

Frühe experimentelle Gasstoffwechsel-Messungen an Tieren: Die Arbeit von Carl Ludwig von Erlach «*Versuche über die Perspiration einiger mit Lungen athmender Wirbelthiere*» aus dem Jahre 1846

Roland Prinzinger und Jochen Hölzinger



PRINZINGER, R. & J. HÖLZINGER (2010): Early experimental measurements of gaseous metabolism in animals: The dissertation of Carl Ludwig von Erlach «*Versuche über die Perspiration einiger mit Lungen athmender Wirbelthiere*» from the year 1846. Ornithol. Beob. 107: 25–38.

In the year 1846 Carl Ludwig von Erlach from Bern (Switzerland) wrote a dissertation with the title «*Versuche über die Perspiration einiger mit Lungen athmender Wirbelthiere*» (Experiments on the breathing of some lung-breathing vertebrates). This paper presumably presents some of the first known serious experimental data of the gaseous metabolism of animals but was not considered (presumably because it was unknown) up to now in scientific literature. Von Erlach measured by phosphor- and carbonate-eudiometers gravimetrically oxygen intake and carbon dioxide production in the following animals: frog *Rana* sp., dove *Columba livia* f. *domestica*, hens of different age *Gallus domesticus*, cat *Felis silvestris* f. *catus*, mouse *Mus musculus*, rabbit *Oryctolagus cuniculus* f. *domesticus*, differently-aged guinea pigs *Cavia porcellus*, Eurasian red squirrel *Sciurus vulgaris* and dog *Canis lupus familiaris*. The obtained results are – considering the difficult measuring method – within a realistic range and presumably represent the first comprehensible data of gaseous metabolism in animals at all. In this paper the experimental settings and the process of the analysis are described in detail including the discussion of the obtained results.

Roland Prinzinger, AK Stoffwechselfysiologie, Institut für Biologie I, FB 15 (Biowissenschaften), Johann-Wolfgang-Goethe-Universität, Siesmayerstraße 70, D–60054 Frankfurt am Main, E-Mail prinzinger@bio.uni-frankfurt.de; Jochen Hölzinger, Wasenstraße 7/1, D–71686 Remseck (Neckargröningen), E-Mail jochen.hoelzinger@web.de

Experimentelle Bestimmungen des Gasstoffwechsels an Tieren sind ab dem 20. Jahrhundert sehr häufig gemacht worden, und es liegen inzwischen Daten von Hunderten solcher Experimente vor, die relativ gut dokumentiert und veröffentlicht sind. Wann die ersten derartigen Untersuchungen überhaupt durchgeführt wurden, bleibt allerdings meist im Unklaren. Dies hat seinen Grund wohl darin, dass die Pioniere auf diesem biologischen Fachgebiet noch nicht die gleichen Möglichkeiten zur Veröffentlichung und Verbreitung ihrer Versuche und der darauf beruhenden Ergebnisse hatten wie ihre

Nachfolger. Dies gilt insbesondere dann, wenn solche Arbeiten in «versteckten», d.h. nicht allgemein zugänglichen Dissertationen beschrieben wurden. Und oft genug vertrauten spätere Forschergenerationen – falls sie die frühen Anfangsarbeiten zu ihrem Forschungsgebiet überhaupt kannten – den alten Datenerhebungen weder bezüglich der Art und Weise ihrer Durchführung noch bezüglich der Relevanz von deren Ergebnissen. Sicher ist, dass die von Erlach'sche Dissertation eher unbekannt geblieben ist.

Im Rahmen der Erarbeitung einer Biblio-

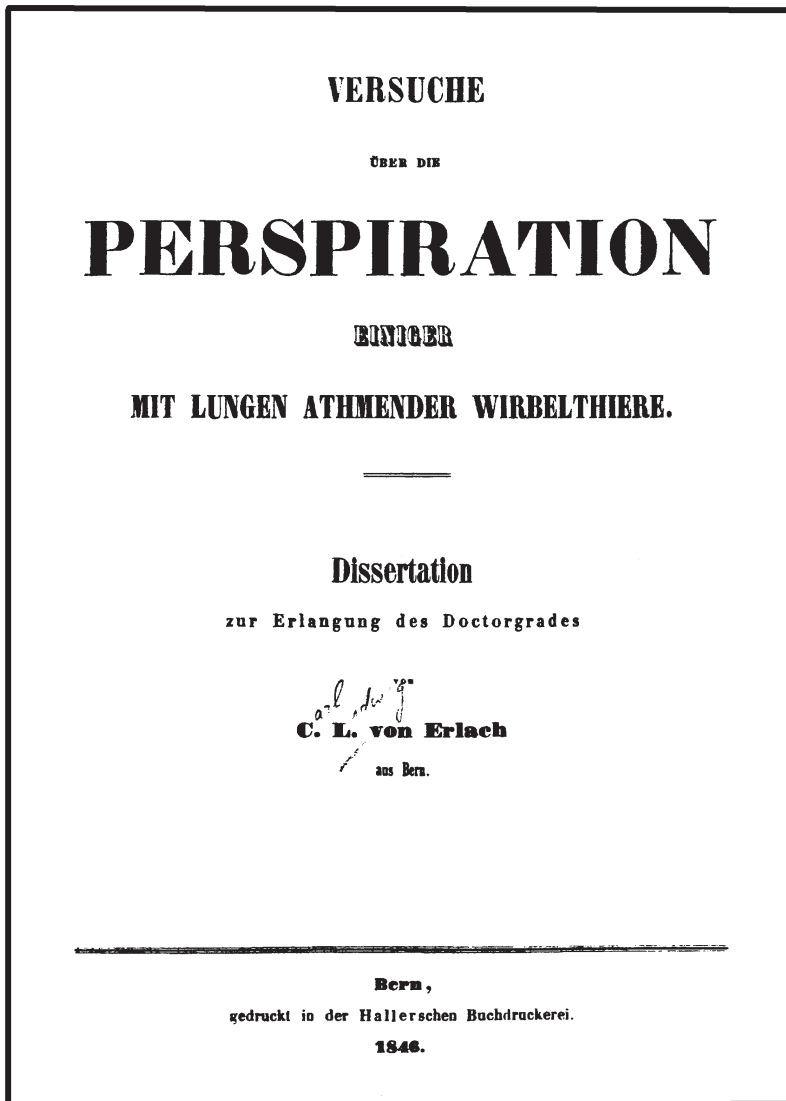


Abb. 1. Titelblatt der Dissertation. – *Title page of the dissertation by von Erlach.*

graphien-Reihe über die ornithologischen Dissertationen und Habilitationsschriften aus Deutschland, Österreich und der Schweiz, zurückgehend bis zu den Anfängen der Dissertations-Schriften im 16. Jahrhundert, führt der eine von uns (JH) seit vielen Jahren umfangreiche Recherchen durch, wobei das Auffinden von Dissertationen aus der Zeit vor 1900 sehr schwierig ist. Derartige Dissertationen sind in einschlägigen Bibliographien, z.B. von Carus & Engelmann (1861) und Giebel (1872–1877)

vielfach nicht verzeichnet. Die Entdeckung von historischen Dissertationen ist oft von Zufällen abhängig, wenn nicht, wie im vorliegenden Fall, beim Studium von Literaturverzeichnissen aller bekannten ornithologischen Dissertationen ein Treffer gelingt: Ein Hinweis auf die von Erlach'sche Dissertation fand sich bei Wiemann (2005). Darüber hinaus ist diese Dissertation auch eine der ersten, die nicht, wie bis dahin üblich, in Latein, sondern in Deutsch abgefasst wurde.

