

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:	108 (1927)
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: 09.12.2025

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

Eröffnungsrede
des Jahrespräsidenten
und
Hauptvorträge

Discours d'introduction
du Président annuel
et
Conférences principales

Discorso inaugurale
del Presidente annuale
e
Conferenze principali

Leere Seite
Blank page
Page vide

Eröffnungsrede des Jahrespräsidenten

der 108. Jahresversammlung
der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft in Basel

FRITZ SARASIN

Über den Anteil Basels an der geographischen, naturhistorischen und ethnologischen Erforschung aussereuropäischer Weltteile

Hochansehnliche Versammlung !

Zum siebentenmal hat Basel die Ehre, die Schweizerische Naturforschende Gesellschaft zu empfangen, und mir fällt die angenehme Aufgabe zu, Sie, verehrte Gäste, willkommen zu heissen. Möge Ihnen der hiesige Aufenthalt angenehm sein und möge unsere Versammlung reiche, wissenschaftliche Anregung bringen, alte Freundschaftsbande befestigen, neue knüpfen !

Es ist eine althergebrachte Sitte, dass der Jahrespräsident für seine Eröffnungsrede gerne ein Thema aus der wissenschaftlichen Geschichte seiner Stadt oder seines Kantons wählt, dabei dankbar die Erinnerung wachrufend an dahingegangene Forscher, die oft nur noch schattenhaft im Gedächtnis der jüngeren Generation leben. Es scheint mir das um so mehr gerechtfertigt, als wir in einer Zeit leben, in der die Koryphäen in allerhand Sportübungen und die Helden des Kino sich einer weit grösseren Beachtung erfreuen dürfen, als die stillen Arbeiter im Weinberg der Wissenschaft. Ich will daher das gute Beispiel vieler meiner Vorgänger befolgen und werde versuchen, in Kürze darzulegen, was Basler Reisende für die geographische, naturhistorische und ethnologische Erforschung aussereuropäischer Länder geleistet haben, ein Versuch, der uns durch vier Jahrhunderte bis zur Gegenwart führen wird.

Der älteste Basler, von dem wir Kunde haben, dass er ins Weite gezogen und seine Ergebnisse schriftlich niedergelegt hat, ist der 1590 geborene SAMUEL BRUN, seines Zeichens Chirurg. Sein

Biograph, G. HENNING, nennt ihn den ersten deutschen wissenschaftlichen Afrikareisenden; er hätte sagen sollen, Afrikareisenden deutscher Zunge, denn BRUN war ein waschechter Basler, einem Geschlecht angehörig, das schon in der ersten Hälfte des 16. Jahrhunderts in Basel nachweisbar ist. Dieser Chirurgus BRUN unternahm in holländischen Diensten drei Reisen nach Westafrika, die zusammen nicht weniger als sieben Jahre in Anspruch nahmen; zwei weitere führten ihn ins Mittelmeer. So war er von 1611 bis 1620 nur mit wenigen Wochen Unterbrechung von Europa fern. Von den westafrikanischen Reisen hat er zwei als Schiffs chirurg auf Handelsschiffen unternommen; eine dritte dreijährige Periode hat er als Arzt auf dem holländischen Fort Nassau an der Goldküste zugebracht. Nach Basel zurückgekehrt, wurde er Spitalchirurg, Grossrat und Meister der Zunft zum goldenen Stern und starb hochbetagt und sehr geehrt im Jahre 1668.

1624 erschien, gedruckt in Basel, sein Reisebericht unter dem Titel: „Samuel Brun, des Wundartzet und Burgers zu Basel Schiff farten, welche er in etliche neue Länder und Insulen zu fünff unterschiedlichen Malen mit Gottes Hülff getan“, ein bescheidenes Werklein, nur 136 Seiten stark, in kleinstem Format. Dieses Büchlein, aus dem ein Moderner leichtlich einen Folianten hätte machen können, enthält eine Fülle neuer Beobachtungen. BRUN hatte die ganze lange westafrikanische Küste von Sierra Leone bis zum Kongo kennen gelernt, teilweise damals noch unbekannte Landschaften. Lange Aufenthalte, so drei Monate in Loango, sieben in der Mündung des Kongo, noch viel mehr an der Goldküste, benützte er zu eingehenden, damals noch durchaus nicht üblichen Studien über das Land und seine Bewohner. Seine Hauptbedeutung liegt denn auch auf völkerkundlichem Gebiet, und er hat für das Interesse an den Menschen bahnbrechend gewirkt, während alle anderen Berichte über Westafrika aus jener Zeit nur von Handel und von Kämpfen zu erzählen wissen. Es war damals die Periode, in der die früher in Westafrika allein mächtigen Staaten, Spanien und Portugal, sich mit allen Mitteln wehrten gegen das immer bedrohlicher werdende Eindringen der Handelsschiffe Hollands, Englands und Frankreichs in das an Pfeffer, Elfenbein und Gold reiche Gebiet.

BRUNS Beobachtungen über die Sitten der Eingeborenen zeichnen sich durch grosse Zuverlässigkeit aus, so dass sie mit wenigen Ausnahmen auch der heutigen Kritik standhalten. Allen Gebieten

menschlichen Lebens hat er seine Aufmerksamkeit zugewandt, dem Ackerbau, der Nahrung, den Wohnungen, Kleidung, Handel und Industrie, den Krankheiten, den Rechtsverhältnissen, der Organisation von Familie und Staat, den Menschenopfern, dem Krieg, den Waffen und noch vielen anderen Dingen. Am schwächsten sind seine Bemerkungen über die Religion der Neger; dass er sich aber auch für diese interessierte, geht daraus hervor, dass er bei einem Versuch, Kulthandlungen zu beobachten, beinahe das Leben verloren hätte. Wir dürfen in dem Chirurgen BRUN den Vorläufer aller von Basel ausgegangenen ethnographischen Forschungen verehren. Sein Reisebericht ist später mehrfach neu gedruckt und auch ins Lateinische übersetzt worden.

Eine höchst bedeutende Erscheinung, als Reisende, Naturforscherin und Künstlerin, tritt uns noch im 17. Jahrhundert in MARIA SYBILLE MERIAN entgegen, 1647 in Frankfurt geboren als Tochter des aus Basel stammenden berühmten Kupferstechers und Topographen MATTHÆUS MERIAN. Schon von frühester Jugend an sammelte, zeichnete und malte sie Pflanzen und Insekten, namentlich die damals noch fast unbekannte Verwandlung der letzteren aufs sorgfältigste beobachtend. Ihr 1679 erschienenes Tafelwerk, dem 1683 ein zweiter Band folgte: „Der Raufen wunderbare Verwandlung und sonderbare Blumennahrung“, wozu sie die 100 von ihr gezeichneten Tafeln zum Teil selber in Kupfer stach und kolorierte, erregte das grösste Aufsehen und machte sie zu einer Begründerin der Insektenkunde. Als sie dann später in holländischen Sammlungen die Pracht exotischer Schmetterlinge kennen lernte, hielt es die energische Frau, die sich unterdessen von ihrem Mann, einem gewissen GRAFF, getrennt hatte und sich Frau MERIAN nannte, nicht länger, und sie verreiste 1699 für zwei Jahre nach Surinam. Die Frucht dieser Forschungsreise war das 1705 erschienene wunderbare Werk: „Metamorphosis Insectorum surinamensium.“ Auf grossen Foliotafeln finden wir darin in geschmackvoller Gruppierung die Raufen, Puppen und Schmetterlinge, auch andere Insekten, auf ihren Nährpflanzen aufs prächtigste dargestellt, begleitet von biologischen Beobachtungen, die unserer Sybille auch als Naturforscherin alle Ehre machen. Auch die Verwandlung der surinamischen Amphibien erregte ihre Aufmerksamkeit, und ihr verdanken wir die Entdeckung der eigentümlichen Brutpflege der Pipa, in deren Rückenhauttaschen die Eier sich entwickeln. Das grossartige

Werk, das der europäischen Wissenschaft eine ganz neue Formenwelt erschloss, wurde später mehrfach neu herausgegeben, vermehrt durch Tafeln aus ihrem Nachlass und solchen, die ihre Tochter anfertigte. Unablässig tätig, starb die berühmte Frau siezigjährig 1717 in Amsterdam.

Das 18. Jahrhundert sollte nicht zu Ende gehen, ohne das Erscheinen eines wahrhaft grossen Basler Reisenden zu sehen, JOHANN LUDWIG BURCKHARDTS, 1784 geboren. Es ist geradezu erstaunlich, was BURCKHARDT in seinem kurzen Leben — er starb erst 33 jährig 1817 in Kairo — für die Wissenschaft der Geographie und Völkerkunde geleistet hat. Wie kein anderer vor oder nach ihm ist er in die Seele der mohammedanischen Welt eingedrungen.

Nach einer Studienzeit in Leipzig, Göttingen und Cambridge, vornehmlich in den Fächern der Naturwissenschaft und der morgelländischen Sprachen, trat er in den Dienst der unter Sir JOSEPH BANKS Leitung stehenden englischen Gesellschaft zur Erforschung Afrikas. Diese war es auch, welche in der Folge alle seine umfangreichen Tagebücher in stattlichen Quartbänden veröffentlichte.

25 Jahre alt, begab er sich, als indisches Kaufmann gekleidet, unter dem Namen IBRAHIM IBN ABDULLAH nach Damaskus, wo er wie ein gewöhnlicher Eingeborener lebte. Die fast vollen drei Jahre, die er in Syrien zubrachte, waren seine Lehrzeit. Hier lebte er sich völlig in arabische Art und Sitte und in die Gelehrsamkeit des Islam ein.

Für die Wissenschaft brachte schon sein syrischer Aufenthalt reiche Früchte. Er bereiste Libanon und Antilibanon, als Druse in Schafpelz gekleidet, das damals höchst gefährliche Gebirgsland des Haouran, die Berge am See von Tiberias, um dann 1812 seine grosse Reise durch das Ostjordanland und die Gegend östlich vom Toten Meer, weiter durch die Arabia Petraea und die Wüste El Ty nach Kairo zu unternehmen. Diese wegen räuberischer Beduinenstämme höchst gefahrvolle Reise vollführte er in der Kleidung eines armen Beduinen, ohne Gepäck, auf schlechtem Pferde, völlig auf die Gastfreundschaft der Dorfbewohner und der wandernden Beduinenhorden angewiesen, bald nur von einem einzigen Führer begleitet, bald an irgendeine Karawane sich anschliessend. Es ist schwer zu sagen, was mehr unsere Bewunderung verdient, seine völlige Bedürfnislosigkeit und zähe Ausdauer oder seine grosse Beobachtungsgabe. Nicht nur der Natur der von ihm bereisten

Gebiete, dem Verlauf der Berge und Täler, den Flüssen, Quellen und Wüsten, den geologischen Verhältnissen und der Vegetation widmete er seine Aufmerksamkeit, sondern wir erfahren von ihm auch eine Fülle von Wissenswertem über die Volksstämme und ihre Sitten, über die Landesprodukte, den Handel und die politischen Verhältnisse. Jede Ruine erweckte sein Interesse, jede Inschrift suchte er zu kopieren. Die Erforschung von Ruinen war stets mit besonderen Schwierigkeiten verbunden, weil der Araber in solchem Beginnen nur das Suchen nach verborgenen Schätzen zu vermuten vermag. So war es für ihn kein kleiner Schmerz, dass er das ausgedehnte Trümmerfeld des von ihm entdeckten Petra, nördlich vom Golf von Akaba, der alten Hauptstadt der Arabia Petraea, nur oberflächlich in Augenschein nehmen konnte. Bedenken wir ferner, dass er, um keinen Verdacht zu erregen, nur im Verborgenen seinen Kompass ablesen und Notizen niederschreiben durfte, nachts und in der Mittagsruhe unter seinem Mantel oder etwa, wenn gerade unbeobachtet, auch unterwegs, so kann man sich nicht genug wundern über den Reichtum seiner Ergebnisse. Völlig zerlumpt, traf er am 4. September 1812 in Kairo ein.

Nicht lange hielt es ihn dort fest. Schon zu Beginn des Jahres 1813 reiste er als Kaufmann verkleidet zu Kamel nilaufwärts, dem östlichen Ufer folgend bis gegen Dongola, wo damals die vom Pascha von Ägypten, Mohammed Ali, vertriebenen Mamelukken ihr Wesen trieben und weiteres Vordringen südwärts verhinderten. Dem Westufer folgend, kehrte er zurück. Seine Auslagen auf dieser Reise von zirka 1000 Meilen betrugen ganze 5 Dollars. Geographisch war diese Route nicht neu; aber wertvoll waren seine ethnologischen Beobachtungen und die Entdeckung einer Reihe altägyptischer Bauwerke.

Nun folgte 1814 der grosse Zug, dem BURCKHARDT in erster Linie seine Berühmtheit verdankt. Als armer Händler schloss er sich einer Karawane an, die von Oberägypten, den grossen Nilbogen abschneidend, durch die nubische Wüste nach Berber und Shendy reiste. Von seinen Begleitern, reichen Kaufleuten, verachtet und misshandelt, von allen guten Schattenplätzen roh verjagt, selber sein Feuerholz hackend und seinen Wasserschlauch an den spärlichen Quellen füllend, wäre er wohl den Mühseligkeiten erlegen, wenn nicht die die Karawane begleitenden Beduinen vom Stämme der Ababde sich seiner angenommen hätten.

Von Shendy, den Atbarafluss überschreitend, erreichte er auf geographisch noch unbekannter Route Suakin am Roten Meer, von wo aus er nach Djidda an der arabischen Küste übersetzte, um seinen längst gehegten Wunsch in Erfüllung zu bringen, den Schleier zu lüften, der damals noch geheimnisvoll die heiligen Stätten des Islam, Mekka und Medina, dem Abendland verhüllte. In jener Zeit war Mohammed Ali mit der Eroberung des Hedjaz und dem Kriege mit der Sekte der Wahabiten beschäftigt. BURCKHARDT, der sich, da er in Djidda Geld erhalten, aus einem Bettler in einen vornehmen Ägypter verwandelt hatte, wurde zum Pascha gerufen, der sich landeinwärts von Mekka in Tayf befand. Dieser hatte den Verdacht gefasst, BURCKHARDT möchte ein englischer Spion sein und liess ihn durch den Kadi von Mekka auf seine Kenntnis des Islam prüfen. Der Kadi, erstaunt über des Kandidaten umfassendes Wissen, erklärte ihn für einen rechtgläubigen Mohammedaner. So stand dem Besuch der heiligen Stätten nichts mehr im Wege.

Wir sehen BURCKHARDT im schlichten Pilgerkleid mit abgeschnittenem Haar seine Gebete und Fussfälle in der grossen Moschee zu Mekka, der Beitullah, dem Hause Gottes, verrichten, siebenmal betend die Kaaba umwandeln, den in einer Ecke des würfelförmigen Gebäudes eingemauerten heiligen, schwarzen Stein küssen, den der Engel Gabriel dem Ismayl geschenkt haben soll, aus dem heiligen Brunnen Zemzem trinken, den derselbe Engel geschaffen, als Hagar ihren Sohn Ismayl verdursten sah, und alle andern Gebräuche gewissenhaft erfüllen, die von einem frommen Pilgersmann erfordert werden.

Zur Zeit der grossen Pilgerfahrt, des Hadj, wanderte BURCKHARDT mit 70,000 Pilgern nach dem Berge Arafat, der Gebetsstelle Adams und Mohammeds, um dort der Predigt des Kadi zu lauschen. Im Munatal sehen wir ihn an drei Tagen die vorgeschriebenen dreimal 7 Steine nach dem Teufel werfen, der dort Abraham den Weg versperrt haben soll, und am Opfer der vielen tausend Schafe und Ziegen teilnehmen.

Vier Monate brachte BURCKHARDT ungestört in Mekka zu, vielfach an Malaria leidend. Es gelang ihm, einen Plan der Stadt, wie auch später einen solchen von Medina, aufzunehmen und eine Fülle von Beobachtungen über das Volk, seine Kleidung und Sitten, über die Zustände der Pilger, das Klima, die Krankheiten und die politischen Verhältnisse zu gewinnen.

Drei weitere Monate lebte er in Medina, fast immer in leidendem Zustand. Die von den Mohammedanern hochverehrte Grabmoschee, welche die Reste Mohammeds, seiner Tochter Fatma und seiner Freunde und Nachfolger Abu Beker und Omar birgt, soll an der Stelle errichtet sein, wo Mohammed nach seiner Flucht aus Mekka aus Lehm und Palmblättern eine kleine Moschee erbaut hat. Im Hafen von Jembo schiffte er sich dann nach der Südspitze der Sinai-Halbinsel ein und kehrte von dort über Land nach Kairo zurück, das er am 24. Juni 1815 erreichte.

Im Frühling des folgenden Jahres brach die Pest in Kairo aus. BURCKHARDT entzog sich ihr durch eine Reise nach der Sinai-Halbinsel, die er nach allen Richtungen gründlich durchforschte. Es sollte dies seine letzte Tat sein. Seine durch die vielen Strapazen geschwächte Gesundheit vermochte einer Dysenterie nicht mehr zu widerstehen. Er starb am 15. Oktober 1817, noch auf dem Todbett mit seinem grossen Plan beschäftigt, zu dessen Ausführung er alles bisher Getane nur als Vorbereitung ansah, der Erforschung Zentralafrikas. Er ruht auf dem mohammedanischen Friedhof vor Bâb en Nasr in Kairo, als Schêch Ibrahîm noch heute von der islamitischen Welt verehrt. Er wünschte selbst, dort begraben zu werden, um seine vielen mohammedanischen Freunde nicht zu betrüben. An seiner Grabstätte haben wir Rosen und Palmbäume niedergelegt, während ein Derwisch eine Sure des Korans las.

Wie hoch BURCKHARDTS Verdienste um die Geographie Syriens, Nubiens und Arabiens seinerzeit gewertet wurden, dafür gibt KARL RITTERS Erdkunde beredtes Zeugnis, in der seiner Beobachtungen und Entdeckungen fast auf jeder Seite gedacht wird.

Eine ziemlich lange Zeit trennt uns vom nächsten wissenschaftlichen Basler Reisenden, Dr. GUSTAV BERNOULLI, 1834 geboren, Arzt und Botaniker. Auf ALEXANDER VON HUMBOLDTS Rat wählte er 1858 als Forschungsgebiet Guatemala, welchem Lande er während 20 Jahren mit einer einzigen, etwas über vierteljährigen Unterbrechung in der Heimat, treu geblieben ist. Guatemala war damals noch in manchen Teilen mangelhaft bekanntes Land, die Karten vielfach Phantasiegebilde. BERNOULLI, der sich dort als Arzt und Kaffeepflanzer betätigte, hat durch mehrere grössere und höchst beschwerliche Reisen nicht wenig zur Aufhellung des Landes und zur Verbesserung der Karten beigetragen. Sein Hauptgebiet blieb aber immer die Botanik, wie auch seine, in Petermanns Mit-

teilungen erschienenen Reiseberichte das Botanische stark hervortreten lassen. In den Denkschriften unserer Schweizerischen Gesellschaft hat er eine grössere Arbeit über die Theobroma- (Kakao-)Arten veröffentlicht. Für uns Basler ist sein Besuch der vor ihm völlig unbekannten Ruinenstätte von Tikal im nördlichen Guatemala von dauerndem Werte geworden, indem er dort in einem noch wohlerhaltenen Hause oder Tempel die berühmte, mit Skulpturen bedeckte Holzverkleidung fand, die eine der grössten Zierden unseres Völkerkunde-Museums bildet. Auch die naturhistorischen Sammlungen hat er reich bedacht.

Nach 20 Jahren, gesundheitlich durch Malaria und Dysenterie gebrochen, sehnte er sich nach seiner Vaterstadt zurück, in der Hoffnung, dort in Ruhe sein reiches Beobachtungs- und Sammlungsmaterial ausarbeiten zu können. Es sollte ihm nicht beschieden sein. In bewusstlosem Zustand brachte ihn der Dampfer nach San Francisco, wo er im Spital, einsam, von keinem Bekannten umgeben, erst 44 jährig, 1878 starb, wie BURCKHARDT, ein Opfer der Wissenschaft.

Wenig glücklich ist Dr. KARL PASSAVANT gewesen bei seinem zweimaligen Versuch, 1883 und 1884, ins unbekannte Hinterland von Kamerun einzudringen. Der erste endete mit dem Tode seines Begleiters und dem Untergang der Ausrüstung in der Bai von Kamerun; der zweite scheiterte an kriegerischen Verwicklungen und an schwerer Erkrankung PASSAVANTS. Die einzige wissenschaftliche Frucht waren einige kraniologische Negerstudien. Er starb erst $33\frac{1}{2}$ jährig in Honolulu, wo er Genesung erhofft hatte.

