

Ueber die Bedeutung der anorganischen Salze für die Ernährung des Thieres.

Von N. Lunin.

(Der Redaction zugegangen am 26. November 1880).

Die Bedeutung der anorganischen Salze für die Ernährung des Thieres ist eine wesentlich andere, als die der organischen Nahrungsstoffe. Die organischen Nahrungsstoffe dienen dem Organismus als Kraftquelle; es werden mit ihnen dem Thierkörper chemische Spannkkräfte zugeführt, welche bei der Spaltung und Oxydation derselben in diejenigen Formen der lebendigen Kraft sich umsetzen, welche alle Functionen des Thieres hervorbringen. Die organischen Nahrungsstoffe dienen also dem Thierkörper gerade durch ihre Zersetzung. Die Nothwendigkeit ihrer fortwährenden Erneuerung ist daher nicht blos ein Erfahrungssatz; sie ist auch a priori unmittelbar einleuchtend. Ganz anders verhält es sich mit den anorganischen Salzen. Diese werden schon in der höchsten Oxydationsstufe in den Körper eingeführt, können also einer weiteren Oxydation nicht mehr unterliegen, sie können in keiner Weise abgenutzt und unbrauchbar werden. Es ist daher a priori nicht einzusehen, weshalb sie einer fortwährenden Erneuerung bedürften. Es ist sehr wohl denkbar, dass der ausgewachsene¹⁾ Organismus, wenn ihm nur die organischen Nahrungsstoffe zugeführt werden, im Stande sei, den einmal vorhandenen Vorrath an anorganischen

¹⁾ Ist der Organismus im Wachsthum begriffen, so bedarf er natürlich der anorganischen Stoffe zum Aufbau seines Knochengerüstes etc. und in dieser Beziehung hat Liebig Recht, wenn er sagt, dass «Nahrung ohne Salze für den Ernährungszweck ebenso gleichgültig sei, als wenn die Thiere Steine genossen hatten.»

Salzen zurückzuhalten und die normale Zusammensetzung der Gewebe zu bewahren. Jedenfalls dürfte man erwarten, dass, wenn er auch allmählich von seinen Salzen einen kleinen Theil verliert, er doch sehr lange Zeit mit dem einmal vorhandenen Vorrath auskommen werde.

Sicher entscheiden lässt sich diese Frage nur auf experimentellem Wege. Bisher sind derartige Versuche nur einmal ausgeführt worden von Forster¹⁾. Forster fütterte Hunde und Tauben mit Fett, Stärkemehl und Fleischrückständen, die bei der Bereitung des Liebig'schen Fleischextraktes gewonnen wurden und welche er vorher mehrere Male mit heissem Wasser ausgelaugt hatte. Diese Versuche ergaben das auffallende Resultat, dass die Thiere sehr rasch zu Grunde gingen, wie es scheint rascher²⁾, als bei völliger Nahrungsentziehung. Daraus zog Forster den Schluss: «Der im Uebrigen in Stoffgleichgewicht sich befindende thierische Organismus bedarf zur seiner Erhaltung der Zufuhr gewisser Salze; sinkt die Zufuhr unter eine gewisse Grenze oder wird sie gänzlich aufgehoben, so gibt der Körper Salze ab und geht daran zu Grunde.»

Von Dr. G. Bunge wurde in der Zeitschrift für Biologie Band X, Seite 130 aber darauf aufmerksam gemacht, dass Forster bei der Erklärung seiner Versuche einen wesentlichen Umstand ganz unberücksichtigt gelassen: Die Bildung von freier Schwefelsäure, aus dem Schwefel des Eiweiss.

Das Eiweiss enthält ein bis zwei Prozent Schwefel; bei der Zersetzung und Oxydation des Eiweiss geht dieser

¹⁾ Forster. Zeitschrift für Biologie Bd. IX. Versuche über die Bedeutung der Aschenbestandtheile in der Nahrung.

²⁾ Der eine von den Forster'schen Versuchshunden, von 26,77 kg Körpergewicht, musste am 34. Tage anderes Futter erhalten, da er zu matt und schwach geworden war und sein Ende in den nächsten Tagen bevorzustehen schien. Der 2. Hund, von 30 kg Körpergewicht, musste aus demselben Grunde am 24. Versuchstage getödtet werden. C. P. Falk (Beiträge zur Physiologie etc. Stuttgart 1875) gibt an, dass ein Hund bei ihm zwei Monate ohne Nahrung lebte und Franz Hofmann (Zeitschrift für Biologie Bd. VIII, S. 154) beobachtete an mehreren Hunden den Hungertod erst nach 40 Tagen.

