Über einige Aufgaben und Fragen der vergleichenden Physiologie.

Akademische Antrittsrede, gehalten am 15. November 1913

von

Ernst F. Weinland.

M. H.! Während die Physiologie als Wissenschaft sich mit der Beschreibung der Lebenserscheinungen und ihrer Zurückführung auf allgemeine Gesetze befaßt, spricht der Begriff der vergleichenden Physiologie von derjenigen Forschungsrichtung in der Wissenschaft vom Leben, welche durch Vergleichen der Lebenserscheinungen bei den verschiedenen Tierformen und eventuell auch bei den Pflanzen, den Bakterien und anderen Mikroorganismen, zu einem klareren Einblick in die Lebenserscheinungen zu gelangen sucht.

Es ist ein Weg, der zunächst das ungeheuer große Gebiet der verschiedenen Tierformen durchmißt und dabei deren Funktionen zu analysieren sucht, und so ist schließlich im Sprachgebrauch die vergleichende Physiologie als die Physiologie von den niederen Tieren überhaupt aufgefaßt worden, wenngleich diese Definition nur einen Teil der Aufgaben dieser Disziplin umfaßt und die eigentliche Aufgabe des Vergleichens und Herausarbeitens von Ähnlichkeiten und Verschiedenheiten sowie von Problemen hierin zunächst noch nicht begriffen ist. Nur durch eine fortschreitende, immer mehr sich ausbreitende und immer tiefer eindringende Verfolgung der Vorgänge, die wir an den verschiedenen Tierformen beobachten können, zusammen mit der Kenntnis des chemischen und morphologischen Aufbaues der Organismenformen wird es allmählich möglich sein, einen befriedigenderen Einblick in die Lebenserscheinungen zu gewinnen, als es heute möglich ist. Es ist bis jetzt nicht rätlich

und bei etwas kritischer Betrachtungsweise auch nicht möglich, auf Grund des geringen Tatsachenmaterials, das zur Verfügung steht, ein summarisches und abschließendes Bild über die Lebenserscheinungen zu geben, und wir können vom physiologischen Standpunkt aus auch den auf morphologischer Grundlage ruhenden Folgerungen, die eine Gliederung und Ordnung und auch einen Aufbau der verschiedenen Formen etwa auf deszendenztheoretischer Basis anstreben, und die auf diesem Wege zu einem befriedigenden Einblick selbst in die rätselhaftesten Erscheinungen des Lebenden, wie z. B. die Vererbung, zu gelangen hoffen, nur mit großer Vorsicht folgen, denn wir müssen uns sagen, daß eine der ersten Voraussetzungen einer wissenschaftlichen Erklärung einer Erscheinung die ist, daß wir sie experimentell hervorrufen können, daß wir sie in diesem Sinne „beherrschen". Davon ist aber bei den hier angeregten Gebieten heute in keiner Weise die Möglichkeit vorhanden.

Wenn wir auf dem Gebiete der vergleichenden Physiologie Früchte ernten wollen, so werden wir dies nur erhoffen dürfen, wenn wir die Probleme gewissermaßen nicht von außen wie eine schlecht passende Kleidung, die nach fremdem Maß gemacht ist, den Erscheinungen aufzuzwingen suchen, sondern indem wir uns von den Erscheinungen selbst leiten lassen und deren Eigentümlichkeiten und Rätsel zu sehen lernen.

Vor allem aus diesem Grunde, der an den Naturbeobachter eine sehr große Anforderung stellt und ihn immer wieder zur Bescheidenheit zwingt, stehen wir auf dem Wege der vergleichenden Physiologie noch durchaus in den Anfängen, wenn wir auch hoffen dürfen, daß durch die fortgesetzte Arbeit erfinderischer und sorgfältiger Beobachter immer wieder neue Gebiete „kolonisiert" werden können.

Ich will im folgenden an der Hand der Betrachtung einiger Funktionen des tierischen Körpers versuchen, einen orientierenden Einblick zu geben in einige Probleme und Aufgaben, die sich bisher auf dem Wege der vergleichenden Physiologie ergeben haben.

Betrachten wir das Organsystem, von dem aus wir gewissermaßen zunächst an das Tier herantreten, das der **Nahrungsaufnahme** und der Verarbeitung der aufgenommenen Nahrung

dient, also den Apparat, den wir bei den höheren Tieren als Verdauungskanal bezeichnen, so finden wir schon hier eine außerordentliche Mannigfaltigkeit, besonders die Form und Gestalt, die morphologischen Verhältnisse wechseln in erstaunlicher Weise.

Von Tierformen mit hochdifferenzierten Einzelabschnitten, wie z. B. Säugetieren, Vögeln, können wir durch sehr verschieden geformte Differenzierungen bis zu Tierformen gelangen, denen dieses ganze System seinem morphologischen Begriff nach fehlt, die, obgleich sie vielzellige Organismen sind, doch einen Verdauungskanal vollständig entbehren.

Für die Bandwürmer ist nach dem, was wir wissen, die gesamte Körperoberfläche nahrungsaufnehmendes Organ. Die ungeheure Verschiedenheit speziell in den Mundabschnitten bei den verschiedenen Tierformen, z. B. den Insekten, brauche ich hier nur zu erwähnen. Auch die besonderen Verhältnisse, die morphologisch bei den einzelnen Tieren vorliegen, z. B. Blinddärme und andere Anhänge, seien ebenfalls mit einem Wort erwähnt; ebenso das Vorhandensein großer Verschiedenheiten im feineren Bau des Verdauungskanals.

