

Universitäts- und Landesbibliothek Tirol

Höhenklima und Bergwanderungen in ihrer Wirkung auf den Menschen

Zuntz, Nathan

Berlin, 1906

Kapitel VI. Die Wirkung des Höhenklimas auf das Blut und die
blutbildenden Organe



Unsere Hunde am Brienzer Rothorn.

Kapitel VI.

Die Wirkung des Höhenklimas auf das Blut und die blutbildenden Organe.

1. Frühere Versuche.

Eine eingehende Betrachtung der Wirkungen, die das Höhenklima auf das Verhalten des im menschlichen und tierischen Organismus kreisenden Blutes äußert, ist aus mehreren Gründen interessant und bedeutsam.

Zunächst muß daran erinnert werden, daß es die Feststellung von Veränderungen des Blutes war, durch die der erste Nachweis dafür geliefert wurde, daß das Höhenklima einen greifbaren Einfluß auf den tierischen Organismus äußert. Ferner nahmen bisher unter den Untersuchungen, die den physiologischen Wirkungen des Höhenklimas gewidmet waren, gerade die das Blut betreffenden den breitesten Raum ein; endlich sind diese vom allgemein naturwissenschaftlichen Standpunkte aus besonders wichtig, da sie uns einen vortrefflichen und klaren Einblick in Vorgänge geben, auf die der Fortbestand aller Lebewesen angewiesen ist, deren Wirkungen sehr in die Augen fallen, deren Natur jedoch oft sehr dunkel ist, nämlich in die Vorgänge der Anpassung an neue Lebensbedingungen, oder wie man es in unserem speziellen Falle nennt: die Akklimatisation.

Paul Berts Anschauungen. Der berühmte französische Physiologe Paul Bert,²⁾ dessen im Jahre 1878 erschienenes Werk: *La pression barométrique* für

die Erkenntnis der Wirkungen der verdünnten Luft auf den tierischen und pflanzlichen Organismus grundlegend geworden ist, hatte bereits den Gedanken ausgesprochen, daß beim Aufenthalt in verdünnter Luft Veränderungen des Blutes vor sich gehen müssen. Er war zu dieser Idee durch die Tatsache geführt worden, daß in Höhen, welche sich für alle Tieflandbewohner schädlich erweisen und bei diesen mehr oder weniger schwere Krankheitserscheinungen hervorrufen, die im Hochland Geborenen sich gesund und kräftig fühlen. Paul Bert setzte auch schon theoretisch auseinander, worin diese Veränderungen bestehen müßten.

Die Beschwerden, die in großen Höhen einsetzen und die mit dem in den letzten Jahrzehnten ja auch den Laien geläufig gewordenen Namen der Bergkrankheit bezeichnet werden, beruhen nach P. Berts Anschauung auf der mangelhaft werdenden Sauerstoffzufuhr. Wie sich aus dem der Bergkrankheit besonders gewidmeten Kapitel XIX ergeben wird, muß die Anschauung P. Berts trotz allem, was unterdes dagegen vorgebracht und geltend gemacht wurde, auch heute noch im wesentlichen als richtig anerkannt werden.

Der Sauerstoff, dessen unsere Gewebe bedürfen, wird in den Lungen von den Zellen des sie durchströmenden Blutes aufgenommen; der in den Blutzellen enthaltene rote Blutfarbstoff ist es, der den Sauerstoff an sich kettet. Aus den Lungen gelangen die mit Sauerstoff beladenen Zellen ins linke Herz und werden durch dessen Tätigkeit den verschiedenen Provinzen des Körpers zugeführt.

Nun hängt aber die Sauerstoffmenge, die der rote Blutfarbstoff, das Hämoglobin, aufnehmen kann, von der Menge des in den Lungen vorhandenen Sauerstoffes ab. Diese Menge nimmt mit zunehmender Höhe ab, und so nehmen auch die Blutzellen immer weniger auf, bis schließlich eine Grenze kommt, an der die in ihnen enthaltene Menge nicht mehr ausreicht, um den Bedarf, den die einzelnen Organe zur Bestreitung ihrer Verbrennungsprozesse an Sauerstoff haben, zu decken. — Es tritt dann „Sauerstoffmangel“ ein, und dieser führt zu dem Bilde der Bergkrankheit.

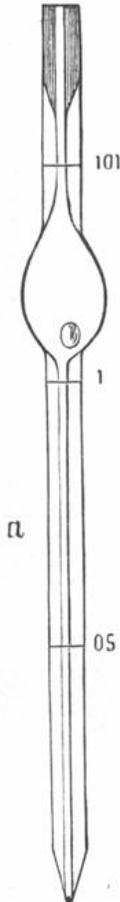
Die genaueren Einzelheiten werden später noch besprochen werden. Das eben Mitgeteilte genügt jedoch, um zu verstehen, daß alles, was zu einer Steigerung des Sauerstoffgehaltes im Blute zu führen vermag, geeignet ist, die Luftverdünnung, den Aufenthalt in der Höhe besser ertragen zu lassen, die Erscheinungen der Bergkrankheit hinauszuschieben, also zu einer Akklimatisation an die Höhe zu führen. Hierher gehört eine Steigerung der Zahl der roten Blutzellen, eine Zunahme ihres Hämoglobingehaltes, auch eine derartige Veränderung des Hämoglobins, daß es imstande ist, mehr Sauerstoff zu binden.

Paul Bert nahm an, daß solche Veränderungen nicht schnell eintreten können, sondern im Laufe von Generationen allmählich durch Anpassung erworben werden. Die weiteren Forschungen zeigten, daß die Grundanschauung Paul Berts vollkommen den wirklichen Vorgängen entsprach, daß aber gar nicht längere Zeiträume für die Akklimatisation erforderlich sind, diese sich vielmehr schon in ganz kurzer Zeit, innerhalb weniger Wochen, ausbildet.

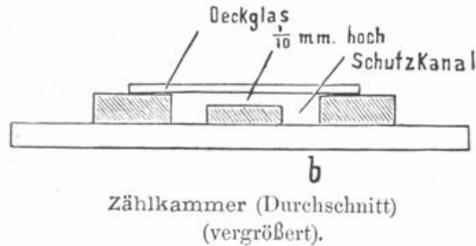
Paul Bert war auch der erste, der experimentelles Beweismaterial für die Richtigkeit seiner Anschauungen beibringen konnte. Er ließ sich Blut von Tieren, die im Hochgebirge heimisch sind, nach Paris senden. Aus La Paz in Bolivia,

3700 m hoch gelegen, erhielt er geeignete Blutmengen vom Hirsch, Schaf, Schwein, Lama, Alpakka, im wesentlichen also von domestizierten Pflanzenfressern, und fand darin wirklich vielmehr Sauerstoff als im Blute der Pflanzenfresser des Tieflandes.

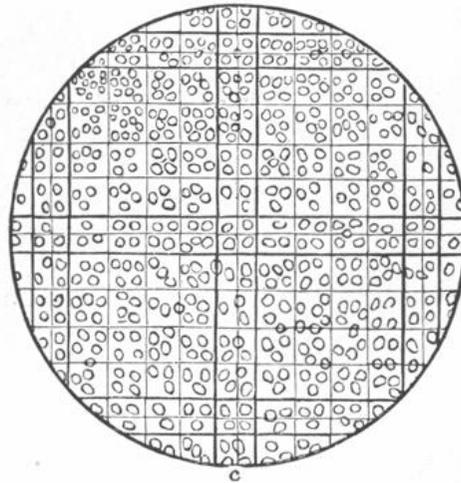
Untersuchungen über die Zahl der Zellen im Kubikmillimeter Blut und über den Gehalt des Blutes an Farbstoff im Höhenklima. Von Paul Bert angeregt, hat dann ein anderer französischer Forscher, Viault,²⁷⁾ auf einer Reise durch die Anden von Peru und Bolivia weitere Untersuchungen ausgeführt.



Mischpipette.



Zählkammer (Durchschnitt)
(vergrößert).



Zähltablette mit Blutkörperchen
bei mikroskopischer Betrachtung
(ca. 400fach vergrößert).

Er nahm Zählungen der Blutzellen vor an eingeborenen oder längere Zeit dort lebenden Tieren und Menschen, aber auch an sich selbst und seinem Begleiter, einem peruanischen Arzte. Er fand, daß die Blutzellenzahl enorm hoch war und daß sie bei ihm und seinem Begleiter in Morococha, 4392 m hoch, $7\frac{1}{2}$ bis 8 Millionen im Kubikmillimeter Blut betrug, während sie drei Wochen zuvor in Lima an der Küste des Stillen Ozeans nur 5 Millionen betragen hatte. — Fünf Millionen roter Blutzellen ist die normale Zahl, die sich bei gesunden Menschen im Tieflande findet.

Dieser Befund Viaults war eine wesentliche Erweiterung dessen, was Paul Bert festgestellt hatte, denn er zeigte die Schnelligkeit, mit welcher die Veränderung vor sich gehen kann.

Die Zählung der Blutzellen geschieht in dem beistehend abgebildeten Apparate, der sog. „Thoma-Zeißschen Zählkammer“. Ein Blutströpfchen wird in die Kapillare der Mischpipette a bis zur Marke 1 aufgesogen, dann eine geeignete Verdünnungsflüssigkeit bis zur Marke 101. Nach gehöriger Durchmischung bringt man von dem so verdünnten Blut ein Tröpfchen auf das mittlere „Tischchen“ der Zählkammer b, bedeckt mit dem Deckglas und zählt unter dem Mikroskope die Zellenzahl, die sich über den einzelnen Quadraten des Tischchens befindet (s. Abbildung c).

Weitere Versuche über die Blutveränderungen im Höhenklima stellte dann Müntz²⁰⁾ an. Er hatte auf dem Pic du Midi in den Pyrenäen (2877 m hoch) im Jahre 1883 Kaninchen ausgesetzt. Im Jahre 1890 untersuchte er deren Nachkommen und fand, daß der Eisengehalt ihres Blutes erheblich höher lag als der der Kaninchen des Tieflandes. Da das Eisen nur an den Farbstoff des Blutes gebunden ist, so weist dies darauf hin, daß die Farbstoffmenge des Blutes vermehrt war.

Die vorstehend mitgeteilten Untersuchungen sind nun der Ausgangspunkt einer sehr großen Zahl weiterer Forschungen geworden, um deren planmäßige Durchführung sich besonders der Baseler Professor der Physiologie, Miescher, verdient gemacht hat. Er veranlaßte eine Reihe seiner Schüler, in verschiedenen Höhenlagen der Schweizer Alpen Blutfarbstoffbestimmungen und Zählungen der Blutkörperchen vorzunehmen. Diesen Arbeiten folgten dann viele weitere in den deutschen Mittelgebirgen, so daß Bestimmungen aus allen Höhenlagen, bis zu 1800 m Höhe, vorliegen.

Es kann nicht unsere Aufgabe sein und würde auch des Interesses ermangeln, hier auf alle diese Untersuchungen einzugehen, zumal, mit vereinzelt Ausnahmen, alle das ergaben, was die vorstehend besprochenen gezeigt hatten, nämlich eine Zunahme der Blutzellenzahl und der Farbstoffmenge in der Höhe. Dabei war gewöhnlich die Zahl der Zellen mehr erhöht als ihr Gehalt an Hämoglobin.

Die Zunahme ist schon nach 24 Stunden deutlich, schreitet während der ersten 2—3 Wochen ziemlich energisch fort, während der nächsten Monate dann langsamer. Manchmal ist in den ersten 24 Stunden eine enorme Zunahme um 600000—800000 Zellen im Kubikmillimeter beobachtet worden; es folgte für einige Tage ein Stillstand, dann ein weiteres kontinuierliches Ansteigen.

Der Umfang der nach längerer Zeit erreichten Zunahme ist individuell verschieden; bei einzelnen Personen beträgt er nur gegen 6%, bei anderen bis gegen 50%, so daß aus 5 Millionen Zellen im Kubikmillimeter bei längerem Aufenthalt in der Höhe 7.5 Millionen werden können. Wer näher in den Gegenstand einzudringen wünscht, sei auf eine sehr umfassende Schrift von H. J. A. van Voornveld¹¹⁾ und eine von Jaquet²⁸⁾ in Basel verwiesen, von denen besonders letztere sich durch kritische Darstellung auszeichnet. Erwähnen möchten wir nur einige neuere Untersuchungen, die von den eben genannten Autoren nicht mit berücksichtigt und nicht leicht auffindbar sind.

Zunächst eine von W. A. Campbell.⁵⁾ Er nahm Zählungen der Blutzellen an Menschen und Kaninchen zunächst am Fuß des Pikes-Peak in 1830 m Höhe vor. Sodann fuhr er mit der Bahn auf dessen Spitze, auf der sich ein berühmtes astronomisches Observatorium in 4314 m Höhe befindet, und hielt sich dort längere Zeit auf. Er fand bei Mensch und Tier eine sofortige, sich aber allmählich steigernde Zunahme der Blutzellenzahl. — Am Pikes-Peak stellte auch George T. Kemp⁶⁾ Untersuchungen an, zunächst in 210 m, dann in 2800 m, zuletzt in 4330 m Höhe. An allen diesen Punkten hielt er sich längere Zeit auf. Auch er fand eine Zunahme der Zellenzahl und des Blutfarbstoffes, jedoch kein Parallelgehen beider.

Demgegenüber konnten Armand-Delille und Mayer⁶⁾ bei Kaninchen und Meerschweinchen, die sie für sieben Wochen in die Walliser Berge brachten, in 2070 m Höhe keine deutliche Wirkung sehen, und von den Tieren, die kurze Zeit in der Höhe weilten, zeigten nur einzelne eine Zunahme der Zellenzahl.

Um einen Einblick in den Zusammenhang von Blutzellenzahl und Höhe zu ermöglichen, wollen wir eine Tabelle wiedergeben, die Meißen aufgestellt hat. — Sie enthält die Mittelzahlen der Blutzellen gesunder Männer, die längere Zeit auf der betreffenden Höhe gelebt hatten, zugleich mit den Namen der einzelnen Untersucher.

Christiania (Laache)	4 970 000	im Kubikmillimeter Blut
Göttingen 148 m (Schaper)	5 225 000	„ „ „
Hohenhonnef 236 m (Schröder)	5 332 000	„ „ „
Tübingen 314 m (Reichert)	5 322 000	„ „ „
Zürich 412 m (Stierlin)	5 752 000	„ „ „
Auerbach i. V. 400—450 m (Wolff)	5 748 000	„ „ „
Görbersdorf 561 m (Schröder)	5 800 000	„ „ „
Reiboldgrün 700 m (F. Wolff)	5 970 000	„ „ „
Dowrefjäll-Norwegen 950 m (Schaumann)	6 112 000	„ „ „
Davos 1560 m (Kündig)	6 551 000	„ „ „
Arosa 1800 m (Egger)	7 000 000	„ „ „
Cordilleren 4392 m (Viault)	8 000 000	„ „ „

Auf Grund der bisher vorliegenden Untersuchungen muß man es als Tatsache gelten lassen, von der nur wenig Ausnahmen bisher gefunden wurden, daß Blutzellenzahl und Hämoglobingehalt im Kubikmillimeter Blut — allerdings nicht parallel miteinander — im Höhenklima höher gefunden werden als im Tieflande. Wie aber ist diese Tatsache aufzufassen?

