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: 110 (1929)

Rubrik: Eröffnungsrede des Jahrespräsidenten und Hauptvorträge

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 02.05.2026

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

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 110. Jahresversammlung der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft in Davos

von

W. SCHIBLER
Dr. med. et phil.

Davos, seine Entwicklung und seine Pflanzenwelt

Geehrte Damen und Herren!

Wenn die kleine Sektion Davos es unternommen hat, die grosse Schweizerische Naturforschende Gesellschaft zur Jahresversammlung einzuladen, und der Sprechende, so wenig er sich dazu berufen weiss, sich der hohen Ehre, Ihre Versammlung eröffnen zu dürfen, unterzieht, so geschieht es nur im Bewusstsein, dass wir Ihrer Nachsicht sicher sind, und dass ganz Davos hinter uns steht, die Naturforscher unseres Landes empfangen und unsere grösste wissenschaftliche Vereinigung für einige Tage beherbergen zu dürfen. Mehr als ein Menschenalter ist verstrichen, seit sie das erste Mal in Davos getagt hat; bis zum Jahre 1890 müssen wir zurückgehen, um der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft in unserem Tale zu begegnen. Sie half ein Jubiläum mitzufeiern, denn es waren gerade 25 Jahre verflossen, dass die ersten Gäste zum Winteraufenthalte in Davos eingetroffen waren. Schon nach dieser kurzen Zeit war Davos zum Weltkurorte erwachsen, kamen Gäste aus allen Himmelsgegenden in das weitentlegene Tal, dessen Ruf als erster wichtigster Lungenkurort aber schon damals unbestritten war. Hatten schon die alten Griechen ihre Kranken in die Berge geschickt, von denen das Heil kommt, so beobachtete auch Dr. Alexander Spengler, als Landschaftsarzt nach Davos berufen, dass einesteils Tuberkulose unter der Bevölkerung kaum vorkomme, anderseits, dass Davoser, die früher wie die Engadiner, meist als Zuckerbäcker öfter in die grossen Städte der umgebenden Staaten oder gar bis nach Polen oder Russland ausgewandert, dort unter meist misslichen hygienischen Verhältnissen, nicht selten an Tuber-

kulose erkrankt waren, wenn sie nur zur rechten Zeit ihre alte Heimat wieder aufsuchten, dort wieder genasen. Wenn sich auch der Ruf absoluter Immunität der Landschaft nicht hat ganz aufrechterhalten lassen — gibt es doch auf der ganzen Erde wohl kaum mehr eine Gegend, die sich einer solchen rühmen könnte, nachdem einmal die Gelegenheit zur Einschleppung des Erregers der Krankheit vorhanden gewesen — so kann ich doch nach nunmehr 38jähriger Erfahrung, zuerst als langjähriger Landschaftsarzt, die mich fast die Bewohner jedes Hauses kennengelernt hat, versichern, dass auch heute noch Tuberkulose unter den Einheimischen und gesund hergekommenen Niedergelassenen eine seltene Krankheit geblieben ist, trotzdem seit Gründung des Kurortes Tausende und Tausende von Kranken meist lange Zeit hier geweilt haben. Ich möchte hier beifügen, dass Dr. Walz an derselben Tagung 1890 in der medizinischen Sektion aus seiner Praxis in Bogota, der Hauptstadt Kolumbiens, 2600 Meter in den Anden, nahe dem Äquator gelegen, berichtete, dass ihm dort Tuberkulose eine unbekannte Krankheit geblieben sei. Ob es sich heute noch so verhält, weiss ich nicht. Die Bazillenfurcht vor Davos ist tatsächlich unbegründet. Wenn hie und da behauptet wird, dass Angestellte in Hotels und Sanatorien krank geworden seien, so ist zu bemerken, dass gar oft Leute mit der Diagnose Anämie oder etwa Erholungsbedürftig nach Davos geschickt werden, bei denen dann aber unter strenger Arbeit — sie sollen hier nicht nur Gesundheit, sondern auch Arbeit finden — die dem angeblichen Übel zugrunde liegende Krankheit erst manifest wird. Die beiden ersten Patienten Spenglers, nachdem sie lange anderswo ihr Heil versucht hatten, sind dann auch in Davos gesund geworden. Der eine, Dr. Unger, ein Arzt, hat nachher lange Zeit in Davos praktiziert, hat für seinen Teil zur Ausbreitung des Rufes des neuen Kurortes beigetragen und ist später wieder in seine Heimat zurückgekehrt. Der andere, Herr Hugo Richter, hat hier eine zahlreiche, gesunde Familie gegründet und ist, immer tätig, vor noch nicht langer Zeit über 80jährig in Zürich gestorben. Das Neue an Spenglers Gedanken war nicht, dass er Kranke zur Heilung in die Berge zog — das haben andere vor ihm schon getan — nein, dass er gerade den Winter für besonders wirksam erkannte. Das wird die unvergessliche Ruhmestat Spenglers bleiben, dass er der kranken Menschheit den zentralalpinen Winter entdeckte — die Gesunden haben ihn für ihre Sportzwecke erst viel

später gefunden. Die Ältern unter Ihnen mögen sich an ihre Jugendzeit erinnern, als man sich noch den Winter in den Alpen als etwas Schreckliches vorstellte. Haufen von Schnee, Nebel und Wolken sollten die Menschen und Tiere in einer Art arktischer Nacht umschliessen, aus der sie erst der beginnende Frühling wieder befreite. Und in diese sibirische Wüste sollte man Kranke schicken, und gerade diejenigen, welche am meisten Schonung verdienten, Lungenkranke, für die man bis dahin gerade die wärmsten, geschütztesten Rivieren für gut genug gehalten, um das Übel wenigstens einzudämmen. Ich selber erinnere mich, als Student in den Alpen weilend, dass ich mich so Mitte September, nachdem der erste Schnee gefallen war, schleunigst auf die Heimreise machte, um ja noch zeitig genug den gierigen Klauen des alpinen Winters zu entrinnen. Und was berichteten nun die Kranken nach Hause? — Wir bedauern euch da unten in den Ebenen, die ihr missmutig in feuchter Kälte, in ewig grauem Nebel die Tage verbringen müsst, während wir hier oben unter blauestem Himmel wandern, wohlig in der Wärme draussen liegen, in Vergessenheit hineinschauen in das flimmernde Licht, in ein Lichtmeer, wie es keines mehr gibt auf Erden, das unsere Seele hoffnungsfreudig aufjauchzen lässt und unsere Genesung verbürgt. So kann es uns nicht wundern, wenn schon nach 25 Jahren das einfache Hirtendorf Davos, in das einst der alte Spengler, der Revolutionär und Flüchtling, von seinen Schweizerfreunden dirigiert worden war, und dem er, wie er noch mir erzählte, lieber gleich wieder den Rücken gekehrt hätte, so einsam, so weltverlassen war ihm das Land dahinten erschienen, zum Weltkurort erwachsen war, gegründet auf die Beobachtungen eines einfachen Landarztes. Alle die Männer, die einst dem werdenden Kurorte an der Wiege gestanden haben, lebten damals noch, als die Schweizerische Naturforschende Gesellschaft das erste Mal in Davos tagte. Neben Dr. Spengler, der alte Willy Holzbœr, der kongeniale Organisator des Kurortes, dessen unermüdlicher Arbeit es zu verdanken war, dass gerade in jenem Sommer 1890 die Bahnlinie Landquart-Davos eröffnet werden konnte, und man darf ihn mit vollem Recht den Initiator, den Bahnbrecher für das heute so ausgedehnte, so bewunderungswürdige Werk der Rhätischen Bahn nennen, das für Graubünden eine neue Zeit heraufgeführt hat. Als er starb, hat ihm Davos, wohl eingedenk, was es ihm zu verdanken hatte, eine grossartige Leichenfeier veran-

staltet. Und an dieser Stelle schon möchte ich auch Herrn Pfarrer Hauri erwähnen, der, als kranker Student nach Davos gekommen, hier gesund und ein tüchtiger Bergsteiger geworden, sein ganzes Leben Davos gewidmet hat. Er stand Holzbœr, dem Holländer, der mit der deutschen Sprache immer im Kampfe lag, hilfreich mit gewandter Feder und gewähltem Stil zur Seite, wie er diese auch bei so mancher andern Gelegenheit in den Dienst des Kurortes stellte. Unvergessen sei auch seine Arbeit für die Schweizerische Naturforschende Gesellschaft, die er als Jahrespräsident in Davos 1890 eröffnete mit einer Rede, in der er meisterhaft vor Ihnen das alte Davos und seine reiche Geschichte auferstehen liess. Vielleicht gibt es unter Ihnen noch einige, die damals, an der Versammlung anwesend, sich erinnern, wie er ausführte, dass Davos, obwohl abgelegen, auf seine Landwirtschaft allein angewiesen — denn der mittelalterliche Bergbau in den Zügen auf Blei und Silber hat wohl nicht viel Geld ins Land gebracht — doch stets in den rhätischen Bünden eine hervorragende Stellung einnahm, wie auf seiner prächtigen Ratsstube die Gesandten Österreichs, Spaniens, Frankreichs, Venedigs ein- und ausgingen, um sich die damals eifrig begehrten Bündnerpässe zu sichern. Wer sich ein Viertelstündchen erübrigen kann, möge nicht versäumen, diesen Saal, in dem auch der Bündner Nationalheld Jürg Jenatsch, der auf Davos ein Haus besass, oft verkehrte, aufzusuchen, und gewiss wird er auch mit Interesse den Bilderschmuck in Augenschein nehmen, der ihm die Entwicklung des Kurortes aus einigen zerstreuten Häusergruppen zur gegenwärtigen Gesundheitsstadt von 10,000 Einwohnern vorführt. Im weiten Alpenbogen von Wien bis Nizza finden wir kein anderes Tal, mit Ausnahme des Engadins, mit so günstigen klimatischen Verhältnissen, in dem, in Höhen von 1540 bis 1650 — und wenn wir die Schatzalp hinzurechnen, bis 1860 Meter — der Bau einer Erholungsstadt mit allen modernen kulturellen Bedürfnissen sich ermöglichen liesse.

Hauri hat Ihnen weiterhin auch die geologische Talgeschichte nach dem Stande der damaligen geologischen Forschung ausgeführt, weil sie in der Tat für das Verständnis auch der Klimatologie wichtig ist. Er verglich sie mit jener des Oberengadins und sagte, wie dort die Maira dem jugendlichen Inn in die Flanke gefallen ist und ihn nach Süden abgezogen hat, das oberste Inntal als Torso zurücklassend, so habe die Landquart dem Davoser Land-

wasser, das einst am Schlappinerjoch im Rhätikon seinen Ursprung hatte, nach hinten erodierend, das Bett abgegraben, und so sei auch das Davosertal als Torso zurückgeblieben. Der Vergleich wird noch ähnlicher, wenn wir uns daran erinnern, dass der Inn seine Quelle nun im Silsersee, wie das Landwasser die seine im Davosersee zu suchen hat, wenn wir nicht gerade einen der in diese Seen einmündenden kleinen Bäche als Ursprung für Inn und Landwasser ansehen wollen. Unterdessen sind aber die Geologen, wenigstens was die Talgeschichte von Davos anbetrifft, zu einer ganz anderen Auffassung gekommen. Das Landwasser sei im Gegenteil bis in die späte Diluvialzeit immer ein nordöstlicher Zufluss der Landquart, der Wasserader des Prätigaus, gewesen, und wenn es heute einen gerade entgegengesetzten Lauf nach Südwesten einschlage, so sei dies die Folge eines prähistorischen Bergsturzes von der Totalp, der sein Tal bei der heutigen Passhöhe des Wolfgang ausgefüllt und sich noch weit hinunter bis gegen Klosters erstreckt habe. Im Laret hat er noch kleine Bergsturzseen aufgestaut — wie ja auch Flims seine hübschen Seen einem Bergsturz zu verdanken hat — von denen einer, der Schwarzsee, sich bis heute erhalten hat, während ein anderer hinter der Gasfabrik mitten im Walde gelegen, heute verlandet ist und zur Entstehung des einzigen noch lebenden Hochmoors in der politischen Gemeinde Davos Veranlassung gegeben hat. Oberhalb des gewaltigen Bergsturzrückens, dessen Ursprung man noch in den öden Serpentinwüste der Totalp entdecken kann, und den die Eisenbahn wie die Strasse mühsam erklimmen muss, sei nun das Landwasser gestaut worden. Das Tal oberhalb des Schuttwalles sei ersäuft worden und ein weites Seebecken aufgestaut, das sich hinunter resp. hinauf bis nach Frauenkirch, ja bis nach Glaris erstreckt habe. Durch den Schutt, der von den Seitenbächen, namentlich aus den linksseitigen — früher rechtsseitigen — grossen Nebentälern des Flüela, Dischma, Sertig herausgeführt wurde, sei dieser See aber erst in einzelne Becken zerlegt und schliesslich bis auf einen Rest eben den heute noch existierenden Davosersee am Fuss der Wolfgangshöhe ausgefüllt worden. Diesen Vorgängen verdankt heute Davos seine schöne breite Talebene. Dass der See in der Tat nur den Rest eines ertrunkenen Tales darstellt, konnte man am besten während des Baues der Bündner Kraftwerke ersehen, als er zum Zwecke der Anlage eines Stollens — um den See als Winterreservoir be-

nützen zu können — ausgepumpt worden war. Die Fortsetzung dieses tiefen schluchtartigen Talbodens kann man erst unterhalb Laret gegen Klosters wieder finden. Alles was dazwischen liegt, ist von den Schuttmassen der Totalp ausgefüllt, wenn auch teilweise wieder erodiert worden. Der Stollen musste denn auch, um im festen Gestein zu bleiben, ganz auf der rechten Talseite in den Felsen des Hörnli angelegt werden. Die aufgestauten Wasser aber, da sie nicht mehr nach Nordosten abfliessen konnten, hätten sich nun über eine niedere Wasserscheide einen Ausweg nach Südwesten gesucht und dort sich mit einem Seitenbach der Albula vereinigend, mit gewaltig verstärkter Kraft, in jugendlichem Ungetüm die „Züge", jene grossartige Schlucht erodiert, die sich würdig den andern Schaustücken der rhätischen Alpen, dem Schyn, der Viamala usw. an die Seite stellt. So setzt sich nach dieser Theorie das heutige Landwassertal aus zwei ihrem Ursprung nach ganz verschiedenen Talstücken zusammen, das Land vor den Zügen Davos und das hinter den Zügen, beide noch heute klimatisch, in botanischer und zoologischer Hinsicht deutlich voneinander verschieden. Bis vor nicht langer Zeit standen sie auch kaum in Verkehr miteinander, ausser durch einen in luftiger Höhe durch die Zügenschlucht geführten Saumpfad. Erst nach Mitte des vorigen Jahrhunderts, in den 60er Jahren, sind die beiden Teile durch eine Strasse und in diesem durch eine meist in Fels gelegte Eisenbahn in nähere Berührung gekommen. Diesen späten geologischen Ereignissen verdankt Davos nicht zuletzt seine Vorzüge als Kurort, sofern sie an die breite Talebene gebunden sind, und wohl auch seine Windrichtung, die hauptsächlich und besonders im Winter talauswärts gerichtet ist, und schon Hauri und neuerdings Dorno betonen, dass es zu den Hauptvorteilen von Davos gehöre, dass die Bewohner seiner nach Süden gekehrten Häuser und Veranden immer den Wind im Rücken hätten und so voll die Sonne geniessen könnten. Auch sonst ist der Gebirgsbau des Davoser Landwassertales von hohem Interesse; doch ist es Sache des Fachgeologen, in nähere Details einzutreten. Ich möchte an dieser Stelle nur erinnern, dass Bernhard Studer, der Nestor der Alpengeologie, der noch die Versammlung von 1890 besucht hat, in seiner Geologie von Davos den Aufbau seiner Berge voller Rätsel fand. Was würde er wohl heute sagen, wenn die grosse Zahl seiner Nachfolger ihm diese Rätsel durch Ueberschiebungs-,

Decken-, Schuppen-Theorien lösen? Seiner geologischen Vergangenheit, die aber bis in die Gegenwart hineinreicht, verdankt Davos auch seine prominente Höhenlage, die es mit dem ganzen zentralen Bünden teilt, dessen Täler nicht wie anderswo in den Alpen tief eingeschnitten sind. Dieser Lage mitten im bündnerischen Hochboden verdankt Davos auch seine dünne kalte Luft und deren Trockenheit, da die schweren, aus Nordwesten sich heranwälzenden Regenwolken schon an den Aussenketten des Gebirges zum Aufsteigen und zum teilweisen Entladen gezwungen werden, sodass im Innern des Landes die Niederschläge schon viel geringer sind und oft in fester Form erfolgen. Daher auch seine Nebelfreiheit, die Reinheit seiner Luft, die im Winter durch eine Schneedecke, die 5 bis 6 Monate liegt, gesichert wird, im Sommer durch das grüne Kleid seiner Wiesen und Wälder. Daher auch seine geringe Bewölkung, sodass es auch im Winter bei dem weiten Abstand der umgebenden, nicht allzuhohen Bergketten langdauernden Sonnenschein geniesst, der durch die relative Windstille und Windschutz dem Kranken auch wirklich zugute kommt, während anderswo die tiefen kalten Täler oft monatelang im Schatten liegen. Schon früh wurde auch dem Lichte, das ja bei der dünnen reinen Luft ein besonders intensives ist und früh auffiel und seinem Reichtum an besonderen Strahlengattungen eine Rolle für die Heilung von Krankheiten zugeschrieben. Aber erst Dorno hat in mehr als 20jähriger Arbeit zuerst ganz privat und teilweise nach eigenen Angaben konstruierten Instrumenten in unendlicher, nie ermüdender Hingabe, die Fundamente und den stolzen Bau des Licht- und Strahlen-Klimas in unserem Hochgebirge errichtet. Wenn auch erst, sofern einmal von einer grossen Zahl von Orten aus den verschiedensten Teilen der Erde, ähnliche grosse Beobachtungsreihen vorliegen werden, ein definitiver Vergleich möglich ist, so kann Dorno doch schon jetzt aussagen, dass unsere Zentralalpen fast zwischen Aequator und Pol, in der Mitte eingeschaltet, ein unvergleichliches Lichtklima besitzen. Es ist gegenüber den Stationen in der Ebene durch seine stärkere Intensität, durch bessere Qualität und grösseren Reichtum an physiologisch wirksamen kurzwelligen Strahlen und gleichmässigerem Jahresverlauf ausgezeichnet. Mit Stolz rühmt sich Davos, das bis jetzt am besten erforschte Licht- und Strahlungsklima zu besitzen, und nicht vergessen will ich, zu erwähnen, dass Dorno seine Forschungen auch auf Radioaktivität

und Luftelektrizität ausgedehnt hat. Von berufener Seite werden ihnen Resultate und Aufgaben des Strahlenforschungsinstitutes vorgetragen werden und ebenso wird Sie ein kundiger Führer durch das Observatorium begleiten. Dorno selber ist vor einiger Zeit von der Leitung zurückgetreten und wünscht, in seine alte Heimat zurückzukehren.

Schon früh waren die dem Hochgebirge eigenen Züge des Klimas von den Ärzten teils im Sinne von Reizfaktoren auf bei gewissen Krankheiten darniederliegenden Körperfunktionen, wirksam auf dem Wege über das vegetative Nervensystem, teils im Sinne der Schonung kranker Organe gedeutet worden, aber exakte physiologische Untersuchungen lagen wenig vor. Kurort und Therapie hatten sich aus der Empirie entwickelt. Da kamen Berichte über Forschungen und Entdeckungen, die in den Hochanden Südamerikas gemacht worden waren, wonach die Bewohner und auch einreisende Fremde nach kurzer Zeit eine weit grössere Zahl von Blutkörperchen als die Bewohner der Tiefe haben sollen. Auch sei der Thorax der einheimischen Indianer weit über das gewöhnliche Mass entwickelt, fassförmig, fast wie bei Emphysematikern, doppelt auffallend bei ihrer kleinen Statur. Beides, die Vermehrung der Blutkörperchen weit über die Norm und Vermehrung des Blutfarbstoffs sowie die grössere Lungenkapazität wurde wohl mit Recht im Sinne einer Anpassung an die verdünnte, sauerstoffarme Luft gedeutet. Verhielt es sich aber auch wirklich so und galten diese Befunde auch für die Alpen mit ihren viel geringeren Höhen? Sie wissen, dass nach vielen mühsamen Untersuchungen, an denen auch Davos partizipierte, die Frage schliesslich dahin entschieden wurde, dass in der Tat schon bei relativ geringer Erhebung die Vermehrung eine positive und nicht bloss eine scheinbare sei. Es kam hinzu die Feststellung über die grosse Wirkung des Sonnenlichtes, gerade im Hochgebirge, auf die Heilung offener Wunden und auf sogenannte chirurgische Tuberkulosen, die Crux chirurgicorum, so dass bei diesen chirurgische Eingriffe, früher zur Regel gehörend, heute eher zur Ausnahme geworden sind. Und trotzdem immer wieder Stimmen, welche dem Hochgebirge besondere Einwirkungen auf den kranken Menschen absprechen. Es soll durchaus nicht geleugnet werden, dass z. B. Tuberkulose in jedem Klima gesunden könne, dies abstreiten zu wollen, hiesse Tatsachen ins Gesicht schlagen. Aber umgekehrt ist oft genug erwiesen worden, dass erst die Ver-

setzung des Kranken in ein ganz anders geartetes Klima, vor allem der Übergang ins Hochgebirge, der Krankheit eine günstige Wendung zu geben vermochte, wie ja gerade die ersten Pioniere deswegen nach Davos gingen, weil sie anderswo vergeblich Rettung gesucht hatten und erst hier geheilt wurden. Weniger um allerlei Einwendungen gegen die Versetzung von Kranken in ein so differentes Klima, wie es im Hochgebirge herrscht, zu begegnen, als aus dem modernen Verlangen, das an alle klimatischen Kurorte und Badeorte erging, sie möchten die bisher empirisch gefundenen Tatsachen für ihren Heilwert auf den Boden wissenschaftlich begründeter Erkenntnis stellen, veranlasste die Ärzteschaft von Davos immer entschiedener, nach der Errichtung eines Institutes zur Erforschung der besondern Einflüsse des alpinen Klimas auf die Physis des gesunden und kranken Menschen, auf die Organismenwelt überhaupt, zu streben. Die Skepsis unserer Zeit auf allen Gebieten lässt sich eben mit dem Hinweis auf den besondern Brunnengeist nicht mehr beruhigen. Und so kam es denn im Jahre 1923 nach vielen Vorarbeiten, unter grossen Opfern von seiten der Gemeinde, des Staates, der Ärzte und Privaten, zur Gründung des Instituts für Hochgebirgsphysiologie und Tuberkuloseforschung. Diesem soll, sobald es die Mittel erlauben, auch noch eine Abteilung für Pathologie und Bakteriologie angegliedert werden, wie denn schon jetzt das meteorologische Observatorium und Institut für Strahlenforschung in seine Dienste getreten ist. Es musste als ein besonderes Glück für das junge Unternehmen angesehen werden, dass es gelang, als Leiter Herrn Professor Löwy zu gewinnen, der sich schon lange vorher einen Namen als Hochgebirgsphysiologe verschafft hatte. Seit seinem Bestehen — zum Besuch und zur Arbeit steht es den Gelehrten aller Nationen offen — ist schon eine stattliche Zahl wissenschaftlicher Arbeiten aus ihm hervorgegangen. Leider ist Herr Professor Löwy zurzeit nicht in Davos anwesend, da er an dem Physiologenkongress in Amerika teilnimmt. Aber es ist auch hier vorgesorgt worden, dass Ihnen von berufener Seite die bisherigen Resultate, unser Wissen über die Physiologie des Hochgebirges, vorgetragen, und ebenso soll Ihnen unter kundiger Führung das Institut gezeigt werden. Schon die bis jetzt festgestellten empirischen wie wissenschaftlich gefundenen Tatsachen zeigen die grosse Einwirkung des Höhenklimas auf den gesunden, wie erst den kranken Menschen und strafen jene Zweifler

Lügen, welche dem Hochgebirge Einfluss auf den Ablauf von Krankheiten absprechen oder vermindern wollen. Sie haben nur insofern Recht, dass es nicht heissen darf — Tuberkulose z. B. = Hochgebirge — gerade weil die Wirksamkeit seiner klimatischen Faktoren eine sehr aktive ist. Und schon 1890 haben die damaligen Kurärzte in der medizinischen Sektion betont, dass sogenannte eretische Konstitutionen nicht dahin gehörten. Wenn einst ein Arzt an der Rigi seine Kranken nach Status und Befinden bald höher, bald niederer am Berge den Aufenthalt nehmen liess, so ging er von der richtigen Anschauung aus, dass es nicht für jeden Kranken gleichgültig sei, in welcher Höhe er sich gerade befinde. Erst durch genaue Kenntnis aller klimatischen Elemente und ihre Wirkung auf gesunde und kranke Organe und durch ihre Dosierung, soweit sie sich durch ärztliche Anweisungen durchführen lässt, wird es in Zukunft immer mehr möglich sein, das für einen gegebenen Kranken geeignetste Klima ausfindig zu machen. Mancher Vorwurf über einen unglücklichen Ausgang der Krankheit, den man da und dort dem Hochgebirge in die Schuhe schiebt, wird sich dann, weder zum Schaden des Kranken, noch des Kurortes, vermeiden lassen. Ich denke mir auch als eine der Aufgaben unserer Institute, dass in ihm Kurse, Vorlesungen für Ärzte über Meteorologie, Klimatologie und Höhenphysiologie veranstaltet werden. Es wäre dies ein Teil zur Ausführung des Gedankens der Errichtung einer Hochschule in den Alpen, von dem Sie gewiss schon viel gehört und gelesen haben. Während wieder ein anderer Teil, nämlich den Gebildeten unter den Patienten, bei ihrer meist langen Kurzeit eine geistige Ablenkung, eine geistige Beschäftigung zu bieten und sie vor dem schlimmsten Feind, der Langeweile zu bewahren, schon von Hauri in vollendeter Art durchgeführt worden war. In mehreren Wintersemestern hielt er Serien von Vorträgen über allgemein interessierende Themen. Ich erinnere nur an seine Vorlesungen über „Die Welträtsel und ihre Lösung“, in denen er sich als Philosoph und Naturforscher gleich unterrichtet zeigte. Aber hofft die leidende Menschheit nicht immer, durch ein neues Heilmittel, chemo-therapeutisch, sei es durch Kupfer, Silber oder Gold oder irgendein anderes von den vielen neuen, die jeden Tag dem Arzt auf den Tisch gelegt werden, von der Geisel unserer Zeit befreit zu werden, und wären dann nicht alle klimatischen Kurorte überflüssig geworden? Als Koch seiner Grosstat, der Entdeckung

des Tuberkelbazillus, bald auch erste, wenn auch noch so vorsichtige Berichte über sein Tuberkulin folgen liess, hatte sie auch geglaubt, nun in Bälde von der Krankheit erlöst zu werden. Es muss damals nicht lange vor der Tagung 1890 in Davos eine grosse Aufregung geherrscht haben; alle Patienten wollten schleunigst geimpft werden und hofften, in spätestens sechs Wochen geheilt nach Hause verreisen zu können. Es sind seither noch eine grosse Zahl von Tuberkulinen, Immunseren und Immunkörpern dargestellt und auch angewandt worden, aber keines kann sich eines durchschlagenden Erfolges rühmen, und Davos hat sich bis heute weiterentwickelt, es ist nicht obsolet geworden, aus dem ersten Turbanschen Sanatorium sind seither mehr als ein Dutzend geworden, aus noch nicht einem Dutzend Ärzte sind es viele Dutzend Ärzte geworden. Freilich auch in Davos werden nicht alle Patienten geheilt; nicht alle sprechen auf seine klimatischen Reize an, nicht bei allen werden die schlummernden Immunitätskräfte wieder erweckt, aber wenn es geschieht, ist der Erfolg meist ein dauernder, wie denn auch durch das Hochgebirgsklima nicht nur das einzelne kranke, sondern alle Organe beeinflusst werden und diese wieder auf das kranke zurückwirken. Selbstverständlich werden in Davos auch alle alten und neuen Heilverfahren, sofern sie sich in irgendeiner Art und Weise bewährt haben, herbeigezogen, vor allem die chirurgischen Eingriffe, und es darf erwähnt werden, dass Carl Spengler schon 1890 in der medizinischen Sektion ausgedehnte Rippenresektionen zur Heilung von Kavernen empfahl und ausführte.

Meine Damen und Herren! Wer noch an der hohen Wirksamkeit des Klimas auf die Organismenwelt, an der Abhängigkeit von Pflanze und Tier von klimatischen Faktoren zweifeln möchte, ersuche ich, mich auf einem Gange durch unsere Landschaft zu begleiten. Es ist klar, dass in einem Tale, dessen Sohle schon sich von zirka 1000 m zu 1600 m erhebt, dessen umrandende Bergketten Winden und Wolken und der Sonne verschiedenen Zugang und Abwehr gestatten, dessen höchster Gipfel sich bis zu 3150 m erhebt und andere Höhen bis zu 3400 m und mehr in die Nähe gerückt sind, die einzelnen Klimafaktoren in verschiedenster Weise variieren und sich kombinieren müssen. Die meteorologischen Daten eines einzigen oder weniger Beobachtungsorte geben uns hierüber keinen genügenden Aufschluss. Aber in dem

Wechsel des Pflanzenkleides, der Tierwelt haben wir einen Indikator für den Wechsel des Klimas, der auch dem Laien sinnenfällig wird. Wenn Sie auf der Herreise oberhalb Klosters, wo die Bahn in langer Schleife zuletzt definitiv den Weg nach Davos einschlägt, noch einen letzten Blick auf das Prättigau geworfen haben, erfasste Ihr Auge noch einmal das heitere Grün des Buchenwaldes, blieb es haften an schön gewölbten Laubdomen der in den Wiesen von Klosters zerstreuten Ahorngruppen, an Eschen und Ulmen, und von Pany herüber winkte noch einmal alter Eichenwald — dann verschlang sie der düstere Nadelwald für immer. Nun herrscht die Fichte allein, da und dort noch gemischt mit Lärche und zu oberst umfing Sie ein Wald der aufrechten Bergkiefer. Zwar steht noch im Schiatobel in Davos bei 1650 m eine wohl über hundertjährige Buche ganz vereinsamt, weit abgetrennt vom geschlossenen Areal ihrer Art, wohl weil sie hier noch ein besonders klimatisch begünstigtes Plätzchen zu ihrem Gedeihen gefunden hat. Sonst bleibt der Baum dem Landwassertal fremd. Es fehlt ihm hier der ozeanische Hauch, der sich noch bis ins hinterste Prättigau bemerkbar macht. Oft brodeln die Nebel und Wolken aus dem Talkessel von Klosters herauf und wallen über die Schwelle des Wolfgang, um sich hier, den beiderseitigen Bergflanken anschmiegend, bald über der weiten Talebene von Davos aufzulösen. Klosters hat 120 cm Niederschläge, Davos bloss noch 90 cm, und mit der Buche bleibt eine ganze Flora zurück. Der Tamus comunis geht noch bis in die Klus im mittleren Prättigau bei Fideris, die Stechpalme bis Serneus, der Epheu bis Klosters-Dörfli. Galium silvaticum ist ein Bewohner des Buchenwaldes und Galium rotundifolium rückt im Tannenwald bis nahe an die Grenze vor mit der Goldnessel, um weiterhin zu fehlen. Merkwürdigerweise fehlt die Taubnessel Davos ganz, während sie im Prättigau verbreitet ist wie der Waldmeister und die prächtige Asperula taurina. Reich sind hier vertreten die Farne. Noch immer ist das nordische Botrychium virginianum bei Serneus vorhanden, reichlicher die ebenfalls nordische Orchide Malaxis monophyllos, die bis ans Nordufer des Davosersees vorstosst, Dryopteris Oreopteris geht auch nicht weiter ins Landwassertal hinein. Nebenbei erwähnen möchte ich, dass die Serpentinfarne Asplenium adulterinum und vor allem Asplenium adianthum nigrum ssp. Serpentini auf dem Serpentin von Klosters-Selfranga bis zur Höhe der Totalp über 2000 m, hier zuerst für die Schweiz nach-

gewiesen wurden. Aber auch die supponierte Stammform, sofern wirklich ssp. Serpentini von Asplenium adiantum nigrum abzuleiten ist, was meines Wissens bis jetzt nicht gelungen, ist merkwürdigerweise in einzelner Spur auf der Bergalp im Dischma bei 1860 m vorhanden — ein bemerkenswert hoher Standort für diese Art nördlich der Alpen. Doch ich will Sie nicht länger mit der Aufzählung einer Menge von Namen ermüden. Wenn einmal die Spezialfloren des Prättigaus und des Davoser Landwassertales publiziert sein werden, wird sich der Unterschied im Pflanzenkleid dieser beiden so benachbarten Gebiete durch eine grosse Reihe von Arten belegen lassen, sei es, dass die einen dem andern Tale ganz fehlen, oder hier in der Tiefe zurückbleiben, während sie dort in viel grössere Höhen hinaufreichen und so auf Verschiedenheiten im Klima hindeuten. Wenn auch xerothermische Elemente in der Flora des Prättigaus nicht fehlen — ich verweise kurz auf Arabis nova in der Klus bei Fideris, Juniperus sabina ebenda — so beweist dies nur, dass es innerhalb eines allgemeinen Klimas immer Standorte gibt mit lokalen Klimabedingungen, die es einzelnen Arten erlauben, über die Grenze ihres allgemeinen Vorkommens hinauszugehen. Hat nicht auch schon der Bauer bei der Besitzergreifung unserer Täler von dieser Kenntnis Gebrauch gemacht, denn überall hat er seine Siedelungen inmitten seiner Wiesen und Felder auf der „Sunnysyte“ angelegt, und geht nicht heute noch der Wald auf der „Lizisyte“ (Schattenseite) fast oder ganz bis ins Tal an den Fluss und Bach hinunter, und dauert hier der Winter nicht einige Wochen länger als auf der begünstigteren Sonnenseite?