Trotz dieser, man kann sagen kolossalen, Mannigfaltigkeit, die hier die morphologische Analyse zeigt, ist nun der chemische Apparat, der für die Verarbeitung der eingeführten Nahrung dient (die wiederum bei den verschiedenen Tierformen, soweit bis jetzt die Kenntnisse reichen, von einer erstaunlichen Mannigfaltigkeit ist). von einer überraschenden Gleichförmigkeit. So finden wir z. B. die Ihnen wohl bekannte Erscheinung, daß der Magen des Menschen und der höheren Tiere eine Säure sezerniert, auch bei den wirbellosen Tieren weit verbreitet. Wir finden sie z. B. wieder bei Krebsen, bei Mollusken, Coelenteraten (Siphonophoren), bei Würmern, ja selbst bei Protozoen ist das Auftreten einer sauren Reaktion in der Verdauungsvakuole durch Einbringen von Indikatorfarbstoffen erwiesen worden. Auf der anderen Seite jedoch dürfen wir nicht so weit gehen, das Auftreten einer sauren Reaktion im Beginn des Verdauungsschlauches bezw. zeitlich zu Beginn der Verdauung zu einem notwendigen Postulat für die tierische Verdauung zu machen, denn wir kennen selbst unter den Wirbeltieren (unter den Fischen) Formen, bei welchen eine Phase mit saurer Reaktion des Verdauungsgemisches

ausfällt. Auch bei wirbellosen Tieren sind Beispiele für das Ausfallen der sauren Reaktion vorhanden. — Alkalische Reaktion im Verdauungsapparat oder einem Teile von ihm wird dagegen bei allen Tierformen beobachtet.

Betrachten wir die eigentlichen Wirkungen, die der tierische Organismus auf „seine Nahrung“ ausübt, so finden wir, daß hier die wesentlichen Wirkungen, die, wie Ihnen bekannt ist, durch Fermente hervorgerufen werden, im wesentlichen durchs ganze Tierreich gleich sind. Wir begegnen hier überall, wo bis jetzt danach gesucht wurde, eiweißspaltenden Fermenten, die je nachdem dem Trypsin oder dem Pepsin der Säugetiere näherstehen. Ferner sind fettspaltende Fermente in den verschiedenen Tierklassen nachgewiesen worden, ebenso eine Reihe von kohlenhydratspaltenden Fermenten, wie z. B. in erster Linie das diastatische Ferment, welches Stärkemehl und Glykogen, das tierische Reservekohlenhydrat, in Traubenzucker überzuführen vermag, und dem wir ebenso wie beim Menschen und Säugetier bei den wechselwarmen Wirbeltieren und bei den Wirbellosen, den Mollusken, Gliedertieren, Würmern, Protozoen u. s. w. begegnen. Außerdem finden wir bei den verschiedenen Tierformen in direkter Beziehung zu ihrer Nahrung gelegentlich noch besondere Fermente, so z. B. bei pflanzenfressenden Tieren Fermente, welche imstande sind, bestimmte zusammengesetzte Zuckerarten, die sich in deren Nahrung befinden, in einfache Zuckerarten überzuführen, beim milchtrinkenden Säugling und ebenso beim jungen Säugetier ein den Zucker der Milch zerlegendes Ferment u. s. w.

Bei den gesamten Erscheinungen der chemischen Verdauung finden wir eine, wenn wir so wollen, gemeinsame Wirkung, nämlich die, daß hochkomplizierte organische Substanzen unter Eintritt von Wasser in das Riesenmolekül in kleinere Spaltstücke zerlegt werden. Diese Spaltstücke, die man auch als Bausteine bezeichnen kann, haben dabei, was ihren energetischen Gehalt, also gewissermaßen ihren Wert als Brennmaterial für die tierische Maschine angeht, gegenüber dem Ausgangsmaterial im wesentlichen keine oder nur eine spurenhafte Abweichung. Es wird der Energiegehalt der Nahrung durch die Spaltung im Verdauungsapparat bei den Tieren nicht verändert. Dies ist eine generelle für alle tierischen Organismen

geltende Tatsache. Wo wir von derselben Abweichungen im tierischen Körper, d. h. also Verluste am Energiegehalt der Nahrung im Darmkanal beobachten, sind diese, wie z. B. im Magen der Wiederkäuer, durch Bakterien und andre Mikroorganismen, die daselbst leben, bedingt.

Trotzdem kann eine derartige Symbiose von Mikroorganismen gelegentlich für den Wirtskörper von Nutzen sein, wenn durch die Bakterien Stoffe angegriffen werden, die der tierische Körper an sich nicht anzugreifen imstande ist; ich erinnere daran, daß der tierische Körper, wie das tägliche Leben lehrt, viele Stoffe, die an sich einen hohen Verbrennungswert besitzen, ich nenne z. B. Erdöl, Paraffin, Kohle, natürlich auch C-haltige Gase, nicht in seinem Betrieb zu verwerten vermag. Durch die Tätigkeit der Bakterien im Darm können nun aber aus solchen Stoffen, z. B. aus Cellulose, Stoffe entstehen, wie etwa niedere Fettsäuren, die der Organismus nunmehr seinerseits verarbeiten kann, während ihm dies beim Ausgangsmaterial nicht möglich war. — Man hat, wie ich im Anschluß hieran kurz erwähnen will, sogar die Frage aufgeworfen, ob der tierische Organismus nicht überhaupt für die Verdauung der Nahrungsstoffe auf die Mitwirkung von Bakterien angewiesen sei, und es stehen sich hier zwei Auffassungen diametral entgegen. Nach der einen, die auf Versuche am Säugetier zurückgeht, ist die Mitwirkung von Bakterien nicht notwendig für das Gedeihen und für das Heranwachsen der neugeborenen Tiere, nach der anderen, die an Hühnchen gewonnen wurde, ist dies notwendig; steril ausgebrütete Hühnchen vermochten trotz reichlichster Zufuhr von steriler Nahrung (Körnern) nicht zu wachsen und gingen regelmäßig zugrunde.