In der ersten Freude über den Befund nahm man die Ergebnisse etwas unkritisch auf. Man sah in der gefundenen Zunahme der Blutzellenzahl in der Volumeneinheit Blut ohne weiteres eine wirkliche Zunahme der Gesamtzahl der Blutzellen und des Blutfarbstoffes durch vermehrte Neubildung.

Das wäre sowohl vom allgemein naturwissenschaftlichen Standpunkte bedeutsam, da es, wie bereits erwähnt, eine sehr zweckmäßige Anpassung an veränderte Lebensbedingungen darstellen würde, als auch vom speziell ärztlichen Gesichtspunkte äußerst wertvoll, insofern damit anscheinend ein Mittel gegeben ist, die darniederliegende Blutbildung anzuregen.

Für eine vermehrte Neubildung von Blutzellen im Gebirge sprach auch der weitere Befund, der von den meisten Forschern, die darauf achteten, erhoben wurde,

daß bei der Rückkehr ins Tiefland die Zellenzahl allmählich wieder abnahm.

Ursachen des Mehrgehalts an Blutzellen und Hämoglobin beim Aufenthalt im Höhenklima. Der bereits erwähnte Prof. Miescher¹⁸⁾ stellte eine sehr bestechende Theorie für diese Neubildung auf. Er nahm an, daß die Sauerstoffarmut der dünnen Luft der Höhen zu einem Sauerstoffmangel der blutbildenden Organe, speziell des Knochenmarkes, führe und daß dieser Sauerstoffmangel einen Reiz zur verstärkten Neubildung von Blutzellen abgebe.

Die Mieschersche Anschauung mußte Widerspruch herausfordern. Denn die Steigerung der Zellenzahl ist ja schon, wie aus der vorstehenden Zusammenstellung hervorgeht, in 400—500 m wahrzunehmen, also in Höhen, wo von einem Sauerstoffmangel gar nichts bekannt ist. Will man die Mieschersche Annahme gelten lassen, so muß man schon eine weitere Hypothese machen, die zuerst zwei finnische Forscher — Schaumann und Rosenqvist²²⁾ — ausgesprochen haben. Die blutbildenden Organe sollten nämlich weit empfindlicher gegen Luftverdünnung sein als alle anderen, und bezüglich der Intensität der Blutbildung derart vom Barometerdruck abhängen, daß sie bei vollem Atmosphärendruck am wenigsten Zellen produzieren, beginnende Luftverdünnung sie jedoch schon zu erhöhter Tätigkeit anregt.

Die Steigerung der Blutzellenzahl im Kubikmillimeter Blut beweist nicht die Zunahme ihrer Gesamtzahl im Körper. — Gegenüber diesen Ansichten wurde alsbald darauf hingewiesen, daß weder die gefundene Zunahme der Zellen, noch die des Hämoglobins für eine gesteigerte Neubildung beweisend seien. — Das Blut stellt eine sog. Suspension dar, d. h. eine Aufschwemmung geformter Elemente in einer wässrigen Lösung. Alle bisher besprochenen Untersuchungen bestimmten die Menge der Formelemente oder des in ihnen enthaltenen Farbstoffes in 1 cmm der Lösung. Es ist einleuchtend, daß eine solche Bestimmung überhaupt keinen Rückschluß auf eine etwaige Mehrbildung erlaubt; sie sagt nur etwas über das Mengenverhältnis des suspendierten Bestandteiles zur Flüssigkeit aus, und eine Vermehrung der suspendierten Blutzellen besagt nur, daß diese im Verhältnis zum Blutwasser gegen früher überwiegen. Das könnte aber auch durch andere Ursachen zustande kommen. Zunächst schon dadurch, daß die Menge des Blutwassers sich aus irgendwelchen Gründen vermindert hat, das Blut sich also eindickt. Das kann z. B. geschehen durch starke Wasserabgabe vom Körper durch die Haut, durch starkes Schwitzen, oder durch reichliche wässrige Entleerungen. Von letzteren ist schon seit einem halben Jahrhundert bekannt, daß sie das Blut erheblich einzudicken vermögen, daher bei der asiatischen Cholera die Zahl der Blutzellen in der Volumeinheit Blut bedeutend vermehrt ist.

Die Zunahme der Blutzellen kann aber auch daher rühren, daß gerade in den Gefäßabschnitten, aus denen das Blut zur Untersuchung entnommen wird, das sind die Gefäße der Haut, sich mehr Blutzellen angesammelt haben, während andere Gebiete an ihnen verarmt sind.

Durch diese Überlegungen kamen manche Forscher dahin, eine vermehrte Neubildung ganz zu leugnen. — Es wird sich jedoch zeigen, daß man auf Grund

weiterer Untersuchungen zu dem Schlusse kommen muß, daß beiderlei Vorgänge im Höhenklima Platz greifen.

Wir wollen zunächst sehen, ob etwa im Höhenklima Faktoren vorhanden sind, die eine Zunahme der Blutzellen in den Gefäßen der Haut zustande bringen können, ohne daß eine Neubildung stattfindet.

Rufen wir uns die charakteristischen Eigentümlichkeiten des Höhenklimas, wie sie in Kapitel II geschildert wurden, noch einmal ins Gedächtnis zurück. Es waren — abgesehen von dem verminderten Luftdruck — tiefe Lufttemperaturen, starke Sonnenstrahlung und damit erhebliche Temperaturoegensätze zwischen besonnten und nicht besonnten Stellen, energische Luftbewegung, Vorwiegen bedeutender Trockenheit der Luft und starke Verdunstung. — Diese Faktoren können nun in der Tat in verschiedener Weise das im Körper kreisende Blut derart beeinflussen, daß die Zahl der Blutzellen in der Haut eine Steigerung erfährt, ohne daß doch eine gesteigerte Neubildung stattfindet; und wirklich hat man alle diese Möglichkeiten zur Erklärung herangezogen.

So hat Grawitz^{19a)} geglaubt, daß die durch die Trockenheit und Dünne der Luft gesteigerte Verdunstung das wirksame Moment sei. Dunstet der Körper mehr als normal Wasser ab, so dickt sein Blut sich ein und die Folge ist natürlich, daß in einem Volumen Blut mehr zellige Elemente vorhanden sind als zuvor. — Aber zur Erzielung einer der Zellvermehrung entsprechenden Eindickung müßten viele Kilo Wasser abgegeben werden, der Körper also um so viel leichter werden, was nie beobachtet wurde.³⁰⁾

Die abnorme Wasserabgabe würde sich auch noch in anderer Weise dokumentieren. Es müßte nämlich die wasserärmere Blutflüssigkeit, das sog. Blutplasma, schwerer sein und mehr feste Bestandteile, mehr Trockensubstanz enthalten als zuvor. Untersuchungen der spezifischen Schwere des Blutplasmas, die wir^{15) 25)} bei den früheren Expeditionen zum Monte Rosa an unserem eigenen Blute ausgeführt haben, ergaben jedoch, daß sie gegen die Werte in Berlin nicht gesteigert war; eher war sie etwas geringer geworden. — Eine etwa gesteigerte Verdunstung muß also durch gesteigerte Wasserzufuhr ausgeglichen worden sein. — Die im folgenden noch zu besprechenden Ergebnisse unserer diesmaligen Expedition werden übrigens zeigen, daß gar keine vermehrte Wasserverdunstung im Hochgebirge stattfindet. — Auf etwaige Änderungen der festen Bestandteile, des sog. Trockenrückstandes, hat zuerst Egger⁷⁾ gefahndet. Er bestimmte ihn bei zwei Kaninchen, zuerst in Basel, dann nach dreiwöchigem Aufenthalt in Arosa (Graubünden 1800 m). Er fand Differenzen, die in die Breite der Versuchsfehler fallen. Weiter untersuchten Jaquet und Suter¹³⁾ Kaninchen gleicher Rasse, hielten einen Teil in Basel und verbrachten den anderen nach Davos, wo die Tiere bei gleicher Ernährung mehrere Monate lebten. Sie konnten nur einen ganz geringfügigen Unterschied im Trockenrückstand des Blutserums zwischen beiden Gruppen feststellen. Er betrug nur 0.24 ‰ (bei den Baseler Tieren 6.89 ‰, bei den Davoser 7.13 ‰).

Eine Eindickung durch gesteigerte Verdunstung kann also die Zunahme der Blutzellen nicht erklären, denn sie besteht gar nicht, oder in viel zu geringfügigem Maße.

Erwähnung verlangen hier noch Versuche von Abderhalden.¹⁾ Er bestimmte den Gehalt an Trockensubstanz und an Eiweiß im Blute von Rindern und Schweinen, deren eine Gruppe in St. Moritz, deren andere in Basel gelebt hatte. Bei den Rindern war die Differenz nur gering, die Baseler Tiere hatten 0.36% weniger feste Bestandteile und 0.53% weniger Eiweiß im Blutserum. Nur bei den Schweinen waren die Unterschiede erheblicher. Hier machten sie 0.76% im festen Rückstand und 0.83% im Eiweiß aus. Eine genauere Vergleichung der Einzelwerte zeigt zudem, daß eine Anzahl oben geborener Tiere ein an Eiweiß sehr armes, eine Anzahl erst ganz kurze Zeit sich in der Höhe aufhaltender Tiere dagegen ein sehr konzentriertes Serum besaß.

Bestimmte Schlüsse auf eine Wirkung des Höhenklimas lassen sich aus Abderhaldens Versuchen nicht ziehen, da hier zwei weitere Faktoren mit ins Spiel kommen, die den Trockengehalt und Eiweißbestand des Blutserums erheblich zu beeinflussen vermögen, nämlich die Verschiedenheit der Ernährung und die der Rasse. —

Von den obengenannten Klimafaktoren vermögen nun aber die Temperaturverhältnisse und die Luftbewegung in anderer Weise die uns interessierende Erscheinung hervorzurufen: nämlich durch ihre Einwirkung auf die Weite der Gefäße, speziell die der Haut.

Es ist eine alltägliche Erfahrung, daß unsere Haut erblaßt, wenn sie von Kälte getroffen wird, daß sie in der Hitze sich rötet. Im ersteren Falle ziehen sich die Gefäße der Haut mit Hilfe der in ihrer Wandung gelegenen Muskelringe zusammen, im anderen Falle erweitern sie sich, da ihre Muskeln erschlaffen. Durch die Kontraktion wird nun die Lichtung eines Teiles der feinen Haargefäße, der Kapillaren, die die Schlagadern mit den Blutadern verbinden, so verengt, daß sie nur für sehr wenige Blutzellen Platz bieten oder zum Teil überhaupt keine Zellen eintreten lassen und nur vom Blutplasma durchströmt werden.

Man kann das unter dem Mikroskop sehr schön sehen, wenn man die Kapillaren in der Schwimmhaut des Frosches beobachtet und an eine Stelle einen kleinen Eiskristall bringt. Sofort ziehen sich die Blutgefäße energisch zusammen und werden zum Teil ganz frei von Blutzellen. — Die aus den kontrahierten Gefäßen verdrängten Blutzellen müssen in anderen Gefäßen Platz finden; während also erstere arm an Zellen oder sogar zum Teil zellenfrei geworden sind, sind letztere reich an Zellen. Es hat eine andere Verteilung der Zellen im Gefäßsystem stattgefunden.

Das sind Vorgänge, die in jedem Klima sich abspielen, wenn man sich hohen oder niedrigen Temperaturen, Besonnung oder Beschattung, starkem Winde aussetzt; sie sind nicht für das Höhenklima charakteristisch, aber in ihm wohl besonders stark ausgeprägt, da die sie auslösenden Klimaelemente gerade in der Höhe sehr ausgebildet sind. Wie energisch sie hier ablaufen, erweisen wieder Versuche von A. Loewy, J. Loewy und Leo Zuntz¹⁵⁾ in 3900 m Höhe (Gnifetti-Hütte). Sie hielten sich abwechselnd im Freien auf dem Gletscher oder in dem erwärmten Raume der Hütte auf, in Sonne oder Dunkelheit, und konnten so innerhalb weniger Minuten Zahlen für die Blutzellen in den Gefäßen des Ohrläppchens feststellen, die um Millionen differierten, nach unten bis zu 3 Millionen, nach oben bis zu 7 Millionen

gingen. Bei der Schnelligkeit, mit welcher hier Änderungen der Zellenzahl um Millionen im Kubikmillimeter zustande kamen, kann es sich nur um Änderungen der Verteilung handeln. — Direkt beweisend für diese sind die Ergebnisse einiger Tierversuche, die die verschiedene Anfüllung mit Blutzellen in den verschiedenen Teilen des Gefäßsystems zeigen. So fand Campbell⁵⁾ auf dem Pikes Peak eine Vermehrung der Blutzellen in den Ohrgefäßen bei Kaninchen, dagegen in den Gefäßen des Darmgekröses gleichzeitig eine Verminderung, und Armand-Delille und Mayer sahen — gleichfalls bei Kaninchen — eine erhebliche Differenz in der Zahl der Blutzellen zwischen Ohr- und Herzblut auf den Walliser Alpen, während die Blutzellen im Tieflande in beiden Gefäßgebieten in gleicher Menge vorhanden waren.

Endlich fand Foá^{7a)}, der im Jahre 1903 Mosso auf die Margherita-Hütte begleitete, daß in den ersten Tagen des Aufenthaltes bei Kaninchen die Blutzellenzahl in den Ohrgefäßen zunimmt, dagegen die in den großen arteriellen Gefäßbahnen nicht ansteigt. Vom achten Tage an ändert sich jedoch das Bild. Jetzt ist auch die Blutzellenzahl in letzteren gesteigert. Zu gleicher Zeit treten nun Veränderungen in dem als Bildungsstätte der roten Blutzellen dienenden Knochenmark auf, die wir später ausführlich besprechen werden.

Eine eigentümliche Deutung hat, einer Idee des Physiologen Bunge in Basel folgend, dessen Schüler Abderhalden entwickelt auf Grund seiner vorstehend mitgeteilten Untersuchungen über den in der Höhe vermehrten Trockenrückstand des Blutes, mit dem eine größere Menge an Blutzellen und an Hämoglobin einherging.

Abderhalden nimmt an, daß im Hochgebirge die Blutgefäße sich stärker zusammenziehen, daß infolgedessen der Druck im Blutgefäßsystem erhöht sei und nun ein Teil des Blutplasmas, und zwar ein an Trockensubstanz armer Teil, in die Gewebsspalten hinübergereßt werde. Im Gefäßsystem muß also ein an Trockensubstanz und Formelementen reicheres Blut zurückbleiben.

