

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

Zwölfter Jahrgang

20. Juni 1924

Heft 25

Die Regelung des Stoff- und Energieverbrauchs beim Wachstum der Wirbeltiere.

Von MAX RUBNER, Berlin.

Von den Lebensvorgängen ist das Wachstum wohl der packendste und geheimnisvollste, das Ewig-Junge, der Aufbau aus totem Material zur Jugendkraft und zum Empfang vererbbarer Eigenschaften. Das Verständnis der inneren Vorgänge bleibt uns noch verschlossen, wenn auch die letzten Jahrzehnte uns Vieles und Ungeahntes enthüllt haben. Die nüchterne Auffassung sieht im Wachstum nur den Massengewinn, die menschliche Statistik drängt nach Feststellung von Gewicht und Längenmaßen als Normen einer gesunden Entwicklung eines Kindes.

Bleibt uns auch vorläufig gerade das Spannendste und Tiefste in der Wachstumsfrage noch ungelöst, so können wir dies wunderbare Geschehen wenigstens in ernährungsphysiologischer und chemischer Hinsicht in Angriff nehmen und ersehen, wie die Natur nach einfachen Grundsätzen arbeitet und dieselben Prinzipien im weitem Bereiche alles Lebenden zur Geltung und Wirkung bringt. Diese Zusammenhänge zu erfahren, habe ich mich seit langem bemüht und hoffe aus dem Komplizierten und Mannigfaltigen die Grundzüge des Werdens schildern zu können.

Die primitive Auffassung betrachtet das Wachstum, d. h. die Massenbildung einfach als Gewinn aus einer reichlichen Ernährung des jugendlichen Organismus, begründet auf vererbte Eigenschaft.

Demgegenüber habe ich vergleichend physiologisch schon vor langen Jahren gezeigt, wie Wachstum, d. h. Synthese stets mit dem Abbau von Stoffen — der Dissimilation oder dem Betriebsstoffwechsel — selbst bei den Mikroben verbunden ist¹⁾. Bis in alle Einzelheiten hinein, habe ich diese Vorgänge bei der Hefezelle verfolgt²⁾.

Bei den Säugern verhält es sich nicht anders. Weiter stehen Betriebsstoffwechsel und Wachstumsgewinn in engem Zusammenhang so, daß, je größer der relative Betriebsstoffwechsel durch die Kleinheit eines Tieres wird, desto stärker der Nahrungsgewinn anschwillt. Der Betriebsstoffwechsel stellt aber keine „Wachstumsarbeit“ dar, also keine Vermittlung von Energie zum Aufbau, er ist nicht kleiner, auch wenn man das Wachstum künstlich hemmt und den Stoffwechsel allein weiter sich auswirken läßt.

Lassen wir die ganze Entwicklung eines Tieres von der Geburt an an uns vorüberziehen, so ist der

¹⁾ Über die Wärmebildung durch Mikroorganismen. Hyg. Rendster 1903, S. 875 und Arch. f. Hyg. 57, 162.

²⁾ Die Ernährungsphysiologie der Hefezelle. 1912. Monographie.

tägliche Zuwachs pro Kilogramm anfänglich groß, von der Grundsumme der pro Kilogramm verzehrten Nahrung wird ein großer Teil und später ein immer kleiner werdender zur Leibessubstanz, bis das Ende des Wachstums gekommen ist¹⁾. Die morphologischen Veränderungen der Körper beim Wachstum kennt man für die erste Entwicklungszeit sehr genau, aber über das spätere Stadium embryonaler Umwandlung ist nicht einmal grob anatomisch Näheres sichergestellt, noch weniger wissen wir über die extrauterinen Umwandlungen. Für den erwachsenen Menschen ist das Material geradezu dürftig.

Fassen wir aber das Problem physiologisch-chemisch an, so kommen wir bald um einen entscheidenden Schritt weiter. Von JNABA sind in meinem Laboratorium Untersuchungen *ganzer* Tiere, Kaltblüter und Warmblüter ausgeführt worden, aus denen wir eine Reihe wichtiger Schlüsse ziehen können²⁾. Zunächst fällt uns auf, daß im Grunde genommen die fettfreie Trockensubstanz verschiedener Tiere ganz ähnlich war. Dagegen stößt man auf wichtige Unterschiede, wenn man den Wassergehalt verschieden alter Tiere untersucht. Im ausgewachsenen Zustand stimmen sie so gut wie vollkommen überein, je jünger ein Tier aber ist, desto mehr Wasser enthalten die Zellen.