Wir stehen hier zurzeit vor einer Frage, deren endgültige Beantwortung noch nicht gegeben ist. (Weitere Versuche zur Beantwortung dieser Frage will ich hier nicht berühren.)

Wenn so auf der einen Seite die Notwendigkeit und der Nutzen von Mikroorganismen wenigstens bei gewissen höheren Tieren für die Nahrungsverwertung und damit ein sehr verwickeltes System von Prozessen hierbei angenommen wird, können wir ein anderes Extrem der Vorstellung über die Vorgänge bei der Ernährung darin sehen, daß von einem Biologen die Auffassung mit voller Überzeugung vertreten worden ist,

daß von den im Wasser lebenden Tieren die Nahrung großen- — wenn nicht größten — teils nicht als geformtes Material auf dem Darmweg aufgenommen werde, sondern daß sie, und zwar soll dies selbst von vielen Fischen, wie z. B. vom Rheinlachs während seiner monatelangen Wanderung im Süßwasser geschehen, in gelöster Form aufgenommen werde. Es soll nach dieser Auffassung die sehr kleine Menge organischer Substanz, die im Wasser gelöst ist und deren Menge ziemlich in der Nähe der Fehlergrenzen der Bestimmungsmethoden liegt, hier in erster Linie für die Ernährung der Wassertiere in Betracht kommen — dies ist eine Vorstellung, die man vielleicht in eine gewisse Parallele mit der Kohlensäureassimilation durch die Pflanzen aus der Luft stellen könnte. Ich kann hier nicht eingehen auf eine genauere Diskussion dieser Anschauung, nach der der ganze Darmkanal und seine Hilfsorgane zu Organen von fast sekundärer Bedeutung bei diesen Tieren gestempelt würden, weil sie uns zu einem Eingehen auf die Einzelheiten der Berechnungen etc. zwingen würde, für das die Zeit mangelt, aber es läßt sich mit Zuverlässigkeit aussprechen, daß dieser Hypothese ein Boden in den Tatsachen fehlt. Es haben sich sowohl die dabei verwandte Untersuchungsmethode als die rechnerischen Grundlagen als unrichtig erwiesen, und die einzelnen Angaben halten einer ernsten Betrachtung nicht stand.

Eine andere Frage schließt sich an die Tatsache der fermentativen Spaltungen im Darm an: warum ist es notwendig, daß im Verdauungskanal die Spaltung der verschiedenartigen organischen Nahrungsstoffmoleküle in verhältnismäßig kleine Moleküle stattfindet? Wir können uns ja zunächst denken, daß die Zellen, die die Darmwand auskleiden, ebensowohl wie die verhältnismäßig kleinen Spaltstücke auch die großen Ausgangsmoleküle aufnehmen könnten! Daß die Bereitung wasserlöslicher Stoffe der Sinn dieser Einrichtung sei, ist ebenfalls nur bedingt anzunehmen, denn, mag es auch für die Zucker- und Eiweißspaltstücke zutreffen, so ist diese Vorstellung doch für die Fettsäuren, die aus den Fetten im Darm gebildet werden, nur unter der Annahme möglich, daß diese im Darm in Seifen übergeführt werden, was wohl für einen Teil der Fettsäuren stattfinden mag, ob aber für die gesamten im Darm vom Fett abgespaltenen Fettsäuren, das ist eine offene Frage.

Man hat die weitere Möglichkeit ausgesprochen, daß der Organismus und ebenso jede einzelne Zelle ein Mechanismus, gewissermaßen einem komplizierten, großenteils chemischen Uhrwerke vergleichbar, sei, und daß dieses Uhrwerk für seinen Betrieb und seine Instandhaltung eben jeweils nur einzelne kleine Einheiten wie, um im Bilde zu bleiben, Rädchen und dergleichen gebrauchen kann, daß es aber für seine Instandhaltung unmöglich ganze große Komplexe von solchen Rädchen u. s. w. verwenden kann, sondern eben nur die einzelnen Einheiten, aus denen es sich, bei jedem Tier wieder in etwas anderer Weise, aufbaut. Diese Betrachtung würde ganz besonders für die aus einer Reihe von mindestens $1^1/_2$ Dutzend verschiedenen Spaltstücken sich aufbauenden Eiweißkörper gelten, weniger wohl können wir sie auf die Kohlenhydrate anwenden, denn hier ist z. B. für das fleischfressende Tier das in der Nahrung zugeführte Reservekohlenhydrat, das Glykogen, dasselbe wie dasjenige, das in dem Tier selbst zur Ablagerung gelangt, es wäre also kein Grund vorhanden, daß hier im Verdauungskanal eine Zerlegung des Reservekohlenhydrats einträte, was doch der Fall ist. Ähnliche Betrachtungen gelten auch für die Fette. — Eine andere Frage möchte ich hier auch noch berühren. Man hat versucht eine Beziehung zu finden zwischen der Ausdehnung des Darmes, also etwa seiner Länge, und der Art der Nahrung, die das Tier zu sich nimmt. So wurde z. B. unter den Säugetieren für die fleischfressenden eine verhältnismäßig geringe Länge des Darmkanals gefunden (z. B. bei der Katze, den Fledermäusen 3 : 1), während bei den Pflanzenfressern (besonders Rind, Schaf, Ziege 28 : 1) die Länge des Darmes im Verhältnis zur Länge des Körpers eine viel größere ist.