Diese Anschauung ist aus mehrerlei Gründen sehr anfechtbar. Wir wollen aber von einer Kritik derselben hier absehen, da sie ja, selbst wenn sie richtig wäre, gar nichts darüber aussagt, ob nicht neben den von Abderhalden angenommenen Vorgängen eine Mehrbildung von Blutzellen stattfindet. — Zudem hat bereits Jaquet in seiner angeführten Schrift Kritik an der Bungeschen Anschauung geübt. Auf diese sei hiermit verwiesen.

Die vorstehenden Auseinandersetzungen geben einen Begriff davon, wieviel Scharfsinn aufgewendet worden ist, um zu deduzieren, daß die Ergebnisse der Zählung und der Hämoglobinbestimmung nicht imstande sind, eine vermehrte Neubildung von Blutzellen einwandfrei zu erweisen.

Man muß in der Tat zugestehen, daß die von manchen Forschern mitgeteilten Ergebnisse nicht allein die Folge vermehrter Neubildung sind, daß vielmehr Änderungen der Verteilung der Blutzellen, wie sie vorstehend geschildert wurden, daran Anteil haben. Das dürfte besonders für die erwähnten enormen Steigerungen der Blutzellenzahl um mehr als $\frac{1}{2}$ Million im Kubikmillimeter innerhalb der ersten 24 Stunden des Höhenaufenthaltes zutreffen. Weshalb sollten denn in der Höhe die klimatischen Wirkungen, die sich in jedem Klima geltend machen, nicht auch eine Rolle spielen?

Die Fragestellung darf heute auch gar nicht mehr so lauten: ist die Zunahme an Blutzellen und Hämoglobin, die man im Höhenklima findet, allein durch Mehrbildung bedingt? Vielmehr muß man fragen, ob vom Höhenklima neben den-

jenigen Einflüssen auf die Blutbeschaffenheit, die ihm ebenso wie jedem anderen Klima zukommen, noch spezifische, nur ihm eigentümliche Wirkungen ausgehen, welche zu einer nachweisbaren Steigerung der Blutbildung führen.

Zur sicheren Entscheidung dieser Frage muß man sich anderer als der bis jetzt besprochenen Methoden bedienen.

Allerdings deutet bei kritischer Betrachtung der bis jetzt besprochenen Versuche manches darauf hin, daß dem Höhenklima eine spezifisch blutbildende Wirkung innewohnt. Dafür spricht zunächst die Tatsache, die zuerst Egger beobachtete, daß die Zunahme an Blutzellen beim Übergang ins Hochgebirge nicht der an Blutfarbstoff parallel geht, sondern sie übertrifft. Das ist dasselbe Verhalten, das wir auch in sonstigen Fällen gesteigerter Blutbildung sehen, z. B. nach Blutverlusten. Auch hier nimmt zunächst wieder die Zahl der Zellen zu, ihr Hämoglobingehalt ist jedoch anfangs gering, um allmählich zu wachsen.

Ferner wurde, wie früher schon erwähnt, verschiedentlich festgestellt, daß nach dem Aufstieg das Maximum der Zunahme nicht sofort erreicht wird, vielmehr beim Verbleiben auf gleicher Höhe langsam in Wochen und Monaten ein kontinuierliches Weiteranstiegen der Zellenzahl und des Hämoglobins stattfindet. Auch das legt die Annahme einer Neubildung sehr nahe.

Das Auftreten junger Blutzellen als Beweis gesteigerter Neubildung.

Das Blut enthält dreierlei Formelemente: die „farblosen Zellen“ (Leukozyten), die Blutplättchen und die roten Blutzellen (Erythrozyten). — Nur letztere als die Sauerstoffträger kommen für uns in Betracht. Die roten Blutzellen der Säugetiere sind kernhaltige Gebilde, solange sie sich in den Blutbildungsstätten, speziell im Knochenmark, befinden. Werden sie aus diesem ins Blut hineingeschwemmt, so verlieren sie ihren Kern, kommen kernlos im Blute an, so daß alle roten Blutzellen im strömenden Blute kernlose Scheiben darstellen. Allein bei Neugeborenen und in der ersten Lebenszeit findet man einzelne kernhaltige im strömenden Blute. Wenn jedoch die Blutbildung eine übermäßig gesteigerte wird, wie nach Blutverlusten, oder krankhaft verändert ist, wie bei manchen Erkrankungen des Blutes, dann trifft man im Blutstrom mehr oder weniger zahlreich kernhaltige rote Zellen an. Diese jungen kernhaltigen Blutkörperchen sind also beweisend für eine abnorm gesteigerte Neubildung.

Es ist nun im Gebirge mit großem Fleiße nach dem Auftreten solcher Zellen gesucht worden, manchmal mit positivem, manchmal mit negativem Erfolge. Die Ergebnisse der verschiedenen Autoren stehen miteinander im Widerspruch.

Die ersten waren wohl die Gebrüder Loewy und Leo Zuntz¹⁵⁾, die in auf Deckgläschen angetrockneten Proben ihres Blutes auf kernhaltige Blutzellen fahndeten. Es wurden keine gefunden, obwohl die drei Genannten sich acht Tage in einer Höhe von ca. 2900 m, weitere acht Tage in 3700 m aufhielten. Auch Abderhalden²⁾ wie Foá^{7a)} gelangten bei Tieren zu negativen Befunden. Ebensowenig konnten v. Schrötter und Zuntz²⁴⁾ irgendwelche Abweichungen von der Norm an ihren Blutzellen während einer zehnstündigen Luftballonfahrt, bei der sie sich in Höhen zwischen 3000 und 5000 m hielten, feststellen. Dagegen gibt Gaule⁹⁾ an, daß er in seinem

Blute und im Blute einiger Begleiter während des Aufenthaltes in der Höhe anlässlich von Luftballonfahrten auffallende Veränderungen an den roten Zellen wahrgenommen habe. Speziell fand er viele junge kernhaltige Blutzellen, so daß er auf eine reichliche Neubildung schließt. Aus Gaules Beschreibungen und den Abbildungen seiner Präparate scheint jedoch hervorzugehen, daß es sich um Kunstprodukte handelt, vielleicht durch Einwirkung allzu hoher Kältegrade auf die Blutpräparate bedingt.

Zuverlässiger sind die positiven Resultate der schon früher genannten Forscher Schaumann und Rosenqvist²²). Hunde, Kaninchen, Tauben hielten sie lange Zeit, Wochen und Monate hindurch unter einer gut ventilierten Glocke bei einer 450 mm Barometerdruck entsprechenden Luftverdünnung, also bei einer erheblicheren als alle obengenannten Forscher. Von Zeit zu Zeit bestimmten sie die Blutzellenzahl und den Hämoglobingehalt und untersuchten das Blut auf kernhaltige Elemente. Letztere konnten sie nun regelmäßig bei Hunden und Kaninchen konstatieren. Im Blute der Tauben stellten sie Teilungsvorgänge an den Zellen fest, welche unzweifelhafte Vorläufer der Neubildung sind.

Wie schon erwähnt, verlieren die jungen Blutzellen beim Austritt aus dem Knochenmark sehr schnell ihren Kern, so daß sie im strömenden Blute nicht mehr als junge Zellen zu erkennen sind. Selbst bei gesteigerten Neubildungsprozessen können sie im zirkulierenden Blute leicht dem Nachweis entgehen, weil die wenigen kernhaltigen Zellen sich in der ungeheuren Masse der kernlosen so verteilen, daß sie unauffindbar werden. Zum Nachweis einer vermehrten Neubildung sollte man daher das Blut zur Untersuchung benutzen, das direkt aus dem Knochenmark abströmt, das Blut der Knochenvenen. Unter normalen Bedingungen enthält selbst dies nur die normalen Blutbestandteile, unter Verhältnissen dagegen, unter denen die Blutbildung gesteigert ist, finden sich im Knochenvenenblute reichlich die typischen kernhaltigen Zellen, die normal nur im Knochenmark vorhanden sind. So ist es z. B. bei allen Zuständen, bei denen man Sauerstoffmangel, sei es des gesamten Tieres, sei es des untersuchten Knochens, erzeugt hatte. Letzteres erzielt man unter anderem dadurch, daß man die zum Knochen führende Schlagader unterbindet; dadurch beschränkt man die Blut- und Sauerstoffzufuhr.^{10a)}

Die beiden Bilder auf Tafel I, Fig. 1 und 2 veranschaulichen uns das Aussehen normalen Knochenvenenblutes und solches mit jungen, kernhaltigen Blutzellen bei mikroskopischer Betrachtung. Ersteres enthält die kernlosen, mit Delle versehenen roten Blutzellen, daneben eine Form der farblosen Zellen. Das zweite zeigt mehrere Arten farbloser Zellen. Zwei davon sind voll von den Kern umgebenden Körnchen, die in der einen Zelle sich nur mit einer neutralen Farbe färben lassen (neutrophile Zellen), in der anderen nur mit einem sauren Farbstoff (acidophil oder eosinophile Zellen). Die Verwandtschaft zu verschiedenen Farbstoffen deutet auf ein verschiedenes chemisches Verhalten der Körnchen hin. Zwei andere farblose Zellen haben keine Körnchen, aber sehr große Kerne, die den größten Teil ihres Innern ausfüllen. Daneben sieht man im Präparate dreierlei, durch ihre Größe sich voneinander unterscheidende, rote Blutzellen mit Kernen, und diese stellen den charakteristischen Bestandteil des Blutes bei reichlicher Neubildung dar.

Beweis der gesteigerten Neubildungsprozesse durch Bestimmung der gesamten Hämoglobinmenge im Körper. Entschieden war durch alle diese die Beschaffenheit der Blutzellen ins Auge fassenden Untersuchungen die Frage auch noch nicht, und so kam man denn, zeitlich zuletzt, zur Benutzung desjenigen Verfahrens, das eindeutige Ergebnisse liefern muß, und dessen Verwertung eigentlich am nächsten lag, nämlich zu vergleichenden Bestimmungen der gesamten im

Tierkörper vorhandenen Blutfarbstoffmengen. Man nahm Tiere gleicher Rasse und am besten gleichen Wurfes, hielt einen Teil im Tieflande, den zweiten unter möglichst gleichen Ernährungsbedingungen im Hochlande und stellte dann fest, wieviel Hämoglobin im Tierkörper vorhanden war.

Daß solche Untersuchungen erst spät unternommen wurden, erklärt sich aus den technischen Schwierigkeiten des Verfahrens. Es handelt sich darum, den gesamten Blutfarbstoff aus dem Tierkörper auszuziehen. Dazu muß man das Tier verbluten lassen, dann am besten das Gefäßsystem durchspülen, um noch möglichst viel von dem zurückgebliebenen Blut herauszubringen. Nun wird der Körper enthäutet und von Magen und Darm befreit, alles übrige zerhackt und zerkleinert, dann mit Wasser verrührt und so häufig ausgepreßt, bis das Preßwasser ganz farblos bleibt.

Ein umständliches und zeitraubendes, aber bei exakter Ausführung eindeutiges und sicheres Verfahren.

Der erste, der derartige Bestimmungen ausführte, war J. Weiss.²⁹⁾ Er brachte in der einen seiner beiden Versuchsreihen die eine Hälfte eines Wurfes Kaninchen auf den Pilatus (2070 m Höhe), in der zweiten nach Andermatt (1444 m), die andere Hälfte blieb jedesmal in Basel. Nach vierwöchigem Aufenthalt in der Höhe wurden die Höhentiere wieder nach Basel gebracht und hier das Gesamthämoglobin aller bestimmt. Während die Blutzellenzahl in der Volumeinheit Blut bei den Höhentieren um 12—24 % höher lag als bei den in Basel verbliebenen, war die Gesamthämoglobinmenge pro Kilo Körpergewicht die gleiche. Diese Versuche von Weiss können jedoch aus einer Reihe von Gründen, die Jaquet anführt, nicht als beweisend gelten; ihre Einzelheiten sind infolge der zu knappen Darstellung nicht zu kontrollieren.

Ganz im Gegensatz hierzu stehen die Ergebnisse von Jaquet und Suter,¹³⁾ und spätere von Jaquet.¹²⁾ Jaquet und Suter brachten eine Anzahl von Kaninchen nach Davos (1560 m Höhe), beließen sie hier einige Wochen und stellten nach ihrer Rückverbringung nach Basel ihren Gesamthämoglobingehalt fest und zugleich auch den der in Basel gebliebenen, unter ähnlichen Ernährungsbedingungen gehaltenen Kontrolltiere. Sie fanden, daß die absolute Hämoglobinmenge um ca. 23 % zugenommen hatte. Während die Davoser Tiere 6.59 g Hämoglobin pro Körperkilo hatten, fand sich in den Baseler nur 5.39 g. — Die Blutmenge hatte dabei um 14.8 % zugenommen.

Später ließ Jaquet Kaninchen vier Wochen in einem gut ventilierten Kasten unter Luftverdünnung leben (bei 640 mm Barometer) und verglich dann ihr Gesamthämoglobin mit dem der Kontrolltiere, die während dieser Zeit unter dem Luftdruck von Basel gelebt hatten. Auch in diesen Versuchen war nun die Gesamthämoglobinmenge bei den der verdünnten Luft ausgesetzten Tieren um mehr als 20 % höher als bei den Kontrolltieren. Letztere hatten pro Körperkilo 5.5 g Hämoglobin, erstere 6.73 g.

Weiterhin hat Abderhalden¹⁾ einschlägige Untersuchungen angestellt, und zwar an einem erstaunlich reichhaltigen Materiale, dem umfassendsten, das bis jetzt über die Gesamthämoglobinmenge bei im Höhenklima lebenden Tieren vorliegt.

Abderhalden hat an Kaninchen und Ratten gearbeitet. Für die Untersuchungen an ersteren benutzte er das Tiermaterial von 20 Würfen, für die an letzteren das von 24 Würfen. Nur wenige Würfe wurden ganz, sei es in Basel, sei es in St. Moritz (ca. 1800 m Höhe) gehalten, die meisten wurden geteilt, so daß ein Teil der Tiere dauernd in Basel, der zweite 4—8 $\frac{1}{2}$ Wochen in St. Moritz sich aufhielt. In diesen letzteren Versuchen ist ein Einfluß der Rasse bezw. der Individualität am besten ausgeschlossen, aber auch in den ersteren sind jedenfalls rein individuelle Differenzen zwischen den Baseler und St. Moritzer Tieren dadurch in ihrer Bedeutung beschränkt, daß diese Würfe eine große Zahl, nämlich 8 bis 11 Tiere, umfaßten. Die untersuchten Tiere waren in verschiedenem, aber alle in jugendlichem Alter und meist noch im Wachstum begriffen.

Die Art der Nahrung war an beiden Orten die gleiche. — Abderhalden hat an allen Tieren nicht nur den Gesamthämoglobingehalt, sondern auch die Blutzellenzahl und Hämoglobinmenge in der Volumeinheit Blut festgestellt. In letzterer Beziehung findet er, gleich der Mehrzahl seiner Vorgänger, ein sehr schnell erfolgendes Ansteigen der Blutzellenzahl sowohl wie des Hämoglobins um 10—20 $\%$, und zwar steigen beide in gleichem Verhältnisse an.

