nicht etwa einer späteren Umschmelzung unterworfen worden sind. Ihre Erstarrungsgeschichte hat sich jedenfalls *ohne* Gegenwart eines starken anisotropen Schwerfeldes abgespielt.

Im selben Sinne, wenngleich nicht derart kraß, kann das Auftreten von Troilit- (und Troilit-Chromit-) Knollen in meteorischem Nickel-eisen gedeutet werden. Diese Knollen entsprechen der Sulfid-Oxyd-Schale im Erdinnern.

Es wäre von großem Interesse, die Gesamtheit der Meteoriten auf den Grad ihrer Schweresonderung zu untersuchen, da man hieraus vielleicht zu weiteren Aufschlüssen über ihre Herkunft und Geschichte gelangen könnte.

In *manchen* Eisenmeteoriten findet man ungleichmäßige Verteilung der leichteren Einschlüsse im Nickeleisen, wie lokale, unsymmetrische Anreicherung von Olivinkristallen, schlierige oder streifenförmige Anordnung des Schwefeleisens, welches darauf hindeutet, daß gewisse, wenn auch *schwache* Schwerewirkungen ihren Einfluß geltend machten, während das Nickeleisen noch flüssig war⁶⁾.

Von besonderem Interesse wäre es auch, die *Erstarrungsgeschichte* der Pallasite näher zu studieren, um insbesondere die Frage zu behandeln, in *welchen* Pallasiten die Silikattropfen bereits *vor* Erstarrung des Metallbades erstarrten, in *welchen* erst *nachher*, und ob diese Erstarrungsgeschichte in Beziehung zu den Schmelzdiagrammen Nickel-Eisen und Olivin-Fayalit gebracht werden kann.

In Meteoriten finden wir niemals Mineralkombinationen, welche der Eklogitschale der Erde entsprechen würden; dies hat offenbar seinen Grund darin, daß in *kleinen* Himmelskörpern nicht der notwendige Belastungsdruck für die Bildung von Eklogiten aufgebracht werden kann.

Das Vorkommen von Diamant als Seltenheit in einzelnen Meteoreisen könnte zwar auf Bildungsbedingungen hindeuten, welche mit der Eklogitfacies vergleichbar sind, immerhin kann der Diamant auch *ohne* starken Belastungsdruck entstanden sein, in Analogie mit *Moissans* bekannter Synthese.

Das Auftreten von solchen Struktureigentümlichkeiten, die auf Abwesenheit starker Gravitationswirkungen hindeuten, bringt uns zu der Frage, ob es experimentell gelingen könnte, solche Strukturen nachzuahmen, wie sie den Pallasiten zu eigen sind. Im Laboratorium oder im technischen Schmelzofen sind die Einwirkungen des Schwerfeldes nicht zu eliminieren, wir können keine dauernde Suspension von Silikattropfen in geschmolzenem Nickeleisen herstellen; es beruht ja die technische Herstellung von Eisen im Hochofen gerade auf der gravitativen Sonderung von Eisen und Silikatschlacke. Es bietet sich nur *eine* Möglichkeit, den Einfluß eines Schwerfeldes (bzw. Trägheitsfeldes) bei einem Schmelzversuch

weitgehend auszuschalten, nämlich den Versuch in einer frei fallenden Schmelzmasse auszuführen, die genügend schwer ist, um die Hemmung durch Luftwiderstand weitgehend auszuschalten, etwa indem man die Schmelze in einen granatenförmigen Behälter von einem Flugzeug hinabfallen ließe.

Neue physiologische Untersuchungen über das Leben in den Anden.

Von A. Loewy, Berlin.