Man hat dies mit der geringeren Ausnützbarkeit und Wertigkeit der pflanzlichen Nahrung gegenüber der tierischen in Zusammenhang gebracht. Diese Folgerung ist aber sehr bedingt anzunehmen. Jedenfalls können wir sie nicht im Tierreich generalisieren.

Bei Insektenlarven (um ein krasses Beispiel herauszugreifen) finden wir z. B. ein entgegengesetztes Verhalten. Bei den Schmetterlingsraupen bildet der Darm gewöhnlich ein gerades Rohr von ungefähr der Länge des Körpers, und wir wissen,

daß diese Tiere allermeist Pflanzenfresser sind. Dagegen beobachten wir bei den fleischfressenden Larven der großen Brummfliege ein entgegengesetztes Verhalten. Der Darmkanal besitzt hier die mehr als 7fache Länge des Körpers. Auch andere derartige Beispiele sind bekannt geworden. Wir dürfen also derartige Vorstellungen nicht in allgemeiner Form aufrecht erhalten. Es ist in jedem einzelnen Falle ein Zusammenwirken verschiedener Ursachen, welches für die Deutung des vorliegenden Tatbestandes in Betracht kommt. Wir müssen z. B. einmal den Bau der Darmwand selbst in Betracht ziehen, z. B. ob diese kleine Fortsätze, Zotten, besitzt oder nicht, wir müssen die Zeit, die dem Tier zur Nahrungsaufnahme zur Verfügung steht, berücksichtigen (eine Fliegenmade entwickelt sich in etwa 5 bis 6 Tagen zum verpuppungsreifen Tier, eine Schmetterlingslarve bedarf zu diesem Zweck oft einer viel viel längeren Zeit, z. B. einen oder mehrere Sommer, kann also die Nahrungsaufnahme auf eine längere Zeit verteilen). — Auch ein weiteres Moment möchte ich hier noch erwähnen: Es ist nicht selbstverständlich, daß wir dem Darm bei den verschiedensten Tierformen immer dieselben Funktionen zuschreiben. Es kann sehr wohl sein, daß dieses Organ bei der einen Tierform mehr Funktionen zu erfüllen hat als bei der anderen, und auch dies könnte wiederum auf die Ausdehnung des Darmkanals von großem Einfluß sein. — Ein Wort sei in diesem Zusammenhang gesagt über das Verhalten der darmlosen Bandwürmer.

Hier haben wir ein Beispiel für den Fall, daß der Verdauungsapparat außerordentlich wenige Funktionen zu erfüllen hat. Es fällt hier einmal die Ausbildung eines mundähnlichen Aufnahmeapparats für die Nahrung weg, sodann ein Apparat für die Zerkleinerung des Aufgenommenen und endlich ist hier auch der chemische Apparat, der die Spaltung der Nahrungsstoffe vermittelt, jedenfalls zum großen Teil unnötig geworden. Alle diese Funktionen besorgt das Wirtstier für den Parasiten mit. Derselbe lebt gewissermaßen wie ein Organ in dem großen Organismus seines Ernährers und wird von dessen Säften oder Nahrungsbrei miternährt.

So sehen wir die Ausbildung des Verdauungsapparates auf das kleinste reduziert. Hier können wir, freilich in etwas anderem Sinne als oben, davon reden, daß das Tier flüssige Nahrung

durch die Haut aufnimmt. Ähnlich können wir auch Tiere denken, bei welchen nur die hier genannten Funktionen im Verdauungsschlauch verwirklicht sind, alles andere aber, besonders jede synthetische Funktion, dem Darme abgenommen ist, Andererseits können dem Darmkanal auch noch weitere Funktionen zufallen, als er gewöhnlich ausübt, z. B. um einen derartigen Fall anzuführen, eine Beteiligung am Gaswechsel, wie sie bei manchen Fischen beobachtet ist.

Noch einen Punkt sei zu berühren erlaubt: Während wir bei den meisten Tieren eine Verdauung der aufgenommenen Nahrung außerhalb der Zellen in einem Behälter, eben dem Magen, Darm u. s. w., vor uns sehen, kennen wir unter den niederen Tieren und zwar nicht nur unter den Protozoen, sondern auch unter den Metazoen Formen, bei welchen zwar eine Leibes- oder Darmhöhlung ausgebildet ist, jedoch der chemische Prozeß der Verdauung nicht in derselben stattfindet, Tiere, bei welchen die Verdauung der Nahrung notwendig im Inneren der Zellen stattfinden muß, und vielleicht haben wir hierin den primitivsten Weg der Verdauung vor uns, der beim höher differenzierten Tier zwar im großen, für die Gesamtverdauung verlassen ist, aber für jede einzelne seiner Zellen doch immer noch statthaben muß.