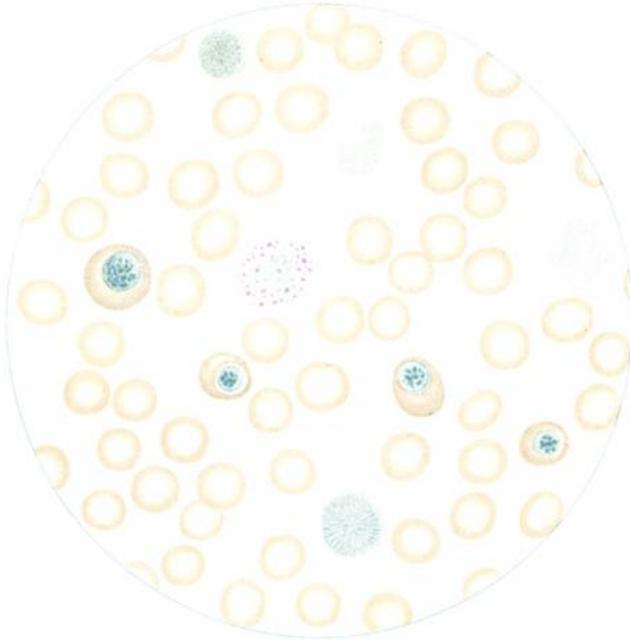
Uns interessiert jedoch vor allem das Verhalten des Gesamthämoglobins. Wir müssen hierauf ausführlich eingehen, weil die Abderhaldenschen Werte ein sehr breites Fundament für die Entscheidung der Frage, ob das Höhenklima imstande ist, die Gesamthämoglobinmenge eines Tieres zu steigern, abgeben und demnach von besonderer Wichtigkeit sind, wie auch deswegen, weil Abderhalden selbst seine Ergebnisse in verschiedenen Publikationen verschieden deutet, und weil er Schlußfolgerungen aus ihnen zieht, die uns unrichtig erscheinen.

Wir betrachten zunächst die tatsächlichen Befunde Abderhaldens. Er findet, daß bei den Würfen, von denen die eine Hälfte nach St. Moritz gebracht wurde, die andere in Basel blieb, die St. Moritzer Tiere im allgemeinen — nicht durchweg — mehr Hämoglobin enthielten als die Baseler. Dieses Resultat trat um so prägnanter hervor, je länger der Aufenthalt in der Höhe dauerte. Dagegen war der Gesamthämoglobingehalt der gleiche, wenn in St. Moritz geborene Tiere mit gleichalterigen aus Basel verglichen wurden.

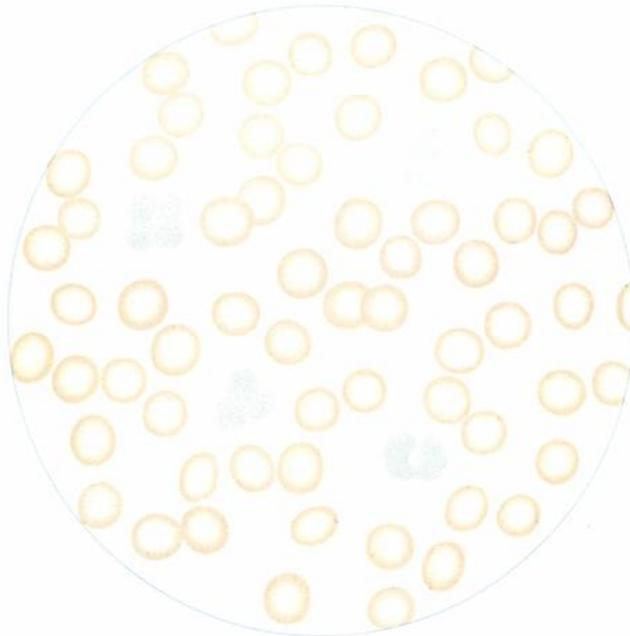
Setzt man nicht die Hämoglobinmengen der einzelnen Tiere miteinander in Beziehung, sondern diejenigen, welche sich für gleiche Gewichtsmengen, z. B. für je 1 Kilo Tier, berechnen lassen, so sind nach Abderhaldens Angabe die Ergebnisse keine anderen. Es wird sich jedoch im folgenden zeigen, daß diese Angabe nicht zutreffend ist, denn pro Kilo Tier berechnet, ist nicht nur bei den nach St. Moritz gebrachten, sondern auch bei den in St. Moritz geborenen Tieren, Ratten wie Kaninchen, die Hämoglobinmenge größer als bei den in Basel gehaltenen.

Weiter gibt Abderhalden an, daß die Gesamthämoglobinmenge bei den Höhentieren, die von St. Moritz nach Basel zurückgebracht wurden, nicht wieder abnahm. Auf eine solche Wiederabnahme legt Abderhalden besonderes Gewicht. In den früher mitgeteilten Versuchen, in denen Zählungen der Blutzellen und Blutfarbstoffbestimmungen in der Volumeinheit Blut vorgenommen waren, hatte sich ja, wie schon erwähnt, neben der Steigerung der Zellenzahl beim Übergang in die Höhe

Tafel I.



* Figur 1. Normales Blut aus einer Knochenvene.



* Figur 2. Knochenvenenblut bei künstlich erzeugter Blutarmut.
4 junge kernhaltige rote Blutzellen.

Triacid-Färbung.
(Zeiss-Apochromat Oel Imm. Ap. 1.30. Brennw. 3 mm. Okul. 12)
1000fache Vergrößerung.

Rübsaamen gez.

* Die Unterschriften zu Figur 1 und 2 sind verwechselt. Figur 1 erhält Unterschrift von Figur 2 und umgekehrt.

eine Wiederabnahme der Zahl und ein Zurückgehen der Farbstoffmenge bei der Rückkehr ins Tiefland gefunden. — Wenn diese Abnahme eine reelle war, bedingt durch Untergang des in der Höhe neugebildeten Blutfarbstoffes, so hätte auch die Gesamthämoglobinmenge in Abderhaldens Versuchen sinken müssen.

In Wirklichkeit trifft nun Abderhaldens Angabe, daß ein Sinken der Gesamthämoglobinmenge bei Rückkehr nach Basel nicht eintrete, nur für seine Ratten zu, die Kaninchen zeigen dagegen einen die Grenzen der Versuchsfehler wohl überschreitenden Abfall, da die Hämoglobinmenge von 13.754 g pro Tier auf 13.228 g, im Mittel einer sehr großen Zahl von Versuchen, sinkt. — Auf die für ein Kilo Tier berechneten Werte geht Abderhalden bei Besprechung dieser letzteren Ergebnisse nicht weiter ein. Diese zeigen aber, daß bei Ratten wie bei Kaninchen eine Verminderung der in der Höhe vorhanden gewesenen Hämoglobinmengen nach der Rückkehr nach Basel erfolgt.

Auf Grund vorstehenden Materiales kommt Abderhalden nun zu dem Schluß, daß im wesentlichen keine absolute Zunahme an Hämoglobin in der Höhe stattfindet; die in der Volumeinheit Blut gefundene Steigerung „entspricht keiner Neubildung von roten Blutzellen und Hämoglobin“. Die Abnahme von Hämoglobin in der Volumeinheit Blut, die beim Übergang von St. Moritz nach Basel festzustellen war, ist gleichfalls keine absolute, „der Gesamthämoglobinbestand bleibt dabei unverändert“.

Das heißt also, dem Höhenklima kommt nicht die Fähigkeit zu, die Blutbildung anzuregen. —

Es fragt sich nun, ob Abderhaldens Resultate zu diesem Schlusse berechtigen, und ob die Stellung, die Abderhalden seinen Ergebnissen gegenüber einnimmt, die richtige ist.

Zur Deutung der von Abderhalden erhaltenen Werte muß zunächst der Standpunkt genauer präzisiert werden, auf den man sich bei ihrer Beurteilung stellen will. Wie Abderhalden¹⁾ selbst hervorhebt, tritt in bezug auf den Gesamthämoglobingehalt die Individualität des einzelnen Versuchstieres deutlich hervor. Selbst bei Tieren desselben Wurfes, die ganz gleich, sei es in Basel, sei es in St. Moritz, gehalten waren, sieht man erhebliche Differenzen. Abderhalden schließt hieraus, daß man keinen Mittelwert ziehen solle, vielmehr jeden Versuch für sich betrachten müsse. Nun spielen doch aber gerade bei dieser Betrachtungsweise die individuellen Verhältnisse eine erhebliche Rolle, so daß dadurch die Wirkungen des Klimas ganz verdeckt werden können. Gerade bei Mittelung einer so großen Zahl von Werten, wie sie Abderhalden mitteilt, wird das individuelle Moment am ehesten eliminiert und die Wirkung äußerer Einflüsse am ehesten zutage treten können. In seiner Entgegnung auf die van Voornveldsche Kritik seiner Versuche hat Abderhalden¹⁾ denn auch Mittelwerte gezogen und sie seiner Antikritik zugrunde legt, und diese nebst einigen anderen, die wir aus Abderhaldens Einzelwerten berechnet haben, wollen auch wir für die folgenden Ausführungen benutzen.

Eine weitere Frage wäre, ob man den Gesamthämoglobingehalt der verschiedenen Tiere, sei es der einzelnen, sei es der zu einem Mittel vereinigten der verschiedenen Würfe, sei es der aller Würfe zusammengenommen, ohne weiteres

einander gegenüberstellen darf, oder ob man nicht von der Basis gleichen Gewichtes ausgehen und in erster Linie die Hämoglobinmenge pro Kilo Tier berücksichtigen soll. Es ist selbstverständlich, daß *ceteris paribus* große Tiere mehr Blut, und demnach mehr Hämoglobin haben als kleine, und ein unmittelbarer Vergleich zwischen solchen ist nicht angängig. Nun schwankt aber das Körpergewicht der Abderhaldenschen Tiere in ziemlich weiten Grenzen, und die Höhentiere haben im Durchschnitt ein geringeres Gewicht als die Baseler, wohl weil bei ihnen — die Nahrung war in beiden Fällen die gleiche — der Stoffverbrauch ein etwas regerer gewesen ist.

Abderhalden legt, wie uns scheint zu Unrecht, auf die pro Kilo Tier berechneten Werte so gut wie gar kein Gewicht, bezieht sich vielmehr in seinen Schlüssen im wesentlichen auf die direkt gefundenen Werte, trotz der bestehenden Differenzen in den Körpergewichten. Zur Begründung dessen bemerkt Abderhalden, daß die pro Kilo Tier berechneten Werte, die für die Höhentiere natürlich höher ausfallen müssen, da deren Gewicht bei annähernd gleichem Gesamthämoglobingehalt geringer ist als das der Baseler, nichts weiter beweisen, als daß die Höhentiere weniger an Körpergewicht zugenommen haben als die Baseler, bei gleicher Menge verzehrter Nahrung.

Zutreffender würde es, meinen wir, sein, den Schluß aus diesem Verhalten zu ziehen, daß im Höhenklima die Körpergewebe und Organe sich verhältnismäßig weniger entwickelt haben als das Blut, daß die Blutbildung im Höhenklima energischer vor sich gegangen ist als die der übrigen Bestandteile des Körpers. Und das ist es gerade, worauf es im vorliegenden Falle ankommt.

Legen wir nun, was uns richtiger scheint, das Verhalten der Hämoglobinmenge pro Kilo Körpergewicht zugrunde, so ergibt sich ein unzweideutiger und nicht geringer Einfluß des Höhenklimas auf die Blutbildung. Es zeigt sich, daß die Hämoglobinmenge sich sowohl bei den von Basel nach St. Moritz gebrachten Tieren höher stellt als bei den in Basel verbliebenen, wie auch, daß sie bei den in St. Moritz geborenen höher ist als bei den in Basel geborenen. Auch nimmt sie deutlich beim Übergang von der Höhe in das Tiefland ab.

Als Beleg dafür geben wir die folgende, Abderhaldens*) Mittelwerte enthaltende Zusammenstellung.

Tabelle 1.

A. Mittelwerte, genommen aus den Tieren aller derjenigen Würfe, von denen ein Teil (a) nach St. Moritz verbracht und dort später getötet wurde, ein anderer Teil (b) in Basel verblieb.

Kaninchen.

a) St. Moritzer Tiere . .	Anzahl: 39;	Hämoglobin pro Körperkilo: 9.32 g
b) Baseler Tiere . . .	„ 24;	„ „ 7.99 „

*) Abderhalden gibt für Kaninchen noch eine vierte Zusammenstellung, in der obige Ergebnisse nicht zum Ausdruck kommen, jedoch handelt es sich nur um 6—7 Tiere, also eine weit kleinere Zahl als sonst für die Mittelung verwertet wurde. Ebenso gibt er für Ratten noch zwei weitere Mittel. In dem einen ist das Resultat das gleiche wie in den drei obigen, im anderen ist keine Differenz ersichtlich. An dem Ergebnis der oben zusammengestellten Werte würde durch die Hinzunahme dieser Tiere nichts geändert.

Ratten.

- a) St. Moritzer Tiere . . Anzahl: 16; Hämoglobin pro Körperkilo: 10.62 g
 b) Baseler Tiere . . . „ 22; „ „ „ 8.92 „

B. Mittelwerte, genommen von den in St. Moritz geworfenen und dort gehaltenen Tieren (a) und den in Basel geworfenen und gebliebenen (b).

Kaninchen.

- a) St. Moritzer Tiere . . Anzahl: 24; Hämoglobin pro Körperkilo: 11.04 g
 b) Baseler Tiere . . . „ 19; „ „ „ 10.16 „

Ratten.

- a) St. Moritzer Tiere . . Anzahl: 27; Hämoglobin pro Körperkilo: 10.78 g
 b) Baseler Tiere . . . „ 29; „ „ „ 9.92 „

C. Mittelwerte, genommen von Tieren, die nach einem Aufenthalt in St. Moritz nach Basel gebracht und hier zum Teil schon in den ersten Tagen getötet und untersucht wurden (a), und solchen, die bis zum Tode noch längere Zeit in Basel lebten (b).

Kaninchen.

- a) kurze Zeit in Basel . Anzahl: 9; Hämoglobin pro Körperkilo: 8.77 g
 b) längere Zeit in Basel . „ 14; „ „ „ 8.15 „

Ratten.

- a) kurze Zeit in Basel . Anzahl: 20; Hämoglobin pro Körperkilo: 9.85 g
 b) längere Zeit in Basel . „ 31; „ „ „ 9.65 „

Aus diesen Werten berechnen sich folgende Differenzen:

A. Im Mittel hatten die Kaninchen, welche nach St. Moritz heraufgebracht waren, pro Kilo um 16.65 % mehr Hämoglobin als die aus den gleichen Würfen, welche in Basel geblieben. Bei den Ratten war die Differenz pro Kilo Tier: +19.06 % für die Höhentiere.

