

Weitere Untersuchungen über die Athmung der Würmer.

Von

G. Bunge,

Professor der physiologischen Chemie in Basel.

(Der Redaction zugegangen am 28. October 1889.)

In einer früheren Mittheilung¹⁾ habe ich gezeigt, dass die im Dünndarm der Katze lebenden Spulwürmer (*Ascaris mystax*) in vollkommen sauerstofffreien Medien 4 bis 5 mal 24 Stunden leben und während dieser Zeit fast ununterbrochen lebhaft Bewegungen ausführen. Ich habe diese Versuche vielfach an anderen *Ascaris*arten wiederholt. Ein sehr bequemes Versuchsobject ist die im Darne des Hechtes häufig vorkommende *Ascaris acus*, weil dieses Thier bei Zimmertemperatur am Leben erhalten wird. Ich habe die Versuche an 9 Exemplaren angestellt. Dieselben lebten nach vollständiger Sauerstoffentziehung²⁾ 4 bis 6 mal 24 Stunden. Die Bewegungen waren jedoch nicht so lebhaft wie bei *Ascaris mystax*.

Ich stellte nun Versuche an grösseren *Ascaris*arten an in der Hoffnung, die Stoffwechselproducte derselben kennen

¹⁾ Ueber das Sauerstoffbedürfniss der Darmparasiten. Diese Zeitschrift, Bd. 8, S. 48, 1883.

²⁾ Die Methoden der Sauerstoffentziehung habe ich in der früheren Mittheilung ausführlich beschrieben.

zu lernen. Dieses wäre in sofern von hohem Interesse, als wir hier eine Gelegenheit hätten, die Spaltungsprocesse getrennt von den Oxydationsprocessen zu studiren. Insbesondere war es mir darum zu thun, die Richtigkeit einer Ansicht über die Vorgänge der inneren Athmung zu prüfen, welche heutzutage immer mehr Anhänger gewinnt, — der Ansicht, dass bei den Spaltungsprocessen in den thierischen Geweben energisch reducirende Substanzen — nascirender Wasserstoff und leicht oxydirbare organische Stoffe — sich bilden, dass diese aus dem Sauerstoffmoleküle das eine Atom binden und dadurch dem anderen active Eigenschaften ertheilen. In den sauerstofffreien Medien, in welchen die Ascariden sich bewegten, mussten diese reducirenden Spaltungsproducte sich ansammeln. Ihre Menge musste grösser sein als bei sauerstoffathmenden Thieren, weil die Darmparasiten die lebendige Kraft zur Verrichtung ihrer Functionen nur aus der einen Quelle schöpfen, aus der Spaltung, die Sauerstoffathmer dagegen aus einer zweifachen, der Spaltung und der Oxydation. Thatsächlich haben die Ascariden und überhaupt die parasitischen Nematoden stark entwickelte Excretionsorgane, aber keine Respirationsorgane¹⁾. Es musste also an grösseren Ascariden die Frage sich entscheiden lassen, ob unter ihren Stoffwechselproducten leicht oxydirbare Substanzen auftreten. Insbesondere konnte sich entwickelnder Wasserstoff der Untersuchung nicht entgehen.

Ich versuchte zuerst mit der grössten uns bekannten Ascarisart zu experimentiren, der *A. megalocephala* aus dem Darne des Pferdes, aber diese Thiere erwiesen sich als wenig resistent. Es ist mir nicht gelungen, dieselben unter künstlichen Bedingungen länger als 2 Tage am Leben zu erhalten.

Ich stellte daher die Versuche mit den Ascariden des Schweines (*A. lumbricoides*) an. Diese lebten nach voll-

¹⁾ H. Charlton Bastian, Philos. Trans., Vol. 156, Part. II, 1866, p. 602–604.

ständiger Sauerstoffentziehung 5 bis 7 mal 24 Stunden. Wurden sie in ausgekochter 1% Kochsalzlösung über Quecksilber abgesperrt, so liess sich eine bedeutende Gasentwicklung beobachten. Das entwickelte Gas wurde von Kalilauge vollständig absorbiert, war also reine Kohlensäure und enthielt keinen Wasserstoff. Die Menge der entwickelten Kohlensäure war stets eine sehr bedeutende; sie betrug am Schlusse der 5- bis 7tägigen Versuche — wenn man die in der Kochsalzlösung absorbierte Kohlensäure hinzurechnete — auf jedes Gramm vom Körpergewichte des Thieres ungefähr 5 bis 10 ccm.

Ich stellte mir nun die Frage, ob neben der Kohlensäure reducirende Spaltungsproducte abgeschieden werden.