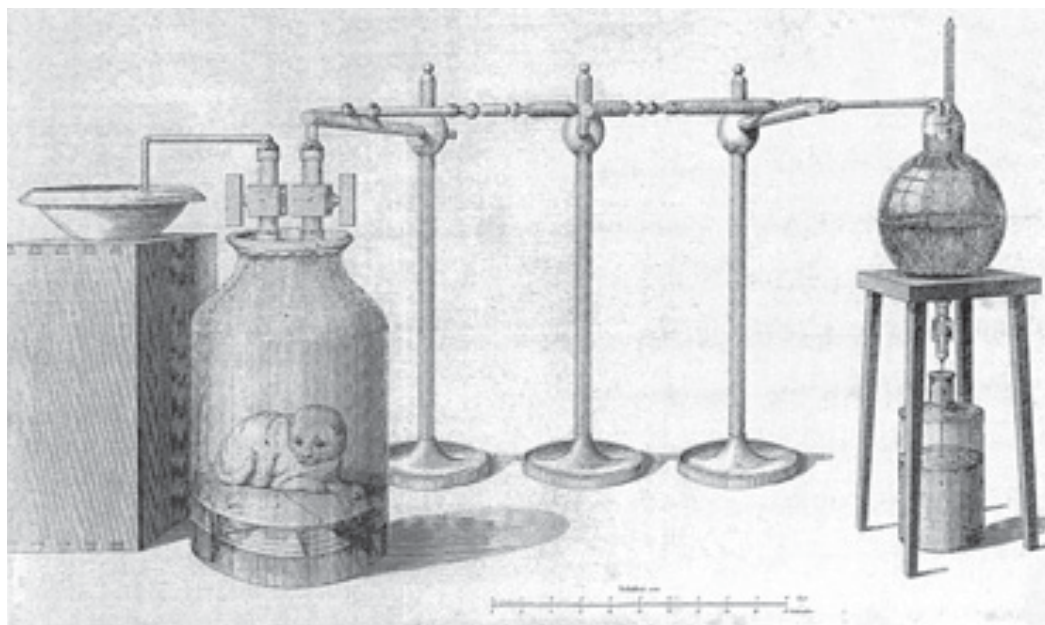


Abb. 2. Aufbau der Versuchseinrichtung. Originalgrafik Tabula I von C. L. von Erlach. Zur Bezeichnung der einzelnen Geräteteile s. Abb. 5. – *Assembling of von Erlach's experimental setting (corresponds to the original figure «Tabula I» of the dissertation). For details of description and function see Fig. 5.*

Wir haben die Arbeit von Carl Ludwig von Erlach sorgfältig durchgearbeitet und festgestellt, dass sie sowohl in der Zahl und Vielfältigkeit der untersuchten Tiere als auch in der Art der experimentellen Durchführung und in der Qualität der erhaltenen Ergebnisse kaum einen Vergleich mit heutigen Standards zu scheuen braucht. Dennoch findet man unseres Wissens diese Dissertation in der einschlägigen Literatur nirgends zitiert. Deshalb waren wir der Ansicht, es lohne sich, sie vorzustellen und als Pionierarbeit in der Geschichte der experimentellen Gasstoffwechselphysiologie entsprechend zu würdigen und bekannt zu machen¹.

¹ Nach Ansicht von Prof. Johannes Bachofen und seiner Ehefrau Prof. Marianne Bachofen (Bern), die sich über Jahrzehnte wissenschaftlich mit dem Gasaustausch von Mensch und Tier befasst haben, ist die von Erlach'sche Dissertation vermutlich eine der ersten Publikationen auf dem Gebiet der experimentellen Bestimmung des O₂- und CO₂-Austausches überhaupt (briefl. Mitt. an Prof. Niklaus Gerber, Bern).

1. Inhaltliche Gliederung der Dissertation

Die Dissertation besteht (inkl. Titelblatt) aus I–IV und 1–91 Seiten. Dazu kommen eine nicht nummerierte Seite «Berichtungen» sowie ebenso nicht nummerierte doppelt gefaltete Seiten Tabula I und II (Zeichnung der Versuchseinrichtung) sowie die Tabelle der Ergebnisse.

Die Seiten I–IV nehmen das Titelblatt und eine kurze Einleitung ein.

Im «ERSTES CAPITEL.» wird auf den Seiten 1–23 die «Methode der Analysen» vorgestellt: I) Beschreibung des Apparates. (S. 1–9); II) Gang der Analyse. (S. 9–16); III) Berechnung des Resultate der Analysen. (S. 17–23).

Im «ZWEITES CAPITEL.» wird auf den Seiten 24–75 die «Versuchreihe.» vorgestellt. Insgesamt sind es 45 VERSUCHE.

Im «DRITTES CAPITEL.» werden zunächst «Allgemeine Folgerungen.» aus den Resultaten gezogen (S. 76–90) und dann kurz «Endresultate.» (S. 90–91) – eine Art Zusammenfassung – präsentiert.

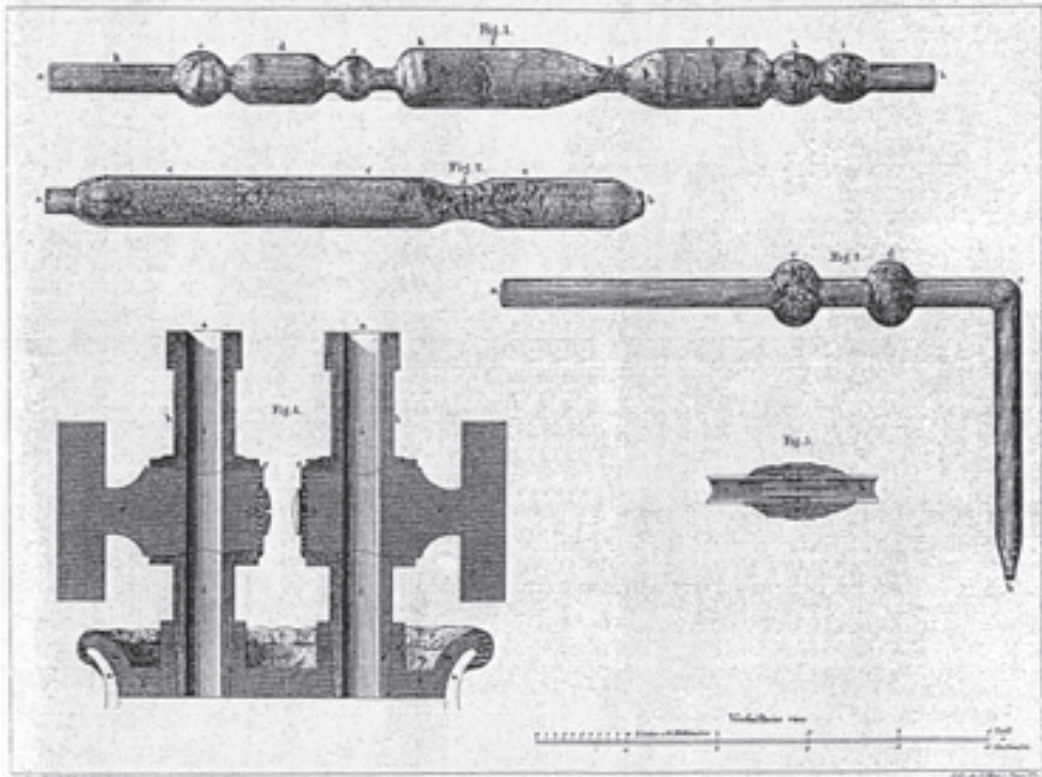


Abb. 3. Detailaufbau der Versuchseinrichtung (Eudiometer, Gashähne zum Perspirator). Originalgrafik Tabula II von C. L. von Erlach. Zur Bezeichnung der einzelnen Geräteteile s. Abb. 6. – *Detailed view of the assembling of von Erlach's experimental setting (eudiometers, to the «perspirator») (corresponds to the original figure «Tabula II» of the dissertation). For details of description and function see Fig. 6.*

Die beigegefügte Tabelle der Ergebnisse listet alle Messdaten präzise und nachvollziehbar auf.

2. Aufbau der von Erlach'schen Apparatur

In den Abb. 2–6 ist der Aufbau der von Erlach'schen Versuchseinrichtung dargestellt. Abb. 2 und 3 sind die Originalgrafiken Tabula I und II, und Abb. 5 und 6 sind Nachzeichnungen der Apparatur mit den entsprechenden Funktionsbeschriftungen und -erklärungen.