Nicht unerwähnt dürfen die Verdienste der BASLER MISSION um die Erforschung namentlich westafrikanischer Gebiete bleiben. Zahlreiche linguistische, ethnologische und geographische Arbeiten sind in den mehr als 100 Jahren ihres Bestehens aus ihrem Schoss hervorgegangen. Da indessen unter den als Forschungspionieren hervorragenden Sendboten meines Wissens kein gebürtiger Basler sich befindet, fällt dieses Gebiet ausserhalb des Rahmens unserer Betrachtung. Erwähnt mag etwa Dr. ERNST MÄHLY werden, der als Missionsarzt 1882—1884 zum Studium des Klimas und der Krankheiten das Binnenland der Goldküste, besonders die Landschaften um den Volta-Fluss, bereiste und über seine Ergebnisse eine an ethnologischen und geographischen Notizen reiche Arbeit veröffentlichte.

Ich komme nun zu einem Kapitel, das ich am liebsten stillschweigend übergehen würde, aber der Vollständigkeit halber nicht wohl kann, zu den Forschungsreisen meines Veters PAUL und des Sprechenden. Die erste liegt schon weit zurück. Es war die nach Ceylon als neugebackene Doktoren in den Jahren 1883 bis 1886. Sie war wesentlich zoologischen Fragen gewidmet, vor allem der noch unbekannten Entwicklungsgeschichte der Ceylonischen Blindwühle, Ichthyophis, und der marinen Tierwelt. Bei den vielen Fussreisen durch die Insel begegneten wir den kümmerlichen Resten jener merkwürdigen, im Erlöschen begriffenen Urbewölkerung, der Wedda, und es erwachte der Gedanke, diesem aussterbenden Geschlecht in einer anthropologischen und ergologischen Monographie ein die Rasse überdauerndes Denkmal zu setzen. Die Wedda-Frage führte uns 1890 aufs neue nach Ceylon, zum drittenmal 1902 in Begleitung Prof. L. RÜTIMEYERS, zum viertenmal 1907, bei welcher Gelegenheit uns im Boden der Wedda-Höhlen die Entdeckung der ceylonischen Steinzeit gelang, und endlich zum fünftenmal mich allein 1925 zur weiteren Klärung prähistorischer Probleme.

Die Ausarbeitung des umfangreichen Ceylon-Werkes geschah in Berlin. Dort mächtig angeregt durch die unter FERDINAND VON RICHTHOFEN stehende Gesellschaft für Erdkunde, beschlossen wir, uns auch in geographischer Richtung zu versuchen und erwählten als Ziel die damals im Innern noch unbekannte und gefürchtete Insel Celebes, seit WALLACES Zeiten ein vielumstrittenes tiergeographisches Rätsel, da an der Grenze stehend der indisch-malayischen und der papuasisch-australischen Lebewelt.

Unser erstes Hauptquartier bildete von 1893 an die friedliche Nordostecke der vierarmigen Insel, die Minahassa. Von dort aus wurden zunächst die westlich von der Minahassa gelegenen, noch unerforschten, auf weite Strecken hin mit lückenlosem Urwald bekleideten Teile des Nordarms durchwandert. Dann folgte, von der holländischen Kolonialregierung kräftig unterstützt, die erste Durchquerung des Inselherzens vom Boni-Golf über den Posso-See nach dem Golf von Tomini, eine Reise von drei Monaten.

Von Makassar aus, wohin wir 1895 übergesiedelt waren, wurde dann der Versuch unternommen, die südliche Halbinsel an ihrem Wurzelteil zu durchwandern, welches Unternehmen aber am bewaffneten Widerstand der Eingeborenen scheiterte. Unsere Widersacher waren immer die mohammedanischen, von Holland sozu-

sagen unabhängigen Küstenfürsten, welche es nicht leiden wollten, dass Europäer Einsicht bekämen in die schändliche Misswirtschaft, Sklavenraub und Bedrückungen aller Art, die sie gegen die heidnischen Inlandstämme, die Toradja, betrieben. Noch sollte uns aber, bevor wir 1896 Celebes verliessen, eine schöne Entdeckung beschieden sein, die Auffindung zweier grosser Seen in der südöstlichen Halbinsel, des Matanna- und Towuti-Sees. Es war kein kleiner Moment, als wir als erste Europäer den gewaltigen Spiegel des Towuti-Sees, der an Grösse fast den Leman erreicht, schauen durften.

Noch blieben aber grosse Teile von Celebes unbekannt, so dass wir 1902 uns aufs neue dorthin begaben. Es sollte noch einmal Zentral-Celebes westlich von unserer früheren Route an seiner stärksten Stelle von der Palu-Bai im Norden südwärts nach dem Boni-Golf durchquert werden. Trotz der denkbar sorgfältigsten Vorbereitung dieser Reise durch den Gouverneur BARON von HOËVELL wurden wir auf Befehl eines Küstenfürsten von den Toradjas von Kulawi zur Rückkehr nach der Küste gezwungen. Von dort sandten wir Bericht nach Makassar, und nun erschien der Gouverneur mit zwei Kriegsschiffen und mit Truppen, um unsere Reise durchzusetzen. Die erschreckten Küstenfürsten kapitulierten vor der bewaffneten Macht, und so marschierten wir aufs neue ins Land hinein. Einem geplanten Überfall der Kulawier entgingen wir nur durch raschen Durchzug und erreichten glücklich nach mehr als vier Monaten die andere Küste, wunderbare Gebirgslandschaften durchwandernd und eigenartigen Kulturen der Toradja begegnend, die noch nie einen Weissen gesehen hatten. Noch mag als celebensische Merkwürdigkeit die Entdeckung des in Höhlen lebenden Urstamms der Toála und ihrer Steinzeit gedacht sein. Das Celebes-Werk, aus zoologischen, tiergeographischen, geologischen und anthropologischen Teilen bestehend, ist in Basel ausgearbeitet worden.

Wir sind die letzten gewesen, die Celebes in seiner wilden, von Europa unberührten lanzenstarrenden Romantik gesehen haben. Die mohammedanischen Fürsten sind in der Folge alle von Holland in teilweise opferreichen Kriegen niedergeworfen worden. Prächtige Strassen wurden an Stelle der schauderhaften Urwaldpfade durch die Insel gelegt, Beamte an wichtige Punkte gesetzt, das Waffentragen verboten, und in Kulawi, wo wir hätten ermordet werden sollen, singt heute die Heilsarmee ihre Lieder.

Als friedlichen Abschluss meiner Reisezeit mag noch die mit Herrn Dr. J. Roux zusammen unternommene Expedition nach Neu-Caledonien, 1910 bis 1912, erwähnt sein. Auch hier galt es, neben der zoologischen Ausbeute, welche die tiergeographische Geschichte der heute weit im Ozean verlorenen Insel aufzuhellen bestimmt war, einen dem Untergang entgegengehenden Volksstamm anthropologisch und ethnologisch der Nachwelt zu erhalten. Vier zoologische, ein botanischer und ein anthropologischer Band mit Atlas enthalten die Ergebnisse dieser Reise.

An dieser Stelle mögen die beiden zoologischen Sammelreisen GUSTAV SCHNEIDERS nach Sumatra, 1888 und 1897, erwähnt sein, die ein reiches Material an neuen Tierformen ergaben, das teils von ihm selbst, teils von anderen bearbeitet worden ist.

Eine merkwürdige Kraft- und Abenteuerernatur tritt uns dann in dem 1871 geborenen Dr. J. J. DAVID entgegen. Schon früh für Reisen begeistert, voll Bewunderung für die Heroen der Afrikaforschung, war der dunkle Erdteil von Kind an der Zug seines Herzens. Begleitet von seinem jüngern Bruder, Dr. ADAM DAVID, dem bekannten Jäger und Verfasser eines afrikanischen Jagdbuches, bereiste er zunächst den nach Unterwerfung des Mahdi eben wieder zugänglich gewordenen Sudan zur Gewinnung von Gummi arabicum. Auf die Empfehlung SCHWEINFURTHS, seines väterlichen Freundes, kam er 1903 in belgische Dienste und erhielt den Auftrag, zusammen mit einem Miningenieur die Gebiete westlich vom Nil, über den Albert-See, das Ruwenzori-Gebirge, den Albert-Eduard-See südlich bis zum Kiwu-See geologisch und kartographisch aufzunehmen. Da war nun DAVID in seinem wahren Element. Die monatelangen Züge durch den Kongo-Urwald auf vielfach unerforschten Pfaden bis ins innere Grasland hinein waren sein Entzücken, nicht minder so die Berührung mit den scheuen Pygmäenstämmen des Ituri- und Semliki-Waldes, die für ihn so recht das Ideal freier Naturmenschen verkörperten. Wichtige Beobachtungen über diese rätselhaften Menschenformen, sowie über die Lebensweise des Okapi, das ihm als erstem Europäer zu erlegen gelang, sind aus seiner Feder im „Globus“ erschienen.

Als geübter Alpinist konnte er es wagen, eine Besteigung des Ruwenzori- oder Ruunssoro-Massivs, des von STANLEY 1889 entdeckten sagenhaften Mondgebirges der Alten zu unternehmen. Mit wenigen Begleitern überwand er die fürchterliche Hochmoorzone

des Gebirges, und als beim Beginn des ewigen Schnees in der Höhe von 4400 m auch der letzte Schwarze zurückblieb, arbeitete er sich allein, erschöpft, von Fiebern geschüttelt und fast ohne Nahrung, über Fels und Gletscher noch einige hundert Meter hinauf, um dann auf einem Hochkamm, im Angesicht der höchsten Gipfel, sein Unternehmen aufzugeben zu müssen. Er war höher gekommen als alle seine Vorgänger, aber die Bezungung des Berges war erst dem Herzog der Abruzzen, der mit ganz andern Mitteln ausgerüstet war, vorbehalten.

Weit weniger sagte es DAVID zu, als er 1906 ein Kupferbergwerk einzurichten und zu betreiben den Auftrag bekam. Seine eiserne Gesundheit war durch die grossen Strapazen gebrochen. Anämie und Tuberkulose stellten sich ein. Erst 37 jährig erlag er an Bord des Kongodampfers, der den Kranken nach der Heimat bringen sollte.

Um gerade bei Afrika zu bleiben, darf die gefahrvolle Reise HANNS VISCHERS, damals britischen Beamten in Nigeria, durch die Sahara von Tripolis nach dem Tschad-See im Jahre 1906 nicht unerwähnt bleiben, eine Strecke von über 2000 km, deren Bewältigung fünf Monate erforderte. Wenn auch diese Reise keine wissenschaftlichen Entdeckungen gezeitigt hat, so hat sie doch, da diese Tour seit HEINRICH BARTH und GUSTAV NACHTIGAL in den Fünfziger- und Sechzigerjahren des letzten Jahrhunderts von keinem Europäer mehr hatte ausgeführt werden können, wichtige Aufschlüsse gebracht über die Veränderungen, die seit den Tagen der gedachten Reisenden vor sich gegangen sind, das Vorschreiten der Wüste über früher blühende Oasen, deren Bewohner infolge der beständigen Raubzüge der Tuarek und anderer Wüstenstämme sich in andere Gegenden verziehen und dem vordringenden Sand keinen Widerstand mehr entgegensezten. VISCHERS Reisebuch ist reich an prächtigen Naturschilderungen; es erzählt in schlichter Weise von den Mühsalen einer solchen Wüstenreise und den beständig drohenden Gefahren durch Wassermangel, Sandstürme und Räuberhorden.

Sehr viel ist in den letzten Jahrzehnten von Basel aus in der geologischen Erforschung fremder Weltteile geleistet worden. Aus der Schule des verstorbenen Professors KARL SCHMIDT sind eine ganze Reihe von Männern hervorgegangen, die im Ausland tätig gewesen sind. Freilich waren es vielfach rein praktische Aufgaben, denen sich diese Geologen zu widmen hatten, Nachforschung nach

Petroleum und anderen Mineralschätzen im Auftrag geschäftlicher Unternehmungen. Dabei sind aber fast immer auch rein wissenschaftliche Ergebnisse erzielt worden, und namentlich haben die von diesen Geologen gesammelten Gesteinsproben und Fossilien, welche zum überwiegenden Teil dem Basler Museum zugute gekommen sind, Anlass zu vielen Arbeiten gegeben und werden noch für lange Zeit eine fast unerschöpfliche Quelle bilden. C. SCHMIDT selbst bereiste 1899 Sumatra, Java und Borneo, weiter 1903 bis 1904 Borneo und Süd-Celebes, A. BUXTORF 1901 bis 1904 den malayischen Archipel, Hinter- und Vorderindien, 1910 Ägypten, 1926 Peru. Seine von H. DOUVILLE bearbeitete Ausbeute an Foraminiferen-Gesteinen ist für die Gliederung des malayischen Tertiärs von Bedeutung geworden. 1910 bis 1913 sehen wir W. HOTZ auf Borneo, Java und Celebes tätig, 1914 bis 1919 ebenda und in Ceram, 1921 in Marokko, 1924 in Peru, 1925 in Patagonien. Vor allem hat die Ceram-Expedition wissenschaftlich wichtige Ergebnisse geliefert. G. NIETHAMMER arbeitete von 1910 bis 1915 auf Borneo, Sumatra und Java, auf welch letzterer Insel er leider ein nie aufgeklärtes Ende fand, ohne die Früchte seiner Tätigkeit veröffentlicht zu haben. H. PREISWERK erforschte 1913 die Ölregion des nördlichen Punjab, M. HÜNERWADEL 1922 bis 1923 Timor, und in neuester Zeit finden wir A. WERENFELS in Kolumbien, Ecuador und Peru, H. G. KUGLER in Trinidad und Venezuela, K. WIEDENMAYER in Venezuela an der Arbeit.

Wissenschaftlich von grosser Bedeutung, ja grundlegend für die Geologie grosser Teile Sumatras, sind A. TOBLERS Arbeiten geworden. Schon in den Jahren 1900 bis 1904, in denen er auch Java, Burma und Vorderindien bereiste, lag der Schwerpunkt seiner Tätigkeit in Sumatra. Sieben weitere Jahre, 1906 bis 1912, widmete er ausschliesslich der letztgenannten Insel im Dienste des niederländisch-indischen Minenwesens. Seine geologische Untersuchung der Residentschaft Djambi in Sumatra, ein Band von fast 600 Seiten mit 19 Tafeln, ist ein Zeugnis bewunderungswürdiger Hingabe und Ausdauer, und seine mit Mitarbeitern herausgegebenen Beiträge zur Geologie und Paläontologie Sumatras eine höchst wichtige Quelle für die Kenntnis dieser Insel. Hierzu zahlreiche, von vielen Tafeln, Karten und Profilen begleitete Arbeiten über die Öl liefernden Distrikte. Seiner Reise nach Trinidad, 1913 bis 1914, mag hier auch noch gedacht sein.

Eine Geologenfigur für sich bildet KARL BURCKHARDT. Von 1896 bis 1901 am Museo de la Plata tätig, erforschte er vornehmlich die Anden in der Region zwischen Argentinien und Chile. Zwei grosse Tafelwerke, vom genannten Museum herausgegeben, orientieren über Stratigraphie, Tektonik und Fossilien der Cordillere; ein drittes über Jura- und Kreideformation der Cordillere ist in Stuttgart erschienen. 1904 als Chefgeologe nach Mexiko berufen, arbeitete er zunächst im Dienste des dortigen Geologischen Instituts, bis eine der vielen Revolutionen ihn dieser Stelle beraubte. Er ist trotzdem als einsamer Gelehrter bis auf den heutigen Tag in Mexiko geblieben. Die Fauna der mexikanischen Trias, des Jura und der Kreide sind von ihm in einer grösseren Serie von Werken der Wissenschaft zur Kenntnis gebracht worden. Andere seiner Arbeiten sind rein geologischer Natur.

Weit weniger als in geologischer Beziehung ist in den letzten Jahren auf zoologischem und botanischem Gebiet geschehen. Es mögen etwa R. MENZELS in Java ausgeführte Studien über tierische Schädlinge tropischer Kulturpflanzen genannt sein und W. VISCHERS botanische Reise mit Prof. R. CHODAT in Paraguay.

In höchst erfreulicher Weise hat sich die Basler ethnologische Forschung entwickelt. FELIX SPEISER hat in den Jahren 1910 bis 1913 dem Archipel der Neuen Hebriden eine gründliche Untersuchung gewidmet, keineswegs eine leichte Aufgabe, einmal wegen des Zerfalls in viele, oft nur mit Schwierigkeiten zu erreichende Inseln, dann auch wegen der in einzelnen Teilen noch recht unnahbaren Eingeborenen. Es gehörte mehr als gewöhnliche Energie dazu, ganz allein drei Jahre lang solchen Forschungen in unwirtlichem Gebiete obzuliegen. SPEISERS Ergebnisse, die nun für immer eine der Grundlagen unserer ethnologischen Kenntnisse der Neuen Hebriden bilden werden, sind in einem Werke niedergelegt, betitelt: „Ethnologische Materialien aus den Neuen Hebriden und den Banks-Inseln“; seine Sammlungen befinden sich in Basel. Es war auch für die Hebriden höchste Zeit gewesen, eine solche Arbeit zu unternehmen; heute schon wäre dies in grossen Teilen derselben nicht mehr in gleicher Weise möglich, da auch hier die alles nivellierende europäische Kultur nicht nur die der Eingeborenen, sondern auch diese selbst unheimlich rasch vom Erdboden vertilgt.

Einem ganz andern Forschungsgebiet hat er sich im Jahre 1924 zugewandt, dem Rio Parú, einem nördlichen Zufluss des

Amazonas, wo ein noch verhältnismässig unberührter Indianerstamm interessante Ergebnisse versprach und auch geliefert hat.

Das grosse Verdienst eines andern Basler Forschers, PAUL WIRZ, ist die ethnologische Erforschung Neu-Guineas und anderer Inseln des malayischen Archipels in drei mehrjährigen Perioden, von 1915 bis 1927. Seine Hauptarbeit verwandte er auf die Stämme von Holländisch-Süd-Neu-Guinea, speziell die Marind-Anim. Die beiden inhaltreichen Bände, die er den Marind und ihren Nachbarn gewidmet hat, bedeuten eine Rettung von unschätzbarem Werte, da heute schon die europäischen Eingriffe und europäische Krankheiten nur unbedeutende Reste einer einst blühenden und originellen, wenn auch durch Kannibalismus und Kopfjagd verrohten Kultur übrig gelassen haben. Es war WIRZ vergönnt, als erster und letzter Europäer die heute verschwundenen Geheimkulte und Maskenfeste der Marind zu schauen, die an Farbenpracht und Phantastik alles weit hinter sich lassen, was das übrige, an solchen Dingen sonst so reiche Neu-Guinea bietet. Die Beherrschung der Sprache gestattete ihm, auch den dunklen Sinn dieser Zeremonien zu erfahren und in die Mythen einzudringen, die diesen Festen zugrunde liegen. WIRZ hat dann auch die nördliche Küste Neu-Guineas bereist und ist mit einer holländischen Expedition tief in das unbekannte, zentrale Gebirgsland eingedrungen, überall ethnologisch und anthropologisch arbeitend. Seine Sammlungen aus Neu-Guinea und andern von ihm bereisten Inseln, wie Sumatra, Nias und Bali, bilden eine Zierde unseres Völkerkunde-Museums, wie seine Arbeiten eine solche der ethnologischen Wissenschaft. Es wäre unbillig, wenn hier nicht auch seiner Frau, die ihn stets treulich begleitet hat, ein Kränzchen gewunden würde.

Ich bin am Schlusse meiner kurSORischen Übersicht des Anteils Basels an der Erforschung fremder Weltteile angelangt. Wenn Sie daraus den Eindruck gewonnen haben, dass unsere stille, alte Rheinstadt sich darin mit Ehren sehen lassen darf, ist mein Zweck erfüllt und es bleibt mir nur der Wunsch auszusprechen übrig, dass diese gute, alte Tradition in Basel noch lange fortwirkend immer reichere Früchte bringen möge!

Mit diesem Wunsche erkläre ich die 108. Jahresversammlung der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft für eröffnet.