B. Im Mittel hatten die in St. Moritz geworfenen Kaninchen pro Kilo 7.68 % mehr Hämoglobin als die in Basel geworfenen; die Ratten ein plus von 8.70 % Hämoglobin.

C. Im Mittel hatten die kurze Zeit nach ihrer Verbringung nach Basel getöteten St. Moritzer Kaninchen 7.61 % mehr Hämoglobin pro Kilo als die erst nach längerem Aufenthalt in Basel getöteten. Bei den Ratten war das plus: 2.07 % Hämoglobin.

Es ergibt sich somit, daß die Hämoglobinversorgung des Tierkörpers im Höhenklima bei den dort geborenen wie bei den dorthin überführten Tieren eine bessere war als in Basel, und daß beim Verlassen des Höhenklimas auch die Gesamtmenge an Hämoglobin pro Gewichtseinheit Tier abnimmt.

Dabei liegt die Steigerung beim Übergang in die Höhe nicht weit unter der von Jaquet und Suter und später von Jaquet allein gefundenen, die 20—30 % ausmachte.

Im Gegensatz zu dem, was Aberhalden selbst aus seinen Ergebnissen schließt, glauben wir gerade aus seinen, durch die große Zahl der untersuchten Tiere besonders beweiskräftigen Untersuchungen die beste Stütze für die Bedeutung der die Blutbildung anregenden Kraft des Höhenklimas hernehmen zu müssen.

Gegenüber diesen direkten positiven Ergebnissen Aberhaldens können, meinen wir, seine negativen Befunde nicht sehr ins Gewicht fallen. Er fand nämlich weder beim Aufenthalt in der Höhe kernhaltige, rote Blutzellen, noch bei

der Rückkehr in das Tiefland Schatten, d. h. Blutzellen, die ihren Farbstoff verloren haben und zum Absterben verurteilt sind.

Wenn man Abderhaldens Zahlenmaterial etwas gründlicher analysiert, so kann man aus ihm noch einige weitere sehr interessante Schlußfolgerungen ziehen.

Zunächst zeigt sich, daß sich eine ziemlich scharfe zeitliche Grenze bestimmen läßt, bis zu der der Hämoglobingehalt der Höhentiere, die nach Basel zurückgebracht wurden, noch höher liegt als der dem gleichen Würfe angehörigen, in Basel gebliebenen. Diese Grenze liegt bei den Kaninchen zwischen dem fünften und sechsten Tage.

Die folgende Zusammenstellung bezieht sich auf die 4—8 Wochen in St. Moritz gewesenen Kaninchen:

Tabelle 2.
Hämoglobingehalt pro Kilo Kaninchen.

Bei den Baseler Tieren	Bei den aus St. Moritz nach Basel zurückgebrachten Tieren	Tötung in Basel
g	g	Tage nach Ankunft
7.52	8.68	2
8.00	8.97	3
7.79	8.39	4
7.54	9.23	5
7.78	8.11	6
9.04	8.86	8
7.65	7.27	15
7.34	7.57	17
7.36	7.77	19

Also vor dem fünften bis sechsten Tage nach Rückkehr haben die im Höhenklima gewesenen Tiere noch mehr Blutfarbstoff als ihre in Basel gebliebenen Geschwistertiere, später jedoch nicht mehr.

Ein ferneres interessantes Resultat, das Berührungspunkte mit unseren eigenen Ergebnissen hat und durch sie dem Verständnis nähergebracht wird, ergibt sich, wenn man das Alter der Höhentiere in Betracht zieht. Es zeigt sich dann nämlich, daß die Hämoglobinzunahme in der Höhe um so erheblicher ist, je jünger die betreffenden Tiere sind.

In der folgenden Tabelle 3 beziehen sich die verglichenen Werte stets auf Tiere gleicher Würfe, von denen ein Teil in Basel geblieben war, ein Teil nach dem Hochlande befördert und oben getötet wurde.

Tabelle 3.
Hämoglobinmenge pro Kilo Tier.

Alter der Tiere	Basel	St. Moritz	Differenz in Prozenten
6—9 $\frac{1}{2}$ Monate	7.72	8.64	+ 11.92
5—3 „	7.48	9.06	+ 21.12
6 Wochen	8.50	10.96	+ 28.94

Die Blutbildung wird also um so mehr angeregt, je jünger das Individuum ist. Es dürfte dies mit den Verhältnissen im Knochenmarke, der Hauptblutbildungsstätte, zusammenhängen, über die im folgenden berichtet werden wird, und die zeigen, daß das Knochenmark wesentliche Veränderungen im Höhenklima erfährt, insbesondere bei jugendlichen Individuen.

2. Eigene Untersuchungen.

Als wir den Plan zu unseren Untersuchungen faßten, war uns auf Grund eigener früherer Erfahrungen, sowie im Hinblick auf das vorliegende literarische Material und die gerade damals sehr lebhaften Kontroversen klar, daß Untersuchungen allein unseres eigenen Blutes — und in jeder anderen Hinsicht dienen wir selbst ja als Untersuchungsobjekte — uns nicht viel fördern würden. Wir beschlossen deshalb, auch an Tieren die Wirkungen der Höhenluft auf das Blut zu studieren.

Die Untersuchungen am Menschen.

Blutkörperchenzählungen. Die Bestimmungen an unserem eigenen Blute betrafen zunächst, entsprechend dem Vorgehen der früheren Forscher, die Zählung der roten Blutzellen, die Ermittlung des spezifischen Gewichtes des Blutes und des Serums.

Die Blutkörperchenzählungen, die wir 1896 am Monte Rosa vorgenommen hatten, galten zu einem wesentlichen Teil der Frage, wie weit die dem Höhenklima nicht spezifischen Klimafaktoren: Hitze, Kälte, Sonnenbestrahlung, Beschattung verändernd auf die Zahl der in den Kapillaren strömenden Blutzellen einwirken und dadurch den Einfluß der Höhe, d. h. der Luftverdünnung, fälschen bzw. verdecken können. Nachdem die Bedeutsamkeit dieses Einflusses erkannt war, handelte es sich diesmal vielmehr darum, die Zählungen stets unter genau gleichen äußeren Verhältnissen vorzunehmen.

Die Zählungen geschahen, um den gerade bei so subtilen Vornahmen, wie Blutkörperchenzählungen, ins Gewicht fallenden persönlichen Faktor nach Möglichkeit auszuschließen, stets von denselben Beobachtern, den Herren Waldenburg und Kolmer, die Blutentnahme wurde stets in gleicher Weise ausgeführt, das Blut dem Ohrläppchen entnommen, in das nach Alkohol-Ätherreinigung ein so tiefer Schnitt gemacht wurde, daß das Blut in großen Tropfen hervortrat. Der erste Tropfen wurde nie benutzt, weil er mit Gewebsflüssigkeit verdünnt sein konnte. — Das Zimmer, in dem die Blutentnahme geschah, zeigte eine mittlere Lufttemperatur; nur die Untersuchungen auf dem Monte Rosa-Gipfel machen in dieser Beziehung eine noch zu besprechende Ausnahme. Die untersuchten Individuen befanden sich nicht im Verdauungszustande nach einer reichlichen Mahlzeit, auch wurde nicht unmittelbar nach großen Märschen, auf denen ein starker Wasserverlust stattgefunden hatte, gezählt bzw. wurden die dann gewonnenen Werte gesondert berücksichtigt. — Besonders sei noch hervorgehoben, daß der Ernährungszustand fast aller sechs Versuchsindividuen während der ersten vier Wochen der Expedition fast ungeändert blieb. Es trat in dieser Zeit bei fünf eine geringe Abnahme des Körpergewichtes ein. Nur bei einem (Caspari) sank es erheblicher.

Auf dem Monte Rosa-Gipfel änderten sich diese Verhältnisse, da hier infolge von Bergkrankheit die Nahrungsaufnahme während mehrerer Tage ganz darniederlag und das Körpergewicht um mehrere Kilo sank.

Was die Zählung selbst anlangt, so wurde sie in zwei Kammern vorgenommen, einer gewöhnlichen und einer „Schlitzkammer“. — Zur Zeit unserer Versuche gingen die Wogen des Kampfes um die für Untersuchungen bei verschiedenem Barometerdruck zweckmäßigste Blut-

zählkammer noch hoch. Besonders waren es Gottstein¹⁰⁾, Meißen, Schröder und Starke, die in der geschlossenen Kammer eine Quelle von Fehlern sahen, während andere, wie Sokolowski, Kündig, Meyer¹⁷⁾ in den Zählungsergebnissen der geschlossenen und geschlitzten Kammer keine Differenzen fanden. Um uns ein eigenes Urteil zu verschaffen, verglichen wir die Zuverlässigkeit beider Kammern derart, daß von zwei Beobachtern abwechselnd in beiden Kammern hintereinander Blutstropfen aus derselben Mischpipette entnommen und ausgezählt wurden. Die Differenzen waren, auch in der Höhe, derartig gering, daß sie in die Breite der Beobachtungsfehler fallen. Seitdem ist auch von Brüning, Gaule⁹⁾ und von Bürker⁴⁾, von letzterem durch direkte Messungen der Kammerhöhe, festgestellt worden, daß der Luftdruck keinen Einfluß auf die geschlossene Kammer ausübt.

Gezählt wurden stets dreimal je 100 Quadrate und das Mittel der Werte genommen.

Zugleich mit der Blutzählung wurde mit einer Chloroformbenzoldmischung nach Hammerschlag die Dichte des Blutes bestimmt.

Man verfährt dabei so, daß man in eine Chloroform-Benzoldmischung, die annähernd das spezifische Gewicht des Blutes hat, einen Tropfen des Blutes einfallen läßt, und nun, je nachdem er in der Mischung sinkt oder steigt, Chloroform oder Benzol unter Umrühren so lange hinzufügt, bis der Tropfen schwebt, ohne zu steigen oder zu sinken. Dann haben Mischung und Blut dasselbe Gewicht und man braucht nur das Gewicht der ersteren mittels Aräometer oder besser mittels der Mohrschen Wage zu bestimmen.

Die Dichte des Serums wurde folgendermaßen ermittelt: Eine Glaskapillare wird in der Wunde mit Blut gefüllt, beiderseits sofort versiegelt und senkrecht aufgestellt. Nach einigen Stunden wird durch einen Schnitt mit dem Glasmesser der untere Teil des Röhrchens mit dem daran haftenden Blutgerinnsel vorsichtig entfernt, das Röhrchen wieder versiegelt und senkrecht stehen gelassen. Nach etwa 2—3 Stunden hat sich das Serum von allen festen Bestandteilen geklärt, man schneidet wieder den unteren, die gesenkten Blutkörperchen enthaltenden Teil des Röhrchens ab, löst den oberen Siegellackpfropf und bläst den Serumtropfen in eine Chloroformbenzoldmischung, die der mittleren Dichte des Blutserums entsprechend eingestellt war. Man verfährt dann wie bei der Blutdichtebestimmung.

Sowohl Blut- wie Serumdichtebestimmung lassen sich nicht von vielen Mängeln freisprechen; wir suchten letztere dadurch auf das geringste Maß zu beschränken, daß wir möglichst schnell arbeiteten,³¹⁾ und die unten angegebenen Zahlen haben insofern Anspruch auf Richtigkeit, als sich jedesmal mehrere übereinstimmende Werte ergaben.

Endlich wurden in verschiedenen Höhen sog. Trockenpräparate unseres Blutes nach einer Methode, die Ehrlich zuerst angegeben hat, hergestellt, um zur Feststellung etwaiger abnormer Formelemente dienen zu können.

Von unseren Ergebnissen seien zuerst die der Blutzählungen besprochen. Bei uns allen wurden — meist wiederholte — Zählungen in Brienz, unserer ersten Aufenthaltsstation, in 500 m Höhe vorgenommen, weiter auf dem Brienzer Rothorn in 2150 m, bei Müller, Kolmer und Loewy auch nach der Rückkehr nach Brienz vom Rothorn, wo sie sich zwölf Tage aufgehalten hatten.

Endlich fanden bei Zuntz, Caspari, Kolmer, Loewy wiederholt Zählungen auf dem Monte Rosa-Gipfel in der Capanna Regina Margherita, 4560 m hoch, wo der Aufenthalt acht Tage dauerte, statt; bei Müller auf Col d'Olen, 2900 m hoch, wo er mit Waldenburg acht Tage verweilte.

Alle Einzelwerte und die sich ergebenden Mittel finden sich auf der Tabelle Nr. XXIV des Anhangs zusammengestellt. Hier seien der Übersicht wegen die gefundenen Mittelwerte, nach den einzelnen Versuchspersonen geordnet, aufgeführt.

Tabelle 4.

Verhalten der Blutzellenzahl bei den einzelnen Versuchspersonen.

Person	Zahl der Blutzellen im cmm				Bemerkungen
	Brienz 500 m	Brienzer Rothorn 2150 m	Col d'Olen 2900 m	Punta Gnifetti 4560 m	
Zuntz	5 595 200	5 855 500		6 142 000	Bei Loewy, Kolmer und Müller bedeuten die Brienzer Werte unter: a) die vor dem Aufstieg aufs Rothorn b) die nach Rückkehr nach Brienz aufgenommenen. Bis zur Zählung hatte d. 2. Aufenthalt in Brienz 4—5 Tage gedauert.
Loewy	a) 6 332 000 b) 5 760 000	5 456 000		5 584 000	
Caspari	6 395 400	6 818 000		5 708 000	
Waldenburg	5 932 000	6 854 500		—	
Kolmer	a) 6 332 000 b) 6 472 000	5 952 000		5 652 000	
Müller	a) 6 984 000 b) 6 404 000	6 264 000	6 476 000	—	

Es ergibt sich, daß, gegenüber den Werten in Brienz, auf dem Rothorn eine Steigerung der Zahl der Blutzellen bei Zuntz, Caspari und Waldenburg zu beobachten ist, bei den beiden ersteren ist die Steigerung eine relativ geringe, bei Waldenburg eine erhebliche. Bei Kolmer, Müller und Loewy, also bei denjenigen, die schon nach kurzem Aufenthalte in Brienz die Höhe aufsuchten, macht sich umgekehrt eine Abnahme geltend. Jedenfalls ergibt sich aus unseren Versuchen nicht die gesetzmäßige Zunahme der Zahl der Blutzellen, wie es die meisten anderen Untersucher gefunden haben. Ebensowenig Gesetzmäßiges zeigte sich beim Übergang auf die Monte Rosa-Spitze. Nur bei Zuntz steigt die Blutzellenzahl weiter, bei Caspari ist sie geringer als auf dem Rothorn, bei Loewy ist sie annähernd gleich der auf dem Rothorn, also niedriger als in Brienz, bei Kolmer ist sie noch weiter abgefallen. — Bei Müller ist beim Aufenthalt auf der Zwischenstation Col d'Olen die Zellenzahl kaum höher als auf dem Rothorn und auf dem gleichen Niveau wie in Brienz.