In Davos herrscht der subalpine Fichtenwald souverän, aber er ist nicht eintönig, jeder Baum fast eine Individualität. In ihm steigt die Arve bis zum Seespiegel hinab mit der rostfarbenen Alpenrose; im untersten Talabschnitt die gewimperte auf Zellendolomit bis 1000 m zum Fluss hinunter. Tief im Schatten umspinnt auf der Nordseite die moosigen Stämme die zierliche Linnaea borealis; unsere schönste Liane Atragene alpina schwingt sich empor in die unteren Aeste und zahlreich gucken aus triefenden Heidelbeeren und Moospolstern zarteste Blütenähren unserer winzigsten Orchide, der Listera cordata. Auch die Lärche unterbricht den Nadelwald oft mit hellem Grün und steht manchmal geschlossen am untern Waldrand, auf Alluvionen, auf Schutthalden, wohin ihr die Fichte nicht zu folgen vermag und auch auf magerem Boden

der Bergföhre das Terrain überlässt, besonders auf Kalk und an der oberen Waldgrenze. Auch Lärche und Arve markieren noch oft trotz der Verfolgung des Menschen den obersten Waldgürtel an vielen Stellen, um namentlich im Hintergrund der grossen Seitentäler, des Flüela, Dischma, Sertig, Monstein, dem Engadin und den Gletschern nahe zuletzt zu dominieren, die beiden Sibirier den immer kontinentaler werdenden Charakter des Klimas bezeichnen. Der Laubwald ist verschwunden. Ein paar Gebüsche von Bergahorn, Hängebirken, Traubenkirschen, Zitterpappeln, die noch Blockreviere in den Mädern ob dem linken Seeufer verkleiden; Horste und kleine Wäldchen der Betula hybrida vor allem im Dischmatal und Sertig, ein mehr oder weniger gut erhaltener Streifen Auenwaldes im untern Teil der Landschaft, aus Grauerlen, Salycetum mixtum bestehend, vermögen die Physionomie der Landschaft nicht zu ändern. Wo der romanische Ureinwohner und die ihm von den früheren Landesherren, den Freiherren von Vatz aufgepfropfte alemannische Walserkolonie das Kulturland dem Walde abgerungen hat, breiten sich heute im Tale und an den Hängen weithin die Wiesen, der Reichtum und Stolz des Bauernhauses. Wären Sie im Juli zu uns gekommen, so hätten Sie sie golden schimmern sehen, wenn ein Windhauch in den tausend und tausend Rispen des Goldhafers (Trisetum flavescens var. variegatum) sich verfing, aber auch durchspickt von tausend Blüten in allen andern Farben, von weiss zu gelb und rot und blau, violett zu schwarz. So viele sind schon darunter, die Sie fremdartig anmuten, wenn Sie von der Ebene heraufkommen. Die Primeln neben der dominierenden Primula elatior schon die Integrifolia, an Felsen die Auricula, die grossen Gentianen, die Anemonen (Vernalis, Sulfurea, Narcissiflora), die Crepis-Arten Hypocheris, Pedicularen und so viele andere, die Ihnen bezeugen, dass Sie in eine andere Klimaprovinz eingezogen sind.

Wenn heute allerdings der Ackerbau fast ganz, wenigstens im oberen Teil des Tales im eigentlichen Davos, verschwunden ist, so ist dies nicht aus klimatischen, sondern aus wirtschaftlichen Gründen geschehen, die dem Bauer den Uebergang zur reinen Graswirtschaft und Viehzucht nahelegten. Noch vor wenigen Jahren sah ich auf der Längmatte in Frauenkirch bei 1550 m ein schönes Roggenfeld; reichten die letzten Aeckerlein von Kartoffeln und Gerste bis zur Höhe der Riederalp bei 1800 m. Früher war

in Davos der Bauer ein viel grösserer Selbstversorger als jetzt. So wurden z. B. Erbsen und Saubohnen (Vicia Faba) in grösserem Maßstabe zu Nahrungszwecken gebaut, wie denn auch fast alle Gemüse noch bis zur Schatzalp hinauf gedeihen und sich durch besondere Zartheit und Aroma auszeichnen. Nur die Bohne — Phaseolos — erfriert regelmässig und bekundet damit ihre tropische Herkunft. Wenn heute soviel von der Abwanderung der Gebirgsbevölkerung infolge schwieriger Existenzverhältnisse gesprochen wird, so wäre auf die Gemüsekultur hinzuweisen, die mancher zahlreichen Bauernfamilie einen hübschen Nebenverdienst verschaffen könnte. Während des Krieges allerdings hatte der Ackerbau einen neuen Aufschwung genommen, und hatte auch die Flora eine ungeahnte Bereicherung erfahren. Neue, bisher unbekannte Begleiter, Unkräuter, meist südlicher oder östlicher Herkunft, waren mit ihm aufgetreten, um allerdings mit Eintritt des Friedens mit den nun wieder aufgelassenen Aeckern zu verschwinden. Immerhin bringt der moderne Verkehr eine Reihe von Arten aus fremden Ländern, und einige haben sich schon definitiv eingebürgert, wie z. B. Matricaria discoidea, Lepidium Draba, Erucastrum gallicum; Senecio rupester, im vorigen Jahrhundert nur aus dem Engadin bekannt, ist in Davos nun häufig um Häuser, Ställe, hat aber in der Schiaschlucht auch schon einen natürlichen Standort gefunden und ist zeitweilig bis zur ehemaligen Dorftälihütte bei 2130 m vorgedrungen. Sie alle — und es wären noch manche andere zu nennen — zeugen für die Gunst des Klimas. Sie bieten Ersatz für drohende Verluste, Relicte aus der Eiszeit, ich nenne nur Carex microglochin und Potentilla nivea, die heute auf einen Standort mit wenigen Exemplaren beschränkt sind. Die Landwirte unter Ihnen möchte ich auch darauf aufmerksam machen, dass die Gutsverwaltung des Zürcher Sanatoriums bis weit über die Waldgrenze auf ihrer Clavadeleralp bis 2100 m weit über die gewohnte Höhe der Alpwiesen grosse Amelierationen, Wiesenanlagen hat ausführen lassen, die geeignet sind, den Jahresertrag des Bauern an Heu bedeutend zu steigern. Freilich entgegnet der Bauer, was die reiche Stadt Zürich sich leisten kann, dazu bin ich nicht imstande.

Am markantesten wie in allen Hochgebirgen springt der Einfluss des Klimas auf die Flora in der Ausprägung einer Wald- und Baumgrenze in die Augen. Sie ist wohl nicht nur durch die mit

der Höhe erfolgende Wärmeabnahme, die Kürze der Vegetationszeit, bedingt, sondern wohl noch von andern klimatischen und örtlich auch durch edaphische Faktoren bestimmt, und verläuft daher auch da wo der Mensch nicht eingegriffen hat, höchst unregelmässig. Auffallend ist, dass auch an anscheinend unberührten Stellen der Jungwald fehlt, oder zum Zwergwuchs verdammt scheint. Wenn die alten Veteranen meist schon wipfeldürr das Alter oder der Sturm gefällt wird die Alpe wieder 20 oder 30 m tiefer ins Tal hinunterrücken. Sollen wir dies als eine Verschlechterung des Klimas auffassen? Ich verzeichne die Tatsachen und enthalte mich des Kommentars. Die auch in Davos durchgeführten Wiederaufforstungen, auch da wo sie anscheinend gelungen, werden doch wohl erst in hundert oder mehr Jahren den bestimmten Beweis leisten können, dass an der alten Waldgrenze wiederum Hochwald aufkommen kann. Am höchsten steigt die Baumgrenze in den ans Engadin grenzenden Seitentälern und im untersten, dem Albulagebiet nahen Teil des Landwassertales. Hier gehen die beiden Asiaten Arve und Lärche, bis mindestens 2250 m, die Fichte bleibt immer 100—150 m zurück. Hier auch im untersten Talstück, dem Prättigau am weitesten entrückt, das wir schon bei der geologischen Talgeschichte, als einen besondern Teil kennen gelernt haben, begegnen wir auf einmal der Föhre waldbildend und bis zu 2000 m hinaufreichend. Die Niederschlagsmenge ist auf 80 cm gesunken, ein für die Alpen geringer Betrag. Und hier dringt mit der Kiefer aus dem trockenen Albulatal eine reiche xerothermische Flora noch ins Tal des Landwassers hinein bis in grosse Höhen. Primula elatior im Frühlingsaspekt des oberen Davosertales überall dominierend wird hier selten und von der Primula officinalis abgelöst. Unsere Wiesensalbei im Oberschnitt ganz sporadisch und nicht ursprünglich, reckt hier in den Trockenwiesen überall ihre blauen Aehren und geht auf der Wieseneralp bis 1700 m, auf Falein bis 1800 m. Hier treffen wir auch auf das erste Brometum erecti noch bei 1450 m. Vielleicht die interessanteste Pflanze aber, die diese Föhrenhaine schmückt zusammen mit der südalpinen Ononis rotundifolia ist der prächtige mediterrane Astragalus mons-spessulanus stets begleitet von dem südalpinen Schmetterling Lycaena Escheri. Nur hier ist dieser Schmetterlingsblütler auf die Nordseite der Alpen gewandert, hat hier sein Massenzentrum und Höhenmaximum, wenn er auch weiterhin bis ins Domleschg und Rheintal vorstösst.

Dürfen wir hierin nicht einen Hinweis auf den Einwanderungsweg erblicken, auf den im Rücken liegenden Albulapass, wenn er auch heute im Engadin fehlt, und erst im Südtirol wieder auftritt? Noch bei Tiefenkasten steht Anemone montana neben Seseli annuune, Oxytropis pilosa geht bis Alvaneu und am Eingang des Landwassertales kleben Fumana procumbens, Artemisia campestris, Stipa pennata an Felsen. Eine unserer schönsten stattlichsten Dolden, die südostalpine Peucedanum verticillare geht bis unter Wiesen ins Landwassertal hinein (1400 m), mit Peucedanum oreoselinum (1220 m), das ebenfalls südöstliche Peucedanum Gaudini ist in ganz Davos verbreitet bis über die Waldgrenze, Coronilla Emerus, Veronica Teucrium, Vicia Gerardi, Seseli Libanotis erreichen mit Globularia Willkomii 1600 m und mehr und auch die Hasel ist in dieser Höhe noch in Spuren zu treffen. Und mit diesen Pflanzen sind die Schmetterlinge Melitaea aurelia rhätica, die Zygäna Fausta lacrymans vergesellschaftet, und überall fliegt noch der Bienenschmetterling Ascalaphus. Doch ich will Sie wiederum nicht mit einer zu langen Liste ermüden, und nur noch erwähnen, dass auch die Centaurea Cirrhosa des Comersees hier ihre Hauptverbreitung hat, wohl die Baumgrenze erreicht, aber nicht über Glaris hinausgeht, wie wenn sie noch heute die Grenze der zwei verschiedenen Talstücke respektieren wollte. Das Unterengadin ist ja freilich noch viel reicher an solchen südlichen oder resp. südöstlichen Arten, aber es ist nicht zu vergessen, dass es nur durch niedrige Wasserscheiden von Süden getrennt ist, die wohl heute noch den Einwanderungsstrom nicht zu hemmen vermögen, während dem in Davos hohe Pässe sich entgegenstellen.

Und nun über dem Wald die alpine Region mit ihren Teppichen leuchtender Blumensterne, deren berauschende Herrlichkeit wie Christ so schön gesagt, nichts in der Welt zu vergleichen ist. Auch die Ebenenpflanzen, soweit sie noch in diese Region eintreten, nehmen unter neuen klimatischen Verhältnissen den Habitus echter indigener Alpenpflanzen an. Sie erhalten auch die dickere, oft weitverzweigte Wurzel, den kürzeren Stengel, die am Stamm gedrängteren Blätter, die sich oft rosettenartig dem warmen Boden anschmiegen, leuchtendere Blüten in reinerer Farbe, und dem veränderten äusseren Aufbau entsprechen auch andere anatomische Verhältnisse, so an den Blättern eine dickere Cuticula, weniger und anders verteilte Spaltöffnungen, engere Interzedulären, ver-

mehrte Pallisaden, oft Haarbekleidung. Nicht nur die verminderte Wärme, auch die starke Insolation und Ausstrahlung, die Trockenheit und grosse Evaporation bei grösserer Luftbewegung und dünnerer Luft, vor allem auch das Licht wirkt auf den Pflanzenleib hier umgestaltend. So hat man auch bei dem akuten Licht der Wüste z. B., die in den Seguias flutende Veronica becca bunga mit viel kürzeren Stengeln und gedrängteren Blättern gefunden, als bei Exemplaren dieser Pflanze im mittleren Europa.

Und je höher wir steigen, je mehr die klimatischen Faktoren sich akzentuieren, umsomehr machen sie sich auch am Pflanzenleib bemerkbar. Bei vielen Arten, bei den einen auf niedriger, bei andern erst auf höherer Stufe, finden wir die supponierte Hauptart, vertreten durch eine Varietät, eine Subspezies oder Kleinart die in den Floren als var. frigida, pygmaea, bryoides, subacaulis, excapa usw. aufgeführt werden. Mögen auch manche dieser Formen noch in der Variationsbreite der Art liegen, so sind andere schon sicher erblich festgelegt, auch wo sie mit der Hauptart zusammen vorkommen, welche im Ganzen eine tiefere Stufe einnimmt. Ich erinnere an Arten wie Draba Hoppeana, Arenaria Marschlinsii, Hutchinsia brevicaulis, Gentiana Favrati, Cerastium Fontanum, Silene excapa usw. Sie zeugen für die Gestaltungskraft des Klimas auch in grossen Höhen, wenn auch im Sinne der Reduktion, sie zeichnen sich meist dadurch aus, dass ihr gesamter Körper noch winziger, Stengel und Blätter noch konzentrierter, in der Blütenregion die Hüllen, der Griffel reduzierter als bei der Hauptart wird. Oft wird auch das gefiederte Blatt der Cardamine resedifolia nana zum Einfachen und dadurch die Pflanze der Cardamine alpina habituell zum Verwechseln ähnlich; bei Hutchinsia brevicaulis wie bei Draba Hoppeana ist der Griffel fast ganz verloren gegangen. Sie erinnern an die Ephemeren der Trockenwüste, die auch, um einen flüchtigen Regenschauer ausnützen zu können, in kürzester Zeit mit geringstem Aufwand von Material Blüte und Frucht bilden müssen, um die folgende Generation sicher stellen zu können, und so macht sich auch in unserer alpinen Höhe die Kältewüste am Leib der Pflanzen sichtbar. Mag man sich zur Theorie der direkten Bewirkung nach Lamark bekennen, oder sich auf die Mutationstheorie stützen, in der Ausprägung dieser hochalpinen Neoendemismen aktiv oder passiv ist das Klima deutlich im Spiele. Immerhin macht sich seine Gunst auf dem bündnerischen Hochboden noch insofern geltend, dass von den ca. 1200

bisher im Landwassertale spontan vorkommend aufgefundenen Gefässpflanzen noch ein Fünftel, über 250 Arten die Höhe von 2600 m erreicht; bei 2800 m sind es noch 138; bei 2900 m noch 88; bei 3000 m ist die Zahl auf 52; bei 3200 m auf 22 Arten zusammengeschrumpft; und auf dem Gipfel des Piz Kesch und des Piz Linard sind es schon ausserhalb den Grenzen unseres Gebietes nur noch 5 Arten die der Ungunst des Klimas zu trotzen vermögen.

Wenn ich mir erlaubt habe Ihnen auf einer Wanderung durch die Landschaft Davos den Einfluss des Klimas auf die Pflanzenwelt in ihrer Veränderung in der horizontalen wie vertikalen an der Hand von Beispielen auszuzeigen, weiss ich wohl, dass ich Ihnen damit nichts Neues gesagt habe. Der grosse Haller hat vor schon bald 200 Jahren in zierlichem Latein und schönster Form diesen Wechsel des Pflanzenkleides nach der Höhe schon aufgezeigt, und ist damit zum Begründer der Pflanzengeographie geworden. Es kann Zweiflern an der Wirksamkeit des Klimas auf die Organismenwelt wiederum kein deutlicheres, augenfälligeres Beispiel vorgeführt werden, als es bei einer Wanderung durch unsere Talschaft und aus der Tiefe in die Höhen geschehen kann, und zugleich wollte ich die Botaniker aufmerksam machen, auf den Reichtum und die Mannigfaltigkeit unserer Flora. Was für die Pflanzenwelt gilt, gilt auch für die Tierwelt. Wenn wir auch wohl wissen, dass Experimente und ihre Erklärung aus dem Pflanzenreich wie auch bei Tieren nur mit grosser Vorsicht auch auf den Menschen bezogen werden können; dürfen wir aber nicht doch aus unserer organischen Umgebung und ihrer Veränderung nach dem Wechsel des Klimas a priori nicht auch wichtige Einflüsse auf unsern menschlichen Organismus annehmen, und besonders auch auf den Kranken, so sensiblen, auch wenn wir solche nicht schon durch bisherige Erfahrung und wissenschaftliche Methoden hätten nachweisen können: Resolution, Hebung mancher darniederliegender Organfunktionen, Anregung zur Zellneubildung und Vernarbung, Neubelebung der Immunkörperbildung. Wenn heute so viel von der Gerson-Sauerbruchschen Kochsalzarmen Diätkur zur Heilung der Tuberkulose die Rede ist, und ihre Wirksamkeit vor allem in der Austrocknung der erkrankten Gewebe gesucht wird, so begegnet diese Anschauung sich mit jener, schon der alten Davoser Aerzte die der austrocknenden Wirkung der Luft im zentralalpinen Hochtale einen Teil der Heilkraft von Davos zuschrieben. Es gilt

aber auch für die klimatischen Reize, immer das Optimum zu finden; sein Ueberschreiten schlägt bekanntlich bald ins Gegenteil um. Hauri, der die Psyche der Patienten wohl kannte, hat schon vor mehr als 30 Jahren in seiner schalkhaften Art in den Davoser Blättern das Projekt eines Sanatoriums auf dem Gipfel des Flüela Schwarzhorns bei 3150 m entworfen. Mit vollem Ernst wurde der Plan in seinen geringsten Details ausgeführt, wie wenn die Eröffnung in nächster Nähe stünde. Er sagte, dass er darauf eine Menge von Zuschriften erhalten habe von Leuten, die es kaum erwarten konnten, als erste in dieses neue Gesundheits-Paradies, das etwa dem Glauben „viel hilf viel" entsprechen mochte, einzuziehen. Ich brauche kaum hinzuzufügen, dass diese Patienten in kürzester Zeit, wohl nicht ohne ernstlichen Schaden davon getragen zu haben, ins Tal zurückgekehrt wären, von einem Gipfel, auf dem dauernd bloss wenige Moose und Flechten und 1—2 Dutzend Phanerogamen zu existieren vermögen. Aber, meinte Hauri, man braucht auch das Absurdeste nur mit einem Schein von Folgerichtigkeit und Wissenschaftlichkeit vorzutragen, und man wird immer Anhänger und Gläubige finden. Es wird zur Kunst des Arztes, in der Zukunft gehören, das Klima als Heilmittel ebenso zu dosieren nach Status und Konstitution wie jedes andere.

Meine Damen und Herren! Verschiedentlich habe ich bei Erwähnung von Pflanzenarten auch ihrer Herkunft Erwähnung getan und damit angedeutet, dass die heutige Flora von Davos nicht ganz autochthonen Ursprungs ist. In der Tat wird von der alten tertiären Flora auf der Höhe der Eiszeit, als unser Tal bis weit hinauf von Gletschern erfüllt war, wenig genug übrig geblieben sein. Zwar mischten sich damals als neue Einwanderer Ankömmlinge aus dem hohen Norden bei, die auch heute noch auf unsern höchsten Gipfeln etwa die Hälfte der Florulen zusammensetzen. Erst nach dem Rückzug des Eises wanderte die heutige mitteleuropäische Pflanzenwelt, und mit ihr wohl auch manche vertriebene alpine Art wieder in unsere Täler ein und eroberte von neuem die Höhe, wie denn auch heute diese Wanderung wohl noch nicht abgeschlossen ist. In wärmeren Perioden als heute, auf die uns die Schweden besonders aufmerksam gemacht haben, und wofür sie uns in ihren Torfmoor-Forschungen die besten Beweise geliefert, sind uns wohl auch die Wärme- und Trockenheit liebenden Arten aus dem Süden, Osten resp. Südosten zugeflossen. Vor der Kälte unserer Winter bewahrt sie die dicke

Schneedecke. Einer etwas feuchteren Periode gehören vielleicht einige subatlantische Arten, wie z. B. Lysimachia nemorum und Senecio aquaticus, die aus dem Prättigau heraufsteigend bei uns noch einige passende Standorte gefunden haben. Und schon der alte Verkehrsweg und die neueren erst recht haben uns eine Menge gelegentlicher Gäste gebracht, sogar aus andern Erdteilen wie z. B. die Amsinkia, die einen oder zwei Sommer bei uns ausharren. Manche lassen sich auch ganz nieder, werden einheimisch. Das Ganze eine bunte Gesellschaft, die zum Teil lange bevor Davos Weltkurort geworden ist und Leute aus allen Himmelsrichtungen für kürzere oder längere Zeit beherbergt, hier Aufenthalt oder Heimat gefunden hat. Mögen, wie in der Pflanzenwelt, unsere Gäste in Davos in alle Zukunft friedliche Annäherung und Gedeihen finden. Seien Sie uns alle herzlich willkommen.

Ich eröffne die 110. Session der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft.

Probleme der meteorologischen Strahlungsforschung

von

W. Mörikofer
Vorsteher des Physikalisch-Meteorologischen Observatoriums Davos

„Strahlung" ist eines der Schlagworte der wissenschaftlichen Entwicklung unserer Zeit, Strahlung untersucht der Meteorologe und der Klimatologe, und Strahlung braucht der Mediziner, der Biologe. Aus diesem Grunde ist es dem Zentralvorstand und dem Jahresvorstand der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft angezeigt erschienen, Ihnen gerade an der Davoser Jahresversammlung einen Überblick über Strahlungsprobleme zu bieten; denn zur Diskussion von Strahlungsfragen ist Davos aus zwei Gründen prädestiniert wie wenige andere Orte. Die natürlichen Besonderheiten und Vorzüge der Strahlungsvorgänge lassen sich hier, wie noch vielerorts in ähnlicher Höhenlage, ganz ausgezeichnet untersuchen und zum Teile auch direkt subjektiv erfühlen. Aber ausserdem verfügt Davos über ein Observatorium zur Strahlungsforschung von einer Bedeutung, wie es in Europa nur wenige, in der Schweiz kein zweites gibt. Gegründet wurde das Davoser Observatorium vor mehr als zwanzig Jahren von Carl Dorno aus eigener Initiative und mit eigenen Mitteln; im Jahre 1926, beim Rücktritte Dornos von der Leitung des Observatoriums, wurde dieses dann dem „Schweizerischen Forschungsinstitut für Hochgebirgsklima und Tuberkulose" als selbständige Abteilung angegliedert. Dornos Verdienste um dieses Forschungsgebiet beruhen, kurz gesagt, darin, dass er als Erster Instrumente, die vorher nur zu Einzeluntersuchungen oder im Laboratorium verwendet wurden, für regelmässige Messungen umänderte und im täglichen Beobachtungsdienst benützte, und dass er damit ein ungeheures Beobachtungsmaterial gesammelt und in systematischer Weise verarbeitet hat; und auf dieser Grundlage erst haben sich viele, zum Teile empirisch schon vorher bekannte Eigentümlichkeiten der Strahlungsverhält-

nisse und Vorzüge des Hochgebirgsklimas auch wissenschaftlich erklären lassen.

So hat sich das Davoser Observatorium auf dem Gebiete der Strahlungsforschung eine führende Stellung erworben, und nach seinem Vorbild sind in den letzten Jahren auch in anderen Ländern ähnliche Institute ins Leben gerufen worden.

Viele von Ihnen werden wohl in den nächsten Tagen das Observatorium besichtigen. Ich möchte Ihnen deshalb heute einen Einblick in das Arbeitsgebiet des Observatoriums bieten, werde mich dabei aber auf eine Erläuterung der Grundprobleme beschränken und nicht auf die Messmethoden und die Konstruktion der Instrumente, aber auch nicht auf die Einzelheiten der Untersuchungsergebnisse eingehen.

Nur die Grundfragen sollen uns also heute beschäftigen, die Probleme, deren Kern sich lediglich aus jahrelangen Messreihen herausschälen lässt. Da ich selbst noch nicht sehr lange in diesem speziellen Forschungsgebiet tätig bin, kann ich Ihnen wohl aus unserer Werkstatt, nur wenig dagegen von eigenen Resultaten berichten.

Dafür möchte ich versuchen, die Probleme der Strahlungsforschung in einer etwas anderen Darstellung zu bieten, als sie sonst üblich ist. Während der Klimatologe die klimatischen Durchschnittswerte der Strahlung feststellt, und deren Abhängigkeit von Tages- und Jahreszeit und verschiedenen Einflüssen untersucht — während der Biologe nach der spezifischen Wirkung der verschiedenen Strahlungsarten auf die lebende Zelle und auf den ganzen Organismus fragt, sollen bei meinen heutigen Ausführungen die physikalischen und meteorologischen Gesichtspunkte im Vordergrunde stehen. Es soll gezeigt werden, durch welche physikalischen Vorgänge die Strahlungsverhältnisse in der Natur beeinflusst werden, und wie dies im Einzelfalle des meteorologischen Geschehens in Erscheinung tritt. Daran anschliessend wird sich dann Gelegenheit bieten, zu untersuchen, in welcher Weise diese Grundtatsachen sich für Meteorologie und Astronomie, aber auch für Klimatologie und Biologie auswirken.

Eine Strahlung wird in erster Linie definiert durch ihre Wellenlänge und ihre Intensität. Dem Physiker ist — um einen Vergleich aus der Akustik heranzuziehen — eine ungeheuer lange Tonleiter von Wellenlängen der Strahlung bekannt, von den kür-

zesten Gamma- und Ultragammastrahlen und den Röntgenstrahlen bis ins Ultraviolett und ins sichtbare Gebiet und von hier zu den langwelligen Wärmewellen, die zuletzt in die elektromagnetischen Wellen übergehen — im ganzen eine Skala von rund 60 Oktaven. Nur einen kleinen Teil davon umfasst der Strahlungsbereich, der den Meteorologen interessiert. Im wesentlichen sind es zwei Gebiete, die hier in Frage kommen: einerseits die Sonnenstrahlung, die sich über die sichtbare und die angrenzenden ultravioletten und ultraroten Spektralpartien erstreckt und uns teils direkt, teils indirekt durch Reflexion und Diffusion in der Atmosphäre und an der Erdoberfläche zukommt, und anderseits die von der Erde und der Atmosphäre ausgehende Eigenstrahlung im langwelligen Ultrarot.

Das Spektrum der Sonnenstrahlung beginnt bei etwa 300 $\mu\mu$ und geht bis 3000 $\mu\mu$, der Bereich von 400 bis 800 $\mu\mu$ entspricht dem sichtbaren Spektrum, unterhalb liegt noch etwas Energie im Ultraviolett, oberhalb sehr viel im Ultrarot; das Maximum liegt im sichtbaren Bereich, im Gelb.

Weiter im Ultrarot liegt der Strahlungsbereich, durch den die Ausstrahlung der Erde und die Gegenstrahlung der Atmosphäre, kurz die Eigenstrahlung von Erde und Atmosphäre, charakterisiert werden. Dieser Bereich erstreckt sich von etwa 7000 bis 14 000 $\mu\mu$, mit einem Maximum unterhalb 10 000 $\mu\mu$.

Woher nun, werden Sie vielleicht fragen, kommt es, dass das für den Meteorologen wichtige Spektralgebiet in zwei scharf getrennte Bezirke zerfällt. Zur Erklärung dieser Tatsache darf ich kurz an einige physikalische Gesetze erinnern.

Jeder Körper, dessen Temperatur vom absoluten Nullpunkt verschieden ist, sendet Strahlung aus. Deren Qualität oder Wellenlänge hängt neben den spezifischen Eigenschaften der verschiedenen Materien vor allem von der Temperatur ab. Nach den Strahlungsgesetzen von Planck und Wien verschiebt sich der Strahlungsbereich um so weiter gegen kurze Wellen, je höher die Temperatur ist. Alle Körper unserer Umgebung strahlen, wir sehen diese Strahlung nicht, weil sie weit im Ultrarot liegt; sichtbar wird die Strahlung erst dann, wenn der Körper eine gewisse Temperatur von über 500° C erreicht hat.

Die Körper, die als Strahlungsquelle für den Meteorologen wichtig sind, zerfallen nun in zwei Temperaturgruppen. Die eine

Strahlungsquelle ist die Sonne, eine glühende Gaskugel von rund 6000° Temperatur; ihre Strahlungskurve liegt ziemlich weit im kurzwelligen Spektralgebiet. Sie umfasst auch das ganze sichtbare, also auf unser Auge wirksame Spektrum — wäre dies nicht der Fall, so könnte uns die Sonne nur Wärme, nicht aber Licht spenden. Ganz anders verhält es sich dagegen mit der von der Erdoberfläche und der Atmosphäre ausgehenden Strahlung. Auch die Erde, die an ihrer Oberfläche eine Durchschnittstemperatur von 14° C besitzt, emittiert eine langwellige Strahlung, wie wir oben gesehen haben, von etwa 7000 bis 14 000 $\mu\mu$. Und auch bei der Atmosphäre verhält es sich ganz ähnlich. Für unser Auge ist diese langwellige Strahlung unsichtbar, und auch unser Tastgefühl empfindet sie nicht, da wir selbst wegen unserer etwas höheren Körpertemperatur eine kurzwelligere und stärkere Strahlung emittieren.

Diese beiden getrennten Strahlungsbereiche der Sonnenstrahlung und der langwelligen Eigenstrahlung von Erde und Atmosphäre bilden zusammen den „meteorologischen Strahlungsbereich". Auf ihre meteorologischen Eigenschaften werde ich gleich noch eingehender zu sprechen kommen.