Les causes et les facteurs de la morphogenèse

par

A. BRACHET

Professeur à l'Université de Bruxelles

Deux tendances, ou plutôt deux façons de penser se partagent les biologistes qui recherchent les causes et les facteurs de la constitution des formes animales — et végétales — actuellement vivantes. Pour les uns l'évolution historique de la vie à la surface du globe, malgré les lacunes que sa connaissance présente encore, fournit une explication suffisante, au moins à titre provisoire, de l'état présent des êtres vivants, et le problème qu'ils se posent sera résolu quand les facteurs agissants de l'évolution auront été mis en lumière avec toute la rigueur scientifique nécessaire. D'autres, qui sont peut-être moins nombreux mais qui recrutent tous les jours de nouveaux adeptes, ne peuvent se résigner à cette attente et, envisageant les faits sous un autre angle, estiment que la morphogenèse des êtres, c'est-à-dire leur prise de formes définitives, étant un phénomène qui se passe constamment sous nos yeux, chaque fois qu'un individu nouveau s'édifie aux dépens de son germe, doit être examinée non seulement dans le déroulement des étapes qu'elle parcourt, mais aussi et surtout dans sa causalité immédiate. Ils estiment, en d'autres termes, que la morphogenèse doit être considérée comme une *fonction* du germe, en attribuant à ce mot le sens qu'il a dans le langage de la physiologie.

En réalité, les deux tendances dont la définition vient d'être esquissée ne s'opposent pas entre elles; je pense même qu'elles se complètent et qu'elles s'uniront étroitement quand l'explication finale de l'énigme de la vie pourra être formulée. Nous allons voir, en effet, que toutes les causes réelles et tous les facteurs essentiels du développement d'un individu nouveau sont contenus, au moins en puissance, dans le germe qui est au point de départ, c'est-à-dire, d'une façon très générale, dans l'œuf fécondé. Or, celui-ci ne peut tenir sa constitution spécifique actuelle que d'une évolution historique pendant laquelle il s'est progressivement modelé; et ainsi la ten-

dance historique et la tendance causale trouveront un terrain d'entente solide et bien préparé.

Si j'ai cru nécessaire cette forme d'entrée en matière, c'est parce qu'on entend souvent dire, par des défenseurs autorisés des deux tendances, qu'elles s'excluent et surtout qu'elles n'ont pas le même degré d'importance. Sans doute, chacun prise volontiers plus haut l'objet de ses propres recherches que celui de ses voisins ; sans doute aussi les embryologistes expérimentateurs peuvent-ils considérer comme négligeable l'évolution phylogénétique des organismes sur lesquels portent leurs recherches ; sans doute enfin peuvent-ils répondre à ceux qui considèrent l'évolution historique des êtres vivants depuis l'apparition de la vie sur la terre comme le problème fondamental de la biologie, que cette évolution ne pourra jamais être que présumée et ne sera jamais une certitude scientifique. Il n'en est pas moins vrai que tant que le concept d'évolution organique n'aura pas été démontré faux, il restera consciemment ou inconsciemment à la base de tous nos raisonnements, parce qu'il est dans la nature même de notre esprit de chercher le lien qui rattache le présent au passé.

Quoiqu'il en soit et tout en conservant l'espérance encore lointaine d'une unification de la pensée scientifique dans le domaine qui nous occupe, nous nous en tiendrons exclusivement, dans notre exposé, aux données récentes de l'embryologie causale (*Entwicklungsmechanik*) ; on verra qu'elles forment un ensemble déjà bien cohérent, et qu'elles ouvrent, dans bien des domaines, de séduisantes perspectives.

* * *

Trois points essentiels vont retenir notre attention : la signification du mot „germe“ en tant qu'il est l'origine d'un organisme nouveau de l'espèce à laquelle il appartient lui-même ; la valeur, pour le faire ce qu'il est, de chacun des gamètes mâle et femelle ; enfin la nature et les propriétés connues des localisations germinales.

Il peut sembler banal de définir la notion de germe et, à vrai dire, mon but est plutôt d'en préciser le sens pour bien poser les données des problèmes qui s'offrent à l'investigation. Il y a, tant dans le règne animal que dans le règne végétal, des germes de diverses espèces : la reproduction des organismes se fait selon deux modes différents qui ne posent pas sous le même angle la question de l'origine et des causes du développement embryonnaire.

La génération agame, que le germe en soit un bourgeon, une gemmule, une spore ou toute autre forme du même ordre, paraît bien, à l'heure actuelle, malgré la multiplicité des aspects qu'elle peut affecter, se ramener toujours soit à un processus de régénération, soit à des cas, simples ou plus ou moins aberrants, de parthénogenèse. Le temps me manque pour en donner les preuves; je dois me borner à dire qu'elles sont nombreuses et ont été relevées avec beaucoup de raison par plusieurs auteurs.

Or, nous verrons au cours de cet exposé que le germe de la génération sexuée, l'œuf fécondé, non seulement possède tous les rouages du développement de l'organisme qui en naîtra, mais est aussi un excellent objet pour l'analyse de la parthénogenèse et des formes les plus primitives, mais aussi les plus claires et les plus démonstratives de la régénération.

Les œufs et les spermatozoïdes, puis le zygote qui résulte de leur union dans la fécondation, offrent donc à l'analyse scientifique et sous une forme aussi commode que possible l'ensemble des problèmes de la génération. Ajoutons qu'en raison de leur généralité même et de l'uniformité fondamentale de leur constitution, ils sont les vrais facteurs de la continuité de la vie, tandis que la génération agame n'est guère qu'un épisode dans l'existence des organismes qui en sont capables.

Le germe le plus pur, le plus parfait, est donc l'œuf fécondé; il contient en lui toute l'éénigme de la vie dans ses manifestations les plus hautes, c'est-à-dire quand elle se manifeste créatrice des formes, des organes et des fonctions. L'expérience a montré en effet, et nous en parlerons dans un instant, qu'il contient en ébauches primaires, amorphes, les matériaux et les énergies qui seront mis en œuvre pour construire un organisme nouveau.

S'il en est ainsi, une première question se pose, et qui est essentielle au point de vue de la biologie générale. L'œuf fécondé est bien un germe au sens complet du mot; mais il résulte de l'union dans la fécondation de deux cellules sexuelles, mâle et femelle: le spermatozoïde et l'œuf. Chacun de ces deux „gamètes“ est-il, lui aussi, un germe complet? Possède-t-il les potentialités nécessaires pour cela et la fécondation est-elle, dans sa signification profonde, la mise en commun de deux potentialités complètes, leur mélange en vue d'une même fin et l'établissement entre elles d'une sorte d'état d'équilibre?

Il semble, si l'on envisage superficiellement les choses, qu'il doive être répondu affirmativement à cette question. Rien ne semble plus évident, plus banal, que l'équivalence morphogénétique des deux sexes et que dans l'édification d'un être nouveau, le père et la mère jouent un rôle fondièrement équivalent et qui ne diffère que par des détails.

Pourtant l'expérience semble bien montrer qu'il n'en est pas ainsi et la question des pouvoirs respectifs de l'œuf et du spermatozoïde a fait l'objet de travaux qui éclairent certains aspects importants du problème fondamental de l'hérédité.

En ce qui concerne l'œuf, aucun doute n'est possible et au sens où nous l'entendons, il est bien un germe complet. Sans doute est-il besoin, pour qu'il se développe normalement, même après qu'il a atteint sa maturation complète, d'un agent fécondant. Dans la nature c'est le spermatozoïde, mais on sait depuis longtemps que dans une foule de cas bien étudiés il peut être remplacé par un artifice de laboratoire, si bien qu'on peut dire qu'en principe tout œuf est capable d'une parthénogenèse artificielle ou expérimentale. D'après les travaux les plus récents, il suffit parfois, pour qu'elle soit provoquée, de combler dans l'œuf un déficit de quelques ions métalliques : alors le développement se déclenche. Je n'insisterai pas davantage pour ne pas sortir des limites de mon sujet.

Il en est tout autrement pour le spermatozoïde. Si ses potentialités étaient équivalentes à celles de l'œuf, il suffirait de lui donner les matériaux nutritifs nécessaires (car lui-même est à peu près réduit à son seul noyau) pour qu'il les organise. Les expériences faites dans ce but ont jusqu'ici complètement échoué. On peut leur reprocher d'être assez grossières, mais il en est d'autres qui paraissent aussi impeccables que possible et qui sont extrêmement démonstratives. La principale, celle à laquelle j'attache le plus de poids dans l'ordre d'idées que je suis ici, est la polyspermie expérimentale, telle qu'on peut la réaliser aisément chez *Rana temporaria*. Dans l'œuf de grenouille, contrairement à ce qui se passe généralement ailleurs, les spermatozoïdes surnuméraires, quand la polyspermie est légère, ne copulent ni entre eux, ni avec le noyau de l'œuf, mais restent isolés dans le cytoplasme ovulaire qui s'irradie bientôt autour de chacun d'eux, formant ainsi, dans les cas bien réussis, autant d'„énergides spermatiques“. Puis dans chacune de celles-ci le noyau mâle entre en mitose ; l'œuf se divise

en autant de blastomères qu'il est entré de spermatozoïdes et le développement commence. Je ne puis, ici, entrer dans le détail de cette segmentation atypique fort intéressante à divers points de vue, le résultat final seul importe.

Il est évident que chaque spermatozoïde, s'étant ainsi taillé dans l'ensemble de l'œuf un territoire qui lui est propre, et provoquant son entrée en développement, se trouve dans des conditions idéales pour manifester la totalité de ses pouvoirs morphogénétiques. Si ceux-ci étaient tels qu'ils puissent former un organisme complet, l'œuf polyspermique de grenouille donnerait naissance à des embryons multiples ou tout au moins à des monstres compliqués où l'on trouverait les traces d'un conflit entre les tentatives faites simultanément par les énergides spermatiques primitives. Or, il n'en est absolument rien. Quand la polyspermie est forte, l'œuf meurt toujours rapidement, mais quand elle est faible (2 à 10 spermatozoïdes), le développement marche régulièrement malgré l'anomalie initiale, et il se forme toujours des embryons parfaitement conformés.

La conclusion qui se dégage de ces faits est qu'un spermatozoïde introduit dans un territoire cytoplasmique *anucléé* d'un œuf de la même espèce que lui, est incapable d'en modifier la destinée : il ne peut qu'en provoquer le développement harmonieux et morphogénétiquement normal.

Je pourrais ajouter d'autres preuves encore, tirées des recherches de GODLEWSKI, de BALTZER et d'autres, sur les fécondations hétérogènes entre espèces éloignées, mais leur valeur démonstrative est moindre parce que l'interprétation en est plus malaisée.

Mais quel est alors le rôle du spermatozoïde dans une ontogenèse normale ? S'il a moins de puissances que l'œuf, il n'en est pourtant pas complètement dépourvu : il nous reste à tâcher d'en préciser la nature.

Laissons de côté son rôle activant de l'œuf mûr qui, sans lui ou sans quelque chose d'analogue, serait irrémédiablement voué à la mort : la genèse des formes et des organes nous intéresse seule ici, et l'activation de l'œuf vierge n'est pour elle qu'un facteur de réalisation.

Mais cette genèse elle-même n'est pas autre chose, en fait, que le déroulement régulier et harmonieux des tendances héréditaires de l'espèce ; elle est la création d'un être nouveau aux dépens du germe qui contient tous les matériaux et les dynamismes nécessaires pour cela.

Or, si l'hérédité est bien l'ensemble des causes, des facteurs et des lois qui font qu'un être nouveau reproduit les formes de ceux qui l'ont engendré, il découle de tout ce qui vient d'être dit que cet ensemble a son siège dans l'œuf bien plus que dans le spermatozoïde. Et ceci nous amène à distinguer dans l'hérédité, non pas deux catégories, mais deux aspects particuliers selon le sens, général ou spécial, sous lequel on l'envisage. Tout individu, parvenu à l'état adulte, offre dans ses formes, sa constitution, sa structure, ses fonctions, deux ordres de caractères: les uns sont ceux, généraux, de l'espèce à laquelle il appartient et qui permettent de le classer zoologiquement; les autres, portant sur le détail, sont personnels, le caractérisent, dans cette espèce, en tant qu'individu. Ils ne sont en réalité qu'une tournure particulière, personnelle ou familiale, des caractères fondamentaux, génériques, mais ils n'en ont pas moins une importance extrême parce qu'ils sont immédiatement accessibles à l'observation, et constituent le matériel sur lequel les généticiens travaillent le plus souvent. Dans d'autres travaux, j'ai rangé les caractères fondamentaux de l'espèce dans le cadre d'une *hérité générale*, les caractères individuels dans une *hérité spéciale* ou personnelle. Je le répète, l'hérédité spéciale n'est que la tournure que prend l'hérédité générale dans chaque cas particulier, sous l'influence de «facteurs» dont nous n'avons pas à rechercher l'origine ici. Cette distinction, à mon avis du moins, n'en est pas moins commode et utile, parce qu'elle délimite l'objet des recherches: l'analyse de l'hérédité générale est le but principal de l'embryologie; l'hérédité spéciale appartient essentiellement au domaine de la génétique. Elle va nous permettre aussi de préciser le rôle du spermatozoïde dans la morphogenèse, qui n'est pas autre chose, en somme, que le déroulement des tendances héréditaires. Il apporte à l'œuf, lors de la fécondation, les facteurs de l'hérédité spéciale, c'est-à-dire des caractères particuliers de la lignée à laquelle il appartient. Ces facteurs, l'œuf les possède naturellement aussi, mais il est, en outre, le siège exclusif de l'hérédité générale: les causes qui font de nous des représentants de l'espèce humaine ont leur siège dans l'œuf; celles qui donnent à chacun de nous un faciès particulier sont à la fois dans l'œuf et dans le spermatozoïde.

Ces faits étant établis, la tâche de l'embryologie expérimentale est évidemment l'étude des lois de la morphogenèse générale. Elles ont leur source dans l'œuf, mais il importe de savoir sur quel substratum elles reposent, l'ordre et le moment de leur établissement et enfin leur mode d'action. Toutes nos connaissances dans ce domaine sont fondées sur ce que l'on appelle très généralement, en français et en anglais, les localisations germinales.

Je n'en ferai pas l'histoire: elle est celle de l'embryologie expérimentale presque toute entière depuis que WILHELM Roux en a jeté les bases et on y rencontre des périodes de discussions passionnées. Mon seul but est d'exposer aussi clairement que possible ce qu'on en sait aujourd'hui.

On peut donner des localisations germinales une définition générale, valable en gros pour tous les cas, mais assez souple pour s'adapter exactement à chacun d'eux. Elle consiste en ce que l'œuf n'est pas seulement une cellule polarisée mais présente aussi, à partir d'un moment donné de son évolution, des différences régionales sinon dans sa structure, du moins dans la composition de son cytoplasme. Les zones ainsi délimitées peuvent être indistinctes par leur aspect, même sous les plus forts grossissements du microscope, mais les techniques expérimentales démontrent que chacune d'elles a sa destinée propre pour la construction des diverses parties du corps de l'embryon futur; chacune d'elles représente l'ébauche virtuelle d'un organe ou d'un groupe d'organes déterminés, c'est-à-dire qu'elle contient les matériaux et les énergies nécessaires pour les édifier harmonieusement au cours du développement.

Telle est la définition la plus simple qu'on puisse donner des localisations germinales. J'ai dit plus haut, et j'y insiste, qu'elles existent toujours dans l'œuf à partir d'un moment donné de son évolution. Ce moment n'est en effet pas le même pour tous les œufs: il peut être précoce ou tardif et c'est cette différence d'ordre chronologique et qui n'a par conséquent rien de fondamental, qui fait qu'on a pu distinguer, au point de vue de leurs propriétés évolutives, des œufs en mosaïque et des œufs capables de régulation; les premiers ont leurs localisations tôt fixées, chez les seconds elles ne le sont que plus tardivement. Chez tous, néanmoins, un degré de labilité plus ou moins accusé précède leur stabilisation définitive et il n'est pas douteux que les œufs les plus strictement en mosaïque ont passé par un stade préalable où ils étaient régulateurs.

Bien des recherches, dans le détail desquelles il m'est impossible d'entrer, autorisent à formuler comme leur conclusion logique, la notion suivante: pendant l'oogenèse et spécialement pendant la période de grand accroissement de l'œuf où son métabolisme atteint son apogée et où il se prépare à mûrir, les matériaux qui sont le substratum des ébauches primaires d'où naîtront les organes, se constituent et s'ordonnent peu à peu. Mais cette ordonnance, ou plus exactement cette mise en place des matériaux, toujours progressive, peut être rapide ou lente. Tant qu'elle n'est pas achevée complètement, les territoires morphogénétiques sont mal délimités; sous des interventions expérimentales ils peuvent se suppléer les uns les autres, parce que des matériaux de valeur diverse y sont encore mélangés. C'est alors que l'œuf peut combler les pertes de substance qu'on lui impose, qu'il peut donner un embryon complet malgré l'enlèvement d'une de ses parties; c'est alors encore que les blastomères isolés, après que l'œuf s'est segmenté en deux ou en quatre, peuvent encore former chacun un embryon, normal ou à peu près.

Il y a probablement des œufs où la mise en place, la stabilisation définitive des localisations germinales est un acte purement ovulaire, que le germe femelle réalise entièrement par ses propres ressources. Mais il y en a certainement d'autres où il en est incapable et où un facteur nouveau doit intervenir. Dans l'œuf de grenouille par exemple, où les localisations sont extrêmement nettes et précises, elles apparaissent en toute évidence et avec toutes leurs propriétés, 1 h. $\frac{1}{2}$ à 2 heures après la fécondation, et il n'est pas douteux que le spermatozoïde soit l'ordonnateur final et décisif des territoires morphogénétiques.

Je regrette de ne pouvoir qu'énoncer à larges traits et sans en donner les preuves expérimentales, des données qui nous font pénétrer au cœur même du germe des êtres vivants et creuser l'éigma de leur constitution et de leur destinée; mais je dois bien me limiter et ce n'est pas trop du temps qui me reste pour jeter un coup d'œil sur certaines des propriétés des localisations germinales, spécialement intéressantes et que la science a mises tout récemment en lumière.

Il y a de longues années déjà que W. Roux a distingué, dans le développement organogénétique, deux groupes de différenciations: spontanées et provoquées. Les premières sont dues à des causes

internes, c'est-à-dire au travail des particules qui les composent. En ce sens, elles sont donc autonomes. Les secondes sont mises en marche par des facteurs extérieurs à l'ébauche où elles se produisent; elles doivent donc, pour se réaliser, recevoir une impulsion venue d'ailleurs.

Cette notion d'ordre très général a trouvé dans les localisations germinales de l'œuf, des applications remarquables et même assez inattendues, en même temps qu'elle prenait une signification nouvelle et riche de perspectives d'avenir.

Dans cet ordre d'idées, les travaux de SPEMANN et de plusieurs de ses élèves ont mis en lumière nombre de faits importants observés sur l'œuf des Amphibiens Urodèles; j'ai moi-même dans ces dernières années poursuivi sur l'œuf des Anoures des recherches du même ordre et je voudrais, sans entrer dans des controverses qui n'ont d'intérêt que pour les spécialistes, vous en exposer les résultats principaux.

Il y a, dans les germes étudiés jusqu'ici, des zones organogénétiques à différenciation spontanée et d'autres à différenciation provoquée; c'est là le fait général, mais pour en bien faire comprendre la signification exacte, il est nécessaire de l'appuyer sur quelques exemples concrets.

Si, comme l'a fait SPEMANN, on excise dans la région ventrale d'une blastula ou d'une toute jeune gastrula de Triton, un lambeau de cellules superficielles, dont la destinée normale est de former de l'épiderme banal, et si on la transplante sur un autre germe du même âge, au-dessus de la lèvre craniale du blastopore, au milieu d'éléments qui entreront dans la constitution de la plaque médullaire (ébauche du système nerveux central), le lambeau transplanté est complètement incorporé dans son nouveau milieu et devient une partie du système nerveux central. Voilà un exemple caractéristique de différenciation provoquée, puisque sous une influence extérieure à lui-même, un groupe de cellules a évolué dans un tout autre sens qu'il n'était préparé à le faire.

De cette expérience et d'autres analogues destinées à en mieux préciser le sens, SPEMANN a admis que la zone d'où partait l'impulsion formatrice pour la plaque médullaire de l'embryon de Triton siégeait, chez la toute jeune Gastrula, dans la lèvre dorsale du blastopore. Et en effet, si l'on transplante cette lèvre blastoporale dans la région ventrale d'une autre larve du même âge, elle ne se

borne pas à proliférer et à former la partie du dos de l'embryon qui lui revient en propre, mais elle agit aussi sur les éléments qui l'entourent et les induit à compléter cette partie et à édifier un dos complet avec son système nerveux, sa chorde dorsale, ses myotomes. L'hôte sur lequel le blastopore a été greffé ayant lui-même formé ses organes dorsaux normaux, l'expérimentateur a ainsi « fabriqué » une larve pourvue de deux dos bien constitués.