Auf die Monte Rosa-Werte möchten wir allerdings wenig Gewicht legen, denn dort waren vasomotorische Effekte, d. h. Einflüsse auf die Weite der Hautgefäße, nicht sicher ausgeschlossen. Die Temperatur in der Hütte, in der nur ein Raum, und auch dieser nur mangelhaft, geheizt werden konnte, war niedrig und beträchtlichen Schwankungen unterworfen, dazu kamen die Erscheinungen der Bergkrankheit, die sich bis zum Schluß des Aufenthaltes geltend machten.

Aus unseren Ergebnissen läßt sich jedenfalls soviel schließen, daß nicht einmal die Zellvermehrung in der Volumeinheit eine konstante ist, sogar da nicht, wo scheinbar alle Versuchsbedingungen gleichgesetzt sind. — Bei den einzelnen Zählungen spielen Zufälligkeiten mit, die die Wirkung der Höhe verdecken können.

Spezifisches Gewicht des Blutsersums und des Blutes. Wie schon erwähnt, wurden neben der Zählung der Blutzellen Dichtebestimmungen am Blut und Blutsersum vorgenommen. Die dabei erhaltenen Einzelwerte sind mit in der Tabelle Nr. XXIV des Anhangs enthalten. Eine übersichtliche Zusammenstellung der bei den

einzelnen Personen mit dem Höhenwechsel vorkommenden Änderungen gibt die folgende Tabelle 5.

Tabelle 5.

Mittlere Blut- und Blutserumdichte bei den einzelnen Versuchspersonen.

Person	Blutdichte				Blutserumdichte				Bemerkungen
	in Brienz	auf dem Rothorn	auf Col d'Olen	auf Punta Gnifetti	in Brienz	auf dem Rothorn	auf Col d'Olen	auf Punta Gnifetti	
Zuntz	1054.2	1057.6		1059.2	1023.4	1022.6		1026.8	Die Werte unter a beziehen sich auf die erste, die unter b auf die zweite Brienerz Periode.
Loewy . . {	a) 1053.0	1054.9		1058.0	1024.5	1025.6		1024.9	
b) 1058.9									
Caspari . . .	1055.0	1059.8		1058.5	1021.2	1025.2			
Waldenburg	1056.2	1061.7			1026.8	1024.0			
Kolmer . . {	a) 1053.4	1056.5		1058.6	1026.5	1023.1			
b) 1052.0									
Müller . . {	a) 1055.7	1055.5	1063.0		1024.5	1021.7	1024.6		
b) 1059.0									

Beginnen wir mit einer Betrachtung der Blutserumdichte, als dem eindeutigeren Werte. 1895 und 1896 hatten wir beim Aufstieg nach Col d'Olen und zur Capanna Gnifetti (3900 m hoch) eine Verminderung der Serumdichte gefunden. Jetzt zeigt sich beim Übergang zum Brienerz Rothorn, also auf 2150 m, die gleiche Erscheinung bei Müller, Waldenburg und Kolmer deutlich ausgeprägt, bei Zuntz angedeutet. — Nur bei Loewy und Caspari steigt die Serumdichte an. Daß aber dieser Anstieg nichts Gesetzmäßiges ist, ergibt sich wenigstens für Loewy daraus, daß auf der Punta Gnifetti die Serumdichte wieder gleich der in Brienz ist. Der hohe Wert auf dem Rothorn resultiert bei Loewy, wie eine Betrachtung der Einzelwerte zeigt, nur daraus, daß neben einem den Brienerz entsprechenden Werte ein zweiter gefunden wurde, der abnorm hoch liegt und demnach auch das Mittel erheblich in die Höhe treibt! Bei Caspari ist auf dem Rothorn nur ein einziger Wert festgestellt worden.

Wir können danach jedenfalls soviel sagen, daß der Übergang und selbst auch der längere Aufenthalt in der Höhe eine Konzentrationssteigerung des Blutserums nicht bedingt.

Das Ergebnis bestätigt nicht nur unsere früheren Resultate, es steht auch in Übereinstimmung mit den S. 178 zitierten Befunden von Egger und Jaquet-Suter an Tieren.

Auf Grund des Verhaltens des nun in einer genügenden Zahl von Fällen untersuchten Blutserums muß man die Annahme einer Eindickung des Serums bei Individuen, die aus dem Tieflande ins Höhenklima aufsteigen, fallen lassen; weder die auf gesteigerter Verdunstung basierende Theorie von Grawitz, noch die eine gesteigerte Filtration infolge erhöhten Tonus der Blutgefäße zur Erklärung heranziehende von Bunge-Abderhalden können vor den festgestellten Tatsachen bestehen. Die höhere Serumkonzentration, die Abderhalden bei seinen Rindern und Schweinen fand, die kürzer oder länger im Hochlande gelebt hatten, dürfte sich,

wie schon erwähnt, aus Rassenverschiedenheiten oder Ernährungsdifferenzen erklären.

Was die Dichte des Gesamtblutes anlangt, so kann sie in unseren Versuchen nicht viel besagen. Da die roten Blutzellen die spezifisch schwersten Bestandteile des Blutes sind, ist sie im allgemeinen ein Ausdruck für die Zahl derselben in der Volumeinheit und geht daher mit dieser auf und ab. In den vorliegenden Versuchen muß dieser Zusammenhang etwas verwischt werden, da die Blutflüssigkeit, wie die vorstehenden Angaben gezeigt haben, ihr spezifisches Gewicht nicht vollkommen konstant erhalten hat. Wir sehen deshalb nur bei Zuntz, Caspari und Waldenburg einen Parallelismus zwischen der Zellenzahl und dem Wert für die Blutdichte; bei den drei anderen Versuchspersonen ist der Gang beider Werte zum Teil ein divergenter.

Besondere Schlüsse lassen sich wohl aus den Werten nicht ziehen.

Endlich hätten wir noch der Ergebnisse der Trockenpräparate Erwähnung zu tun. Sie fielen, was das Auftreten kernhaltiger junger Blutzellen oder pathologischer Zellformen anlangt, vollkommen negativ aus. Also auch dieser Weg hat uns keinen Anhalt gegeben, ob eine gesteigerte Blutbildung anzunehmen ist.

Unsere Versuche an Menschen haben uns somit nur gelehrt, daß die anscheinende Gesetzmäßigkeit in der Zunahme der Blutzellen in der Volumeinheit Blut mit zunehmender Höhe doch nicht als absolut sicher und ausnahmslos anzusehen ist, und daß Konzentrationssteigerungen der Blutflüssigkeit beim Übergang in die Höhe entweder gar nicht eintreten oder doch nur in bedeutungslosem Maße.

Aber wir müssen noch einmal betonen, daß, sowenig die Steigerung der Blutzellenzahl im Kubikmillimeter Blut bei den im ersten Abschnitt genannten Forschern für eine Zunahme der Gesamtzellenzahl im Körper beweisend ist, sowenig unsere Befunde sie ausschließen.

Unsere Versuche an Hunden.

Um die Einwirkung eines längeren Aufenthaltes im Hochgebirge auf Blut und blutbereitende Organe und eine eventuelle Zunahme des Gesamthämoglobins feststellen zu können, unternahmen wir weitere Untersuchungen an acht Hunden.

Von diesen waren vier junge Foxterrier vom selben Wurf. Sie kamen in einem Alter von sieben Wochen in den Stall des physiologischen Instituts zu Bern, welcher zu diesem Zweck in liebenswürdigster Weise von Herrn Prof. Kronecker zur Verfügung gestellt worden war. Ferner wurden zwei vollkommen ausgewachsene Tiere von ungefähr gleicher Größe, im Gewicht von je 7 Kilo, und zwei weitere große Hunde im Gewicht von je 19 Kilo in demselben Stalle gehalten. Alle Tiere wurden in der zweiten Hälfte des Mai in den Versuch genommen.

Es muß bemerkt werden, daß die Tiere vollkommen genügenden Raum im Stalle und außerdem Platz zum Umherlaufen im Garten hatten und sich überhaupt unter den besten hygienischen Bedingungen befanden. Ihre Nahrung bestand aus in warmem Wasser aufgeweichten Hundekuchen (Spratts Patent) und einem geringen Zusatz von Knochenabfällen. Die Nahrung wurde reichlich gegeben, so daß die Hunde nach Belieben fressen konnten. Nachdem sie drei Wochen im Institut waren — wobei sie alle schon an Umfang und Gewicht zugenommen hatten — wurden die ersten Zählungen vorgenommen. Um Fehler zu vermeiden, wurde das

Tier dabei von einem Gehilfen gehalten, am Ohr rasiert, die Stelle mit Alkohol und Äther gereinigt und nach einigen Minuten mit einem scharfen Skalpell ein Haut- und Unterhautzellgewebe trennender Schnitt gemacht. Die Tiere verhielten sich dabei meist völlig ruhig und machten keinerlei Abwehrbewegungen. Die Zählung geschah in allen Fällen durch Kolmer.

Schon bei der ersten Zählung in Bern zeigten sich trotz Anwendung aller Vorsichtsmaßregeln bei den einzelnen Tieren — auch bei den Hunden von gleichem Wurf — große Differenzen in der Anzahl der Blutkörperchen.

Die zahlenmäßigen Belege hierfür finden sich auf der im Anhange befindlichen Tabelle Nr. XXV.

Am 5. Juni wurden die Hunde I, II, V, VII auf das Briener Rothorn gebracht. In einer Höhe von 2153 m wurde für sie ein Stall eingerichtet. Die Tiere hatten hier ebenso wie in Bern einen eingezäunten Platz, auf dem sie sich herumtummeln konnten, und auch außerhalb häufig zu ausgiebiger Bewegung Gelegenheit. Eine gut geschützte Schlafstätte bewahrte sie vor den Unbilden des ziemlich rauhen Klimas mit seinen häufigen Schneefällen. Die Nahrung bestand aus denselben Hundekuchen wie in Bern mit etwas Knochenabfällen und wurde reichlichst verabreicht. Alle Hunde befanden sich während der ganzen Beobachtungszeit sichtlich wohl, waren sehr lebhaft und zeigten keinerlei Anzeichen der bei Versuchstieren so häufigen Krankheiten.

Entgegen den Angaben mehrerer Autoren fanden sich in den ersten Stunden nach dem Eintreffen auf dem Gipfel keine abnormen Erscheinungen im Blutbilde vor.

In der Folgezeit wurden die Hunde, sowohl die in Bern zurückgebliebenen als auch — immer einen Tag später — die auf dem Rothorn, untersucht, und zwar am 22. Juni, am 15. Juli und im Laufe der dritten Augustwoche, als die Expedition auf dem Rothorn weilte. Die Tiere blieben bis zum 25. September oben in Pflege und wurden dann nach Bern gebracht, wo sie sogleich für die Gesamthämoglobinbestimmung und die Untersuchung des Knochenmarkes verwendet wurden.

Wir lassen hier in tabellarischer Übersicht zunächst die zu verschiedener Zeit erhaltenen Zahlen für die Menge der Blutzellen im Kubikmillimeter Blut folgen:

Tabelle 6.

A. Beobachtungen an den vier jungen Foxterriern von gleichem Wurf.

Monat der Blutkörperchenzählung	Tiere die zuerst in Bern, dann auf dem Rothorn lebten				Tiere, die dauernd in Bern lebten			
	Foxterrier I		Foxterrier II		Foxterrier III		Foxterrier IV	
	Gewicht g	Blutzellenzahl	Gewicht g	Blutzellenzahl	Gewicht g	Blutzellenzahl	Gewicht g	Blutzellenzahl
Mai	2800	3 880 000 4 268 000	3500	4 934 000 4 398 000	2800	5 293 000	2700	5 386 000
Juni	4300	6 712 000	3800	7 674 000	3700	6 606 000	3500	6 304 000
Juli	5560	6 806 000	5600	7 568 000	5320	7 186 000	4950	7 068 000
August	ca. 6650	7 676 000	ca. 7000	7 600 000				
September . .	7750		8300		6800		6750	

B. Beobachtungen an den erwachsenen Hunden.

Monat der Blutkörperchenzählung	Hunde, die zuerst in Bern, dann auf dem Rothorn lebten				Tiere, die dauernd in Bern lebten			
	Hund V		Hund VII		Hund VIII		Hund VI	
	Gewicht g	Blutzellenzahl	Gewicht g	Blutzellenzahl	Gewicht g	Blutzellenzahl	Gewicht g	Blutzellenzahl
Mai	7020	8 140 000	18 000	7 440 000	7650	7 360 000	19 500	9 741 300
				7 112 000				
Juni	7850	6 752 000	19 000	8 360 000	7650	8 896 000		9 630 000
		9 318 000						
Juli	8050	8 824 000	19 520	9 110 000	7930	8 922 400	20 550	9 032 000
August		9 800 000	19 500	9 280 000				
September . .			19 500	8 192 000 (carotis)	7800		21 250	7 398 400 (carotis)

Aus diesen Zahlen ergibt sich erstens, daß alle vier jungen Tiere erheblich an Gewicht zunahmen, und zwar diejenigen Tiere, die auf dem Rothorn waren, (I von 2800 auf 7750 g, II von 3500 auf 8300 g) mehr als die in Bern befindlichen (III von 2800 auf 6800 g, IV von 2700 auf 6750 g). Die ausgewachsenen Hunde nahmen dagegen nur wenig an Gewicht zu. Zweitens zeigt sich, daß bei allen acht Tieren bis auf eines auch die Zahl der Blutzellen in der Volumeinheit ansteigt. Aber die Zunahme ist eine quantitativ ganz verschiedene. Relativ gering ist sie bei den älteren Tieren (vgl. Tabelle 6, B). Hier ist auch ein Unterschied zwischen den beiden Berner und den beiden Rothorn-Tieren nicht deutlich. Je eines, nämlich Hund V — Rothorn — und Hund VIII — Bern —, weisen eine Zunahme um 22 % bzw. 21 % auf; von den beiden anderen hat das Rothorn-Tier — Hund VII — nur um 8 % mehr Blutzellen, das Berner Tier dagegen eine Abnahme gegenüber dem Anfangswert. — Nicht berücksichtigt sind hierbei die beiden Werte, die am Hund VII und VI im September in Bern erhalten wurden, da sie der Halsschlagader und nicht, wie sonst stets, den Ohrgefäßen entstammen. Sie sind daher mit den übrigen nicht direkt vergleichbar. Die Zellenzahl liegt in beiden erheblich niedriger, als die in den Monaten zuvor gefundene, dabei aber beträgt sie beim Rothorn-Tiere ca. 800000 mehr, als beim Berner Hunde.