Weitere Fragen, die hier auftauchen, will ich nicht verfolgen. Der Überblick über dieses eine Organsystem zeigte, wie vielerlei Probleme sich eben durch den Vergleich der Vorgänge bei verschiedenen Tierformen ergeben können.

Die resorbierte Nahrung gelangt beim Menschen und beim höheren Tier ins **Blut**. Wir wollen die Wege der Resorption und die dabei wirkenden Gesetze nicht erörtern und uns diesem Organ, dem Blut, und den Apparaten, die seine Funktionen übernehmen können, zuwenden. Beim Menschen sehen wir im Blut sehr verschiedene Funktionen vereint. Es dient einmal als Transporteur der Nahrungsstoffe, dann als Transporteur von intermediären Produkten der Gewebe des Körpers selbst, die zum Teil eine sehr große Bedeutung haben, z. B. als innere Sekrete, dann als Transporteur von Abfallstoffen, dann als Transporteur des Sauerstoffs an die Gewebe, in welchen er, soviel man weiß, in sauerstoffarme Ver-

bindungen eintritt, weiter hat es eine große Bedeutung für den Schutz des Körpers gegen gewisse Krankheiten. Und schließlich ist das ganze Organ, flüssig, so angeordnet, daß es — ganz anders als alle anderen — fortwährend durch die übrigen Organe hin- und hergetrieben wird. Hier sehen wir also schon heute eine große Zahl von Funktionen in einem Organ vereinigt. Eine vergleichende Betrachtung über Ort und Organ dieser verschiedenen Funktionen in der Reihe der Tiere lehrt uns, daß diese Funktionen durchaus nicht immer in einem Organ vereinigt sind.

Betrachten wir zunächst das Blut als Sauerstoffüberträger. Bei den Wirbeltieren kennen wir als den wirksamen Stoff das eisenhaltige Hämoglobin. Dagegen begegnet uns bei vielen Krebsen, bei den Cephalopoden und vielen Mollusken ein kupferhaltiger Eiweißkörper als Sauerstoffüberträger, das Hämocyanin. Außerdem sind noch andere derartige Stoffe beschrieben worden. In letzter Zeit hat Henze in Neapel bei den Tunicaten ein ganz auffallendes Verhalten entdeckt. Er fand nämlich in den Blutkörperchen dieser Tiere einen vanadinhaltigen organischen Körper, der bei den Oxydationsprozessen in Wirksamkeit tritt.

Es scheinen in diesem Fall ganz besondere Verhältnisse obzuwalten, denn im Innern der das Vanadinchromogen enthaltenden Zellen findet sich nicht, wie wir es sonst in den Zellen kennen, neutrale bezw. schwach alkalische Reaktion, sondern die Reaktion ist dort durch freie Schwefelsäure (3%) stark sauer!

Werfen wir einen Blick auf das Vorkommen des Hämoglobins bei wirbellosen Tieren, so haben wir dem oben Gesagten noch eine wichtige Beobachtung hinzuzufügen. Man hat nämlich bei den Wirbellosen diesen Stoff häufig auch außerhalb des Blutes, so z. B. in Muskeln, gefunden, ja es sind Fälle bekannt, in welchen das Haemoglobin überhaupt nur in Geweben, nicht in einer Flüssigkeit des Körpers vorkommt. Halten wir damit die Befunde zusammen, daß auch gelegentlich bei nächst verwandten Arten, die die Systematik in eine Gattung zusammenfaßt, so z. B. bei manchen Muscheln, bei der einen Art ein respiratorischer Farbstoff im Blut vorkommt, bei der anderen aber fehlt, so sehen wir für die Deutung der respira-

torischen Farbstoffe nach ihrer Funktion Fragen auftauchen, die beim höheren Tier sich nicht bemerkbar gemacht haben, so z. B. die Frage, ob hier gelegentlich dem, was wir respiratorisches Pigment nennen, eine andere Aufgabe zufallen könnte als eben die des Sauerstofftransportes, eine Aufgabe, die wir vielleicht noch nicht kennen. Es scheint allerdings auf der anderen Seite, daß ein respiratorisches Pigment im Tierkörper verhältnismäßig leicht zur Bildung kommt, was sein Auftreten oder Fehlen bei nächst verwandten Formen weniger auffällig erscheinen ließe. So finden wir das Hämoglobin z. B. bei den Insekten, auf die unten die Rede kommen wird, in seltenen Fällen auftretend und zwar da allerdings immer bei Formen, bei welchen man eine Sauerstoffübertragung durch das Hämoglobin nicht wird bestreiten wollen. Es ist einmal bei der Mückenlarve Chironomus die Blutflüssigkeit (nicht die Blutzellen wie beim Menschen) hämoglobinhaltig, so daß das ganze Tier eine tiefrote Färbung erhält, weil ja das Blut in allen Gewebslücken sich verbreitet, dann ist bei der Larve der Pferdebremse Gastrophilus, die im Magen des Pferdes parasitisch lebt und sich mit starken Chitindornen ein Stück weit in die Magenwand einbohrt, ebenfalls Hämoglobin sicher nachzuweisen. Ich fand hier das Hämoglobin aber nicht in der Leibesflüssigkeit, im Blut, auch nicht in den Muskeln, sondern in bestimmten Zellen abgelagert, die sehr reichlich mit Tracheen durchsetzt sind und Glykogen in beträchtlichen Mengen in sich aufgespeichert enthalten. Es ist kein Zweifel, daß auch hier dem respiratorischen Pigment eine Beziehung zur Sauerstoffübertragung zukommt. Wir werden aber bei diesen trägen Larven, die wenig Muskelbewegungen ausführen und die sich im Magen in einer Umgebung befinden, in der der Sauerstoffgehalt außerordentlich schwankt, nicht wohl annehmen dürfen, daß hier, wie bei Chironomus, das Hämoglobin den Sauerstoff an alle Gewebe heranzuführen geeignet sei. Es scheint auch, daß die Tiere mehrere Tage lang in sauerstoffreier Umgebung zu leben vermögen, und so sind wir zu der Vermutung gedrängt, ob nicht das respiratorische Pigment bei diesen Larven einem ganz bestimmten chemischen Prozeß diene, etwa den für diesen Prozeß nötigen Sauerstoff festzuhalten und bereit zu stellen habe. Ein chemischer Prozeß, dem eine solche Einrichtung dienen würde, ist leicht zu nennen, ich will