Wir haben diese Apparatur im Übrigen originalgetreu durch die Werkstätten des Instituts für Biologie I und der Glasbläser-Werkstatt der Universität Frankfurt a.M. nachbauen lassen, um uns von deren Funktionstüchtigkeit zu überzeugen (vgl. Abb. 4).

3. Gang der Analyse

Dieses Kapitel fassten wir unter Verwendung möglichst vieler Teile der Originalsprache ab. Die Originalbeschreibung enthält noch zahlreiche Zusatzinformationen über mögliche Fehler, Messprobleme etc. und deren Behebung, auf die wir hier aber aus Platzgründen nicht eingehen.

Das Messprinzip der Apparatur beruht auf der Analyse der Luft im Messsystem vor und nach dem Experiment über zwei Eudiometer (griechisch: Luftgütemesser). Das Phosphor-Eudiometer bestimmt den Sauerstoffgehalt und das Kalk-Eudiometer den Kohlendioxidgehalt der untersuchten Luft durch Wägung von Reaktionsprodukten, die bei der Bindung der entsprechen Gase mit Phosphor und ge-

löschem Kalk entstehen. Es handelt sich also um eine gravimetrische Bestimmung der Gas-komponenten.

Die Vorbereitungen zur Analyse mussten je nach Verschiedenheit der Größe, der Klasse und der Agilität der Tiere bald unmittelbar vorher, bald einige Stunden oder selbst einen Tag vorher beginnen. Man setzte das Versuchstier bzw. die Versuchstiere in den Recipienten und kittete den Deckel möglichst schnell mit geschlossenen Hähnen auf und dichtete das ganze System hermetisch ab. Für diese Tätigkeit waren fast immer zwei Personen notwendig.

Unmittelbar vor jeder Analyse wurden die völlig rein gemachten Glasröhren mittels Durchleitung eines warmen Luftstromes vollständig getrocknet und dann auf die beschriebene Weise mit den dazu gehörigen Inhalten gefüllt (Abb. 5 und 6).

Man nahm dann einen Probedurchzug von gewöhnlicher Atmosphäre vor, indem in ein beliebiges, unter den Aspirator gestelltes Ge-

fäß ein kleines Quantum Öl abgezapft und unterdessen der Phosphor mittels eines Spiritus-lämpchens so erwärmt und geschmolzen wurde, dass er sich an den Wandungen der dazu bestimmten Erweiterungen sublimiert ansetzte. Nach diesem Probedurchzug wurden die Röhren nach dem Erkalten auseinander genommen, das Phosphor- und das Kalk-Eudiometer an ihren Enden äusserlich und innerlich vom Kitt vollkommen gereinigt und mit eigens zu jeder Röhre bestimmten Korkstöpselchen sorgfältig verschlossen. Von jedem der 2 Stücke wurde nun auf einer sehr guten Waage die Tara genommen.

Dann kittete man in die 2 Hähne des Deckels auf dem Recipienten die Wasserröhre mit ihrem zugespitzten Ende und den Heber mit seinem kürzern Schenkel ein. Dieser wurde vorsichtig mit Wasser gefüllt und der längere Schenkel mit einem Pfröpfchen verschlossen, damit nicht die im Heber befindliche Atmosphäre das Volumen der dem eingeschlossenen

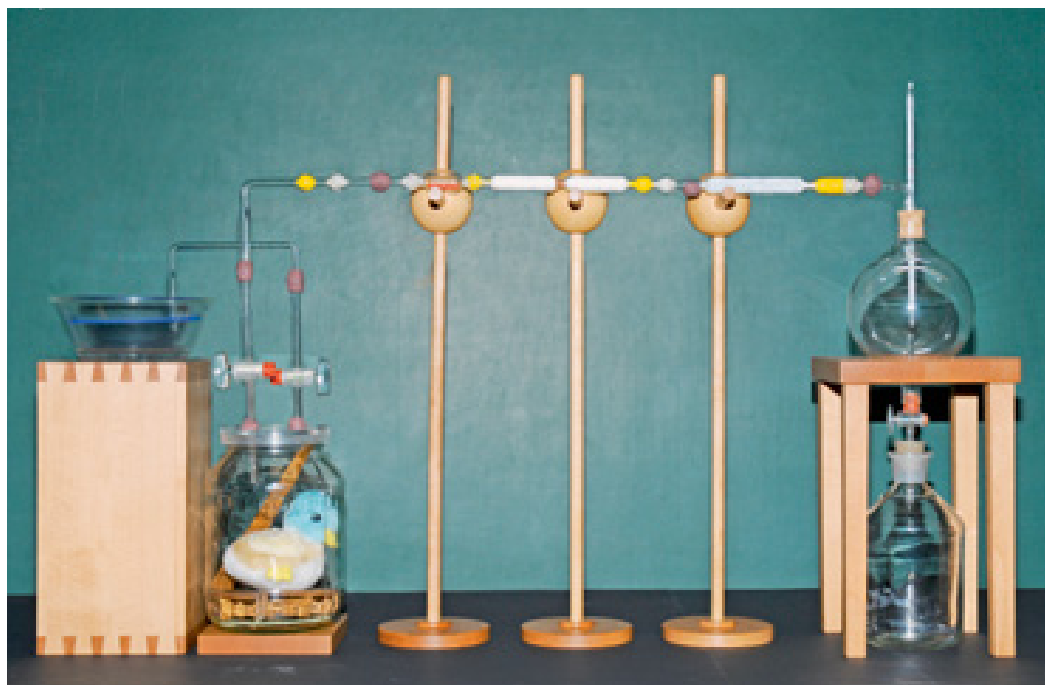


Abb. 4. Die an der Universität Frankfurt a.M. nachgebaute Versuchseinrichtung von C. L. von Erlach. Zur Bezeichnung der einzelnen Geräteteile s. Abb. 5. – *Assembling of von Erlach's experimental setting. For details of description and function see Fig. 5.*

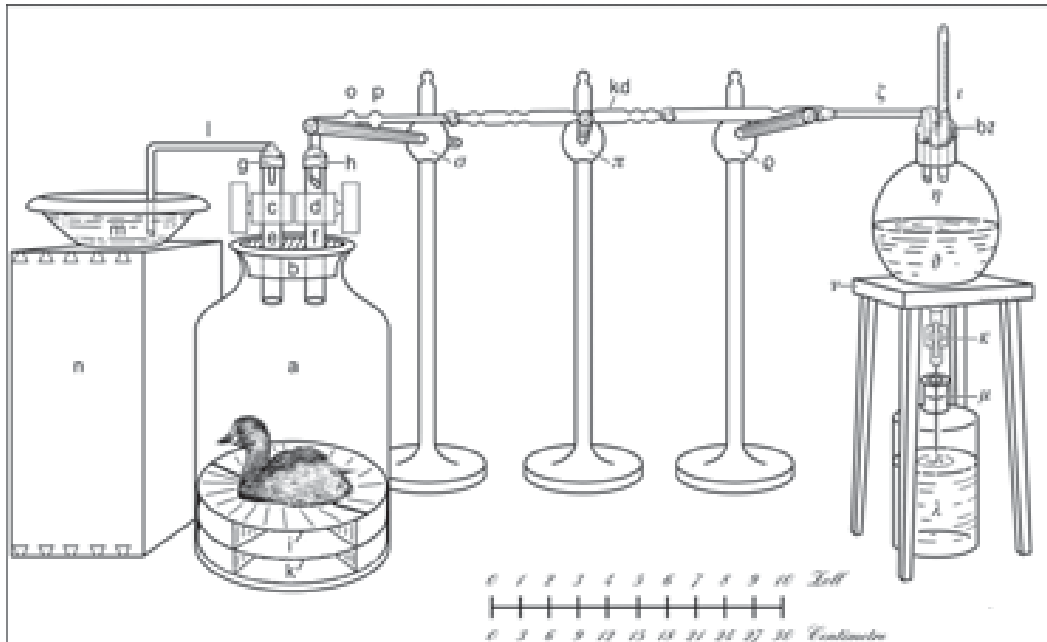


Abb. 5. Aufbau der Versuchseinrichtung. Bezeichnung und Funktion der einzelnen Geräteteile aus Tafel (Tabula) I. Detailbeschreibungen der einzelnen Komponenten (unter Verwendung der Originalbezeichnungen). Die Umrechnung von Zentimeter in Zoll und umgekehrt ist wie im Original angegeben (1 Zoll \equiv 3 cm). In alten Maßeinheiten bezeichnet «das Zoll» eine Vielzahl von Werten im Bereich von zwei bis vier Zentimetern. In SI-Einheiten entspricht 1 Zoll = 2,54 cm. – *Assemblage of von Erlach's experimental setting (corresponds to the original figure «Tabula I» of the dissertation). Description of the details of the different components using original language from 1846. Only important components are given in English. The given conversion Zoll into Centimeter is given as in the original (1 Zoll \equiv 3 cm). The new SI-conversion is 1 Zoll \equiv 2.54 cm.*