Ein menschlicher Embryo des 6. Monats hat nur 9,72 Trockenabsatz, der Hühnerembryo vom 7. Tage 6,7%. Die erste Entwicklung mag etwa mit einem Wassergehalt von 94–95% beginnen, bei der Geburt der Wassergehalt noch hoch, dann nimmt er allmählich ab. Genaueres wissen wir vorläufig über das extrauterine Verhalten nur über den Hund und die Katze³⁾.

Das Protoplasma zeigt also im Laufe der Entwicklung einen verschiedenem Grad der Quellung. Alle Erfahrungen über den Energieverbrauch im Betriebsstoffwechsel lassen erkennen, daß der ungleiche Kolloidzustand *keinen Einfluß* auf ersteren besitzt⁴⁾. Welche Bedeutung kommt dem Quellungszustand aber zu?

Diese Frage läßt sich am leichtesten bei der Hefe lösen, indem man sie plasmolysiert, was durch Zusatz von Kochsalz geschehen kann. Als Ergebnisse mannigfach variiert Versuche fand ich für

¹⁾ Das Problem der Lebensdauer. 1908.

²⁾ Arch. f. Physiol. 1911.

³⁾ C. THOMAS, Arch. f. Physiol. 1911.

⁴⁾ Die Beziehung des Kolloidzustandes der Gewebe für den Ablauf des Wachstums. 1923. Sitzungsber. d. Akad. d. Wissensch. XXIV.

die Gärfähigkeit (Betriebsstoffwechsel) der Hefe folgendes:

Kochsalzgehalt	Leistung	Trockenheit der Hefe
0%	100	13,4%
4%	100	21,0%
8%	69,6	26,11%
12%	21,7%	35,7%
16%	1,8%	37,1%

Zwischen 13—21% Trockensubstanz der Hefezelle ist also keine Rückwirkung auf die Gärung zu verzeichnen; dagegen wird das Wachstum schon durch geringe Veränderung des Wassergehaltes beeinflusst.

Wachstum bei 0% Kochsalz	= 100
„ „ 2%	= 42,8
„ „ 3%	= 12,4
„ „ 4%	= 0

Durch Plasmolyse können wir also die Verhältnisse zwischen Betriebsstoffwechsel und Wachstum bei der Hefe beliebig variieren. Der Kolloidzustand erweist sich also als ein Mittel zur wesentlichen Veränderung der Art der Ernährungsverhältnisse. Es liegt daher auch nahe, die Erfahrungen an Hefe auf das Wachstum tierischer Zellen zu übertragen. Die Wachstumsgröße darf man sich als reguliert denken durch die Änderung des Kolloidzustandes der Zellen. Wahrscheinlich ist eine der Funktionen der endokrinen Wachstumsdrüsen diese Regulierung des Aufbaues der Zellkolloide mit dem Ziel einer allmählichen Konzentrierung des Protoplasmas.

Mit dem Wachstum geht eine Massenveränderung der Tiere vor sich¹⁾. Diese bedingt, wie wir bestimmt wissen, eine Änderung des relativen Betriebsstoffwechsels. Je größer ein Tier wird, desto weniger Calorien pro Kilogramm werden verbraucht. Bei den Säugern kann man weiter beobachten, daß ausgewachsene Organismen verschiedener Größe und wachsende Organismen gleicher Größe (z. B. Vergleich Kind und Zwerg) den gleichen Betriebsstoffwechsel haben. Es besteht also ein allgemeiner Zusammenhang zwischen Masse und Energieverbrauch, und zwar wie ich zuerst gefunden habe, beim Warmblüter ein Energieverbrauch, der der Oberfläche proportional geht, weil hier die abkühlenden Verhältnisse maßgebend sind. Diese scharfe Einstellung bedingt die chemische Wärmeregulation, welche sehr fein thermisch abgestimmt ist. Diese Regulation ist keine „motorische“, d. h. durch nachweisbare Muskelbewegungen hervorgerufen, ja vielleicht steht sie, wie manche heute annehmen, mit den Muskeln überhaupt nicht in Beziehung. Beim Menschen tritt sie unter geeigneten Umständen in Wirksamkeit.