Ces observations sont très démonstratives; elles sont des exemples-types de différenciation spontanée (lèvre du blastopore), de différenciations provoquées (son entourage) et indiquent en même temps le siège du facteur qui provoque: il ne peut résider que dans la lèvre blastoporale. Celle-ci se comporte donc comme un véritable centre d'organisation, un *organisateur*, selon la terminologie de SPEMANN; il est l'initiateur du développement de l'embryon, le *primum movens* de toute la morphogenèse.

Voyons maintenant ce qu'enseignent les œufs des Amphibiens Anoures et spécialement ceux de la grenouille rousse commune.

Chez eux, la stabilisation définitive des localisations germinales est beaucoup plus précoce que chez les Urodèles. Deux heures après la fécondation, donc bien avant la segmentation en deux blastomères, les localisations sont en place et leur destinée est établie.

L'œuf de grenouille offre le très grand avantage de les extérioriser par des caractères aisément appréciables. Dans la moitié où se formeront les organes axiaux, dorsaux, de l'embryon (système nerveux, chorde dorsale, somites mésoblastiques) règne une bande grise superficielle en forme de croissant; sa partie médiane dépasse un peu l'équateur vers le haut, ses cornes latérales se perdent insensiblement vers le pôle inférieur. Un plan vertical passant par les pôles et par le centre du croissant gris, coupe naturellement l'œuf en deux moitiés que l'on peut appeler droite et gauche; il est donc un plan de symétrie bilatérale. Ce croissant reste visible pendant toute la segmentation; plus tard on constate que la lèvre crâniale et les lèvres latérales du blastopore apparaissent dans son domaine et plus tard encore que c'est dans la région qu'il occupait que s'édifiera le dos de l'embryon.

La netteté, la persistance du croissant gris rendent aisées les destructions localisées soit de sa partie moyenne, soit de l'une ou l'autre de ses cornes latérales. Opérées méthodiquement et à des

stades favorables, ces destructions ont permis de constater les faits suivants: la partie moyenne, la plus large, du croissant gris se comporte comme un centre de différenciation spontanée, autonome, aux dépens duquel la partie chordale de la tête et la région nuchale prennent directement leur origine. Il a donc sa destinée propre et rien ne peut la changer.

Mais il est, en outre, un organisateur, car son entrée en activité provoque, aux dépens des matériaux situés au-dessus de lui, l'édification de la tête antérieure, préchordale, et en dessous, le long des cornes du croissant, celle du tronc et secondairement de la queue.

Les cornes latérales du croissant gris sont donc incapables de différenciation spontanée: qu'on détruise leur point de continuité avec la partie centrale et le matériel qui les compose se bornera à proliférer mais sans se transformer en système nerveux, en chorde ou en somites mésoblastiques.

Pourtant ces cornes sont de vraies localisations germinales; elles sont visibles extérieurement; l'observation purement descriptive permet d'en reconnaître *de visu* la destinée normale. Elles sont donc préparées spécialement pour la subir, elles contiennent tout ce qu'il faut pour cela, sauf une impulsion qui reste nécessaire, quelque chose qui leur manque pour que se mette en marche le déploiement des énergies dont elles sont le substratum.

Chez les Anoures (et il en est peut-être de même chez les Urodèles) les zones organogènes à différenciation provoquée ont donc déjà subi, au cours de l'oogenèse, une véritable prédifférenciation et la preuve en est que le centre du croissant gris, capable de provoquer l'évolution complète des cornes latérales, est impuissant vis-à-vis des autres régions de l'œuf: si on transplante le rudiment de la lèvre crâniale du blastopore (= partie médiane du croissant gris) dans la région ventrale future d'un autre germe du même âge, il y subit bien sa différenciation propre, mais à l'inverse des Urodèles, il n'exerce aucune induction formatrice sur ce qui l'entoure.

Ces faits tendent à faire admettre que le centre organisateur autonome des Anoures secrète une substance, dont je ne voudrais pas me hasarder à préciser la nature et qui, passant dans les centres secondaires, suffit à les mettre en marche. Un puissant argument en faveur de cette manière de voir se dégage de relations très

remarquables, d'ordre quantitatif, dont il me reste à dire un mot pour terminer cette conférence.

Ainsi que nous l'avons vu, si on détruit totalement la partie droite ou gauche de la portion moyenne du croissant gris, ou si l'on interrompt totalement sa continuité avec la corne latérale correspondante, celle-ci ne subit aucune différenciation et on obtient un embryon auquel la moitié droite ou gauche de la nuque et du dos font complètement défaut, sans que cependant le matériel destiné à les former ait été lésé. Mais si la destruction ou l'interruption n'est pas totale, et si l'impulsion peut néanmoins se propager, on constate que le volume, c'est-à-dire la dimension dans le sens transversal des organes nuchaux et dorsaux est, du côté lésé, proportionnel à l'importance de la lésion destructrice du centre autonome: celui-ci, réduit en quantité dans sa moitié droite, par exemple, a formé une tête dont la moitié droite est plus petite que l'autre, et sur le prolongement de cette tête ainsi conformée, dans la nuque, dans le tronc et dans la queue, la moitié droite de tous les organes dorsaux qui les composent est réduite dans la même proportion. On obtient ainsi un embryon dont la moitié droite est une sorte de miniature de la moitié gauche.

Et pourtant, je le répète, la lésion a été étroitement localisée en un point choisi par l'expérimentateur: elle n'a pas diminué en quantité la substance normalement prédestinée à former le tronc du côté droit; elle a simplement diminué la puissance de l'impulsion qu'elle reçoit du centre autonome. Cette relation ne peut s'expliquer que par le passage d'une substance du centre autonome aux centres provoqués.

Mais si on pousse l'observation plus loin encore, une notion nouvelle et importante se dégage. Un embryon comme celui que je viens de décrire, dont une des moitiés du dos est normale tandis que l'autre en est une miniature, peut vivre assez longtemps. J'en ai élevé pendant 7 jours. L'éclosion se produit, le petit têtard nage, assez mal naturellement, se nourrit; le cœur bat, la circulation se fait bien, la nutrition est suffisante; il grandit normalement dans sa moitié saine, mais sa moitié lésée, tout en grandissant aussi, reste toujours une miniature de l'autre. Une circulation normale, une nutrition qui paraît l'être, sont donc impuissantes à combler le déficit initial. Les résultats de la lésion expérimentale sont indélébiles.

Si on tient compte des conditions de cette expérience, on aboutit à cette conclusion suggestive, que le centre autonome du croissant gris de l'œuf de grenouille contient en lui le facteur déterminant de la taille des organes auxquels il donnera directement naissance ou dont il provoquera la formation. En généralisant cette donnée, on peut formuler cette loi morphogénétique assez inattendue que l'œuf fécondé possède en lui, dans ses localisations germinales, la cause déterminante essentielle de la taille qu'atteindra l'organisme adulte auquel il donnera naissance. Ainsi ressort la raison profonde du fait que tous les êtres vivants ont une taille moyenne autour de laquelle ne se produisent normalement que des oscillations peu importantes.

* * *

Si fragmentaires, si incomplètes que soient encore les données qui viennent d'être exposées, elles sont néanmoins fort encourageantes pour l'avenir. Elles montrent à suffisance qu'une lumière diffuse, mais réelle, pénètre peu à peu dans le domaine obscur de la morphogenèse et permet d'expliquer bien des faits qui paraissaient ne pouvoir être que décrits et interprétés historiquement.

Elles sont encourageantes aussi parce que leur cohésion, leur enchaînement, assurent les chercheurs qu'ils sont dans la bonne voie et leur permet l'espérance que la vie, dans celles de ses manifestations où elle est vraiment créatrice des formes, des organes et de leurs structures, commence à se dégager du mystère qui l'enveloppait.

Neues aus der Werkstatt des Astronomen

von

L. COURVOISIER (Neubabelsberg bei Berlin)

Meine sehr verehrten Damen und Herren!

Gestatten Sie mir zunächst einige Worte über den Titel meines Vortrages: „Neues aus der Werkstatt des Astronomen.“ — Sie werden vielleicht sagen: Werkstatt des Astronomen? Aber, das ist ja wohl der ganze riesenweite Himmel, der unendliche Raum, in dem sich Blick und Geist des naiv beschauenden Menschen völlig verliert, und der uns gerade das Gegenteil zu sein scheint von dem Begriff des räumlich Geschlossenen, leicht Übersehbaren, Heimeligen, unter dem man sonst eine Werkstatt zu verstehen pflegt! Man denke nur etwa an Hans Sachs und seine gemütliche Schuhmacher- und Poetenbude! — Und doch, glaube ich, darf man auch von einer Art Astronomenwerkstatt reden, in dem gleichen freundlichen, sinnlich-geistigen Sinne wie er dem Heim des alten Hans Sachs zu eigen war. Denn, kann man nicht etwa den Lichtstrahl, der aus allen Himmelsweiten, vom äussersten Fixstern noch durch unsere Fernrohre zu uns dringt, als die riesenhafte „Greifzange“ betrachten, die uns die Sterne nach Belieben fein säuberlich zur bequemen Untersuchung vom Himmel herunter auf unsern Arbeitstisch legt? Umfängt nicht die Kamera des Astrographen auf engstem Raume ganze Welten, die dann Auge und Geist des Astronomen mit kleinen Schritten zu durchmessen vermag? Ist nicht die photographische Platte wie der „Amboss“, auf dem mit dem „Hammer“ der Erkenntnis, dem Mikroskop, Gesetze aller Art für ferne Himmelskörper geschmiedet werden können? — Nein, wirklich! Auch des Astronomen Arbeitsleben vollzieht sich in einer Werkstatt, in der Auge, Hand und Gedanken vollauf beschäftigt sind, die unerschöpflich zuströmende himmlische Materie zu sichten, zu ordnen, zu bearbeiten, und die vom Rhythmus der Sphärenharmonie durchpulst ist.

Schauen wir uns nun einmal in dieser Werkstatt um, was sie etwa an Neuartigem, Ungewohntem von Messinstrumenten, von geplanten Unternehmungen, von Entwürfen und dgl. aufweist! Da

sehen wir im Vordergrunde, arbeitsbereit, eine eigentümliche photographische Kamera stehen. Sie fällt auf durch die unverhältnismässig grosse Länge des Objektivglassystems von 50 cm, bei einem äusseren Durchmesser desselben von etwa 16 cm und einer Brennweite von nur 205 cm. Es sitzen in der Objektivfassung vier Linsen, und zwar an den Enden je eine bikonvexe Linse von 16 cm Durchmesser, im Innern, ungefähr in der Mitte und mit einem gegenseitigen Abstand von 6,5 cm, zwei bikkavische Linsen von nur 9 cm Durchmesser, zwischen denen sich noch eine zentrale Blende von 8,5 cm Öffnung befindet. Das Objektiv ist nach den Untersuchungen von KÜSTNER in Bonn, der das Instrument bei Zeiss bestellt hat, imstande, in der Brennebene, auf einer Plattenfläche von 20×20 cm, entsprechend einem Feld von $5\frac{1}{2}^\circ$ Seitenlänge (d. h. ungefähr von der Grösse der Hyadengruppe um Aldebaran), die Bilder der aufgenommenen Sterne durchweg vollkommen rund und gut messbar aufzuzeichnen, mit einem Verzerrungsfehler, der am Rande der Platte $0'',2$ bzw. 0,002 mm nicht übersteigt. Das Instrument stellt also eine neue, zur genauesten und zugleich raschesten Kartographierung des Himmels verwendbare Grossfeldkamera dar. Welchem besonderen Zwecke soll sie nun aber dienen? Ich muss, um Ihnen dies zu schildern, etwas weiter ausholen.

Im Jahre 1863 wurde die internationale „Astronomische Gesellschaft“ gegründet. Ihre Hauptaufgabe besteht darin, in gemeinschaftlicher Arbeit vieler Astronomen und Sternwarten diejenigen Unternehmungen zu fördern, die die Kräfte einzelner übersteigen. So tauchte sogleich als ihr erstes grosses Ziel auf: die genaue Katalogisierung aller Sterne des Nordhimmels bis zur 9. Grössenklasse. Kurz zuvor war von ARGELANDER, gemeinsam mit SCHÖNFELD und KRÜGER, das grossartige Werk der „Bonner Durchmusterung“ des Nordhimmels, umfassend die gewaltige Zahl von 324,200 Sternen bis zur mindestens 9. Grösse, nach Helligkeit und genähertem Ort, durchgeführt und dadurch das Feld gewissermassen geebnet worden. Diese gründliche Übersicht ermöglichte es nämlich jetzt, die sämtlichen Sterne der 9 ersten Grössenklassen einzeln aufzusuchen und ihren Ort und ihre Helligkeit so genau zu bestimmen, als es die instrumentellen Hilfsmittel zuließen. Dabei lag natürlich schon dem ersten Plane der Gedanke zugrunde, durch Wiederholung der Ortsbestimmungen nach angemessener Zwischenzeit, zu einer

Ableitung der Eigenbewegungen aller beobachteten Fixsterne, als dem Endzweck, zu gelangen.

Die ganze Riesenarbeit wurde damals ausschliesslich den vorhandenen grossen Meridiankreisen zugewiesen. Es beteiligten sich daran zuerst 13 Sternwarten, die den Nordhimmel zonenweise übernahmen, nämlich zwei amerikanische, vier deutsche, eine englische, eine finnische, eine holländische, eine norwegische, zwei russische, eine schwedische. Die Beobachtungen begannen 1868, waren in der Hauptsache etwa 1882 beendigt, zogen sich aber teilweise bis 1899 hinaus. Im ganzen wurden dabei rund 140,000 Sterne katalogisiert. Eine zweite Gruppe von fünf Sternwarten (zwei amerikanische, eine deutsche, eine französische, eine österreichische) führte später dieselbe Arbeit auch noch über das Gebiet der sogenannten „Südlichen Bonner Durchmusterung“ weiter, d. h. die Zone von -2° bis -23° Deklination, die von SCHÖNFIELD in Bonn von 1875 an durchmustert worden war. Dieser zweite Teil des Unternehmens, mit noch rund 40,000 Sternen, wurde zwischen 1888 und 1905 erledigt. Damit war das gewaltige Werk geschaffen, das man „Zonenkatalog der A. G.“ nennt und das die unentbehrliche Grundlage bildete für alle späteren Forschungen am Himmel.

Die Wiederholung des ganzen Unternehmens, die in grosszügiger Weise die Bestimmung der Eigenbewegungen liefern soll, war in dem ersten Plane nach Ablauf von etwa 50 Jahren nach der mittleren Beobachtungszeit in Aussicht genommen, d. h. ungefähr für die Jahre 1925 bis 1930. Uns Epigonen fällt nun die schwere, aber dankbare und ehrenvolle Aufgabe zu, das Werk unserer Vorgänger nicht nur zu erneuern, sondern womöglich auch zu verbessern und an Genauigkeit zu überholen. Der neue Plan der A. G. geht deshalb dahin, die Wiederholung der Beobachtungen nicht mehr von Meridiankreisen allein ausführen zu lassen, sondern die dabei kaum zu umgehende Zersplitterung der Arbeit nach Zeit und Ort dadurch zu vermeiden, dass diesmal der Himmel in der Hauptsache photographisch aufgenommen und vermessen wird, den Meridiankreisen im besonderen aber die genaue Ortsbestimmung der sogenannten Anhaltsterne, die zur Orientierung der Platten nötig sind, sowie natürlich die Kontrolle des dem Ganzen zugrunde liegenden Fundamentalkataloges verbleibt.

Die photographische Aufnahme soll sich zunächst auf den Nordhimmel bis zu -5° Deklination, also im wesentlichen auf das

Gebiet der „Bonner Durchmusterung“, beschränken. Sie wird mit drei Zeiss'schen Kameras der beschriebenen Form und Grösse durchgeführt an den drei Sternwarten Pulkowa, Bergedorf, Bonn, und zwar in der Weise, dass Pulkowa die Polkalotte von 90° bis 70° Deklination übernimmt, Bergedorf und Bonn sich in die Zone $+70^\circ$ bis -5° Deklination teilen. Die Aufnahme wird zur Kontrolle doppelt gemacht, wobei sich die Plattenfelder ziegelartig überdecken. Im ganzen werden etwa 2000 Platten mit 5×5 Grad-Feld nötig sein, die in wenigen Jahren zu erhalten sind. Zu gleicher Zeit sollen an einer beschränkten Zahl von Sternwarten mit guten Meridiankreisen die bereits ausgesuchten 13,750 Anhaltsterne für die Platten je zweimal beobachtet werden. Es haben dabei übernommen: Babelsberg und Bergedorf je den ganzen Nordhimmel; ferner noch einzelne Zonen desselben:

Breslau,	Zone	90°	bis	60° ,	mit rund	1700	Sternen	
Pulkowa,	"	60	"	35	,	"	3700	"
Bonn,	"	35	"	20	,	"	2900	"
Leipzig,	"	20	"	5	,	"	3250	"
Königstuhl,	"	5	"	-5	,	"	2200	"
Zusammen							13,750	Sterne

Von jedem Anhaltstern werden also mindestens sechs Beobachtungen vorliegen. Es wird damit gerechnet, dass die gesamte Beobachtungsarbeit in den vorgesehenen vier Jahren, von 1928 bis 1932, zu Ende geführt werden kann, und dass der geschilderte Typ der photographischen Kamera eine erhebliche Steigerung der Genauigkeit gegen früher erlaubt.

Neben dieser genauen Messungen dienenden Grossfeldkamera stehen jetzt auch sogenannte Weitwinkelkameras in Gebrauch, die, lediglich zu Durchmusterungszwecken, ein ungeheures Feld auf einmal aufzunehmen ermöglichen. Als Beispiel eines solchen kurzbrennweitigen Objektivtypus sei hier nur kurz genannt das „Ernostar“ (der Ernemann-Werke in Dresden), das bei einer Öffnung von 13,5 cm eine Brennweite von nur 24 cm hat und ein kreisförmiges Feld von fast 40° Durchmesser, also bequem das Sternbild des grossen Löwen umfassend, abzubilden vermag. Dieses Objektiv ist von den drei Sternwarten Babelsberg, Bamberg und Sonneberg ausgewählt worden, um einer fortlaufenden kooperativen photographischen Durchmusterung des ganzen Nordhimmels

bis zu 30° südlicher Deklination zu dienen. Das Arbeitsgebiet soll durchschnittlich einmal pro Monat aufgenommen werden, bis etwa zur 14. Sterngrösse. Das Unternehmen hat vor allem den Zweck der Kontrolle bekannter veränderlicher Sterne und der Auffindung neuer. Welche Aussichten sich dabei eröffnen, kann man daran ermessen, dass bei Versuchen mit dem „Ernostar“ in Babelsberg in weniger als einem Jahre 30 neue kurzperiodische Veränderliche aufgefunden worden sind.

Bei der weiteren Umschau in unserer Astronomenwerkstatt treffen wir u. a. auch auf ein Meridianinstrument, das mit einer photoelektrischen Einrichtung zum Registrieren von Sterndurchgängen versehen ist. Während die von ELSTER und GEITEL in die Physik eingeführten lichtempfindlichen photoelektrischen Alkalizellen in der Astronomie schon seit einiger Zeit (zuerst 1912 von GUTHNICK auf der Berliner Sternwarte) zur Messung von Sternhelligkeiten mit einer alle früheren Methoden weit übertreffenden Genauigkeit verwendet werden — und zwar prinzipiell, indem das im Brennpunkt eines Fernrohrs auf die Zelle fallende Sternlicht einen schwachen elektrischen Strom, den Photostrom, auslöst, der mittels eines Elektrometers gemessen wird — haben die Versuche, die Zellen auch zur genauen Notierung von Zeitmomenten bei Sterndurchgängen zu benutzen, zuerst in Kopenhagen, nach der Methode des jungen Astronomen BENGT STRÖMGREN, praktischen Erfolg gehabt. Das Verfahren beruht darauf, dass in den Momenten des Verschwindens und Wiederauftauchens eines das Gesichtsfeld des Fernrohrs durchlaufenden Sterns, hinter einer Reihe dort befestigter Lamellen, der Photostrom abwechselnd aus- und eingeschaltet wird. Die Hauptschwierigkeit der Aufgabe liegt dann in der notwendigen Verstärkung des Photostroms. Dieselbe wurde in sinnreicher Weise mittels eines Elektronenrelais erreicht; der verstärkte Strom genügt, um ein mechanisches Relais zu betätigen, welches schliesslich die Signale auf den Chronographen weitergibt, auf dem auch die Sekundenschläge der Arbeitsuhr markiert werden. Es wird so möglich, ganz unbeeinflusst von persönlichen Beobachtungsfehlern, die Meridiandurchgangszeiten von Sternen sich automatisch aufzeichnen zu lassen, die Zeit bezw. die Rektaszensionen von Sternen zu bestimmen. Durch fortwährende Verbesserungen der Einrichtung ist es STRÖMGREN schon jetzt gelungen, an dem Meridiankreis von nur 12 cm Öffnung Sterne

bis zur 7. Grösse zu registrieren, mit einer Genauigkeit, die diejenige der bisherigen besten Beobachtungsmethode erheblich übertrifft. Man kann erwarten, dass bei weiterer Steigerung der Stromverstärkung in absehbarer Zeit auch die Sterne der Grösse 9,5 noch erfasst werden können. Ich sehe daher wohl nichts Unmögliches voraus, wenn ich annehme, dass in abermals 50 Jahren, bei der eventuellen zweiten Wiederholung des Zonenunternehmens der A. G., die vollständige Ortsbestimmung sämtlicher Sterne in beiden Koordinaten — und zwar mittels schräg gestellter Lamellen im Gesichtsfeld — nur noch durch photoelektrische Registrierung, also rein objektiv, ausgeführt wird.