«Recipient»:

- a Recipient = Tiergefäß (Volumen: 11 238 ml)
– container for the animal (volume 11 238 ml)
- b Deckel für Recipient – tap for the recipient
- c Glashahn – glass tap
- d Glashahn – glass tap
- e unterer Ansatz Glashahn c – lower insertion point of glass tap c
- f unterer Ansatz Glashahn d – lower insertion point of glass tap d
- g Ansatz Hahnröhre für «l» (Heber für Salzlösung, kurzer Schenkel) – insertion point of glass tap tube «l» (elevator for the salt dissolution, short arm)
- h Wasserröhre (s. Tabula II/Fig. 3 in Abb. 6, Einsatzstelle) – see fig. 6
- i hölzerner Boden aus dünnen Brettchen (2 Hälften, 3 Böden, 6-füssig) – wooden floor on which the animals sits
- k schräge Brettchen, die die Salzlösung an den Glasrand leiten – sloping slats which drain the salt dissolution from the elevator to the border of the glass (recipient)

- l Heber für Salzlösung, gebogene Glasröhre mit kurzem und langem Schenkel – elevator for the salt dissolution; with short and long arms
- m Schale mit gesättigter Kochsalzlösung (spez. Masse 1,16) – bowl with saturated NaCl-solution (spec. mass 1.16)
«l» mit langem Schenkel, reicht knapp bis auf den Schalenboden – long arm of elevator goes down to the bottom of the NaCl-bowl
- n Holzkasten («Körper») für «m» – wooden box for «m»
- o Kugel «o» entspricht «d» in Fig. 3 in Abb. 6; enthält Asbest und 30 Tropfen konz. Schwefelsäure H_2SO_4 ; trocknet das Gas aus dem Recipienten – contains asbestos and concentrated H_2SO_4 to dry the air from the recipient
- p Kugel «p» entspricht «c» von Fig. 3 in Abb. 6; enthält nur Asbest, reinigt das Gas von konz. H_2SO_4 – contains only asbestos and clears the gas from H_2SO_4
- z rechtwinklig gebogene Entbindungsröhre – rectangular bended glass tubes (connecting tubes)
- σ, π, ρ Stative – stands
- pd Phosphor-Eudiometer (Fig. 1 in Abb. 6) – phosph-

phor eudiometer
kd Kalk-Eudiometer (Fig. 2 in Abb. 6) – *carbonate eudiometer*

«Aspirator»:

η Aspirator (ca. 1,6 l; Glasballon mit Ø ca. 130 mm) – «*aspirator*» (*carboy*; *contains oil*)
bz Bleizapfen mit 2 Löchern, Kitt dichtet ab – *lead plug with 2 holes and sealed with mastic*

ι Quecksilber-Thermometer – *mercury thermometer*
κ Messing-Ablaufhahn mit Schelllack abgedichtet (Ø 6 mm) – *brass outlet valve*
ν Schemel, 30–32 cm hoch mit Loch in der Mitte – *footstool*
λ «Litre»-Flasche, nimmt abfließendes Öl aus Glasballon «η» auf – *glass bottle*
μ Markierungszeichen für 959,655 cm³ – *indication for 959.655 cm³*
ο Öl-Füllung – *oil filling*

Tier zur Atmung disponiblen Luft verändert, wenn der den Heberarm aufnehmende Hahn geöffnet würde. Der längere Schenkel tauchte in das Salzwasser, womit das neben der großen Flasche erhöht stehende Gefäß 25–30 mm hoch über seinem Boden gefüllt war.

Die Zusammenfügung des Recipienten mit den übrigen Teilen des Apparates wechselte je nach Verschiedenheit der Tiere: Waren diese sehr klein, oder lieferten sie verhältnismäßig wenig Kohlensäure, so wurden sie schon Stunden lang vorher in den Behälter luftdicht eingeschlossen. Man baute dann alles unmittelbar vor der Analyse auf die geschilderte Weise auf. Da aber mittelgroße Säugetiere und Vögel in einem Raum von ungefähr 11 l Luft nur ½ bis 1 h ohne Atembeschwerden aushalten konnten, musste ihre Einsperrung bis zuletzt verschoben werden. Man fügte daher zunächst alles zusammen, während der Deckel des Recipienten ohne Verkittung auflag. Dann setzte man das Tier ein und verkittete den Deckel, was nicht länger als 1 bis 1½ min dauerte. Dann begann die eigentliche Analyse.

Zu diesem Zweck wurde zuerst der Hahn des Deckels, welcher die Verbindung der Eudiometer mit dem Recipienten vermittelt, geöffnet und das Pfröpfchen aus dem längeren Heberarm unter dem Niveau des Salzwassers ausgezogen. Dann erwärmte man mittels eines kleinen Spirituslämpchens die zylindrische Erweiterung der Sauerstoffröhre, worin der Phosphor sublimiert worden war, und öffnete darauf den Hahn am Aspirator und gleichzeitig den noch geschlossenen am Deckel des Recipienten. Dadurch war sogleich der Durchzug des Luftstroms hergestellt, wie sich auch an der Steigung des Salzwasserniveaus

im längeren Heberarm kundgab. Das Salzwasser im Heber wurde immer (Versuche mit sehr kleinen Tieren ausgenommen) in den längeren Heberschenkel, bisweilen bis unter das Niveau, welches die Kochsalzlösung im untergestellten Gefäß enthielt, zurückgeworfen. Diese Erscheinung kann entweder nur durch das größere Gewicht der Wassersäule im längeren Heberschenkel oder gleichzeitig durch die Ausdehnung der im Recipienten eingeschlossenen Luft in Folge der Erwärmung des darin sitzenden Tieres bewirkt worden sein. An der stossweisen Emporbewegung des Salzwasserniveaus im Heber hatte man zugleich ein Maß für die Atemstöße des eingesperrten Tieres. War das Wasser bis in den horizontalen Teil des Hebers gestiegen, so rann es rascher bis zum kürzern Schenkel, weil jetzt der Druck, welchen die vom Aspirator im Recipienten bewirkte Luftverdünnung zu überwinden hatte, nicht mehr höher stieg. Vielmehr wurde dieser Druck jetzt um das Gewicht der Salzlösung, welche den kürzern Heberarm erreicht hatte, vermindert. Von der Stärke des Stroms, in welchem das Öl aus dem Aspirator abgezapft wurde, hing es ab, ob die Salzlösung von der untern Mündung des Hahns in senkrechtem Strahl in die Flasche, oft als beunruhigendes Tropfbad für das eingeschlossene Tier, oder ob sie durch das Übergewicht der Adhäsion über die Schwere der Flüssigkeit an der unteren Fläche des Deckels und längs der Wandung bis auf den Grund des Bodens rann. Ein öfteres Vorkommen dieser Unregelmäßigkeit in der Strömung verzögerte zwar die Analyse, übte jedoch auf die Resultate keinen wesentlichen Einfluss aus.

