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)

Artikel: Fortschritte der Hochgebirgsphysiologie

Autor: Staehelin, Rudolf

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-90368

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: 02.07.2025

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

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.