificielle aux symptômes aussi marqués que ceux déterminés par l'absence d'aneurine dans le régime. (D. W. WOOLLEY et A. G. C. WHITE, 1943) (27).

La pyriéthiamine se révèle être un remarquable inhibiteur de la croissance racinaire de *Pisum*; avec 0,5 γ pour 10 cm³ de milieu, la croissance n'est plus que le 50% de celle des contrôles; l'inhibition est rendue réversible par addition d'aneurine. Comme c'est le cas chez l'animal nous déclenchons chez la racine en culture pure une avitaminose artificielle dont le siège se trouve dans les cellules embryonnaires du méristème. Un certain nombre de faits nous autorise à admettre que le point d'attaque primaire de l'antivitamine doit être recherché dans le cytoplasma (28).

Nous serions tenté de croire que, seul, le déplacement de la vitamine B₁ est responsable de l'arrêt de la croissance. Ce n'est pas le cas. Nous avons déterminé dans des racines ayant subi l'action de doses croissantes de pyriéthiamine, le taux de diverses vitamines synthétisées, hydro-solubles, autres que l'aneurine à l'égard de laquelle la racine est hétérotrophe: pyridoxine (vitamine B₆) acide folique, vitamine B₁₂, acide nicotinique, acide pantothénique, biotine, riboflavine (29). Après avoir subi l'action de 1 γ de pyriéthiamine, les taux de toutes les vitamines citées sont fortement modifiés:

pyridoxine,	très forte hypervitaminose
vit. B ₁₂ ,	très forte hypervitaminose
ac. folique,	forte hypervitaminose
ac. pantothénique,	faible hypervitaminose
ac. nicotinique,	faible hypervitaminose
biotine,	taux inchangé
riboflavine,	faible hypovitaminose
aneurine,	accélération de la destruction, ou de l'inactivation

On croit, avec cette molécule de pyriéthiamine, ne toucher qu'un point de l'infrastructure cytoplasmique, là où s'insèrent les molécules de vitamine B₁ ajoutées; il en va tout différemment et le trouble apporté dans le métabolisme et le fonctionnement de l'aneurine se répercute dans tout *l'équilibre vitaminique* qui subit de profondes modifications. Nous insistons sur l'importance de cette notion nouvelle d'équilibre vitaminique qui peut être si facilement vérifiée à l'aide de microorganismes. Pour que la croissance s'effectue normalement, il faut que toutes les vitamines synthétisées ou présentes dans un organe se trouvent entre elles dans des rapports définis; le déplacement de l'aneurine mais aussi les conséquences lointaines de ce dernier sont les facteurs déterminant l'inhibition.

D'autres problèmes, importants pour la physiologie végétale, ne peuvent être abordés qu'à l'aide des cultures de racines. Nous évoquons celui de la biosynthèse des vitamines ou d'autres substances actives. Nous savons qu'une plante verte est, dans une très large mesure, autotrophe pour les facteurs vitaminiques dont elle a besoin. Mais, dans quels organes ces biocatalyseurs sont-ils fabriqués? Comment se comportent les organes sans chlorophylle? Les biosynthèses s'effectuent-elles obligatoirement dans les feuilles? L'analyse globale de la plante ne nous donne aucun renseignement pas plus que celle d'organes détachés de la plante après avoir reçu de cette dernière toutes les substances dont ils ont besoin. Si l'on trouve le facteur étudié dans la racine, nous ne pouvons savoir si elle l'a fabriqué elle-même ou si elle l'a reçu de la feuille; il est nécessaire d'effectuer une culture d'organe. Ces problèmes ont été abordés dès que les tests microbiologiques pour la détermination des vitamines ont été au point.

Étudiant diverses racines en culture pure (lin, trèfle, luzerne, tomate), J. BONNER constate qu'après de nombreux repiquages (de 4 à 36 selon l'espèce) le pouvoir de synthèse de la racine isolée est toujours présent (30). R. LOUIS, étudiant la racine de *Pisum* arrive à la même conclusion; la racine isolée est donc douée d'une certaine autonomie physiologique; elle paraît à première vue surprenante si l'on songe à la proximité immédiate de la tige et de la feuille chez une plantule complète. Le pouvoir de synthèse de la racine isolée est-il vraiment aussi intense que celui de la racine in vivo en communication avec les autres organes? La question paraît difficile à résoudre. R. LOUIS y est parvenu en ajoutant à la racine en culture pure in vitro des extraits de feuilles préparés selon une technique spéciale; l'adjonction de ces derniers détermine une très nette augmentation du taux de la biotine radiculaire. L'autonomie physiologique de la racine in vitro n'est donc que partielle; il doit exister in vivo des corrélations physiologiques feuille-racine telles que la première gouverne, sans pourtant la contrôler complètement, la biosynthèse de la biotine dans la seconde (31).

La riboflavine, l'acide nicotinique et la pyridoxine sont également synthétisées dans la racine in vitro; après sept passages, les taux de ces vitamines ne subissent que peu de modifications.

L'acide pantothénique semble se comporter tout différemment. L'extrémité de racine inoculée est riche en cette vitamine; elle en contient 43,9 μg par mg/sec . Après le premier passage une forte diminution du taux se manifeste déjà et après le troisième passage la racine, qui se développe pourtant, n'en contient pour ainsi dire plus. Il n'a pas pu être démontré que l'acide pantothénique se transformait et, après plusieurs repiquages, se trouvait sous une forme inaccessible au micro-organisme test. Ce surprenant phénomène imposait un contrôle consistant à déterminer le taux en acide pantothénique de racines *in vivo*, en relation avec les feuilles. R. LOUIS observe que si la plante conserve ses feuilles ou seulement sa tige, le taux en acide pantothénique de la racine reste appréciable après sept semaines; par contre, si la tige est coupée, la racine se comporte *in vivo* de la même manière qu'*in vitro*; après trois semaines l'acide pantothénique ne peut être retrouvé. Il est donc clairement démontré que des corrélations essentielles existent entre la feuille et la racine en ce qui concerne l'acide pantothénique; le pouvoir de synthèse de la racine est extrêmement affaibli, tout au moins avec les conditions de culture utilisées, et c'est la feuille qui produit ce facteur vitaminique essentiel qu'elle livre à la partie radiculaire (32).

Ce seul problème atteste les services que la technique de culture de racine peut rendre pour la résolution de problèmes de physiologie essentiels à tous les points de vue.

En étudiant le comportement de l'organe isolé, en culture, nous ignorons tout de sa physiologie *in vivo*, et inversement. Seule la confrontation des résultats obtenus *in vivo* et *in vitro* nous permet d'entrevoir la complexité des corrélations biochimiques à l'intérieur d'un être vivant dont nous savons qu'il est un tout, tant du point de vue morphologique que du point de vue physiologique.

En terminant cet exposé évoquons encore un problème d'un tout autre ordre apte à montrer jusqu'où peut conduire la technique de culture d'organe.

Nous avons séparé les organes d'une plante, isolé la racine qui a été cultivée séparément; les corrélations normales ont été supprimées et l'autonomie physiologique partielle de la racine a été mise en évidence. Ne serait-il pas possible de réunir à nouveau les parties isolées et de reconstituer une plantule entre les organes de laquelle les corrélations se rétabliront? C'est ce que nous avons tenté avec R. LOUIS (33).

Des cultures de méristèmes radiculaires de *Pisum* ont été effectuées sur milieu de BONNER avec aneurine; après quelques jours les méristèmes sont extraits et placés dans du sable stérile arrosé avec du liquide de KNOP; des points végétatifs de tige, du même âge, sont greffés dans une fente de la racine de 1 mm environ de diamètre et le tout est maintenu par une ligature. Un début de soudure s'effectue et la plantule ainsi reconstituée se maintient pendant deux à trois semaines au cours desquelles la racine croît par suite d'un allongement des cellules et d'une division de celles-ci dans le méristème. Après trois semaines l'épibiote dépérit alors que l'hypobiote (racine) reste plus longtemps en vie. La

réussite n'est que partielle et il semble que les corrélations normales ont de la peine à s'établir. En effet, normalement, l'épibioté feuillé devrait synthétiser l'acide pantothénique et le fournir à la racine comme c'est le cas pour une plantule normale. La démonstration n'est pas encore faite; les corrélations feuille-racine, dans les deux sens, sont certainement plus compliquées qu'on ne se l'imagine.

Les recherches devront être complétées en variant les conditions de culture, en ajoutant au milieu (sable) non seulement du liquide de KNOP mais aussi divers facteurs actifs dont la biosynthèse, au début, ne s'effectue peut-être que difficilement dans l'épibioté. Si la greffe est viable il nous sera possible d'accomplir avec la plantule reconstituée et relativement aux corrélations biochimiques les mêmes expériences qu'avec les plantules normales.

Examen de l'activité de substances, réactions cytologiques et caryologiques des cellules méristématiques aux herbicides, aux hormones et aux antibiotiques, analyse du mode d'action de ces substances, étude des potentialités et de l'autonomie biochimiques des organes séparés, mise en évidence des corrélations biochimiques, détermination des organes dans lesquels s'effectuent des biosynthèses importantes: la variété des problèmes très brièvement évoqués au cours de cet exposé atteste l'importance que prennent les cultures d'organes en physiologie végétale.

Un procédé cesse d'être une simple technique et devient une méthode lorsqu'il contribue à la résolution de problèmes aussi importants que ceux venant d'être esquissés. C'est bien le cas pour la technique de culture d'organes.

Travaux cités

- (1) R. GAUTHERET. Recherches sur la culture des tissus végétaux. Rev. Cytol. et Cytophysiol. végét., 1935, mém. n° 1, 279 p.
- (2) R. GAUTHERET. Manuel technique de culture des tissus végétaux. Paris, Masson, 1942, 172 p.
- (3) L. NICKEL. Plants and Garden, 1950, 6, 123.
- (4) W. J. ROBBINS. Bot. Gaz., 1922, 73, 376.
- (5) W. H. SCHOPFER. Arch. f. Mikrobiol., 1934, 5, 511.
- (6) W. J. ROBBINS and M. A. BARTLEY. Science 1937, 85, 246.
- (7) PH. WHITE. Plant Physiology, 1937, 12, 803.
- (8) J. BONNER and F. ADDICOTT. Proc. Nat. Acad. Sc. Washington, 1937, 23, 453.
- (9) M. GEIGER-HUBER und E. BURLET. Jahrb. f. wiss. Bot., 1926, 84, 233.
- (10) M. BEIN et W.-H. SCHOPFER. Experientia, 1948, 4, 222.
- (11) M. BEIN. Thèse doct. Inst. Bot. Berne, 1951, 74 p.
- (12) W.-H. SCHOPFER, E. GROB et Mlle G. BESSON. Arch. Sc. Genève, 1952, 5, 5.
- (13) D. L. SCHOENE and O. L. HOFFMANN. Science, 1949, 109, 588.
- (14) W.-H. SCHOPFER, E. GROB et Mlle G. BESSON. Arch. Sc. Genève, 1952, 5, 1 et 9.
- (15) D. D. WOODS. Brit. Jl. Exptl. Pathol., 1940, 21, 74.
- (16) P. FILDES. Lancet, 1940, 1, 955.
- (17) W.-H. SCHOPFER. Colloque de Lyon sur les antivitaminés. Bull. Soc. chim. biol., 1948, 30, 748.
- (18) D. D. WOODS. 1^{er} Coll. intern. de chimie microbiologique. - Bull. Organ. mondiale de la santé, 1952, 6, 35.