Schwefel zum grössten Theil in Schwefelsäure über. Unter normalen Verhältnissen wird die Schwefelsäure an die basischen Salze (kohlensaures, pflanzensaures, basisch-phosphorsaures Alkali, Alkalialbuminat), welche jede Nahrung enthält, gebunden. Sind aber, wie in den Forster'schen Versuchen, diese basischen Salze der Nahrung ausgelaugt, so müssen wir a priori erwarten, dass die Schwefelsäure in dem Masse, als sie sich bildet, dem Gewebe des Organismus die basischen Bestandtheile entzieht. Diese Veränderung der normalen Zusammensetzung der Gewebe müsste als wahrscheinlichste Ursache des raschen Zugrundegehens der Forster'schen Versuchsthiere erscheinen.

Die Richtigkeit dieser aprioristischen Erklärung auf experimentellem Wege zu prüfen, wurde mir von Dr. G. Bunge proponirt.

Als Versuchsthier wählte ich die Maus. Bei Versuchen an Mäusen hat man den Vortheil zu gleicher Zeit an vielen experimentiren zu können, da bei ihrer Kleinheit die Beschaffung des nöthigen Futterquantums keine Schwierigkeiten verursacht. Benutzt wurden natürlich nur ganz ausgewachsene Mäuse. Sie wurden einzeln in aus stark verzinnem Draht gefertigten Käfigen, gehalten, die einen Boden aus matt geschliffenem Glas hatten, von dem man sie zur Reinigung leicht abheben konnte. Zugleich waren die Thüren so angebracht, dass es jedesmal ohne Schwierigkeiten gelang, die Mäuse aus einem Käfig in den anderen hinüberzulassen.

Das Futter, das aus coagulirter und dann gut ausgewaschener Milch und Rohrzucker bestand, wurde den Mäusen in kleinen Glasgefässen gereicht. Zum Trinken erhielten sie destillirtes Wasser.

Das Futter wurde auf folgende Weise dargestellt: Die Milch wird auf das anderthalb bis zweifache ihres Volumens mit Wasser verdünnt und dann so viel Essigsäure hinzugefügt, bis man eine deutlich saure Reaction bekommt. Die Milch gerinnt dann ganz feinflockig. Der Niederschlag wird anfangs zweimal mit essigsäurehaltigem Wasser, dann etwa zwölf- bis fünfzehnmal mit destil-

lirtem Wasser durch Decantiren ausgewaschen. Dieses Coagulum besteht aus Casein und Fett ungefähr zu gleichen Theilen und enthält nach mehrfachen Bestimmungen an verschiedenen Präparaten blos 0,05 bis 0,08% Asche. Die Substanz, die zur Bestimmung der Asche diente, wurde erst bei 120° C. getrocknet. Die unmittelbaren Ergebnisse der Aschenbestimmungen waren folgende:

gramm.	°C.	Asche	%.
10,7262	der bei 120	getr. Subst. ergaben 0,0069	also 0,065
10,1992	» 120	» » 0,0066	» 0,064
9,53	» 120	» » 0,0049	» 0,052
7,4988	» 120	» » 0,0062	» 0,08
2,5124	» 120	» » 0,0017	» 0,07

Verdünnt man die Milch zu stark mit Wasser, wie es Hoppe-Seyler zur Bestimmung des Casein angibt, oder setzt man blos so viel Essigsäure hinzu, um den Neutralisationspunkt zu treffen, so gerinnt die Milch in grossen Flocken, die sich sehr schwer auswaschen lassen. Wenn diese Nahrung auch nicht ganz aschenfrei ist, so enthält sie doch bedeutend weniger Asche als das Nahrungsgemisch, dessen Forster sich bediente. Der Aschengehalt seiner Fleischrückstände betrug 0,8%, also zehnmal mehr als derjenige des Milchcoagulums in meinen Versuchen. Als Kohlehydrat wurde Zucker in Form von Rohrzucker gegeben, der auf seine Asche geprüft ganz unwägbar Mengen davon ergab.