Noch eine wichtige Erweiterungsmöglichkeit der photoelektrischen Methode will ich Ihnen erwähnen: Während unser Auge auf Helligkeitsunterschiede nur nach der Verhältniszahl der betreffenden Helligkeiten reagiert und von einer bestimmten kleinen Proportion an versagt, z. B. also Sterne bei Tage im allgemeinen nicht zu erkennen vermag, summiert die Photozelle einfach die einzelnen Intensitäten auf, d. h. einer gleichen Vergrösserung der Helligkeit entspricht stets die gleiche Vergrösserung des Photostroms, gleichgültig, wie gross die ursprüngliche Helligkeit an sich war. Damit eröffnet sich die interessante Aussicht, dass bei geeigneter Weiterbildung des Verfahrens die Sterne auch am Tage und unter Umständen sogar in nächster Nähe der Sonne registriert werden können, was das heutzutage so wertvolle Studium des Sternfeldes in der Sonnenumgebung von den seltenen totalen Sonnenfinsternissen unabhängig machen und damit sehr erleichtern würde.

Wir gehen jetzt zur Beschreibung eines Instrumentes über, das eben erst aus den Händen seines Verfertigers entlassen, ohne Proben seines Könnens aufgewiesen zu haben, gewissermassen noch in Kisten verpackt in der Werkstatt des Astronomen herumliegt und dem forschenden Auge des Besuchers sich noch schamhaft verhüllt. Aus bestimmten Gründen bin ich aber in der Lage, den Schleier des Geheimnisses ein wenig zu lüften und Ihnen zu verraten, was denn die Kisten enthalten und was damit geplant wird. Es handelt sich um ein auf Kosten der Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft von der Firma Zeiss gebautes und der Babelsberger Sternwarte zur Verfügung gestelltes, neuartiges astrometrisches Instrument, das man „Grossbogenmesser“ nennen könnte, weil es, im Gegensatz zu den bisher vielfach ver-

wendeten Mikrometern, die genaue Vermessung grosser Winkelabstände zwischen zwei Gestirnen am Himmel zulässt, und zwar unmittelbar, d. h. vorteilhafterweise völlig unabhängig von der Lage des Beobachtungsortes und von den Bewegungen der Erdachse im Raum, wie Präzession und Nutation.

Wie wird dies erreicht? Die allgemeine Form des Versuchsinstrumentes ist die eines kleineren Refraktors, von 16 cm Objektivöffnung und 160 cm Brennweite, der am Okular mit einem Positions-fadenmikrometer versehen ist, wie es etwa zu Doppelsternmessungen gebraucht wird. Der Objektivkopf trägt nun abweichend an einem diagonalen Rahmen zwei einander gegenüberliegende Doppelspiegel, die sowohl als Ganzes im Positionswinkel, also um die optische Achse des Fernrohrs, beliebig gedreht, als auch einzeln je in drei typische Stellungen zum Objektiv gebracht werden können. In der ersten Stellung tritt der betreffende Spiegel ganz vor die eine Objektivhälfte, in der zweiten schräg neben dieselbe, so dass Strahlen parallel zur optischen Achse noch passieren können, und in der dritten, der Ruhestellung, lässt er sie völlig frei. Die zwei Planspiegel jedes einzelnen der Doppelspiegel bilden zueinander einen Winkel von rund 45° , so dass ein in der Normalebene der Spiegel einfallender Lichtstrahl stets um nahe 90° abgelenkt wird. Bringe ich nun einen der Doppelspiegel in Stellung 1), d. h. vor die eine Objektivhälfte, den andern in die Ruhestellung, so kann ich durch die freie Objektivhälfte einen in der Richtung der optischen Achse stehenden Stern direkt anvisieren, während das Bild eines zweiten, 90° von ihm entfernten Sterns mit Hilfe des Doppelspiegels durch die zweite Objektivhälfte ins Fernrohr hineingespiegelt werden kann. (Dabei sei noch bemerkt, dass die beiden Doppelspiegel sich natürlich in ihren Stellungen vertauschen lassen.) Beide Bilder der zwei Sterne liegen jetzt im Gesichtsfeld nebeneinander und ihr Abstand wird in der üblichen Weise mikrometrisch vermessen. Um aber ihren tatsächlichen grossen Winkelabstand am Himmel zu erhalten, ist die genaue Kenntnis des Ablenkungswinkels des benutzten Doppelspiegels bzw. beider Doppelspiegel zusammen erforderlich. Diese wird in der folgenden Weise gewonnen: Man lasse Doppelspiegel 1) in Stellung 1), und bringe noch Doppelspiegel 2) in Stellung 2), so wird das Licht eines anvisierten Sterns durch die freie Objektivhälfte direkt ins Fernrohr gelangen, ausserdem aber auf dem Weg über Doppelspiegel 2) und Doppel-

spiegel 1) und die andere Objektivhälfte auch gespiegelt, da die Summe der Ablenkungswinkel beider Doppelspiegel ja nahe 180° ist. Es entstehen also von einem und demselben Stern zwei Bilder, deren Abstand wie vorher ausgemessen wird, wodurch sich die Summe der Ablenkungswinkel mit aller Genauigkeit bestimmt. Nun bedarf es bei der Abstandsmessung zweier Sterne nur der abwechselnden Benutzung beider Doppelspiegel, um im Mittel der Beobachtungen, unter Anwendung der halben Summe der Ablenkungswinkel, den gesuchten Abstand einwandfrei zu erhalten. Es ist noch hervorzuheben, dass die Winkelsumme jederzeit nach Belieben zu kontrollieren sein wird, was wegen der eventuellen thermischen und zeitlichen Veränderungen der Spiegelwinkel von besonderer Wichtigkeit ist.

Die speziellen Aufgaben, die dem Instrumente zufallen, sind mannigfacher Art. Da lässt sich u. a. nennen die allgemeine Untersuchung der atmosphärischen Refraktion, in beliebigen Azimuten und unabhängig von der bei Meridianbeobachtungen unvermeidlichen gleichzeitigen Bestimmung der Polhöhe (geogr. Breite) des Beobachtungsortes. Sie wird eine sehr erwünschte Kontrolle abgeben für alle bisherigen Refraktionsbestimmungen und gebräuchlichen Refraktionstafeln. Ferner kommt in Frage eine neue Messung der Fixsternaberration, ebenso das weitere Studium der sogenannten „Jährlichen Refraktion“. Der Hauptzweck der Beobachtungen mit dem Instrument ist aber die erneute, genaue Bestimmung des Sonnenapex, des Zielpunktes der Sonnenbewegung unter den Fixsternen, und in Verbindung damit die Ableitung von mittleren Parallaxen bezw. Entfernung der beobachteten Sterngruppen aus den gefundenen parallaktischen Eigenbewegungen der Sterne. Die Methode beruht darauf, dass mit dem „Grossbogenmesser“ die Winkelabstände aller um einen apexnahen Stern herum angeordneten, je ungefähr 90° von ihm entfernten, d. h. in einer schmalen Grosskreiszone liegenden Zonensterne ausgemessen werden können. Der Apex selbst wird auf Grund des Satzes gefunden, dass für ihn die Summe der parallaktischen (also der infolge der Sonnenbewegung nur scheinbar vorhandenen) Eigenbewegungen der Zonensterne ein Maximum sein muss. Es steht zu erwarten, dass das Instrument dem Astronomen ein neues und weites Arbeitsfeld eröffnet, das hoffentlich in Zukunft reiche Früchte trägt.

Das Durchstöbern der Astronomenwerkstatt fördert endlich in

einer entfernten Ecke ein altes Requisit zu Tage, das einmal vor Zeiten gute Dienste getan hat, dann aber ziemlich achtlos bei Seite gestellt wurde und jetzt vom Staub der Vergessenheit bedeckt ist. Ich meine damit altes Beobachtungsmaterial, umfangreiche, genaue und sorgfältig bearbeitete Reflektiert-Direkt-Beobachtungen von Polaris und drei anderen polnahen Sternen, die mit dem Meridiankreis der Leidener Sternwarte 1862 bis 1874 gesammelt wurden, zu dem Zwecke, die Polhöhe und nebenbei auch die Biegung des Meridianfernrohrs zu bestimmen. Das damals an manchen Sternwarten übliche Beobachtungsverfahren bestand darin, dass man den Polarstern nicht nur direkt anvisierte und seine Zenitdistanz mass, sondern auch sein in einem Quecksilberhorizont entstehendes Spiegelbild einstellte und dessen Zenitdistanz bestimmte. Auf diese Weise erhielt man schliesslich die Polhöhe frei von dem Fehler der Biegung.

Nun bedeutet aber die direkt gemessene Zenitdistanz nichts anderes als den Einfallswinkel eines Lichtstrahls auf den Quecksilberspiegel, und die reflektiert gemessene, von 180° abgezogen, den entsprechenden Reflexionswinkel. Sehen wir uns daraufhin die von allen Fehlern, namentlich dem der Biegung, möglichst gereinigten Beobachtungsresultate doch noch etwas näher an! Da fällt sofort auf, dass der Unterschied zwischen Reflexionswinkel und Einfallswinkel im Durchschnitt nicht, wie erwartet, zu null herauskommt, sondern einen merklichen positiven Betrag aufweist, und dass die Mittelwerte für die verschiedenen Sterne und ihre beiden Kulminationen, d. h. also für verschiedene Sternzeiten, ungleich gross sind. Wir wollen jetzt einmal von der banalen Erklärung durch noch unbekannte systematische Beobachtungsfehler absehen. Was mag dann die Ursache der Erscheinung sein? Wenn wir uns auf den soliden Boden der Absoluttheorie, d. h. der alten Lichtäthertheorie stellen, so finden wir des Rätsels Lösung darin, dass der benutzte Quecksilberspiegel bezw. die Erde, die ihn trägt, relativ zum Lichtäther sich mit grosser Geschwindigkeit bewegt. Für gewöhnlich rechnet man damit, wie jedermann weiss, dass bei einem ebenen Spiegel der Reflexionswinkel genau gleich dem Einfallswinkel sei. Diese Annahme gilt aber nach der Absoluttheorie nur streng, solange der Spiegel im Äther ruht. Sobald er sich gegen ihn bewegt, lässt sich theoretisch nachweisen, dass die Differenz: Reflexionswinkel — Einfallswinkel nicht mehr null ist, sondern

einen berechenbaren Betrag erreicht, der von dem Quadrat des Verhältnisses v/c , Spiegelgeschwindigkeit : Lichtgeschwindigkeit im Äther abhängt. Da die Lichtgeschwindigkeit 300,000 km/sek. beträgt, so bedarf es schon einer auch für kosmische Begriffe ungewöhnlich grossen Translationsgeschwindigkeit der Erde, von mindestens 300 km/sek., um die Differenz von Reflexionswinkel und Einfallswinkel selbst für die genauesten astronomischen Messungen bemerkbar zu machen. Eine solch grosse Geschwindigkeit wird aber dadurch wesentlich plausibler, dass in den letzten Jahren an Spiralnebeln Radialgeschwindigkeiten von 1000 km/sek., ja 1500 km/sek. und mehr beobachtet worden sind.

Gehen wir an die Berechnung der Erdbewegung im Äther aus den Leidener Meridianbeobachtungen, so ist noch zu bedenken, dass die Erde sich ja dreht, dass somit die Meridiankomponenten der stets in gleicher Richtung im Raume vor sich gehenden „absoluten“ Bewegung mit der Periode eines Sternabends (der wahren Umdrehungszeit der Erde) veränderlich sein müssen, und ebenso der beobachtete Effekt, wie es tatsächlich in Leiden der Fall zu sein schien. Dieser Umstand ermöglicht es uns, prinzipiell aus einer Reihe von zu verschiedenen Sternzeiten gemessenen Effekten, durch Ausgleichsrechnung Grösse und Richtung der „absoluten“ Erdbewegung zu bestimmen. Aus der Bearbeitung der acht Leidener Mittelwerte folgt so für die Richtung der Erdbewegung ein Punkt im Sternbild des Fuhrmanns, mit $\alpha = 104^\circ$, $\delta = + 39^\circ$, für die Geschwindigkeit v rund 800 km/sek.

Eine Kontrolle dieses nach dem Untersuchungsprinzip des „bewegten Spiegels“ erhaltenen Resultates bot sich sogleich auf ganz anderem Wege, mit Hilfe einer bereits vorhandenen, von mir 1914—1917 am Vertikalkreise der Sternwarte Babelsberg ausgeführten, umfangreichen Messungsreihe von Zenitdistanzen eines sehr polnahen, schwachen Sterns, und auf Grund folgender Überlegung: Wenn man sich die ursprüngliche LORENTZsche Hypothese zu eigen macht, wonach alle materiellen Körper bei der Bewegung durch den Äther eine von der Geschwindigkeit in rechnerisch bestimmbarer Weise abhängige reelle Kontraktion in der Bewegungsrichtung erfahren — wir wollen sie „Lorentz-Kontraktion“ nennen — so wird wegen der Erddeformation nicht nur jeder Beobachtungsort eine periodische Verschiebung im Raume erleiden, sondern auch seine Lotlinie bezw. sein Zenit wird innerhalb eines

Sterntages periodische Schwankungen ausführen. Da aber die Richtung nach einem Fixstern praktisch natürlich unverändert bleibt, so muss diese Zenitschwankung prinzipiell aus den fortgesetzten Messungen der Zenitdistanz eines Polsterns erkennbar sein. In meinen Beobachtungen zeigte sich nun in der Tat die vermutete 12-stündige Schwankung, und die rechnerische Ausgleichung ergab für den Zielpunkt der Erdbewegung: $\alpha = 49^\circ$, und für die Geschwindigkeit ca. 700 km/sek., also Werte, die mit den vorigen verhältnismässig sehr gut übereinstimmen.

Dieses befriedigende vorläufige Ergebnis war nun der Anstoß zu langjährigen, eingehenden Untersuchungen, die gesondert nach den zwei erwähnten Prinzipien, dem der „Lorentz-Kontraktion“ und dem des „bewegten Spiegels“, und auf mancherlei völlig verschiedenen Wegen, zumeist auf der Babelsberger Sternwarte angestellt wurden. Es würde hier viel zu weit führen, auf alle einzelnen Beobachtungsreihen und Methoden besonders einzugehen; ich muss mich daher darauf beschränken, eine kurze Übersicht zu geben. Nach dem Prinzip der „Lorentz-Kontraktion“ sind an astronomischen Beobachtungen ausgewertet worden: 1) Messungen der Zenitdistanz; 2) Nadir- bzw. Zenitpunktbeobachtungen; 3) wurden besondere Lotschwankungsversuche gemacht, mit einem Zeigerstab an Stelle des Meridianfernrohrs. Sodann folgten, ausgehend von der Erwägung, dass die für einen Ort periodische Erdkontraktion eine ebenso periodische Schwankung der Schwerkraft und damit auch eine tägliche Schwankung im Gang einer Pendeluhr zur Folge haben müsse: 4) Versuche mit sehr empfindlichen Gravimetern, einer Federwaage und einem Torsionsgravimeter; 5) Vergleichungen von Pendeluhren mit Chronometern; 6) Auswertungen von funkentelegraphischen Uhrvergleichungen zwischen Amerika und Europa mittels der Annapolis-Zeitsignale usf.; 7) Vergleichungen von Sternkatalogen, gewonnen an nördlichen und südlichen Sternwarten. Das Programm der Arbeiten nach dem Prinzip des „bewegten Spiegels“ enthielt dagegen: 1) die erwähnten Leidener Reflektiert—Direkt-Beobachtungen; 2) R.—D.-Beobachtungen in Babelsberg; 3) Messungen mit dem festen „Absolutbewegungsmesser“; 4) Messungen mit dem drehbaren „Absolutbewegungsmesser“.

Die letzteren will ich noch etwas genauer beschreiben, da sie besonders instruktiv sind. An Stelle des auf den Quecksilberhorizont einfallenden Fixsternlichtes kann man nach der Absoluttheorie

ebensogut eine irdische Lichtquelle verwenden. Der „Absolutbewegungsmesser“ besteht daher einfach aus zwei in einer bestimmten Vertikalebene symmetrisch gegen einen zwischen ihnen liegenden Quecksilberhorizont geneigten Fernrohren, von denen das eine, der Kollimator, mit Fadenkreuz und Beleuchtungslämpchen versehen, den einfallenden Lichtstrahl liefert, während das Einstellfernrohr die genaue Höhenmessung des Fadenreflexes erlaubt. Es wurden zwei Apparate benutzt; bei dem einen waren die beiden Fernrohre fest aufgestellt, bei dem andern befanden sie sich nebst dem Quecksilberhorizont auf einem in Azimut drehbaren Träger und konnten in jede beliebige Richtung gebracht werden, ausserdem waren sie mit zwei Libellen ausgestattet. Eine einfache Überlegung zeigt dann, dass in diesem Falle die aufeinanderfolgenden Einstellungen in zwei entgegengesetzten Azimuten unmittelbar die doppelte Differenz Reflexionswinkel—Einfallsinkel für die betreffende Sternzeit und die betreffende Vertikalebene ergeben. Die Methode hat gegenüber allen andern angewendeten den grossen Vorteil, dass sie sich in hohem Masse von systematischen Beobachtungsfehlern freimacht, und dass sie nicht an eine bestimmte Zeitfolge der Messungen gebunden ist. Um Ihnen einen Begriff von der Grösse der gefundenen Effekte zu geben, erwähne ich noch, dass die extremen Werte der doppelten Differenz: Reflexionswinkel—Einfallsinkel in der W.-O.-Richtung $\pm 0'',7$ erreichen, somit ganz sicher zu messen sind. Da der bisher in Babelsberg benutzte provisorische Apparat von etwas geringen Dimensionen war, ist der Bau eines neuen, grösseren Instrumentes in Aussicht genommen, mit dem künftighin auch in quantitativer Hinsicht entscheidende Messungen angestellt werden sollen.

Ein Blick auf die aus den erwähnten vielerlei Spezialuntersuchungen gewonnenen Einzelresultate für Zielpunkt und Grösse der vermuteten Erdbewegung genügt nun, um davon zu überzeugen, dass sie alle qualitativ vollkommen übereinstimmen, bezw. dass sie tatsächlich die verschiedenen Auswirkungen einer und derselben Naturerscheinung darstellen. Es dürfte kaum mehr zweifelhaft sein, dass wir unter dieser Naturerscheinung die bisher unbekannte grosse Translationsbewegung der Erde durch den Lichtäther zu verstehen haben.

Das vorläufige Endergebnis der ganzen Untersuchung besagt nun zunächst: Die Erde bewegt sich durch den

Lichtäther in der ungefährnen Richtung nach dem Stern Capella (im Fuhrmann) hin, mit einer Geschwindigkeit von 600—700 km/sec. — Selbstverständlich führt nicht nur unsere kleine Erde allein diese gewaltige Bewegung aus, sondern Sonne und übrige Planeten mit ihr, ja das ganze Fixsternsystem, denn die beobachteten Durchschnittsgeschwindigkeiten innerhalb dieses Systems sind viel kleiner. Es ist sogar nicht ausgeschlossen, dass der gesamte Milchstrassenkomplex an der Translation teilnimmt, da gewisse Anzeichen dafür sprechen, dass unsere Milchstrasse gegenüber andern, fernen Milchstrassensystemen, Spiralnebeln, eine nach Grösse und Richtung ähnliche Bewegung hat.

Das Beobachtungsergebnis bestätigt aber ferner die alten Lorentzschen Hypothesen der Absoluttheorie vom im Universum „ruhenden“ Lichtäther und von der reellen Kontraktion der materiellen Körper bei der Bewegung durch den Äther, und steht damit in vollständigem Widerspruch zu den Grundsätzen der Relativitätstheorie. Wir wollen hoffen, dass durch baldige Wiederholung der besprochenen Versuche von anderer Seite her, das Gewicht der Erfahrungstatsachen noch vermehrt wird, und die für die Physik so hochwichtige Frage rascher zur Entwicklung kommt als bisher!