Nur kurz erwähnen möchte ich vorerst noch, dass auch zwei andere Strahlungsgebiete an den beiden äussersten Grenzen des gesamten Wellenlängenbereiches in neuerer Zeit das Interesse der Meteorologen und Geophysiker auf sich gezogen haben.

Der kosmischen, durchdringenden Höhenstrahlung, die allem Anschein nach von ausserhalb der Erde zu uns gelangt, wird eine Wellenlänge von etwa einer Tausendstel Angström-Einheit zugeschrieben. Von dieser Strahlung, die für uns nur durch ihre Ionisationswirkung in Erscheinung tritt, sind uns verschiedene Einzelheiten bekannt, über ihr Wesen wissen wir jedoch sozusagen nichts. Nach den neuesten Ergebnissen scheint es sogar nicht ausgeschlossen, dass wir in der durchdringenden Höhenstrahlung nicht eine Wellenstrahlung von bestimmter Wellenlänge, sondern eine Korpuskularstrahlung von Elektronen sehr grosser Geschwindigkeit und Durchschlagskraft zu erblicken haben.

Einstweilen bietet die Erforschung der kosmischen Höhenstrahlung vor allem theoretisches Interesse für den Geophysiker und den Astronomen. Doch wer weiss, vielleicht ist der Zeitpunkt nicht mehr so fern, wo auch der Meteorologe und der Biologe

dieser rätselhaften Strahlung ihre Aufmerksamkeit zuwenden werden. Erfährt die Strahlung an den Wolkentröpfchen und den Luftmolekülen gewisse Veränderungen, wie Reflexion, Diffusion oder Absorption, so ist es sehr wohl möglich, dass sie ihrerseits auf die Atmosphäre gewisse Wirkungen ausübt, und sich dabei vielleicht in der Zukunft als einer der Faktoren entpuppt, die für uns jetzt noch gänzlich imponderabel sind und doch einen entscheidenden Einfluss auf die Gestaltung des Wetters auszuüben vermögen.

Und der Mediziner, der Biologe wird sich die Frage vorlegen, ob der kosmischen Strahlung, die zwar eine viel geringere Intensität, aber ein viel grösseres Durchdringungsvermögen besitzt als Röntgenstrahlen, nicht etwa auch eine Wirkung auf die lebende, gesunde oder kranke Zelle zukommt.

Eine andere Erscheinung, ebenfalls elektrischer Art, jedoch aus dem Spektralbereich am entgegengesetzten Ende der uns bekannten Wellen, gibt uns Kunde von den Störungen im Luftmeer. Diese, an den Diskontinuitätsstellen der Atmosphäre entstehenden elektromagnetischen Schwingungen werden mit radiotelegraphischen Apparaten aufgenommen, und diese Aufzeichnungen haben zu überaus interessanten Ergebnissen geführt, die zur Diagnose und zur Prognose des Wetters neue Ausblicke eröffnen. Doch steht es mir nicht zu, Ihnen über dieses Forschungsgebiet zu berichten, besitzt doch unsere Gesellschaft in Herrn Dr. Jean Lugeon ein Mitglied, das bahnbrechend auf diesem Gebiete gearbeitet hat.

Doch wir wollen diese beiden Grenzgebiete der sehr kurzen und der sehr langen Wellen wieder verlassen und uns der meteorologisch wichtigsten, der Sonnenstrahlung, zuwenden. Hier gilt die erste Frage der Intensität der Totalstrahlung, also der Wärmewirkung der Sonnenstrahlung. Die Strahlung wird gemessen in Grammkalorien, die pro Minute auf den Quadratzentimeter einer zur Strahlung senkrechten Fläche auffallen. Die auf die Erde auftreffende Totalstrahlung hat eine Grössenordnung von etwas über einer Grammkalorie pro Minute und Quadratzentimeter, in der Höhe von Davos kann sie bei klarer Luft 1,5 Kalorien übersteigen, am äusseren Rande der Atmosphäre würde sie 1,937 Kalorien betragen, ein Wert, der als „Solarkonstante“ eine besondere Rolle spielt.

Wie Sie schon aus den genannten Zahlen erkennen mögen, erreicht nicht alle Strahlung, die von der Sonne in die Richtung der Erde emittiert wird, den Erdboden, sondern sie erfährt auf

dem Wege durch die Atmosphäre zum Teil gewisse Veränderungen. Im wesentlichen sind es zwei ganz verschiedene physikalische Vorgänge, die hier eine Rolle spielen, nämlich die Diffusion und die Absorption. Die beiden Vorgänge sind grundverschieden: Während bei der Diffusion die Strahlung durch Reflexion, Brechung und Beugung nur in ihrer Richtung und Verteilung geändert wird, behält sie ihre übrigen Strahlungseigenschaften bei und gelangt im wesentlichen auch wieder zur Erde. Anders bei der Absorption: hier wird die Strahlungsenergie vom absorbierenden Medium aufgefangen und in Wärme umgewandelt.

Die Absorption in der Atmosphäre ist durchaus nicht immer gleich, sondern sie hängt von der Menge der in der Atmosphäre vorhandenen absorbierenden Medien, wie Wasserdampf, Kohlensäure, Ozon und festen Partikeln ab. Am anschaulichsten wird die Strahlungsdurchlässigkeit der Luft durch den Transmissionskoeffizienten ausgedrückt. Diese Grösse gibt das Verhältnis der von der Luftmasse 1 durchgelassenen zur aussen auffallenden Strahlung an; als Luftmasse 1 ist dabei der Weg bezeichnet, den der Strahl bei Einfall aus dem Zenit von der äusseren Atmosphärengrenze bis zum Erdboden zurücklegt.

Neuerdings werden die Verluste, die die Strahlung in der Atmosphäre erleidet, häufig auch durch den Linkeschen Trübungsfaktor dargestellt. Gehen wir davon aus, dass schon die ideale, reine und trockene Atmosphäre die Strahlung in einem bestimmbaren Masse durch Diffusion schwächt, so können wir auf diese ideale Schwächung die wirkliche beziehen, die ausserdem durch Absorption an trübenden festen oder flüssigen Partikeln und Wasserdampf hervorgerufen wird. Der Trübungsfaktor gibt dann an, wie viele dieser „idealen" Atmosphären gerade die gleiche Strahlungsschwächung ergeben würden wie die wirklich vorhandene Atmosphäre.

Alle die Strahlung schwächenden Einflüsse der Atmosphäre sind in hohem Masse von der Wellenlänge abhängig. Die Diffusion ist direkt eine einfache Funktion der Wellenlänge, die Absorption dagegen hat selektiven Charakter und ist eine spezifische Eigenschaft der durchstrahlten Materie. Der Transmissionskoeffizient kann deshalb stets nur für monochromatische Strahlung streng definiert werden, für Totalstrahlung erhält man einen Mittelwert, der jedoch nicht für das ganze Spektrum charakteristisch ist.

Aus diesem Grunde wollen wir für die weitere Diskussion den

Begriff der Totalstrahlung verlassen und uns der spektralen Verteilung der Sonnenstrahlung zuwenden. Das Energiespektrum der Sonne erstreckt sich über das sichtbare und die anstossenden ultraroten und ultravioletten Gebiete. Die maximale Energie liegt im Sichtbaren, nämlich im Gelb. Viel grösser jedoch als die gesamte Energie im sichtbaren Gebiet ist die im ultraroten gelegene; der Hauptteil der Sonnenenergie kommt uns somit durch die langwellige, unsichtbare Wärmestrahlung zu. Ganz wenig, rund 1 Prozent, beträgt die Strahlungsenergie im Ultraviolett. Die Wirkungen des ultravioletten Lichtes beruhen somit nicht auf der Energie, der Wärmewirkung der Strahlung, sondern auf einer durchaus spezifischen Empfindlichkeit der getroffenen Körper.

Betrachten wir nun, wie die verschiedenen schwächenden Einflüsse sich in den einzelnen Spektralpartien auswirken. Da haben wir zunächst die Diffusion oder Extinktion. Bei dieser erfährt die einfallende Strahlung eine Beugung an den Luftmolekülen. Sind die trübenden Teilchen, in diesem Falle die Luftmoleküle, kleiner als die Wellenlänge der Strahlung, so gilt das Rayleighsche Diffusionsgesetz, wonach die Zerstreuung umgekehrt proportional der vierten Potenz der Wellenlänge erfolgt. Der Rayleighschen Zerstreuung unterliegt somit die kurzwellige Strahlung in viel stärkerem Masse als die langwellige, oder — um im sichtbaren Spektrum zu bleiben — die blaue und violette in etwa zehnmal stärkerem Masse als die rote. Dieser Diffusion ist es zuzuschreiben, dass uns der Himmel nicht unbeleuchtet und schwarz, sondern hell, und nicht etwa weiss, sondern gerade blau erscheint.

Treten zu dieser reinen Molekulardiffraktion an den Luftmolekülen noch Beugung, Brechung und Reflexion an den in der Atmosphäre suspendierten Partikeln, so wird die Abhängigkeit der Extinktion vom Rayleighschen Gesetz gestört, da hier die Teilchen grösser als die Wellenlänge sind. Bei diesen Vorgängen wächst die Extinktion etwa umgekehrt dem Quadrate der Wellenlänge.

Wenn auch der Diffusionsvorgang auf den kurzwelligen Spektralbereich in sehr viel stärkerem Masse wirkt als auf den langwelligen, so darf doch nicht übersehen werden, dass auch die Wärmestrahlung von der Atmosphäre in geringem Masse diffundiert wird. Und da in diesem Spektralbereich die primäre Strahlungsenergie sehr viel grösser ist als im kurzwelligen, so erreicht die diffuse Wärmestrahlung, die uns von der Atmosphäre zugestrahlt wird, doch ganz

beträchtliche Werte, ja im Tiefland kann sie bis zur Hälfte der Intensität der Sonnenstrahlung anwachsen.

Erst seit wenigen Jahren ist man richtig aufmerksam geworden auf die grosse klimatologische und biologische Bedeutung, die dieser diffusen Wärmestrahlung zukommt. Der Klimatologe berechnet dann meist nicht die diffuse Strahlung allein, sondern die von Sonne und Himmel auf eine horizontale Fläche geworfene gesamte Wärmestrahlung. Bemerkenswert ist dabei, dass, wenn die direkte Sonnenstrahlung durch Trübung der Atmosphäre vermindert ist, sie uns dann grösstenteils als diffuse Wärmestrahlung doch wieder zukommt. Am grössten ist für eine gegebene Fläche die Gesamtstrahlung von Sonne und Himmel nicht etwa bei wolkenlosem Wetter, sondern, wenn die Sonne zwischen Wolken hindurchscheint, und die direkte Sonnenstrahlung durch Reflexion an den Wolken noch verstärkt wird.

Interessant ist auch die Abhängigkeit der diffusen Wärmestrahlung von der geographischen Breite. Hier zeigt es sich, dass in Nordeuropa die Gesamtstrahlung, wohl wegen des dauernd tiefen Sonnenstandes, nur die Hälfte des am Äquator gemessenen Wertes erreicht. Bemerkenswert ist nun aber die grosse Vermehrung der Strahlung mit der Erhebung über das Meeresniveau, in die reinen Höhen unserer Alpen; so erhält Davos an Strahlung von Sonne und Himmel eine grössere Kalorienmenge zugestrahlt als irgendeine Station in den Tropen, obgleich es in Mitteleuropa sich eines weniger steilen Einfalles der Sonnenstrahlung erfreut.

Während die Diffusion der Strahlung sowohl an den Molekülen, als auch an den grösseren Partikeln eine einfache Funktion der Wellenlänge ist, beruht die Absorption auf einer selektiven Eigenschaft der absorbierenden Medien und beschränkt sich somit auf bestimmte Spektralbereiche, in denen eine vollständige oder partielle Auslöschung der Strahlungsenergie erfolgt. Als solche Medien kommen in Betracht: Wasserdampf, die permanenten Gase der Atmosphäre, und zwar speziell Kohlensäure und Ozon, und schliesslich die in der Luft schwebenden Massen an trockenem Staub oder feuchtem Dunst.

Es spielen somit bei der atmosphärischen Absorption nur diejenigen Gase eine Rolle, die in verhältnismässig geringen Mengen in der Luft vorkommen. Von den beiden Hauptbestandteilen der Atmosphäre zeigt der Stickstoff keinerlei Absorption in diesem Spektralgebiet, während der Sauerstoff nur Absorptionsbanden aus

feinen Linien aufweist, deren gesamte Absorption sehr gering ist. Besässen auch diese beiden wichtigsten Gase der Atmosphäre ähnlich starke Absorptionen im Bereiche des Sonnenspektrums, wie wir sie noch für die selteren Bestandteile kennen lernen werden, so würde sich der Strahlungshaushalt unserer Erde wohl wesentlich anders gestalten. Von der auffallenden Strahlung würde ein viel grösserer Teil von der Atmosphäre absorbiert und zu ihrer Erwärmung verwendet, ein viel kleinerer bis zum Erdboden durchgelassen werden. Die Atmosphäre wäre also wohl viel wärmer und die Luft dauernd weisslich, und es wäre uns nicht gegeben, uns in frischer Höhenluft einer aus blauem Himmel prächtig warm strahlenden Sonne zu erfreuen.

Von den selteneren Gasen der Atmosphäre besitzen zwar Kohlensäure und Ozon sehr starke Absorptionsbanden, doch liegen diese fast ganz an den Grenzen oder ausserhalb des Sonnenspektrums und sollen zunächst ausser Betracht bleiben.

Eine sehr grosse Rolle im Strahlungshaushalt der Natur spielt dagegen der Wasserdampf. Die breiten und tiefen Absorptionsbänder, die das Sonnenspektrum im Ultrarot aufweist, sind durch den Wasserdampfgehalt der Atmosphäre verursacht. Während der Wasserdampf im sichtbaren Gebiet für Strahlung vorzüglich durchlässig ist, wird im langwelligen, im Gebiet der ausschliesslichen Wärmewirkung, über weite Bereiche die ganze Strahlung ausgelöscht.

Diese Eigenschaft des Wasserdampfes besitzt für den Wärmehaushalt der Atmosphäre eine dreifache Bedeutung. Einmal wird die Wärmestrahlung in der wasserdampfreichen Atmosphäre ganz bedeutend geschwächt, sie geht uns somit für die Erdoberfläche direkt verloren. Indirekt kommt sie uns aber wieder zu, denn zweitens erwärmen sich bei dieser Absorption Wasserdampf und Atmosphäre selbst, so dass sie ihrerseits wieder langwellige Wärmestrahlung gegen die Erde auszusenden vermögen; und drittens bewirkt diese Absorption, dass auch die von der Erde reflektierte Sonnenstrahlung und langwellige Eigenstrahlung nicht in den Weltenraum hinausgeht, sondern in der Atmosphäre zurückgehalten wird. Die Wasserdampfhülle der Erde bildet somit für die Erde einen schützenden Wärmemantel, der für alles Leben auf der Erde einen lebenswichtigen Faktor darstellt, da er die Extreme sowohl der Einstrahlung wie der Ausstrahlung mildert.

Im Gegensatz zu den permanenten Gasen der Atmosphäre ändert

sich deren Wasserdampfgehalt mit Tages- und Jahreszeit, vor allem aber auch mit der Witterung und von Ort zu Ort. Die Strahlungsabsorption im Ultrarot ist deshalb grossen Schwankungen unterworfen.

Über die Absorption in einer Wolke trockenen Staubes wissen wir nur sehr wenig. Doch können wir wohl annehmen, dass sie wegen der vielfachen Reflexion zwischen den einzelnen Partikeln ähnlich ist der Hohlraumabsorption, dass somit der Staub ungefähr wie ein schwarzer, oder wenigstens ein grauer Körper alle auffallende Strahlung gleichmässig absorbiert.

Ein ganz besonderes Interesse beansprucht die Frage nach der langwelligen und der kurzwelligen Grenze des Sonnenspektrums. Die Sonne ist zwar ein glühender Gasball; wegen ihrer grossen Masse emittiert sie jedoch nicht ein Linien- und Bandenspektrum, wie es die Physik im allgemeinen von Gasen lehrt, sondern eine kontinuierliche Strahlung, die nahezu der des schwarzen Körpers entspricht. Nun lässt sich die Energiekurve für die Strahlung des schwarzen Körpers aus der Planckschen Strahlungsformel genau berechnen, und da zeigt sich, dass die Energiekurve der Sonnenstrahlung sich ziemlich genau der theoretischen Kurve anschliesst, mit Ausnahme der bereits angeführten Absorptionsgebiete atmosphärischen Ursprunges und sodann mit Ausnahme der beiden Enden des Spektrums. Hier hört die Sonnenstrahlung bedeutend früher auf, als der Strahlung des schwarzen Körpers entspricht. Im langwelligen Gebiet ist diese Verkürzung des Spektrums, wie auch schon die breiten Absorptionsbanden, dem Wasserdampf und ausserdem etwas der Kohlensäure zuzuschreiben.

Viel auffallender als im Ultrarot ist der überraschend starke Abfall im Ultraviolett. Während das beobachtete Energiespektrum der Sonne sich mit der theoretischen Strahlungskurve eines absolut schwarzen Körpers von 6000^0 absoluter Temperatur in grossen Partien, vor allem auch in der Gegend der maximalen Intensität, vollkommen deckt, lassen sich mehrere auffallende Abweichungen feststellen. Besonders wichtig ist von diesen das kurzwellige Ende des Sonnenspektrums; statt bis unterhalb 200 $\mu\mu$ zu reichen, bricht es in steilem Abfall in der Gegend von 300 $\mu\mu$ ab, ist somit um mehr als 100 $\mu\mu$ verkürzt.

Diese Schwächung des Sonnenspektrums sowie das Abschneiden an der Grenze sind auf Absorptionsbänder des Ozons zurückzuführen. Ozon zeigt in diesem Gebiet eine sehr kräftige Absorption,

die schon bei geringen Ozonmengen stark in Erscheinung tritt. Allerdings reicht diese wichtigste Ozonbande, die das Spektrum abschneidet, nicht bis zum theoretischen Ende des extraterrestrischen Sonnenspektrums. Es wäre deshalb zu erwarten, dass in der Gegend von 200 $\mu\mu$ bis 220 $\mu\mu$ wieder etwas Sonnenstrahlung durch die Atmosphäre hindurchgeht, und von unseren Instrumenten aufgezeichnet wird. In Wirklichkeit ist dies aber nicht der Fall, und es bleibt eine Aufgabe der Zukunft, zu entscheiden, ob das Fehlen des äussersten Sonnenultravioletts dem Ammoniak oder dem Sauerstoff, wie schon vermutet wurde, oder einem ganz anderen Faktor zuzuschreiben ist.

Doch es erhebt sich nun die Frage: Woher kommt denn dieses Ozon, das eine so starke Absorptionswirkung auszuüben vermag? Ozon ist bekanntlich eine chemisch besonders aktive Form des in der Luft stets vorhandenen Sauerstoffes, ist sein dreiatomiges Molekül. Mit der Ozonabsorption und dem Vorkommen des Ozons in der Atmosphäre haben sich in den letzten zwei Jahrzehnten eine ganze Anzahl Forscher beschäftigt, und die interessanten Ergebnisse ihrer Untersuchungen mögen hier kurz zusammengefasst werden. Aus der Absorption der Sonnenstrahlung lässt sich berechnen, dass das Ozon, wenn man es auf eine schmale Schicht von Normaldruck konzentrieren könnte, nur eine Schichtdicke von 3 mm erreichen würde; bei der grossen Lichtundurchlässigkeit des Ozons genügt diese geringe Menge zur Auslöschung ganzer Spektralpartien. Nimmt man an, dass diese Ozonmenge in der Atmosphäre gleichmässig verteilt sei, so würde daraus eine ungeheuer geringe Ozonkonzentration folgen, nämlich eine solche von 4 zu 10 Millionen. Versuche mit künstlichen Lichtquellen auf grosse Distanz haben nun ergeben, dass in der Nähe des Erdbodens keine Ozonabsorption zu beobachten ist, sondern dass das Ozon sich auf sehr hohe Atmosphärenschichten beschränken muss. Und in der Tat haben neue spektroskopische und photoelektrische Strahlungsmessungen, an denen auch unser Kollege Dr. Götz in Arosa beteiligt ist, den Nachweis dafür erbracht, dass diese Ozonschicht ihren Sitz in einer Höhe von rund 30—50 Kilometern hat. Es ist klar, dass diese geringe Ozonmenge nicht auf eine dünne Schicht konzentriert ist, und zudem sind sowohl der Ozongehalt als auch die Höhe der Ozonschicht beträchtlichen periodischen und unregelmässigen Schwankungen unterworfen.

Über die Frage nach der Ursache, die zur Entstehung von Ozon in diesen hohen Schichten führt, herrscht noch keine Klarheit. Bis vor kurzem wurde angenommen, dass das Ozon durch ganz kurzwellige ultraviolette Strahlung erzeugt wird, nämlich durch das äusserste Ende des Sonnenspektrums, das noch eben bis in diese Schichten eindringt. Die allerneuesten Ergebnisse der Forschung sind dieser Erklärung jedoch sehr ungünstig. Ozonbestimmungen, die nicht an Sonnenstrahlung, sondern an Mondlicht angestellt wurden, haben nämlich ergeben, dass nachts die Ozonmenge grösser ist als am Tage, was sich mit der Erklärung der Ozonbildung durch Sonnenstrahlung nicht vereinbaren lässt. So liegt die Entstehung des Ozons noch gänzlich im Dunkeln. Was dagegen die Ozonmenge im Gleichgewicht hält, ist leichter zu sagen. Während diese unbekannte Ursache stets nur die Neubildung von Ozon übernimmt, arbeitet die, gerade vom Ozon absorbierte kurzwellige Sonnenstrahlung von 220 bis 300 $\mu\mu$ an dessen Umwandlung in Sauerstoff. Ausserdem sinkt das Ozon als schweres Gas in die unteren Atmosphärenschichten, wo es unter dem Einflusse des dort vorhandenen Wasserdampfes auch wieder der Vernichtung anheimfällt.

Ich bin etwas näher auf das aktuelle Problem des Ozons eingegangen, weil es von besonderem meteorologischen und geophysikalischen Interesse ist, weil es aber auch, wie wir noch sehen werden, für die Biologie eine sehr grosse Rolle spielt. Doch wollen wir jetzt die Fragen der Sonnenstrahlung verlassen und uns zunächst noch kurz der Eigenstrahlung der Erde und der Atmosphäre zuwenden.

Wie alle Körper, deren Temperatur vom absoluten Nullpunkt verschieden ist, emittieren auch die Erde und die Atmosphäre eine ihrer Temperatur entsprechende Wärmestrahlung. Die Energiekurve dieser Erdstrahlung liegt im langwelligen Gebiet von 7000 bis 14 000 $\mu\mu$. Nach dem KIRCHHOFFschen Gesetz ist die Emission eines Körpers proportional seiner Absorption, und so können wir wohl annehmen, dass die Erdoberfläche ähnlich wie ein schwarzer Körper von etwa 14° C strahlt. Anders verhält es sich mit der Atmosphäre und mit den in ihr vorhandenen Wolken; da ihre Bestandteile eine selektive Absorption besitzen, muss auch ihre Strahlungsemission durchaus selektiven Charakter zeigen. Über die Einzelheiten der atmosphärischen Strahlung in diesem lang-

welligen Ultrarot sind unsere Kenntnisse noch gering. Bemerkenswert ist jedenfalls, dass dieselben Gase, nämlich Wasserdampf, Ozon, Kohlensäure, die im Sonnenspektrum durch ihre Absorption, nun hier durch ihre Emission eine grosse Rolle spielen; es hat sich gezeigt, dass die Variationen der atmosphärischen Strahlung in erster Linie von der Temperatur und von dem durch den Wasserdampfgehalt bestimmten Emissionsvermögen der Luft abhängen.

Die Eigenstrahlung, oder wie man sie gewöhnlich nennt, die nächtliche Ausstrahlung der Erde, und die Gegenstrahlung der Atmosphäre stehen zueinander im Gegenspiel. In Erscheinung tritt deshalb stets ihre Differenz, die sogenannte „effektive Ausstrahlung". Eine wichtige Schutzmantelwirkung der Atmosphäre zeigt sich auch hier wieder. Da die Luft für die kurzwellige Strahlung von der Art des Sonnenlichtes eine verhältnismässig grosse, für die langwellige Wärmestrahlung dagegen eine viel geringere Durchlässigkeit besitzt, kann das Sonnenlicht nahezu ungehindert durch die Atmosphäre hindurchgehen und den Erdboden erwärmen. Die langwellige Wärmestrahlung jedoch, die dieser dann aussendet, wird von der Atmosphäre in viel geringerem Masse durchgelassen und dafür durch Absorption in Wärme umgewandelt. Diese „Glashauswirkung" der Atmosphäre bildet für die Erde einen wertvollen Wärmeschutz gegen zu grosse Abkühlung durch Ausstrahlung in den Weltenraum.

Damit glaube ich, Ihnen die wichtigsten Grundzüge der Physik und Meteorologie der Sonnen- und Himmelsstrahlung kurz dargelegt zu haben. Doch habe ich damit das mir gesteckte Ziel noch nicht ganz erreicht. Eine lobenswerte Tradition der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft strebt dahin, in den Hauptvorträgen nicht nur den engeren Fachgenossen, sondern auch Forschern aus anderen Gebieten etwas Positives zu geben. Ich möchte deshalb versuchen, Ihnen an Hand einiger Beispiele noch ganz kurz zu skizzieren, in welcher Weise sich die besprochenen Gesetzmässigkeiten für andere Probleme der Meteorologie und Klimatologie, aber auch für weitere Arbeitsgebiete wie Technik, Biologie und Astronomie auswirken.

Eine allgemeine Bemerkung möchte ich zunächst vorausschicken. Bei unseren Arbeiten begegnen wir gelegentlich der Frage: Nach welchen letzten Zielen strebt die Strahlungsforschung, versprechen ihre Ergebnisse einen Gewinn für das praktische Leben, oder han-

delt es sich bei ihr lediglich um wissenschaftliche Forschung ohne praktischen Nutzen?

Die Ansicht, dass wissenschaftliche Forschung als Selbstzweck und ohne praktische Ziele keine Daseinsberechtigung habe, ist schon alt und wird von dem nüchteren Sinne unserer Generation immer stärker betont. Glücklicherweise brauche ich vor diesem Forum keine Lanze zu brechen für das gute Recht und die vornehme Pflicht der Naturforschung, sich auch für diejenigen Fragen zu interessieren, denen keine praktische Seite abgewonnen werden kann. Doch umgekehrt ist es ebenso klar, dass auch der Naturforscher in der Regel mit ungleich grösserer Freude und Begeisterung seinen Problemen nachgeht, wenn er sie zu einem praktischen Ziele führen sieht, wobei unter „praktisch" weniger die technische und finanzielle Ausbeutung als die Förderung der menschlichen Wohlfahrt verstanden sein soll. Und ich hoffe, Ihnen nun zeigen zu können, dass auch im Gebiete der Strahlungsforschung viele tiefere Probleme ihre Wurzel haben, die sämtliche ihren wissenschaftlichen Wert aufweisen, von denen aber eine ganze Reihe auch ihre grosse praktische Bedeutung besitzt.

Um zunächst den Strahlungs- und Wärmehaushalt von Atmosphäre und Erde zu überblicken, wollen wir uns nochmals vergegenwärtigen, was mit der einfallenden Strahlung alles geschieht.

Von der einfallenden Sonnenstrahlung wird ein Teil durch die Atmosphäre durchgelassen, ein Teil schon hier zurückgehalten, und zwar zum Teil diffus reflektiert, nach allen Richtungen, gegen die Erde und gegen den Weltenraum zurück; ein Teil wird absorbiert und in Wärme verwandelt und geht dann auch wieder als langwellige Wärmestrahlung nach unten und nach oben. Die bis zum Erdboden gelangende Strahlung wird zu einem kleinen Teile reflektiert, in der Hauptsache jedoch absorbiert und in Form von Wärme dem Boden zugeführt. Diese Erwärmung der Bodenoberfläche wirkt sich nun in sehr verschiedener Weise aus. Durch Leitung werden den obersten Bodenschichten grosse Wärmemengen zugeführt, während die direkte Wärmeleitung an die aufliegende Luftschicht infolge des geringeren Wärmeleitvermögens der Luft nur klein ist. Die indirekte Wärmeleitung jedoch, die Scheinleitung durch Austausch und Konvektion, spielt bei der Erwärmung der bodennahen Luftschichten die Hauptrolle. Dazu kommt die Wärmeausstrahlung des warmen Bodens gegen die höheren Atmosphärenschichten.

Sie sehen daraus, welch ungeheuer wichtige Rolle für den Wärmeumsatz der Sonnenstrahlung in Wärme der Erdboden spielt. Unter dem Einfluss der Bestrahlung durch die Sonne nimmt die Oberfläche des Bodens sehr hohe Temperaturen an, durch Leitung in den Boden und durch Konvektion in die Luft breitet sich diese Erwärmung aus. Die höchste Temperatur hat dabei die oberste Schicht des Bodens, von hier nimmt nach oben und nach unten die Temperatur ab.

Besonderes Interesse beanspruchen die Temperaturverhältnisse der bodennahen Luftschicht, denn sie geben ein indirektes Mass für die Einwirkung der Strahlung. Es ist erst wenige Jahre her, seit man die Verhältnisse in dieser bodennahen Luftschicht nicht nur als „gestört" ansieht, sondern der besonderen Untersuchung für wert erachtet. Schon vor zehn Jahren habe ich die Temperaturverhältnisse in der bodennahen Luftschicht genauer untersucht und bin dabei auf eine Tatsache gestossen, die auch von anderer Seite bestätigt wurde, dass vom heissen Boden aufwärts die Temperatur zwar abnimmt, dass sich jedoch in einer Höhe von etwa einem Meter erneut ein kleiner Temperaturanstieg feststellen lässt. Eine Erklärung für diese eigentümliche Schichtung ist bis jetzt nicht bekannt, man wird wohl annehmen müssen, dass Diskontinuitäten im Austausch dafür verantwortlich zu machen sind.

Die Wärmekonvektion und der Massenaustausch bilden die wichtigsten Träger des von der Erdoberfläche in die Luft hineingehenden Wärmestromes. Auch der Austauschgrösse ist erst in den letzten Jahren vermehrte Aufmerksamkeit zugewandt worden; von ihrer Abhängigkeit von der Strahlung sind noch weitere interessante Aufschlüsse über die Wärmefortpflanzung in der Atmosphäre zu erwarten.

Neben den in kleinen Dimensionen sich abspielenden Vorgängen des Austausches und der Konvektion ist noch ein ähnlicher Prozess von sehr grossem Ausmasse zu nennen: Die atmosphärische Zirkulation, die die Luft in grossen Wirbeln oder gleichmässigen Strömen über grosse Teile der Erde fliessen lässt. Der Strahlungsaustausch zwischen Einstrahlung und Ausstrahlung und die atmosphärische Zirkulation, durch welche die Advektion und Konvektion der Wärme unterhalten wird, diese beiden fundamentalen Prozesse bestimmen die horizontale und vertikale Temperaturverteilung in der Atmosphäre. Beide Prozesse haben einen engen kausalen Zusammenhang:

Die Zirkulation wird durch die Strahlung und die ungleiche Erwärmung des Bodens verursacht, und ihrerseits beeinflusst sie durch die Unregelmässigkeiten der Witterung wieder die Strahlung.

Doch nicht nur am Erdboden spielt sich der Energieumsatz von Strahlung und Wärme ab; wie wir wissen, wird auch in der Atmosphäre Strahlung absorbiert und in Wärme umgewandelt.

Nehmen wir die gegen die Erde emittierte Sonnenstrahlung als konstant an, so geben uns die Schwankungen der atmosphärischen Durchlässigkeit ein Mass für die Menge der absorbierenden Beimengungen der Atmosphäre, vor allem des Wasserdampfes. Und in der Tat ist es Fowle gelungen, Formeln aufzustellen, die aus der Strahlungsschwächung den momentanen Wasserdampfgehalt der Atmosphäre über dem Beobachtungsort zu berechnen gestatten.