Als Schlafstätte wurde den Mäusen Watte¹⁾ in einem grösseren Glasschälchen in den Käfig gestellt. Die Käfige standen an einem ruhigen Orte von gleichmässiger Zimmer-

¹⁾ Als Watte benutzte ich die sogenannte «hygroscopische Watte», die vor dem Gebrauch erst mit salpetersäurehaltigem Wasser, dann mit destillirtem Wasser, so lange ausgewaschen wurde bis keine Spur von saurer Reaction aufzuweisen war. Die so behandelte Watte enthielt 0,05% Asche. Uebrigens wurde die Watte von den Mäusen nicht gefressen. Nur in einem Falle wurde bei der Section eine erhebliche Menge Watte im Magen gefunden, in allen übrigen Fällen entweder gar nicht oder nur Spuren.

temperatur und wurden täglich gewaschen. Ebenso wurde die Watte, sobald sie etwas verunreinigt war, gewechselt. Unter solchen Verhältnissen können die Mäuse bei geeignetem Futter sehr lange leben. So lebten z. B. zwei Mäuse, die nur mit Milch gefüttert wurden $2\frac{1}{2}$ Monate in der Gefangenschaft und wurden, als ich meine Versuche beendigte, in ganz gesundem Zustande in Freiheit gesetzt.

Von vier Mäusen, die blos destillirtes Wasser erhielten, lebten zwei je drei Tage und zwei je vier Tage. Fünf Mäuse mit der angegebenen fast aschenfreien Nahrung gefüttert lebten 11, 13, 14, 15, 21 Tage.

Nachdem wir nun constatirt hatten, wie lange ungefähr die Mäuse mit unserer aschenarmen Nahrung zu leben im Stande waren, machten wir uns daran, die Wirkung der Schwefelsäure zu prüfen. Der Schwefelgehalt des Casein wurde auf 1,5% angenommen und so viel absolut reines kohlen-saures Natron zur Nahrung hinzugefügt, dass auf ein Aequivalent Schwefel ein Aequivalent Natrium kam, dass also, falls auch aller Schwefel in Schwefelsäure sich umwandeln sollte, nur das saure Salz, nicht aber freie Schwefelsäure sich bilden könne.

Sechs Mäuse mit dieser Nahrung gefüttert lebten 16, 23, 24, 27, 30, 36 Tage.

Vergleichen wir nun diese Zahlen mit den vorhergehenden, so fällt die längere Lebensdauer dieser mit kohlen-saurem Natron gefütterten Mäuse sofort auf.

Nun konnte der Einwand gemacht werden: Die Thiere lebten länger nicht in Folge der Neutralisation der Schwefelsäure, sondern, weil sie überhaupt einen Aschenbestandtheil zur Nahrung erhielten. Um diesen Einwand zu entkräften, gab ich jetzt sieben Mäusen zu ihrem Futter ganz dieselbe Menge Natrium; dieses Mal aber als Chlornatrium, also als neutrales Salz, welches keine Säure mehr zu binden vermag. Jetzt erhielten die Mäuse zwei Aschenbestandtheile: Natrium und Chlor, mussten also, falls unsere Theorie falsch wäre, damit länger leben, als mit einem Aschenbestandtheil, dem Natrium allein.

Die Zahlen die sich bei dieser Versuchsreihe ergaben waren 6, 10, 11, 15, 16, 17, 20.

Die Mäuse lebten also mit Chlornatrium, mit zwei Aschenbestandtheilen, kürzere Zeit, als mit einem Aschenbestandtheil und nicht länger als bei der Fütterung mit aschenfreier Nahrung. Die Ursache des raschen Todes scheint also die Wirkung der freien Schwefelsäure zu sein.

Bei Zufügung des kohlen-sauren Natron, war die Lebensdauer doppelt so lang, als ohne diesen Zusatz, aber immer noch auffallend kurz. Daher sollten folgende Versuche entscheiden, ob die Thiere mit derselben Nahrung unter Beifügung einer künstlichen Salzmischung leben könnten. Zur Herstellung dieser Salzmischung benutzte ich die Durchschnittszahlen, die Dr. G. Bunge¹⁾ in seinen Analysen der Milch gefunden hatte. Um allen Anforderungen der Salzmischung zu genügen, wurde noch etwas Fluorcalcium hinzugefügt. Bei der Berechnung der zuzusetzenden Aschenmenge, richtete ich mich nach den Durchschnittswerthen der verschiedenen Milchanalysen, welche Gorup-Besanez in seinem Lehrbuch der physiologischen Chemie zusammengestellt hat. Die Durchschnittszahl betrug auf 100 gr. Trockensubstanz 4 gr. Asche.