In der Nummer vom 29. Juli d. J. der englischen Zeitschrift *Nature* findet sich ein Aufsatz des bekannten Cambridger Physiologen J. Barcroft: „The physiology of life in the Andes.“

Er enthält in kurzer Darstellung die Ergebnisse von Untersuchungen, die in den peruanischen Anden angestellt wurden. Sie betreffen die Besonderheiten im Ablauf der physiologischen Vorgänge, welche ein beschwerdefreies und körperliche Arbeit gestattendes Leben in jenen Hochregionen für die Eingeborenen ermöglichen, und die Anpassungsvorgänge, die bei Tiefländern sich allmählich ausbilden, wenn sie längere Zeit in diesen Höhen leben, und die dazu führen, daß auch *diese*, wenigstens bei Körperruhe, schließlich keinerlei Krankheitssymptome mehr zeigen.

Beim Lesen des Barcroftschen Berichtes muß denjenigen, der selbst in den Zeiten von Deutschlands Glanz und Ruhm an ähnlichen Unternehmungen sich beteiligt hat, ein Gefühl der Niedergeschlagenheit und des Neides beschleichen bei der Wahrnehmung, daß deutsche Forscher heute und wohl noch für lange Zeit außerstande sind, derartige Untersuchungen auch nur zu planen, während die angelsächsischen Forscher schon kurz nach Beendigung des Weltkrieges in der Lage waren, an große wissenschaftliche Unternehmungen heranzugehen und Gegenstände weiterzufördern, an deren bisheriger Bearbeitung die deutsche Wissenschaft einen nicht geringen Anteil hatte.

Aus der Darstellung *Barcrofts* geht dieser Anteil allerdings nicht hervor, denn sie beschränkt sich auf die Beschreibung der eigenen Expedition und deren Ergebnisse. Letztere bestätigten vielfach nur die älteren Befunde. In einigen Punkten jedoch bringen sie neue und überraschende Kenntnisse.

Mit Unterstützung verschiedener englischer und amerikanischer Institute und mit Hilfe von Spenden von privater Seite bildeten sich eine englische und eine amerikanische Abteilung, deren erste von Liverpool, deren zweite von New York nach Lima aufbrach. Von dort ging die Reise mit der transandinischen Bahn über die Randkordillere in Höhe von 5300 m hinab nach Oroya (4000 m), das in den Steppen zwischen den beiden parallelen Kordillerenketten gelegen ist, und von da nach dem Bestimmungsorte Cerro de

⁶⁾ Möglicherweise durch Rotation des Meteoriten (Zentrifugalkraft) hervorgebracht.

Pasco (4500 m hoch). Dieser Ort hat verschiedene Vorzüge vor den bisher für physiologische Höhenuntersuchungen benutzten. In Europa kam in dieser Hinsicht bisher — von Untersuchungen in niedrigeren Höhenlagen abgesehen — der Monte Rosa in Betracht, an dessen Nordabhang Zuntz und Schumburg 1894 sowie später Kroncker ihre Untersuchungen anstellten, an dessen Südabhang und auf dessen zweiter Spitze (Gnifetispitze, deutsch Signalkuppe), von Süden kommend, Mosso in den letzten Jahren des verflossenen Jahrhunderts in mehreren Expeditionen seine Forschungen durchführte. Auf Mossos Arbeitsgebiet betätigten sich später die Brüder Loewy und L. Zuntz, sodann N. Zuntz, Loewy, Müller, Caspari (1901), Zuntz und Durig 1905 sowie Fuchs und kurz vor dem Kriege Kestner mit mehreren Mitarbeitern. In allen diesen Untersuchungen wurde der Einfluß einer Höhe von 3900 m und 4560 m auf die physiologischen Vorgänge erforscht, sowohl am Menschen wie an verschiedenen Säugetieren.

Den gleichen Zwecken ist weiter dienstbar gemacht worden der Pic von Teneriffa, wo schon 1878 Marcet sich mit Untersuchungen über den respiratorischen Stoffwechsel betätigte, dann Zuntz in Gemeinschaft mit Durig, von Schrötter, Barcroft und Douglas. Endlich wurde der Pikes Peak in Colorado von einer Reihe englischer und amerikanischer Physiologen unter Führung von Haldane (Oxford) zu physiologischen Untersuchungen aufgesucht.