- (19) W.-H. SCHOPFER. *Experientia*, 1946, 2, 188. — *Helv. Physiol. Acta*, 1946, 4, C 24.
- (20) W. SHIVE and E. C. ROBERTS. *J. Biol. Chem.*, 1946, 162, 463.
- (21) W.-H. SCHOPFER et W. ANKER. *Experientia*, 1949, 5, 117.
- (22) W. ANKER. Thèse doct. Inst. bot. Berne. *Mitt. Naturforsch. Ges. Bern, Neue Folge*, 1951, 8, 55.
- (23) A. H. TRACY and C. R. ELDERFIELD. *J. Org. Chem.*, 1941, 6, 54.
- (24) A. N. WILSON and A. HARRIS. *J. Amer. chem. Soc.*, 1949, 71, 2231.
- (25) A. DORNOW und W. SCHACHT. *Ber. d. d. chem. Ges.*, 1949, B 82, 117.
- (26) R. F. RAFFAUF. *Helv. Chim. Acta*, 1950, 33, 102.
- (27) D. W. WOOLLEY and A. G. C. WHITE. *Jl. exp. Med.*, 1943, 78, 489.
- (28) W.-H. SCHOPFER. Colloque de Lyon sur les antivitaminés, *Bull. Soc. Chim. biol.*, 1948, 30, 940.
- (29) W.-H. SCHOPFER. *Coll. int. Biologie médicale, Catania*. — *La Riforma medica*, 1951, n° 16-17, 423.
- (30) J. BONNER. *Amer. Jl. Bot.*, 1940, 27, 692. — *Vitamins and Hormones*, 1948, 6, 225.
- (31) R. LOUIS. Thèse doct. Inst. Bot. Berne (sous presse).
- (32) R. LOUIS. *Experientia*, 1952, 8, 388.
- (33) W.-H. SCHOPFER et R. LOUIS. *Experientia*, 1952, 8, 388.

Der Begriff der Wahrscheinlichkeit und seine Rolle in den Naturwissenschaften

Symposium vom 23. August 1952, organisiert durch die Schweizerische Gesellschaft zur Pflege der Logik und Philosophie der Wissenschaften.

Vorsitz: B. ECKMANN,

Einführungsreferate: B. L. VAN DER WAERDEN, W. PAULI, S. ROSIN.

Der Vorsitzende umschreibt einleitend den Charakter der Symposien, wie sie seit einigen Jahren im Rahmen der Jahresversammlung der SNG stattfinden und in welchen Vertreter verschiedener Fachgebiete sich zu gemeinsamer Aussprache treffen. In den zur Verfügung stehenden zwei Stunden kann es sich natürlich nur darum handeln, sich gegenseitig über die Stellungnahme zum Thema zu orientieren, zu welcher man auf Grund seiner Facherfahrungen gelangt ist, und Anregungen zu empfangen, die im begrenzten Forschungsbereich kaum vorhanden wären. Aber welches auch der Erfolg eines solchen Gesprächs sei, so ist es doch sicher für die wissenschaftliche Forschung und ihre Auswirkungen unerlässlich, die Gesichtspunkte anderer Gebiete und die Grenzen ihrer Erkenntnisse kennen zu lernen, um sowohl einseitige Anschauungen wie falsche Verallgemeinerungen zu vermeiden.

Im vorliegenden Thema wird ein Problemkreis berührt, welcher die Frage der Anwendung mathematischer Begriffsbildungen auf Naturwissenschaften und andere Gebiete mit allen ihren methodischen und erkenntnistheoretischen Hintergründen in ganz besonderer Weise in sich schließt. Es mutet erstaunlich an, daß trotz der ungeheuren Entwicklung der Wahrscheinlichkeitslehre über deren Grundlegung – oberflächlich gesagt: über die Definition der Wahrscheinlichkeit – keine Einigkeit herrscht; hier dürfte wohl nur eine axiomatische Klärung zugleich mit einer Berücksichtigung des bei den Anwendungen einzuschlagenden methodischen Vorgehens weiterführen. Das erkenntnistheoretische Problem «Wahrscheinlichkeit» wird dadurch noch nicht gelöst; es kann vielmehr erst dann in angemessener Weise gestellt werden.

Referat von B. L. van der Waerden:

Die Tendenz in der neueren Entwicklung der Wahrscheinlichkeitsrechnung und der mathematischen Statistik geht dahin, alle unnötigen Voraussetzungen zu vermeiden und sich auf die Voraussetzungen zu beschränken, ohne die man überhaupt nicht auskommt.

1. Grundlagenfragen

Zunächst ist diese Tendenz klar in der *Grundlagendiskussion*. Früher hat man immer nach Definitionen des Wahrscheinlichkeitsbegriffes gesucht (Laplace, Mises). Jetzt macht man sich klar, daß eine solche Definition nicht nötig ist, weder für die mathematische Theorie noch für die Anwendung. Für die mathematische Theorie kommt man mit wenigen Axiomen aus, wie sie Reichenbach und Kolmogoroff aufgestellt haben. Für die Anwendung genügen Anwendungspostulate, von denen das wichtigste lautet: *Wenn ein Ereignis eine äußerst kleine Wahrscheinlichkeit hat, so rechnen wir nicht damit, daß es eintritt.*

Für nähere Ausführung siehe VAN DER WAERDEN, *Der Begriff Wahrscheinlichkeit*, *Studium Generale* 4 (1951), S. 65–68.

2. Vertrauensgrenzen

Dasselbe beobachtet man in der Diskussion über die Regel von BAYES. Wenn eine Häufigkeit eines Ereignisses

$$h = \frac{x}{n}$$

beobachtet worden ist (n = Anzahl der beobachteten Fälle, x = Anzahl der Fälle, in denen das Ereignis eingetreten ist), und man will daraus einen Schluß ziehen über die unbekannte Wahrscheinlichkeit p , so hat man früher p als eine vom Zufall abhängige Größe betrachtet, die eine Apriori-Verteilung besitzt. Daraus hat man nach der Regel von BAYES eine Aposteriori-Verteilung hergeleitet. Um diese anwenden zu können, muß man die Apriori-Verteilung kennen. Meistens kennt man sie nicht und nimmt sie willkürlich an, z. B. gleichverteilt. Nichts berechtigt zu dieser Annahme; sie ist bei den Anwendungen sehr häufig nicht erfüllt.

Statt dessen stellt man heute, nach NEYMAN, E. S. PEARSON und CLOPPER, *Vertrauensgrenzen* für p auf, die von jeglicher Annahme über Apriori-Verteilungen unabhängig sind. Für große n kann man etwa so schließen. Nicht p , sondern h hängt vom Zufall ab. Die Streuung von h ist

$$\sigma = \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}$$

Die Differenz $h - p$ hat nach Wahrscheinlichkeit nur die Größenordnung σ , d. h. Werte größer als 3σ oder 4σ sind äußerst unwahrschein-

lich. Nehmen wir etwa 2σ als Grenze an, so ist die Irrtumswahrscheinlichkeit 1%. Wir können also mit einer Wahrscheinlichkeit von 99% erwarten, daß

$$(h - p)^2 \leq \frac{4p(1-p)}{n}$$

ausfällt. Ist h beobachtet, so kann man daraus zwei Grenzen für p herleiten, die rechts und links von h liegen. Nehmen wir die h -Werte, so wie sie der Zufall uns ergibt, und wenden immer diese Regel an, so werden wir uns in 100 Fällen durchschnittlich nur einmal irren.

In der Biologie, z. B. bei der Aufstellung von Wirkungskurven für Wirkstoffe, kann man die Vertrauensgrenzen sehr gut gebrauchen. Ebenso in der Physik bei der Messung von Höhenstrahlen. Die Regel von BAYES ist ganz unnötig geworden.

3. Anordnungstests

Bis vor kurzem machte man bei den meisten Stichprobentests die Annahme, daß die gemessenen, vom Zufall abhängigen Größen (Blutdruck z. B.) normal verteilt sind. Auf dieser Annahme beruht die GAUSSsche Methode der kleinsten Quadrate, ebenso die Theorie der Regression und Korrelation, Student's Test usw. Diese Annahme trifft aber in sehr vielen Fällen nicht annähernd zu. In anderen Fällen weiß man nicht, ob sie mit genügender Annäherung zutrifft.

Daher hat man neuerdings Tests entwickelt, die nur von der Rangordnung der Beobachtungen abhängen. Solche Tests sind invariant gegenüber stetigen eineindeutigen Transformationen der x -Achse und setzen nichts über die Verteilungsfunktion voraus. Sehr alt ist die Rangkorrelation, die von SPEARMAN in die Psychologie eingeführt wurde. In neuerer Zeit hat man für das Zweistichprobenproblem Ranking Tests aufgestellt, die anstelle von Student's Test benutzt werden können. WILCOXON¹ hat vorgeschlagen, die Anzahl der Inversionen zu zählen, die in der Rangordnung der gemessenen x_1, \dots, x_g und y_1, \dots, y_h auftreten. Eine Inversion tritt jedesmal dann ein, wenn ein x größer ist als ein y . Verschiedene andere Rangtests sind in neuester Zeit vorgeschlagen worden².

Referat von W. Pauli:

Der mathematische Wahrscheinlichkeitsbegriff ist entstanden durch das Bestreben, die einmalige subjektive Erwartung möglichst zu objektivieren. Um dies zu erreichen, muß diese ersetzt werden durch die objektive durchschnittliche Häufigkeit eines Ereignisses bei Wiederholung unter gleichen Bedingungen. Man nimmt an, daß die Wahrscheinlichkeit

¹ F. WILCOXON, Biometrics Bull. 1 (1945), S. 80–83. Siehe auch MANN und WHITNEY, Ann. Math. Stat. 18 (1947), S. 50–60, sowie D. VAN DANTZIG, Proc. Akad. Amsterdam, Sciences A 54 (1951), S. 1–8.

² J. HEMELRYK, Proc. Akad. Amsterdam, Sciences 53 (1950), S. 945 und 1186.

eines Ereignisses A sich bei großer Zahl der Wiederholungen nur wenig vom Quotienten m/n unterscheidet, worin n die Zahl der Wiederholungen, m die Zahl der Eintritte von A ist. Wir begegnen hier also dem Motiv der *einen* zu objektivierenden Erwartung und der *vielen* Ereignisse.

Eine nähere Analyse dieses Sachverhaltes ist nicht einfach, insbesondere gibt der Sprung von der logisch-mathematischen Formulierung zur Empirie zu tiefliegenden erkenntnistheoretischen Problemen Anlaß. Ich glaube, jeder Physiker ist froh, über eine einwandfreie mathematische Axiomatik verfügen zu können, da sie ihm eine saubere Trennung von mathematisch logischen Problemen einerseits, von physikalisch-naturphilosophischen Problemen andererseits erlaubt. Mit meinem Kollegen VAN DER WAERDEN bin ich darüber einig, daß die Axiome der Wahrscheinlichkeitsrechnung keine Zurückführung des Begriffes Wahrscheinlichkeit auf andere Begriffe, d. h. keine Definition des Begriffes Wahrscheinlichkeit enthalten. Der Begriff «Wahrscheinlichkeit» ist aus dem Axiomensystem, den Grundregeln zu dessen richtiger Handhabung, nicht eliminierbar, d. h. er bleibt undefiniert.