aber hier nicht darauf eingehen und nur bemerken, daß diese Tatsache uns vielleicht auch beim höheren Tier an die Möglichkeit denken läßt, daß dem Hämoglobin neben seiner respiratorischen Funktion im allgemeinen gelegentlich auch noch im einen oder anderen Falle spezielle Funktionen bei chemischen Prozessen zukommen können.

Wenden wir uns den Tieren ohne respiratorisches Pigment zu, so haben wir hier prinzipiell drei Möglichkeiten zu unterscheiden, die alle drei im Tierreich realisiert sind. Der unserem Verständnis zunächst leichter zugängliche Weg besteht darin, daß die Tiere zwar einen sehr regen Sauerstoffbedarf besitzen, daß für diesen aber ohne respiratorisches Pigment gesorgt ist. Dieser Fall findet sich besonders bei den Insekten, Spinnen etc. verwirklicht. Hier ist dem Blut die Aufgabe, das respiratorische Pigment zu führen, entzogen, der Sauerstoff wird durch ein völlig gesondertes Kanal- und Kapillarsystem an die einzelnen Zellen herangeführt, durch das Tracheensystem; so macht sich auf diesem Wege in einer sehr vollkommenen Weise die Ausbildung eines respiratorischen Blutes überflüssig. Damit hängt es wohl auch zusammen, daß bei diesen Tracheentieren, die ja einerseits sehr komplizierte Leistungen zu vollführen vermögen — ich erinnere nur z. B. an das sehr vollkommene Flugvermögen, das sehr vielen Insekten zukommt und das u. a. auch eine sehr reichliche Sauerstoffversorgung verlangt, oder an die Eigenwärme, die die Bienen sich in gewissem Grade zu erhalten vermögen — doch keine so vollkommene Ausbildung des Blutgefäßsystems bis zur Aufzweigung in feinste Kapillaren zustande gekommen ist. Man möchte vermuten, daß für die Aufgaben, die dem Blute nach Ausschluß des Gasaustausches noch zufallen, eine derartige Anordnung, wie wir sie bei den funktionell hochstehenden Tieren mit respiratorischem Blut kennen, nicht erforderlich ist, und daß weiterhin gerade diese respiratorische Funktion des Blutes bei den höher differenzierten Tieren die Ursache für die vollkommene Ausbildung des Kreislaufes bildet. Für die Insekten ist ohne respiratorisches Pigment durch die Tracheen der Herantritt des Sauerstoffs an die Zellen unter etwa derselben Spannung gewährleistet, wie wir sie beim Säugetier im Blut beobachten. In der Luft finden wir ungefähr 21 Volumprozente Sauerstoff,

und um 20 Volumprozente Sauerstoff finden sich auch in unserem arteriellen Blut. — Der Unterschied gegenüber dem Sauerstoffgehalt, der den im Wasser lebenden Tieren zugänglich ist, ist hier sehr groß, denn in einem Liter Wasser z. B. eines Flusses, Sees finden wir z. B. nur 6—8 ccm Sauerstoff absorbiert, während in einem Liter Blut nach dem Gesagten über 200 ccm sich finden. Daraus ergibt es sich, daß für die im Wasser lebenden Tiere die Sauerstoffversorgung weniger günstig liegt, daß also gerade für diese Tiere die Ausbildung besonderer Apparate für die Aufnahme von Sauerstoff wichtig erscheint. Wir kennen diese Organe als Kiemen bei den verschiedenen Tierklassen in recht verschiedener Ausbildung.