Anders bei den jungen Foxterriern. Hier sind zunächst bei allen die Zunahmen stärker als bei den älteren Tieren, aber dabei stellt sich ein erheblicher Unterschied zugunsten der Rothorn-Tiere heraus. Während die Berner Tiere ihre Blutzellenzahl nur um 36 % (Hund III) und 30 % (Hund IV) vermehren, beträgt die Vermehrung bei Hund I 75 %, bei Hund II 53 %! —

Es ergibt sich somit, daß zwar auf dem Rothorn ausnahmslos eine Steigerung der Blutzellenzahl eintrat, daß sie jedoch bei den älteren Tieren nicht wesentlich größer war als im Tieflande unter gleichen Bedingungen. Dagegen weisen unsere Ergebnisse auf ein differentes Verhalten der verschiedenen Altersklassen hin, indem bei den noch im Wachstum befindlichen Tieren die Zunahme der Blutzellen im Hochgebirge eine erheblichere war als im Tieflande.

Wichtiger als die vorstehenden sind nun aber unsere weiteren an den Hunden gewonnenen Resultate.

Bestimmung der gesamten Hämoglobinmenge bei den Hunden. Foxterrier I (Rothorn-Tier) und Foxterrier III (Berner Tier) dienten der Bestimmung des Gesamthämoglobins. Das Rothorn-Tier wurde, wie schon erwähnt, am 25. September 1901 nach Bern zurückgebracht, und in den nächsten Tagen erfolgten die Bestimmungen im Berner physiologischen Institute. Wir wollen auch an dieser Stelle dem Leiter des Institutes, Herrn Professor Kronecker, nochmals unseren besten Dank aussprechen für die Liberalität, mit der er uns die Räume und Beihilfe seines Laboratoriums zur Verfügung stellte.

Wir gingen so vor, daß wir nach Entnahme eines Teiles des Blutes die Tiere mit 0.9% iger Kochsalzlösung durchspülten, und damit nach dem Tode des Tieres fortführen, bis das Spülwasser farblos ablief, wobei wir durch Massage der Extremitäten und des Bauches die Zirkulation der Salzlösung unterstützten. Dann wurden die Tiere enthäutet, der blutleere Magendarmkanal und die Gallenblase entfernt, die Harnblase entleert, die Tiere vollkommen skelettiert, die Muskulatur und Eingeweide zerkleinert; der Brei wurde mit Wasser verrührt, wobei dieses sich kaum noch färbte. Nach Entfernung des Wassers wurde die restierende Masse in einer Buchnerschen Presse ausgepreßt.^{19b)}

Weiter wurde das Skelett gründlich zerkleinert, ausgelaugt und gleichfalls ausgepreßt. — Wir erhielten so drei Portionen bluthaltiger Flüssigkeit. Die erste enthielt das ausgeflossene Blut und die Durchspülungsflüssigkeit, die zweite die durch Auspressung und Auslaugen von Muskeln und Eingeweiden erhaltene Blutlösung, die dritte die aus den Knochen stammende Blutmenge. Jeder dieser Teile wurde gemessen und sein Hämoglobingehalt mittels eines Miescher-Fleischschen Apparates ermittelt.

Das von Professor Fleischl in Wien konstruierte, von Miescher in Basel verbesserte Hämoglobinometer besteht aus einer kleinen, mit Glasboden versehenen Doppelkammer. In die eine kommt das zu untersuchende, verdünnte Blut, in die andere destilliertes Wasser. Unter dem Boden letzterer Kammer verläuft ein in der Farbe des Blutes rotgefärbter verschieblicher Glaskeil, dessen Farbintensität von dem einen Ende zum anderen kontinuierlich zunimmt. An dem einen Ende entspricht sie der eines Blutes, das nur 10% des normalen Farbstoffgehaltes enthält, an dem anderen der eines übernormalen Farbstoffgehaltes (ca. 140% der Norm). — Man blickt nun durch beide Kammern und verschiebt den Keil so lange, bis die Farbintensitäten der Blutlösung und des unter dem Boden der Kammer sichtbaren Keilstückes gleich geworden sind. An einer Skala kann man dann direkt den Hämoglobingehalt des Blutes ablesen.

Wir wollen hervorheben, daß wir die Hämoglobinbestimmung im Skelett nicht für unwichtig halten. Aus Versuchen von Franz Müller¹⁹⁾ wissen wir, daß trotz vollkommenster Durchspülungen eines Tieres im Knochenmark erhebliche und sehr wechselnde Quantitäten Blut zurückgehalten werden können. Sie scheinen von der morphologischen Struktur und dem ursprünglichen Blutgehalt der Knochen abzuhängen und sind um so weniger zu vernachlässigen, je blutreicher das Knochengewebe ist. Leider ist bisher bei keiner Untersuchung, außer der unsrigen, auf die Blutmengen im Knochenmarke Rücksicht genommen worden.

Die gesonderte Bestimmung des Blutgehaltes der Organe gibt uns einen Anhalt für die Vollständigkeit der Durchspülung; je besser diese war, um so weniger Blut müssen wir aus den Organen erhalten.

Die Ergebnisse an den beiden Foxterriern finden sich auf Tabelle 7 zusammengestellt.

Tabelle 7.
Bestimmungen der Gesamthämoglobinmenge.

	Foxterrier I, Rothorn Gewicht = 7.750 kg	Foxterrier III, Bern Gewicht = 6.800 kg
Hämoglobinmenge im Blut	92.990 g	65.491 g
Restierende Hämoglobinmenge in den Organen . .	4.444 g	6.535 g
Hämoglobinmenge im Skelett	3.289 g	1.301 g
Gesamthämoglobinmenge	100.723 g	73.327 g
Hämoglobin pro Körperkilo	12.997 g	10.783 g

Wir finden, daß das Rothorn-Tier ganz erheblich mehr Hämoglobin enthält als das Berner, nämlich 100.7 g gegenüber 73.3 g. Aber es ist auch erheblich schwerer. Beziehen wir die Hämoglobinmengen auf gleiches Gewicht, so werden die Differenzen zwar geringer, bleiben jedoch bestehen. Auf das Körperkilo enthielt das Rothorn-Tier 12.997 g Hämoglobin, das Berner nur 10.783 g, das erstere führte also **20.5 %** mehr Hämoglobin als das letztere.

Die Hämoglobinmenge, um die das Höhentier reicher ist als das Berner, beträgt nur wenig mehr als in Abderhaldens Versuchen und entspricht fast genau den Werten von Jaquet-Suter. — Das ergibt sich aus Tabelle 8, in der wir des Vergleiches halber alle bisher über die Zunahme des Gesamthämoglobins im Höhenklima ermittelten Werte zusammenstellen.

Tabelle 8.
Vergleichende Zusammenstellung aller bisher über die Gesamthämoglobinzunahme im Höhenklima ermittelten Werte.

Autor	Tierart	Hämoglobinmenge pro Körperkilo				Prozentige Differenz
		in	g	in	g	
Jaquet-Suter	Kaninchen	Basel	5.39	Davos	6.59	+ 23
Jaquet	Kaninchen	Basel	5.50	Basel (Luftverdün- nung entspr. Davos)	6.73	+ 20
Abderhalden	Kaninchen	Basel	7.99	St. Moritz	9.32	+ 16.65
Abderhalden	Ratten	Basel	8.92	St. Moritz	10.62	+ 19.06
Wir	Hund	Bern	10.78	Brienzer Rothorn	13.00	+ 20.5

Gegenüber diesen, geradezu auffallend übereinstimmenden Ergebnissen zeigen nur die schon besprochenen Versuche von Weiß keine Steigerung.

Betrachten wir die Tabelle 7 genauer mit Bezug auf die Verteilung des Hämoglobins auf Blut, Organe, Skelett, so ergibt sich zunächst, daß in den Organen des Rothorn-Tieres viel weniger Hämoglobin verblieben war als in den des Berner. Die Durchspülung war also eine bessere gewesen. Nichtsdestoweniger sehen wir,

in Bestätigung der bereits erwähnten Müllerschen Befunde, daß das Skelett des Rothorn-Tieres weit mehr Hämoglobin enthält als das des Berner, nämlich noch 3.3 g gegen nur 1.3 g. — Bezogen auf die gesamte Hämoglobinmenge enthielt das Skelett des Rothorn-Tieres noch 3.4 ‰, das des Berner nur 1.8 ‰.

Wir würden also die Steigerung der Hämoglobinmenge zu gering veranschlagt haben, wenn wir das Skelett vernachlässigt hätten, und die Ergebnisse von Jaquet und Abderhalden dürften danach wohl auch als Minimalwerte anzusehen sein.

Die Übereinstimmung, in der sich unser Ergebnis mit dem von Jaquet-Suter befindet, veranlaßte uns, keine weiteren Durchspülungen vorzunehmen, vielmehr dem eigentümlichen Verhalten des Knochenmarkes, das uns beim Öffnen des Skelettes entgegentrat, weiter nachzugehen. Die Zahl der Tiere, die uns noch zur Verfügung standen — sechs — und die nicht einmal alle gleichen Wurfes waren, reichte nicht aus, um die Beweiskraft der zahlreicheren Versuche von Jaquet-Suter sehr erheblich zu steigern, wenn sie in gleichem Sinne ausfielen, oder sie zu erschüttern, wenn eine Vermehrung der Gesamthämoglobinmenge nicht nachgewiesen werden konnte.

Untersuchungen des Knochenmarkes unserer Hunde. Wie erwähnt, ließ sich aus dem Knochenmark des auf dem Brienzer Rothorn gewesenen Foxterriers, trotzdem die Durchspülung besser gewesen war als bei dem Berner Tier, mehr Hämoglobin beim Auslaugen nach dem Zerhacken gewinnen. Dementsprechend sah bei der makroskopischen Betrachtung das Mark des ersteren Tieres blutreicher, hyperämischer aus als das des letzteren. Zur weiteren Verfolgung dieses Befundes töteten wir deshalb die beiden anderen Foxterrier und die übrigen vier Tiere, deren zwei ca. 7 Kilo, die beiden anderen ca. 20 Kilo wogen, durch Chloroforminjektion, öffneten die großen Unterschenkelknochen (Tibiae), die Oberschenkelknochen (Ossa femoris) und einzelne Rippen und verglichen sie miteinander.

Zum Verständnis des Folgenden erscheint es uns notwendig, das Verhalten des Knochenmarkes, welches die Hauptblutbildungsstätte bei allen Wirbeltieren und auch beim Menschen nach der Geburt darstellt, zu besprechen. Wie alle Organe des tierischen Körpers einer allmählichen Abnutzung unterliegen, die durch dauernde Neubildung ausgeglichen werden muß, so ist es auch beim Blut. Selbst wenn keine Blutverluste aus besonderen Ursachen eintreten — bei der Frau finden solche ja übrigens periodisch statt —, geht doch immer von den zelligen Bestandteilen des Blutes ein bestimmter Prozentsatz zugrunde, wahrscheinlich in Leber und Milz. Deshalb muß eine dauernde Neubildung stattfinden. Diese ist jedoch, was ihren Umfang anbetrifft, in verschiedenen Lebensaltern sehr verschieden. Sie ist am intensivsten in der Jugend und nimmt mit fortschreitendem Alter mehr und mehr ab. Dementsprechend ist auch das Verhalten des Knochenmarkes in den verschiedenen Lebensaltern ein verschiedenes. Betrachten wir das Mark ganz junger Individuen, so sieht es durchweg blutrot aus (sog. rotes Mark). Mit zunehmendem Alter verschwindet die rote Färbung zunächst in den zentralsten Teilen des Markes (dabei beziehen wir uns auf die langen Röhrenknochen, die allein eine ausgebildete Markhöhle besitzen) und nimmt ein gelbes, fettähnliches Aussehen an. Dieses „gelbe oder Fettmark“, das nun keiner Blutbildung mehr fähig ist, dehnt sich immer weiter vom Zentrum zum Rand hin aus, so daß im höheren Alter das gesamte Mark der langen Knochen verfettet ist. Man bezeichnet daher ganz allgemein das rote Mark als tätiges, das gelbe als ruhendes.

Es gibt also schon die einfache Betrachtung des Knochenmarks Aufschluß darüber, ob es fähig ist, der Blutbildung zu dienen oder nicht.

Demgemäß war begründete Aussicht vorhanden, eine Einwirkung des Höhenklimas auf die blutbildenden Funktionen des Marks zu erkennen, wenn wir Gruppen von Tieren verschiedenen Lebensalters, jüngere und ältere, unter sonst genau gleichen äußeren Bedingungen zu einem Teil im Tieflande, zum anderen im Hochgebirge hielten. Vergleich man dann die gleichalterigen Tiere, so waren etwaige Unterschiede im Aussehen des Knochenmarks beweisend für eine klimatische Wirkung.

Die Ergebnisse bestätigten in der Tat unsere Vermutungen: es fand sich wirklich bei den Höhentieren ein Verhalten des Knochenmarks, das für eine viel lebhaftere Blutneubildung, als bei den in Bern verbliebenen Tieren sprach.

Genau untersucht wurden von uns die großen Unterschenkelknochen, die Oberschenkelknochen und einige Rippen.

Während die Tibiae der beiden jungen Foxterrier, die in Bern gelebt hatten, ein bereits verfettetes Mark zeigten, war das der 2 Geschwistertiere, die auf das Rothorn verbracht waren, ganz „rotes Mark“. In den Oberschenkelknochen war das Mark der Berner Foxterrier gleichfalls verfettet, das der Rothorn-Tiere nur zum Teil fettig, zum Teil dagegen rötlich, es war sog. „gemischtes“ Mark. An den Rippen waren keine deutlichen Unterschiede zu erkennen, da bei den jungen, nur $\frac{3}{4}$ Jahr alten Tieren das Mark dort auch beim Aufenthalt im Tieflande noch von roter Beschaffenheit ist. In diesem Alter ist ja die Neubildung noch eine so rege, daß die platten Knochen tätiges Mark enthalten. — Bei den beiden älteren, schon ausgewachsenen Tieren war an den Tibiae und Rippen eine Differenz wegen zu weit vorgeschrittener Verknöcherung nicht deutlich wahrzunehmen. Dagegen hatten die beiden Oberschenkelknochen des Berner Tieres Fettmark, die des Rothorn-Tieres rotes Mark. — Bei den 2 alten Tieren waren die Röhrenknochen durchweg verfettet.

Bewiesen diese mit bloßem Auge wahrnehmbaren Befunde eine gesteigerte Tätigkeit des Knochenmarks in der Höhe, die darin ihren Ausdruck findet, daß junges tätiges Mark im Höhenklima länger persistiert als in der Tiefe, oder Fettmark sich in rotes Mark zurückverwandelt, so gab die mikroskopische Untersuchung noch einen genaueren Einblick in die anatomischen Verhältnisse.

Für diese Untersuchungen war nur das Mark der kleinen Foxterrier von gleichem Wurf zu benutzen, einerseits weil es sich hier um Geschwistertiere handelte, die Ergebnisse also so gut wie möglich vergleichbar waren, andererseits weil nur hier das Mark noch so wenig von Knochenbälkchen durchwachsen war, daß es sich in mikroskopische Schnitte zerlegen ließ.

Die Tibiae wurden in ca. 5 mm lange Stücke geteilt, diese nach teilweiser vorsichtiger Entfernung der Knochenrinde in Härtingsflüssigkeiten gelegt und späterhin in Berlin weiter verarbeitet. Die weiteren Einzelheiten der Methodik finden sich auf den Tafeln selbst verzeichnet.