Wie leicht zu ersehen ist, besteht auch ein enger Zusammenhang zwischen der Strahlungsdurchlässigkeit der Atmosphäre und der Wetterlage; sie beruht auf den Änderungen des Wasserdampfgehaltes und des Dunstes und ausserdem auf den Vertikalbewegungen der auf- und absteigenden Luftmassen.

Leider wissen wir über diese Zusammenhänge noch sehr wenig, jedoch ist jedenfalls hier noch interessantes Neuland zu bearbeiten. Besondere Bedeutung verdienen diese Fragen, weil davon zweifellos ein praktischer Nutzen für die Wetterprognose zu erwarten sein wird. Wie Sie wissen, ist es die Aufgabe der Aerologie, mit Hilfe von Registrier- und Fesselballons, mit Drachenaufstiegen und neuerdings vor allem mit dem Flugzeug, die höheren Luftschichten zu untersuchen. Es wird eine Aufgabe der Zukunft sein, Aerologie und Strahlungsforschung noch intensiver Hand in Hand arbeiten zu lassen zu einer Aufklärung der Vorgänge in den höheren Luftschichten. Wenn gar, wie bei uns in der Schweiz, die für aerologische Untersuchungen notwendigen grossen Geldmittel fehlen, so sollte erst recht die Strahlungsmessung in die Lücke treten, um aus den Strahlungsschwankungen Schlüsse auf die Änderungen in den höheren Schichten zu ermöglichen.

Diese Erwartung basiere ich auf folgendem Gedankengange: Wie Sie wohl wissen werden, ist das ganze Gebäude der synoptischen Meteorologie, der Lehre vom Wettergeschehen, und damit auch die Wetterprognose, in den letzten zehn Jahren durch die Untersuchungen verschiedener Forscher, vor allem die beiden Norweger Bjerknes, Vater und Sohn, auf eine ganz neue Basis

gestellt worden. Von den interessanten, aber ziemlich komplizierten Anschauungen will ich hier nur das Wichtigste nennen: Eine kalte Luftmasse zirkuliert über dem Polargebiet, eine warme über den Tropen. Diese Polarluft und diese Tropikluft sind gegen die gemässigte Zone durch scharfe Abgrenzungen, die Polarfront und die Aequatorialfront, abgetrennt. Diese beiden Fronten sind, besonders über dem Atlantischen Ozean, in dauernder Bewegung und schwingen gegeneinander. Dabei löst sich häufig eine Masse kalter oder warmer Luft aus ihrem Reservoir los und wandert ostwärts über Europa, wobei sie eine Depression bildet und den üblichen Ablauf des Wetterzyklus verursacht. Nun sind aber diese wandernden Luftmassen nicht etwa Luftsäulen, die sich vom Erdboden bis in die höchsten Höhen erstrecken, sondern sie schieben sich in horizontaler Schichtung mit ganz leichter Neigung der Schichtflächen übereinander. Dringt Kaltluft ein, so schiebt sie sich unter die wärmere und deshalb leichtere Luft, die bereits über dem Kontinent lagert. Bricht Warmluft herein, so gleitet sie längs einer sogenannten Aufgleitfläche über die kalte Luft in die Höhe. Für die Wetterprognose ist es nun wichtig, zu wissen, ob warme oder kalte Luft in der Höhe vorhanden ist, und in welcher Höhe die Trennungsfläche der beiden Luftarten liegt. Da Polarluft und Tropikluft ganz verschiedene Beschaffenheit besitzen, so ist nicht daran zu zweifeln, dass auch ihre Durchlässigkeit für Sonnenstrahlung ganz verschieden ist. Und es ist zu hoffen, dass es der Zukunft gelingen wird, eine Methode auszuarbeiten, die gestattet, mittels Strahlungsmessungen Wetterprognose zu treiben.

Auf eine aussergewöhnliche Möglichkeit, durch Strahlungsmessungen Einblick zu erhalten in die atmosphärischen Verhältnisse, möchte ich noch kurz hinweisen. Während der Physiker im Experiment seine Versuchsbedingungen vereinfachen und nach Belieben variieren kann, ist dem Meteorologen in seinem Arbeitsgebiet keine Möglichkeit gegeben, irgendwelchen Einfluss auf den Ablauf der zu untersuchenden Vorgänge auszuüben. Den einzigen Fall, wo die der Erde zukommende Sonnenstrahlung in genau kontrollierbarer Weise sich ändert, bieten die Sonnenfinsternisse; hier schiebt sich der Mond als ausserterrestrische Blende zwischen Sonne und Erde und in kurzer Zeit nimmt die Einstrahlung ab, und die Atmosphäre ist dann ganz sich selbst überlassen. Aus den Beobachtungen, die Herr Dr. Lindholm und ich im Auftrage des

Davoser Observatoriums vor zwei Jahren bei einer totalen Sonnenfinsternis in Lappland angestellt haben, haben wir den Eindruck bekommen, dass schon eine Minderung der Strahlung von weniger als einer Stunde Dauer genügt, um das Strahlungsgleichgewicht der Atmosphäre vollständig zu stören. Am blauen Himmel bildeten sich kurz vor Beginn der Totalität plötzlich Wolken, die nachher mit zunehmender Strahlung ebenso schnell wieder verschwanden — ein Zeichen, dass im Niveau dieser Wolken in etwa 3000 Meter Höhe viel Wasserdampf vorhanden gewesen und eine starke Emission, Ausstrahlung, Abkühlung und Kondensation eingetreten sein muss. Parallel damit ging in der Tat auch eine Abnahme der Strahlungsdurchlässigkeit der Atmosphäre, die ebenfalls auf Kondensation in den höheren Schichten zurückzuführen ist. So scheint es, dass für die zukünftige Forschung Sonnenfinsternisse wertvolle Hilfsmittel zur Erforschung nicht nur der Strahlungsverhältnisse auf der Sonne, sondern ebensosehr auch der Beschaffenheit der Atmosphäre darstellen.

Auf die Klimatologie der Strahlung kann ich hier nicht eingehen; sie ist ein grosses Forschungsgebiet, das sich nicht mit wenigen Andeutungen skizzieren lässt. Die Strahlungsklimatologie untersucht die langjährigen Mittelwerte und den Tages- und Jahresverlauf der verschiedenen Strahlungen. Ihr Hauptergebnis ist, kurz gesagt, dass die Strahlung im Hochgebirge der in der Ebene durch grössere Intensität, grössere Gleichmässigkeit und Reichtum an kurzwelligen Strahlen bei weitem überlegen ist.

Doch auf einige technische Anwendungen der Strahlenforschung möchte ich noch kurz hinweisen; denn auch der Ingenieur und der Architekt können aus den Resultaten der Strahlungsforschung Nutzen ziehen. So wird zweifellos einmal die Zeit kommen, wo der zunehmende Rohstoffmangel das Menschengeschlecht zwingen wird, intensiver als noch jetzt sich mit dem Problem der Ausnützung der Sonnenstrahlungsenergie zu befassen, und dann werden lokale Kenntnisse über die Intensität und über die Häufigkeit von Sonnenschein und Bewölkung eine grosse Bedeutung erlangen.

Für den Architekten mögen weniger die Intensitäten der Strahlung als die Verteilung der Helligkeit von Interesse sein. Es sei nur daran erinnert, dass durchaus nicht, wie man etwa glauben möchte, ein Südzimmer stets die beste Beleuchtung und den meisten Sonnenschein hat. Im Gegenteil, während des Som-

merhalbjahres sind Ost- und Westzimmer bevorzugt; denn in ihnen scheint die Sonne bis in die Tiefe hinein, während sie über die Mittagsstunden so hoch steht, dass sie kaum hinter die Fensterrahmen der Südzimmer dringt.

Auch auf eine biologische Auswirkung der Strahlungsvorgänge möchte ich noch kurz zu sprechen kommen, auf ein Problem der Ultraviolettstrahlung. Wie Sie wissen, besitzt die lebende Zelle eine spezifische Empfindlichkeit für das kurzwellige Ultraviolett, das die Grenze des Sonnenspektrums bildet. Dieses Spektralgebiet führt bei der Haut zu Erythembildung und Pigmentierung, und auch andere physiologische Wirkungen sind an diesen Bereich gebunden.

Vergegenwärtigen wir uns nun die Empfindlichkeitskurve der Haut, so erinnern wir uns, dass sie nach den Untersuchungen von Hausser und Vahle ihr Maximum etwas unterhalb 300 $\mu\mu$ hat, während von dieser Wellenlänge anderseits eine nur noch ganz geringe Energie der Sonnenstrahlung vom Ozon der Atmosphäre durchgelassen wird. Der Einfluss des Ozons seinerseits auf die Erstreckung des Sonnenspektrums geht daraus hervor, dass nach Fabry für eine Abnahme des gesamten Ozongehaltes um je einen Millimeter konzentrierter Schichthöhe von Normaldruck — in welchem Masse ausgedrückt der Ozongehalt durchschnittlich 3 mm beträgt — die Grenze des Sonnenspektrums um etwa 2,5 $\mu\mu$ weiter ins Ultraviolett rückt, also in das Gebiet der maximalen Hautempfindlichkeit. Während das Maximum der physiologischen Empfindlichkeit vom terrestrischen Sonnenspektrum kaum mehr erreicht wird, würde es der Wirkung der extraterrestrischen Strahlung voll unterliegen. Nun kennt man von Versuchen mit der Quarzlampe, deren Spektrum ähnlich der extraterrestrischen Sonnenstrahlung viel weiter ins Ultraviolett reicht als unser Sonnenlicht, die schweren Schädigungen, die die lebende Zelle von dem noch kurzwelligeren Ultraviolett erleidet.

So ist nicht daran zu zweifeln, dass schon geringe Schwankungen des Ozongehaltes durch beträchtliche Verschiebung der Grenze des Sonnenspektrums einen grossen biologischen Einfluss ausüben, der uns im einzelnen noch gar nicht bekannt ist. Vor allem aber ist es nicht nur als ein Glück, sondern geradezu als Existenznotwendigkeit für alles organische Leben anzusprechen, dass das äusserste Ultraviolett des Sonnenspektrums in der Atmosphäre vollkommen absorbiert wird. Wer möchte da nicht staunen

ob der weisen Ordnung der Natur, die sich des in ungeheurer Verdünnung in grossen Höhen schwebenden Ozons bedient, um organisches Leben auf unserer Erde überhaupt zu ermöglichen.

Doch verlassen wir in Gedanken nun auch noch diese hohen Atmosphärenschichten und gehen wir bis zur Sonne; wir begeben uns damit in das Gebiet der Astrophysik. Und da scheint es nun, dass auch die Strahlung, wie sie von der Sonne selbst ausgeht, keineswegs ganz konstant und gleichmässig ist, sondern Schwankungen erleidet, die von einigen amerikanischen Forschern in besonders günstigem Wüstengebirgsklima nachgewiesen wurden. Danach schwankt die Sonnenstrahlung in längeren Zeiträumen von einigen Jahren um etwa 2 Prozent, in kürzeren sogar bis zu 7 Prozent. Die Schwankung, deren Realität übrigens von anderen Forschern bestritten wird, ist viel stärker im kurzwelligen Spektralteil als im langwelligen.

Interessant ist die Tatsache, dass die Sonnenstrahlung ihre grösste Intensität dann hat, wenn die Zahl der Sonnenflecken am grössten ist. Auf den ersten Blick mag dieser Zusammenhang überraschen, da ja die Sonnenflecken dunklere Stellen der Sonnenoberfläche darstellen. Nun geht aber meistens eine Zunahme der Sonnenflecken Hand in Hand mit einer Zunahme der Sonnenfackeln. Diese sind Eruptionen grosser leuchtender Gasmassen, die starke Strahlung emittieren, wenn sie sich auch für unser Auge nicht stark von der Sonnenfläche abheben.

Gehen wir nun noch einen Schritt weiter, verlassen wir die Sonne und begeben uns unter die Fixsterne. Von hier aus wird uns nun die Sonne wie ein Fixstern erscheinen, und zwar nicht etwa als einer von den grossen, strahlenden, sondern als einer von den kleinen, bescheidenen. Wie uns die Strahlungsforschung lehrt, ist das Licht dieses Fixsterns, wie das so manches anderen nicht konstant, sondern es zeigt Schwankungen. Aus der Perspektive des Weltalls stellt sich somit unsere Sonne als kleiner, veränderlicher Fixstern dar.

Doch wir wollen uns nicht in den Tiefen des Weltalls verlieren, sondern zum Schluss wieder an unsern Ausgangspunkt zurückkehren, zum Davoser Observatorium. Und da sei es mir gestattet, mich mit einem persönlichen Wunsche an Sie zu wenden.

Seine Entstehung und seine Blüte verdankt das Davoser Observatorium Prof. Dorno, einem Norddeutschen; als sein würdiger

Nachfolger hat dann der schwedische Staatsmeteorologe Dr. Lindholm das Institut während dreier Jahre geleitet, und auch als Gäste und Mitarbeiter waren am Observatorium fast ausschliesslich Ausländer tätig. Wenn nun in diesen Tagen die Leitung des Davoser Observatoriums in die Hände eines Schweizers gelegt wird, so sei diesem gestattet, vor dieser hochansehnlichen Versammlung, der Elite der schweizerischen Naturforscher, dem Wunsche Ausdruck zu verleihen, das Davoser Observatorium möge in Zukunft in den wissenschaftlichen Kreisen unseres Landes mehr Rückhalt und Anschluss finden als bisher. Wenn das Observatorium Fühlung mit den aktuellen Problemen der Nachbargebiete behalten soll, so kann dies nur durch dauernden Kontakt mit den naturwissenschaftlichen Pflegestätten, den Universitätsinstituten unseres Landes geschehen. Wir würden es deshalb freudig begrüssen, Anregungen von anderen Forschern aufnehmen und verfolgen zu können und ihnen, soweit es möglich ist, mit unseren Hilfsmitteln zur Verfügung zu stehen.

Ganz besondere Freude aber würde es uns bereiten, wenn schweizerische Forscher hie und da als Gäste am Davoser Observatorium solchen Untersuchungen obliegen wollten, für welche wir ihnen mit unserem ausnehmend günstigen Strahlungsklima und mit unseren vorzüglichen instrumentellen Einrichtungen besondere Vorzüge bieten können. Auch die Ausländer, wie sie seit jeher in beträchtlicher Zahl als Gäste am Observatorium gearbeitet haben, werden uns nach wie vor herzlich willkommen sein. Und zwar richtet sich unsere Einladung nicht etwa nur an Meteorologen und Physiker, sondern ebenso sehr auch an Biologen, Mediziner und Vertreter anderer Disziplinen. Bei der heutigen Spezialisierung der wissenschaftlichen Forschung lässt sich nur durch enge Zusammenarbeit die Universalität der Wissenschaft wahren, und dies ganz besonders in unserem Arbeitsgebiet, wo sich Probleme der unbelebten und der belebten Natur treffen.

Fortschritte der Hochgebirgsphysiologie

von

Rudolf Staehelin,
Professor an der Universität Basel.

Meine Damen und Herren!

Wir sind alle mit grossem Vergnügen der Einladung der Davoser zur 110. Jahresversammlung gefolgt und haben es als besonderen Reiz empfunden, im Hochgebirge zu tagen und dessen erfrischende und belebende Wirkung zu geniessen. Hier mahnt uns auch jedes Haus an den heilenden Einfluss des Höhenklimas, und wir hatten endlich Gelegenheit, das Institut für Hochgebirgsphysiologie zu besichtigen, das vor sieben Jahren durch die weitblickende Energie der hiesigen Aerzteschaft und Einwohnerschaft unter Leitung von Herrn Landammann Branger gegründet wurde. Sie würden es als eine Lücke in den Erlebnissen dieser Tagung empfinden, wenn Sie nicht etwas darüber erfahren hätten, was in der Erforschung der Hochgebirgsphysiologie, an der ja das Davoser Institut, sein Leiter und seine Mitarbeiter, einen hervorragenden Anteil haben, geleistet worden ist, welche Probleme gegenwärtig im Vordergrund des Interesses stehen und welche Ziele für die Zukunft erkennbar sind. Wir bedauern lebhaft, dass Herr Prof. Loewy, der verdiente Leiter des Instituts, nicht selbst anwesend ist, um Ihnen darüber zu berichten, und Sie werden begreifen, dass ich den Auftrag, Ihnen über die Fortschritte der Hochgebirgsphysiologie zu referieren, ungerne und erst nach der Ablehnung seitens mehrerer Herren angenommen habe, die als Fachphysiologen viel kompetenter gewesen wären.

Wenn ich es überhaupt wagen darf, als Kliniker vor Ihnen zu sprechen, so werden Sie es begreifen, dass ich vorzugsweise von der Physiologie des Menschen im Höhenklima spreche und die Physiologie der Pflanzen ganz übergehe, obschon sie seit dem Vortrag, den Prof. Senn darüber an unserer Jahresversammlung in Bern 1922 gehalten hat, weitere schöne und interessante Ergebnisse zu Tage

förderte. Als Entschuldigung für mein Wagnis mag dienen, dass die Verbindung von praktischer Medizin und Physiologie bei der Bearbeitung der Fragen der klimatischen Wirkungen im Hochgebirge von jeher eine besonders enge war. Wie so vielfach in der Medizin, so ging auch hier die Beobachtung am kranken Menschen voraus. Ich kann es mir nicht versagen, einige historische Bemerkungen zu machen. Wir können in der Hochgebirgsphysiologie drei Perioden unterscheiden. In der ersten beschränkte sie sich auf einzelne gelegentliche Beobachtungen, die vom französischen Physiologen Paul Bert in seinem 1878 erschienenen Buch „La pression barométrique“ sorgfältig gesammelt wurden. Als Anbruch einer zweiten Periode, als Beginn der systematischen Erforschung des Höhenklimas mit Einschluss der Höhen, wie sie für praktische Zwecke in Betracht kommen, haben wir die Arbeiten des leider so früh verstorbenen Basler Physiologen Friedrich Miescher zu betrachten. Das, was Miescher zur Arbeit über das Höhenklima geführt hat, war die Erkrankung seines Schülers Egger, der in Arosa Heilung suchte und fand, und der seine unfreiwillige Musse in Arosa mit wissenschaftlicher Arbeit auszufüllen wünschte. Es lag nahe, die physiologischen Wirkungen des Höhenklimas zu erforschen, dessen Heilwirkung bisher noch keinerlei Erklärung gefunden hatte. Es fehlte jedoch jeder Anhaltspunkt, da die Untersuchungen von Paul Bert und von Fränkel und Geppert einen Einfluss der Luftverdünnung erst in Höhen von 4000—5000 m erwarten liessen. Da erfuhren Miescher und Egger von der Mitteilung des französischen Histologen Viault am 8. Dezember 1890 in einer Sitzung der französischen Akademie der Wissenschaften (die schon Herr Dr. Schibler in seiner Eröffnungsrede erwähnt hat), dass er in Bestätigung einer Vermutung Paul Berts bei Menschen und Tieren in einer fast 4400 m hoch gelegenen Ortschaft in Peru eine ungewöhnlich hohe Zahl von roten Blutkörperchen im Blut festgestellt hatte und auch bei sich selbst und bei einem Begleiter eine Zunahme in dieser Höhe konstatieren konnte. Egger untersuchte deshalb noch im gleichen Jahre das Blut bei sich und bei anderen in Basel und in Arosa und fand dabei, dass die Vermehrung der roten Blutkörperchen und des Hämoglobins bei Menschen und Tieren schon in dieser Höhe eintritt. Dieser Befund war eigentlich nicht zu erwarten, da die Sauerstoffsättigung des Hämoglobins bei dem Sauerstoff-

druck, der in der Höhe von Arosa auf den Lungenkapillaren lastet, noch eine vollständige ist und erst in Höhen von 4500—5000 m wesentlich herabgesetzt wird. Es war deshalb merkwürdig, dass schon bei einer so geringen Herabsetzung des Sauerstoffdruckes eine Veränderung auftritt, die ja nur als Reaktion auf den Sauerstoffmangel aufgefasst werden kann. Miescher erkannte in seiner Genialität sofort die Bedeutung dieser Feststellung. Er suchte zunächst, sie zu bestätigen und die Grenze der Höhendifferenz festzustellen, wo diese Regulation beginnt. Er liess deshalb durch seine Schüler Karcher, Veillon und Suter bei Anlass von Ferienaufenthalten Blutuntersuchungen vornehmen, und zwar mit verfeinerten Methoden der Blutkörperchenzählung und Hämoglobinbestimmung und fand, dass ein Unterschied von etwa 500 m diese Grenze sein dürfte. In dem im Herbst 1893 in Olten gehaltenen Vortrag, in dem er seine Resultate der Schweizer Aerzteschaft mitteilte, sagte er: „Wir stehen hier vor einer der feinsten und interessantesten Reguliereinrichtungen, welche die Physiologie kennt.“ Er hatte sich deshalb vorgenommen, die Wirkungen des Höhenklimas auf breiter Basis zu erforschen, aber die Krankheit, für die ihm tragischerweise das Höhenklima keine Heilung mehr bringen sollte, hinderte ihn daran, und nur ein Teil seiner Pläne ist von seinen Schülern ausgeführt worden, namentlich von Jaquet.

Unterdessen hatten aber auch andere Forscher ihr Interesse dem Höhenklima zugewandt. Ich erwähne nur Kronecker in Bern, Mosso in Turin und besonders Zuntz in Berlin mit seinen Mitarbeitern Loewy und Durig. Es setzte jetzt eine Zeit intensiver Untersuchung der Höhenklimawirkungen ein, die man als die Periode des systematischen Sammelns von Material bezeichnen kann. Allerdings war das Ziel der Forscher schon damals die Erkennung des Mechanismus, der den Wirkungen des Höhenklimas und der Reaktionen des Körpers zugrunde liegt, aber zunächst galt es, Beobachtungen über das Verhalten der einzelnen Körperfunktionen in verschiedener Höhenlage zu sammeln. Erst etwa 20 Jahre später trat die Analyse der festgestellten Höhenklimawirkungen mehr in den Vordergrund, und eine dritte Periode zeichnete sich deutlicher ab, in der wir uns jetzt befinden.

Die Ergebnisse der zweiten Periode der physiologischen Höhenklimaforschung muss ich kurz zusammenfassen, wenn ich Ihnen über die neueren Fortschritte berichten soll. Zunächst galt es, die

Neubildung von Blut im Höhenklima mit absoluter Sicherheit festzustellen und die Möglichkeit auszuschliessen, dass es sich nur um eine Eindickung des Blutes oder um eine andere Verteilung der roten Blutkörperchen im Körper handle. Deshalb wurden die Untersuchungen an Menschen und Tieren mit immer verbesserten Methoden wiederholt, z. B. 1910 von Bürker, Neumann und ihren Mitarbeitern auf der Schatzalp, und an Tieren wurde der gesamte Hämoglobingehalt des Körpers in der Ebene und in der Höhe von Jaquet und Suter, Abderhalden und anderen untersucht, in künstlich verdünnter Luft von Jaquet. Es ergab sich dabei eine Bestätigung der Befunde Mieschers und seiner Schüler. Tatsächlich findet schon in den Höhenlagen, wie sie zu Heilzwecken aufgesucht werden, eine Vermehrung des Hämoglobins und der roten Blutkörperchen statt, aber individuell bestehen grosse Unterschiede. Bei anämischen Menschen ist sie stärker als bei normalblütigen. Es hat sich aber auch gezeigt, dass nicht jede Vermehrung der roten Blutkörperchen oder des Hämoglobingehaltes im mm^3 Blut auf einer Neubildung beruht, sondern dass wir beim Uebergang ins Höhenklima zwei Perioden zu unterscheiden haben, nämlich eine schon in den ersten Tagen einsetzende Veränderung des Blutes, die noch nicht auf Neubildung beruhen kann, und eine erst allmählich sich geltend machende Neubildung. Die initiale Veränderung fand einstweilen noch keine Erklärung.

Neben dem Blut wandte sich das Interesse in erster Linie dem Kreislauf zu. Die Beschleunigung des Herzschlages beim Uebergang in höhere Regionen war schon vielen Beobachtern aufgefallen und von einigen Schweizer Aerzten wie Mermod und Veraguth studiert worden. Es zeigte sich, dass die Erhöhung der Pulsfrequenz bei Körperruhe in niederen Höhen individuell sehr verschieden ist, in grösseren Höhen dagegen regelmässig eintritt und progressiv zunimmt. Besonders stark ist die Zunahme der Pulsfrequenz bei körperlicher Arbeit. Die gleiche Arbeit, die in der Ebene die Pulsfrequenz nur wenig erhöht, macht in der Höhe eine sehr viel stärkere Steigerung. Die gleiche Muskelarbeit verlangt also mehr Herzarbeit. Besonders interessant waren auch die Untersuchungen Strohls, der nachwies, dass beim Alpenschneehuhn das Herz grösser ist als beim Moorschneehuhn, und zwar fast ausschliesslich die rechte Herzhälfte. Auf die Erklärung dieser merkwürdigen Tatsache werde ich später noch zurückkommen.

Da also die Arbeitsleistung des Herzens im Höhenklima gesteigert ist, erhob sich die Frage, ob auch der Blutdruck verändert wird. Im ganzen konnten keine wesentlichen Veränderungen festgestellt werden. Einzig Egger und Max Burckhardt fanden eine geringe Erhöhung in Davos, aber vorzugsweise bei Patienten mit niedrigem Blutdruck. Auch die Untersuchungen bei künstlicher Luftdruckerniedrigung ergaben erst Veränderungen, wenn der Druck so weit gesunken war, dass ein gefährlicher Sauerstoffmangel auftrat. Selbst bei plötzlicher Luftdruckverminderung im Luftballon und in der pneumatischen Kammer konnte ich an mir selbst keine Veränderung feststellen, weder des maximalen noch des minimalen Blutdruckes. Nachdem Stäubli sogar bei Patienten mit erhöhtem Druck keine Steigerung im Hochgebirge feststellen konnte, nahm man an, dass der Blutdruck jedenfalls in den für den dauernden Aufenthalt von Menschen geeigneten Höhen nicht verändert werde. Nun haben aber Lüscher und Loewy festgestellt, dass bei älteren Leuten der Blutdruck ansteigen kann, wenn sie ins Hochgebirge kommen, sogar schon in der Höhe von Davos. Diese Beobachtung braucht uns keineswegs zu veranlassen, eine Gefahr des Höhenklimas für alle Patienten mit erhöhtem Blutdruck oder gar für ältere Leute überhaupt zu konstruieren, denn die täglichen Erfahrungen und die ausgedehnten Untersuchungen Stäublis beweisen das Gegenteil. Sie hat aber grosses theoretisches Interesse, da sie zeigt, dass nicht nur die Blutbildungsstätten, sondern auch das Gefässzentrum im verlängerten Mark auf den Reiz des Höhenklimas reagiert.

Aber auch ein anderes Zentrum im Hirnstamm wird vom Höhenklima beeinflusst, nämlich das Atemzentrum. Bei der Mehrzahl der Menschen wird die Atmung schon in Höhen über 1000 m etwas beschleunigt und die Tiefe der Atemzüge bleibt gleich oder steigt etwas an, sodass das in der Minute geatmete Luftvolumen vergrössert wird. Diese Zunahme des Atemvolumens ist aber individuell recht verschieden, und zwar auch in Höhen von 5000 m und mehr.

Aber nicht nur diese vegetativen Zentren des Hirnstammes werden durch das Höhenklima beeinflusst, sondern auch die Hirnregionen, die für die Psyche von Bedeutung sind. Sie wissen alle, dass viele Menschen im Höhenklima schlecht schlafen und lebhaft träumen. Sie wissen auch, dass nervöse Individuen beim Übergang in grössere Höhen nicht selten aufgeregt werden, leichter ermüden,

Kopfschmerzen und selbst Schwindel verspüren, besonders in den ersten Tagen. Alle Symptome machen den Eindruck einer Erregung der nervös-psychischen Funktionen, und gerade diese Erregung ist es ja, die uns neben den ästhetischen Eindrücken der Gebirgswelt den Aufenthalt im Höhenklima so erhebend und erfrischend macht. Es kann sich aber auch um eine nur scheinbare Erregbarkeitssteigerung handeln, denn in grösseren Höhen tritt immer mehr eine lähmende Wirkung zutage, und zwar zuerst auf die höheren psychischen Funktionen, auf die Urteilskraft und Entschlussfähigkeit. Stern stellte schon in der Höhe von Davos bei Ankömmlingen eine Verlängerung der psychischen Reaktionszeit auf akustische Reize fest.

Die bis jetzt erwähnten Wirkungen des Höhenklimas machten es von vorneherein wahrscheinlich, dass auch der Stoffwechsel nicht unverändert bleibe. Schon Miescher hatte das erkannt, und Jaquet konnte auf dem Chasseral in 1600 m Höhe in Versuchen, in denen ich mitwirken durfte, eine deutliche Zunahme des Sauerstoffverbrauchs in der Ruhe nachweisen, Bürgi auf dem Brienzer Rothorn bei 2100 m Höhe. Zuntz und seine Schüler haben ausgedehnte Untersuchungen vorgenommen und fanden in dieser Höhe keine oder nur geringfügige Steigerung, ebenso Dr. Kapp bei Patienten, die zuerst in der Basler medizinischen Klinik und nachher in der Basler Heilstätte in Davos untersucht wurden. In grösseren Höhen zeigt sich dagegen die Zunahme regelmässig. Viel erheblicher ist die Zunahme des Sauerstoffverbrauchs bei Muskelarbeit, namentlich bei schwererer. Schon in geringer Höhe wird für 1 mkg Steigarbeit mehr Sauerstoff verbraucht als in der Ebene, und in Monte Rosa-Höhe wurden Steigerungen dieses Wertes um mehr als 100 % bei einzelnen Individuen beobachtet. Bei längerem Aufenthalt und fortgesetzter Muskelarbeit geht die Umsatzsteigerung allmählich wieder zurück, und bei Eingeborenen kann, wie Loewy und Knoll gezeigt haben, der Sauerstoffverbrauch für eine bestimmte Arbeit auf die Werte der besttrainierten Leute in der Ebene heruntergehen.

Regelmässiger als die Vermehrung des Sauerstoffverbrauchs ist die Neigung zu Stickstoffretention schon in verhältnismässig geringer Höhe. Sie kann nur als Eiweissansatz aufgefasst werden und wird noch viel ausgeprägter, wenn körperliche Arbeit geleistet wird. In Höhen über 4000 m beginnt aber eine umgekehrte Wirkung

auf den Eiweißstoffwechsel aufzutreten, nämlich ein Stickstoffverlust, und bei diesem konnte Loewy die Produkte eines unvollkommenen Eiweissabbaus, nämlich Aminosäuren im Harn, nachweisen.

Meine Damen und Herren! Ich konnte Ihnen nur das Wichtigste, was von Einwirkungen des Höhenklimas festgestellt worden ist, aufzählen. Vieles muss ich übergehen, so die Untersuchungen über die weissen Blutkörperchen, die von Ruppanner, Knoll usw. vorgenommen wurden, über die Blutströmung in den Hautkapillaren (Lüscher, Finsterwald usw.), und manches andere.

Wichtiger als solche Einzelresultate sind die Ergebnisse der Untersuchungen, die angestellt worden sind, um die Entstehung der Funktionsänderungen im Höhenklima zu erklären. Gerade hierin hat nun die Forschung der letzten Jahre ganz bedeutende Fortschritte zu verzeichnen.

Zum Teil beruhen die Fortschritte darin, dass es gelungen ist, die einzelnen Faktoren des Höhenklimas und ihre Wirkungen besser von einander zu trennen. Der wichtigste und unter allen Umständen wirksame Faktor ist allerdings die Luftverdünnung. Sie allein ist in allen Breitegraden und unter allen Bedingungen wirksam und unabhängig von dem örtlichen Klima, das durch Regen, Wind und Orientierung des Ortes, durch die benachbarte Landschaft, Bepflanzung und Bebauung modifiziert ist, unabhängig vom persönlichen Klima, das sich der Mensch durch Wohnung, Bekleidung und Lebensweise schafft. Andere Faktoren sind jedoch unter gewöhnlichen Verhältnissen in wesentlichem Masse an den Klimawirkungen beteiligt. Sie konnten aber erst in neuerer Zeit physiologisch erforscht werden, nachdem die Physik dieser Faktoren ausgebaut war. Ich brauche wohl kaum besonders zu betonen, welchen Dank wir in dieser Hinsicht Dorno schulden.