Mit dieser so bereiteten Nahrung fütterte ich 6 Mäuse und erhielt folgende Zahlen: 20, 23, 23, 29, 30, 31 Tage.

Diese Thatsache, dass die Mäuse trotz aller Aschenbestandtheile nicht länger zu leben im Stande waren, als mit dem kohlen-sauren Natron allein, bestärkte mich noch mehr in dem Argwohn: die Lebensbedingungen und die Einförmigkeit²⁾ der Nahrung seien den Mäusen nicht zuträglich und dieses allein genüge, um die Todesursache abzugeben. Es blieb mir also nur der Versuch übrig, den Mäusen unter denselben Lebensbedingungen die unveränderte Milch zu geben, um zu sehen, ob sie mit diesem Nahrungsmittel zu leben im Stande wären oder nicht.

¹⁾ Der Kali, Natron und Chlorgehalt der Milch etc. von G. Bunge.

²⁾ Man könnte vermuthen, die Thiere hätten die Aufnahme der einförmigen Nahrung verweigert. — Aber sie frassen thatsächlich bis zuletzt und die Sectionen ergaben, dass der Magen fast immer Speise enthielt; nur in seltenen Fällen war der Magen leer.

Zu diesem Behufe fütterte ich anfangs eine Anzahl Mäuse nur mit frischer Milch. Die Milch gerinnt aber bei Zimmertemperatur in den kleinen Gefässen sehr schnell, wozu noch die Verunreinigung derselben durch die Mäuse hinzukommt und alle Mäuse starben mir in wenigen Tagen. Ob nun die Todesursache in der Milchsäure lag, die im Verhältniss zum Körpergewicht in zu grossen Mengen zugeführt wurde, oder in irgend einem anderen Umstande will ich für's erste unentschieden lassen. Um dem Sauerwerden der Milch vorzubeugen, dichte ich dieselbe auf dem Dampfbade fast bis zur Trockene ein und fütterte mit dieser eingetrockneten Milch die Mäuse.

Von drei Thieren, die damit gefüttert wurden, starb eines nach 47 Tagen, zeigte aber bei der Section alle Anzeichen einer Darmverschlingung; die beiden anderen lebten in der Gefangenschaft zwei und einen halben Monat, nahmen an Körperumfang bedeutend zu, blieben stets munter und wurden endlich, als ich meine Versuche einstellte, vollkommen munter, gesund und in sehr gutem Ernährungszustande in Freiheit gesetzt.

Die Mäuse konnten also unter diesen Lebensbedingungen bei geeigneter Nahrung sehr wohl bestehen; da sie nun aber, wie die obigen Versuche lehren, mit Albuminaten, Fett, Zucker, Salzen und Wasser nicht zu leben vermochten, so folgt daraus, dass in der Milch ausser dem Casein, Fett, Milchzucker und den Salzen noch andere Stoffe vorhanden sein müssen, welche für die Ernährung unentbehrlich sind. Diesen Stoffen nachzuspüren und ihre Bedeutung für die Ernährung zu erforschen, wäre eine Untersuchung von hohem Interesse.

Die organischen Phosphorverbindungen waren, wie nach den Löslichkeitsverhältnissen des Lecithin's und Nuclein's zu erwarten stand, nicht vollständig ausgelaugt; denn eine quantitative Bestimmung der Phosphorsäure in 6,5 grm. Trockensubstanz ergab 0,005 grm. Phosphorsäure, also 0,076 %. Der Procentgehalt der Gesamtasche schwankte aber zwischen 0,05 und 0,08%; also müssen ausser den phosphorsauren Salzen noch

organische Phosphorverbindungen vorhanden gewesen sein. Die Bestimmung der Phosphorsäure geschah durch Einäschern mit Salpeter, Ausfällen mit molybdänsaurem Ammon, Lösen in Ammoniak und wieder Ausfällen mit Magnesiamixtur.