Hier sei zum Verständnis der Bilder nur angeführt, daß die Querschnitte des Markes durch Alkoholbehandlung ihr Fett verloren haben. Wo vorher Fett lag, finden sich nun helle, d. h. ungefärbte, leere Räume. Die Schnitte sind außerdem mit Methylenblau und Eosin gefärbt. Ersteren blauen Farbstoff haben nur die Kerne der roten Blutzellen behalten, letzteren roten das sog. Protoplasma der Zellen und zwar in wenig intensivem Ton. Je größeren Raum die blaugefärbten Anteile auf dem Schnitt einnehmen, um so mehr kernhaltige rote Blutzellen sind vorhanden, je mehr der farblose Anteil im Bilde überwiegt, um so stärker ist das Fettmark entwickelt.

Betrachtet man daraufhin die vier Querschnitte (Tafel II u. III nach Seite 200), von denen je zwei das Mark in 20 facher, die beiden anderen in 50 facher Vergrößerung zeigen, so sieht man besonders deutlich bei der stärkeren Vergrößerung, daß die blaue Zone bei dem Mark des Rothorn-Tieres ausgebreiteter ist, als bei dem

des Berner Tieres. Prägnant ist der Unterschied am Rande des Querschnittes, der bei dem Berner Tier neben zelligen Elementen auch die Anwesenheit von Fett zeigt, während beim Rothorn-Tier eine nur aus Zellen bestehende Randzone ohne Beimengung von Fett vorhanden ist.

Untersucht man die Schnitte bei 600—1000facher Vergrößerung, so findet man, daß die blauen Partien sich in der Tat im wesentlichen aus kernhaltigen roten Blutkörpern zusammensetzen. Diese zeigen Formen und Beschaffenheit, wie sie das Bild des Blutes der Knochenmarkvene auf Tafel I nach Seite 184 wiedergibt. Leider lassen sich die bei so starken Vergrößerungen erhaltenen Bilder der Markschnitte nicht gut reproduzieren, so daß wir die Zellen nicht so, wie sie an Ort und Stelle des Entstehens im Mark gelagert sind, wiedergeben konnten.

Die Untersuchung ergibt also, daß das Knochenmark des Höhentieres vorwiegend tätiges Mark, das des Berner Tieres vorwiegend ruhendes Fettmark darstellt.

Die Ursachen der gesteigerten Blutbildung im Höhenklima. Sowohl durch die Ergebnisse der Untersuchungen, in denen das Verhalten der gesamten im Körper kreisenden Blutfarbstoffmenge beim Aufenthalt im Höhenklima festgestellt wurde, wie auf Grund der Erforschung des Knochenmarkes müssen wir jetzt anerkennen, daß eine Steigerung der Blutbildung im Höhenklima stattfindet.

Es erhebt sich nun die weitere Frage: Welcher dem Höhenklima eigentümliche Faktor ist denn als der wirksame zu betrachten?

Auch diese Frage kann als geklärt angesehen werden. Wir besitzen eine größere Zahl von Untersuchungen, die übereinstimmend das Ergebnis gezeigt haben, daß es die Luftverdünnung ist, die blutbildend wirkt.

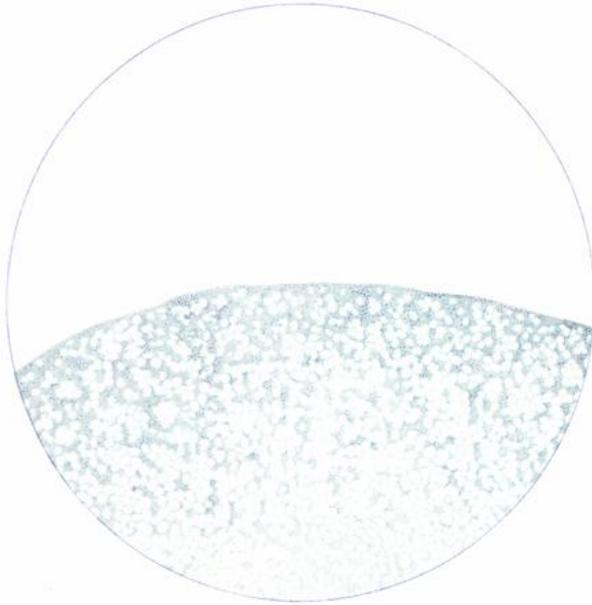
Die erste stammt von dem französischen Forscher Regnard.²¹⁾ Bald nach Viaults aufsehenerregenden Befunden stellte er einen Versuch derart an, daß er ein Meerschweinchen für einen Monat unter eine Glasglocke brachte, innerhalb derer die Luft dauernd in einer Verdünnung gehalten wurde, die einer Erhebung auf 3000 m gleichkam. Das Blut dieses Tieres konnte dann weit mehr Sauerstoff aufnehmen, als normales Meerschweinchenblut. Schüttelt man letzteres mit atmosphärischer Luft, so nehmen 100 ccm Blut 14—17 ccm Sauerstoff aus der Luft auf; das Blut des Tieres jedoch, das in der verdünnten Luft gesessen hatte, konnte 21 ccm aufnehmen. Regnard fand also dasselbe, was Paul Bert am Blute der Anden-Tiere beobachtet hatte.

Später stellte Schröder²³⁾ ähnliche Versuche an Meerschweinchen an, deren Blutzellen in der Volumeinheit er vor und nach einem 14tägigen Aufenthalt in verdünnter Luft zählte. Er fand eine Steigerung von gegen 14 %.

Sehr umfangreich waren die im Vorstehenden schon wiederholt zitierten Versuche von Schaumann und Rosenqvist²²⁾ an Kaninchen, Hunden, Tauben, die unter der allerdings erheblichen Verdünnung von 450 mm Quecksilberdruck gehalten wurden. Diese Verdünnung entspricht einer Höhe von etwa 4000 m. Es war dafür gesorgt, daß die Luft in der Glocke bezüglich der Temperatur, Feuchtigkeit und

Tafel II.

Knochenmarkschnitte. 20fache Vergrößerung.



Berner Tier.



Rothortier.

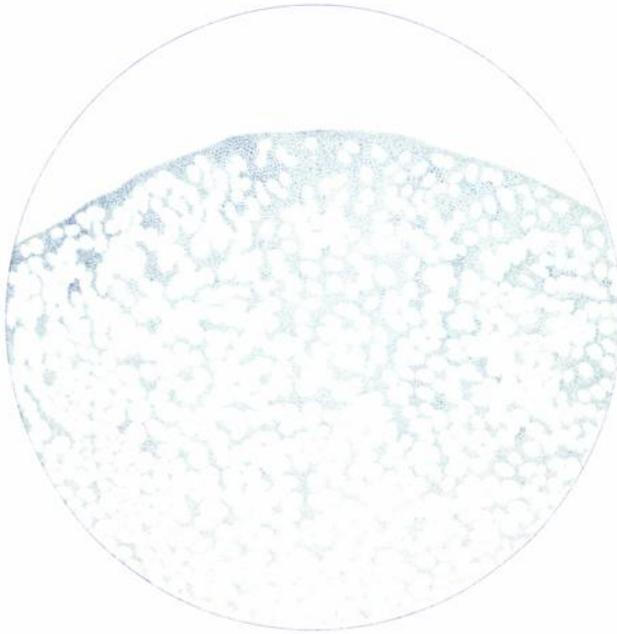
(Fixierung in 4% Formalin; Alkohol, Paraffin. Beide Schnitte von gleicher Dicke, von der gleichen Stelle der Tibia, enthalten nur eine Zellage.)

Färbung: Eosin-Methylenblau.

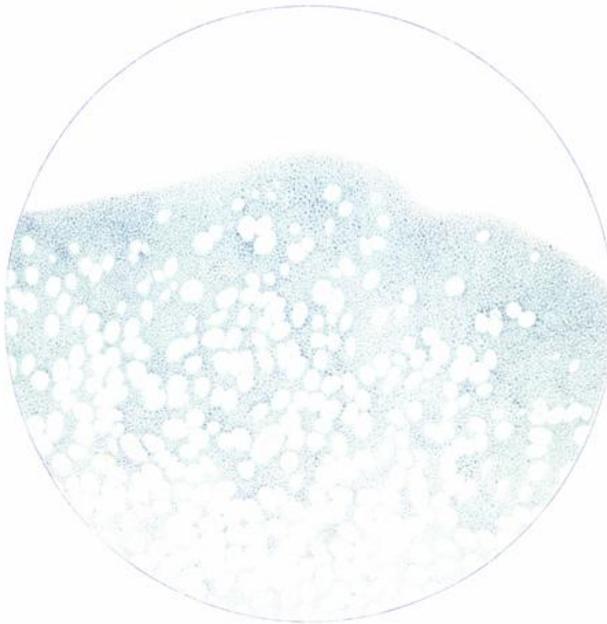


Tafel III.

Dieselben Knochenmarkschnitte. 50fache Vergrößerung.



Berner Tier.



Rothortier.

(Fixierung in 4% Formalin; Alkohol, Paraffin. Beide Schnitte von gleicher Dicke, von der gleichen Stelle der Tibia, enthalten nur eine Zellige.)

Färbung: Eosin-Methylenblau.

sonstigen Beschaffenheit normal war und eben nur durch die Verdünnung sich von der Luft des Tieflandes unterschied. Auch diese Autoren fanden die Zunahme der Blutzellen, bei Aufthalten, die bis zu Monaten dauerten, daneben aber — und hierauf mag der hohe Grad der Verdünnung Einfluß gehabt haben — zahlreiche kernhaltige Zellen, die man als junge, neugebildete anzusehen hat.

Daß es sich auch in allen diesen Laboratoriumsversuchen um reelle Zunahme der Blutzellen, nicht um Änderungen der Verteilung oder ähnliches handelt, beweisen die bereits erwähnten Versuche von Jaquet und Suter.¹³⁾ Diese stellten die Gesamthämoglobinmenge bei Kaninchen fest, welche vier Wochen in einem Kasten bei einem Druck von 640 mm Quecksilber, gleich der Höhe von Davos, gelebt hatten, und fanden 23 % mehr Hämoglobin als bei Tieren, die analog gehalten wurden, aber ohne Luftverdünnung.

Endlich seien noch Versuche von Sellier²⁶⁾ genannt, die beweisen, daß nicht das mechanische Moment der Luftverdünnung hier das ausschlaggebende ist, vielmehr die Sauerstoffarmut, die mit der Verdünnung verknüpft ist.

Sellier hielt nämlich Wachteln nicht in verdünnter Luft, vielmehr in Luft, die sauerstoffarm gemacht war, unter vollem Barometerdruck. Auch so fand er die von allen vorstehend genannten Untersuchern gesehene Zunahme der Blutzellen.

Umgekehrt konnte Jaquet feststellen, daß nicht niedrige Temperatur, und Meyer,¹⁷⁾ daß nicht Wirkungen des Lichtes die für das Höhenklima charakteristischen Veränderungen des Blutes herbeiführen.

Fassen wir nunmehr alles Gesagte zusammen, so müssen wir zu dem Schluß kommen:

Das Höhenklima besitzt einen ausgesprochenen Einfluß auf die Blutbildung. Es steigert sie, indem es das Knochenmark in einen Zustand erhöhter Tätigkeit versetzt. Am ausgesprochensten geschieht dies bei jugendlichen Individuen. Der wirksame Faktor ist die Luftverdünnung, bezüglich die mit dieser parallel gehende Sauerstoffverarmung der Luft.

Literatur.

1) E. Abderhalden: Zeitschrift f. Biologie, Bd. 43, auch Pflügers Archiv für die gesamte Physiologie, Bd. 92.

2) Paul Bert: „La pression barométrique“. Paris 1878.

3) Chr. Bohr: Zentralblatt für Physiologie. Bd. XVII.

4) Bürker: Pflügers Archiv für die gesamte Physiologie. Bd. 105 und 106.

5) Campbell: Amer. Journ. of Physiol. VIII.

6) Armand Delille und A. Mayer: Comptes rendus de la soc. de biol. 1902.

7) F. Egger: Verhandlungen des XII. Kongresses für innere Medizin. 1893.

7a) C. Foà: Laborat. scient. internat. du Mont Rosa. Trav. de l'année 1903. Turin 1904.

8) A. Fraenkel und J. Geppert: „Über die Wirkung der verdünnten Luft auf den Organismus“. Berlin 1883.

9) J. Gaule: Pflügers Archiv für die gesamte Physiologie. Bd. 89.

10) Gottstein: Berliner klin. Wochenschrift 1898 und Münch. mediz. Wochenschrift. 1899.

10a) O. Grawitz: Berliner klinische Wochenschrift. 1895.

- 11) A. Jaquet: „Über die physiologische Wirkung des Höhenklimas“. Basel 1904.
 - 12) Derselbe: Archiv für experimentelle Pathologie und Pharmakologie. Bd. 45.
 - 13) A. Jaquet und Suter: Korrespondenzblatt für Schweizer Ärzte. 1898.
 - 14) G. T. Kemp: Americ. Journ. of Physiol. X, No. VI.
 - 15) A. Loewy, J. Loewy, Leo Zuntz: Pflügers Archiv f. d. ges. Physiologie. Bd. 66.
 - 16) A. Loewy und N. Zuntz: Archiv für (Anatomie und) Physiologie. 1904.
 - 17) C. F. Meyer: „Einfluß des Lichtes im Höhenklima“. Basel 1900.
 - 18) F. Miescher: Korrespondenzblatt für Schweizer Ärzte. 1893.
 - 19) Franz Müller: Archiv für (Anatomie und) Physiologie. 1901.
 - 19a) Derselbe: Deutsche Medizinal-Zeitung. 1901.
 - 19b) Derselbe: Virchows Archiv. Bd. 164, S. 134.
 - 20) A. Müntz: Comptes rendus de l'academ. 1891. Bd. 112.
 - 21) P. Regnard: „La cure d'altitude“. Paris 1898.
 - 22) O. Schaumann und E. Rosenqvist: Zeitschrift für klinische Medizin. Bd. 35.
 - 23) G. Schröder: „Veränderungen des Blutes in Görbersdorf“. Halle 1894.
 - 24) v. Schrötter und Zuntz: Pflügers Archiv für die gesamte Physiologie. Bd. 92.
 - 25) Schumburg und Zuntz: Pflügers Archiv für die gesamte Physiologie. Bd. 63.
 - 26) J. Sellier: „Influence de la tension de l'oxgène sur l'hématopoièse“. Bordeaux 1895.
 - 27) Viault: Compt. rend. de l'académie des sciences. 1890—1892.
 - 28) van Voornveld: Pflügers Archiv für die gesamte Physiologie. Bd. 102.
 - 29) J. Weiß: Zeitschrift für physiologische Chemie. Bd. 22.
 - 30) N. Zuntz: Berliner klinische Wochenschrift. 1895.
 - 31) L. Zuntz: Pflügers Archiv. Bd. 66.
-