Am Schlusse meiner Ausführungen drängt es mich, meiner tiefen und freudigen Empfindung darüber Ausdruck zu geben, dass es mir vergönnt war, gerade hier, in der alten Heimat und vor nahen und ferneren Freunden und Landsleuten von einigen Arbeiten und Plänen zu berichten, die uns praktische Astronomen in dieser Zeit vorwiegend beschäftigen und interessieren. Ich möchte nicht unterlassen, der Naturforschenden Gesellschaft von Basel und ihrem hochverehrten Präsidenten meinen Dank dafür abzustatten.

L'Oural au point de vue géophysique, géologique et minier

par

L. DUPARC (Genève)

L'Oural constitue une chaîne de plus de 2000 km de longueur, dont l'orientation est en moyenne N S, et dont la largeur maxima est d'environ 300 km à la hauteur d'Oufa, 200 km en face de Tscherdyn, et 90 km au coude Kara. Les rides qui composent cette longue chaîne sont ordinairement peu élevées (400 à 700 m); c'est seulement dans le voisinage de la ligne de partage des eaux européennes et asiatiques ou sur celle-ci, qu'on trouve des montagnes dont la hauteur peut atteindre jusqu'à 1600 m (Kanjakowsky, Toulimsky-Kamen). Le caractère topographique de l'Oural est très uniforme; il est constitué par des crêtes boisées, relativement basses, qui se succèdent de l'Est à l'Ouest avec une grande monotonie. La ligne de partage elle-même coïncide tantôt avec les montagnes les plus élevées ce qui est ordinairement le cas, tantôt avec une région plate et marécageuse. De toute façon, le relief est asymétrique, et tandis qu'à partir de la ligne de partage, les rides se succèdent à l'infini vers l'Ouest; vers l'Est, au contraire, on observe ordinairement quelques crêtes parallèles ou encore une chaîne plus élevée, auxquelles succède une région faiblement vallonnée, qui constitue l'Oural sibérien caractérisé par la présence de nombreux petits lacs d'eau douce ou d'eau saumâtre.

La topographie des chaînes de l'Oural est très particulière par suite de la présence du phénomène des hautes terrasses, signalé pour la première fois par l'auteur. Celui-ci consiste dans le fait que depuis les sommets les plus élevés jusqu'aux vallées les plus profondes, les flancs des montagnes sont découpés en terrasses successives, qui gardent un même niveau sur des étendues considérables. Les plateaux parfaitement horizontaux qui terminent les chaînes les plus importantes sont eux-mêmes des terrasses, et sur ces plateaux s'élèvent fréquemment des petits sommets rocheux isolés, qui sont découpés en gradins également. Cette topographie

est aussi caractéristique que celle glaciaire de nos régions; ces terrasses sont creusées dans le roc vif, et ne sont point recouvertes par des dépôts; elles sont antérieures aux rivières quaternaires qui les entament, et représentent certainement le reste d'une topographie très ancienne, dont il n'est pas possible de préciser la date.

De très nombreuses rivières descendant des deux versants de l'Oural. Les plus importantes s'amorcent généralement sur la ligne de partage, dans des marécages ou dans des vallées d'érosion. Leur cours supérieur est, ordinairement, parallèle à la direction des chaînes, puis ces rivières tournent brusquement, et dans leur cours moyen coulent dans de véritables cluses qui entament perpendiculairement les chaînes. Les rapides sont alors fréquents, ils portent dans le pays le nom de «touloums». Dans la région de leur cours inférieur, les rivières coupent alors obliquement les chaînes, et près de leur confluent, elles forment d'innombrables méandres. D'une manière générale, la profondeur des rivières de l'Oural est faible à l'époque des basses eaux; au printemps, au moment des crues, le niveau monte de plusieurs mètres, le volume des eaux roulées en ce moment est considérable, et c'est cette période qu'on utilise pour descendre sur de grandes barques de bois les produits métallurgiques de l'Oural.

La végétation arborescente couvre, pour ainsi dire, tout le pays; la forêt est interminable et les principales essences qu'on y rencontre sont le sapin, le pin, le mélèze et le bouleau. Les sapins se trouvent ordinairement de préférence sur le versant occidental qui est plus humide, les pins sur le versant oriental. Quant aux bouleaux, on le voit partout, surtout sur les bords des rivières. La hauteur de la limite de végétation varie, dans l'Oural du sud elle oscille entre 900 et 1000 mètres, dans l'Oural du centre entre 800 et 850 mètres et dans l'Oural du nord entre 600 et 700 mètres. Au-dessous de la limite de végétation, les montagnes sont pelées, rocheuses, souvent recouvertes de lichens. A la limite même, il existe souvent une zone étroite d'arbres rabougris et clairsemés. Dans la forêt, il existe par endroits des clairières couvertes d'une herbe drue qui sont toujours des tourbières dont la traversée est parfois très dangereuse. Pendant l'été, la forêt brûle un peu partout, et on rencontre alors d'immenses espaces couverts de troncs carbonisés, qui se dressent au milieu d'un inextricable fouillis de broussailles. La forêt est d'ailleurs très peuplée. On y trouve en

abondance, l'ours, le glouton, la martre et la loutre sur les rivières; puis des oiseaux en grand nombre, notamment la gélinotte et le coq de bruyère. Dans les régions marécageuses et sur les rivières, on voit d'innombrables vols de canards et de gibier aquatique, et dans les régions dénudées de végétation, le renne et l'élan comme gros gibier et la perdrix blanche comme gibier à plumes.

La population de l'Oural est très clairsemée, en dehors de celle qui vit sur les centres usiniers où se trouve une population très bigarrée composée d'éléments venus des divers points de la Russie et de la Sibérie. Dans l'Oural du sud, l'élément autochtone est représenté par les Baschkirs, peuple mongol qui est en partie propriétaire du sol. Dans l'Oural central et aussi l'Oural du nord, les rares villages perdus au milieu de la forêt profonde sont habités par une population sédentaire vivant de chasse et de pêche, produit du croisement de Russes avec des éléments autochtones aujourd'hui disparus. Enfin dans l'Oural tout à fait septentrional, on rencontre encore quelques groupes d'Ostiaks et de Samoyèdes nomades, qui vivent sous la tente avec leurs troupeaux de rennes. Dans les villages dont il a été question, les habitants construisent des maisons de bois appelées « isbas » qui sont adaptées aux conditions climatériques et qui rappellent plus ou moins nos chalets.

On peut pénétrer dans l'Oural par les moyens de communication ordinaires, c'est-à-dire par de fort mauvaises routes qui relient en général les uns aux autres les centres usiniers principaux. Mais dès qu'il s'agit de faire une expédition dans une région inhabitée, le seul moyen qui reste c'est de remonter aussi haut que possible une grande rivière dans des pirogues creusées dans des troncs d'arbres, et que deux hommes manœuvrent à la gaffe; puis quand on ne peut plus avancer davantage, d'aller à pied en caravane à travers la forêt jusque dans la région des hautes montagnes. Le ravitaillement est fort difficile et la marche extrêmement pénible; il faut pendant de longues semaines camper en plein air sous une toile jetée sur une frêle charpente improvisée, disposée en plan incliné. On se défend contre les moustiques et aussi contre le froid par d'énormes feux qu'on entretient toute la nuit.

La géologie de l'Oural est dans ses grandes lignes la suivante: le versant européen de la chaîne est formé jusqu'à la plate-forme russe d'une série d'ondulations anticlinales et synclinales très plates, sorte de vaste Jura paléozoïque, constitué par les couches plissées

du Dévonien et du Carbonifère, avec le Permo carbonifère dans les synclinaux des rides les plus occidentales. Dans la région de la ligne de partage, les plis sont formés par des anticlinaux de quartzites, généralement déjetés vers l'Ouest, et flanqués par des schistes cristallins. C'est dans cette région que l'on trouve les longues chaînes formées de roches éruptives basiques que l'on peut suivre sur une grande étendue. Dans la région de l'Oural sibérien, à l'Est de la ligne de partage, la structure est toute différente ; on trouve là un complexe de schistes cristallins variés traversé par des roches éruptives profondes acides et basiques, puis par des roches d'épanchement variées. Le Dévonien et le Carbonifère apparaissent aussi, mais sont souvent métamorphosés, et leur disposition est beaucoup moins simple que sur le versant européen. Plus à l'Est, bordant la zone de l'Oural proprement dit, se trouve le Tertiaire transgressif sur ce dernier, puis localement, entre le Tertiaire et les formations de l'Oural, on trouve des dépôts jurassiques.

L'Oural, comme les Alpes, a été le théâtre de mouvements successifs, et bien que la chaîne soit hercynienne dans son ensemble, on a constaté l'existence de ridements antédévoiens bien caractérisés. D'autre part, de légers mouvements se sont faits sentir également après le dépôt du jurassique, car les lignites de Bogoslowsk ne sont pas horizontaux, mais légèrement inclinés.

L'Oural est un centre minier de première importance. On y exploite des métaux précieux, du fer, du cuivre, du charbon, ainsi que de nombreux autres minerais utiles. Le platine est contenu dans un certain nombre de rivières qui s'amorcent dans des centres distincts, échelonnés le long de la chaîne dans le voisinage de la ligne de partage, et appelés centres platinifères primaires. Le platine est contenu dans une roche, qu'on appelle dunite, où il est dispersé d'une façon irrégulière et toujours en petite quantité. La dunite est trop pauvre pour être exploitée telle quelle. Le platine qu'elle contient a été concentré dans les alluvions des rivières qui la ravinent, et c'est dans ces alluvions qu'il faut aller le chercher pour l'exploiter.

L'or se trouve ordinairement dans des filons de quartz, qui traversent le granit ou les schistes cristallins ; on l'extract en broyant le quartz et en soumettant le produit de ce broyage humide à l'amalgamation et ensuite à la cyanuration. On le trouve également en alluvions ayant le même caractère que les alluvions pla-

tinifères. Dans les deux cas, la couche riche se trouve directement sur le bed-rock de la vallée ancienne dans laquelle coule actuellement la rivière; elle est habituellement recouverte d'une épaisseur variable de gravier stérile, d'argiles et de tourbes.

Le fer, exploité sur de nombreux points de la chaîne, a donné naissance à une métallurgie qui fut très florissante. Ses gisements appartiennent à différentes catégories; ceux du type métasomatique se trouvent au Bakal, dans l'Oural du centre, sous forme de sidérose, et à Koutim, dans l'Oural du nord, sous forme d'hématite. Les gîtes de contact sont célèbres et nombreux; le minerai de fer qui est ici de la magnétite ou de l'hématite, a été produit par l'action d'une roche éruptive acide profonde tel que le granit, le granit porphyre, etc., sur des calcaires ou des schistes. Tels sont, par exemple, les célèbres gisements de Wissokaya, de Blagodat, de Troïstk, etc., qui sont exploités depuis fort longtemps, et ont encore de grosses réserves de minerai.

Le cuivre, bien que moins abondant que le fer, se présente également sous plusieurs formes. Tout d'abord, sous celle de gîtes de contact, dans les mêmes conditions que le fer, le contact ayant développé ici de la pyrite cuivreuse. Dans les gisements de cette espèce (Taguil, Gumeshevsky, etc.), les altérations ont souvent transformé cette pyrite jusqu'à une assez grande profondeur en malachite, en azurite, en cuprite et en cuivre natif. Il existe aussi, comme à Syssert, des gisements dans lesquels la pyrite cuivreuse a été injectée sous forme de lentilles plus ou moins puissantes dans les schistes cristallins. Tel est le cas, par exemple, le gisement de Zuzelsky (Syssert). Des gisements métasomatiques enfin sont connus sous forme de puissantes lentilles de pyrite contenant de 1 à 7 % de cuivre, intercalées dans les schistes cristallins. Tel est, par exemple, le cas du grand gisement de Kichtym.

Le charbon est localisé dans l'Oural du nord seulement et exploité dans les environs de Kizel. Il est d'ailleurs de très mauvaise qualité, fortement pyriteux et impropre à la métallurgie. Les lignites jurassiques, qu'on exploite également à Bogoslowsk, s'étendent sur une superficie considérable, et forment une couche de plusieurs mètres de puissance, recouverte de mort-terrain.

Die Assimilation des molekularen Stickstoffs der Luft durch niedere Pflanzen

von

G. SENN (Basel)

Eine der erstaunlichsten Tatsachen in den Lebenserscheinungen an der Oberfläche unserer Erde ist das stoffliche Gleichgewicht, das trotz oder wohl gerade wegen der Mannigfaltigkeit des Stoffwechsels der verschiedenen Organismen stets bestehen zu bleiben scheint, sich jedenfalls nicht geändert hat, seitdem es mit Hilfe genauer Methoden beobachtet wird.

Dass alle Kohlensäure, welche aus dem Erdinnern in Quellen oder aus Vulkanen ausströmt und welche bei der Atmung von Mensch und Tier, zum Teil auch von den Pflanzen produziert wird, oder endlich bei den zahllosen Verbrennungen von Holz und Kohle entsteht, dass diese ungeheuren Mengen von den grünen Pflanzen fortwährend wieder zu Zucker und andern oxydablen Substanzen reduziert werden, so dass der CO_2 -Gehalt der Luft konstant bleibt, daran haben wir uns schon als an etwas Selbstverständliches gewöhnt.

Es ist aber noch nicht so lange her, dass namhafte Gelehrte, vorwiegend Chemiker, die Befürchtung ausgesprochen haben, dass das stoffliche Gleichgewicht in bezug auf die Stickstoffverbindungen in einer für die Organismen fatalen Weise dauernd gestört werden könnte. Denn Pflanze, Tier und Mensch brauchen zu ihrem Leben nicht nur Verbindungen, die Kohlenstoff, Sauerstoff und Wasserstoff enthalten; sie benötigen auch Stickstoff, und zwar jeder Organismus in einer ganz bestimmten Verbindung.

Für die grünen Pflanzen wurde festgestellt, dass sie die Nitrate am besten zu verarbeiten vermögen, bedeutend weniger gut die Ammonverbindungen, dass sie aber den molekularen Stickstoff der Luft, von welchem sie ja dauernd umspült werden, nicht verwerten können. Der tierische und menschliche Körper dagegen ist auf Eiweißstoffe, resp. auf Amine angewiesen, die aus den Pflanzen stammen, welche diese durch Reduktion aus den Nitraten gewonnen haben. Aus den Pflanzen stammt also letzten Endes der gesamte organisch gebundene Stickstoff.

Nun finden sich auf unserer Erdoberfläche die für die grünen Pflanzen so wichtigen Nitrate zwar stellenweise in grosser Menge, in grossen Gebieten sind sie aber so selten, dass unter den Pflanzen ein eigentlicher Kampf um die Nitrate und um die Stickstoffverbindungen überhaupt angehoben hat. Ganz abgesehen von den farblosen pflanzlichen Parasiten, welche ihre gesamten Nährstoffe, einschliesslich die N-Verbindungen, einem andern Organismus entziehen, vom Fäulnis- oder vom Tuberkelbazillus bis zur sogenannten Flachsseide (*Cuscuta*) oder der Schuppenwurz (*Lathraea*), treten uns auch bei grünen Pflanzen die mannigfältigsten Einrichtungen entgegen, durch welche sie sich Salze und speziell die Stickstoffverbindungen zu verschaffen vermögen. Ich erinnere an die bekannten karnivoren Pflanzen mit ihren oft raffinierten Apparaten zum Fangen und Verdauen niederer Tiere, wie sie uns bei unserm Sonnentau (*Drosera*) oder bei den Kannenpflanzen (*Nepenthes*) der feuchten Tropenwälder entgegentreten. Alle diese Fleischfresser leben an Standorten, die an Salzen, speziell auch an Stickstoffverbindungen arm sind, wie Torfmooren oder mageren Tonböden. In diese Kategorie gehören offenbar auch die sogenannten Ameisenpflanzen, welche, wie z. B. *Myrmecodia*, in den Höhlungen ihres Stengels den Ameisen Wohnung gewähren und aus deren Faeces die N-Verbindungen beziehen (Miehe 1911). Da diese Pflanzen häufig als Epiphyten auf den magern Baumrinden vorkommen, bildet für sie dieser Ameisenmist, wenn wir uns so ausdrücken dürfen, eine natürliche Düngung, ohne welche sie wohl kaum als Epiphyten leben könnten.

Bei dieser Gewinnung des Stickstoffs aus dem Tierkörper wird aber die Menge des organisch gebundenen Stickstoffs ebensowenig vermehrt, wie z. B. bei der Nitrifikation des Ammoniaks; in beiden Fällen werden die N-Verbindungen nur weitergegeben und erhalten.

Da aber bei zahlreichen chemischen Umsetzungen auf unserer Erdoberfläche, so bei Verbrennung oder Fäulnis der N-Verbindungen, häufig molekularer N frei wird, somit für die höheren Organismen verloren geht, so wäre es denkbar, dass die den Pflanzen zugänglichen N-Verbindungen auf unserer Erdoberfläche allmählich abnehmen, so dass schliesslich die Pflanzenwelt und infolgedessen auch die Tierwelt an N-Hunger zugrunde ginge.

Nun haben Physiker und Chemiker schon lange nachgewiesen, dass bei elektrischen Entladungen in der Atmosphäre, also bei Gewit-

tern, der freie Stickstoff der Luft zu Salpetersäure oxydiert wird, mit dem Regen in den Boden gelangt und von den Pflanzen aufgenommen werden kann. Obwohl meines Wissens nicht berechnet werden kann, ob diese Mengen gebundenen Stickstoffs diejenigen Mengen kompensieren, welche aus Verbindungen in molekularen Stickstoff übergeführt werden, wird auf diese Weise, wenigstens in einem gewissen Masse, durch anorganische Prozesse der freien Natur für die Bindung des freien Stickstoffs der Luft gesorgt. Auf solchen Vorgängen beruht ja auch zum Teil die Methode der künstlichen Herstellung gebundenen Stickstoffs mit Hilfe elektrischer Entladungen, eine Methode, die in Ländern mit billigen Wasserkräften zu praktischer Bedeutung gelangt ist. Aber auf den Menschen, diesen unsicheren Kumpan, kann sich die Natur nicht verlassen, wenn das Gleichgewicht der Stickstoffverbindungen auf der Erdoberfläche dauernd aufrechterhalten werden soll. Hierzu braucht sie einen sicherern und ununterbrochen arbeitenden Produzenten.

* * *

Es ist das Verdienst des grossen französischen Chemikers BERTHELOT, im Jahre 1885 als erster nachgewiesen zu haben, dass im Boden eine Anreicherung des N-Gehaltes erfolgt, jedoch nur so lange, als dieser nicht durch hohe Temperatur steril gemacht worden ist. Aus der Tatsache ferner, dass die Zunahme der N-Verbindungen im Boden fast ausschliesslich in der wärmeren Jahreszeit stattfindet, im Winter jedoch unterbrochen wird, zog er den Schluss, dass dieser Prozess an lebende Organismen gebunden sein müsse.

Was es für Organismen seien, nämlich wenigstens zum Teil Bakterien, hat acht Jahre später der russische Forscher WINOGRADSKY (1893 und 1894) nachgewiesen.

Die Fähigkeit gewisser Pflanzen, den N der Luft zu binden, hatte allerdings schon vorher H. HELLRIEGEL, Direktor der landwirtschaftlichen Versuchsstation Bernburg, in den Jahren 1886 bis 1889 nachgewiesen. Allerdings nicht für gewöhnlich freilebende Bakterien, sondern für solche, die als Symbionten in den Wurzelknöllchen der Leguminosen vorkommen, und diesen die Entwicklung in Böden erlauben, in denen andere Pflanzen, die keine Knöllchen enthalten, an N-Mangel zugrunde gehen. Damit war die zweite wichtige biologische Gruppe von N-bindenden Bakterien festgestellt, nämlich die symbiotischen.

Während die junge Leguminosenpflanze, ein Klee oder eine Akazie, in ihren Wurzeln keine Bakterien enthält, wandern solche, falls sie im Boden enthalten sind, in die feinen Wurzelhaare ein und bis in die dicken Partien der Wurzel hinauf. Die Zellen dieser Organe werden keineswegs geschädigt, sondern an bestimmten Stellen zur Geschwulstbildung angeregt. In gewissen Zellen dieser Geschwülste siedeln sich die Bakterien an, erhalten dort von der grünen Pflanze Zucker, wohl vorwiegend in Form von Glukose, und liefern als Gegenleistung die Stickstoffverbindungen, welche sie durch Assimilation des molekularen Stickstoffs der Luft gebildet haben. Dieses friedliche Zusammenleben oder Symbiose dauert bis zur Blütezeit der Leguminose. Geht diese aber zur Frucht- und Samenbildung über, so braucht sie soviel Stickstoffverbindungen, dass sie die Bakterien samt ihrem Stickstoff kurzerhand verdaut. Die Symbiose endet also mit Auffressen.