Der Luftstrom, welcher durch das Abfließen des Öls aus dem Aspirator erzeugt wird, bewegt

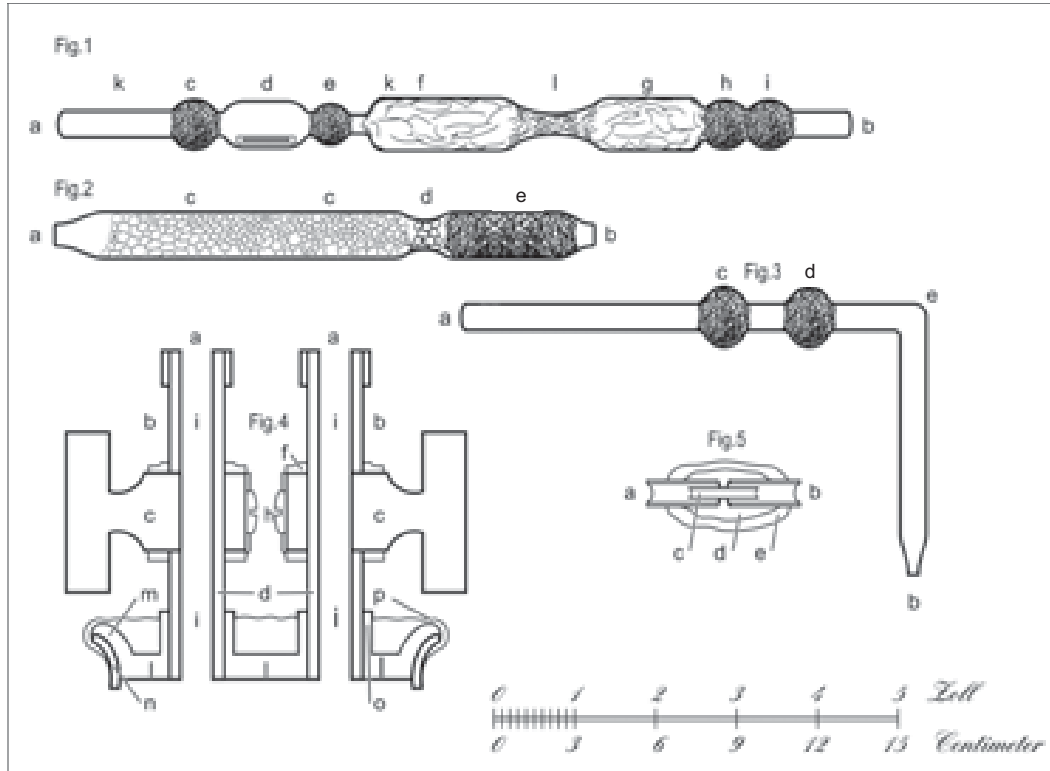


Abb. 6. Aufbau der Versuchseinrichtung. Bezeichnung und Funktion der einzelnen Geräteteile aus Tafel (Tabula) II. Detailbeschreibungen der einzelnen Komponenten (unter Verwendung der Originalbezeichnungen). – *Assembling of von Erlach's experimental setting (corresponds to the original figure «Tabula II» of the dissertation). Detailed view of the assembling of von Erlach's experimental setting (phosphor and carbonate eudiometers, glass taps to the «perspirator», connection between eudiometers and «aspirator»).* Detailed description using mainly the original language.

Fig. 1. «Brunnersche Phosphor-Eudiometer» aus hitzeständigen Glasröhren (Ø 6–7 mm) – *Phosphor eudiometer constructed by heat resistant glass tubes.*

- a schließt an Wasserröhre «a» (Fig. 3) an – *connects to glass tube «a» (fig. 3)*
 b zylindrisches Endteil (Ø 10 mm), Verbindung zur Kohlensäureröhre (Fig. 2) – *connection to carbonate eudiometer (fig. 2)*
 c vordere kugelige Erweiterung (Ø ca. 18 mm), enthält Asbest – *contains asbestos*
 d mittlere zylindrische Erweiterung (Ø ca. 15 mm); enthält eine Phosphorstange (14 × 5 mm); dieser Zylinder wird im Versuch mit einer Spiritusflamme erhitzt, damit der Phosphor an der Glasfläche sublimiert – *contains a phosphor stack; this stack is sublimated by heating (by a flame) at the walls of the glass cylinder*
 e hintere kugelige Erweiterung (Ø ca. 18 mm) – *globular enlargement*
 f vorderer Zylinder (Ø ca. 18–20 mm, ca. 126 mm lang) fest mit Baumwolle gefüllt – *front cylinder; densely filled with cotton functioning as filter*

- g hinterer Zylinder, wie «f»; beide wirken als Filter – *back cylinder; densely filled with cotton functioning as filter*
 h kugelige Erweiterung (Ø ca. 18 mm) mit Asbest mit 15 Tropfen konz. H₂SO₄; bindet Wasser – *globular enlargement filled with asbestos and concentrated H₂SO₄ to fix water (drying of the gas)*
 i kugelige Erweiterung (Ø ca. 18 mm) nur mit Asbest gefüllt, ohne konz. H₂SO₄; wirkt als Filter – *filled only with asbestos; functions as filter*
 k Zylinderanfang – *beginning of the cylinder*
 l Zylinderverengung (Ø ca. 10–15 mm) zwischen «f» und «g», enthält Kupferspäne fest gepresst, soll Phosphor binden – *contains small copper cutting for binding phosphor*

Fig. 2. «Kalk-Eudiometer» (Kohlensäureröhre; Glasröhren mit Ø ca. 15 mm) – *Carbonate eudiometer*.

- a vorderes Ende; geht an «b» von Fig. 1; 10 mm – *front end, connects to «b» of fig. 1*
- b hinteres Ende (11 mm lang, Ø ca. 15 mm) – *back end*
- c vorderer Zylinder (100 mm lang) mit gebranntem, gelöschtem, locker geschichtetem Kalk (feucht!), bindet CO₂ – *contains calcium hydroxide to bind CO₂*
- d Verengung (mit kleinen Porzellan-Scherben oder Bimsstein), wirkt als Filter – *contains small pieces of porcelain or pumice stone as filter*
- e hinterer Zylinder (Länge ca. 30 mm); mit Asbest mit konz. H₂SO₄ in den vorderen 2/3 der Röhre, bindet Wasser – *back cylindrical enlargement filled in the first 2/3 of length with asbestos and concentrated H₂SO₄ to bind water (gas-drying)*

Fig. 3. «Wasserröhre» (Ø außen 10 mm, innen 7–8 mm) – *«water tube»*

- a freie Mündung – *open end*
- b konisches Ende; kommt in Hahn «d» (Abb. 5, Tabula I) – *connects to glass tap «d»*
- c kugelige Anschwellung (Ø 15–20 mm) enthält locker zerzupftes Asbest (Asbestwolle); entspricht «p» in Tabula I (Abb. 5). – *contains flimsy asbestos («p» in Tabula I)*
- d wie «c» mit 30 Tropfen konz. H₂SO₄ (s. «o» Tabula I) – *contains flimsy asbestos («o» in Tabula I) and concentrated H₂SO₄*
- e rechtwinkelige Biegung – *orthogonal bending*
- ae horizontales Stück – *horizontal part*
- eb senkrechtstück – *perpendicular part*

sich zuerst durch die Wasserröhre. Hier gibt es die im Recipienten aufgenommenen Wasserdämpfe an die Schwefelsäure ab und gelangt trocken in Berührung mit dem Phosphor. Dieser ist an den Wandungen der Erweiterungen sublimiert und bietet so dem Sauerstoff der durchstreichenden Luft eine möglichst große Kontaktfläche. Wenn nun die Glaskugeln mit einer Spirituslampe erhitzt werden, so entwickeln sich Phosphordämpfe, welche sich mit dem Sauerstoff zu Phosphorsäure (vielleicht auch zu phosphoriger Säure?) verbinden. Diese Oxydationsprodukte setzen sich über der Kruste des sublimierten Phosphors in einer dünnen weißgelblichen Lage an. Die Oxydationsprodukte wandern dabei immer weiter nach hinten gegen die Baumwolle zu. Zu den unangenehmen Zufällen, welche durch einen zu langsamen Strom bei der Oxydation des