Bei diesen im Wasser lebenden Tieren findet sich nun, auch wenn sie kein respiratorisches Pigment besitzen und auch eines Organs, das wir als Kiemen bezeichnen könnten, entbehren, doch noch eine weitere Möglichkeit, wie sich bei ihnen der Sauerstoffbedarf in einem relativ beträchtlichen Maße decken läßt. Betrachten wir die eigentlich im engeren Sinn an den Lebensprozessen beteiligte Masse der Tiere, so können wir dafür ein ungefähres Maß finden in der Menge an organischer Trockensubstanz, die das betreffende Tier enthält. Da findet sich nun, daß, während z. B. beim Menschen ungefähr $^2/_3$ des Gewichtes aus Wasser, ein ganzes Drittel aber aus Trockensubstanz besteht, bei gewissen niederen Seetieren die Verhältnisse hier von Grund aus andere sind. Es beläuft sich dort die organische Trockensubstanz in manchen Fällen kaum auf 1 % des Gewichtes des Tieres! Es ist also dort, (auch wenn wir beim Menschen einen gewissen Betrag für die anorganischen Bestandteile in den Knochen u. s. w. in Abrechnung bringen), die lebende organisierte Masse viel verdünnter als bei uns, und es ist dementsprechend auf dieselbe Gewichtsmenge oder auf dieselbe Oberflächengröße des Tierkörpers bezogen der Sauerstoffbedarf schon durch diese Verdünnung des lebenden Gewebes um ein mehrfaches geringer als bei einem Organismus, dessen lebendes Gewebe konzentrierter ist. Es wird also dort — selbst einen gleichen Sauerstoffbedarf vorausgesetzt wie beim höher differenzierten Tier — doch, auf die Einheit lebender Substanz berechnet, dieser Bedarf um ein mehrfaches kleiner sein. Dabei habe ich bei dieser Erörterung den Einfluß der

Temperatur nicht in Rechnung gezogen, und auch dieser spricht wieder bei diesen einfach gebauten Tieren zugunsten dieser Einrichtung, denn wir haben beim Warmblüter schon allein infolge der dauernd erhöhten Temperatur von ca. 37° oder mehr eine aufs mehrfache gesteigerte Intensität der chemischen Prozesse zu konstatieren gegenüber Tieren, die bei bedeutend niedrigeren Temperaturen leben, wie wir sie im Meer und im Süßwasser allermeist beobachten.

Eine zweite Möglichkeit einer verhältnismäßig reichlichen Sauerstoffversorgung für Tiere, die kein respiratorisches Pigment besitzen, ist auf eine von Grund aus andere Weise im Tierreich realisiert, nämlich durch die Aufnahme von „Parasiten“ in das tierische Gewebe. Hier ist eine Pflanze Parasit oder, wie wir richtiger sagen müssen, der Gesellschafter oder Mitarbeiter, der Symbiont des Tieres, und es scheint so, daß diese Vergesellschaftung für beide Wesen Nutzen bringt. Die Pflanze, es handelt sich hier um Algen, z. B. Zoochlorella u. a., die in den Zellen von gewissen Aktinien und auch anderen niederen Tieren, besonders im Meer, leben, bildet bei ihrer assimilatorischen Tätigkeit Sauerstoff, den das tierische Gewebe aufnimmt. Das Tier dagegen liefert bei seinen chemischen Prozessen neben anderen Stoffen Kohlensäure, die die Pflanze ihrerseits verwerten kann. Natürlich kann dieser ganze Prozeß nur am Tage bezw. bei Licht stattfinden, und man hat beobachten können, daß tatsächlich mit Steigerung der Belichtung auch die assimilatorische Tätigkeit der Pflanze anwuchs. Die Frage, ob die gelegentlich in Tieren beobachteten chlorophyllähnlichen Substanzen, wenn sie nicht parasitischen oder symbiotischen Pflanzen angehören, eine Bedeutung ähnlich wie in der Pflanze besitzen, will ich nur erwähnen, jedoch hier nicht verfolgen.

Betrachten wir jetzt den dritten Weg, der bei der Bildung von Tieren ohne respiratorisches Pigment eingeschlagen ist! Dieser Weg führt uns in die Mitte der chemischen Prozesse, auf denen sich das tierische Leben aufbaut. Hier haben wir Tiere vor uns, welche keinen Sauerstoff bedürfen, also in dieser Hinsicht vergleichbar sind mit manchen Bakterien und Mikroben, die ebenfalls ohne Sauerstoff gedeihen. Hier ist auch die kleine Menge Sauerstoff, die im Wasser den Tieren zur Verfügung

steht, nicht mehr notwendig. Und so haben wir es vorwiegend mit Tieren zu tun, welche in sauerstoffarmen und sauerstoffreien Medien leben können. Wir finden Repräsentanten dieser Gruppen von Tieren im Schlamm, in faulenden Sümpfen und ganz besonders im Innern anderer Tiere, im Darmkanal, da wo eine Versorgung mit Sauerstoff nicht mehr statthat. Zu diesen Tierformen gehören zahlreiche Repräsentanten der Würmer, die Bandwürmer, Fadenwürmer, viele Saugwürmer u. a., ferner eine beträchtliche Reihe von Protozoen und gelegentlich auch von den anderen Tierklassen einzelne wenige Repräsentanten.

Bei diesen Tieren ist eine Zufuhr und ein Bedarf von elementarem Sauerstoff für den Ablauf der Lebensvorgänge nicht erforderlich. Die chemischen Prozesse, die in diesen Tieren sich abspielen, beschränken sich auf einen Teil der chemischen Prozesse, die in den unter Verwertung von elementarem Sauerstoff lebenden Tier stattfinden. Man hat deshalb diese Tiere als anoxybiotisch lebende zu den oxybiotisch, d. h. mit Verwertung elementaren Sauerstoffs lebenden in Gegensatz gestellt.

Es ist nur ein Teil der Kette von chemischen Prozessen, die bei den oxybiotischen Tieren sich aneinanderreihen, der den anoxybiotischen Tieren eignet.