Abgesehen davon, dass solche Wurzelknöllchen mit Bakterien resp. mit Actinomyceten bei zahlreichen Pflanzen anderer Verwandtschaftsgruppen festgestellt worden sind, so z. B. bei der Erle Alnus und bei der tropischen Konifere Podocarpus, entdeckte VAN FABER 1912 solche Bakterienknöllchen auch in den Blättern von Pavetta und Ardisia, zwei Tropenbäumen aus der Familie der Rubiaceen. Die Knöllchen kommen vorwiegend längs der Nerven vor und sind besonders im durchfallenden Licht als dunkelgrüne Flecken deutlich sichtbar. Ihre Bakterien müssen allerdings nicht erst aus dem Boden bis in die Blätter hinaufwandern; sie sind vielmehr schon zwischen Samenschale und Keimling enthalten und dringen durch die Spaltöffnungen des Blattes in dessen Inneres ein. Dass auch sie den N der Luft zu assimilieren vermögen, hat zwar VAN FABER zuerst nachgewiesen; dass aber die abgefallenen Blätter von Pavetta ein besonders gutes Düngemittel bilden, wussten die indischen Bauern schon lange vorher.

Während mit der Zeit mehr und mehr N-bindende Bodenbakterien, sowie weitere Blütenpflanzen, welche N-bindende Bakterien enthalten, bekannt wurden, dauerte es lange Zeit, bis die Frage abgeklärt wurde, ob ausser den Bakterien auch noch andere Mikroorganismen diese Fähigkeit besitzen. Während es zuerst für einige grüne und blaugrüne Algen behauptet worden war, ergaben exakte Versuche, dass dies nicht richtig sei; wohl aber mehrten sich die Stimmen, dass auch bestimmte Pilze in völlig

N-freien Medien gedeihen. Bezeichnenderweise wurden sehr bald auch bei den Pilzen wie bei den Bakterien Formen bekannt, welche normalerweise frei leben, neben solchen, welche als Symbionten höherer Pflanzen vorkommen. Aus praktischen Gründen bespreche ich zuerst die freilebenden Pilze. Schon lange bevor BERTHELOT die Stickstoffbindung im Boden durch Mikroorganismen nachwies, hatte JODIN im Jahre 1862 auf stickstoffreien Nährböden eine reichliche Pilzentwicklung beobachtet. Er stellte sogar fest, dass diese Pilze in hermetisch verschlossenen Gefässen der eingeschlossenen Luft einen Teil ihres Stickstoffs entzogen, allerdings nur 6—7% des gleichzeitig zur Atmung verbrauchten Sauerstoffs. Obwohl JODIN nicht mit Reinkulturen von Pilzen gearbeitet hat, ist die frühe Anwendung der gasanalytischen Methode bei seinen Untersuchungen höchst anerkennenswert.

Erst 30 Jahre später wurden seine Resultate an Hand von Reinkulturen von Pilzen bestätigt; nämlich 1893 durch BERTHELOT an zwei Pilzen *Alternaria tenuis* und *Aspergillus niger*, und durch FRANK (1893 S. 146) an *Hormodendron cladosporioides*, also an Schimmelpilzen. Während PURIEWITSCH (1895) die N-Bindung für *Aspergillus niger* bestätigt und für den Allerwelts-Schimmel *Penicillium glaucum* entdeckt hatte, dehnte SAIDA (1901) seine Untersuchungen auf eine grössere Zahl von Pilzen aus, wobei er bei drei weiteren Formen positive Resultate erhielt. Unter diesen assimilierte *Phoma Betae* den freien Stickstoff der Luft besonders reichlich.

Während sich die bisherigen Autoren damit begnügt hatten, die für die N-Assimilation günstigsten Bedingungen festzustellen, jedoch die in der freien Natur herrschenden Ernährungsbedingungen nicht speziell berücksichtigt hatten, suchte FROELICH (Basel) 1908 ausser den Stickstoff- auch die Kohlehydrat-Quellen der von ihm untersuchten Pilze festzustellen. Dieser Gesichtspunkt war schon bei der Auswahl der Pilze massgebend, welche er zu seinen Versuchen verwendete. Er isolierte sie von trockenen Pflanzenstengeln, welche den Pilzen zwar eine Menge von Kohlehydraten, allerdings nur in der schwer löslichen Form der Zellulose und verwandter Verbindungen, aber sozusagen keine N-Verbindungen liefern. Wenn sich die Pilze trotzdem darauf entwickeln, so war anzunehmen, dass sie ihren N-Bedarf aus der Luft decken.

Über die Kulturbedingungen sei nur soviel bemerkt, dass die Kulturen stets in einer ruhenden Atmosphäre gehalten wurden,

welcher das Ammoniak entzogen worden war. Seine Pilze gehörten nur vier Spezies an, die alle sogenannte Fungi imperfecti sind. Für zwei von ihnen, Hormodendron cladosporioides und Alternaria tenuis, war die N-Bindung schon durch FRANK (1893) resp. BERTHELOT (1893) nachgewiesen worden, während sie FROELICH für Cladosporium herbarum und Macrosporium commune zum ersten Male feststellte. Diese wuchsen nicht nur auf N-freien Nährböden viel besser als die Schimmelpilze Aspergillus niger und Penicillium glaucum, sondern ihre Kulturen ergaben auch eine starke Zunahme an N-Verbindungen. Diese wurden mit Hilfe der KJELDAHL'schen Methode nachgewiesen.

Da FROELICH Mycel und umgebende Flüssigkeit getrennt analysierte, konnte er feststellen, dass die Menge des in der abfiltrierten Nährösung enthaltenen Stickstoffs die im Pilz selbst enthaltene beträchtlich übersteigt. Der Pilz bindet somit mehr N, als er zum Aufbau seiner Fäden und Sporen braucht; den Überschuss gibt er an die umgebende Flüssigkeit ab.

Es ist klar, dass diese Pilze bei der N-Assimilation nicht wie ein chemisches Laboratorium arbeiten und stets denselben Ertrag liefern. Vielmehr hängt dieser in weitgehendem Masse von den äussern Bedingungen ab. Über diese soll im Zusammenhang mit der von STAHEL (Basel) 1911 publizierten Arbeit gesprochen werden. Auch er untersuchte wie FROELICH vorwiegend Fungi imperfecti, die auf toten Pflanzenteilen vorkommen, beschränkte sich aber nicht auf Stengel von Kräutern und Stauden, sondern zog auch Bewohner von Baumstrünken, dürrem Laub und Wurzeln in den Kreis seiner Untersuchungen. So gelang es ihm, noch für vier weitere Pilze Stickstoffbindung nachzuweisen, nämlich für Bispora molinioides und den überall verbreiteten „Grauschimmel“ Botrytis cinerea, sowie für Melanomma spec. und Epicoccum purpurascens Ehbg. Ferner bestätigte er die Angaben früherer Forscher, dass die gewöhnlichen Schimmelpilze, Penicillium glaucum und Aspergillus niger, den Stickstoff zu binden vermögen. Absolut genommen sind die Mengen assimilierten Stickstoffs bei den sechs letztgenannten Pilzen zwar bedeutend geringer als bei den von FROELICH untersuchten, immerhin aber noch mit Sicherheit nachzuweisen.

Was nun die Ernährungsbedingungen dieser freilebenden Pilze anbelangt, so studierte FROELICH vorwiegend den Einfluss verschiedener Kohlehydrate. Neben der Glukose lieferte auch

Zellulose, die mit den nötigen Salzen — mit Ausnahme von N-Verbindungen — getränkt worden war, üppige Kulturen. Dass die Pilze die Zellwände tatsächlich zu korrodieren vermögen, ergab die Untersuchung der Stengel, auf welchen die Pilze natürlicherweise vorkommen. Noch besser als auf Zellulose gediehen die Pilze auf Inulin und Maltose, schlechter dagegen mit Saccharose und Lactose; am wenigsten auf den Pentosen: Xylose und Arabinose. In keinem Falle trat Gärung, sondern nur Atmung ein. Dementsprechend können diese Pilze mit Hilfe eines Grammes veratmeter Glukose bis 9 mg Stickstoffverbindungen erzeugen, während das die Glukose vergärende Clostridium Pasteurianum pro 1 g Glukose nur 1,3 mg produziert. Auch eine Ansäuerung des Substrates, die auf unvollkommene Oxydation der Glukose schliessen liesse, konnte FROELICH nicht feststellen.

In Ergänzung von FROELICHS Angaben hat STAHEL den Einfluss einer geringen anfänglichen Zugabe einer Stickstoffverbindung auf die Assimilation des molekularen Stickstoffs untersucht. Er fand, dass die N-Bindung bei vier seiner Spezies der anfänglich gebotenen Menge gebundenen Stickstoffs etwa proportional war. Offenbar wird durch diesen der Pilz von Anfang an so gekräftigt, dass er seine Assimilationstätigkeit gegenüber den nur auf den molekularen Stickstoff angewiesenen Individuen bedeutend zu steigern vermag.

Neben diesen freilebenden Formen wurden auch stickstoffbindende Pilze entdeckt, welche normalerweise nicht auf toten Pflanzenteilen vorkommen, sondern im Innern lebender Pflanzen wachsen. In diesen spielen sie aber ebensowenig wie die Knöllchenbakterien die Rolle von Krankheitserregern, sind also keine Parasiten, sondern tragen zur Ernährung der höhern Pflanze bei und leben mit dieser in Symbiose. Schon 1901, bevor FROELICH seine Arbeit begonnen hatte, war Fräulein Dr. TERNETZ (Basel) bei ihren Studien an Pflanzen der Torfmoore auf die Fähigkeit bestimmter Pilze aufmerksam geworden, ohne Zufuhr gebundenen Stickstoffs zu gedeihen. Die erste Mitteilung erschien 1904, die zweite ausführliche Arbeit 1907. Aus äusserlich sterilisierten Wurzelstücken verschiedener Ericalen unserer Torfmoore, z. B. zweier Heidekräuter, *Erica carnea* und *tetralix*, der Preisselbeere, *Vaccinium Vitis Idaea*, der Moosbeere *Oxycoccus palustris* und des Poleiblattes, *Andromeda polifolia*, wuchsen bei Kultur in feuchtem

Raum verschiedene Pilze heraus, die sämtlich zu Phoma gehören, also in dieselbe Gattung, zu welcher die von SAIDA (1901) untersuchte N-bindende Phoma Betae gehört. Doch wies jeder Pilz einer bestimmten Ericalenart einen etwas andern Charakter auf als derjenige einer andern Ericale. Ja, bei der Preisselbeere, Vaccinium Vitis Idaea, wurde aus Material von Freiburg in der Schweiz eine andere Form von Phoma isoliert als aus Preisselbeerstöcken, die in Basel gewachsen waren.

Es lag natürlich nahe, diese Pilze als die für die Ericaceen schon lange bekannten Wurzelpilze, als ihre Mycorrhizen aufzufassen. Obwohl eigentlich alles dafür sprach, stellte Frl. TERNETZ fest, dass ihr der Nachweis der Identität nicht gelungen sei. Denn trotz zahlreichen Bemühungen gelang es ihr nicht, pilzfreie Ericaceen zu züchten, da es sich herausstellte, dass schon die Samen dieser Pflanzen mit dem Pilz behaftet sind. Eine Infektion eines pilzfreien Ericalen-Individuums mit einem der kultivierten Pilze konnte darum nicht versucht werden. Dieser Nachweis gelang erst einer englischen Botanikerin, C. RAYNER, 1915. Dadurch, dass sie die Samen der noch geschlossenen Kapsel von Calluna vulgaris entnahm, konnte sie dieselben mit Hilfe von Desinfektionsmitteln pilzfrei machen und junge Pflanzen aus ihnen ziehen, die ebenfalls keine Pilze enthielten. Obwohl ihnen Licht und die nötigen Nährsalze zur Verfügung standen, brachten sie es nur bis zur Grösse von ca. 3 Millimetern. Wurden sie aber mit dem vorher aus einer Calluna isolierten Pilz zusammengebracht, so wanderte dieser in den Keimling ein, bildete eine richtige Mycorrhiza und die Calluna wuchs nun, obwohl sonst völlig steril kultiviert, zu einem normalen Individuum heran. Dadurch war der bündige Beweis erbracht, dass diese aus Ericaceen isolierten Pilze tatsächlich die Mycorrhiza-Pilze dieser Pflanzen sind.

Auch sie gehören zu den Imperfecti; an der Form ihrer Pycnosporen lassen sie sich aber voneinander unterscheiden. Die Nährlösungen wurden durch Fräulein TERNETZ mit stickstofffreien Chemikalien hergestellt und nachher noch auf ihren eventuellen Stickstoffgehalt geprüft. Wie in SAIDAS Versuchen, so wurden auch hier die Flüssigkeitskulturen von einem langsam, aber ununterbrochen fliessenden Luftstrom durchsetzt, dem vorher alle N-Verbindungen durch Na OH und H₂SO₄ entzogen worden waren.

Als Kohlenstoffquelle erwiesen sich die Disaccharide, Rohr-

zucker und Mannit, weniger günstig als die Glukose. Diese wurde darum fast ausschliesslich als C-Quelle verwendet. Die Vorliebe dieser Wurzelpilze für diesen Stoff ist ja verständlich, da er eben diejenige Form repräsentiert, in welcher der Zucker durch die Gewebe der höheren Pflanzen geleitet wird. Jedenfalls spricht das gute Wachstum auf dieser Zuckerart dafür, dass der Pilz auch an seinem natürlichen Standort, in der Wurzel der grünen Pflanze, die Kohlehydrate in dieser Form bezieht. Wir werden bald andere symbiotische Pilze zu erwähnen haben, bei welchen das nicht zutrifft.

Für die Beurteilung des Wesens des Vorgangs der Assimilation molekularen Stickstoffs ist die Tatsache von Interesse, dass diese Pilze in den Kulturen ihre Fortpflanzungsorgane, d. h. die Pykniden, nur dann ausbilden, wenn ihnen gebundener N zur Verfügung steht. Ohne solchen bleiben sie trotz der Assimilation des molekularen Stickstoffs steril, ausser wenn ihnen viel Sauerstoff zur Verfügung steht. Dieser steigert natürlich ihre Atmung und dadurch ihre Energie, die zu intensiver N-Assimilation offenbar notwendig ist. Liefert letztere eine grössere Menge von Stickstoffverbindungen, so befähigen diese den Pilz zur Bildung der Fortpflanzungsorgane.

Wichtig ist ferner die Tatsache, dass das Trockengewicht, das eine Pilzkultur erreicht, um so kleiner ist, je grösser die Menge des aus der Luft assimilierten Stickstoffs ist, und dass der assimilierte Stickstoff zum kleinsten Teil im Pilz selbst gespeichert, zum grössten Teil dagegen in die Nährlösung abgegeben wird. Ihr absoluter N-Gewinn ist allerdings bedeutend niedriger als bei den Knöllchenbakterien der Leguminosen und bei Clostridium Pasteurianum. Dafür verbrauchen aber die Ericaceen-Pilze viel weniger Kohlehydrate, als das anaërobe Clostridium Pasteurianum. Ja, wenn der Stickstoffgewinn auf 1 Gramm verarbeiteter Glukose berechnet wird, so zeigt es sich, dass die Ericaceen-Pilze bis 18 und 22 mg N-Verbindungen, Clostridium dagegen bei gleichem Zuckerverbrauch nur 10 mg produziert. Diese Mycorrhiza-Pilze arbeiten somit ökonomischer als die anaëroben Bakterien. Das hängt wohl damit zusammen, dass sie den Traubenzucker nicht vergären, wie die Bakterien, sondern veratmen, wodurch sie eben die im Traubenzucker enthaltene Energie viel vollständiger ausnutzen können, als bei Spaltung und Gärung. In dieser Bezie-

Assimilation des molekularen Stickstoffs der Luft

	Versuchs-dauer Tage	Dextrose		N-Gewinn	
		geboten g	ver- braucht g	absolut mg	pro 1 g Dextrose mg
<i>Clostridium Pasteuria-</i> <i>num</i> ¹	20	40	40	53,6	1,34
<i>Azotobacter Chroococ-</i> <i>cum</i> ²	35	5	5	42,7	8,56
<i>Aspergillus niger</i> ³ . .	28	7	1,1	1,9	1,71
<i>Penicillium glaucum</i> ³ .	28	7	0,7	2,8	3,8
<i>Cladosporium herba-</i> <i>rum</i> ⁴	39	—	0,48	2,86	5,95
<i>Phoma radicis Oxy-</i> <i>cocci</i> ⁵	28	7	0,85	15,3	18,08
<i>Orcheomyces Neottiae</i> ⁶	100	0,25	0,029	0,38	13,3
<i>Orcheomyces conopeae</i> ⁷	100	0,25	0,10	0,97	9,7

¹ Nach Winogradsky, 1902, S. 53, 54.² „ Gerlach und Vogel, 1902, S. 818.³ „ Ternetz, 1907, S. 383, Tab. 7.⁴ „ Froehlich, 1908, S. 295.⁵ „ Ternetz, 1907, S. 388, Tab. 9.⁶ „ Wolff, 1926, S. 17, Tab. 4, Nr. 108 (alles auf Glukose umgerechnet).⁷ „ 1926, „ 26, „ 7, „ 60

“

hung gleichen sie dem von KOSTYTSCHEW (1925) untersuchten *Azotobacter agilis*, der ebenfalls mehr als 20 mg Stickstoffverbindungen pro 1 g verarbeiteter Glukose liefert.

Wurden diese Ericaceen-Wurzelpilze in einer reinen Stickstoffatmosphäre kultiviert, in der eine Atmung ausgeschlossen ist, so wuchsen sie noch, erreichten jedoch nur etwa ein Drittel des Trockengewichts durchlüfteter Kulturen und assimilierten ausserordentlich wenig Stickstoff. Bei dieser anaeroben Kultur trat ebenfalls keine Gärung ein. All das beweist, dass diese Pilze an Sauerstoffatmung gewöhnt sind und dass sie diese zur intensiven Verarbeitung des Stickstoffs der Luft notwendig brauchen. Dank dieser ihrer Fähigkeit ermöglichen sie ihren Ericalen, an

Standorten zu gedeihen, welche, wie die Torfmoore oder sandige Heiden, an N-Verbindungen arm sind.

Eine weitere Gruppe stickstoffbindender Pilze ist in den letzten Jahren durch meinen Schüler, Dr. H. WOLFF (Basel, 1926) entdeckt und untersucht worden. Auch hier handelt es sich um Mycorrhiza-Pilze, und zwar um solche, welche in den Wurzeln mehrerer unserer einheimischen Orchideen leben. Am genauesten untersucht wurde derjenige der braunen Nestwurz, *Neottia Nidus avis*, daneben diejenigen von vier grünen Wiesenorchideen, *Gymnadenia conopea*, *Orchis maculatus*, *Helleborine (Epipactis) palustris* und *latifolia*. Sie gehören, wie die von BURGEFF (1909, Seite 16), aus den Luftwurzeln tropischer Orchideen isolierten Pilze, zur Gattung *Orchomycetes*. Wie die Ericaceen-Pilze, gedeihen sie am besten in Flüssigkeitskulturen — das entspricht eben ihrem natürlichen Standort im Saffraum der Zellen — und zwar ebenfalls bei intensiver Durchlüftung. Stickstoffverbindungen bedurften sie dazu keine, sondern kamen mit dem molekularen Stickstoff der Luft aus. Diese wurde übrigens, gerade wie in den Ericaceen-Pilzkulturen, von Ammoniak- und andern N-Verbindungen durch KOH und H_2SO_4 gereinigt. Diese Orchideenpilze gedeihen in Glukoselösungen, die die nötigen Mineralsalze enthalten. Da aber *Neottia Nidus avis* selbst sehr wenig Glukose bildet, indem ihre CO^2 -Assimilation äusserst schwach ist (HENRICI und SENN, 1925, Seite 127), lag es bei dieser Humusorchidee nahe, an eine andere Kohlenstoffquelle zu denken, die im Boden enthalten sein muss. Versuche mit verschiedenen in Betracht kommenden Stoffen ergaben, dass der Pilz in Gerbstofflösung am besten gedeiht, d. h. in einer bestimmten Zeit das grösste Trockengewicht produziert. Aus der glykosidartigen Verbindung des Tannins spaltet er zunächst die Glukose ab, kann aber zur Not auch von der Gallussäure leben. Jedenfalls gewinnt er aus dieser Kohlenstoffquelle die zur Assimilation des freien Stickstoffs notwendige Energie. Da, wie wir sahen, die Nestwurz, in welcher er wächst, sehr wenig Kohlenstoffverbindungen produziert, wird der Gerbstoff, den sie enthält, kaum von ihr selbst stammen, sondern offenbar aus dem Waldboden, der ja durch die fallenden Blätter Gerbstoff fortwährend zugeführt erhält. Allerdings können zwischen den in der Wurzel lebenden Pilzen und der Aussenwelt nur sehr wenige Verbindungen durch Pilzhyphen festgestellt werden (MAGNUS, 1900, Seite 209). Darum muss man an-

nehmen, dass die Neottiawurzeln selbst imstande sind, den Gerbstoff aus dem Boden aufzunehmen und ihn dann ihren Pilzen abzugeben. Dafür liefert der Pilz der Orchidee Stickstoffverbindungen und jedenfalls auch Kohlehydrate. Denn WOLFF konnte in nicht zu alten Tanninkulturen grössere Mengen von Glukose nachweisen, die durch die Spaltung des Tannins entstanden sein muss. Diese vom Pilz abgespaltene Glukose kommt dadurch unter normalen Bedingungen der Orchidee zugute. Im Gegensatz zur Glukose treten aber die vom Pilz gebildeten Stickstoffverbindungen nicht in die Nährlösung aus, wie dies bei den Ericaceen-Pilzen festgestellt wurde. Vergleicht man aber die von den Ericaceen-Pilzen zurückgehaltenen Mengen von N-Verbindungen, so zeigt es sich, dass diese sich in der gleichen Grössenordnung bewegen, indem sie z. B. bei *Phoma radicis Andromedae* 0,982 (TERNETZ, 1907, Seite 385), bei *Orchomyces conopseae* 0,97 mg betragen.