Dieser langen Reihe von wissenschaftlichen Unternehmungen schließt sich nun die hier beschriebene an, an der (außer Barcroft) I. C. Meakins aus Edinburgh, H. Doggart aus Cambridge, und von amerikanischer Seite Bock, Forbes (von der Harvard-Universität), Redfield (Toronto), George Harrop und C. Binger (New York) teilnahmen.

Cerro de Pasco wurde gewählt, weil es bequem besonders für den Transport wissenschaftlicher Apparate zu erreichen ist, weil es trotz seiner beträchtlichen Höhenlage in noch bewohnten Gegenden liegt, was den Unterhalt der Mitglieder der Expedition sehr erleichtert, ferner weil reichlich Wasser vorhanden ist, was für die Ausführung der Untersuchungen wesentlich ist. Dabei gibt es in Cerro de Pasco einen alten, aus spanischer Zeit stammenden Bergwerksbetrieb, und mit Hilfe von dessen (englischen) Ingenieuren wurde ein Güterwagen als Laboratorium eingerichtet, das mit elektrischem Licht, elektrischer Kraft und Heizung ausgestattet wurde, und in dem selbst eine Einrichtung für Röntgenuntersuchungen angebracht wurde. Cerro de Pasco spielt übrigens in den Reisebeschreibungen von Hoch-Peru seit langem eine Rolle. Schon in der ersten Hälfte des vorigen Jahrhunderts wurde es von Tschudi und Pöppig besucht, und Beschreibungen der Bergkrankheit knüpfen sich an seinen Namen.

Die Eingeborenen, von indianischer Abkunft,

werden „Cholo“ genannt, sind von kleiner Statur und blaß oder doch nur wenig blutreich im Gesicht. Sie sind breit gebaut. Messungen des Brustumfanges ergaben eine ungewöhnlich hohe Zahl. Von Dreyer rühren Tabellen her, in denen die Beziehung zwischen Brustumfang und Rumpflänge bei gesunden Europäern (Engländern) zusammengestellt sind. Entsprechend ihrer Rumpflänge hätte der Brustumfang der Cholo 79 cm betragen müssen, während er in Wirklichkeit 92 cm ausmachte. Bei den Expeditionsmitgliedern lag der Brustumfang nur wenig über dem nach der Rumpflänge zu erwartenden Werte. Der erhebliche Brustumfang von Hochgebirgsbewohnern ist schon früher erkannt worden. So berichtet darüber meines Wissens Jourdanet (Infl. de la pression de l'air etc., Paris 1875) nach Beobachtungen in Mexiko. Röntgenbilder des Brustkorbes zeigten nun, daß die Rippenstellung der Cholos von der der Tiefenbewohner abweicht. Der Ansatz der Rippen an der Wirbelsäule geschieht unter einem weniger spitzen Winkel, ihr Verlauf von der Wirbelsäule ab erfolgt mehr horizontal. Barcroft möchte dies als kompensatorischen Vorgang ansehen, durch den das Blut befähigt werden soll, leichter Sauerstoff aufzunehmen, indem er darauf hinweist, daß im Tieflande Kranke, die an Lungenerweiterung oder anderen, mit Luftmangel einhergehenden Krankheiten leiden, eine ähnliche Form des Brustkastens zeigen. Interessant ist auch, daß bei den Eingeborenen in Cerro de Pasco nicht selten sogenannte „Trommelschlägerfinger“ gefunden werden, d. h. kolbige Verdickungen der Endglieder der Finger. Im Tieflande findet man sie nur unter krankhaften Verhältnissen, bei Zuständen, bei denen die Sauerstoffversorgung der extremen Körperteile unzureichend ist.