Die Zeit gestattet mir nicht, ein Axiomensystem hier explizite anzugeben. Die englische Schule (KEYNES, JEFFREYS, BROAD) bevorzugt die *bedingte* Wahrscheinlichkeit (Wahrscheinlichkeit von p bei gegebenem k)¹. Der Mathematiker KOLMOGOROFF² formuliert die Axiome mengentheoretisch, was dem Physiker vielleicht ferner liegt.

Die wichtigsten Axiome sind das konjunktive und das disjunktive von der Addition und Multiplikation der Wahrscheinlichkeiten. Häufigkeiten der Elemente von endlichen Klassen erfüllen jedenfalls von selber die Axiome³.

Die wichtigste logische Konsequenz aus den Axiomen ist das Theorem von BERNOULLI, auch Gesetz der großen Zahlen genannt. Seine Voraussetzung ist: Bei jeder einer Anzahl von Gelegenheiten sei die Chance für das Eintreten eines gewissen Ereignisses p . Die Aussage des Theorems in der Sprache der Mathematik ist diese: Zu «allen» Pärchen positiver Zahlen (ε, δ) «gibt es stets» eine große ganze Zahl N mit folgender Eigenschaft: «Die Chance, daß der Bruchteil der Anzahl der Gelegenheiten, bei denen das Ereignis eintritt, von N Gelegenheiten aufwärts, jemals um mehr als ε von p abweichen wird, ist kleiner als δ .»

Es ist zu beachten, daß diese Aussage keine Limesaussage ist. Das wäre sie nur dann, wenn δ durch 0 ersetzt würde, was aber unerlaubt ist. Ausdrücklich fordert die Wahrscheinlichkeitsrechnung das Vorhandensein einer wenn auch sehr kleinen, doch nicht verschwindenden Wahrscheinlichkeit für ein späteres Auftreten einer Abweichung größer als ε der empirischen Häufigkeit von der mathematischen Chance p .

¹ Vgl. HAROLD JEFFREYS, *Theory of Probability*, 2nd edition, Oxford 1948.

² A. KOLMOGOROFF, *Grundbegriffe der Wahrscheinlichkeitsrechnung*, *Erg. d. Math.* 2, Heft 3 (1933).

³ Sei B eine gegebene endliche Klasse und A eine andere Klasse, bilde den Quotienten aus der Zahl derjenigen B 's, die A 's sind, dividiert durch die Gesamtzahl der B 's.

So wie es rein mathematisch vorliegt, ist das BERNOULLISCHE Theorem daher noch nicht einer empirischen Prüfung zugänglich. Hierzu muß an irgendeiner Stelle eine Regel für die praktische Verhaltensweise des Menschen oder spezieller des Naturforschers hinzugenommen werden, die auch dem subjektiven Faktor Rechnung trägt, nämlich: Auch die einmalige Realisierung eines sehr unwahrscheinlichen Ereignisses wird von einem gewissen Punkt an als praktisch unmöglich angesehen. Theoretisch mag zugestanden werden, daß hierbei eine von Null verschiedene Chance eines Irrtums weiterbesteht, aber praktisch werden auf diese Weise Entscheidungen getroffen, insbesondere auch die Entscheidungen über die empirische Richtigkeit der statistischen Aussagen physikalischer oder naturwissenschaftlicher Theorien. Auch darin bin ich mit Herrn VAN DER WAERDEN einig, daß man bis zu dieser prinzipiellen Grenze und nicht weiter mit der Durchführung des ursprünglichen Programmes – der rationalen Objektivierung der einmaligen subjektiven Erwartung – gelangen kann.

Die Anwendung der Wahrscheinlichkeitsrechnung in der Physik ist logisch vereinbar mit einer deterministischen Form aller Naturgesetze. Dies ist z. B. besonders deutlich geworden bei der thermodynamischen Wahrscheinlichkeit der statistischen Wärmetheorie, die auf der ungenauen Kenntnis des mikroskopischen Anfangszustandes unter den Bedingungen der Anwendbarkeit des Temperaturbegriffes beruht. Hierauf will ich nicht weiter eintreten, sondern sogleich hervorheben, daß die Wellen- oder Quantenmechanik die Existenz *primärer Wahrscheinlichkeiten* in den Naturgesetzen annimmt, die sich sonach nicht wie z. B. die thermodynamischen Wahrscheinlichkeiten durch Hilfsannahmen auf deterministische Naturgesetze zurückführen lassen. Diese umwälzende Folgerung hält die überwiegende Mehrheit der modernen theoretischen Physiker – allen voran HEISENBERG und BOHR, denen auch ich mich angeschlossen habe – für unwiderruflich. An Opposition dagegen, die allerdings unfruchtbar geblieben ist, hat es nie ganz gefehlt – ich nenne hier die Namen EINSTEIN und SCHRÖDINGER.

Mathematisch löst die neue Form der quantenmechanischen Naturgesetze auf sehr elegante Weise die Frage nach dem Maß für die Wahrscheinlichkeit: Diese ist das Absolutquadrat einer komplexen Zahl, der Wahrscheinlichkeitsamplitude, die einfacheren Gesetzen genügt als die Wahrscheinlichkeiten selbst. Diese einfacheren Gesetze für die Amplituden geben diesen die Bedeutung von linear superponierbaren Vektoren in einem HILBERTSchen Raum, der definitionsgemäß eine positiv definite quadratische Form als Maßbestimmung in sich trägt.

Erkenntnistheoretisch beruht der von der Quantenmechanik postulierte indeterministische Charakter der Naturgesetze auf der freien Wahl des Experimentators zwischen einander ausschließenden Versuchsanordnungen. Jede dieser Anordnungen enthält eine für sie charakteristische unbestimmbare Wechselwirkung zwischen Meßinstrument und beobachtetem System und hat neben dem Gewinn gewisser Kenntnisse über dieses System unvermeidbar und unwiderruflich den Verlust

anderer Kenntnisse zur Folge. Diese Situation wurde von BOHR als Komplementarität bezeichnet.

Es ist nicht meine Aufgabe, heute näher auf diese grundsätzlichen Einsichten einzugehen. Ich möchte vielmehr mit dem Hinweis darauf schließen, wie bedeutungsvoll es ist, daß der mathematische Wahrscheinlichkeitsbegriff sich auch dieser neuen Situation gegenüber bewährt hat: Es scheint diesem eine Wirklichkeit in der Natur zutiefst zu entsprechen, indem eben seine Anwendung in der neueren Physik zu einer rationalen Verallgemeinerung der klassisch-deterministischen Naturerklärung geführt hat.

Referat von S. Rosin:

Begriff

Wenn man in der modernen Mathematik ohne eine Definition des Wahrscheinlichkeitsbegriffes auskommt und dem Praktiker lediglich einige Anwendungsregeln gibt, nach denen er sich richten soll, so kann das für uns Biologen nicht bedeuten, daß wir uns unter Wahrscheinlichkeit nichts vorzustellen haben. Wir brauchen eine Begriffsumschreibung; wir müssen wissen, was mit Wahrscheinlichkeit gemeint ist, sonst sind wir in vielen Fällen nicht imstande, die richtigen Schlüsse zu ziehen.

Was verstehen wir Biologen unter Wahrscheinlichkeit? Der Wahrscheinlichkeitsbegriff wird auf Einzelereignisse angewandt. Wir sagen z. B.: Jenes Kind ist mit einer Wahrscheinlichkeit von $\frac{1}{2}$ farbenblind. Solche Aussagen sind in der Biologie, besonders aber in der Genetik häufig. Wir haben uns schon sehr daran gewöhnt, aber die diesem Geschehen zugrunde liegenden Ereignisse haben doch etwas sehr Beunruhigendes an sich. Wenn wir von einem Einzelereignis nur so viel voraussagen können, daß es mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit stattfinden wird, dann ist das nicht viel mehr als die Aussage, daß es eben vielleicht stattfinden wird, vielleicht auch nicht und ein Zugeständnis dafür, daß wir die Kausalkette, die zu diesem Entweder-Oder-Ereignis führt, nicht genau kennen. Wir denken aber dabei keineswegs an eine prinzipielle Unbestimmtheit oder Wahlfreiheit, sondern sind der Meinung, daß es in der Kausalkette völlig unanalysierbare, unübersehbare Glieder gibt, kleinste begünstigende und hemmende Faktoren, die wir nicht erfassen können.

Dem Begriff der Wahrscheinlichkeit haftet also etwas Flackerndes an, und er ist, auf den Einzelfall angewandt, ziemlich nichtssagend, es sei denn, die angegebene Wahrscheinlichkeit liege nahe bei 0 oder 1, etwa unterhalb 1% oder über 99%. Wir erwarten dann das Ereignis eigentlich mit Sicherheit und fühlen uns vom Schicksal getroffen, wenn es nicht eintritt, oder wir sind überzeugt, daß unsere Voraussetzungen falsch waren. Mit dem abstrakten, unanschaulichen Begriff der Wahrscheinlichkeit eines Einzelereignisses können wir also nichts anfangen. Wir machen diesen Begriff anschaulich, indem wir ihn auf eine Vielzahl ähnlicher Fälle übertragen, etwa auf 100. Wenn die Einzelwahrscheinlichkeit $\frac{1}{2}$ war, erwarten wir auf 100 ähnliche Individuen etwa 50

Merkmalsträger, also eine Häufigkeit, etwas ganz Konkretes. Das Entweder-Oder ist in seiner krassen Form verschwunden und zeigt sich nur noch darin, daß wir nicht sagen können, welche 50 von den 100 das Merkmal tragen werden und daß es auch etwas mehr oder weniger als 50 sein können. Wir sprechen deshalb von einer mittleren Häufigkeit in der Meinung, daß wiederum bei vielen solchen Stichproben die jeweiligen Häufigkeiten um 50 als Mittelwert liegen.

Unsere Vorstellung vom Begriff der Wahrscheinlichkeit ist also eine Art statistische Limesvorstellung. So verstanden, ist der Wahrscheinlichkeitsbegriff anschaulich und praktisch, und wenn diese Vorstellung auch mathematisch unbrauchbar, weil nicht streng faßbar ist, so ist es doch eine Vorstellung, die uns hilft und – so hoffen wir wenigstens – nicht zu falschen Schlüssen führt.

Anwendungsgebiete

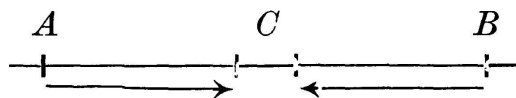
Die Hauptanwendung des Wahrscheinlichkeitsbegriffes in der Biologie liegt darin, daß man bei beobachteten Häufigkeiten oder Meßwerten mit verschiedenen *Prüfverfahren* untersuchen kann, ob sie zu bestimmten Hypothesen in Widerspruch stehen oder nicht. Heute wird in zunehmendem Maße in der Biologie versucht, die Ergebnisse statistisch zu sichern. Viele haltlose Spekulationen und Deutungsversuche werden dadurch überflüssig. Die modernen Methoden bringen aber noch einen andern Vorteil mit sich: Das sogenannte «Gesetz der großen Zahl» hat lange Zeit zum Teil eine fatale Wirkung gehabt und hat sie immer noch, indem gerade bei den kritischen Leuten die Meinung vielfach vertreten wird, man könne bei streuenden Versuchen nur bei sehr großem Zahlenmaterial Aussagen machen. Diese Einstellung läuft in vielen Fällen auf ein vollständiges Verzichten heraus, weil oft eben nur kleine Zahlen erhältlich sind. Mit den heutigen Methoden kann man aber unter Umständen auch aus kleinem Material sichere Schlüsse ziehen.