Fig. 4. Glashähne – *glass taps*

- a Ansatzstelle der Wasserröhren – *contact points of water tubes*
- b Glasröhren 120 mm lang – *glass tube 120 mm long*
- c Glashähne (senkrecht stehend = offen) – *glass taps*
- d Glasröhren 120 mm lang – *glass tube 120 mm long*
- e Glasrohransatz – *glass tube*
- f Mutter zum Glashahn – *screw nut to the glass tap*
- h Schraube zum Glashahn – *screw to the glass tap*
- i Glasröhren-Lumen (Ø ca. 12–14 mm) – *volume of the glass tube*
- l vertiefter Boden des Deckels – *deepened bottom of the aspirator tap*
- m Durchschnittsansicht Deckelrand (äußerer Rand) – *view of the outer tap border*
- n Durchschnittsansicht Flaschenhals (innerer Rand, Flaschenhals-Ø) – *view of the inner tap border*
- o Lochränder – *hole borders*
- p Kittwulst zur Abdichtung – *mastic for sealing*

Fig. 5. Verbindungsstücke (kurze Glasröhren) – *connection parts (short glass tubes)*

- a Röhrenende – *end of glass tubes*
- b Röhrenende – *end of glass tubes*
- c Verbindungsstück (Ø 4–5 mm) – *connection tube*
- d Kitt (Leinölfirnis : Bleiweiß : Mennige = 1:1:1) – *mastic for sealing purpose*
- e Stanniolpapier-Umwicklung (3–4-fach) – *tin foil (3–4 times)*

Phosphors erzeugt werden können, gehört die vollständige Verstopfung einer der Einschnürungen zwischen den zylindrischen und einer der kugeligen Phosphorhöhlungen durch Ansetzung einer Kruste von Phosphorsäure. Dann muss die Analyse von vorne begonnen werden. Problematisch ist auch das Anbrennen der Baumwolle hinter dem Phosphor. Dieses bildet die Folge eines zu schnellen Luftstroms in denjenigen Fällen, wo sich noch nicht oxydierter Phosphor in den vordersten Partien der Baumwolle durch Sublimation angesetzt hat. Sobald dagegen die Baumwolle von einer weißflockigen Lage Phosphorsäure bedeckt ist, wird sie dem unmittelbaren Zutritt noch nicht an Phosphor gebundenen Sauerstoffes entzogen.

Der Gasstrom enthält bei seinem Austritt aus der Baumwolle nur noch Kohlensäure

Tab. 1. Versuchstiere (Zahl, Alter, Geschlecht, Körpermasse), experimentelle Messwerte von C. L. von Erlach und Erwartungswerte (basierend auf den Allometrien in Tab. 2; teilweise mit Wertebereichen). – 1. column: tested animals (number in the fig., age, sex; see fig. 7 for details); 2. column: range and mean body mass; 3. column: number of experiments; 4. column: mean RQ; 5. column: measured value (range and mean); 6. column: expected value based on allometric regressions of tab. 2.

Versuchstier (Nr. in Abb. 7)	Körper- masse g	Zahl der Versuche	Respiratori- scher Quo- tient RQ	Messwerte ml O ₂ /(g·h)	Erwartungs- wert ml O ₂ /(g·h)
(1) Frosch <i>Rana</i> sp.; 24 Tiere ¹	40–59 Ø: 50	5	0,85–0,86	0,08–0,18 Ø: 0,13	0,06–0,20 ² Ø: 0,09
(2) Taube <i>Columba livia</i> f. <i>domestica</i>	336	6	0,85	0,80–2,6 Ø: 1,50	1,10
(3) Huhn <i>Gallus domesticus</i> , 2–3 Monate alt	515	1	0,86	1,67	0,95
(4) Huhn <i>Gallus domesticus</i> , 1–1½ Monate alt	315	8	0,87	2,47	1,08
(5) Katze <i>Felis silvestris</i> f. <i>catus</i> , juvenil	792	3	0,84–0,86	0,86–0,90 ³ Ø: 0,88	0,74
(6) Maus <i>Mus musculus</i> , adult	10,6	2	0,85–0,92	1,14 u. 1,29 Ø: 1,21	2,29
(7) Kaninchen <i>Oryctolagus cuniculus</i> f. <i>domesticus</i> , 6–8 Wochen alt	342	1	0,85	0,90	1,004
(8) Meerschweinchen <i>Cavia porcellus</i> , adultes ♂	566	1	0,86	0,96	0,85
(9) Meerschweinchen <i>Cavia porcellus</i> , trächtiges ♀	481	4	0,85–0,86	0,52–1,35 Ø: 1,00	0,64
(10) Meerschweinchen <i>Cavia porcellus</i> , neu geboren, 2 Tiere	61	6	0,83–0,86	2,2–4,2 Ø: 3,05	1,28 ⁴
(11) Eichhörnchen <i>Sciurus vulgaris</i> , ♂ nicht ganz ausgewachsen	292	3	0,85–0,86	2,3 u. 2,7 ⁴	1,065
(12) Hund <i>Canis lupus familiaris</i> , 8–10 Tage alt, ♂	943	2	0,84–0,85	0,99 u. 0,98 ⁵	0,444

¹ In Gruppen zu 24, 20, 15, 6 und 4 gemessen.

² Werte erwartungsgemäß stark temperaturabhängig!

³ Ein vorhandener Messwert über 2,2 dürfte wohl falsch sein, oder das Tier war sehr aufgeregt.

⁴ Ein Messwert von 4,2 dürfte wohl falsch sein, oder das Tier war sehr aufgeregt.

⁵ Erwartungswerte sind immer für Adult-Tiere. Juvenile haben höhere Erwartungswerte; es liegen aber keine entsprechenden Datengrundlagen vor.

und Stickstoff. Die erstere wird im zweiten (Kalk-)Eudiometer durch den mit Kalilösung befeuchteten Kalk vollständig absorbiert, so dass das Gas, welches den Raum des abgeflossenen Öls erfüllt, nur noch aus Stickstoff besteht. Ist die untergestellte Flasche bis an das Maßzeichen voll, wird der Hahn des Aspirators geschlossen und die Zeit notiert.

Nach dem Verschluss des Aspirators wurde der Barometerstand an einem zuverlässigen Gay-Lussac-Buntenschen Heberinstrument

nachgesehen, die Temperatur, welche das Thermometer im Aspirator anzeigte, bemerkt, und die Höhe der Wassersäule im längeren Heberschenkel sowie der Flüssigkeit in der Schale, in welche dieser tauchte, gemessen. Nach dem Erkalten nahm man den Apparat auseinander und maß nochmals die nunmehrige Höhe der Wassersäule im längeren Heberschenkel. Die zwei Eudiometer wurden vom Kitt gereinigt, jedes mit den dazu gehörigen Pfröpfchen verschlossen und dann doppelt auf Milligramme