In früheren Zeiten wurde als Vorzug des Höhenklimas auch die Reinheit der Luft genannt. Aber diese ist, soweit man darunter nicht die Durchdringungsfähigkeit für Strahlung, sondern die Staubfreiheit versteht, nicht von der Höhenlage, sondern von der Bewohnung eines Ortes abhängig. Wo der Mensch hinkommt, verunreinigt er die Luft, bald mehr, bald weniger. Die Reinheit der Davoser Luft hängt nicht vom Barometerdruck, sondern von der Bauweise, der Kehrichtverbrennung und der Automobilgesetzgebung ab. Es scheint aber doch, dass die Reinheit der Höhenluft wieder ihre Auferstehung feiert, wenigstens in einer Beziehung.

Es wurde schon lange beobachtet, dass viele Asthmakranke im Höhenklima ihre Anfälle verlieren. Storm van Leeuwen dachte daran, dass das durch Fehlen von anfallerregenden Substanzen in der Höhenluft bedingt sein könnte. Er kam deshalb im Jahr 1923 mit drei Asthmakranken aus Holland in die Schweiz, über Basel nach Ragaz, Schuls-Tarasp, Davos und St. Moritz. Mit zunehmender Höhe verlor einer nach dem andern seine Anfälle und in St. Moritz waren alle drei anfallsfrei. In St. Moritz liess Storm van Leeuwen einen Kranken Mehlstaub einatmen, gegen den er in Holland überempfindlich war, und sofort trat ein Anfall auf. Daraus schloss Storm van Leeuwen, dass im Höhenklima nicht die Disposition zu den Anfällen beseitigt wird, sondern die Substanzen fehlen, gegen die die Asthmatiker überempfindlich, „allergisch" sind, und die in der Ebene die Anfälle auslösen, die sogenannten Allergene. Er suchte dann allergenfreie Luft auch in Holland zu erhalten, indem er die Luft filtrierte oder aus 15 m Höhe oberhalb des Hausdaches entnahm. Es ist einstweilen noch nicht sicher, wozu die interessanten Versuche und ihre Nachprüfung führen werden, jedenfalls sprechen sie sehr für eine „Reinheit" der Höhenluft in einem gewissen Sinne.

Viel mehr wissen wir über die Temperatur und Feuchtigkeit der Luft im Hochgebirge und den Einfluss dieser Momente auf den Körper. Seit de Saussures Untersuchungen vor 150 Jahren kennt man die Gesetzmässigkeiten der Abnahme der Lufttemperatur mit steigender Höhe. Wir wissen aber auch schon lange, dass die Kälte beim Menschen keinen Einfluss auf den Stoffwechsel ausübt. Neuere Untersuchungen, vor allem Kestners, suchen zwar, diese Lehre einzuschränken, aber gross kann die thermische Stoffwechselwirkung keineswegs sein. Der Mensch reguliert oberhalb einer gewissen Temperaturgrenze, so lange es nicht zu Kältezittern kommt, seine Temperatur nur physikalisch, d. h. er verbrennt immer mehr, als zur Aufrechterhaltung der Körpertemperatur nötig wäre, und gibt den Überschuss durch vermehrte Durchblutung der Haut oder durch Schweissverdunstung ab. Kälte der Luft und Temperaturwechsel üben also, so weit sie nicht schon durch die Kleidung willkürlich kompensiert werden, nur auf die Durchblutung der Haut und das Spiel der Blutgefässkontraktion einen Einfluss aus. Dieser hat natürlich eine Bedeutung für den Organismus, besonders für den Kranken, und es ist ein grosser Fortschritt, dass Dorno in

dem von ihm und Thilenius konstruierten Frigorimeter einen Apparat geschaffen hat, der die Abkühlungswirkungen der Luft an einem bestimmten Ort auf die Hautoberfläche direkt abzulesen und zu registrieren gestattet. Dorno fand überraschenderweise, dass das Klima in Davos geringere abkühlende Ansprüche stellt als das Klima irgend eines andern untersuchten Ortes nördlich der Alpen. Das erklärt sich dadurch, dass für die Abkühlung nicht nur die Temperatur der Luft, sondern noch mehr ihre Bewegung und ihr Feuchtigkeitsgehalt massgebend sind. In dem windgeschützten Davos kommt die relative Trockenheit der Hochgebirgsluft für die Abkühlungsgrösse voll zur Geltung. Wir übersehen aber die Beziehungen zwischen physikalischem Wärmeanspruch und physiologischer Leistung noch nicht genügend. Ich möchte nur darauf hinweisen, dass die Abkühlung des Körpers nicht nur die Haut betrifft, sondern auch die Schleimhäute der Atmungswege. Die eingeatmete Luft wird auf nahezu Körpertemperatur erwärmt, und für die dabei notwendige Wärmeabgabe macht es wenig aus, ob die Luft vor der Einatmung ruhig stand oder bewegt war. Für den subjektiv empfundenen und auch gefässregulatorisch wichtigen Wärmeanspruch kommt also neben der mit dem Frigorimeter gemessenen Abkühlungsgrösse die absolute Temperatur wohl auch noch in Betracht.

Eine zweite Eigentümlichkeit des Höhenklimas ist die Trockenheit der Luft. Die Wirkung auf den Körper kommt aber nicht in den einfachen Werten der relativen Feuchtigkeit oder des physikalischen Sättigungsdefizites zum Ausdruck, sondern nur, wenn man diesen Wert mit der Temperatur des Körpers in Beziehung bringt. Die Luft wird ja bei der Berührung mit dem Körper auf die Temperatur der Haut oder der Schleimhäute erwärmt und kann bei dieser Temperatur viel mehr Wasserdampf aufnehmen als vorher, und zwar um so mehr, je kälter sie vorher war. Das physiologische Sättigungsdefizit ist also bei tiefer Aussentemperatur viel grösser als dem physikalischen Sättigungsdefizit entspricht. Die Trockenheit hat aber auf die Schleimhäute der Atmungsorgane eine ganz andere Wirkung als auf die Haut. Die Atemluft wird immer mit der Erwärmung auf Körpertemperatur mit Wasser gesättigt. Die Luft an der Hautoberfläche entzieht dagegen dem Körper nur wenig Wasser und wird nicht auf 35 ° erwärmt wie die Atemluft. Der Organismus kann die Wärme- und Wasserabgabe

von der Haut weitgehend einschränken, je nach den Bedürfnissen der Wärmeregulation. Loewy hat gezeigt, dass die Wasserabgabe durch die Lungen beim Übergang in höhere Regionen stark steigt, und dass die Wasserabgabe durch die Atmung sich an der gesamten Abgabe von Wasserdampf in der Höhe in viel stärkerem Prozentsatz beteiligt als im Tiefland. In den Versuchen Eimers stieg die Wasserabgabe durch die Atmung von 292 g in Marburg auf 352 in Davos, 430 in Muottas Muraigl, 555 auf dem Gornergrat. Dagegen nahm die Wasserabgabe durch die Haut mit steigender Höhe entsprechend der Temperaturerniedrigung ab. Auf die interessanten Ergebnisse der Messung der Wasserabgabe an unbedeckten Hautstellen und ihren Zusammenhang mit der Hauttemperatur, die in der Hohlhand von 30,7° auf 22,1° (auf dem Gornergrat) sank, kann ich nicht eingehen.

Die Untersuchungen über die Wirkung von Temperatur und Feuchtigkeit im Hochgebirge sind von Bedeutung für unsere Kenntnisse über Wasserhaushalt und Wärmeregulation. Sie sind auch von grosser Wichtigkeit für die Beurteilung der Ansprüche, die das Höhenklima bei manchen Krankheiten stellt. Für den Gesunden machen diese Klimafaktoren verhältnismässig wenig aus, weil unser Körper schon im täglichen Leben auf ein promptes Spiel der Wasserregulation gegenüber sehr ausgiebigen und rasch wechselnden Anforderungen eingestellt ist und deshalb auch im Höhenklima allen Anforderungen nachkommt.

Von grösserer Bedeutung sind die Wirkungen der Sonnenstrahlen im Höhenklima. Dass die Höhensonne einen mächtigen Einfluss auf den Körper ausübt, wissen wir seitdem Bernhard in St. Moritz und später Rollier in Leysin ihre heilende Wirkung auf die Knochentuberkulose gezeigt haben. Man erkannte bald, dass die ultravioletten Strahlen etwas dabei zu tun haben, und die Industrie schuf die „künstliche Höhensonne". Die Wirkungen der natürlichen Höhensonne konnten aber erst dann mit Erfolg studiert werden, als die physikalischen Eigentümlichkeiten der Hochgebirgsstrahlung genügend bekannt waren. Es ist das grosse Verdienst Dornos, in jahrelangen, uneigennützig durchgeführten, mühsamen Versuchen die Besonderheiten der Sonnen- und Himmelsstrahlung im Hochgebirge analysiert zu haben, wie Sie aus den Kapiteln von Lindholm und Mörikofer in der schönen uns überreichten Festschrift ersehen können. Er hat den Grund gelegt,

auf dem es möglich war, die Wirkungen des Hochgebirgslichtes auf den Organismus zu studieren und die Ergebnisse anderer strahlenphysiologischer Arbeiten auf das Hochgebirge anzuwenden. Die Arbeiten sind denn auch in den letzten Jahren recht zahlreich gewesen. Ich möchte nur einige herausgreifen.

Zunächst haben Loewy und Dorno die Wirkung des Sonnenlichtes auf die Haut untersucht und festgestellt, dass die ultraroten dunkeln Wärmestrahlen die Haut von der Oberfläche her erwärmen und die Erwärmung der tiefer liegenden Schichten viel geringer ist, dass dagegen die Sonnenstrahlen in 2,5 cm Tiefe unter der Hautoberfläche die Temperatur auf 41° erhöhen können, während sich die Hautoberfläche nur bis auf 37° erwärmt. Die Strahlen dringen also in die Tiefe, in das Unterhautzellgewebe und ins Blut. Es ist deshalb wohl zu erwarten, dass sie hier Veränderungen erzeugen können, die auch für den übrigen Körper von Bedeutung sind.

Tatsächlich sind solche gefunden worden, besonders durch Bestrahlung mit Ultraviolettstrahlen. Ich kann auf die zahlreichen im hiesigen Institut, besonders von Pinkussen, und anderswo durchgeführten Arbeiten nicht eingehen, ich möchte nur weniges erwähnen. Veränderungen der eiweiss-, zucker- und fettspaltenden Fermente wurden nachgewiesen, ferner ein vermehrter Abbau der Nukleine. Wiederholt hat man auch festgestellt, dass unter der Bestrahlung mit ultraviolettstrahlenreichem Licht der Blutzucker sinkt und die Blutzuckerausscheidung im Urin bei Diabetikern zurückgeht. Man hat das mit einer Dämpfung des Sympathicustonus erklärt. Damit stimmt aber die Erhöhung des Gehaltes an Kalzium und Phosphorsäure nicht überein, die unter dem Einfluss des Lichtes beobachtet wurde. Es ist möglich, dass hier noch etwas anderes mitspielt. In der letzten Zeit ist bekanntlich gefunden worden, dass unter dem Einfluss ultravioletter Strahlen das Cholestorin direkt in das als Vitamin wirkende Ergosterol umgewandelt wird, das die Rachitis heilen und verhüten kann. Auf diese Ergosterolwirkung ist vielleicht die Kalziumvermehrung im Blut zurückzuführen.

Vielfach wurde auch eine Blutdrucksenkung nach Bestrahlung beobachtet, aber Hediger fand, dass sich der Blutdruck je nach der Feuchtigkeit der Luft während der Besonnung verschieden verhielt. Auch sonst sind die Angaben über die Wirkung der

Strahlung auf die einzelnen Körperfunktionen, z. B. auf die Blutbildung und auf den Kohlehydrat- und Gesamtstoffwechsel, nicht einheitlich. Auch die Intensität und Dauer der Bestrahlung hat für Quantität und Qualität der Wirkung eine noch nicht voll abzuschätzende Bedeutung.

Auf die Hautpigmentierung, die in der Höhe unter dem Sonnenlicht viel leichter zustande kommt als in der Ebene, kann ich nicht eingehen, trotzdem die Untersuchungen Blochs über die Pigmentbildung und ihre Beziehungen zum Adrenalin an einen Zusammenhang mit Funktionen der innern Organe denken lassen, und obschon die Besserung der Hautspannung bei den sonnengebräunten Menschen, auf die Rollier mit Recht aufmerksam macht, ebenfalls in dieser Richtung Fingerzeige gibt. Wir wissen darüber noch zu wenig, ja in neuester Zeit ist die Bedeutung der Pigmentbildung als Schutz gegen die Ultraviolettstrahlung, an die man eine Zeitlang glaubte, zweifelhaft geworden.

Auch auf das Lichterythem kann ich nicht eintreten, da es schon eine pathologische Veränderung darstellt, die nicht mehr ins Gebiet der normalen Physiologie des Hochgebirges gehört. Allerdings kann das Lichterythem bis zu einem gewissen Grade zu den normalen Erscheinungen einer Gletscherwanderung zählen. Die Beurteilung des Anteils, den die Strahlung an den Wirkungen des Höhenklimas hat, ist deshalb so schwierig, weil das Mass der Exposition gegen die Sonnenstrahlen individuell verschieden ist. Wir sehen alle Uebergänge von gesund anmutender reaktionsloser Pigmentierung zu mehr oder weniger schweren Erythemen, die wir immer als Schädigungen betrachten müssen, Schädigungen, die ebenso wie das Blasenpflaster und das Glüheisen in bestimmten Fällen heilend wirken, die aber in andern Fällen Krankheiten verschlimmern oder sogar wecken können. Weitere Untersuchungen sind notwendig, bis wir die Strahlungswirkungen genügend kennen, um die Hochgebirgssonne für unsere Kranken richtig nutzbar zu machen und um zu wissen, wie weit wir uns vor ihr schützen sollen. Wir können heute nicht einmal sicher sagen, ob die Gewohnheit der heutigen Jugend, Bergtouren ohne Kopfbedeckung auszuführen, ein hygienischer Fortschritt, eine medizinisch gleichgiltige Mode oder ein bedenklicher Unfug ist.

Die Luftelektrizität im Höhenklima muss ich übergehen, da wir noch zu wenig darüber wissen. Die luftelektrischen Eigen-

tümlichkeiten des Hochgebirges sind von Dorno und andern studiert worden. Sie finden die Werte von Davos in dem Kapitel von Bider in der Festschrift. Für die Wirksamkeit elektrischer Schwankungen in der Atmosphäre sprechen auch tägliche Erfahrungen über die Empfindungen bei Gewitterstimmung und bei Föhn sowie einzelne Beobachtungen wie Blutdruckschwankungen, die ich bei Spitalinsassen während Barometerstürzen feststellen konnte. Wir befinden uns aber noch ganz im Anfang der Erforschung dieser Einwirkungen.

Alle bisher besprochenen Wirkungen des Höhenklimas treten zurück gegenüber der Luftdruckerniedrigung. Das hat sich mit dem Fortschreiten der Forschung immer mehr gezeigt. Schon lange ist es auch klar, dass die körperlichen Veränderungen nicht durch die mechanische Wirkung der Luftdruckverdünnung bedingt ist, sondern durch die physikalisch-chemische Wirkung des herabgesetzten Sauerstoffpartiärdruckes. Kronecker dachte noch an mechanische Wirkungen, aber der verminderte Luftdruck macht sich allseitig auf den Körper bemerkbar, von aussen auf die Haut, durch die Luftwege auf die Lungen usw., sodass keine Druckdifferenzen entstehen können, ausser bei raschem Druckwechsel auf abgeschlossene Lufthöhlen des Körpers, wie das Mittelohr oder die Nebenhöhlen der Nase mit unvollkommener Kommunikation gegen die Nasengänge. Einen gewissen mechanischen Effekt konnten v. Neergaard und Wirz in der pneumatischen Kammer der Basler medizinischen Klinik nachweisen, nämlich einen verminderten Strömungswiderstand der Atmungsluft entsprechend der Herabsetzung der Viskosität der Luft bei Luftverdünnung, die auf der Herabsetzung der Dampfspannung beruht, wie Rohrer gezeigt hat. Vielleicht gibt das eine Erklärung dafür, dass wir glauben, auf den Bergen leichter zu atmen als in der Tiefe, obschon alle wissenschaftlichen Untersuchungen nur auf eine Vermehrung der Atemarbeit in der Höhe hindeuten.

Abgesehen von dieser vereinzelten Beobachtung einer mechanischen Wirkung ist die mechanische Druckveränderung im Höhenklima für den Körper gleichgiltig, und er leidet nur dadurch, dass gleichzeitig mit dem Gesamtdruck der Atmosphärenluft auch das Fünftel des Druckes herabgesetzt wird, das dem Sauerstoff entspricht. Sauerstoffmangel ist die Ursache weitaus der meisten Höhenklimawirkungen. Das ist jetzt endgültig bewiesen, seitdem

Loewy ein durch seine Einfachheit verblüffend wirkendes Mittel angewandt hat, von dem nur merkwürdig ist, dass man früher von ihm nur selten Gebrauch gemacht hat, nämlich die Einatmung von Sauerstoff im Höhenklima. Er konnte zeigen, dass der beim Aufstieg nach Davos erhöhte Blutdruck auf den Wert des Tieflandes zurückkehrt, wenn in Davos Sauerstoff eingeatmet wird. Die von Stern festgestellte Vermehrung des physiologischen Fingerzitterns in der Höhe geht auf Sauerstoffatmung zurück, ebenso die verlängerte Reaktionszeit auf akustische Reize beim Gesunden. Die Beschleunigung und Vertiefung der Atmung wird durch Sauerstoffatmung rückgängig gemacht usw. Allerdings hatte man schon viel früher durch Versuche im pneumatischen Kabinett den Einfluss der Luftverdünnung studiert, aber die Versuchsanordnung Loewys lieferte den Beweis in viel einfacherer und einwandfreierer Weise.

Die Erkenntnis der Höhenklimawirkungen als Sauerstoffmangel machte das physiologische Problem nicht einfacher, sondern schwieriger. Wie schon erwähnt wurde, hat schon im Beginn der Höhenklimaforschung eine Tatsache der Erklärung dieser Wirkungen als Sauerstoffmangel Schwierigkeiten bereitet, nämlich die vollständige Sättigung des Hämoglobins mit Sauerstoff bei einem Sauerstoffdruck, der erst bei Höhen von 4000 m unterschritten wird. Seit Mieschers Zeiten hat sich allerdings herausgestellt, dass die Hüfnersche Kurve der Sauerstoffbindung von Hämoglobinlösungen nicht den physiologischen Bedingungen entspricht, sondern dass diese Kurve im Blut etwas anders verläuft, von der Kohlensäurespannung im Plasma abhängig ist usw. Aber auch die neueren Kenntnisse über die Sauerstoffbindung im Blut machen die Erklärung nicht wesentlich leichter, und Loewy ist zur Ansicht gekommen, dass nicht die Sauerstoffspannung im Hämoglobin für die empfindlichsten Organe des Körpers massgebend ist, sondern die Sauerstoffspannung im Plasma. Diese ist aber im arteriellen Blut der Sauerstoffspannung der Alveolarluft direkt proportional.

Dieser Mangel an Sauerstoffdruck im Blut, die Anoxämie im weiteren Sinne, macht nun das Höhenklima zu einer sehr schönen Versuchsbedingung für das Studium des Sauerstoffmangels und der Reaktion des Körpers auf denselben. Das Höhenklima erregte deshalb ganz besonderes Interesse, weil das Studium der Atmungsregulation in der letzten Zeit neue Tatsachen und Auffassungen

ergeben hat. Wir wissen jetzt, dass die Kohlensäure der Feinregulator der Atmung ist, dass aber auch der Sauerstoff eine Rolle spielt. Winterstein hat gezeigt, dass die Wasserstoffionenkonzentration des arteriellen Blutes der eigentliche Erreger für das Atemzentrum ist und dass sie bedingt wird durch das Verhältnis der im Blut gelösten Kohlensäure zum Natriumbikarbonat und den übrigen basischen Valenzen des Blutplasmas. Dieses Verhältnis ändert sich während des Blutumlaufes dadurch, dass Kohlensäure in den Organen aus dem Gewebe in das Blut abgegeben und in der Lunge wieder abgedampft wird. Nach dem Verlassen der Lunge enthält das Blut soviel Kohlensäure, als der Druck der Kohlensäure in der Luft der Lungenalveolen nicht entweichen lässt. Ist die Lungenlüftung ungenügend, so wird der Kohlensäuredruck in den Alveolen höher, es bleibt mehr Kohlensäure im Blut gelöst, dieses wird saurer, und dadurch wird das Atemzentrum zu vermehrter Innervation der Respiration angeregt. Das Atemzentrum ist auf eine solche Empfindlichkeit eingestellt, dass es die Atmung genau so weit anregt, um die Wasserstoffionenkonzentration im Blut der Lungenvenen auf etwa Ph 7,3 zu halten.

Wenn nun bei Erniedrigung des Luftdruckes die Lungenventilation gleich bleibt, so muss entsprechend der Verminderung des atmosphärischen Druckes auch der Kohlensäuredruck in den Alveolen sinken, also weniger Kohlensäure gelöst bleiben, das Blut weniger sauer werden, der Reiz für das Atemzentrum sinken. Wenn das Atemzentrum gleich wie in der Ebene erregt würde, so sollte die Atmung eingeschränkt werden, bis der normale Kohlensäuredruck wieder hergestellt ist. Statt dessen nimmt, wie ich schon erwähnt habe, die Lungenventilation meistens zu. Das stimmt mit anderen Formen von Sauerstoffmangel, z. B. bei Kohlenoxydvergiftung, und verlangte eine Erklärung. Deshalb wurde schon bei früheren Expeditionen die Kohlensäuretension in der Alveolarluft zu bestimmen versucht, so von Zuntz und von Durig und ihren Mitarbeitern, und bei den neueren Expeditionen von Haldane, Henderson und ihren Mitarbeitern auf dem Pikes Peak in Colorado, von Barcroft in den peruanischen Anden, wurden diese Fragen neben anderen bearbeitet. Endlich sind in neuerer Zeit zahlreiche Einzeluntersuchungen ausgeführt worden. Auch auf den Expeditionen nach dem Mount Everest wurden Beobachtungen angestellt. Die Ergebnisse der Alveolarluftbestimmungen sind nicht einheitlich,

aber so viel ist sicher, dass das Atemzentrum in einer gewissen Höhe durch den Kohlensäurereiz stärker erregt wird als in der Ebene.

Für die Erklärung dieses Verhaltens stehen drei Theorien zur Diskussion.

1. Sauerstoffmangel bildet einen direkten Stimulus für das Atemzentrum, genau so wie die Kohlensäure bzw. die Wasserstoffionenkonzentration. Das gilt sicher für schwere Sauerstoffverminderung im Blut, wie Haldane gezeigt hat, aber nicht für die Höhe von Davos.

2. Durch den Sauerstoffmangel wird die Erregbarkeit des Atemzentrums gesteigert, so dass die gleiche Wasserstoffionenkonzentration eine vermehrte Ventilation auslöst. Diese Annahme hatte bisher am meisten Anhänger. Hasselbalch und Lindhard suchten das auf 3300 m in den Ötztaler Alpen, Rohrer auf Muottas Muraigl dadurch zu beweisen, dass sie Menschen und Tiere Kohlensäure in verschiedener Konzentration einatmen liessen. Die Lungenventilation stieg dadurch viel mehr an als im Tiefland. Die Tatsache wurde von Loewy auf dem Jungfraujoch bestätigt, ihre Deutung als Beweis für die Erregbarkeitssteigerung des Atemzentrums aber abgelehnt, weil es ihm gelang, die Überempfindlichkeit gegen Kohlensäure durch Sauerstoffatmung zu beseitigen.

3. Der Sauerstoffmangel hat einen veränderten, anoxybiotischen Abbau von Körpersubstanzen zur Folge, besonders im Atemzentrum, dabei entstehen saure Zwischenprodukte, wie Milchsäure. Eine Säure wie Milchsäure verbindet sich mit dem Alkali des Blutes, die sog. Alkalireserve wird vermindert, und das Blut kann nicht mehr die gleiche Kohlensäuremenge aufnehmen wie früher, ohne dass die Wasserstoffionenkonzentration steigt. Um das zu kompensieren, wird die Lungenventilation vermehrt, bis die aktuelle Reaktion des Blutes normal ist.

Wenn diese Theorie richtig ist, muss also die Alkalireserve des Blutes durch die Luftverdünnung im Höhenklima herabgesetzt werden. Diese Herabsetzung wurde tatsächlich schon früher in vereinzelten Proben gefunden, neuerdings in systematischen Untersuchungen durch Loewy, Abderhalden und andere bestätigt, auch durch Winterstein und Gollwitzer-Meier. Aber die gleiche Verminderung der Alkalireserve kann auch nach den anderen Theorien zustandekommen, indem die Überventilation eine Alkalose erzeugt und durch die Abgabe von Alkali aus dem Blut diese Alkalose

kompensiert wird. Entscheidend ist also nur der direkte Nachweis abnormer saurer Abbauprodukte.

Nun sind in den letzten Jahren von Loewy und andern eine Reihe von Stoffwechselveränderungen im Höhenklima und bei künstlicher Luftverdünnung nachgewiesen worden, die als Ausdruck eines abnormen Eiweissabbaus aufgefasst werden müssen. Auch der Kohlehydratstoffwechsel erleidet Veränderungen. Aggazzotti, Morpurgo, Stäubli und andere fanden bei Gesunden und Diabetikern eine Steigerung und Beschleunigung der Zuckerverbrennung, Messerle einen beschleunigten Verlauf des Zuckeranstieges im Blut nach dem Einnehmen von Zucker. Doch hat Wolfer gestern mit Recht vor voreiligen Schlüssen aus kleinen Schwankungen gewarnt. Alle erwähnten Veränderungen machen die Bildung saurer Abbauprodukte, speziell des Eiweißstoffwechsels, nur wahrscheinlich. Sicher wird diese Bildung erst, wenn die Substanzen entweder direkt isoliert werden können oder wenn eine vermehrte Säuerung des Blutes oder des Urins, oder eine kompensatorisch vermehrte Ammoniakausscheidung festgestellt ist. Alles das wurde wiederholt gefunden, vermehrte Säuerung des venösen Blutes z. B. von Gigon, von Fritz, bei Muskelarbeit auch von Barcroft. Da auch eine vermehrte Milchsäurebildung bisweilen mit Sicherheit nachgewiesen werden konnte, hält Loewy die anoxybiotische Säurebildung für bewiesen. Die Befunde von Winterstein und Gollwitzer-Meier scheinen eine solche im Gehirn sichergestellt zu haben. Arbeiten aus dem Hess'schen Institut von Fleisch und namentlich von Singer wenden sich dagegen. Die Widersprüche erklären sich vielleicht durch die verschieden lange Dauer der Versuche, aber jedenfalls sind weitere Untersuchungen notwendig.

So viel ist sicher, dass die Luftdruckverminderung durch den Sauerstoffmangel auf den Stoffwechsel wirkt und ganz erhebliche Veränderungen herbeiführt, die schon in geringerer Höhe nachzuweisen sind, als man bisher angenommen hatte, die aber in grosser Höhe sehr ausgesprochen sind.

Der abnorme anoxybiotische Stoffwechsel kommt hauptsächlich in gewissen Organen zustande, die besonders empfindlich gegen Sauerstoffmangel sind. Diese sind das Atemzentrum, die Zentren für die Herz- und Gefässtätigkeit im Hirnstamm und die Organe der Blutbildung. Es ist aber neuerdings gelungen, sie auch in andern Organen nachzuweisen und in diesen chemisch zu untersuchen.

Loewy hat mit seinen Schülern schon nach Verweilen der Versuchstiere während weniger Tage in sehr stark verdünnter Luft eine Verfettung der Leber mit Nekrose der Läppchenzentren und Protoplasma-Degenerationen nachgewiesen und festgestellt, dass das neugebildete Fett aus Phosphatiden besteht. Als Quelle des Phosphors für die neugebildeten Phosphatide kommen nur die Nucleinsubstanzen der Leber in Betracht. Diese Leberverfettung, die nur in der schweren Phosphorvergiftung ihr Analogon findet, stellt also im Gegensatz zu dem, was bisher angenommen wurde, eine Fettmetamorphose dar, ein Befund, der nach unseren Anschauungen für gewisse pathologisch-chemische Vorgänge von grosser Bedeutung ist. Verfettungen kommen aber auch im Herzmuskel, in den Nieren und in den Skelettmuskeln zustande. Ihr Nachweis eröffnet uns das Verständnis für die akuten Herzerweiterungen, die Loewy bei starker Luftverdünnung feststellen konnte.

Die eben besprochenen neuen Befunde betreffen nur Schädigungen, die der Sauerstoffmangel im Hochgebirge herbeiführt. Aber der Körper steht den schädigenden Einflüssen nicht schutzlos gegenüber, sondern reagiert auf sie durch abwehrende und kompensierende Vorgänge, und zwar in ausserordentlich vollkommener Weise. Gerade diese Reaktionen des Organismus sind es, die erfrischend, belebend und heilend wirken. Sie sind in letzter Zeit auch eingehend studiert worden.

Schon die Vertiefung der Atmung stellt einen zweckmässigen Regulationsvorgang dar, wenigstens in grösseren Höhen, während für geringere Höhen die Zweckmässigkeit noch nicht ganz aufgeklärt ist. Als weitere Anpassung finden wir eine Kräftigung der Atemmuskulatur und eine Erweiterung des Thorax, deren Bedeutung namentlich von Barcroft an den höchst gelegenen bewohnten Stellen der Erde, in den peruanischen Anden studiert wurde. Auch der Zirkulationsapparat zeigt Anpassungen. Allerdings konnte eine Beschleunigung des Blutstromes bisher nicht nachgewiesen werden. Aber eine Anpassung an die erhöhten Bedürfnisse der Zirkulation geht schon aus den bereits erwähnten Untersuchungen Strohls am Alpenschneehuhn hervor. von Koranyi und Loewy erklären die Massenzunahme des rechten Herzens durch die vermehrte Viskosität des Blutes, speziell des venösen, die die Herzarbeit vermehrt und für die der kleine Kreislauf nicht die gleichen Regulationsmittel besitzt wie der grosse.

Haldane hatte für starke Luftverdünnung noch ein weiteres Kompensationsmittel angenommen, nämlich eine aktive Sauerstoffsekretion durch die Lungen. Diese Theorie, die auch sonst wenig Anhänger hatte, ist für die Luftverdünnung durch Fleisch definitiv widerlegt worden.

Die augenfälligste und in ihrer Zweckmässigkeit am unmittelbarsten einleuchtende Kompensation des Sauerstoffmangels ist die Vermehrung der roten Blutkörperchen und des Hämoglobins. Es wurden aber immer wieder Zweifel laut, ob es sich wirklich um eine Neubildung handle, weil das sicherste Zeichen einer solchen, das Auftreten kernhaltiger roter Blutkörperchen, nie nachgewiesen werden konnte. Es ist jedoch zu bedenken, dass die Neubildung nicht so stürmisch erfolgt wie etwa nach einer beinahe tödlichen Magenblutung, bei der übrigens der Nachweis von kernhaltigen Erythrocyten auch nicht immer so leicht gelingt. Andere Zeichen von Neubildung (Anisocytose, Polychromasie, vermehrte Sauerstoffzehrung und Vitalgranulation der Erythrocyten) sind nun aber tatsächlich nachgewiesen worden. Ich nenne nur die Arbeiten von Knoll, Loewy und Forster, Seyfahrth, Wolfer. Dazu kommt eine Reihe von Arbeiten, die auf anderem Wege die Neubildung beweisen, wie die von Abderhalden, London, Loewy usw., von Laquer, Weber und namentlich von Loewenstaedt. Einzig die initiale Vermehrung dürfte anders zu erklären sein, da sie zu rasch eintritt, um auf Neubildung zu beruhen. Hier dürfte die Milz eine grosse Rolle spielen, da Barcroft gezeigt hat, dass sie ein Blutreservoir darstellt, das bei Bedarf Blut in den Kreislauf abgibt. Ob aber das Blut, das die Milz momentan liefern kann, genügt, um den Anstieg der Blutwerte in den ersten Tagen des Höhenklimaaufenthaltes zu erklären, lässt sich, wie Abderhalden ausführt, noch nicht übersehen.