Bei den Prüfverfahren unterläuft oft ein verhängnisvoller Fehler. Wenn man Versuchszahlen mit einer Hypothese vergleicht und feststellt, daß kein Widerspruch zur Hypothese besteht, glaubt man, die Hypothese sei damit bewiesen. Man ist sich oft nicht bewußt, daß man wohl eine Abweichung von der Hypothese statistisch sichern kann, daß man aber nicht ein Übereinstimmen mit der entsprechenden Sicherheit feststellen kann. – Dieser Sachverhalt sei an einem Beispiel aus der Genetik illustriert. Kreuzt man zwei reine Rassen, die sich in einem Merkmal unterscheiden ($AA \cdot aa$), so erhält man Nachkommen von der Genform Aa . Wenn man wieder zwei solche Bastarde miteinander kreuzt, treten in der folgenden Generation die Großelterntypen im Verhältnis 3:1 wieder auf: $Aa \cdot Aa = AA, 2Aa, aa$. Wenn AA und Aa gleich aussehen, entsteht so das Verhältnis 3:1. Es ist dies theoretisch aus der Individualität der Gene, deren Lokalisation in den Chromosomen und aus dem Verhalten der Chromosomen bei der Bildung der Geschlechtszellen abzuleiten. Bei sogenannten Letalfaktoren ist nun z. B. AA nicht lebensfähig.

Die Kreuzung $Aa \cdot Aa$ führt dann zu (AA) , $2Aa$, aa ; also zum Verhältnis 2:1. Wenn man wissen möchte, ob A ein Letalfaktor ist oder nicht, muß man also nachsehen, ob die Nachkommen der Kreuzung $Aa \cdot Aa$ im Verhältnis 2:1 oder 3:1 aufspalten. Beispiel: Die beobachteten Häufigkeiten von 48 Nachkommen seien 34:14. Mit der Chi²-Methode läßt sich leicht nachweisen, daß diese Zahlen nur als Zufallsabweichung von 2:1 angesehen werden können. Es kann sich also um einen Letalfaktor handeln. Der Schluß, daß wirklich ein Letalfaktor vorliegt, wäre aber sehr voreilig. Prüft man nämlich die andere Hypothese (3:1), so sieht man, daß die Zahlen auch zu diesem Verhältnis gerade so gut passen. Aus dieser Beobachtung kann man also für die beiden Hypothesen keine Schlüsse ziehen. Die Zahlen sind für diese Fragestellung zu klein.

An dem vorliegenden Beispiel kann ein zweites Anwendungsgebiet demonstriert werden. Es ist das für die Praxis sehr wichtige Gebiet der *Versuchsplanung*. Auf Grund der erwähnten Prüfmethode kann man ausrechnen, wie viele Nachkommen aus solchen Kreuzungen nötig sind, um eine Entscheidung, ob 3:1 oder 2:1 vorliegt, treffen zu können. Sie beträgt etwa 640, wenn eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 1 % in Kauf genommen wird. Der nötige Umfang des Versuchs kann also hier, je nach dem gewünschten Sicherheitsgrad, genau vorbestimmt werden. In komplizierteren Fällen geht die Versuchsplanung darauf aus, nicht nur den Umfang des Versuchs, sondern die günstigste Versuchsanordnung zu ermitteln, die mit möglichst wenig Versuchen möglichst viel Erkenntnisse erwarten läßt.

Ein drittes Anwendungsgebiet besteht darin, auf Grund von Versuchszahlen einen Wert zu *schätzen*, der dem zugrunde liegenden unbekanntem, wahren Wert möglichst nahe kommt. Als Beispiel diene die Lokalisation von Erbfaktoren. Die Gene sind kleine Teile der fadenförmigen Chromosomen. Sie zeigen eine lineare Anordnung. Bei der Reifung der Geschlechtszellen legen sich entsprechende Chromosomen aneinander und tauschen Stücke aus. Erbfaktoren, die zuvor im gleichen Chromosom gelegen waren, liegen nun in verschiedenen Chromosomen und werden auf verschiedene Nachkommen verteilt, weil jeder Nachkomme von diesen paarweisen Chromosomen immer nur eines erhält. Diesen Austauschvorgang nennt man Crossing-over. Je weiter zwei Gene voneinander entfernt sind, desto häufiger kommt Crossing-over zwischen ihnen vor. Die Häufigkeit des Crossing-over kann daher als Maß für den Abstand der Gene benützt werden. So entstehen die Chromosomenkarten, wo alle bekannten Erbfaktoren ihren bestimmten Platz einnehmen. Wenn nun ein neues Gen lokalisiert werden soll, muß die Crossing-over-Häufigkeit mit schon bekannten Genen durch geeignete Kreuzung festgestellt werden. A und B seien bekannt und nicht sehr weit voneinander entfernt. C liege dazwischen. Die Abstände $A - C$ und $C - B$



sollten zusammen $A - B$ geben, weil bei kurzen Stücken keine Doppel-Crossing-over stattfinden. Da es sich aber um Häufigkeiten handelt, denen gewisse Zufallsschwankungen anhaften, trifft das nie ganz zu. Von A aus kommt C an einen andern Ort zu liegen, als von B aus betrachtet. Die Frage ist nun folgende: Welcher Lokus von C paßt am besten zu den beiden unabhängigen Versuchen? Nach der Methode des «maximum likelihood» von R. A. FISHER muß derjenige Ort als der passendste angesehen werden, der mit der größten Wahrscheinlichkeit zugleich die beobachteten Austauschhäufigkeiten mit A und B liefert. Die sehr elegante Methode ist überall dort anzuwenden, wo aus verschiedenen unabhängigen Beobachtungshäufigkeiten der dazu am besten passende, wahre Wert geschätzt werden soll.

Ohne die Methoden des Prüfens, Planens und Schätzens, die uns die Mathematiker in die Hand geben, wären viele Aussagen der Biologen falsch, sehr ungenau oder unmöglich. Wir sind den Mathematikern, die uns hier helfen, daher sehr dankbar. Dem Biologen fallen bei dieser Arbeit die nicht immer leichten Aufgaben zu, erstens die sinnvollste Fragestellung herauszufinden, d. h. die Frage scharf zu formulieren, und zweitens die Resultate der statistischen Rechnungen richtig zu interpretieren.

Diskussion:

W. SCHERRER: Wenn man erklärt, man könne die Wahrscheinlichkeit nicht definieren, und trotzdem von Wahrscheinlichkeit spricht, können Mißverständnisse entstehen. Die Wahrscheinlichkeit als mathematischer Begriff kann und muß definiert werden.

Das die Gemüter beunruhigende Problem taucht erst auf, wenn man eine dieser Definition entsprechende Größe empirisch aufweisen will. Dann zeigt sich, daß man in jedem konkreten Falle aus einem überaus komplexen und nur intuitiv überschaubaren Wahrnehmungsbereich relativ wenige wohlbestimmte Merkmale herausgreift und gestützt auf dieselben «Ereignisse» definiert. Die nähere Betrachtung ergibt dann, daß eine auf diese Ereignisse gegründete Wahrscheinlichkeitsdefinition nur so weit exakt aufgewiesen werden kann, als es gelingt, den die Ereignisse tragenden *Rahmenbereich* exakt zu erfassen.

Zum Beispiel ist die Behauptung, der radioaktive Zerfall erfolge rein zufällig, irreführend, denn die Menge des noch nicht zerfallenen Stoffes nimmt nicht regellos, sondern um so genauer wie e^{-kt} ab, je größer die in Betracht gezogene Dauer ist. In diesem Gesetz ist t keine willkürliche Variable, sondern die empirisch maßgebende Zeit, und es ist durchaus sinnvoll zu fragen, ob es sich dabei um die Erdzeit, die NEWTONsche Systemzeit oder die durch die Quarzuhr gelieferte Zeit handelt. Analog, nur komplizierter, liegen die Verhältnisse in allen andern Fällen.

In diesem Zusammenhang kann man auch feststellen, daß ein gut Teil der Problematik der modernen Physik dadurch bedingt ist, daß der klassische Rahmenbereich (Euklidischer Raum, absolute Zeit) verloren-

gegangen ist und man sich nach einem neuen Rahmenbereich umsehen muß (Zeitraum der allgemeinen Relativitätstheorie oder eine noch tiefer greifende Modifikation?).

B. ECKMANN: Wenn in der mathematischen Theorie der Wahrscheinlichkeitsbegriff undefiniert bleibt, so liegt hierin nichts Anstößiges; es entspricht dies vielmehr dem durchaus üblichen und bewährten Vorgehen in der sogenannten axiomatischen Methode. Eine brauchbare Festlegung der Wahrscheinlichkeit erhält man nicht durch eine formale Scheindefinition, sondern indem man auf der einen Seite den mathematischen Apparat angemessen umschreibt und komplementär dazu die Vorschriften für seine Anwendung aufstellt.

M. FIERZ: Im Anschluß an das Referat von PAULI sei nochmals darauf hingewiesen, daß es so aussieht, als ob dem Wahrscheinlichkeitsbegriff in der Natur eine Realität entsprechen würde. Nehmen wir das ernst, so ergeben sich weitreichende philosophische Folgerungen. Die klassische Philosophie bis zu HUME hat zwar, insofern sie skeptisch war, zugegeben, daß unsere *Erkenntnis* nur Wahrscheinlichkeiten, keine Wahrheiten über die Weltstruktur erfassen könne; aber dies wird als Folge der Unvollkommenheit des menschlichen Erkenntnisvermögens aufgefaßt. Nun aber scheint es so, daß der Zustand der Welt, und da es nur eine Welt gibt, die Struktur der Welt, grundsätzlich nur durch Wahrscheinlichkeitsgesetze festgelegt ist. Dies ist ein tiefer Eingriff in das, was man *Existenz* nennt, und hat zur Folge, daß die klassische Ontologie eigentlich gegenstandslos wird. Unsere Fragestellung führt somit weit über bloß technische Probleme hinaus.

F. GONSETH: Dans les considérations qui précèdent je ressens un manque de courage épistémologique. On a dit que l'on ne définissait pas la notion de probabilité, mais qu'une théorie satisfaisante serait formée de deux parties:

une partie théorique constituée par une axiomatique à la KOLMOGOROFF;

et une partie empirique comprenant les règles d'application.

Mais cela ne suffit pas. Pour établir la loi des grands nombres par exemple, on fait en outre usage de l'hypothèse que certains cas se présentent avec *les mêmes chances*. L'idée de chance ou de chances égales intervient dans le cours même de la démonstration. Trois points de vue s'avèrent alors nécessaires, inaliénables: les points de vue axiomatique et empirique déjà mentionnés, et en outre un résidu intuitif qui est l'idée que nous avons des chances égales. Ce résidu ne peut être éliminé si l'on veut une théorie des probabilités vraiment applicable et complète.