Aus der Tatsache, dass diese beiden Zahlen fast völlig mit einander übereinstimmen, darf wohl der Schluss gezogen werden, dass die Orchideen-Pilze offenbar nur diejenige N-Menge assimilieren, die sie zum Aufbau ihres Körpers nötig haben, während die Ericaceen-Pilze einen Überschuss produzieren, den sie in ihre Umgebung austreten lassen. Obwohl nun der vom Orchideen-Pilz gebundene Stickstoff im Pilz bleibt, kann ihn die Orchidee doch verwerten, weil sie imstande ist, den in einer bestimmten Zellschicht lebenden Pilz regelrecht zu verdauen (MAGNUS, Seite 256), wie wir dies ja auch für die Bakterien der Leguminosen festgestellt haben. Dadurch fallen ihr auch die Stickstoff- gerade wie die Kohlenstoff-Verbindungen des Pilzes zu.

Vergleicht man die absoluten Mengen des Stickstoffs, die von diesen Orchideen-Pilzen assimiliert werden, mit denjenigen der von den Bakterien und Ericaceen-Pilzen gebundenen, so muss sie als sehr klein bezeichnet werden, sind sie doch sogar noch geringer als die von *Aspergillus* und *Penicillium* produzierten.¹ Berechnet man aber die gebundene Stickstoffmenge auf 1 Gramm

¹ *Anmerkung:* Angesichts der geringen Mengen assimilierten Stickstoffs wurde dieser (nach Anwendung der Kjeldahl'schen Methode) nicht durch Titration, sondern kolorimetrisch unter Verwendung von Nesslers Reagens bestimmt, wie dies bei der Wasser-Analyse üblich ist. Auf diese Weise kann der Stickstoff unter Umständen bis auf 0,01 mgr. genau bestimmt werden (vgl. WOLFF, 1926, S. 20).

verbrauchter Glukose, wobei der Glukosegehalt des Tannins mit 12,5 % in Rechnung gestellt wird, so erhält man Zahlen, welche die meisten der bei den Bakterien und Schimmelpilzen gewonnenen um ein Bedeutendes übersteigen. Nur die bestassimilierenden Ericaceen-Pilze und KOSTYTSCHEWS Azotobacter arbeiten noch ökonomischer.

Somit bezieht die Orchidee von ihrem Pilz ausser der von diesem ausgeschiedenen Glukose auch Stickstoffverbindungen, die ihr erlauben, auch auf salzarmen Böden zu gedeihen. Auffallenderweise wurde bisher bei den auf Bäumen lebenden tropischen Orchideen, welche ebenfalls Mycorrhiza-Pilze enthalten, in deren Kulturen noch keine Stickstoff-Assimilation nachgewiesen. Und doch wäre eine solche gerade bei diesen auf der salzarmen Rinde wachsenden Pflanzen und ihren vom Stickstoff ständig umspülten Luftwurzeln in erster Linie zu erwarten. Wahrscheinlich wird bei geeigneter Kultur dieser Pilze ihre Fähigkeit zur Stickstoffbindung auch noch nachgewiesen werden können.

* * *

Dieser Überblick ergibt, dass zahlreiche niedere Pflanzen, in der Hauptsache bestimmte Bakterien und Pilze, imstande sind, den molekularen Stickstoff der Luft aufzunehmen und in organische Verbindungen überzuführen.

Die spezielle Lebensweise dieser Organismen, d. h. entweder als freilebende Saprophyten, wie Bodenbakterien und Pilze, auf toten Pflanzenorganen oder als Symbionten im Zellsaft lebender Pflanzen, ist an diesen stickstoffbindenden Organismen nicht spurlos vorübergegangen. So gedeihen die Symbionten grüner Pflanzen, also die Knöllchenbakterien der Leguminosen und Rubiaceen und die Mycorrhiza-Pilze der Ericaceen, am besten in Glukose, die sie offenbar auch von ihren Wirtspflanzen erhalten. Dasselbe gilt für die von FRÖHLICH von toten Pflanzenstengeln isolierten Pilze, die allerdings auf Cellulose, ihrem natürlichen Substrat, ebenfalls gut gedeihen. Dagegen eigneten sich für diese Pentosen oder gar mehrwertige Alkohole nicht als Kohlenstoffquellen. Im Gegensatz zu ihnen sind die Orchideenpilze imstande, auch von Pentosen, z. B. Arabinose und Xylose zu leben, besonders gut aber in Tannin, das diesen Pflanzen an ihren natürlichen Standorten meist in grosser Menge zur Verfügung steht. Die übrigen

stickstoffbindenden Organismen, z. B. die von STAHEL untersuchten Pilze, sowie die meisten aëroben und anaëroben Bakterien, welche besonders in glukosehaltigen Kulturen gut gedeihen, sind jedenfalls auch imstande, die an ihren Standorten vorwiegend vorhandenen komplizierten Kohlehydrate und deren Derivate auszunützen. Das gilt wohl auch für die Gärungserreger, wie Clostridium Pasteurianum usw. Obwohl wir darüber nur wenig wissen, darf wohl angenommen werden, dass jeder dieser Organismen diejenige Kohlenstoffverbindung als Energiequelle verwendet, die an seinem Standort verfügbar ist.

Da es sich bei der Assimilation des freien Stickstoffs um einen Prozess handelt, der dem Chemiker auch heute noch nur unter Anwendung stärkster Mittel, elektrischer Entladungen oder hoher Temperatur, hoher Drucke und metallischer Katalysatoren gelingt, wurde schon 1894 von WINOGRADSKY die Frage nach dem Chemismus dieses Vorgangs in der lebenden Zelle aufgeworfen. Auch nachher wurde diese Frage immer wieder diskutiert. In welcher Richtung wir die Lösung suchen müssen, dafür liefern uns zunächst die bisherigen Beobachtungen über die Bedingungen, unter welchen die Bindung des molekularen Stickstoffs erfolgt, gewisse Anhaltpunkte. So haben die Versuche von Frl. TERNETZ ergeben, dass sowohl die freilebenden Schimmelpilze als auch die symbiotischen Phomen in gut durchlüfteten Kulturen am meisten Stickstoff binden, d. h. wenn sie stark atmen und damit viel Energie gewinnen. Entsprechend wuchsen Kulturen, denen kein Sauerstoff, sondern nur molekularer Stickstoff zugeführt worden war, sehr schlecht und banden sozusagen keinen Stickstoff. Dazu stimmt das von STAHEL gewonnene Resultat, dass die Entwicklung der N-bindenden Pilze, wie die N-Bindung selbst, durch eine anfängliche Zugabe gebundenen Stickstoffs gefördert wird. Zur kräftigen N-Bindung sind somit kräftige und stark atmende Pilze erforderlich, solche also, die über eine relativ grosse Menge von Energie verfügen. Dass die Pilze bei der N-Assimilation tatsächlich viel Energie verbrauchen, ergibt die von TERNETZ festgestellte Tatsache, dass das Trockengewicht der Ericaceen-Pilze bei intensivster N-Bindung am kleinsten ist. Aus allen diesen Beobachtungen muss also der Schluss gezogen werden, dass die N-Bindung im Pilz und auch im Bacterium mit einem grossen Aufwand von Energie verbunden ist.

Wie erwähnt, hat sich schon WINOGRADSKY (1894, S. 355) die Frage nach dem ersten Produkt der N-Assimilation vorgelegt. Da er bei seinem anaeroben Clostridium Pasteurianum eine starke Gäraktivität mit intensiver Wasserstoffentwicklung festgestellt hatte, glaubte er die Bindung des Stickstoffs auf dessen Zusammentreffen mit dem Wasserstoff in statu nascendi innerhalb des lebenden Protoplasmas erklären zu können. Da aber diese Reaktion, vom rein chemischen Standpunkt aus betrachtet, mit einem außerordentlichen Aufwand von Energie verbunden wäre, haben viele Chemiker diese Reaktion als unmöglich zurückgewiesen. So fassen GAUTIER et DROUIN (1888) für sauerstoffatmende Bakterien den Vorgang als Oxydation des Stickstoffs zu salpetriger Säure oder zu Salpetersäure auf; STOKLASA (1908, S. 626) vermutet, dass Cyanwasserstoff gebildet werde, der ja in höheren Pflanzen öfter vorkommt. GERLACH und VOGEL (1902, S. 883) sind der Ansicht, Azotobacter binde den Stickstoff direkt an Kohlehydrate, so dass N-haltige Stoffe zustande kommen; CZAPEK (1920, S. 206) endlich hält die Bildung von Ammonnitrit für möglich. Somit eine außerordentlich reiche Auswahl von Möglichkeiten. Es darf dabei aber nicht vergessen werden, dass bisher keiner dieser Stoffe bei den N-bindenden Bakterien und Pilzen nachgewiesen werden konnte, dass dies also zunächst reine Theorie war.

Nun hat aber KOSTYTSCHEW 1925 festgestellt, dass Azotobacter agilis, der pro 1 g verbrauchter Dextrose mehr als 20 mg N assimiliert, also den besten Phoma-Arten gleichkommt, weder Nitrat noch Nitrit, noch Harnstoff bildet, sondern vorwiegend Ammonverbindungen, daneben auch Amine. Er glaubt, dass letztere aus den Ammonverbindungen sekundär entstehen. Die Richtigkeit seiner Methode vorausgesetzt, würde somit die von WINOGRADSKY für das anaerobe Clostridium aufgestellte Theorie für den aeroben Azotobacter tatsächlich gelten. Die relativ grosse, durch intensive Atmung oder Gärung gewonnene Energiemenge, welche bei intensiver Stickstoffbindung der Microorganismen stets konstatiert wurde, würde demnach in Verbindung mit starken reduzierenden Fermenten des Protoplasmas dazu verwendet, diese Reduktion in einem Hub zu vollziehen.

Diese Erklärung hat allerdings den grossen Nachteil, dass hinter dieser Reaktion, die unter den in der lebenden Zelle herrschenden normalen Druck- und Temperaturverhältnissen für

chemische Begriffe unmöglich erscheint, sozusagen als Deus ex machina die grosse Unbekannte, das lebende Protoplasma steht. Mit diesem lässt sich natürlich alles und nichts beweisen. Als Nichtchemiker steht es mir nicht an, über Möglichkeit oder Unmöglichkeit einer solchen Reaktion ein Urteil abzugeben. Ich möchte nur die Frage aufwerfen, ob die ungeheure Wirksamkeit der lebenden Zelle vielleicht nicht auch hier, wie z. B. bei den osmotischen Vorgängen, auf der mikroskopischen, ja ultramikroskopischen Kleinheit der Zelle, des Protoplasmas und seiner Bestandteile beruht.

Auf Grund der Feststellungen der Chemiker wissen wir, dass das Atom des Stickstoffs relativ leicht reagiert, dass aber die in der Luft ausschliesslich vorhandenen Molekel des Stickstoffs (N_2) nicht reagieren. Sie tun es erst, wenn sie in ihre beiden Atome ($N + N$) gespalten sind. Der Chemiker erreicht dies mit Hilfe elektrischer Entladungen oder hoher Drucke und Temperaturen. Dem N-bindenden Bakterium oder Pilz stehen alle diese Mittel nicht zur Verfügung. Dagegen besitzen diese Pflanzen in ihrem Protoplasma, das ja ein Colloid ist, eine ausserordentlich grosse innere Oberfläche. Nun ist es wohl denkbar, dass an dieser der molekulare N der Luft mit Hilfe der relativ grossen Energiemenge, die der Organismus durch Atmung oder Gärung gewinnt, in seine Atome zerlegt werde, so dass er mit dem Wasserstoff reagieren und Ammoniak bilden kann. Die Pflanze würde demnach mit einer relativ geringen Energie dasselbe durch ihre innere Struktur erreichen, wozu der Chemiker ungeheure Energien aufwenden muss.

* * *

Die bisher ausschliesslich vom theoretischen Standpunkt betrachteten Vorgänge haben aber auch für den Haushalt der Natur eine ungeheure ökonomische Bedeutung. Dass viele dieser N-bindenden Organismen hochmolekulare organische Verbindungen, die in toten Pflanzenteilen in die Erde gelangen, wie z. B. Zellulose und Tannin, zu einfachen Verbindungen abbauen, die wieder als Energiequellen dienen, ist schon für den Kreislauf des Kohlenstoffs von Bedeutung. Ihre Hauptleistung besteht jedoch in der Anreicherung des Bodens an Verbindungen von Stickstoff, sei es, dass sie diese bei ihren Lebzeiten ausscheiden, sei es, dass diese bei ihrem Tode den andern Organismen zugänglich werden.

Diese ihre Leistung für den Haushalt der Natur lässt sich nicht nur theoretisch berechnen, sondern konnte schon im Grossen nachgewiesen werden. So ermöglichte z. B. die Aufforstung der vorher vegetationslosen Sanddünen der Südwestküste von Frankreich die Entwicklung eines zusammenhängenden, aus Pilzfäden gebildeten Bodenfilzes. Da es sich dabei um stickstoffbindende Formen, wahrscheinlich um Cladosporien handelt, wird dieser Boden fortwährend an Stickstoffverbindungen angereichert. Darum kann HENRY (1908, Seite 220) mit Recht sagen: „La forêt constitue la meilleure caisse d'épargne d'azote“. Dasselbe gilt für die schon von BERTHELOT untersuchten Tonböden, wenn auch die von ihm berechneten Stickstofferträge im Vergleich zu den Ergebnissen neuerer Kulturen vielleicht etwas zu hoch ausgefallen sind.

In entsprechender Weise reichern die ja häufig bestandbildenden Leguminosen mit ihren Bakterienknöllchen den Boden mit N-Verbindungen in grossem Stile an, so dass sie der Landwirt zur sogenannten Gründüngung verwendet. Dasselbe leisten die ausgedehnten Bestände von Ericalen (*Erica* specc., *Calluna vulgaris*, *Vaccinium* specc. usw.) auf Torf- und Sandböden, und ohne Zweifel auch die von den Älplern zu Unrecht als schädliches Unkraut betrachteten Alpenrosengebüsche. Ebenso reichern offenbar die ausgedehnten Buschwälder oder Macchien der Mittelmeirländer mit ihren Erdbeerbäumen (*Arbutus* specc.) den Boden mit N-Verbindungen an, da auch diese eine Mycorrhiza enthalten, nicht zu vergessen die strauch- und baumförmigen Rhododendren der subtropischen und tropischen Gebirge. Wo die Orchideen massenweise vorkommen, werden auch ihre N-bindenden Mycorrhizen bedeutungsvoll. In den Subtropen und Tropen dienen die oft riesigen Leguminosenbäume mit den Bakterienknöllchen ihrer Wurzeln der Stickstoffbindung, ebenso wie die Ardisien und Pavetten, welche die stickstoffassimilierenden Bakterien in den Blattknöllchen enthalten. Im Schlick des Meeres wies KEUTNER (1905) und im Schlamm des Genfersees PALMANS (1926, S. 174) N-bindende Bakterien nach.

So darf man wohl sagen: Jede Zone und jede Formation, jeder Boden und jedes Gewässer hat seine speziellen Stickstoffbildner, die sich allerdings, soviel wir bisher wissen, ausschliesslich aus der Gruppe der Bakterien und der Pilze rekrutieren. Diese alle leisten der Vegetation und damit auch der Tierwelt und dem Menschen durch ihre fortgesetzte Assimilation des molekularen Stick-

stoff und durch die Speicherung seiner Verbindungen einen überaus wichtigen Dienst.

Genau in derselben Weise, wie die grünen Pflanzen das Gleichgewicht der Kohlensäure und ihren Kreislauf regulieren, so erhalten die stickstoffbindenden Bakterien und Pilze das Gleichgewicht zwischen gebundenem und molekularem Stickstoff, und sichern gleichzeitig den Kreislauf dieses Elements, eine der Hauptbedingungen für die Fortdauer des Lebens auf unserm Planeten.

Literatur-Verzeichnis

- 1885 BERTHELOT: C. R. de l'Acad. Sciences, Paris; Bd. 101, II, S. 775—783.
1893 — Ebenda, Bd. 116, S. 842.
1909 BURGEFF: Die Wurzelpilze der Orchideen, Jena, G. Fischer.
1920 CZAPEK: Biochemie der Pflanzen, II. Aufl. 1920, 2. Bd., S. 192 ff.
1912 VAN FABER: Jahrb. f. wiss. Botanik, Bd. 51, S. 285.
1914 — Ebenda, Bd. 54, S. 243.
1893 FRANK: Botan. Zeitung, Bd. 51, S. 139—156.
1908 FROELICH: Jahrb. f. wiss. Botanik, Bd. 45, S. 256—302.
1888 GAUTIER et DROUIN: C. R. de l'Acad. Sciences, Paris; Bd. 113, S. 820.
1891 — Ebenda, Bd. 113, S. 820.
1902 GERLACH u. VOGEL: Cbtt. f. Bakt., II. Abt., Bd. 9, S. 817 und 880.
1886 HELLRIEGEL: Tagebl. Naturforsch. Vers. Berlin (1886), S. 290.
1889 — Ber. d. Deutsch. Bot. Ges., Bd. 7, S. 131.
1925 HENRICI u. SENN: Ber. d. Schweiz. Bot. Ges., Heft 34, S. 110—141.
1908 HENRY: Les sols forestiers, Paris.
1862 JODIN: C. R. de l'Acad. Sciences, Paris, Bd. 55, S. 612.
1905 KEUTNER: Wissensch. Meeresunters. Neue Folge, Bd. 8, Abt. Kiel, S. 27—55.
1925 KOSTYTSCHEW et RYSKALTCHOUK: C. R., Paris, Bd. 180, I, S. 2070—2072.
1900 MAGNUS: Jahrb. f. wiss. Botanik, Bd. 35, S. 205—268.
1911 MIEHE: Abhandlg. math.-phys. Kl. k. sächs. Ges. d. Wiss., Bd. 32, S. 312.
1926 PALMANS: Bulletin Soc. Bot. Genève. Vol. 18, S. 161—174.
1895 PURIEWITSCH: Ber. d. Deutsch. Bot. Ges., Bd. 13, S. 342—345.
1915 RAYNER: Annals of Botany, Vol. 29, S. 97—133.
1901 SAIDA: Ber. d. Deutsch. Bot. Ges., Bd. 19, S. (107)—(115).
1911 STAHEL: Jahrb. f. wiss. Botanik, Bd. 49, S. 579—614.
1908 STOKLASA: Cbtt. f. Bakt., II, Bd. 21, S. 484 und 620 ff.
1904 TERNETZ: Ber. d. Deutsch. Bot. Ges., Bd. 22, S. 267—274.
1907 — Jahrb. f. wiss. Botanik, Bd. 44, S. 353—408.
1893 WINOGRADSKY: C. R. de l'Acad. Sciences, Paris, Bd. 116, S. 1385—1387.
1894 — Ebenda, Bd. 118, S. 353—355.
1902 — Cbtt. f. Bakt. II, Bd. 9, S. 53.
1926 WOLFF: Jahrb. f. wiss. Botanik, Bd. 66, S. 1—34.