Soll die Sauerstoffarmut bzw. der abnorm niedrige Sauerstoffdruck der Höhenluft und die daraus sich ergebende Erschwerung der Sauerstoffversorgung des menschlichen und tierischen Körpers kompensiert werden, so läßt sich theoretisch eine ganze Reihe von physiologischen Vorgängen ableiten, die geeignet sind, die Sauerstoffversorgung der Körpergewebe zu verbessern. *Allen* dieser bedient sich die Natur nicht. So könnte ein beschleunigter Blutkreislauf zu einer vermehrten Sauerstoffzufuhr zu den Geweben führen und damit den Eintritt des Sauerstoffmangels hinausschieben. Jedoch tritt eine Blutstrombeschleunigung im Hochgebirge nicht ein. Dieser negative Befund von Barcroft und Genossen bestätigt, was schon vor langer Zeit Loewy für den Aufenthalt im luftverdünnten Raum der pneumatischen Kammer in Versuchen an Hunden zeigen konnte (Respiration und Zirkulation usw., Berlin 1895) und was neuerlich mit anderer Methode von Doi (Journal of Physiology 55, 1921) wieder festgestellt wurde.

Dagegen dienen der vermehrten Sauerstoffzufuhr Vorgänge, die die Verfasser in Überein-

stimmung mit den Befunden der früheren Forscher in anderen Gebirgsgegenden feststellen konnten. Zunächst eine *Steigerung der Lungenventilation*. Diese führt zu einer Steigerung der Sauerstoffmenge und damit des Sauerstoffdrucks in den Lungenbläschen. Dadurch wird die Sauerstoffaufnahme des die Lungengefäße durchströmenden Blutes und damit die den Geweben zur Verfügung stehende Sauerstoffmenge vermehrt. Sie wird weiterhin vermehrt durch *Zunahme der Blutfarbstoffmenge*, und diese kommt durch Zunahme der Zahl der roten Blutzellen zustande. Diese dem Höhenklima eigentümlichen Veränderungen sind vielfach studiert worden und immer wieder bestätigt. Zuerst wurden sie von *Viault* festgestellt, der sie, ebenso wie *Barcroft* und Genossen, beim Aufstieg von Lima auf die Peruanischen Anden nachweisen konnte. Man wollte, als *Viault* seine Befunde bekanntgab, nicht recht an deren Wirklichkeit glauben, da man dem Gedanken nicht Raum geben wollte, daß ein klimatischer Einfluß eine Konstante, wie es die Zahl der roten Blutzellen ist, ändern sollte, und da eine Änderung der Zellenzahl im Kubikmillimeter Blut — und stets wurde nur diese bestimmt — noch nicht beweisend war für eine *absolute* Zunahme der *Gesamtzellenzahl* im Körper. Sie könnte auch durch eine nur relative Vermehrung erklärt werden, d. h. durch eine Änderung im Verhältnis von Zellenzahl zu Blutflüssigkeit im Sinne einer Abnahme der letzteren. Jedoch ist schließlich durch direkte Bestimmung der *Gesamthämoglobinmenge* im Körper die Tatsache der *absoluten* Vermehrung sicher erwiesen worden.

So kann es nicht mehr wundernehmen, wenn *Barcroft* angibt, auch die Veränderung einer anderen Konstante festgestellt zu haben, nämlich eine *Änderung in der Bindungsfähigkeit des Hämoglobins für Sauerstoff*. *Barcroft* ermittelte den Sauerstoffdruck in den Lungenbläschen und die im Arterienblute enthaltene Sauerstoffmenge und stellte aus den so gewonnenen Werten die Dissoziationsspannung des Oxyhämoglobins fest. Es fand sich, daß beim Aufenthalt in der Höhe von Cerro de Pasco das Hämoglobin fähig wurde, bei *gleichem* Sauerstoffdruck *mehr* Sauerstoff zu binden als normales Tieflandblut. Diese zweckmäßige Anpassung an die Sauerstoffarmut der Höhenluft ist wichtig, da sich das Blut beim Durchgang durch die Lungen dort nur unvollkommen mit Sauerstoff sättigt, so daß das Arterienblut nur zu 82 % bei den Eingeborenen, zu 85 % bei den Expeditionsteilnehmern mit Sauerstoff gesättigt zeigte, anstatt wie im Tieflande zu 95—96 % gesättigt zu sein. Damit ist die Grenze eines Sauerstoffmangels also nahegerückt. Bisher wurde von manchen Seiten angenommen, daß eine Sauerstoffsättigung des arteriellen Blutes zu 90 % notwendig sei, um dem Bedarf der Gewebe an Sauerstoff zu genügen.