Es gibt eine kritische Temperatur, bei der die Warmblüter ohne jede Regulation im Wärme Gleichgewicht sich halten (meist bei 30—33° Luftwärme), wobei für gleiche Oberflächen gleiche Wärmemengen abfließen. Bei höherer Luftwärme

¹⁾ Über die Bildung der Körpermaße im Tierreich und deren Beziehung zum Energieverbrauch. 1924. Sitzungsber. d. Akad. d. Wissensch.

kommt dann die physikalische Regulation zur Wirksamkeit (vor allem Wasserverdunstung). Wie verhält sich aber Masse des Körpers zum Betriebsstoffwechsel beim Kaltblüter? Ich habe hierüber eingehende Untersuchungen angestellt. Manche Autoren haben ohne weiteres angenommen, daß das Oberflächengesetz auch hier gelten wird. Dazu liegt, da dieses auf thermischer Grundlage basiert, kein Anlaß vor. Man kann aber nachweisen, daß große und kleine Fische z. B. im relativen Betriebsstoffwechsel verschieden sind, ein Unterschied, der verschwindet, wenn man auf gleiche Oberfläche rechnet, und doch hat die Oberfläche mit dem Energieumsatz bei den Kaltblütern nichts zu schaffen. Untersucht man nämlich Amphibien und Reptilien, so sind diese in ihrer Form sehr verschieden, d. h. auf gleiche Masse treffen sehr verschiedene Oberflächen, die zwischen einem Frosch und einer Schlange um das Vierfache differieren können. Auch bei diesen Tieren findet man bei einer Spezies, daß große und kleine Tiere im Energieverbrauch sich unterscheiden, aber in den Oberflächenwerten übereinstimmen, dagegen verliert die Oberfläche als Hilfsmittel der Rechnung jeden Sinn, sobald man Tiere verschiedener Wuchsform, z. B. einen Frosch mit einer Schlange, vergleichen will.

Die bestehenden Zusammenhänge zwischen Masse und Energieverbrauch, wie sie wenigstens bei dem Wachstum einer Spezies nicht zu verkennen sind, müssen in der Natur des Wachstums überhaupt begründet sein, da man ihnen sonst nicht in so allgemeiner Weise, wie es tatsächlich der Fall ist, begegnen könnte. Die Erklärung gibt folgende Betrachtung.

Es handelt sich bei der Beziehung von Masse zum Energieverbrauch überall um eine Minderung des Energieverbrauchs mit zunehmender Masse, die mit jeder Teilung der Zellen, also jeder Verdoppelung der Masse und dem gleichen Prozentsatz in Rechnung zu stellen ist. Daher auch bei Anlehnung an irgendeine Formel zur Oberflächenberechnung die Unterschiede verschieden großer Tiere abgeglichen werden.

Welche Aufgabe kann diese Erscheinung in der biologischen Welt aber haben? Der Zusammenhang ist höchst einfach, wenn wir uns klarmachen: Das Wachstum beginnt bei allen Wirbeltieren mit einer rasch verlaufenden Zellteilung, die in der Geschwindigkeit hinter der von manchen Mikroben nicht zurückbleibt. Dementsprechend muß auch der Betriebsstoffwechsel anfangs ein sehr großer sein. Auch im intrauterinen Leben erfolgen die ersten Verdoppelungen des Embryo mit weit größerer Geschwindigkeit wie die späteren Teilprozesse. Der Betriebsstoffwechsel des Hühnerembryo ist in der ersten Zeit des Lebens viel größer als im späteren Verlauf des Wachstums. Menschliche Frühgeburten haben einen relativ größeren Betriebsstoffwechsel wie Normalgeburten usw. Das Leben beginnt also mit einer *vita maxima*, die weit höher liegt als die Intensität des Energieverbrauchs der Eltern. Daher muß im Verlauf der

Entwicklung mit der sich wiederholenden Verdoppelung des Gewichtes der Energieverbrauch sich ändern, bis die Größe des elterlichen Energieverbrauchs im ausgewachsenen Zustande erreicht ist. Kausal besteht keinerlei Zusammenhang mit der Oberfläche, außer bei dem Warmblüter, der zu dieser Anpassung an die abkühlenden Verhältnisse seine besondere Wärmeregulation besitzt. Wie sich die Reduktion des Energieverbrauchs mit der Masse vollzieht, ist schwer zu sagen, will man nicht auch wieder an hormonale Einflüsse denken, so wäre ja auch die Möglichkeit gewissermaßen einer Bindung von „Affinitäten“, welche den Energieverbrauch bestimmen, vorauszusetzen. Die vorstehenden Untersuchungen ergeben uns einen allgemeinen Einblick in das Entstehen des Massenwachstums der Kalt- und Warmblüter. Die individuelle Größe beruht zwar auf vererbten Eigenschaften, die Dauer des Wachstums, die Zahl der Verdoppelungen des Gewichtes wird reguliert durch die mehr oder minder rasche Änderung des Kolloid-

zustandes der Zellen. Mit der wiederholten Verdoppelung der Massen greift der zweite Faktor im Leben ein, die Reduktion der relativen Größe des Betriebsstoffwechsels. Das führt zu mancher paradoxen Erscheinung, wie z. B. zum gleichen relativen Betriebsstoffwechsel bei einem Pferde und einem kleinen Goldfisch! Wie in den Grundzügen der Leitung des Wachstums zwischen Wirbeltieren verschiedenster Art kein Unterschied besteht, so läßt sich auch hinsichtlich des Stoffwechsels im engeren Sinne ein Unterschied zwischen Kalt- und Warmblütern nicht nachweisen, nur in den Zeiten des Geschehens hängen die Poikilothermen ganz von der Leibtemperatur ab, die meist niedrig ist und deshalb schier ins Ungemessene sich dehnen können.