Eine besonders wichtige Folge davon wird es sein, daß die anoxybiotischen Tiere — die Verwendung der gleichen Nahrungsstoffe vorausgesetzt — niemals den gesamten Energiegehalt, die gesamte Verbrennungswärme, die bei totaler Oxydation dieser Nahrungsstoffe frei werden kann, für ihre Lebensprozesse verwerten können, sondern nur einen, gewöhnlich kleinen, Teil derselben, eben den Teil, der bei Zersetzung des Nahrungsstoffmoleküls ohne Eintritt von Sauerstoff frei werden kann, also etwa ein Analogon der Wärmemenge, die bei der Zuckergährung durch die Hefe, wobei Alkohol und Kohlensäure entsteht, frei wird. Die Hauptmenge der in dem Nahrungsstoff Zucker enthaltenen Energie wird bei der Hefegärung in dem gebildeten Alkohol abgegeben. — Neben diesem ist zu beachten, daß sich nicht alle Nahrungsstoffe gleicherweise für einen anoxybiotischen Prozeß, bei dem Energie frei werden soll, eignen.

Wir haben bei der Beurteilung dieser Frage besonders den Sauerstoffgehalt eines Moleküls ins Auge zu fassen: bei einem Molekül, das sehr wenig Sauerstoff enthält, ist bei einer Zer-

setzung des Moleküls, bei einem sogenannten intramolekularen Atmungsvorgang nicht auf das Freiwerden irgend nennenswerter Energiemengen zu hoffen, und so sehen wir dementsprechend bei keinem der anoxybiotisch lebenden Tiere, die bis jetzt in dieser Hinsicht untersucht worden sind, ein derartiges Leben auf Kosten von Fett sich abspielen. Das Fett bezw. die Fettsäuren sind für derartige Tiere ein wertloser Stoff und werden von ihnen ausgeschieden wie die Buttersäure von dem Buttersäurebazillus bei der Buttersäuregärung des Zuckers. Auch das Eiweiß scheint für diese Anoxybionten nicht als Energiequelle in Betracht zu kommen. Es hat sich wenigstens noch kein derartiger Fall auch nur wahrscheinlich machen lassen, und eine Betrachtung der Spaltstücke des Eiweißmoleküls lehrt uns, daß auch für das Eiweißmolekül eine Gewinnung von Energie durch intramolekulare Sauerstoffverschiebung nicht wahrscheinlich ist. Der einzige Weg, den man bis jetzt bei Anoxybionten aus sehr verschiedenen Tierklassen (Protozoen, Würmern, Insektenlarven) hat feststellen können, besteht in einer Zersetzung von Zucker bezw. von Kohlenhydraten. Hier haben wir innerhalb des Moleküls einen nicht unbeträchtlichen Gehalt an Sauerstoff, und so ist es durch dessen Verschiebung innerhalb des Moleküls bei der Zersetzung möglich, daß bei diesen Zersetzungsprozessen Energie frei wird, sei es nun, daß es sich dabei um eine alkoholische Gärung wie bei der Hefe, um eine Buttersäuregärung wie bei dem Buttersäurebazillus oder um eine Baldriansäuregärung wie bei dem Spulwurm handelt. Es ist natürlich, daß die Voraussetzung einer solchen Einrichtung die sein muß, daß für den betreffenden anoxybiotischen Organismus genügend Material für seinen Raubbau zur Verfügung stehen muß. Dies ist aber vor allem bei dem parasitisch lebenden Tier wohl allermeist gewährleistet, denn der Parasit nimmt an den reichen Vorräten, die sein Wirt für sich gewonnen hat, ohne jede Beschränkung teil. So ist es für ihn möglich, obgleich er nur einen kleinen Teil des wertvollen Energiegehaltes dieser Vorräte für sich verbrauchen kann, doch seinen Bedarf zu decken. Eine Verschwendung, wenn wir einen Begriff aus dem menschlichen Leben hier anwenden wollen, ist für diese Tiere Bedürfnis und Notwendigkeit.

So sehen wir somit einen dem bei den Insekten eingeschlagenen

diametral entgegengesetzten Weg bei diesen anoxybiotisch lebenden Tieren eingeschlagen, und auch auf diesem Wege ist das Bestehen von relativ kompliziert gebauten Tieren, wie Würmern mit Muskeln, Nervensystem, Sinnesorganen, möglich geworden.

M. H.! Ich muß es mir versagen, weiter vor Ihnen die Erörterung dieser Fragen abzurollen. Vielleicht haben Sie schon aus diesen Darlegungen gesehen, wie mannigfaltig die Probleme des Gebietes der vergleichenden Physiologie zu werden versprechen, und ich darf vielleicht, was Sie selbst auch empfunden haben werden, hinzufügen, daß hier bei der physiologischen Betrachtung der Tierwelt die Funktion weitaus in den Vordergrund rückt, daß hier das Organ wohl eine Strecke Weges als äußerst wertvoller Geleiter und Wegweiser dienen kann, daß aber schließlich unter, man möchte fast sagen souveräner, Hintansetzung des Organs die Realisierung des Lebens und der Ablauf in ihrer Wirkung ähnlicher Funktionen auf sehr verschiedenen Wegen möglich wird.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Sitzungsberichte der Physikalisch-Medizinischen Sozietät zu Erlangen

Jahr/Year: 1913

Band/Volume: 45

Autor(en)/Author(s): Weinland Ernst Friedrich

Artikel/Article: Uber einige Aufgaben und Fragen der vergleichenden Physiologie. 137-153