Bei den verschiedenen Regulationen im Höhenklima müssen die Mechanismen in Funktion treten, die auch unter anderen Umständen der Korrelation der Organe dienen, also vor allem das vegetative Nervensytem.

Hess, Messerle und andere nehmen eine Erhöhung des Sympathicustonus an, doch scheinen mir die Untersuchungen noch nicht genügend, um zu einem definitiven Urteil zu gelangen.

In den letzten Jahren hat man immer mehr erkannt, dass der Mineralgehalt des Blutes und der einzelnen Organe in engsten Be-

ziehungen zum vegetativen Nervensystem steht. Veränderungen im Elektrolytsystem wurden tatsächlich im Höhenklima und bei künstlicher Luftverdünnung gefunden. Abderhalden, London, Loewy und Pincussen fanden Vermehrung des Calciums und der Phosphorsäure und Abnahme von Calcium im Blut, bezw. in den Organen.

Den dritten Teil des vegetativen Systems bilden die Drüsen mit innerer Sekretion. Das Studium ihrer Rolle bei der Luftdruckerniedrigung ist deshalb in Angriff genommen worden. Am meisten ist bisher von der Schilddrüse bekannt. Asher und seine Schule fanden nach Schilddrüsenextirpation eine Unempfindlichkeit gegenüber der Luftverdünnung und ein Ausbleiben des beschleunigten Blutersatzes nach Aderlässen, wie er sonst bei Luftdruckherabsetzung beobachtet wird. Dieser beschleunigte Blutersatz fehlte noch deutlicher nach Exstirpation der Thymusdrüse. Wir sind allerdings noch weit davon entfernt, alle Zusammenhänge zu übersehen. So ist es merkwürdig, dass die schilddrüsenlosen Meerschweinchen von Abderhalden, London, Loewy und Mitarbeitern beim Übergang von Davos nach Muottas Muraigl eine Vermehrung des Hämoglobins zeigten, die nach der Rückkehr nach Davos zurückging, dagegen beim Übergang nach Halle einen erneuten Anstieg. Die Schilddrüse ist im Höhenklima weniger wirksam, wie die Verfütterung von Schilddrüsensubstanzen durch Durigs Schüler Mark in Wien und auf dem Semmering gezeigt haben. Damit hängt zusammen, dass die Stoffwechselsteigerung bei der Basedowschen Krankheit im Höhenklima rasch zurückgeht, wie Michel nachweisen konnte.

Auch die Milz spielt eine grosse Rolle, nicht nur als Reservoir für die ersten Tage, wie schon erwähnt, sondern für die Neubildung von Blut. Nach ihrer Exstirpation wird das Versuchstier nach den Untersuchungen der Asherschen Schule gegen Luftverdünnung empfindlicher. Loewy konnte zusammen mit Gianini und mit Zalka feststellen, dass bei entmilzten Tieren die Neubildung von roten Blutkörperchen bei Luftverdünnung nicht so lebhaft ist wie bei normalen, die Neubildung von Hämoglobin dagegen noch lebhafter, dass aber die Vermehrung von Hämoglobin und von roten Blutzellen vollkommen unterdrückt werden kann, wenn nicht nur die Milz, sondern das ganze Reticuloendothelialsystem ausgeschaltet wird, das ausser in der Milz auch in der Leber usw. verbreitet ist. Diese Ausschaltung gelingt durch die Blockierung der Zellen

mit gewissen Farbstoffen. Dabei bleiben auch die Verfettungen in stark verdünnter Luft aus.

Sehr interessant sind die Untersuchungen über die Wirkungen von Giften im Höhenklima, die in der letzten Zeit angestellt wurden. Schon seit 150 Jahren ist die Ansicht verbreitet, Alkohol wirke in der Höhe weniger berauschend als im Tiefland. Der eine oder andere von Ihnen teilt vielleicht auf Grund eigener Erfahrungen diese Ansicht. Sie ist tatsächlich richtig, wie Biehler durch Untersuchung im Davoser Institut feststellen konnte. Er fand, dass bei gleicher Dosis mit zunehmender Höhe die Alkoholkonzentration im Blut langsamer ansteigt, eine geringere Höhe erreicht und rascher abnimmt. Er erklärte das durch rascheres Abdunsten des Alkohols aus den Lungen. Diese Erklärung lässt sich aber für andere Inhalationsnarkotika nicht aufrecht erhalten. Hesse stellte fest, dass auch Bromoform und Bromäthyl ähnliche Unterschiede in der Wirkung zeigen, dass aber die Wirkung durch Sauerstoffzufuhr aufgehoben wird. Vielleicht spielt die Höhenklima-Acidosis eine Rolle, da Gigon eine Verminderung der Wasserstoffionenkonzentration im Blut durch einzelne Narkotika, speziell Bromäthyl, nachgewiesen hat. Eine Vermehrung der Giftwirkung bei Luftverdünnung konnte Jaquet an Arsenpräparaten konstatieren. Er erklärt sie durch eine Reduktion des in den Präparaten enthaltenen fünfwertigen Arsens in die giftigeren dreiwertigen Verbindungen.

Es ist Ihnen wohl aufgefallen, dass ich bisher die Erscheinungen, die in sehr grossen Höhen auftreten, von denen der mittleren Höhenlagen, wie wir sie therapeutisch benützen, nicht getrennt habe, obschon die einfache tägliche Beobachtung scharfe Unterschiede in die Augen springen lässt. Hier in Davos und auch noch in höhern Alpenregionen fühlen wir uns wohl, jedenfalls überwiegen die angenehm empfundenen Einwirkungen weitaus etwaige kleine Störungen des Befindens. Dagegen ist die Bezwingung des Mount Everest bisher an der Unfähigkeit, den Sauerstoffmangel zu ertragen, gescheitert. Aber der Gegensatz ist nur scheinbar. Was die verschiedenen Höhenlagen unterscheidet, ist nur der Grad des Sauerstoffmangels und die Möglichkeit, sich zu adaptieren. Beim Sinken des Sauerstoffdrucks auf etwa ein Drittel wird die Sauerstoffsättigung des Blutes so schlecht, dass die Gefahr der Erstickung auftritt. Aber lange bevor diese absolute Anoxämie auftritt, zeigt sich eine relative, relativ in bezug auf die einzelnen Organe, die

gegen Sauerstoffmangel verschieden empfindlich sind, relativ auch in bezug auf die Anforderungen, die gestellt werden, namentlich die körperliche Anstrengung, relativ endlich in bezug auf die Konstitution und die erworbene Anpassung, die Akklimatisation und Trainierung. von Schrötter schlägt vor, statt von Anoxämie von relativer und absoluter Anoxybiose zu sprechen, da damit der Zustand der Organe bezeichnet wird, deren Tätigkeit nicht nur vom Grade der Sauerstoffsättigung des Blutes und der Sauerstoffspannung im Plasma, sondern auch von den sekundären Stoffwechselstörungen abhängt. Lange bevor das Individuum die Folgen der relativen Anoxybiose spürt, reagiert der Körper darauf, und zwar in gleicher Weise wie bei höheren Graden, nur in einer die Störung vollkommen kompensierenden, vielleicht sogar überkompensierenden Vollkommenheit. Deshalb sind die physiologischen Wirkungen als einheitlich aufzufassen.

Nur in praktischer Beziehung ist der Unterschied zwischen verschiedenen Graden der Luftverdünnung ein prinzipieller. Von einer gewissen Grenze an werden die Anpassungen so unvollkommen, dass die Leistungsfähigkeit, die Gesundheit und schliesslich das Leben gefährdet werden. Dann spricht man von Bergkrankheit, und mit Recht, obschon die Grenze gegenüber den physiologischen Reaktionen nicht scharf ist. Dieser Übergang von normalen Anpassungs- und Abwehrvorgängen in Krankheit ist auch sonst täglich zu beobachten. Jede Krankheit ist der Ausdruck des Kampfes zwischen Körper und Schädigung. So wenig wie bei der Antwort des Herzens auf die Reize der durch Muskulatur gestellten Anforderungen und der krankhaften Herzklappenveränderung, so wenig wie bei der Elimination von Giften dürfen wir beim Sauerstoffmangel eine scharfe Grenze zwischen physiologischer Reaktion und Bergkrankheit erwarten. Ich muss deshalb noch kurz auf die Bergkrankheit eingehen.

Unsere Alpinisten wollen nicht viel von der Bergkrankheit wissen. Bétrix und Thomas haben eine Umfrage über Beobachtungen von Bergkrankheit angestellt und ihre Resultate im Jahrgang 1918 des Jahrbuches des S. A. C. veröffentlicht. Sie konnten nur 33 Beobachtungen sammeln, wovon nur 9 eine Unterbrechung der Besteigung veranlassten. 27 mal wurde plötzlicher Kräfteverlust, 12 mal vollkommene Appetitlosigkeit, Brechreiz und Erbrechen gemeldet, häufig nervöse Übelkeit, Somnolenz, geistige Depression, 2 mal sogar

psychische Störungen. Die Mehrzahl der Beobachter betrachtete Mangel an Training als Ursache des Kräfteverlustes und der übrigen Störungen, einer hielt die psychische Ermüdung für das Wichtigste. Mangel an Training spielt sicher eine Rolle. Die Expeditionen nach dem Mount Everest haben gezeigt, in welchem Masse ein systematisches Training die Adaptation an den Sauerstoffmangel grosser Höhen erleichtern kann. Aber das Training ist nicht nur auf die Uebung der Muskeln beschränkt. Diese gestaltet die Arbeit der Muskulatur ökonomischer und den Sauerstoffverbrauch geringer, vermindert also die relative Anoxybiose. Daneben kommt noch (ausser einer Zunahme des Hämoglobins) eine Erhöhung der Sauerstoffdiffusion durch die Lunge in Frage, die von Barcroft in den grossen Höhen Süd-Amerikas festgestellt wurde und die durch eine Veränderung der Atmungsmechanik, Erweiterung der Lungen usw. zu erklären ist, offenbar aber auch reflektorische Veränderungen der Zirkulation, da bei der Zuntz'schen Expedition auf den Monte Rosa die Sauerstoffspannung in den Alveolen bei einem sich wohlfühlenden Bergführer gleich war wie bei den bergkranken Mitgliedern der Expedition. Es ist klar, dass die Vollkommenheit dieser Anpassungsvorgänge nicht bei allen Menschen gleich ist und dass die Bergkrankheit in der Höhe der europäischen Alpen, die gerade an die Grenze des gefährlichen Sauerstoffmangels heranreichen, nur bei einzelnen Individuen auftritt. Diese Schwächlinge, auf die der Hochtourist mit Verachtung herabschaut, erwecken gerade das Interesse des Mediziners, und wir müssen der Bergkrankheit mehr Interesse schenken, seit die Eisenbahnfahrten ins Hochgebirge zugenommen haben, und namentlich seit die Flugzeuge immer mehr in grosse Höhen steigen. Lüscher konnte auf dem Jungfraujoch, gleich wie Haldane am Pikes Peak und Barcroft auf der peruanischen Bergbahn, Beobachtungen über Bergkrankheit bei der plötzlichen Erreichung grosser Höhen anstellen, ganz besonders nach mehrstündigem Verweilen in dieser Höhe. Bedenkliche Störungen sind von Fliegern während des Weltkrieges gemeldet worden, allerdings erst in Höhen von 4500 m an. Diese Unterschiede im Auftreten der Bergkrankheit bei Besteigungen und bei raschem passiven Transport in die Höhe sind nicht nur für uns Ärzte wichtig für die Frage der Erlaubnis zu solchen Bergfahrten bei Patienten, sondern auch für den Physiologen recht interessant wegen des Studiums der Akklimatisation.

Meine Damen und Herren! Ich konnte Ihnen nur die wichtigsten Fortschritte der Höhenklimaphysiologie kurz skizzieren. Ich hoffe aber, dass Sie einen Eindruck davon gewonnen haben, wie viel Arbeit schon geleistet worden ist, und wie viel es noch zu tun gibt, aber auch davon, wie interessant das Studium der Höhenklimaphysiologie ist als eines der feinsten Anpassungsvorgänge des Organismus.

Den praktischen Mediziner interessieren diese Fortschritte natürlich noch in anderer Richtung. Sie erklären, ergänzen und fördern die Behandlung von Krankheiten im Höhenklima, und sie geben uns Fingerzeige dafür, welches Verhalten wir Kranken und Gesunden im Hochgebirge anraten sollen. Ich habe Ihnen als Wirkungen des Höhenklimas nur gewisse Schädigungen des Körpers, die Reaktion auf diese Schädigungen und die Anpassung an die veränderten Bedingungen nennen können. Gerade diese Reaktionen sind es, die kräftigend, belebend, heilend und unter Umständen krankheitsverhütend wirken können. Sie können die Schädigung überkompensieren, sie können auch nach der Rückkehr aus dem Hochgebirge lange nachwirken. Sie fallen selbstverständlich bei kräftigen, jugendlichen Individuen rascher und stärker aus und führen rascher zu einer Anpassung als bei Schwächlichen, Älteren oder gar Kranken. Diese dürfen deshalb im Hochgebirge nicht zu viel Ansprüche an ihre Leistungsfähigkeit stellen und müssen dem Körper Zeit für die Akklimatisation lassen, sie müssen sich für körperliche Arbeit allmählich und systematisch trainieren, und sie dürfen die Wirkung des Höhenklimas nicht allzusehr durch Besonnung verstärken. Das Höhenklima verlangt nicht nur bei Kranken eine sorgfältig individualisierende Dosierung, sondern auch beim Gesunden ein der Leistungsfähigkeit angepasstes Verhalten. Wenn das berücksichtigt wird, so können nicht nur viele Kranke und alle Gesunden die Grossartigkeit unserer Hochgebirgswelt geniessen, sondern sie können auch das grösstmögliche Mass von Erfrischung und Kräftigung aus ihr schöpfen.

La notion de territoires en Biologie

par

Emile Guyénot

Professeur à l'Université de Genève

Le problème de la réalisation de la forme, un des processus les plus caractéristiques de la vie, se présente dans toute son ampleur au cours du développement embryonnaire. Celui-ci a pour point de départ une simple cellule, d'apparence homogène, l'œuf, dans laquelle on ne distingue aucune des parties de l'organisme futur. Peu à peu, cependant, l'embryon se construit grâce à une série de phénomènes, segmentation, plissements, invaginations, etc., qui se poursuivent suivant une marche pratiquement invariable et aboutissent à la réalisation d'une forme définie.

Le problème de la morphogenèse se pose à nouveau au cours de la régénération de certains organes, tels que la patte du Triton. Quand un de ces animaux est amputé d'un membre, il se forme, au niveau de la surface de cicatrisation, un massif cellulaire, un blastème, d'abord indifférencié, mais qui jouit de la propriété de construire de toutes pièces une patte nouvelle avec son squelette, ses muscles, ses nerfs, ses vaisseaux, son organisation spécifique.[1]

Quels sont les facteurs qui interviennent au cours de ces processus morphogénétiques ? Pendant longtemps nous n'en avons eu aucune idée. La plus ancienne théorie, celle de l'épigenèse, rattachait l'évolution de chaque partie d'un œuf à sa place dans l'ensemble. Si telle portion donnait normalement le système nerveux, ce n'était pas parce qu'elle était d'une qualité particulière, mais simplement parce qu'elle occupait une certaine aire de la surface dorsale de l'embryon. L'œuf était donc considéré comme un *tout*

[1] Dans un tel cas de régénération que l'on peut appeler organogénétique, le blastème porte en lui toutes les potentialités nécessaires. Il n'en est déjà plus de même dans le cas de la régénération de la queue; le blastème ne peut engendrer par lui-même qu'un organe caudiforme, à croissance limitée et dépourvu des parties axiales. La régénération n'est complète que si le squelette et la moelle, contenus dans le moignon, participent aux processus régénératifs.

indivisible, comme une irréductible unité. Cette conception se rattachait à l'idée générale que l'organisme est, à tout instant de son existence, un ensemble, un tout indissociable. La régénération apparaissait comme une propriété de l'ensemble de l'organisme. Ce que l'on pourrait appeler l'erreur historique de l'hérédité des caractères acquis n'était qu'une conséquence de ce point de vue. Pour admettre qu'une variation, produite en une région quelconque du corps, retentissait sur les glandes génitales et, par suite, sur la descendance, il fallait supposer, en effet, que l'organisme était un tout indissociable, ne pouvant être envisagé que d'une façon globale.

Un des résultats les plus fondamentaux des études de mécanique embryonnaire, comme aussi de l'analyse expérimentale des processus régénératifs, a été de montrer que l'organisme est, au contraire, à partir d'un certain moment et d'une façon plus ou moins précoce, une mosaïque de parties ayant des propriétés différentes. Ces parties, territoires organoformatifs, localisations germinales ou territoires de régénération, ont en elles la propriété de se développer d'une façon *autonome,* c'est à dire indépendamment du reste de l'organisme.

Dans certains œufs, cette localisation de territoires autonomes est extrêmement précoce, se trouvant réalisée avant la segmentation ou dès le début de cette dernière. Par exemple, dans le Mollusque *Dentalium,* le développement aboutit normalement à la formation d'une larve trochophore, ressemblant à une toupie et possédant une touffe apicale, une triple couronne ciliée et un lobe inférieur ou posttrochal. Une des particularités de la segmentation est que l'œuf, en train de se diviser pour la première fois en deux cellules, forme une sorte de hernie cytoplasmique transitoire, le lobe polaire. Or, si on ampute l'œuf de son lobe polaire, il se développe encore, mais produit une larve qui n'a plus ni touffe apicale, ni lobe posttrochal. On a donc, en extirpant le lobe polaire, enlevé des territoires spécifiques non remplaçables, seuls capables de former les organes qui manquent désormais. On peut d'ailleurs, par une série d'expériences, suivre la distribution de ces deux territoires au cours des stades ultérieurs de la segmentation.

L'œuf de *Beroe* est un autre exemple classique de ces localisations germinales. La larve possède 8 rangées de palettes natatoires formant autant de côtes méridiennes. Or, si avant toute

segmentation, on découpe l'œuf en 2, 3, 4 fragments, chacun d'eux se développe, mais ne produit, suivant les cas, que 4, 3, 2, 1 ou même ½ rangées de palettes natatoires. Toutefois, la somme des rangées produites par les divers fragments d'un même œuf est toujours égale à 8. Ces rangées peuvent se trouver réparties en 4 + 4, 4 + 3 + 1, 3 + 3 + 1 ½ + ½, etc., suivant le nombre et la dimension des fragments. En découpant l'œuf, nous avons donc morcelé un territoire nettement défini qualitativement et quantitativement.

Dans d'autres œufs, tels que ceux d'Oursins ou de Méduses, le matériel cytoplasmique reste homogène pendant les premiers stades de la segmentation (stades 2, 4, 8). Un blastomère du stade 2 ou du stade 4 a encore presque toutes les potentialités de l'œuf entier. Isolé, il peut produire un embryon complet ou à peu près, qui sera seulement 2 ou 4 fois plus petit que normalement. Bientôt, cependant, l'hétérogénéité constitutionnelle s'établit: des territoires prennent naissance. On aboutit, en somme, au même résultat que précédemment; le morcellement en territoires organoformatifs a été simplement plus tardif.

D'une façon générale, le développement embryonnaire, la construction d'un organisme se ramènent à l'*établissement progressif d'une diversité.* Celle-ci nous apparaît aujourd'hui comme le déroulement des conséquences d'une hétérogénéité constitutionnelle de l'œuf. Le mécanisme d'apparition de cette hétérogénéité a été l'objet d'admirables recherches de la part de Spemann et de son école. Je ne puis ici les envisager en détail; je leur emprunterai seulement ce qui est nécessaire pour la compréhension de la notion de territoires.

Spemann a montré que, dans l'œuf de Triton, l'hétérogénéité ne devient définitive qu'au cours du stade de gastrulation. Si, avant cette période critique, on prélève un morceau de ce qui est destiné à former normalement du système nerveux (plaque médullaire présomptive) et qu'on le transplante dans la future peau du ventre, ce transplant se développe en donnant de la peau abdominale, donc conformément à son emplacement actuel et non conformément à son origine. A ce stade, un fragment quelconque de l'embryon peut donner tout et n'importe quoi. Il est totipotent; son type de développement dépend de son emplacement. Le sort des parties de l'œuf n'est pas encore fixé; elles sont *indéterminées.*

Plus tard, au contraire, chaque partie a un sort parfaitement défini ; chacune présente une évolution fatale, irréversible, un développement autonome, en ce sens qu'elle produit, où qu'elle se trouve, l'organe ou la portion d'organe qu'elle aurait engendré si elle avait conservé sa place dans l'ensemble. Ainsi, à ce moment, un morceau de la plaque médullaire présomptive continue à produire un fragment de tube nerveux, de cerveau ou un œil, même s'il est enfoncé sous la peau du ventre, en une place tout a fait anormale.

Si, ainsi que l'a fait Ekman, on prélève, chez un embryon de *Bombinator*, l'ébauche du cœur, simple massif de cellules situé sur la ligne médio-ventrale, entre l'endoderme et l'ectoderme, ce fragment se développe même en dehors de l'organisme, par exemple dans une goutte d'eau physiologique. Il se modifie, forme un tube cardiaque, se coude à peu près comme normalement, différencie des fibres musculaires et se met à battre rythmiquement. Il avait donc en lui tout ce qui était nécessaire pour que son évolution se poursuive d'une façon indépendante : il était *déterminé* en tant que territoire particulier. On peut, de même, mettre en culture dans l'eau salée l'ébauche encore indifférenciée de l'œil futur avec un peu de l'ectoderme voisin : l'ébauche se transforme en vésicule, puis en cupule optique, tandis que la peau engendre, à son contact, un cristallin.

Il y a déjà longtemps que Braus (1905) a montré que les bourgeons de pattes des Batraciens sont semblablement déterminés et se développent par eux-mêmes où qu'ils soient transplantés. Cette expérience a été étendue au cas de l'embryon de Poulet par Murray et Huxley. Si l'on prélève le bourgeon de la future patte de l'oiseau et qu'on le coupe transversalement en trois parties, proximale, moyenne et distale, ces trois parties, greffées sur la membrane chorio-allantoïdienne d'un autre œuf, se développent d'une façon autonome. L'une donne la cuisse, l'autre la jambe, la troisième le pied avec leurs squelettes caractéristiques.

En somme, tout œuf passe par les trois phases suivantes :

1° Une phase d'*indétermination*, au cours de laquelle l'œuf est homogène ; toutes les portions sont constitutionnellement identiques, possèdent les mêmes potentialités totales, peuvent donner n'importe quelle partie de l'organisme futur.

2° Une période critique ou d'*organisation*, au cours de laquelle s'établit une hétérogénéité constitutionnelle de l'œuf.

3° Une période de *détermination effectuée.* Désormais, chaque partie a une évolution irréversiblement fixée. Ce développement fatal se produit où que la partie soit transportée, même en dehors de l'organisme, dans une goutte d'eau salée.

A ce moment, l'organisme est une *mosaïque de territoires déterminés:* le développement n'est plus que le déroulement fatal des potentialités acquises par chacun des constituants de ce système hétérogène qu'est devenu l'embryon. Voilà sur quelle sorte de faits est basée la notion de territoires morphogènes spécifiques au cours de l'embryogénie.

* * *

Il est très remarquable que les mêmes étapes essentielles, indétermination, organisation, détermination réalisée, paraissent se retrouver au cours de cette nouvelle organogénie que représente la régénération d'une patte de Batracien. Les expériences presque simultanées, bien que tout à fait indépendantes, de Schaxel (1922), de Milojevic (1923/24) et de de Giorgi (1923/24) ont montré que le jeune bourgeon de régénération passe d'abord par un stade d'indétermination. Transplanté, il reste alors incapable de se développer, de donner naissance à une patte. Il demeure arrêté dans son évolution ou se résorbe.

Plus tard, au contraire, le bourgeon est déterminé. Transplanté en un point quelconque du corps, il est désormais capable d'évoluer par lui-même, de produire une patte qui sera, suivant son origine, une patte antérieure ou une patte postérieure. Son développement est désormais autonome.

D'où lui est venue sa détermination? L'expérience montre que celle-ci lui est imposée par le moignon, les vieux tissus de l'ancienne patte, par ce que j'ai appelé la base. Celle-ci induit en lui les axes de symétrie et les potentialités de différenciation. Si, en effet, on transplante un régénérat encore indéterminé, avec une mince tranche des vieux tissus (de Giorgi et Guyénot), la présence de ce fragment de base suffit à induire la détermination et le bourgeon peut alors se développer comme s'il était resté en place.

Cette action déterminante de la base a pour corollaire que si on soumet un bourgeon encore indéterminé à l'action d'une base différente, on doit pouvoir l'amener à produire tout autre chose

que ce qu'il aurait donné normalement. L'expérience a été faite par Weiss dans des conditions qui ne sont peut-être pas à l'abri de toute objection, puis par Schotté et moi-même. Un bourgeon indéterminé de queue, transplanté sur la patte, deviendrait une patte. Réciproquement, un bourgeon indéterminé de patte, transplanté sur la queue, donne une petite queue. De même, Spemann avait montré que le système nerveux potentiel peut donner de la peau du ventre et réciproquement, si on échange ces parties avant qu'elles soient déterminées.

Ces expériences conduisent à deux sortes de conclusions:

1° D'une part, ainsi qu'on pouvait déjà le déduire des expériences anciennes de transplantation effectuées par Harrison (1898) et surtout par Kurz (1908), la morphologie future du régénérat ne dépend pas de l'ensemble de l'organisme considéré globalement. Elle est, au contraire, la conséquence d'une action exercée spécifiquement par telle ou telle région de l'organisme. C'est cette idée féconde que Weiss a eu le mérite d'exprimer, dès 1923, en montrant que c'était le moignon, l'«organrest» qui constituait, suivant un terme emprunté à Gurwitsch, un *champ* de différenciation.

2° D'autre part, si la régénération d'une patte ou d'une queue est liée à l'action exercée par ces régions dissemblables, il en résulte que l'organisme, même adulte, doit être lui aussi une mosaïque de territoires ayant des potentialités morphogènes différentes. Quels sont ces territoires? Peut-on en préciser les limites, en démontrer directement l'existence? C'est à résoudre ces différents problèmes qu'un certain nombre de mes élèves et moi-même nous sommes attachés.

* * *

L'existence de territoires spécifiques de régénération a pu être démontrée par trois méthodes différentes.

1° *Excitation des territoires à la croissance.* L'utilisation de cette méthode nous a été suggérée par une observation fortuite de Locatelli. Au cours de recherches sur l'influence du système nerveux dans la régénération des membres, cet auteur avait sectionné les nerfs de la patte postérieure et il s'était trouvé parfois que le tronc nerveux, dévié par la suppuration, était venu aboutir à la peau dans la région du bassin. En ce point s'était formé un

bourgeon qui avait donné naissance à une patte supplémentaire. On pouvait interpréter ce résultat de deux manières : admettre une action morphogène spécifique du nerf sciatique ou, au contraire, considérer que le nerf n'exerce qu'une action banale d'excitation à la croissance sur un territoire «patte» plus étendu que le membre lui-même. C'est cette dernière interprétation qui nous parut, à Schotté et à moi-même, comme la plus en accord avec les résultats que nous avions obtenus par ailleurs, au cours d'autres expériences sur l'influence du système nerveux. Les faits ont d'ailleurs montré l'exactitude de ce point de vue.

Si l'on sectionne et dévie le nerf brachial de manière à le faire aboutir à la peau, dans diverses régions de l'épaule, le territoire correspondant répond en formant un blastème qui se développe en une patte supplémentaire. En faisant aboutir le nerf en différents points, dorsalement, ventralement, en avant, en arrière, par rapport à l'insertion du membre normal, on peut délimiter le territoire «patte antérieure». En effet, dès que l'on sort de ce territoire, que l'on arrive sur le flanc, par exemple, il ne se développe plus rien. Le même résultat a été obtenu en ce qui concerne le nerf sciatique et le territoire de la patte postérieure.

L'expérience décisive consiste à faire aboutir un nerf de patte dans un territoire différent. Si le nerf brachial est amené jusque dans la région de la crête, il excite ce nouveau territoire à la croissance ; ce qui se développe alors, sous son influence, c'est non pas une patte, mais une crête. De même, si le nerf sciatique est amené dans la région de la queue, il provoque le développement d'une petite queue. Sans doute, ce régénérat manque des parties axiales, puisque celles-ci ne se développent que si la moelle et la colonne vertébrale ont été sectionnées. J'ai déjà signalé plus haut que la régénération de ce type n'est pas entièrement comparable à celle du membre où le blastème, une fois déterminé, se suffit à lui même et porte en lui toutes les potentialités nécessaires. Il n'y a cependant aucun doute que l'organe qui prend naissance est une véritable queue comme le montrent l'examen histologique et, en particulier, la disposition des muscles. De plus, si la zone excitée à la croissance correspond au flanc de la queue, la partie qui se développe a non seulement la peau caractéristique de cette région, mais forme une crête pigmentée de jaune, sur les bords dorsal et ventral, comme dans la queue normale. Cette différenciation est

l'indice certain d'une véritable évolution morphogénétique, arrêtée dans sa croissance par l'absence d'organes axiaux et montre qu'il ne s'agit pas d'une simple hyperplasie banale. Si, enfin, on fait aboutir le nerf sciatique dans la lèvre cloacale, il provoque la formation d'une lèvre cloacale supplémentaire.

La preuve qu'il s'agit bien de la réaction spécifique de territoires distincts à une action excitatrice générale a été apportée par des recherches encore inédites de Bovet. Si le nerf dévié est amené à la limite de deux territoires adjacents, tels que la patte postérieure et la queue, il fait apparaître un organe composite, moitié patte et moitié queue, une chimère.

Récemment, enfin, j'ai pu étendre la notion de territoires, en utilisant la même méthode, au cas du Lézard. Si, en effet, on dévie le nerf sciatique dans la région de la queue, il se forme au point d'affleurement un bourgeon qui se développe en une petite queue parfaitement caractérisée. Sans doute, la queue manque, ici encore et pour la même raison que précédemment, des organes axiaux; mais la disposition et la structure des écailles, plus encore la disposition rayonnée des muscles montrent que ces productions, dont certaines ont atteint deux centimètres de longueur, correspondent indiscutablement à une véritable morphogenèse, à la construction, par un territoire spécifique, d'un organe conforme à ses propres potentialités.

2° *Extirpation d'un territoire.* Puisque la régénération dépend non de l'ensemble de l'organisme, mais de l'action de certains territoires, on doit pouvoir supprimer la régénération en extirpant entièrement le territoire correspondant. L'expérience a été faite par Schotté, en ce qui concerne la queue. L'opération est laborieuse, car le territoire remonte assez haut dorsalement, au-dessus du cloaque. Au bout de plus d'une année, les animaux opérés n'avaient pas présenté la plus petite trace de régénération. C'est ainsi que s'expliquent, de même, les résultats obtenus par Vallette en ce qui concerne la régénération du nez et du museau. Si l'on ampute le museau d'un Triton, en laissant en arrière une partie du nez, la régénération se fait régulièrement. Si, au contraire, on a enlevé la totalité des fosses nasales, la régénération n'a plus lieu. Ce résultat est obtenu même si l'on a pris soin de laisser intacts les lobes olfactifs du cerveau, ce qui montre que l'absence de régénération ne peut être mise sur le compte d'une lésion de ces centres nerveux.