Gegenüber der Buntheit des morphologischen Äußeren der Tiere sind vor allem die ernährungsphysiologischen Prozesse also von erstaunlichster Einfachheit¹⁾.

¹⁾ Kraft und Stoff im Haushalt der Natur. 1909.

Über die Verwandlung der Elemente durch Atomzertrümmerung. I.

VON GERHARD KIRSCH und HANS PETERSSON, Wien.

Während Jahrhunderten war das äußerste Ziel für die Erforschung der Materie die Verwandlung der Elemente, die Transmutation unedler Metalle in Gold. Die großen Entdeckungen am Anfange des 19. Jahrhunderts, woraus die moderne Chemie entstand, schien diesen alten Traum der Alchimisten endgültig zu vernichten. Die Hypothese von den Elementaratomen als unwandelbaren Bausteinen der Materie wurde für das folgende Jahrhundert der Forschung beinahe zu einem Dogma, wenn auch vereinzelt kühnere Geister nach einem Urstoff suchten, aus dem alle die verschiedenen Grundstoffe zusammengesetzt sein sollten. Nach der bekannten Hypothese von PROUVERE wäre der Wasserstoff das leichteste von allen Elementen, das „Proton“, aus dessen Atomen die Atome der anderen, schwereren Elemente aufgebaut sein sollten. Erst bei der letzten Jahrhundertwende wurde das Dogma von der Unzerstörbarkeit der Atome erschüttert durch die Entdeckung der radioaktiven Phänomene. Es zeigte sich, daß die Atome von gewissen Grundstoffen einer spontanen Verwandlung unterliegen, wobei Atomfragmente, sog. α - oder β -Partikeln, mit enorm hohen Geschwindigkeiten ausgeschleudert werden. Die erstgenannten Partikeln sind elektrisch geladene Atome des Edelgases Helium, welche also ein Nebenprodukt des radioaktiven Zerfalles sind. Die β -Partikeln sind dagegen identisch mit den Elektronen, den negativen Elektrizitätskorpuskeln, welche man schon früher als einen universellen Bestandteil der Materie erkannt hatte. Der Atomrest nach dem Zerfall wiederum ist ganz verschieden von dem ursprünglichen Atom und gehört zu einem anderen Grund-

stoff. Zwar schien der alte Traum der Alchimie durch diese Entdeckungen verwirklicht, aber die Aussichten, eine künstliche Atomverwandlung zu erreichen, waren anscheinend nicht groß. Erstens mißlangen alle Versuche, den radioaktiven Zerfall durch äußere Eingriffe zu beeinflussen; die stärksten erreichbaren elektrischen oder magnetischen Felder, Erhitzen auf Weißglut oder Abkühlung mit flüssigem Wasserstoff waren vollkommen wirkungslos. Zweitens sind die enormen Energiemengen, welche bei dem radioaktiven Zerfall entwickelt werden, ein Beweis für die Größe der Kräfte, welche die Stabilität der Atome aufrechterhalten, Kräfte, die überwunden werden müssen, ehe eine Verwandlung der Elemente erzwungen werden kann.

SIR WILLIAM RAMSAY war anscheinend der erste, welcher den Gedanken hatte, die bei dem *freiwilligen* radioaktiven Zerfall in außerordentlich konzentrierter Form auftretende Energie zum Hervorbringen eines *erzwungenen* Zerfalls zu verwenden. Es entspricht ja die Anfangsgeschwindigkeit der schnellsten α -Partikeln aus Radium C der molekularen Bewegungsenergie eines auf mehr als 60 Milliarden Grad Celsius erhitzten Körpers! Die Versuche von RAMSAY, auf spektroskopischem oder gar chemischem Weg die Neubildung von Grundstoffen in mit Radiumemanation behandelten Lösungen von Kupfer-, Thorium- oder Zirkoniumsalzen sowohl als die Bildung von Neon aus Radiumemanation und Wasser festzustellen, ergaben zwar nach RAMSAYS Meinung positive Resultate, hielten aber der kritischen Nachprüfung seitens anderer Forscher nicht stand.

Das Mißlingen dieser Versuche von RAMSAY