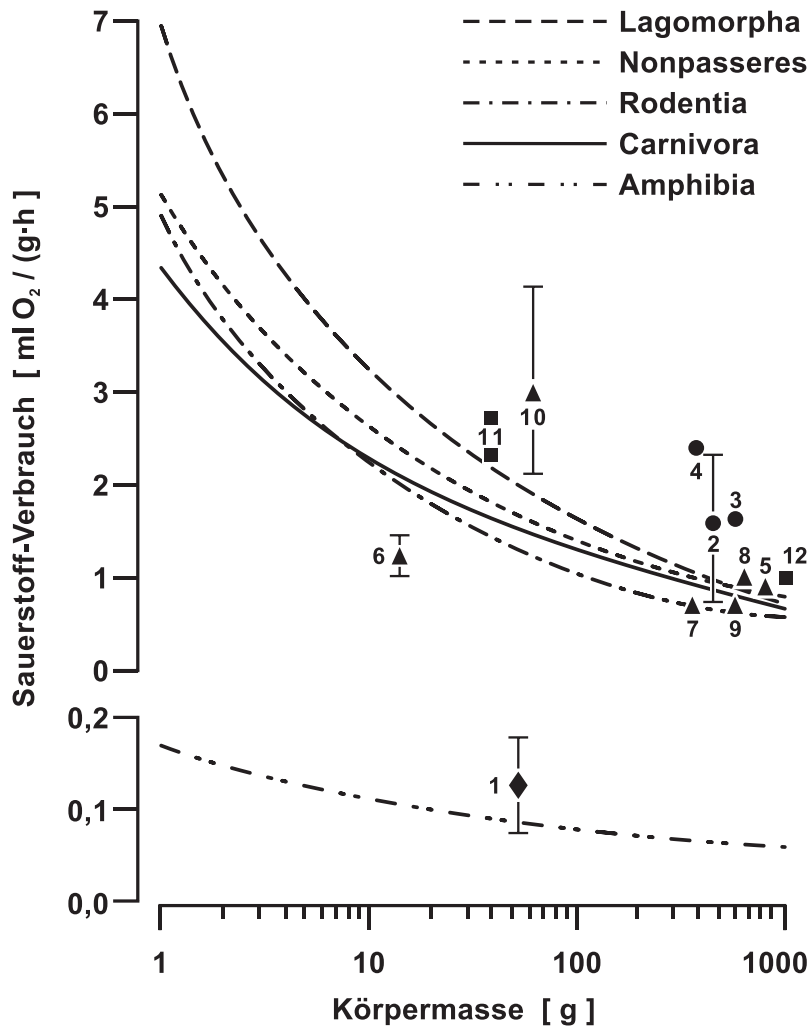


Abb. 7. Allometrie der Erwartungswerte für O_2 -Verbrauchs-Raten [$mlO_2/(g \cdot h)$] bei verschiedenen Tiergruppen nach verschiedenen Autoren aus Neuweiler & Heldmaier (2004), Bezzel & Prinzinger (1990), Prinzinger (1996), Withers (1992). Die zu den Grafiken gehörenden Gleichungen sind in Tab. 2 aufgeführt. Eingezeichnet sind die jeweiligen von-Erlach-Daten (1846) von: (1) Frosch *Rana* sp.; (2) Haustaube *Columba livia* f. *domestica*; (3) Huhn *Gallus domesticus*; 2–3 Monate alt; (4) Huhn *Gallus domesticus*, 1–1½ Monate alt; (5) Katze *Felis silvestris* f. *catus*, juvenil; (6) Maus *Mus musculus*, adult; (7) Kaninchen *Oryctolagus cuniculus* f. *domesticus*, 6–8 Wochen alt; (8) Meerschweinchen *Cavia porcellus*, adultes ♂; (9) Meerschweinchen *Cavia porcellus*, trächtiges ♀; (10) Meerschweinchen *Cavia porcellus*, neu geboren; (11) Eichhörnchen *Sciurus vulgaris*, ♂ nicht ganz ausgewachsen; (12) Hund *Canis lupus familiaris*, 8–10 Tage alt, ♂. – Allometry of expected values for oxygen consumption rates [$mlO_2/(g \cdot h)$] in different animal groups based on given regressions combined from different authors (Bezzel & Prinzinger 1990, Neuweiler & Heldmaier 2004, Prinzinger 1996, Withers 1992); for corresponding equations see tab. 2. Special signs give the experimentally obtained data from von Erlach: (1) frog *Rana* sp.; (2) dove *Columba livia* f. *domestica*; (3) hen *Gallus domesticus*; 2–3 months old; (4) hen *Gallus domesticus*, 1–1½ months old; (5) cat *Felis silvestris* f. *catus*, juvenile; (6) mouse *Mus musculus*, adult; (7) rabbit *Oryctolagus cuniculus* f. *domesticus*, 6–8 months old; (8) guinea pig *Cavia porcellus*, adult, ♂; (9) guinea pig *C. porcellus*, pregnant ♀; (10) guinea pig *C. porcellus*, newly born; (11) Eurasian red squirrel *Sciurus vulgaris*, ♂ not yet full grown up; (12) dog *Canis lupus familiaris*, 8–10 days old, ♂.

Tab. 2. Erwartungswerte für O₂-Verbrauchs-Raten [ml O₂/(g·h)] für ausgewachsene Tiere kombiniert nach verschiedenen Autoren aus Bezzel & Prinzinger (1990), Neuweiler & Heldmaier (2004), Prinzinger (1996) und Withers (1992). Vgl. dazu Abb. 7. – *Expected values for oxygen consumption rates [ml O₂/(g·h)] for adult animals based on given regressions combined from different authors (Bezzel & Prinzinger 1990, Neuweiler & Heldmaier 2004, Prinzinger 1996, Withers 1992); compare also fig. 7.*

Tiergruppe (animal group)	allometrische Gleichung (allometric regression)	Erwartungswerte für Körpermasse von (expected value for a body mass of)			
		1 g	10 g	100 g	1000 g
Lagomorpha (Hasenartige)	6,97·M ^{-0,332}	6,97	3,25	1,51	0,70
Rodentia (Nagetiere)	4,98·M ^{-0,331}	4,98	2,32	1,08	0,51
Carnivora (Raubtiere)	4,27·M ^{-0,262}	4,27	2,33	1,28	0,70
Nonpasseres (Nichtsperrlingsvögel)	5,14·M ^{-0,271}	5,14	2,75	1,48	0,79
Amphibia ¹ (Amphibien)	0,16·M ^{-0,15}	0,15	0,11	0,08	0,057

¹ Der Exponent der Allometrie-Gleichung ist ein Mittelwert aus -0,25 bis +0,06. Die Erwartungswerte sind bei Wechselwarmen sehr stark von den jeweiligen Umgebungstemperaturen abhängig, so dass nur Anhaltspunkte geliefert werden können, sofern genaue Daten zur Messbedingung fehlen.

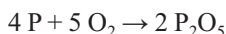
gewogen. Aus der jeweiligen Gewichtszunahme der beiden Eudiometer im Vergleich zum Null-Durchgang ließ sich dann die Sauerstoff- und die Kohlendioxid-Konzentration der analysierten Luft berechnen und daraus wiederum die korrespondierenden Gasumsatzraten.

Kurzfassung des Prinzips der Analyse

Der Gasdurchfluss durch das Mess-System (vgl. Abb. 5) erfolgt durch Ablassen von Öl im Aspirator (η) in die Glasflasche (λ), wodurch Luft nachgesaugt wird. Salzwasser fließt aus der offenen Glasschale (m) nach, und damit entsteht kein Unterdruck im Tiergefäß (a). Aus der Volumenänderung in λ lässt sich die Menge der durchgesaugten Luft bestimmen.

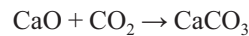
Die Trocknung der Mess-Luft erfolgt durch konzentrierte Schwefelsäure in der Wasserröhre (Abb. 6, Fig. 3), die direkt die Luft aus dem Tiergefäß aufnimmt.

Die Bestimmung der O₂-Konzentration in der durchgesaugten Luft erfolgt im nachgeschalteten Phosphor-Eudiometer (Abb. 6, Fig. 1) nach der vereinfachten chemischen Reaktion



Die Bestimmung der CO₂-Konzentration erfolgt im anschließenden Kalk-Eudiometer

(Abb. 6, Fig. 2) nach der vereinfachten chemischen Reaktion



Jeweils durch Wägung der Reaktionsprodukte (Zunahme der eingewogenen Ausgangsstoffe durch Wägung der jeweiligen Eudiometer vor und nach der Messung; Gravimetrie) lässt sich die Menge des jeweils gebundenen Gases berechnen.

Aus der Messzeit, der verbrauchten (O₂) bzw. erzeugten Gasmenge (CO₂) sowie dem Gewicht des Versuchstieres lässt sich dann der gewichtsspezifische Gasumsatz einfach berechnen. Unstrittig gibt es an zahlreichen Punkten dieser Gasumsatzbestimmungen vielfache Fehlermöglichkeiten, die aber das Gesamtergebnis in keiner Weise schmälern.

4. Ergebnisse

Eine Auflistung der erhaltenen Messwerte und der dazugehörigen Erwartungswerte geben Tab. 1 und 2 sowie Abb. 7.