3° *Transplantation de territoires.* Au cours d'une série d'expériences inédites, effectuées avec K. Ponse, j'ai enlevé une partie du territoire de l'épaule et l'ai remplacée par un fragment des parties molles latérales de la queue. Sous l'influence excitatrice du nerf brachial, le territoire transplanté s'est développé conformément à ses potentialités intrinsèques, en produisant une petite queue caractérisée, en particulier, par l'apparition de la crête pigmentée de jaune. Réciproquement, si l'on ampute la queue et que l'on implante sur la surface de section un fragment du territoire de la patte antérieure, ce transplant se développe en produisant une patte caractéristique, résultat qui montre bien la non spécificité des actions nerveuses, puisque le greffon reçoit ici son innervation de la moelle caudale et non du nerf brachial. Dans un cas, nous avons pu faire une transplantation croisée, si bien que l'animal avait une queue à la place de la patte antérieure et une patte à la place de la queue. Si, enfin, on ampute une des queues ainsi développées à la place de l'épaule, en intéressant par la section le territoire patte sous-jacent, les deux territoires poussent en collaboration sous l'influence du nerf brachial en donnant une chimère. De ces transplantations on peut rapprocher d'autres expériences. Si l'on évide partiellement la cuisse et qu'on y greffe un fragment du territoire de la queue, il se développe après amputation une queue et non une patte (Bischler). Si l'on remplace les tissus internes de la cuisse par les territoires du carpe ou du tarse, ces parties greffées deviennent le point de départ d'une régénération qui forme seulement une main ou un pied, si bien que ces extrémités paraissent sortir directement du bassin, chez ces phocomèles artificiels.

Tels sont les faits sur lesquels est basée cette notion qu'un animal adulte, tel qu'un Triton ou un Lézard, est, de même que l'embryon, formé de territoires spécifiques, est une mosaïque de ces territoires dont chacun jouit d'une action morphogène déterminée.

* * *

Voici maintenant quelques applications à d'autres problèmes biologiques de la notion de territoires. Le Crapaud mâle présente, comme caractère sexuel secondaire, des excroissances se développant sur certains doigts et liées à l'action des hormones testiculaires. Ce qu'il y a de remarquable, c'est qu'en masculinisant des femelles par greffe de testicules (K. Ponse), on fait apparaître de toutes

pièces des excroissances identiques chez ces femelles et occupant rigoureusement le même emplacement que chez les mâles. A quoi tient cette localisation? Dépend-elle de l'action de certains nerfs ou ne résulterait-elle pas plutôt d'une réponse spécifique d'un territoire cutané à l'action de l'hormone testiculaire? C'est cette dernière interprétation que les expériences de K. Ponse ont confirmée. Si, en effet, on prélève un fragment de la peau pourvue d'excroissances et qu'on le transplante en un point quelconque du corps, il continue à réagir spécifiquement aux sécrétions du testicule, en formant des excroissances à évolution cyclique. Si, inversement, on implante en pleine zone d'excroissances un fragment quelconque de la peau du pied, du bras ou même de la main — et alors si voisin que l'on voudra de la région des excroissances — ce fragment cutané reste lisse sans produire aucune formation épidermique. La propriété de répondre spécifiquement à l'action des hormones de la glande mâle est donc caractéristique d'un territoire cutané parfaitement déterminé.

L'hérédité, telle que la conçoivent les généticiens est liée à la transmission de particules contenues dans les chromosomes du noyau, les gènes ou facteurs. Ces gènes ne nous apparaissent nullement aujourd'hui comme des déterminants, des représentants mystiques de telle ou telle partie du corps, de tel ou tel caractère. Nous les considérons comme des conditions internes du fonctionnement cellulaire qui interviennent en favorisant ou en inbibant les processus métaboliques et, par voie de conséquence, en agissant sur la réalisation de certaines particularités morphologiques ou physiologiques. Une aile d'insecte, par exemple, résulte de l'action corrélative de quelques centaines de facteurs, de la somme des actions + et — qu'ils exercent sur les processus de développement de l'ébauche des ailes. Les gènes sont donc bien, au sens algébrique du mot, des facteurs du développement.

Cependant, le jeu des divisions cellulaires répartit équationnellement les mêmes gènes entre les noyaux des diverses lignées cellulaires. Comment se fait-il alors que tel gène agisse plus spécialement sur l'aile, tel autre sur l'œil, tel autre encore sur l'abdomen? C'est ici que peut intervenir la notion de territoires. Si l'on admet que l'on puisse généraliser cette nouvelle conception de l'organisation animale, il est évident qu'un gène donné, intervenant dans un certain fonctionnement cellulaire, ne trouvera que

dans un territoire particulier les conditions nécessaires à la manifestation de son activité spécifique. Pour utiliser une comparaison empruntée à la pathologie, de même qu'en matière de maladie infectieuse, il faut considérer le virus et le terrain, de même, en ce qui concerne l'hérédité, on en viendra probablement à envisager désormais le gène et le territoire où il peut exercer son action. Voici une application possible de ce dernier point de vue. Chez le Crapaud mâle, la bandelette génitale se développe, dans sa partie antérieure, en ovaire, tandis que la portion postérieure forme un testicule. Cependant, les facteurs de sexualité, présents dans l'œuf et dont la somme algébrique détermine le sexe de l'organisme futur, ont dû être équationnellement distribués dans toutes les cellules de la bandelette génitale. Comment se fait-il que ses deux portions répondent si différemment à ces influences factorielles? Cette apparente contradiction pourrait être résolue si l'on admet que les deux parties de la bandelette génitale correspondent à deux territoires dissemblables, ne réagissant pas de la même manière aux actions exercées par les gènes, en raison d'une sensibilité différentielle spécifique.

La notion de territoires serait peut-être encore susceptible d'éclairer de quelque lumière la question du cancer. Les recherches de M. Slye sur le cancer spontané des souris ont montré que certaines lignées présentaient des tumeurs du foie, d'autres des tumeurs du poumon, ou de l'estomac ou de l'ovaire. Il paraît donc y avoir une certaine hérédité de la localisation des processus néoplasiques. Cela ne tiendrait-il pas à une susceptibilité héréditaire de certains territoires de l'organisme? Je ne veux pas insister sur ce dernier point qui reste évidemment très hypothétique; il m'a paru cependant utile de le signaler.

La conclusion de cette étude est que nous devons renoncer à la conception d'après laquelle l'organisme serait un tout indivisible, ne pouvant être envisagé que d'une façon globale. Sans doute, l'organisme est une unité grâce au jeu des corrélations physiologiques, nerveuses et humorales; si l'on se place au point de vue de sa constitution morphologique, il nous apparaît, au contraire, comme une mosaïque de parties, de territoires spécifiques ayant des potentialités morphogènes dissemblables. Il y a là une notion qui paraît de nature à éclairer d'un jour nouveau une foule de problèmes biologiques.

Die submikroskopischen Lebensformen

Von

R. Doerr

Professor an der Universität Basel

Meine Herren!

Der Gedanke, dass Organismen existieren könnten, welche infolge ihrer winzigen Grössenausmasse unsichtbar bleiben, ist vor mehr als zweitausend Jahren aufgetaucht und gewann schon in jener weit zurückliegenden Epoche enge Beziehung zu der — wenn auch mehr unbestimmt empfundenen als klar erkannten — Notwendigkeit, den Infektionsstoffen belebte Natur zuzuschreiben. Wir begegnen also hier bereits dem erkenntnis-theoretisch wichtigen Versuch, das Vorhandensein einer Lebewelt, die uns infolge der begrenzten Leistungsfähigkeit unseres Gesichtssinnes verborgen wäre, indirekt durch ihre Auswirkungen zu erschliessen, und es ist gerade dieses Prinzip, auf welches die biologische Forschung nochmals in grösstem Maßstabe und mit ausserordentlichem Erfolge zurückgegriffen hat, seit die Untersuchungen von Löffler und Frosch über das invisible Agens der Maul- und Klauenseuche (1898) den ersten entscheidenden Impuls[1] zu seiner erneuten Anwendung gaben. Die Voraussetzungen für die Zulässigkeit der Methode hatten jedoch in der Zwischenzeit nicht nur ein tatsächliches Fundament erhalten und damit wissenschaftlichen Charakter angenommen, sie hatten sich auch in einer einzigen, zumindest äusserlich dogmatischen Richtung fortentwickelt; hierauf mit einigen kritischen Bemerkungen einzugehen, scheint mir für das Verständnis der folgenden Ausführungen unerlässlich, selbst auf die Gefahr hin, zum Teil Dinge

[1] Die frühere Mitteilung von D. Iwanowski über die Existenz eines filtrierbaren Virus bei der Mosaikkrankheit des Tabaks (1892) blieb zunächst unbeachtet und wurde erst später auf Grund weiterer Publikationen von M. W. Beijerinck (1899) und von Iwanowski selbst (1903) allgemein bekannt und ihrer generellen Bedeutung entsprechend gewürdigt.

zu wiederholen, die ich schon an anderen Stellen (Klin. Wochenschr. 1923, Nr. 20 und Nederl. Tijdschrift v. Hygiene, Microb. en Serologie, 1927) auseinandergesetzt habe.

Die Infektionskrankheiten der Tiere und Pflanzen lassen sich bekanntlich in unbegrenzter Folge von kranken auf gesunde Individuen übertragen. Das Experiment sowohl als auch die Beobachtung der natürlichen Ansteckung lehren, dass für jeden Übertragungsakt nur eine minimale Substanzmenge erforderlich ist und dass das Material durchaus nicht von der Stelle entnommen werden muss, an welcher die natürliche oder künstliche Inokulation stattgefunden hat; das Infektionsgut muss sich also im infizierten Organismus ausgebreitet haben und die wiederholte Übertragung kleinster Quanten im Vereine mit der jedesmaligen Ausbreitung müsste sehr rasch zu einer derartigen Verdünnung führen, dass die Wirksamkeit jedes unbelebten Stoffes unfehlbar erlöschen würde. Wenn das nicht geschieht, d. h. wenn die Ansteckungsketten beliebig verlängert werden können, so lässt sich dies nur so erklären, dass der Verdünnung eine periodische Konzentration entgegenwirkt, und es ist evident, dass dieser Konzentrationsprozess nirgends anders ablaufen kann als in den infizierten Tieren und Pflanzen, die ich in diesem Sinne als die „Konzentrationsräume der Ansteckungsketten“ bezeichnet habe. Bis hierher scheint die Beweisführung keinem Einwand zugänglich; die unbegrenzte Übertragbarkeit ist tatsächlich ohne Vermehrung der Ansteckungsstoffe im Körper des infizierten Wirtes nicht denkbar. Eine Reihe von Autoren des 18. und 19. Jahrhunderts — ich nenne als ihren vornehmsten Vertreter Jakob Henle (1840) — ist aber noch vor der Entdeckung der ersten pathogenen Mikroben, also auf Grund aprioristischer Überlegungen einen Schritt weiter gegangen; es wurde als sicher angenommen, dass sich die Infektionsstoffe „aus sich heraus“ d. h. autonom, durch Assimilation fremdartigen Nährmateriales vermehren, und da diese Fähigkeit ausschliesslich lebenden Organismen zukommt, ergab sich als automatische Konsequenz, dass jeder übertragbare Infektionsstoff ohne Ausnahme ein Lebewesen sein muss. Die Erforschung der Ätiologie der Infektionskrankheiten hat diese Theorie, die Pathologia animata oder die Lehre vom Contagium vivum, in weitem Umfange bestätigt; ein „Erreger“ nach dem andern wurde festgestellt, mikroskopisch als lebender Elementarorganismus agnosziert und die Auto-

nomie der Vermehrung überdies durch die Züchtung auf totem Substrat (also ausserhalb der betreffenden Wirte) für die überwiegende Mehrzahl derartiger Keime exakt bewiesen.

Ich habe aber schon vor Jahren darauf hingewiesen, dass noch eine andere Möglichkeit in Erwägung zu ziehen ist. Die Vermehrung der Ansteckungsstoffe im Körper des infizierten Tieres oder der infizierten Pflanze muss nicht unbedingt autonom erfolgen, sie könnte auch von den Wirtsgeweben ausgehen, derart, dass diese, durch einen bestimmten Stoff x gereizt, eben diesen Stoff in grosser Menge produzieren. Es ist ohne weiteres klar, dass das infizierende Agens in diesem Falle unbelebt sein kann oder vielmehr unbelebt sein muss; es fragt sich nur, ob de facto übertragbare Krankheiten existieren, bei welchen der geschilderte Mechanismus und mithin ein Contagium inanimatum angenommen werden darf. Wir kennen nun bisher in der Tat ein weitgehend gesichertes Beispiel, das Rous'sche Hühnersarkom, und zwei noch heftig umstrittene, die Bakteriophagen und den Herpes febrilis, den jedermann bekannten, in der Regel an den Lippen lokalisierten, sogenannten Fieberausschlag. Ich will hier nur das Rous'sche Hühnersarkom kurz besprechen, weil es in einer bedeutsamen Beziehung eine Sonderstellung einnimmt. Das zuerst von Peyton Rous beschriebene und nach ihm benannte Sarkom ist eine bösartige, bei manchen Hühnern spontan auftretende, zu Metastasen in den verschiedensten Organen führende Geschwulst. Sie lässt sich experimentell in unbegrenzter Serie auf gesunde Hühner übertragen, wenn man diesen zerriebene Tumorsubstanz injiziert. Das wäre nicht weiter merkwürdig und könnte als einfache Transplantation lebender Geschwulstzellen aufgefasst werden. Die Übertragung gelingt aber auch mit getrocknetem und pulverisiertem, mit in Glyzerin aufbewahrtem Tumorgewebe oder, wie ich mich selbst überzeugt habe, mit Tumorbrei, den man wiederholt in Kohlensäureschnee durchgefroren und wieder aufgetaut hat; sie gelingt mit Tumorextrakten, die 30 Minuten auf 50—55° C erhitzt wurden, und sie gibt selbst dann positive Resultate, wenn man die Extrakte durch Filtration von den in ihnen enthaltenen Zellen vollständig befreit (Rous und Murphy, A. Fischer, Haagen, Pentimalli, E. Fränkel u. a.). Auch braucht man nicht gerade Tumormaterial zu verwenden; die Impfungen gehen an, wenn man das Blut oder Serum kranker Hühner einspritzt (Rous, Bürger, Busch, Pentimalli, E. Fränkel), und nach meinen Erfah-

rungen genügen für diesen Zweck sogar ganz geringe Blutquantitäten, z. B. $0{,}_{02}$ ccm (nicht publiziert).

Dass die experimentelle Verimpfung des Rous-Sarkoms nur durch intakte Zellen möglich ist, halte ich daher, in Übereinstimmung mit fast allen Experimentatoren, die sich auf diesem Gebiete betätigt haben, für unrichtig. Dagegen würden die angeführten Tatsachen — einzeln oder in ihrer Gesamtheit — sehr wohl gestatten, einen lebenden, submikroskopischen bzw. filtrierbaren Erreger anzunehmen, eine Ansicht, welche namentlich Gye vertreten hat. Die aufsehenerregenden Versuche, auf welche sich Gye stützte, sind aber mehrfach widerlegt worden (Harkins, Schamberg und Kolmer, Murphy, Flu, E. Fränkel); und vor allem ist ein Umstand hinzugetreten, der diese Hypothese meines Erachtens definitiv erledigt: man kann — wenn ich mich drastisch ausdrücken darf — den kausalen Faktor des Rous-Sarkoms erschaffen, man kann ihn künstlich erzeugen und benötigt dazu nur das Huhn, nicht aber den Tumor. Wenn man gesunden Hühnern Brei von gleichfalls gesunden Hühnerembryonen gemischt mit niedrigen Konzentrationen von arseniger Säure, Indol oder Teer injiziert, entwickeln sich schon nach wenigen Wochen typische, sehr bösartige Geschwülste, die sich dann auf weitere Hühner (und zwar auch wieder mit zellfrei filtrierten Extrakten der Tumoren) übertragen lassen (Carrel, Murphy und Landsteiner). Carrel konnte sogar bestimmte Zellen (Monocyten oder Histiocyten) normaler Hühner im Explantat d. h. in der künstlichen Gewebskultur in vitro durch die genannten chemischen Einflüsse in Tumorzellen verwandeln, so dass die Verimpfung des transformierten Explantates auf das empfängliche Tier äusserst maligne, rasch wachsende Sarkome lieferte.

Bei den mikroskopisch sichtbaren und zweifellos lebenden Erregern ist es selbstverständlich nicht möglich, eine Infektionskette in einem beliebigen Zeitpunkt und ohne Zuhilfenahme des bereits vorhandenen Infektionsstoffes neu beginnen zu lassen, es wäre denn durch Umwandlung eines präexistenten saprophytischen Mikroorganismus in einen pathogenen. Hier, wie auch bei der natürlichen Propagation solcher Seuchen, gilt uneingeschränkt der Satz: Omne vivum ex vivo; er stellt die längst als tragfähig erkannte Basis aller Massnahmen dar, welche die Verhütung der Einschleppung und die Bekämpfung der Infektionskrankheiten bezwecken. Wenn wir daher untersuchen wollen, wo dieses Gesetz

durchbrochen wird, d. h. wo ein ähnliches Verhalten wie beim Rousschen Hühnersarkom feststellbar ist, müssen wir uns logischerweise auf das Gebiet der optisch nicht fassbaren Ansteckungsstoffe begeben und dort finden wir in der Tat, was wir suchen, allerdings — wenn man von allen, nicht zureichend bewiesenen Angaben absieht — wieder nur in einem isoliert stehenden Einzelfall. Der schon erwähnte Fieberausschlag (Herpes febrilis) kann erzeugt werden, wenn man den Inhalt der Blasen einimpft; er tritt aber auch, und zwar mit bemerkenswerter Regelmässigkeit, bei gesunden Menschen auf, welchen verschiedene, namentlich fiebererzeugende Substanzen z. B. abgetötete Kulturen beliebiger Bakterien (B. coli, B. prodigiosum, Streptokokken usw.) injiziert wurden, und von einem solchen willkürlich und auf völlig aspezifischem Wege provozierten Herpes aus können dann weitere Tier- oder Menschenpassagen in unbegrenzter Folge angelegt werden.

Ob man späterhin noch andere analoge Phänomene beobachten wird, lässt sich natürlich nicht voraussagen; in der Literatur der tierischen wie der pflanzlichen Infektionspathologie stösst man auf zahlreiche Tatsachen, welche eine derartige Erwartung rechtfertigen, und es muss überdies berücksichtigt werden, dass sich die biologische Forschung mit diesem Thema noch nicht systematisch, sondern stets nur im Anschluss an zufällige Befunde oder an Probleme anderer Art befasst hat. Es gibt auch in der Wissenschaft gemiedene Territorien und zu diesen gehört fraglos die Hypothese der unbelebten Kontagien. Schon jetzt liegt aber die Sache so, dass die unbegrenzte Übertragbarkeit eines pathogenen, keine mikroskopischen Organismen enthaltenden Stoffes nicht als sicherer Beweis für seine autonome Vermehrung und daher auch nicht für seine belebte Natur betrachtet werden kann; sie gewinnt diesen Wert erst dann, wenn sich die Phänomene der Vermehrung und endlosen Übertragung unter Ausschluss aller anderen lebenden Zellen auf sterilen Substraten realisieren lassen, also durch Methoden, die in der Mikrobiologie als Kulturverfahren bzw. als Nährbodenpassage bekannt sind. Wenden wir aber dieses Kriterium an, so treten recht eigenartige Verhältnisse zutage.

Um sie zu verstehen, wollen wir vorerst einen Blick auf die mikroskopisch sichtbare Lebewelt werfen. Die Organismen, die wir im Mikroskop als solche erkennen, zeigen, mag es sich um Protozoen oder um Bakterien handeln, ausserordentlich verschiedene

Dimensionen; die Grössenausmasse der kleinsten Formen wie mancher Streptokokkenarten oder der Erreger der Pleuropneumonie der Rinder gehen fast bis an die Grenze des Auflösungsvermögens der besten Instrumente (= 0,23 μ Teilchendurchmesser) herunter und manche von ihnen vermögen infolge ihrer Kleinheit die Poren von Kieselguhr- oder Tonfiltern zu passieren wie z. B. der Vibrio parvus, den v. Esmarch entdeckte, die Micromonas Mesnili von Borrel, der Vibrio percolans von Mudd u. a. In allen Grössenklassen findet man aber Saprophyten **und** Parasiten oder — wie man meist sagt, pathogene Mikroben, und bei den pathogenen Arten hängt die Kultivierbarkeit auf sterilem Nährsubstrat, der fakultative Saprophytismus, keineswegs von den Dimensionen des einzelnen Individuums ab; der winzige Bacillus influenzae, die feine Syphilisspirochaete, der Erreger der Pleuropneumonie können ebenso im Reagenzglase gezüchtet werden wie etwa der Milzbrandbazillus. Nicht unwichtig ist ferner, dass im mikroskopischen Bereich die nichtpathogenen Spezies bei weitem überwiegen.

Das alles verkehrt sich nun mit einem Schlage ins Gegenteil, wenn man das Gebiet der hypothetischen (submikroskopischen) Lebensformen betritt. Hier kennt man zwar eine heute kaum mehr zu übersehende Zahl von „Erregern“ tierischer oder pflanzlicher Infektionskrankheiten, die unter dem Kollektivbegriff „Virus“ zusammengefasst werden, aber keine auf totem Substrat gedeihenden Saprophyten, obzwar ihr Nachweis wiederholt (u. a. von Twort) angestrebt wurde. Hans Molisch hat diese augenscheinliche Nichtexistenz von „Ultrasaproben“ mit Recht als sehr auffällig bezeichnet; sie wird aber noch bedeutungsvoller durch das Fehlen eines fakultativen Saprophytismus bei den pathogenen Virusarten, durch die Unmöglichkeit — soweit die bisherigen ausgedehnten Versuche einen so kategorischen Ausdruck erlauben[1] — ein solches Virus in vitro sicher autonom zur Vermehrung zu bringen und mit Erfolg von einem Nährboden auf den anderen fortzuimpfen. Wenn ich

[1] Im British Medical Journal 1929, Nr. 3559, S. 551, finde ich allerdings folgende Bemerkung:

"Mr. Barnard said that in his opinion there were at least two saprophytic viruses, probably nonpathogenic, which it was possible to grow and reproduce, though not with great regularity." Diese Angabe erlaubt natürlich — auch wenn sie weniger verklausuliert wäre — keinen bestimmten Schluss; ob eine Originalmitteilung von Barnard oder ein ausführliches Referat existiert, war aus der mir zugänglichen Literatur nicht zu entnehmen.

diese Aussage durch den Zusatz „sicher autonom“ einschränke, können Sie nicht mehr im unklaren sein, was damit gemeint ist: die Abwesenheit anderer lebender Zellen im Kulturmilieu, insbesondere der für die betreffende Infektion empfänglichen Wirtszellen. Ein Beispiel mag das erläutern. Vor kurzem teilte Helen Purdy mit, dass sich das Virus der Mosaikkrankheit des Tabaks in abgepflückten Blättern gesunder Tabakpflanzen vermehrt und dass es sich von einem abgetrennten Blatt auf das andere übertragen lässt; die infizierten Blätter verändern zwar ihr Aussehen nicht, aber mit ihrem Preßsaft kann die typische Erkrankung selbst nach mehrgliedriger Blattpassage an normalen Tabak- oder Tomatenpflanzen hervorgerufen werden. Angenommen, dass dies richtig ist, läge doch keine Züchtung auf zellfreiem Material vor, sondern eine Kultur im explantierten Wirtsgewebe. Eliminiert man dieses aus der Versuchsanordnung, so werden die Ergebnisse negativ; die angeblich positiven Resultate von Olitsky, nebenbei bemerkt, die einzigen, die bei pflanzenpathogenen Virusarten überhaupt erzielt wurden, konnten weder Henderson Smith noch andere Experimentatoren bestätigen. Genau der gleiche Sachverhalt, der sich in diesem Paradigma widerspiegelt, wurde bei den Bakteriophagen und bei dem Agens des Rousschen Sarkoms, bei beiden in ganz eindeutiger Weise konstatiert, beim Vaccine- und beim Herpesvirus, beim Virus des Fiebers der amerikanischen Felsengebirge u. a. (vgl. die zusammenfassenden Darstellungen von E. Meyer im Archiv für experimentelle Zellforschung, Bd. 3, 1926 und von Th. M. Rivers in The Newer Knowledge of Bacteriol. and Immunology, Chicago, 1928): Wachstum in Gegenwart lebender empfänglicher Wirtszellen, kein Wachstum bei Ausschluss derselben. Wohl tauchen immer wieder Berichte über gelungene Züchtungen tierpathogener Virusarten in zellfreien Nährböden auf (Kultur des Trachomvirus von Noguchi, des Gelbfiebervirus von Kuczynski usw.); wenn irgendwo ist jedoch hier grundsätzliche Skepsis am Platze, solange nicht einwandfreie Nachprüfungen jeden Zweifel beseitigen, einmal mit Rücksicht auf die schon erlebten Enttäuschungen, dann aber auch im Hinblick auf die phytopathogenen Virusformen einschliesslich der Bakteriophagen, bei welchen sich die technischen und biologischen Bedingungen eines positiven Erfolges a priori weit günstiger gestalten und bei denen alle Bemühungen gescheitert sind.

Man pflegt das soeben aufgerollte Problem durch die Aussage

zu erledigen, sämtliche Virusarten seien obligate Parasiten. Mit dem Wort „Parasit“ wird aber die unbewiesene Annahme lebender Elementarorganismen zur Behauptung erhoben und das Attribut „obligat“ bedeutet nicht mehr als eine blosse Umschreibung des Tatbestandes im Rahmen dieser hypothetischen Prämisse, aber keine Erklärung. Man muss sich doch die Frage vorlegen, ob irgendeine Eigenschaft bekannt ist, aus welcher der so strenge und ausnahmslose Parasitismus abgeleitet werden könnte. Das ist aber nicht der Fall. Diese Stoffe sind keineswegs so empfindlich gegen die Einflüsse der Aussenwelt, wie man das auf Grund der Analogien aus dem mikroskopischen Bereich erwarten sollte; manche von ihnen zeigen sogar eine ganz beträchtliche Widerstandsfähigkeit wie das Virus der Mosaikkrankheit des Tabaks, das monatelang aufbewahrt, völlig ausgetrocknet, aus den kranken Blättern mit verdünntem Alkohol, Aceton, $CHCl_3$, CS_2 ausgezogen und nach neueren Angaben von Mc. Kinney bis auf 82, ja unter Umständen auf 88—90° C erhitzt werden kann, ohne seine Wirksamkeit einzubüssen. Ebenso werden gewisse Bakteriophagenstämme, wie ich in Gemeinschaft mit Rose konstatiert habe, durch einstündiges Erwärmen im Wasserbad auf 84—85° C nicht zerstört, sondern nur abgeschwächt. So hohe Grade der Resistenz sprechen entschieden dagegen, dass es sich um Protozoën handeln könnte, und die Annahme von Bakterien ist — abgesehen von andern Gründen — unwahrscheinlich, da die Bildung von Dauerformen nach Art der Sporen nicht in Betracht kommt. Erneut drängt sich die Vorstellung an unbelebte Substanzen[1] oder doch an Gebilde auf, welche

[1] Auch C. G. Vinson und A. W. Petre vertreten auf Grund neuerer Untersuchungen (Bot. Gaz., Bd. 87, 1929, S. 14—38) die Ansicht, dass sich das Virus der Mosaikkrankheit des Tabaks in manchen Beziehungen wie eine chemische Substanz verhält. Von den Experimenten der genannten Autoren besitzt eines eine besondere, jetzt noch kaum abzuschätzende Bedeutung. Versetzt man den Quetschsaft mosaikkranker Tabakblätter mit einprozentiger Safraninlösung, so entsteht ein Präzipitat; weder dieses noch die überstehende Flüssigkeit erweisen sich, auf gesunde Pflanzen verimpft, als infektiös. Schwemmt man aber den Niederschlag in destilliertem Wasser auf und fügt eine gesättigte, wässerige Pikrinsäurelösung hinzu, so fällt das Safranin aus und das Virus erscheint wieder in der ursprünglichen, aktiven, übertragungsfähigen Form. Die Safranin-Virusverbindung wird also unter gleichzeitiger vollständiger Regeneration der Viruskomponente gesprengt, ein Vorgang, der in jeder Hinsicht an die auf S. 10 erwähnten Dissoziationsphänomene erinnert. Doch darf auch dieser Versuch nicht für sich allein, sondern nur im Zusammenhalt mit andern Tatsachen

den allgemeinen Normen der Organismenwelt nicht mehr gehorchen, eine Vorstellung, welche noch durch eine Reihe anderer Tatsachen von teils genereller, teils auf gewisse Fälle beschränkter Gültigkeit gestützt werden kann, auf die ich nun in gebotener Kürze eingehen möchte.

Da wären zunächst die Grössenverhältnisse der Viruselemente zu nennen. Exakte Messungen sind freilich mit den bisher angewendeten Mitteln nicht durchführbar; weder die Zentrifuge noch die verschiedenen Filter geben Resultate in Form von präzisen oder nur ein kleines Intervall umspannenden zahlenmässigen Angaben. Das ist so oft theoretisch und experimentell untersucht worden (u. a. auch von Frei in Zürich), dass ich hierüber kein Wort zu verlieren brauche. Von neueren Arbeiten seien nur die weniger bekannten Untersuchungen von S. P. Kramer in Cincinnati zitiert, welche sich speziell auf die sogenannten Hartfilter (Berkefeld-, Chamberland-Kerzen usw.) beziehen.[1] Ob eine bestimmte

---

als Beweis für die unbelebte Natur des Mosaikvirus bewertet werden. Es lassen sich ja auch mit Sublimat behandelte, nicht mehr kultivierbare und nicht mehr infektiöse, also scheinbar tote Staphylokokken zu neuem Leben erwecken, wenn man die Proteïne des Bakterienplasmas vom anhaftenden Hg durch Einwirkung von H_2S (Überführung des Hg in unlösliches HgS) befreit (Gegenbauer u. a.).