Die Todesursache der Mäuse, die alle Salze erhalten hatten, kann vielleicht auch darin gesucht werden, dass die normalen Verbindungen der anorganischen Bestandtheile mit den organischen durch das Coaguliren und Auslaugen zerstört waren. Möglicher Weise darf auch der Milchzucker nicht durch den Rohrzucker ersetzt werden. — Versuche in dieser Richtung sind jedenfalls wünschenswerth.

Zur Controlirung der Richtigkeit der Theorie über die alkalientziehende Wirkung der Schwefelsäure stellte ich noch eine Reihe von Versuchen an, in denen alles genau ebenso blieb, wie in den früheren Versuchen, nur dass statt des kohlsauren Natron und des Chlornatrium die äquivalenten Mengen von kohlsaurem Kali und Chlorkalium angewandt wurden.

Mit kohlsaurem Kali erhielt ich folgende Zahlen: 16, 18, 24, 25, 18, 32, 35 und mit Chlorkalium 7, 13, 13, 14, 10, 13.

Diese Zahlen bestätigen wiederum unsere Voraussetzung; auch hier lebten die Thiere mit einem Aschenbestandtheil länger als mit zweien.

Hierbei möchte ich darauf aufmerksam machen, dass diese Resultate im Widerspruche stehen zur Ansicht Kemmerich's (Pflüger's Archiv, Bd. II, S. 79), welcher den Kalisalzen eine grössere Bedeutung bei der Ernährung zuschreibt als den Natronsalzen.

Man könnte diese Versuche auch so anstellen, dass man statt des kohlsauren Natron und Kali sich eines anderen Körpers bediente, der die Eigenschaften einer starken Base besitzt und sich dem thierischen Organismus gegenüber ganz indifferent verhält. Ein solcher Stoff wäre z. B. das kohlsaure Ammon oder das Kreatinin, welches bekanntlich im Thierkörper nicht zersetzt wird. Es wäre jedenfalls zu wünschen diese Versuche mit dieser Modification zu wiederholen.

Die bisherigen Versuche waren so angestellt, dass die Schwefelsäure nur mit einem Aequivalent Natrium neutralisirt wurde. Durch die folgenden Versuche sollte daher entschieden werden, wie die Thiere sich verhalten würden, wenn man der Nahrung mehr kohlen-saures Natron zusetzt. Bei dieser Versuchsreihe wurde doppelt so viel kohlen-saures Natron zur Nahrung hinzugefügt als in den Versuchen auf Seite 5 und es ergaben sich folgende Zahlen:

Mit kohlen-saurem Natron 11, 12, 13, 15, 18, 21 und mit Chlornatrium 6, 11, 5, 15, 15.

Dass diese Thiere schneller starben, als die in der Versuchsreihe auf Seite 5, mag wohl daraus sich erklären, dass das Natronsalz durch Massenwirkung die anderen Salze aus dem Gewebe verdrängt hatte. Steigerte man die zuge-setzte Menge des Natronsalzes noch mehr, so gingen die Thiere noch rascher zu Grunde.

Es scheint mir, dass die mitgetheilten Versuche auch auf die Frage nach der Entstehung des Harnstoffes aus dem kohlen-sauren Ammon einiges Licht werfen. Wird kohlen-saures Ammon in den Organismus der Säugethiere eingeführt, so wird es in Harnstoff umgewandelt. Daraus folgt aber noch nicht, dass auch unter normalen Verhältnissen das kohlen-saure Ammon die Vorstufe des Harnstoffes sei. Wäre dieses der Fall, würden die Albuminate im Thierkörper in derselben Weise zersetzt, wie ausserhalb des Organismus bei der Verwesung, so dass die Hauptmasse des Stickstoffs aus dem Zersetzungsprozesse in Form von Ammoniak hervorgehe und erst nachträglich in Harnstoff umgewandelt würde, so müsste für die Sättigung der Schwefelsäure stets ein genügendes Material im Organismus vorhanden sein und es wäre nicht zu verstehen, wie in den obigen Versuchen die kohlen-sauren Alkalien zur Verlängerung des Lebens haben beitragen können. Die obigen Versuche scheinen dafür zu sprechen, dass entweder der Harnstoff als neutrale Verbindung aus dem Eiweissmolekül abgespalten wird, oder dass die Bildung des kohlen-sauren Ammon und der Schwefelsäure nicht an demselben Orte im Organismus vor sich geht.