Ein grosses Reagensglas wird zur Hälfte mit Quecksilber gefüllt. Das Quecksilber wird ausgekocht. Darauf wird der Rest des Glases mit 1% Kochsalzlösung gefüllt und wiederum ausgekocht. Nun wird das Glas in kaltes Wasser getaucht. Nach wenigen Minuten ist dasselbe auf Körpertemperatur abgekühlt, der 3,65 gr. wiegende Wurm wird hineingebracht, das Glas mit dem Daumen geschlossen und in eine Quecksilberwanne umgestülpt. Ein sichtbares Luftbläschen ist nicht hineingerathen. Die Höhe des sperrenden Quecksilbers beträgt aussen und innen am Glase 9 cm. Die Menge der Kochsalzlösung beträgt 27 ccm. Der ganze Apparat wird in einen Raum gestellt, in welchem die Temperatur zwischen 35° und 38° C. schwankt. Um die Mitte des dritten Tages beginnt sich Gas über der Salzlösung zu sammeln. Am Anfange des sechsten Tages sind die Bewegungen des Thieres, welche in den ersten Tagen lebhaft waren, nur noch sehr träge und um die Mitte des sechsten Tages wird es todt gefunden. Der Apparat wird nun auf Zimmertemperatur abgekühlt und das Gas über der Kochsalzlösung dadurch auf einfachen Atmosphärendruck gebracht, dass die Höhe der Quecksilbersäule aussen und innen am Reagensglase genau gleich gemacht und so viel Kochsalzlösung in das umgebende Gefäss gegossen wird, dass auch die Salzlösung innen und aussen am Glase gleich hoch steht. Das Gasvolumen beträgt jetzt ungefähr

8,8 cbem.¹⁾ Ich brachte nun in ein kleines, mit einem Schnabel versehenes Reagensgläschen über Quecksilber 1,3 cbem. reinen Sauerstoffes — bei gewöhnlichem Druck und Zimmertemperatur abgelesen —. Diese Sauerstoffmenge wurde in der Quecksilberwanne in das grosse Reagensglas umgefüllt, in welchem sich der Wurm befand. Dadurch stieg das Gasvolumen — nachdem das Glas anhaltend und stark geschüttelt worden und darauf wieder abgekühlt war — von 8,8 auf 11,9 cbem., also um 3,1 cbem. Es war in Folge des verminderten Partialdruckes der Kohlensäure etwas von der in der Salzlösung absorbierten Kohlensäure an das darüberstehende Gasgemenge abgegeben worden. Der Wurm wird nun mit einem am Ende hakenförmig gekrümmten, durch das Quecksilber hindurch in das Reagensglas eingeführten Eisendrahte aus dem Glase herausgezogen. Nun lasse ich Kalilauge in das Glas aufsteigen, wodurch das Gas bis auf ungefähr 1 cbem. absorbiert wird. Darauf lasse ich Pyrogallollösung hinzutreten, worauf der Rest des Gases bis auf ein linsengrosses Bläschen verschwindet. Es ist also keine erkennbare Sauerstoffmenge von den Ausscheidungsproducten des Wurmes gebunden worden.

Diesen Versuch habe ich noch zwei mal wiederholt. Das Resultat war dasselbe.

Wir sehen also, dass die Ascariden ohne Sauerstoff aufzunehmen eine sehr grosse Menge Kohlensäure ausscheiden und dass unter den übrigen Spaltungsproducten weder Wasserstoff noch sonst irgend welche reducirende Substanzen auftreten.

Es wäre von hohem Interesse, die Ausscheidungsproducte der Ascariden kennen zu lernen. Aus Mangel an Material habe ich auf diese Untersuchung verzichten müssen. In einer

¹⁾ Auf eine genaue Bestimmung kam es nicht an. Es wurde einfach eine Marke an dem Reagensglase angebracht und das dadurch abgegrenzte Volumen nachträglich durch Zufließenlassen von Quecksilber aus einer graduirten Bürette ausgemessen.

grossen Stadt, wo in den Schlachthäusern täglich eine sehr grosse Zahl von Würmern gefunden wird, würde das nöthige Material vielleicht wohl zu beschaffen sein. Bemerken will ich nur, dass die Salzlösung, in der die Ascariden bei Sauerstoffabschluss gelebt haben, stets stark sauer reagirt und dass diese Reaction von einer flüchtigen Säure herrührt.