B. L. VAN DER WAERDEN, B. ECKMANN und W. PAULI erklären sich mit diesen Ausführungen durchaus einverstanden. W. PAULI betont noch besonders, daß die Voraussetzung einer gleichen Chance immer inhärent ist und sich nicht eliminieren läßt.

B. L. VAN DER WAERDEN: Sofern wir eine Definition der Wahrscheinlichkeit brauchen, handelt es sich nicht um eine mathematische Definition – diese erübrigt sich dank der axiomatischen Methode –, sondern um eine intuitive Definition, mit welcher dem verstehenden Menschen klargemacht werden kann, was er unter Wahrscheinlichkeit verstehen soll; m. a. W. handelt es sich nicht um eine eigentliche Definition, sondern um eine bloße Erläuterung.

J. LUGEON: Les géophysiciens et météorologistes, de même d'ailleurs que certains biologistes, n'ont pas aujourd'hui à leur disposition les outils mathématiques qui leur seraient indispensables pour traiter des phénomènes dépendant d'une quantité considérable de paramètres. Il leur faudrait une théorie leur permettant de définir des phénomènes sporadiques ou aléatoires, et des notions du type: probabilité d'une probabilité.

A. LINDER: Bei Stichprobenerhebungen sollten die Elemente der Stichprobe aus allen verfügbaren Elementen zufällig ausgewählt werden. In richtig geplanten und durchgeführten Versuchen sollen die verschiedenen Verfahren den Versuchseinheiten zufällig zugeteilt werden. Um eine zufällige Auswahl vorzunehmen oder eine zufällige Anordnung durchzuführen, hat man Tafeln zufällig angeordneter Zahlen zusammengestellt. Es hat sich gezeigt, daß man dazu die Ergebnisse von Glücksspielen, z. B. von Lotterien, verwenden darf. Zusammenfassend kann man sagen: Der Forscher ist oft *gezwungen*, Folgen zufällig angeordneter Zahlen herzustellen, und dazu genügen die Ergebnisse richtig durchgeführter Glücksspiele.

CH. BLANC: Peut-on dire que le problème de savoir s'il est nécessaire ou non de donner une définition de la notion de probabilité est un problème similaire à celui, en géométrie, de savoir s'il est nécessaire ou non de donner une définition de la notion de droite? –

Une remarque à propos de l'emploi du calcul des probabilités dans les sciences appliquées: les théorèmes rigoureux d'existence de solutions des équations différentielles dont on fait un usage constant dans les applications sont basés sur des hypothèses n'ayant souvent pas de sens physique. Il est possible d'arriver à un autre point de vue consistant à formuler les solutions et les conditions initiales dans la théorie des équations différentielles sous forme probabiliste.

F. E. LEHMANN: Wenn gewisse Systeme genügend kompliziert sind, so kann es vorkommen, daß sie so weitgehend determiniert sind, daß man aus einem kleinen Teil bereits auf das Ganze zurückschließen kann, wahrscheinlichkeits-theoretische Betrachtungen sich also erübrigen. So kann z. B. der Paläontologe aus einem nicht zu einfachen Zahn den ganzen Organismus rekonstruieren.

Ferner kann es vorkommen, daß das Untersuchen großer Versuchsserien prinzipiell nicht möglich ist, weil sich das Untersuchungsobjekt im Laufe und infolge der Untersuchung ändert. So verändert beispielsweise im tierpsychologischen Versuch ein einziger Versuch bereits das Tier.

E. J. WALTER: Ist mit den von PAULI erwähnten «primären Wahrscheinlichkeiten» eine realwissenschaftliche Auffassung gemeint? Bedeutet das inhaltlich, daß die Welt eine andere Struktur hat, als die klassische Physik annahm? Liegt ein Zusammenhang mit dem Problem Kontinuum–Diskontinuum vor?

Ferner: wie definiert man effektiv die in der Wahrscheinlichkeitstheorie verwendeten Begriffe des «Falles» und des «Ereignisses»?

W. PAULI: zu den primären Wahrscheinlichkeiten: In der Quantenmechanik besteht der grundsätzliche Sachverhalt, daß bei einem Experiment die unerläßliche Trennung zwischen beobachtetem System und Beobachter eine unbestimmbare Wechselwirkung mit sich bringt. Zu jeder Möglichkeit gibt es dann eine andere, bei der das Unbestimmte und das Bestimmte vertauscht sind.

B. L. VAN DER WAERDEN: In Beantwortung einer Frage von LEHMANN sei betont, daß man in der Praxis eine Verteilung nur dann als normal ansehen soll, wenn ein großes Zahlenmaterial vorliegt und dieses ersichtlicherweise ungefähr normal verteilt ist. Hat man aber nur wenig Material und den Verdacht auf Nichtnormalität, so soll man lieber auf die Hypothese der Normalität verzichten, da man heute auch ohne Verwendung dieser Hypothese über ebenso scharfe Methoden verfügt.

P. BERNAYS: Man sollte etwas mehr das Grundsätzliche des Phänomens der Wahrscheinlichkeit in Betracht ziehen. Es handelt sich nicht nur um die Frage, «was braucht der Wissenschaftler», sondern vornehmlich auch um die: «was hat es mit der Wahrscheinlichkeit für eine Bewandnis»? Wahrscheinlichkeit im generellen Sinne definiert man ebensowenig, wie man Elektrizität oder Gravitation oder dgl. definiert. Die Wahrscheinlichkeit ist ein Moment, das die gesamte Natur durchzieht: Physik, Biologie, Meteorologie usw. Das ist philosophisch erstaunenswert. Wir haben hier ein Grundphänomen der Wirklichkeit, nicht nur etwas Technisches.

Dieses ist der eine Aspekt. Dazu aber kommt noch: Die Wahrscheinlichkeit bildet eine Art der Begreiflichkeit der Natur. Am BUFFONschen Nadelproblem z. B. oder in ähnlichen Fällen sieht man, daß man aus Symmetrieverhältnissen auf Häufigkeiten schließen kann, also aus einem Nebeneinander auf ein Nacheinander. Daß wir aus einer starken Ungleichmäßigkeit in den Häufigkeiten beim Würfeln eine physische Unregelmäßigkeit des Würfels entnehmen können, ist eine Erfahrung, jedoch durchaus nichts Selbstverständliches. In der Anwendbarkeit solcher Wahrscheinlichkeitsbetrachtungen zeigt sich eine Verbindung von Rationalem und Irrationalem in der Natur. Diese Verhältnisse hat speziell EDGAR ZILSEL in seinem Buche «Das Anwendungsproblem» erörtert. Er kommt hier zu der Auffassung, daß die Anwendbarkeit der Wahrscheinlichkeitsschlüsse auf derselben Eigenschaft der Natur beruht, auf Grund deren wir mit Hilfe von Induktionsschlüssen Gesetzmäßigkeiten auffinden können.

Diese Erwägung legt die Annahme nahe, daß Wahrscheinlichkeit und Kausalität im Naturgeschehen in einem und demselben Sachverhalt verflochten sind – eine Ansicht, wie sie ähnlich auch von REICHENBACH befürwortet wurde (ehe er seine Wahrscheinlichkeitslogik aufstellte). Es würden dann die reinen Feldgesetze als noch nicht spezifisch kausal, sondern als eine Art vorgängiger Gesetzlichkeit (wie die geometrische) anzusehen sein. Für diese Auffassung spricht einerseits, daß in den Feldgesetzen noch keine Auszeichnung einer Zeitrichtung vorliegt, und andererseits, daß überall, wo Materie sich geltend macht, das Moment der Wahrscheinlichkeit für die Erklärung der Vorgänge hinzugezogen werden muß.

Doch wie es sich hiermit auch verhalte – jedenfalls gewinnen wir erst durch eine solche Art der Betrachtung eine richtige Würdigung für die Größenordnung des Phänomens der Wahrscheinlichkeit.

Die Sonnenfinsternis-Expedition der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft

Von

M. WALDMEIER (Zürich)

1. Vorbereitung und Organisation

Am 25. Februar 1952 ereignete sich eine totale Sonnenfinsternis, deren Totalitätszone in einer Breite von etwa 140 km vom Atlantischen Ozean durch Äquatorialafrika, den Belgischen Kongo und den Sudan nach dem Roten Meer verlief, über die arabische Halbinsel nach Basra und über das persische Hochland nach Sibirien. Im Jahre 1949 entschloß sich der Verfasser, zur Ergänzung der seit 1938 auf dem astrophysikalischen Observatorium Arosa der Eidg. Sternwarte im Gange befindlichen Koronaforschung, eine Expedition zur Beobachtung dieser Finsternis zu unternehmen. Im Juni 1950 bewilligte der Senat der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft auf Grund des vom Verfasser eingereichten Exposés, welches über Ziel und Dauer der Reise, über Personalbestand, das wissenschaftliche Programm, das mitzuführende Instrumentarium und das Budget orientierte, aus dem Zentralfonds den nachgesuchten Betrag. Es war aber erwünscht, der Expedition einen weiter gespannten Rahmen zu geben, wozu die finanzielle Basis erweitert werden mußte. Dies wurde ermöglicht durch Beiträge der Regierungen der Kantone Zürich, Bern, Luzern, Uri, Solothurn, Baselstadt, Baselland, Schaffhausen, Aargau, Thurgau und Neuenburg, der Dr.-Hermann-Stoll-Stiftung sowie zahlreicher privater Firmen und Gesellschaften. Der Verfasser dankt allen Beteiligten für ihre großzügige Unterstützung, besonders den Herren Prof. Dr. A. von Muralt, Zentralpräsident der S. N. G., Bern, Prof. Dr. E. Rübel, Zürich, und Regierungsrat Dr. O. Stampfli, Solothurn. An der Expedition nahmen folgende acht Personen teil: Prof. Dr. E. Guyot (Neuenburg), Prof. Dr. M. Schürer (Bern), W. Schaerer (Bern), Sekundarlehrer W. Studer (Solothurn), Dr. E. Leutenegger (Frauenfeld), W. Bär (Mechaniker der Eidg. Sternwarte), Frau Dr. A. Waldmeier und der Verfasser.

Für die Wahl des Beobachtungsortes sind in erster Linie die für den Finsternistag zu erwartenden Witterungsbedingungen maßgebend, in zweiter Linie verkehrstechnische Erwägungen sowie Unterkunfts- und Verpflegungsmöglichkeiten. Das Studium der Witterungsbedingungen in

den verschiedenen von der Totalitätszone berührten Gebieten zeigte in eindeutiger Weise, daß der Sudan die weitaus günstigsten Bedingungen versprach. In diesem Gebiet liegen die Städte El Obeid, Khartoum, Atbara und Port Sudan. Da das Landesinnere schwächere Bewölkung aufweist als die Küste, fiel die Wahl auf die sudanesishe Hauptstadt Khartoum (376 m), die am Zusammenfluß des Weißen und des Blauen Nils liegt, 9 Kilometer nördlich der Zentrallinie. Die Witterungsaussichten waren so günstig, wie man sie nur selten bei Finsternissen erwarten kann, so daß für den Finsternistag mit hoher, fast an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit mit klarem Himmel gerechnet werden konnte. Der Februar ist in Khartoum niederschlagsfrei. Das langjährige mittlere Temperaturminimum beträgt 16° , das Maximum 34° . Die absoluten Extrema für Februar sind 7° bzw. 43° . Während unseres Aufenthaltes in Khartoum ging das Thermometer nie unter 12° und erreichte an zwei Tagen 43° . Die Bewölkung besteht fast ausschließlich aus hohen und durchscheinenden Wolken (Cirren) im Betrag von 1—2/10; nur einmal zog ein Altocumulusfeld vorüber. Der Wind kommt anhaltend aus Sektor N mit einer Geschwindigkeit von etwa 12 km/h. Unter diesen Umständen mußte durchaus mit der Möglichkeit des Auftretens von Cirrenbewölkung am Finsternistag gerechnet werden. Noch ernsthafter besorgt waren wir wegen der bereits im Februar gelegentlich auftretenden Sandstürmen; wie sehr diese Sorge berechtigt war, erfuhren wir noch drei Tage vor der Finsternis, als ein Sandsturm uns zwang, die lange und sorgfältig justierten Instrumente wieder abzubauen. Es gibt wohl keinen Ort, an welchem eine Finsternis stattfindet, wo mit Sicherheit klares Wetter herrscht. So bleibt jede Sonnenfinsternis-Expedition ein gewagtes und unsicheres Unternehmen bis zur letzten Minute.