[1] In den letzten Jahren verwendet man zur Grössenbestimmung sehr kleiner Elemente in steigendem Umfang die sogenannten „Membranfilter", d. h. Kollodiummenbranen, deren Durchlässigkeit (Porenweite) abgestuft und mit Hilfe besonderer Methoden gemessen werden kann. Die Filtrationswirkung derartiger Kollodiumhäutchen wurde von Hitchcock, Grollmann (Journ. Gen. Physiology, Bd. VIII, IX und X, 1925–1927), namentlich aber von H. Bechhold und seinen Mitarbeitern (Biochem. Zeitschr., Bd. 199, 1928, S. 1; Zeitschr. f. physikal. Chemie, Abt. A, Bd. 142, 1929, S. 1 und Bd. 143, 1929, S. 157; Zentralbl. f. Bakt, 1. Abt., Orig., Bd. 112, 1929, S. 336) genauer studiert. Nach Bechhold (Zeitschr. f. Bakt., l. c.) besitzen zwar die einzelnen Typen der Membranfilter gewisse gemeinsame Eigenschaften, doch können sich Filter des gleichen Typus voneinander unter Umständen recht erheblich unterscheiden, so dass nichts übrigbleibt, als jedes Filterindividuum für sich auf seine Durchlässigkeit zu prüfen. Über das Passieren kleiner Partikel durch die Membranporen entscheidet nach demselben Autor nicht nur die Beziehung zwischen Porengrösse und Partikeldurchmesser, sondern in manchen Fällen auch die Anwesenheit von oberflächenaktiven Substanzen, welche als „Gleitmittel" fungieren; so kann ein Filter von 100—200 $\mu\mu$ Porenweite Collargol (Teilchendurchmesser = 20 $\mu\mu$) zurückhalten und das gleiche Filter kann Collargol durchlassen, wenn man demselben protalbinsaures Na oder Saponin als oberflächenaktive Stoffe zusetzt. Bechhold kommt daher auch bei den Membranfiltern zu dem Schluss, „dass

Sorte von Partikeln solche Filter passiert oder nicht, hängt — wie Kramer bewies — nicht nur vom Verhältnis ihrer Grösse zum Durchmesser der Filterporen ab, sondern von den Beziehungen, welche zwischen der elektrischen Aufladung der Teilchen und der elektrischen Ladung der Porenwände bestehen. Elektropositive Partikel derselben Art und Dimensionierung werden in einem elektropositiven Filter (dessen Substanz $CaCO_3$ oder MgO enthält) zurückgehalten, während sie durch die elektronegativen, kieselsäurehaltigen Berkefeldkerzen hindurchgehen. Der sichtbare Vibrio percolans von Mudd ist durch Berkefeld filtrabel und das Botulismus-Toxin, das wir ja nach dem gewöhnlichen Sprachgebrauch gar nicht als „Suspension", sondern als „Lösung" bezeichnen, vermag ein elektropositives Filter aus Pariser Gips nicht zu passieren (s. den Artikel von Kramer in The Newer Knowledge of Bact. and Immunology, S. 557). Man erkennt schon hieraus, wie verfehlt es ist, noch immer an der alten Einteilung in „filtrierbare" und „nicht filtrierbare" Mikroorganismen festzuhalten; die Unterscheidung von mikroskopisch agnoszierbaren Mikroben und von Infektionsstoffen, deren Elementarteilchen optisch unbekannt sind, den Virusarten, entspricht dem wahren Sachverhalt besser. Es ist ferner durchaus verständlich, dass die Daten über die wahren Ausmasse der Viruselemente so enorm differieren. Nur ein Beispiel: Olitsky und Boëz schreiben den Teilchen des Virus der Maul- und Klauenseuche einen Durchmesser von 20—100 $\mu\mu$, im Mittel von 50 $\mu\mu$ zu, während Irmengard Modrow für die A-Variante dieses Virus 2—3 $\mu\mu$ als einen möglichen Wert errechnet, dem sie allerdings selbst nur eine sehr bedingte Zuverlässigkeit zuerkennt. Kein Wunder, wenn manche Autoren (wie Th. M. Rivers) den erheblichen, in dieses Problem investierten Arbeitsaufwand als mehr oder weniger nutzlos ansehen. In neuerer Zeit beginnen sich aber doch zwei wichtige Schlüsse herauszukristallisieren. Erstens ist es gewiss, dass verschiedene Virus-

Versuche, Grössenordnungen auf dem subvisiblen Gebiet festzulegen, oft auf sehr schwankendem Boden stehen und dass die einzigen, einigermassen und angenähert zuverlässigen Relativzahlen diejenigen sind, welche man durch physikalische Methoden von Fall zu Fall ermittelt"; die Porenweite lässt sich allerdings ziemlich genau bestimmen, doch kennt man vorläufig noch nicht die Relation der Porenweite zur Grösse der die Poren passierenden Teilchen, die „Siebwirkung", eine Einsicht, zu der man bei den Hartfiltern schon früher gelangt ist.

formen verschieden grosse Elementarteilchen besitzen. E. Berger in Basel verglich zwei allgemein für sehr klein gehaltene Arten, den Erreger der Hühnerpest und die Bakteriophagen, mit Hilfe der Bechhold'schen Kollodium-Filter untereinander und wies noch recht beträchtliche relative Unterschiede nach. Zweitens darf man meines Erachtens die Tatsache nicht übergehen, dass für eine Reihe solcher Stoffe trotz der differenten Methodik übereinstimmend eine geradezu minimale Grössenordnung ermittelt wurde, die zwischen 2—30 $\mu\mu$ liegt, so für die Bakteriophagen (d'Herelle, Praussnitz, v. Angerer, Marshall, Fränkl und Schultz, Zinsser und Fei Tang Fang, Stassano und Beaufort, Krüger und Tamada, Bechhold, Leitner und Ornstein u. a.), für das Virus der Mosaïkkrankheit des Tabaks (Duggar und Karrer), das Virus der Maul- und Klauenseuche (Modrow, Olitsky und Boëz) u. a. Lange vor diesen Angaben haben schon Mac Kendrick, Leo Errara und Hofmeister die Frage aufgeworfen, welche Dimensionen sich überhaupt noch mit jenem Minimum von Organisation und Struktur vertragen, das für eine lebendige „Ganzheit", für eine sich selbständig ernährende und durch Teilung vermehrende Individualexistenz gefordert werden muss; dabei spielte die Ueberlegung die Hauptrolle, unter welchen räumlichen Bedingungen ausser Wasser, Salzen und Lipoïden noch eine grössere Zahl von Eiweissmolekülen Platz finden würde. Durchmesser und Molekulargewicht der Proteïne waren jedoch bis vor kurzem ebenfalls nur Gegenstand von Schätzungen, die selbst bei Eiweisskörpern von hohem Reinheitsgrade, z. B. beim kristallisierten Eieralbumin, sehr verschieden ausfielen, bis die exakten Untersuchungen von The Svedberg in Upsala am Hämocyanin eine ganz unerwartete Ueberraschung ergaben. Mit Zentrifugen vom Oelturbinentypus, welche eine Steigerung der Zentrifugalkraft auf das 90,000fache der Schwerkraft ermöglichten, bestimmten The Svedberg und Chirnoaga das Molekulargewicht des Hämocyanins mit 5,000,000 und den Durchmesser der sphärisch konfigurierten Moleküle mit 24,$_2$ $\mu\mu$, womit man sich im Niveau mancher Viruselemente befände. Natürlich gelten diese Ziffern eben nur für das Hämocyanin und The Svedberg selbst fand für andere Eiweisskörper (z. B. Kohlenoxydhämoglobin und Ovalbumin) wesentlich niedrigere (mehr als 180fach kleinere) Molekulargewichte. Man kann daher noch nicht voraussehen, welche Konsequenzen sich aus The Svedbergs Arbeiten für die Anschauungen

über die Natur der Virusarten ergeben werden; bisher haben die Svedberg'schen Zentrifugen in mikrobiologischen Laboratorien noch keine Anwendung gefunden. Die gebräuchlichen Zentrifugen beeinflussen aber manche Viruselemente jedenfalls nicht oder nur in geringem Grade (Olitsky und Boëz, Gins, Landsteiner und Russ u. a.) und im Zusammenhalt mit den aus Filtrationsexperimenten abgeleiteten Grössenschätzungen erscheint daher die alte Idee von Beijerinck vom Contagium fluidum noch keineswegs absurd, eine Idee, die wir jetzt so formulieren würden, dass solche Stoffe eher hochdispersen Kolloïden als Suspensionen von Organismen in wässerigen Medien entsprechen.

Im Körper ihrer Wirte verhalten sich die tierpathogenen Vira wenigstens in einer Beziehung nicht wie Zellen, sondern wie gewisse gelöste, nicht organisierte Substanzen, *die Toxine.* Die Antikörper, welche der infizierte Wirt bildet, weisen nämlich die fundamentalen Eigenschaften der *Antitoxine* auf (E. W. Schultz), sie neutralisieren das betreffende Virus in vitro nach dem Gesetz der multiplen Proportionen genau so wie Tetanustoxin durch Tetanusantitoxin abgesättigt wird; und ebenso wie man den Toxin-Antitoxinkomplex durch verschiedene Eingriffe wieder in die beiden Komponenten mit ihren ursprünglichen Wirkungsqualitäten spalten kann, lässt sich auch die Verbindung eines Virus mit seinem Antikörper dissoziieren, derart, dass das scheinbar zerstörte Virus wieder seine Pathogenität gewinnt. Für die Bakteriophagen, die natürlich nicht zu den *tierpathogenen* Virusformen zählen, wohl aber hinsichtlich der Antikörperproduktion mit einbezogen werden dürfen, wurde das Dissoziationsphänomen von W. Seiffert, E. Weiss, d'Herelle und Eliava festgestellt und eine neuere Mitteilung von C. Todd (Brit. Journ. of exp. Path., Bd. 9, 1928, S. 244) liefert interessante Anhaltspunkte für seine Existenz beim Virus der Hühnerpest. Zellen bzw. die in ihnen enthaltenen Proteïne (und höchstwahrscheinlich auch ihre Lipoïde) bilden Antikörper von anderem Typus (Cytolysine, komplementbindende Amboceptoren, Präcipitine, Agglutinine); dass sie auch nach der parenteralen Einverleibung oder nach der Infektion mit den klassischen Virusarten auftreten, ist zwar oft genug behauptet, aber nie einwandfrei bewiesen worden (s. das Referat von E.W. Schultz in den Ergebn. d. Hyg., Bakt., Immunitätsf. und exp. Therapie, Bd. 9, 1928, S. 184). Es gibt übrigens noch eine andere merk-

würdige Analogie zwischen Toxin und Virus: das Tetanustoxin wandert in den Nerven von der Peripherie zu seinen Angriffspunkten im Zentralnervensystem, das Virus des Herpes und der Tollwut benützen die gleichen Bahnen.

Jedes Lebenswesen endlich, sofern es kein obligater Anaerobier oder Anoxybiont ist, nimmt O auf und gibt CO_2 ab; bei den Bakteriophagen konnte jedoch nicht einmal eine Andeutung eines respiratorischen Gaswechsels konstatiert werden (Bronfenbrenner, Bronfenbrenner und Reichert, Bachmann und Wohlfeil, Wohlfeil).

Wie Sie nun zugeben werden, lässt sich der lediglich auf Analogien basierte Schluss, dass alle Infektionsstoffe notwendigerweise Organismen sein müssen, nicht mehr aufrechterhalten; die Entscheidung „belebt oder unbelebt" kann aber im konkreten Fall mit grossen, ja vorläufig unüberwindbaren Schwierigkeiten verknüpft sein. Vielleicht erschöpft diese Alternative die in der Natur vorhandenen Möglichkeiten nicht. Unsere Vorstellungen von lebenden Individualexistenzen sind mit der Zelle verbunden und selbst dort, wo wir heute auf Grund des Mechanismus der mitotischen Zellteilung, der Vererbungsforschung, der Regenerationsfähigkeit abgetrennter kernhaltiger oder kernloser Zellfragmente niedrigere, mehr oder weniger autonome Lebenseinheiten annehmen, vermögen wir uns nicht vom Zell-Modell, das im optischen Bereich verwurzelt ist, zu emanzipieren. Wie aber, wenn sich zwischen die Extreme „belebt" und „unbelebt" ein unbekanntes Drittes einschalten würde, das von beiden bekannten Polen gleich weit entfernt ist? Mag die Zukunft solche Überlegungen rechtfertigen oder nicht, eines steht jetzt schon fest: der Virusbegriff in seiner derzeitigen Fassung ist ein Notbehelf, dessen wissenschaftliche Unzulänglichkeit von Tag zu Tag deutlicher wird. Er ist weder scharf begrenzt noch auch einheitlich.

Sein verschwommener Charakter dokumentiert sich vor allem durch die Unsicherheit, welche Infektionsstoffe in diese Kategorie eingereiht werden dürfen. Bei einer Reihe von Krankheiten wie beim infektiösen Ikterus (Morbus Weil) und beim Fleckfieber wurde ursprünglich ein Virus angenommen, während spätere Untersuchungen Leptospiren oder Rickettsien als mikroskopisch sichtbare Erreger feststellten. Beim Gelbfieber, beim Phlebotomenfieber und bei der Dengue ist sogar ein dreimaliger Wechsel zu verzeichnen; zuerst galten sie

als Viruskrankheiten, dann wurden sie zu Spirochaetosen gestempelt und schliesslich, nachdem die Parasitenbefunde als Irrtümer erkannt waren, erfolgte notgedrungen die Rückkehr zu der bereits aufgegebenen Virushypothese. Schuld an diesen, dem Fernstehenden kaum verständlichen Peripetien trug in erster Linie die mangelhafte Ausführung der Filtrationsexperimente und, wo dieser Vorwurf nicht erhoben werden kann, die unkritische Bewertung der Filtrierbarkeit oder Nicht-Filtrierbarkeit der Infektionsstoffe. Ihre Klassifikation nach der Grösse der Elemente erscheint schon an sich absurd, wenn man die Dinge mit rechtem Namen nennt, und man geht noch darüber weit hinaus, wenn man gerade dort eine Trennungslinie ziehen will, wo die Filtrierbarkeit beginnt. Unterliegt es doch keinem Zweifel, dass fliessende Übergänge zwischen den Dimensionen der grössten und kleinsten Formen existieren, die als Träger infektiöser Auswirkungen bekannt sind. Dass die Anwendung dieses falschen Prinzips zu der gegenwärtigen Inhomogenität des Virusbegriffes führen musste, leuchtet ohne weiteres ein. Unter der Etikette „filtrierbares Virus“ figurieren zurzeit die Bakteriophagen, der kausale Faktor des Rousschen Sarkoms und die vielen mikroskopisch nicht oder nicht sicher bestimmten Agentien, welche übertragbare Tier- und Pflanzenkrankheiten hervorrufen und die sich wieder untereinander in biologischer Hinsicht ausserordentlich unterscheiden; wird sich doch jeder unvoreingenommen denkende Forscher dagegen sträuben, etwa den Infektionsstoff der Dengue, der anlässlich der letzten grossen Epidemie in Griechenland besonders genau studiert wurde, das filtrierbare Virus der gewöhnlichen Hautwarzen und das Blatternkontagium als Repräsentanten einer und derselben biologischen Einheit anzuerkennen.

Noch bezeichnender ist die letzte Erweiterung, die sich der Virusbegriff gefallen lassen musste. Man hat Kulturen verschiedener mikroskopisch sichtbarer pathogener Mikroben oder Substrate wie Blut, Eiter, Sputum usw., in welchen die Anwesenheit solcher Mikroben in Anbetracht der Herkunft aus einem spezifisch erkrankten Wirtsorganismus wahrscheinlich war, durch bakteriendichte Hartfilter geschickt; die Grösse der auf die Filter gebrachten Mikroben liess ihre Passage durch die Filterporen als ausgeschlossen erscheinen. Wurden aber die Filtrate empfänglichen Versuchstieren eingespritzt, so entfalteten sie nichtsdestoweniger in einem wechselnden Prozentsatz derartiger Experimente pathogene

Wirkungen, die mit den Filtraten injizierten Tiere erwiesen sich als infiziert und in ihren Geweben erschienen wieder die nicht filtrierbaren, mikroskopischen Formen, von denen man ausgegangen war. Seit den ersten positiven Resultaten, die Fontès 1910 beim Tuberkelbazillus erzielte, sind analoge Berichte in grosser Zahl veröffentlicht worden und erstrecken sich heute nicht nur auf verschiedene andere Bakterien, den B. typhi abdominalis (Friedberger, B. Fejgin u. a.), den B. proteus (Fejgin), den B. fusiformis (Mellon), manche Streptokokkenarten (Alice Evans, M. Raschowska), sondern auch auf Trypanosomen (W. W. Reich) und grössere, an sich nicht filtrable Spirochaetenspezies. In manchen Fällen lieferte auch die Verimpfung der Filtrate auf Nährböden positive Ergebnisse und auch hier erfolgte entweder unmittelbar oder nach längerem Aufenthalt im Kulturmedium der Rückschlag in die normalen, grossen, nicht filtrierbaren Vegetationsformen (Ph. Hadley und seine Mitarbeiter, Haag, Happe, Dujarric de la Rivière, u. v. a.). Die Deutung war rasch bei der Hand: im Entwicklungszyklus solcher Protisten sollen weit kleinere, eventuell invisible, jedenfalls aber filtrierbare Gebilde als besondere Stadien auftreten. Da die Bekämpfung der korrespondierenden Seuchen — ich nenne nur die Lungentuberkulose und den Abdominaltyphus — zum grössten Teile nur auf dem Nachweis der sichtbaren Formen aufgebaut ist, liegt die praktische Bedeutung dieser Auffassung klar zutage. Das interessiert uns aber hier nicht in erster Linie. Es erscheint ferner nicht unbedingt nötig und in Anbetracht der verfügbaren Zeit auch nicht durchführbar, die experimentelle Begründung der Theorie einer kritischen Revision zu unterziehen. Wenn ich konstatiere, dass sowohl beim Tuberkelbacillus (siehe den Artikel von Möllers im Handb. der pathog. Mikroorganismen; 3. Aufl., 4. Bd., S. 628 ff.) wie beim Typhusbacillus (Gildemeister und Herzberg, Klinische Wochenschrift, 1927, S. 890) negative Versuchsergebnisse erzielt wurden, welche die positiven Resultate in Frage stellen, und wenn ich ausserdem betone, dass oft genug bekannte Fehlerquellen des Filtrationsverfahrens (mangelhafte Prüfung der Permeabilität der verwendeten Filter, bloss quantitative Untersuchung der Infektiosität der Filtrate, Möglichkeit von bereits bestehenden Infektionen der mit den Filtraten injizierten Versuchstiere [Palante und Kudriavtzeva, Et. Burnet] usw.) nicht oder nicht mit hinreichender Sorgfalt ausgeschlossen wurden, werden

Sie selbst zu dem richtigen Schluss kommen, dass die gewagte Hypothese invisibler bzw. filtrierbarer Entwicklungsstadien sichtbarer und nichtfiltrierbarer Mikroben vorläufig noch nicht durchwegs auf dem Boden einwandfreier Tatsachen steht — eine Hypothese, die nicht einmal die biologische Wahrscheinlichkeit für sich hat, da sie sich nur auf eine relativ kleine Zahl von Mikroorganismen erstrecken könnte, unter denen jedoch Bakterien, Spirochaeten und Trypanosomen vertreten sein sollen, was m. E. einen unlösbaren Widerspruch bedeutet. Gesetzt aber, aus dieser ganzen, noch in beständigem Flusse befindlichen Arbeitsrichtung würde sich ein kleinerer Komplex eindeutiger Befunde herausschälen lassen, so dürften wir derartige Gebilde doch nicht — wie das gegenwärtig von vielen Seiten geschieht — als „Virus" bezeichnen; „Virus" war bisher ein Speziesbegriff und hier würde das Wort entwicklungsgeschichtlich (ontogenetisch) angewendet etwa im Sinne von Spore, Gonidium oder dgl., also ohne Rücksicht auf die Artzugehörigkeit.

Diese Konflikte, in welche das naturwissenschaftliche Denken durch die Erforschung submikroskopischer Lebensformen verwickelt würde, werden ziemlich allgemein und seit einer Reihe von Jahren als solche empfunden. Als Illustration können die Diskussionen dienen, welche im Februar und März 1929 in der Royal Society in London stattfanden (Verhandlungsberichte im British Medical Journal, 1929, N° 3557 und 3559); Boycott, der das Schlusswort hatte, gab seiner persönlichen Ueberzeugung Ausdruck, dass man die Virusformen zu den verschiedensten Agentien z. B. zu pathogenen Bakterien oder zu nicht-organisierten Wachstumshormonen in Beziehung bringen kann, wenn man sich auf blosse Analogien stützt, und dass Analogien die einzige Quelle der Urteilsbildung darstellen. Die erste Hälfte dieser Behauptung ist sicher richtig; sie ist ja nichts anderes als die negative Bilanz der zahlreichen Hypothesen, durch welche man zu einer befriedigenden Auffassung sämtlicher Virusformen zu gelangen suchte. Da sich dies als unmöglich erwiesen hat, bleibt offenbar nichts anderes übrig, als den alten Virusbegriff zu reformieren. Ihn völlig zu streichen und die ausschliessliche Existenz belebter Erreger zu dekretieren, deren Grössenverhältnisse nicht nur als Klassifikationsprinzip unbrauchbar, sondern überhaupt irrelevant sind (Gye, Barnard u. a.), ist meines Erachtens nicht zulässig. Ich habe Ihnen die Gründe

für die Annahme unbelebter Kontagien ausführlich auseinandergesetzt; abgesehen davon stossen wir bei den Virusformen auf Eigenschaften der Infektionsstoffe, auf besondere Reaktionsweisen der infizierten Wirtsgewebe, auf charakteristische Immunitätsverhältnisse, die wir bei den durch Bakterien und Protozoën verursachten Erkrankungen vermissen und die innerhalb der ganzen Gruppe gewisse engere Zusammengehörigkeiten erkennen lassen. Lipschütz (Chlamydozoön-Strongyloplasmenbefunde bei Infektionen mit filtrierbaren Erregern, Handb. d. pathog. Mikroorganismen, 3. Aufl., 8. Bd., S. 311—416) geht einen andern Weg. Bei vielen Viruskrankheiten der Tiere und der Pflanzen konnten sogenannte Einschlusskörperchen in zum Teil sehr charakteristischer und sogar diagnostisch verwertbarer Gestalt nachgewiesen werden. Ob diese Gebilde Aggregate lebender Erreger (der Strongyloplasmen) sind oder Reaktionsprodukte der infizierten Wirtszellen, ist nicht entschieden; Lipschütz möchte jedoch den Virusbegriff gerade auf diese Fälle beschränken und spricht von „filtrierbarem Virus im engeren Sinne des Wortes“. Diese Lösung wäre aber nur partiell, da man Krankheiten kennt, bei denen man überhaupt keine morphologisch fassbaren Befunde erheben konnte, und zwar — was auch in anderer Hinsicht wichtig ist — weder im Körper der Wirte noch in den übertragenden Insekten (Gelbfieber, Dengue, Phlebotomusfieber). Einen effektiven Fortschritt könnte ich nur darin erblicken, wenn man das Filtrationsexperiment wieder zu dem werden lässt, was es war und de facto noch ist: zu einer bei kritischer Handhabung immerhin wertvollen Untersuchungsmethode. Die Bezeichnung „filtrierbare Erreger“ muss endlich ausgemerzt werden. Die Virusgruppe wäre aber in Unterabteilungen zu zerlegen, wobei, wie in allen natürlichen Systemen, nicht ein einziges Moment, sondern die Summe der hervorstechendsten Merkmale massgebend sein müsste. Dass die speziellen Bedingungen und Auswirkungen der Infektiosität und der Pathogenität mitberücksichtigt werden, erscheint gerechtfertigt und, wie die Dinge jetzt liegen, kaum vermeidbar; man darf aber nicht alle Phänomene diesem Gesichtspunkt unterordnen.

Was wir Infektion und Infektionskrankheit nennen, präsentiert sich in vielen und fundamentalen Beziehungen als ein einheitlicher, von der Natur der Infektionsstoffe unabhängiger Prozess. Um das zu erkennen, brauchen wir nur die Infektionen höherer Tiere und

Pflanzen miteinander zu vergleichen. Hier wie dort ist der Moment der Uebertragung vom Auftreten manifester Erscheinungen durch ein Zeitintervall, die Inkubation, getrennt, die pathologischen Symptome können trotz der Verschiedenheit der „Erreger" identisch sein und umgekehrt bei gleichem „Erreger" differieren, in beiden Reichen der Infektionspathologie kehren dieselben Arten der Uebertragung, Kontakt, Transplantation und vermittelndes Insekt, wieder. Es genügt, wenn man das Blatt einer gesunden Tabakpflanze mit einer Nadel ritzt oder wenn man die Epidermishaare durch leichtes Reiben der Blattoberfläche abbricht, um durch Aufbringen des Quetschsaftes einer mosaikkranken Pflanze auf die geschaffene Eintrittspforte die typische Mosaikinfektion hervorzurufen (F. O. Hohnes u. a.); dasselbe Experiment kann man mutatis mutandis an einem gesunden Huhn ausführen, wenn man als Infektionsstoff das Blut eines an Hühnerpest verendeten Huhnes benützt. Im Pflanzensaft sowohl wie im Hühnerpestblut muss das infektiöse Agens in enormer Menge vorhanden sein; es sind Uebertragungen des Tabakmosaïks mit $0{,}000002$ ccm Presssaft (Purdy) und solche der Hühnerpest mit $0{,}0000002$ ccm virushaltigen Blutes gelungen (Landsteiner und Russ, Doerr und R. Pick). Beide Virusformen stehen in Bezug auf die minimalen Dimensionen ihrer Elemente einander zweifellos sehr nahe, und sowohl bei der Mosaïkkrankheit des Tabaks (Kunkel, Palm, McKenney, Lipschütz) wie bei der Hühnerpest (Schiffmann) wurde das Auftreten von Einschlusskörperchen im infizierten Wirtsgewebe beschrieben; in ihren sonstigen Eigenschaften differieren Mosaïk- und Hühnerpestvirus jedoch derart, dass ich für meinen Teil ihre Einordnung in eine biologische Kategorie für ausgeschlossen erachte. Ein anderes sehr lehrreiches Beispiel für derartige, klassifikatorisch nicht verwertbare Analogien bieten die höchst interessanten Uebertragungen tierischer und pflanzlicher Infektionen durch Insekten. Man darf behaupten, dass jede wichtigere Erscheinung, die man bei den tierischen Infektionen festgestellt hat, auch bei Pflanzen beobachtet wurde, die ausschliessliche Beschränkung des Uebertragungsvermögens auf ein ganz bestimmtes Insekt, die Tatsache, dass das Insekt nicht unmittelbar nach der Aufnahme des Kontagiums, sondern erst nach Ablauf einer mehrtägigen Frist infektiös wird, dass sich aber dann der Krankheitsstoff in seinem Körper monatelang in aktivem Zustande er-

hält u. a. m. So wie z. B. die Dengue nur durch die Mücke Aëdes aegypti vom kranken auf den gesunden Menschen verimpft werden kann (vgl. den Artikel „Dengue und Pappatacifieber“ von R. Doerr in der 3. Aufl. des Handb. d. path. Mikroorganismen, 8. Bd., 1929); so kommt auch für die Verbreitung der Blattrollkrankheit der Kartoffel lediglich die Aphide Myzus persicae Sulz. in Betracht (Kenneth M. Smith, The annuals of applied biology, Vol. XVI, N° 2, 1929, S. 209), und ähnlich wie die Anopheles nach einer Mahlzeit von Malariablut wird auch die Cicadula sexnotata, der Ueberträger einer Kompositeninfektion („Aster Yellows“), erst 6 Tage nach der Fütterung an einer kranken Pflanze fähig, ein gesundes Exemplar anzustecken (L. O. Kunkel, Americ. Journ. Botan., Vol. XIII, 1926, S. 646). Sieht man in der Infektion nicht, wie das dem medizinischen Denken so geläufig ist, einen Kampf zwischen infizierendem und infiziertem Lebewesen, sondern einen Spezialfall des Parasitismus, so lässt sich der im Mannigfaltigen uniforme Charakter der Phänomene teleologisch ohne weiteres begreifen. Ihr Zweck ist nicht der Kampf, der im Kranksein seinen sichtbaren Ausdruck findet; sie dienen vielmehr lediglich der Erhaltung der Art der Parasiten und sind genetisch Anpassungen, welche die Erreichung dieses Zieles im Lebensraum besonderer Wirte bzw. Zwischenwirte ermöglichen. Die Krankheit ist etwas rein akzidentelles, nicht nur vom theoretischen Standpunkt, sondern de facto. Infektionszustände ohne Krankheit kennt heute nicht nur der Arzt und der experimentierende Mikrobiologe bei Mensch und Tier als Dauerausscheider, Keimträger, als latente Infektionen, sondern auch der Phytopathologe. Ob eine Infektion mit Mosaïkvirus beim Tabak, bei der Kartoffel, dem Zuckerrohr mit oder ohne krankhafte Erscheinungen abläuft, hängt von der Art und von der Rasse der Wirtspflanze, ja bei derselben Pflanzenrasse von äusseren Umständen, Temperatur, Licht und Feuchtigkeit ab; niedrige sowohl wie hohe Luftwärme vermögen z. B. das Auftreten der charakteristischen Blattfleckung bei infizierten Tabak- oder Kartoffelstauden zu verhindern (Rawlins und Johnson, C. W. Edgerton, Rands und Sherwood u. a.; vgl. auch das Referat von E. Schaffnit, Der gegenwärtige Stand der Forschung über Viruskrankheiten, Beiträge zur Pflanzenzucht, Heft 9, 1927, S. 25). Aus psychologischen, gesundheitswirtschaftlichen und nationalökonomi-

schen Gründen hat das Interesse an der Krankheit eine unverkennbar einseitige Herrschaft ausgeübt; aber die Krankheit erschöpft eben nicht das Wesen der Infektion, und die pathologischen Symptome erlauben keine sicheren Folgerungen auf die Beschaffenheit der Infektionsstoffe, ja nicht einmal auf ihre reale Existenz. Ist es doch speziell bei Pflanzen wiederholt vorgekommen, dass man die krankhaften Erscheinungen auf eine Infektion, auf einen „Erreger“ zurückführen wollte und dass eine sorgfältigere experimentelle Ueberprüfung Ursachen ganz anderer Art, exogene oder erbliche Einflüsse, ergab (vgl. u. a. die Untersuchungen von A. Koltermann über die Fadenkeimigkeit der Kartoffeln und von Burkholder und Müller über gewisse durch rezessive Erbfaktoren bedingte mosaïkartige Abnormitäten der Bohnenblätter).

Wenn wir unsere Vorstellungen über Infektiosität und Pathogenität in dieser, hier nur in den gröbsten Umrissen skizzierten Art auf naturwissenschaftlichen Grundlagen korrigieren, erscheinen alle bisherigen Versuche, das Chaos der Virusformen zu sichten, a priori als verfehlt. Als Paradigma sei die Einteilung von A. Philibert angeführt, der nach der Wirkung auf die Wirtszellen zerstörende (cytolytische) und reizende (cytokinetische) Virusarten unterscheidet, und innerhalb dieser zwei Hauptgruppen Unterabteilungen je nach der Natur der betroffenen Zellen (bei tierischen Wirten z. B., je nach der Lokalisation der Veränderungen im Hautepithel, im Nervensystem, in mesenchymalen Geweben usw.) aufstellt (Ann. de med. Bd. 16, 1924, S. 283). Cytotrop, d. h. mit einer speziellen Affinität zu bestimmten Zellen des Wirtskörpers begabt, und cytolytisch sind aber nicht nur verschiedene Virusarten, sondern auch das Malariaplasmodium und die Trichine. Im Geltungsbereiche des jetzigen Virusbegriffes muss der Hebel meines Erachtens an der Vorfrage: „belebt oder unbelebt?“ angesetzt werden und diese Frage ist offenbar nicht generell, sondern für jedes einzelne Virus gesondert zu beantworten, wobei sämtliche verfügbare Kriterien herangezogen werden müssen, die Dimensionen der Viruselemente sowohl wie die Widerstandsfähigkeit gegen chemische und physikalische Einflüsse, die elektrische Ladung, die Nachweisbarkeit von Stoffwechselvorgängen, die Variabilität bzw. das Anpassungsvermögen, die Immunitätsverhältnisse und schliesslich auch jene Anhaltspunkte, welche sich aus dem

Verhalten im Wirt und Zwischenwirt ergeben. Erst wenn diese Scheidung so weit als möglich durchgeführt ist, werden bestimmtere Angaben über die Eigenschaften submikroskopischer Lebensformen gemacht werden können, und es wird sich herausstellen, ob ein Leben existiert, an das wir nicht mehr den gewohnten Maßstab anlegen können. Die damit verknüpften Probleme überschreiten weit die engere Interessensphäre der Viruskrankheiten. Suchen wir doch noch immer nach jenen primitivsten Organismen, wie sie die Evolutionshypothese fordert; dass wir sie im Bezirk der kleinsten Dimensionen finden könnten, hat man stets für selbstverständlich gehalten, und nun stossen wir gerade hier auf obligate Parasiten, welchen keine analogen Saprophyten, d. h. von einem höher differenzierten Wirt unabhängige Wesen gegenüberstehen. Sind die Virusarten wirklich Repräsentanten des einfachsten Lebens, so müssten sie — entwicklungsgeschichtlich betrachtet — vor ihren Wirten, d. h. als nichtpathogene bzw. nichtparasitische Organismen existiert haben. Ist von diesen Vorstadien nichts mehr vorhanden oder sind die Virusarten durch Parasitismus entstandene Rückbildungen höherer Lebensformen? Schon diese Überlegung (die zum Teil auch Twort erörtert hat, Brit. medical journal, l. c.) zeigt die tiefere Bedeutung der Virusforschung in hellem Licht.

Th. M. Rivers meint, dass Experiment und Hypothese, soweit sie sich mit dem Dilemma „belebt oder unbelebt“ befassen, letzten Endes bei der sterilen, in die Domäne der Metaphysik gehörenden Diskussion landen müssen, was man eigentlich unter „Leben“ zu verstehen hat; es sei daher zweckmässig, das Thema nicht weiter zu verfolgen. Auf diesen Standpunkt kann ich mich nicht stellen. Die Notwendigkeit der mechanistischen Aufklärung der Lebensprozesse bis an die erreichbaren Grenzen wird von keiner Seite bestritten und die submikroskopischen Infektionsstoffe könnten ein tauglicheres Objekt für diese Bestrebungen sein als die Extremfälle einer schon weit vorgeschrittenen Organisation.