In einer früheren Arbeit¹⁾ habe ich bereits mitgetheilt, dass die Fähigkeit, längere Zeit ohne Sauerstoff zu existiren und Bewegungen auszuführen, auch gewissen frei lebenden Würmern zukommt, welche im Schlamme der Gewässer ähnlichen Bedingungen unterworfen sind, wie die Parasiten im Darne. Auch diese in Dorpat begonnenen Versuche habe ich in Basel wiederholt. Das Ergebniss war das gleiche: *Dendrocoelum lacteum*, *Aulastomum gulo* und *Clepsine bioculata* lebten nach Entziehung des Sauerstoffes 2 mal 24 Stunden und machten am Anfange des zweiten Tages noch lebhaftere, kräftige Bewegungen. *Nephele vulgaris* lebte 2 bis 4 Tage, *Clepsine complanata* 3 bis 5 Tage.

Von frei lebenden Nematoden habe ich den *Gordius aquaticus* und die *Anguillula aceti* beobachtet. Der *Gordius* macht bekanntlich auch ein parasitisches Stadium durch. Die von mir beobachteten Exemplare befanden sich im frei lebenden geschlechtsreifen Entwicklungsstadium.

Der *Gordius* zeigt ein eigenthümliches Verhalten. Entzieht man ihm den Sauerstoff, so stellt er bald alle Bewegungen ein und scheint todt. Bringt man ihn, nachdem er 24 Stunden in diesem scheinrothen Zustande verharrt hat, wieder mit der atmosphärischen Luft in Berührung, so erwacht er und bewegt sich wieder mit der früheren Lebhaftigkeit. Dieses Verhalten habe ich an keinem anderen Wurm beobachtet. Alle übrigen, deren Verhalten ich bisher geprüft habe, sind, sobald sie einmal nach der Sauerstoffentziehung ihre Bewegungen eingestellt haben, nicht mehr zu beleben.

Anguillula aceti ist ganz besonders resistent gegen Sauerstoffentziehung. In ein kleines Reagensglas wurde Essig

¹⁾ Ueber das Sauerstoffbedürfniss der Schlaumbewohner. Diese Zeitschrift, Bd. 12, S. 565, 1888.

gegossen. welcher von Aelchen wimmelte, und dieses Reagensglas in einen Ballon mit Kalilauge und Pyrogallol eingeschmolzen in der Weise, wie ich es in dem Versuche II und III meiner früheren Mittheilung (Bd. 8, S. 54—55) beschrieben habe. Die geringe Sauerstoffmenge, die in dem Essig absorbiert sein konnte, musste sehr bald in die alkalische Pyrogallollösung hinüberdiffundiren. Nach dieser absolut vollständigen Sauerstoffentziehung bewegten sich die Aelchen sieben mal 24 Stunden auf's Lebhafteste.

Es scheint mir beachtenswerth, dass im Darne der höheren Thiere nur solche Organismen vorkommen, unter deren frei lebenden nächsten Verwandten sich welche finden, die gleichfalls die Fähigkeit besitzen, längere Zeit ohne Sauerstoff zu existiren. Die im Darne lebenden Organismen gehören zu den Bakterien, Pilzen, Würmern oder Insectenlarven. Alle diese Classen weisen auch Repräsentanten auf, die im freien Zustande resistent sind gegen Sauerstoffmangel. Dass es frei lebende anaërobiotische Bakterien und Pilze giebt, ist ja bekannt. Den parasitischen Cestoden und Ascariden entsprechen die schlambbewohnenden Turbellarien und Nematoden. Gewisse Insectenlarven können gleichfalls in der feuchten Erde oder in luftdichten Gespinnsten ohne oder mit sehr geringen Mengen von Sauerstoff leben. Es wird dadurch wahrscheinlich, dass die Darmparasiten von Organismen abstammen, die bereits im freien Zustande Anaërobionten waren. Nur dadurch, dass die Würmer als Schlambbewohner eine Vorschule durchgemacht hatten, waren sie befähigt, in den Darm höherer Thiere einzuwandern. Die niederen Thiere aber, von denen die Würmer abstammen, waren wahrscheinlich Sauerstoffathmer. Dafür spricht die Thatsache, dass die Eier der parasitischen Nematoden ohne Sauerstoffzutritt sich nicht entwickeln¹⁾. Es erklärt sich daraus, warum die Eier

¹⁾ Es ist dieses für *Ankylostoma duodenale* durch die Untersuchungen von Otto Leichtenstern nachgewiesen. «Einiges über *Ankylostoma duodenale*. Berlin u. Leipzig. Thieme, 1887, S. 59.

der Darmparasiten durchaus den Wirth verlassen müssen, in welchem der mütterliche Organismus alle Existenzbedingungen vorfindet, warum sie durchaus alle in freiem Zustande die ersten Stadien ihrer Entwicklung durchmachen müssen. Teleologisch lässt sich diese Erscheinung nicht erklären. Es scheint mir, dass sie eine Erklärung vielleicht findet in der Descendenzlehre.

Basel, im October 1889.