2. Die Expedition

trat mit den Mitgliedern M. Schürer, W. Schaerer, E. Leutenegger, W. Bär und dem Verfasser am 24. Januar die Flugreise nach dem Sudan an, nachdem das Instrumentarium bereits am 4. Dezember über den Land- und Seeweg abgeschickt worden war. Anderntags morgens 6 Uhr erfolgte die Landung in Khartoum, und noch am gleichen Tag begann die Rekonoszierung und die Besichtigung der Lager der bereits vor längerer Zeit eingetroffenen Expeditionen aus den Vereinigten Staaten, England, Frankreich und Italien. Die wichtige Platzwahl mußte wohl überlegt, aber schnell getroffen werden. Die ursprüngliche Absicht, auf der 9 Kilometer südlich der Stadt vorbeiziehenden Zentrallinie zu beobachten, mußte aufgegeben werden, da sich vom Südrand der Stadt aus eine unabsehbare, völlig ebene und vegetationslose Sand- und Steinwüste erstreckt, so daß das Lager nur mit starker Motorisierung bis zum Kilometer 9 hätte vorverschoben werden können. Da wir mit dem Büro des Civil Secretary schon lange vor unserer Ankunft korrespondiert hatten, waren die in Frage kommenden Plätze bald aufgesucht. Die Auswahl war bereits stark eingeschränkt, indem die günstigsten Plätze am öst-

lichen Stadtrand schon durch andere Expeditionen belegt waren. Trotzdem fanden wir bald in einem britischen, damals leerstehenden Militärlager am nördlichen Ufer des Blauen Nils, wenig oberhalb der großen, nach Khartoum-Nord führenden Brücke, einen Beobachtungsplatz, den wir sofort als geradezu ideal erkannten und der jedenfalls allen anderen Plätzen, die wir besichtigt hatten, vorzuziehen war. Bald waren die notwendigen Bewilligungen des Orts- und Lagerkommandanten eingeholt, und bereits am 28. Januar zogen wir mit unserem Instrumentarium, welches nur wenige Tage vor uns eingetroffen war, in unser Lager ein.



Abb. 1. Die Expeditionsteilnehmer am Finsternistag.

Von links: Prof. Guyot, Dr. Leutenegger, W. Studer, Frau Dr. Waldmeier, W. Bär.
Von rechts: Prof. Schürer, W. Schaerer, Frau Dr. Zoller, Prof. Waldmeier.

In dem kilometerlangen Lager wählten wir unseren Beobachtungsplatz etwa 200 m östlich des Einganges und nur 60 m vom Nilufer entfernt. Der Lagerplatz war eine bewässerte Rasenfläche, die in ost-westlicher Richtung gegen 100, in nord-südlicher Richtung 30 Meter maß. Im Norden wurde der Platz durch ein einstöckiges Mannschaftsgebäude abgegrenzt, dessen geräumige Hallen uns als Magazin dienten. Zugleich bot das Gebäude einen willkommenen Schutz gegen den tagsüber kräftigen Nordwind. Die Straße, welche südlich unseres Lagers vorbeizog, war von einer Allee von Sykomoren bepflanzt, welche willkommenen Schatten spendeten, ohne jedoch die Instrumente zu beschatten, stand die Sonne bei

der Finsternis doch 62° hoch. Noch am gleichen Tag wurde die Meridianlinie ausgesteckt, sowie die Fundamente für die Instrumentensockel. Bis zum 4. Februar waren die Maurerarbeiten fertig und auch die meisten Instrumente ausgepackt und zusammengesetzt. Die beiden nächsten Wochen waren ausgefüllt mit dem Aufbau der Instrumente und ihrer Justierung. Eine Militärküche wurde in eine Dunkelkammer umgewandelt, die vorerst für die Entwicklung der Probeaufnahmen, später für die Finsternisaufnahmen dienen sollte. Da das Wetter dauernd gut war, gingen diese Arbeiten programmgemäß voran. Als größtes Hindernis erwies sich der feine Sand, der durch den kräftigen Wind vom Boden aufgewirbelt und verfrachtet wurde. Er drang in alle Instrumente und Uhrwerke ein und setzte sich auf Linsen und Spiegel ab. Eine Woche vor der Finsternis trafen E. Guyot, W. Studer und Frau A. Waldmeier in Khartoum ein, worauf mit dem Einüben des Programmes begonnen wurde. Die letzten Vorbereitungen wurden getroffen, Sonnenschutzschirme erstellt und die Expositionszeiten in großen, weißen Ziffern auf die Sockel oder die Instrumente selber gemalt, die auch noch bei der Finsternis gut lesbar waren. Am 22. Februar mußten wegen eines Sandsturmes die Instrumente größtenteils nochmals abgebaut und staubsicher verpackt werden. Doch bereits am Abend wurden wieder Sterne sichtbar, und am folgenden Morgen ging der Wiederaufbau rasch vonstatten, so daß am Vorabend des Finsternistages alle Apparate betriebsbereit waren.

Unser Lager hatte den unschätzbaren Vorteil, daß wir nichts zu tun hatten mit der Bewachung. Nicht nur war der Lagereingang Tag und Nacht von sudanesischen Soldaten bewacht, sondern von dem Tage an, da unsere Instrumente im Freien aufgestellt waren, pflanzte sich eine Wache neben diese, sobald wir das Lager verließen. Nachteilig erwies sich allein die über 4 Kilometer betragende Entfernung des Lagers von unserem Standquartier am westlichen Ende der Stadt. Nachdem die Finsternis sich unter besten Beobachtungsbedingungen abgespielt hatte, begann noch am gleichen Tag der Abbruch des Lagers. In den drei folgenden Nächten wurden die Aufnahmen unter Verwendung von 30 kg Eis entwickelt. Es war dies, nachdem die Aufnahmen programmgemäß und unter besten Bedingungen gelungen waren, die verantwortungsvollste Arbeit der ganzen Expedition, auf welche man im Hinblick auf die feldmäßige Einrichtung gar nicht genug Aufmerksamkeit, Sorgfalt und Zeit verwenden kann. Bald löste sich die Expedition auf, indem die Mitglieder Schürer, Schaerer, Guyot und Leutenegger direkt in die Schweiz zurückflogen, während die restlichen Teilnehmer das Lager liquidierten, die 19 Kisten, die das Instrumentarium im Gewicht von $2\frac{1}{2}$ Tonnen enthielten, verpackten und am 1. März zur Bahn fuhren. Hierauf wurden auch die Instrumentenpfeiler abgetragen bis auf einen, dessen Bronzeplatte die Inschrift trägt:

SWISS SOLAR ECLIPSE EXPEDITION

KHARTOUM

25th February 1952

und noch lange an das Ereignis erinnern wird, welches dort von einer schweizerischen Expedition erfolgreich beobachtet worden ist. Am 2. März nahmen wir Abschied von Khartoum, wo wir bei unserem Unternehmen in allen Teilen der Bevölkerung größte Hilfsbereitschaft und Gastfreundschaft erfahren haben. Wir begaben uns per Bahn nach Wadi-Halfa, dann mit dem Nildampfer nach Shellal und hernach mit vielen Zwischenhalten nach Kairo, wo unsere Expedition nochmals offiziell in Erscheinung trat, anlässlich eines Empfanges durch Minister von Fischer auf der schweizerischen Gesandtschaft, bevor uns am 17. März eine Swissair-Maschine in die Schweiz zurückführte. Mit uns kam auch die gesamte Ausbeute unseres Unternehmens, die sorgfältig in einer Tasche verpackten und mit dem ägyptischen Zensursiegel versehenen etwa 10 kg photographischen Platten, Notizbücher und Registrierkurven. Am 7. Mai traf auch das Instrumentarium wohlbehalten wieder in Zürich ein.

3. Der Ablauf der Finsternis

In der Nacht zum Finsternistag wurden mit größter Sorgfalt die Platten in die entstaubten Kassetten eingelegt und vorerst in einer lichtdichten Kiste aufbewahrt. Der Finsternistag brach mit einem klaren und frischen Morgen an. Die vereinzelt Cirren hatten sich bald aufgelöst, und ab 8 Uhr war der Himmel wolkenlos bis nach 16 Uhr, als wieder Spuren von Cirren am Horizont erschienen. Auch die Arbeitsatmosphäre war ideal, war doch die Morgentemperatur nur 12° und das Nachmittagsmaximum nur 28° . Schon um 7 Uhr waren alle Mitglieder auf ihren Posten. Das klare Wetter bot eine willkommene Gelegenheit zu einer letzten Justierung und Prüfung der Instrumente. Jeder Beobachter übte noch zu einem letzten Mal sein Programm. Die Sonne war schon hoch gestiegen und strahlte voll und rund wie an irgendeinem anderen Tag, und nichts ließ auf das bevorstehende Ereignis schließen. Als nun die vorausberechnete Zeit des ersten Kontaktes herangerückt war, versammelten sich die Teilnehmer vor der Mattscheibe der 8-Meter-Kamera, auf welcher das Bild der Sonne 8 cm Durchmesser hatte. Plötzlich rief einer: «Es hat begonnen.» Es war $9^{\text{h}}44^{\text{m}}30^{\text{s}}$, und da sah man auch schon ganz deutlich die kleine, fast zusehends breiter werdende Delle am westlichen Sonnenrand. Was uns schon seit Beginn unseres Aufenthaltes eine angenehme Überraschung war, die gute Bildqualität trotz höchster Temperaturen, ist auch am Finsternistag eingetreten. Die Bilder waren schon am Vormittag gut und während der Totalität hervorragend. Die Gebirge am Rande des sich immer weiter vorschiebenden Mondes erschienen ruhig und gestochen scharf. Nun begann bereits die Arbeit an der Randverdunkelungskamera und an der Kamera für den Absolutanschluß der Korona. Von Minute zu Minute konnte das Vorrücken der Mondscheibe festgestellt werden; noch ging es mehr als eine Stunde bis zum Beginn der Totalität. Obschon von der Abnahme des Tageslichtes noch nichts zu bemerken war, blieben die Menschen stehen und schauten