Übrigens ist auch nach Untersuchungen von

Krogh und *Leitch* (Journ. of Physiology 1920) eine andere zweckmäßige Anpassung des Hämoglobins in bezug auf die Sauerstoffaufnahme bei bestimmten Sauerstoffdrucken bekannt. Sie betrifft das Hämoglobin von Fischen, von denen die einen gewöhnlich in sauerstoffreichem, die anderen gelegentlich auch in sauerstoffarmem Wasser leben. Die Dissoziationskurve verläuft bei beiden ganz verschieden. Bei der *ersten* Gruppe, die also nur ausnahmsweise niedrigen Sauerstoffdrucken ausgesetzt ist, wie Kabeljau von den Meerfischen, Forelle von den Frischwasserfischen, sättigt sich das Hämoglobin zur Hälfte mit Sauerstoff bei einem O_2 -Drucke von 18 mm, ganz ähnlich wie bei den Säugern. Bei der *zweiten* Gruppe jedoch, zu der unter den Frischwasserfischen Karpfen, Aal, Hecht gehören, sind nur 2—3 mm O_2 -Druck erforderlich, um eine Halbsättigung des Hämoglobins mit Sauerstoff zu bewirken. Diese Fischarten sind also bei weitem mehr befähigt, in sauerstoffarmem Wasser zu leben als die erstgenannten.

Die Unterschiede, die *individuell* in bezug auf den Umfang der Lungenventilation, der Hämoglobinmenge, der Sauerstoffbindung seitens des Hämoglobins bestehen, können die individuellen Verschiedenheiten in der Widerstandsfähigkeit gegen Luftverdünnung verständlich machen.

Barcroft und Genossen untersuchten aber noch eine weitere Beziehung, indem sie die von *Bohr* so genannte *Diffusionskonstante der Lunge* bei den verschiedenen Expeditionsteilnehmern bestimmten. *Bohr* bezeichnet mit diesem Ausdrucke die Beziehung zwischen der *Menge* des in der Minute durch die Lungenoberfläche in das Blut der Lungenkapillaren diffundierenden Sauerstoffes zu dem mittleren Unterschiede des Sauerstoffdruckes, der in den Lungenbläschen und dem Lungenkapillarblute herrscht. Die Differenz zwischen diesen beiden Sauerstoffdruckwerten stellt ja die Triebkraft dar, durch die die Sauerstoffdiffusion durch die Lungenwand geregelt wird. Dabei fand sich nun, daß die Teilnehmer der Expedition in zwei Gruppen geschieden werden konnten. Die der *einen* zugehörigen hatten eine Diffusionskonstante über 40, die der *anderen* unter 40. Dabei litten die der einen deutlich an verschiedenen Erscheinungen der Bergkrankheit, die der anderen waren davon verschont.

Wie weit dieser Befund für die Vorhersage über Disposition zur Bergkrankheit Bedeutung hat, soll weiter festgestellt werden dadurch, daß bei Ingenieuren, die in die Minendistrikte der Anden gehen wollen, die Diffusionskonstante der Lungen zuvor in New York festgestellt wird, und mit diesem Werte die Widerstandsfähigkeit gegen die Bergkrankheit verglichen wird.

Vielleicht werden auf *dieser* Grundlage die Schwierigkeiten, die sich bis jetzt der Erklärung der Bergkrankheit allein durch Sauerstoffmangel im Einzelfalle entgegenstellen, eine Lösung finden.