Es zeigt sich, dass die meisten Werte in einem sehr vernünftigen Rahmen liegen. Bedenkt man zudem, dass die Messumstände äußerst stressig für die Tiere waren, sind sie so-

gar sehr gut. Jeder, der solche Umsatzbestimmungen durchführt, weiß außerdem, dass Einzelwerte bei kurzen Messintervallen durchaus mit einem Faktor von 2–3 streuen können. Die sehr hohen Werte (und damit Abweichungen vom Erwartungswert) bei jungen Tieren und bei den ganz kleinen Meerschweinchen dürften darauf zurückzuführen sein, dass es sich um neugeborene Tiere handelt. Jungtiere haben immer sehr viel höhere Werte als Adulttiere. Das Gleiche gilt auch für das schwangere Meerschweinchen. Insgesamt kann man mit diesen Werten also äußerst zufrieden sein, vor allem, wenn man bedenkt, unter welch komplizierten experimentellen Bedingungen sie ermittelt worden sind.

5. Biographisches zu C. L. von Erlach

Die «von Erlach» sind eine alte Berner Familie. In Bern existiert neben der politischen Gemeinde (der Einwohnergemeinde) die auf mittelalterliche Wurzeln zurückgehende Bürgergemeinde, die bis zum Sturz des Ancien Régime 1798 die vollberechtigten Bürger der Stadt umfasste. Allerdings waren nur etwa hundert Familien tatsächlich «regimentsfähig», darunter auch die Familie von Erlach. Nähere Angaben zur Entstehung und heutigen Bedeutung der Bürgergemeinde s. www.burgergemeindebern.ch.

Die Bürgerbibliothek Bern stellt eine Sammlung von Handschriften, Dokumenten zur Bürgergemeinde und ihren Mitgliedern und von Privatarchive dar. Auf Anfrage der Redaktion des *Ornithol. Beob.* teilte A. Hüsey folgende Angaben zum Autor der hier besprochenen Dissertation mit:

Erlach, Karl Ludwig, 1821–1886, Arzt und Wundarzt, war der Sohn des Robert Ludwig von Erlach (1794–1879) und der Anna Maria von Erlach, geb. von Escher (1798–1871). Er verheiratete sich 1850 mit Bertha Julie Cecile von Diesbach und war tätig in Reichenbach bei Meiringen, in Koppigen und am Äusseren Krankenhaus in Bern. Karl Ludwig von Erlach ist zudem namentlich in einer schriftlichen Quelle im Archiv der medizinisch-chirurgischen Gesellschaft der Stadt Bern nachge-

wiesen. Ebenfalls ist ein Jugend-Porträt Karl Ludwig von Erlachs (Gruppenbild mit seinen Brüdern) bezeugt, das sich indes nicht im Besitz der Bürgerbibliothek befindet. In einem Zeitungsbericht der *Basler Nachrichten* vom 20. August 1887 wird zudem berichtet, dass Karl Ludwig von Erlach der eigentliche Entdecker des Augenspiegels gewesen sei, dessen Erfindung er als junger Arzt anlässlich eines Besuchs in Berlin gemacht haben soll.

Als Erfinder des Ophthalmoskops, des Augenspiegels, gilt in der Medizingeschichte zwar Hermann von Helmholtz (1821–1894), Professor für Physiologie in Königsberg, Heidelberg und Berlin. Er nahm aber 1851 in der Publikation über seine Erfindung Bezug auf die zufällige Beobachtung von C. L. von Erlach über die Beleuchtung des Augenhintergrundes (Colicchia 2005). Von Erlach, der von seinem Freund Brunner als «in seiner Ausdrucksweise schwerfällig und von grosser Apathie in seinen Handlungen» beschrieben wird (Pflüger 1902), kommt somit mindestens das Verdienst zu, seine Beobachtung jemandem mitgeteilt zu haben, der daraus die richtigen Schlüsse ziehen konnte

Dank. Herr Dr. Beat Wartmann, Zentralbibliothek Zürich, half bei der Suche nach einem Standort der von Erlach'schen Dissertation. Für die unkomplizierte Beschaffung dieser Dissertation aus der Universitätsbibliothek Bern, Zentralbibliothek, gilt unser Dank Frau Dr. Sabine Schlüter, Kuratorin Historische Bestände. Wir danken den Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen unserer Werkstätten für den Nachbau der Stoffwechselanlage: Herrn Dietrich Kopp von der Schreinerei, Herrn Gottfried Scherer für die Feinmechanikarbeiten und insbesondere Frau Corinna Bandit für die Glasbläserei. Herr Klaus Grommet erstellte die Grafiken. Für die Beschaffung der biographischen Angaben danken wir Frau Annelies Hüsey, Bereichsleiterin Privatarchive der Bürgerbibliothek Bern, sehr herzlich, ausserdem Herrn Prof. Dr. Niklaus Gerber, Bern, für medizingeschichtliche Nachforschungen.

Zusammenfassung

Im Jahre 1846 schrieb Carl Ludwig von Erlach in Bern (Schweiz) eine Dissertation mit dem Titel «Versuche über die Perspiration einiger mit Lungen athmender Wirbelthiere». Sie stellt eine der ersten bekannten experimentellen Arbeiten zum Gasstoffwechsel von Tieren dar, war aber bisher nicht in der Literatur berücksichtigt worden. Von Erlach hat über

gravimetrische Eudiometer folgende Tiere gemessen: Frosch *Rana* sp., Haustaube *Columba livia* f. *domestica*, verschieden alte Hühner *Gallus domesticus*, Katze *Felis silvestris* f. *catus*, Maus *Mus musculus*, Kaninchen *Oryctolagus cuniculus* f. *domesticus*, verschieden alte Meerschweinchen *Cavia porcellus*, Eichhörnchen *Sciurus vulgaris* und Hund *Canis lupus familiaris*. Die erhaltenen Ergebnisse sind im Hinblick auf die komplizierte Messmethode in einem realistischen Rahmen und stellen wohl die ersten nachvollziehbaren Daten zum Gasstoffwechsel bei Tieren dar. In der Arbeit wird der Versuchsaufbau und der Gang der Analyse inklusive der erhaltenen Daten detailliert beschrieben und diskutiert.

Literatur

- BEZZEL, E. & R. PRINZINGER (1990): Ornithologie. Ulmer, Stuttgart.
- CARUS, J. V. & W. ENGELMANN (1861): Verzeichnis der Schriften über Zoologie. 1. und 2. Bd. Engelmann, Leipzig.
- GIEBEL, C. G. (1872–1877): Thesaurus Ornithologiae. 1. Bd. (1872), 2. Bd. (1875), 3. Bd. (1877). Brockhaus, Leipzig.
- ERLACH, C. L. VON (1846): Versuche über die Perspiration einiger mit Lungen athmender Wirbelthiere. Diss. Bern.
- NEUWEILER, G. & G. HELDMAIER (2004): Vergleichende Tierphysiologie. Bd. 2. Springer, Berlin.
- PRINZINGER, R. (1996): Das Geheimnis des Alterns – Die programmierte Lebenszeit bei Mensch, Tier und Pflanze. Campus, Frankfurt/Main.
- WIEMANN, K. (2005): Beitrag zur Geschichte der Ernährungsforschung beim Haushuhn (bis 1950). Diss. Hannover.
- WITHERS, P. C. (1992): Comparative animal physiology. Saunders, Philadelphia.

Quellen für die biografischen Angaben

- COLICCHIA, G. (2005): Die Schwärze der Pupille und die Erfindung des Augenspiegels. Physik und Didaktik in Schule und Hochschule 1/4: 23–29. Historisch-biographisches Lexikon der Schweiz HBLs, Bd. 3, Neuenburg 1926, p. 62.
- Nekrolog in den Basler Nachrichten 1887 (Signatur: Mül.var.1829 [24]).
- Personendatenbank der Burgerbibliothek Bern.
- PFLÜGER (1902): Die Erfindung des Augenspiegels. Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde 40, Sonderabdruck (4 S.).
- RODT, B. VON: Genealogien der burgerlichen Geschlechter der Stadt Bern, Bd. 1 p. 324 (Signatur: Mss.h.h.LII.9.1).

Manuskript eingegangen 23. März 2009
Bereinigte Fassung angenommen 29. Dezember 2009