mit geschwärzten Gläsern und Filmen zur Sonne hinauf. Trotzdem unser Lager militärisch abgesperrt war, hatte sich um unsere Instrumente herum eine große Menschenmenge zusammengezogen. Das Gerede und Gestikulieren der Eingeborenen bedrohte den ruhigen Ablauf unseres Programmes. Sie verzogen sich aber auf unser Zureden hin willig in eine ferne Ecke des Lagers, während die zahlreich anwesenden englischen Beamten auf dem Dach des Magazins Platz nahmen, von wo man nicht nur einen freien Blick in die weite Ebene genießt, sondern sowohl das Schauspiel am Himmel als auch unsere Arbeit an den Instrumenten verfolgen konnte. Noch eine halbe Stunde bis zur Totalität. Nun werden die Kassetten aus der Dunkelkammer herbeigeschafft, auf die Instrumente verteilt und eingesetzt. Nun galt es ernst, und kein Manipulieren war mehr erlaubt. Die Himmelshelligkeit war inzwischen auffallend zurückgegangen, und alle Menschen hatten ihre Aufmerksamkeit dem Ereignis zugewandt, das nun immer schneller ablief, fiel doch die Dämmerung nun zusehends über die Landschaft. Nicht zu vergleichen mit der gewöhnlichen Dämmerung, die mit ihren roten und gelben Tönungen langsam heraufzieht, sondern eine Dämmerung ohne Farbe, die schnell hereinbricht, das Himmelsblau in bleifarbenes Grau mit zarter Beimischung eines düsteren Violetts versinken läßt. Nun geht es nur noch wenige Minuten; die Sonnenschirme sind entfernt, und alle Beobachter stehen an ihren Instrumenten. Ein leichter Wind weht über das Camp. Durch das Ausbleiben der Sonnenstrahlung ist es empfindlich kühl geworden. Um nicht zu frösteln, werden die hochgestülpten Hemdsärmel heruntergelassen. Eine unheimliche Stimmung liegt in diesen letzten Minuten, wo Erwartung und Spannung aufs höchste gestiegen sind, über dem Lager. In gespenstischem, kaltem Licht stehen über hundert Menschen im und um das Lager, bewegungslos, wie zu Stein geworden. Totenstille herrscht. Noch eine Minute. Das schon nur noch blasse Licht verschwindet zusehends. Mit der Präzision, mit der oben die Himmelserscheinung abläuft, beginnt nun unten auf der Erde das Programm der Menschen abzulaufen. Das Ticken des Metronoms verbreitet sich durch die Stille über das ganze Lager. Ich stehe an einem kleinen Fernrohr, mit welchem ein Sonnenbild von 10 cm Durchmesser entworfen worden ist. Auf dem weißen Schirm sind zwei parallele Linien im Abstand von 5 cm eingezeichnet. Nach der Vorausberechnung sollte der Abstand der Hörner der Sonnensichel 14 Sekunden vor Beginn der Totalität gleich dem halben Sonnendurchmesser sein. Nun war die Sichel schon sehr schmal, fast nur noch ein leuchtender Faden. Es war wie eine Erlösung aus minutenlanger Beklemmung in Spannung mit angehaltenem Atem, als über das Lager mit ruhiger Stimme der große Moment angekündigt wurde: «Achtung, noch eine halbe Minute», und wieder herrscht feierliche Stille. Der leuchtende Faden auf dem Papier schrumpft schnell zusammen, und an seinen Enden beginnt er in einzelne Lichtpunkte zu zerfallen. Jetzt ist die Mondscheibe schon auf ihrem ganzen Umfang zu erkennen. Zart und unauffällig zeigt sich auf der Westseite der blasse Saum der Korona. Gespenstig huschen die letzten Lichter und Schatten über die

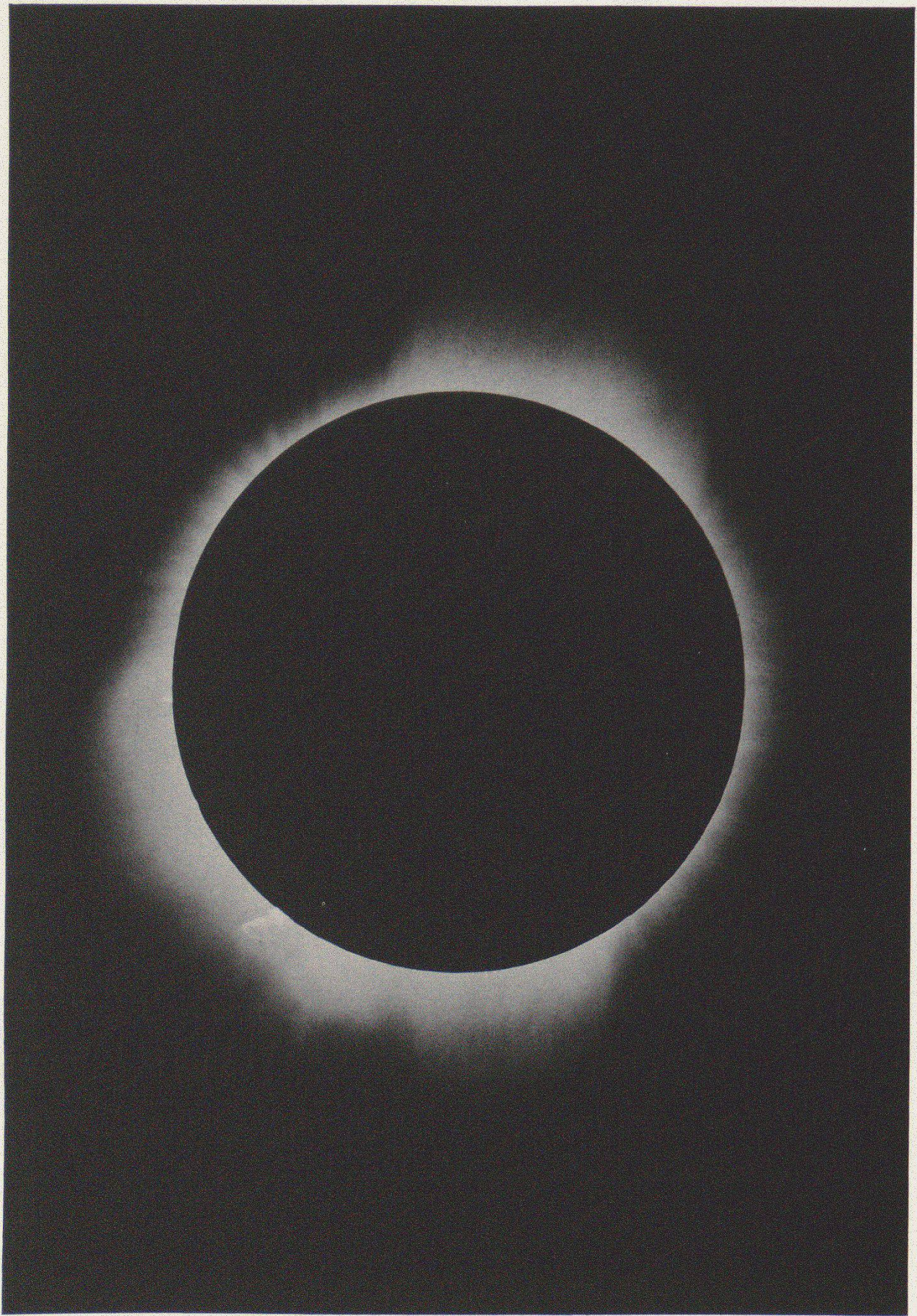


Abb. 3. Die innere Korona mit Protuberanzen,
aufgenommen mit der 8-Meter-Horizontalkamera.

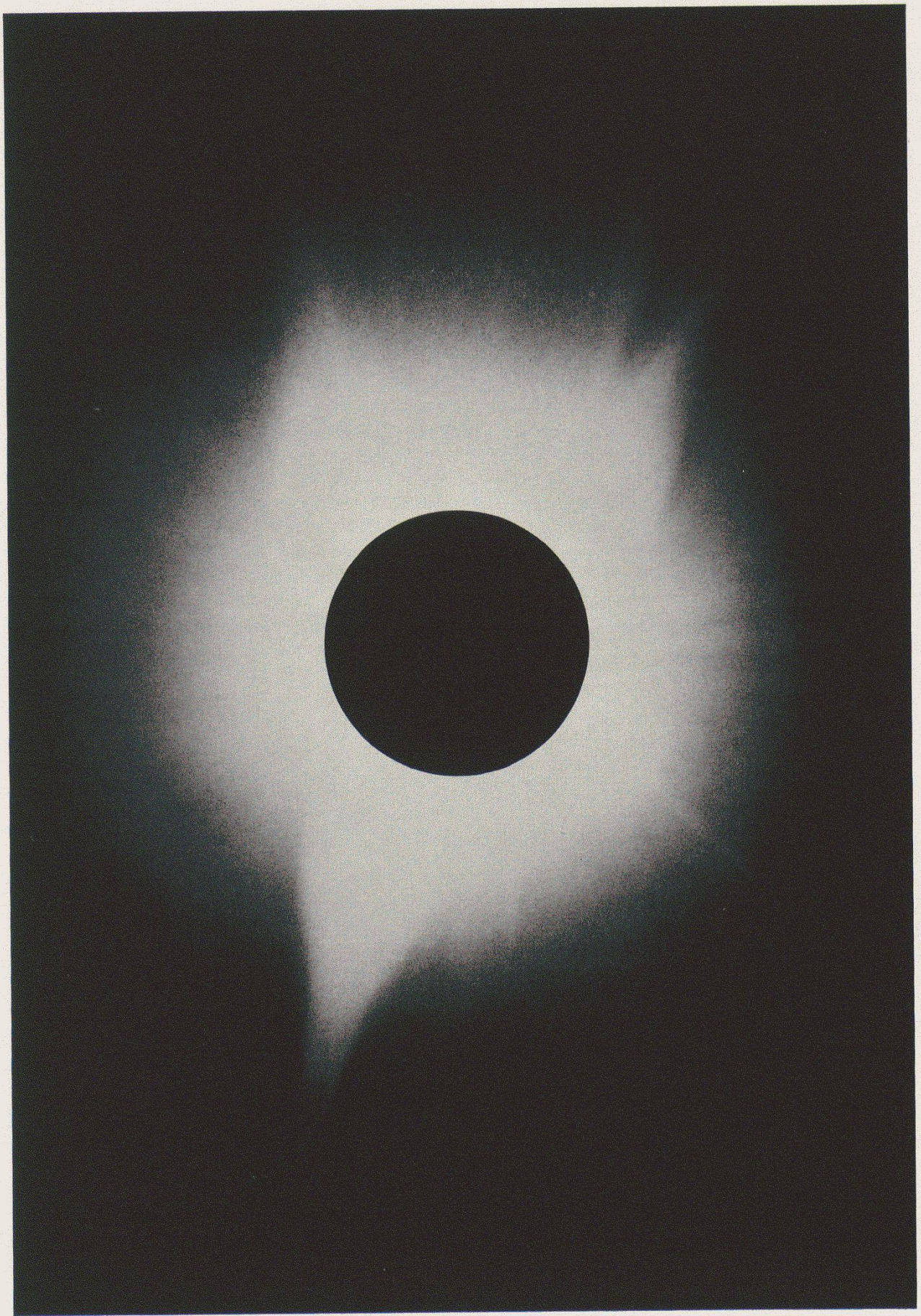


Abb. 4. Die äußere Korona,
aufgenommen mit der 2-Meter-Horizontalkamera.

Landschaft und die blassen Gesichter. Nun ist es so weit; ich rufe: «vierzehn» und Herr Studer am Chronometer zählt mit vernehmlicher Stimme die Sekunden weiter: dreizehn, zwölf, elf, ... Bei Null angekommen, ist der letzte Lichtstrahl erloschen. Nun ist der Blick frei hinauf zu dem herrlichen Bild, das mit dem Erlöschen des letzten Lichttropfens hingezaubert ist. Ein Raunen voll freudiger Erregung geht durch die Menschenmenge. Nun ist sie gekommen, die Minute, auf die wir Jahre gewartet haben, und wie herrlich. Unerbittlich läuft die Zeit: eins ... zwei ... drei ... In die Stimme des Chronometreurs mischt sich nun das metallene Geräusch der Kassetten und Verschlüsse, das drei Minuten lang nicht mehr abbricht. Nachdem die erste Minute vorüber ist, laufen die langen Expositionen, die einen Blick nach oben erlauben. Da hängt, weit draußen im Raum, und doch so plastisch, die schwarze Scheibe des Mondes am mittäglichen Himmel, wie ein Loch ausgestochen an der Himmelskugel. Links unten leuchtet auf dem matt violettgrauen Hintergrund wie ein mächtiges Feuer Merkur auf, rechts oben Venus. Hell leuchtet hinter dem Mond hervor ein silberglänzender Ring, nach innen messerscharf abgeschnitten, nach außen allmählich verblassend. Am hellsten erscheint dieser früher einmal Leukosphäre genannte Ring im Osten und Westen, während er an den Polen, wo er weniger hell ist, je aus einem Büschel radial gerichteter Strahlen besteht, wie sie typisch sind für eine Minimumskorona. Die volle Schönheit erhält die Korona durch die drei langen Strahlen, die mit breiter Basis in der Leukosphäre ansetzen und nach außen sich verjüngend, schließlich schmal und lanzenförmig in den Raum vorstoßen. Je ein solcher Strahl liegt im NW- und SW-Quadranten und der längste, der die bemerkenswerteste Erscheinung der Korona ist, im NE-Quadranten. Über 6 Millionen Kilometer weit weist er in den Raum hinaus. Am südwestlichen Rand flammt aus der Korona der rötliche Glanz einer Protuberanz auf, welche mit fortschreitender Finsternis immer mehr abgedeckt wird und schließlich in ihrer vollen Höhe von 2' erscheint. Unverwandt sind die Blicke der Menschen nach der Korona gerichtet; die Programme gehen der Vollendung entgegen. Hundertvierundachtzig ... hundertfünfundachtzig ... und da schießt wie ein Tropfen weißglühenden Metalls der erste Lichtstrahl hervor, ein zweiter folgt ihm, ein dritter, sie werden größer, fließen zu einem Faden zusammen, der rasch zur blendenden Sichel wird. Schnell wächst das Licht wieder zur vollen Stärke an. Die Kassetten werden in die Dunkelkammer getragen, und während an einigen Instrumenten die Arbeit noch weiter läuft, gehen die Menschen, das eben Gesehene lebhaft besprechend, wieder auseinander, und das Leben läuft seinen gewohnten Weg.

4. Das Instrumentarium

war durch das später darzulegende Arbeitsprogramm diktiert. Es bestand aus den 15 in der nachfolgenden Tabelle aufgeführten Apparaten. Bei den parallaktisch montierten Instrumenten und den durch Heliostaten

bedienten wurde die Sonne nachgeführt, bei den azimutal montierten dagegen nicht, da entweder die Expositionszeiten sehr kurz oder die Sonnenbilder sehr klein waren. Dazu kamen Geräte zur Messung der Temperatur, des Luftdruckes, der Windgeschwindigkeit, der Zenithelligkeit und der atmosphärischen Parasiten, im ganzen also 20 Apparate. Für die Expedition neu gebaut wurden 4 Heliostaten (Kern & Co., Aarau), ferner die Instrumente Nrn. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9 und 14, während die übrigen im wesentlichen vorhanden waren und für die Zwecke der Expedition nur leicht umgebaut werden mußten.



Abb. 2. Blick in das Lager der Expedition.

5. Das Programm

wird einerseits durch die Zielsetzung bestimmt und diktiert seinerseits das Instrumentarium. Unsere Zielsetzung hat sich von der Arbeitsweise früherer Expeditionen, welche ein oder mehrere Teilprobleme untersuchten, wesentlich unterschieden. So besaßen wir bisher zum Beispiel eine gute Photometrie der Korona von der einen Finsternis, eine gute polarimetrische Untersuchung von einer andern Finsternis usw. Der Versuch, derartige Einzelergebnisse zu einem physikalischen Bild der Korona zu vereinigen, was ja das erste Ziel der Koronaforschung ist, führt stets zu großen Widersprüchen, weil der physikalische Zustand der Korona sich sehr stark verändert mit der Zeit, mit der heliographischen Breite und mit dem Abstand vom Sonnenrand. Vernünftigerweise dürfen

Daten der Aufnahme-Apparaturen

Nr.	Instrument	Montierung	Beobachter	Zahl der Aufnahmen	Öffnung cm	Brennweite cm	Format cm
1	8-Meter-Horizontal- kamera	Heliostat	W. Bär	10	12	800	18 × 24
2	2,5-Meter-Hori- zontalkamera	Heliostat	M. Waldmeier	6	11	240	13 × 13
3	Polarisations- doppelkamera	parallaktisch	M. Schürer und W. Schaerer	16 × 2	6	120	13 × 18
4	Absolutkamera	azimutal	M. Waldmeier	25	5	24	2,4 × 3,6
5	Polarisations- kinematograph	azimutal	W. Bär	5 Meter	2	10	16 mm
6	1-Prismen- Spektrograph	Heliostat	A. Waldmeier	4	6, 5, 5	70, 64, 64	10 × 25
7	2-Prismen- Spektrograph	Heliostat	E. Leutenegger	2	11, 3,6, 3,6	50, 22, 22	2,4 × 3,6
8	Quarzspektrograph	azimutal	E. Leutenegger	6	2, 5, 5	25, 50, 5	6 × 9
9	Doppelobjektiv- prismenkamera	Heliostat	E. Guyot	4 × 2	2	42	13 × 18
10	Fernkamera I	azimutal	W. Studer	1 × 2	17	120	13 × 18
11	Fernkamera II	azimutal	W. Studer	1 × 2	17	120	13 × 18
12	Kamera Voigtländer	azimutal	W. Studer	1	10	30	9 × 12
13	Kamera Ernostar	parallaktisch	M. Schürer und W. Schaerer	1	10	18	9 × 12
14	Randverdun- kelungskamera	azimutal	G. Zoller, H. Taysi und M. Waldmeier	26	6	120	2,4 × 3,6
15	Kinokamera	ohne Montierung	M. Waldmeier	5 Meter	4	15	16 mm

somit nur Ergebnisse miteinander verknüpft werden, welche bei derselben Finsternis und an derselben Stelle der Korona erhalten worden sind. Da ein solches Beobachtungsmaterial bisher gefehlt hat, aber für einen weiteren Fortschritt unentbehrlich ist, haben wir alle Untersuchungen, welche zur Erfassung des physikalischen Zustandes der Korona (Druck, Dichte, Temperatur) – und zwar so weit als möglich in allen Punkten derselben – nötig sind, in unser Programm aufgenommen.

Die Apparaturen Nrn. 1, 2, 4 und 12 dienen der Photometrie der Korona im Gesamtlicht G . Dieses besteht aus den Komponenten $G = E + K + F$. Da die Eigenemission E und Fraunhofersche Komponente F unpolarisiert sind, K dagegen radial polarisiert ist, liefert die Bestimmung des Polarisationsgrades mit Hilfe von Apparatur Nr. 3 die Abtrennung von K . In dem verwendeten Spektralgebiet (Isochromplatte mit GG11-Filter) liegt nur eine, aber die intensivste Linie 5303 Å. Ihre Intensität wird in jedem Punkt aus Objektivprismenaufnahmen (Apparatur Nr. 9) abgeleitet (grüner Ring).

Aus der Komponente K folgt die Elektronendichte und die hydrostatische Temperatur, aus F die Verteilung der Staubpartikel. Aus Elektronendichte und Ergiebigkeit der Linie 5303 (Komponente E) ergibt sich die Ionisationstemperatur.

Die Durchführung dieses Programmes macht verschiedene Annahmen notwendig. Diese für alle Punkte der Korona zu überprüfen hätte unsere Möglichkeiten weit überstiegen, so daß wir uns auf einzelne Stichproben beschränken mußten. Die Spektren der äußeren Korona, aufgenommen mit dem lichtstarken Spektrographen Nr. 8, sollen ermöglichen, die Zerlegung in die Komponenten K und F auf Grund der Tiefen der Linien H und K ($Ca II$) vorzunehmen, was keine Annahme über eine eventuelle Polarisation von F voraussetzt, aber naturgemäß nur für die Punkte auf dem Spektrographenspalt möglich ist. Der 2-Prismen-Spektrograph sollte insbesondere die Konturen der blauen und violetten Koronalinien liefern sowie der H - und K -Linien, der 1-Prismen-Spektrograph die Intensitäten der roten (6374) und der grünen (5303) Koronalinie. Diese Daten gestatten die Bestimmung der kinetischen Temperatur der Ionen, der Elektronentemperatur sowie der Ionisationstemperatur.

Dieses zentrale Programm wurde ergänzt durch Aufnahmen mit Kamera Nr. 10 zur Bestimmung der Positionswinkel der Protuberanzen und der Koronastrahlen, durch solche mit Kamera Nr. 11 zur Photographie der Korona unter Elimination der Protuberanzenlinien und solche mit der lichtstarken Kamera Nr. 13 zur Erfassung der äußersten Koronastrahlen. Die Kinokamera Nr. 15 diente zu Farbaufnahmen der Korona und Protuberanzen. Einzig die Kamera Nr. 14, mit welcher Aufnahmen der partiell verfinsterten Sonne gemacht wurden, stand außerhalb des Koronaprogrammes.

Über die Resultate unserer Aufnahmen kann im gegenwärtigen Moment, ein knappes halbes Jahr nach unserer Rückkehr, noch nichts mitgeteilt werden. Die Bearbeitung des sehr umfangreichen Materials, die eben erst angelaufen ist, wird wohl zwei Jahre in Anspruch nehmen.

Die hohe Qualität der programmgemäß ausgeführten Aufnahmen berechtigt uns, den Ergebnissen mit hoher Erwartung entgegenzusehen.

Es war zum erstenmal, daß die schweizerische Fahne über einem Finsterniscamp wehte. Wenn schon diese erste Expedition zu einem vollen Erfolg geworden ist, so sind dafür in allererster Linie die idealen Witterungsbedingungen ausschlaggebend gewesen. Der Erfolg ist aber um so beachtlicher, als keiner der Teilnehmer Finsterniserfahrung besaß und keines der Instrumente Gelegenheit gehabt hat, sich vorher zu bewähren, ja mit vielen von ihnen aus Zeitmangel vor der Finsternis überhaupt keine Aufnahmen gemacht worden sind! Die gesammelten reichen Erfahrungen bleiben allerdings neben den heimgebrachten Aufnahmen unsichtbar, ihr Wert kann aber im Hinblick auf ein späteres ähnliches Unternehmen nicht zu hoch eingeschätzt werden.