Verh. Westd. Entom. Tag 1995, S. 285 - 290, Löbbecke-Mus., Düsseldorf 1996

Atmung bei Rosenkäfern und Schaben: oder warum sind Schaben so klein und Elefanten so groß?

J.H.P. Hackstein, J. Rosenberg, F.G.C. Bijnen, F.J.M. Harren, J. Reuss

1. Einleitung

Es scheint selbstverständlich zu sein, daß landlebende Tiere atmen. Jedoch sind viele Fragen nach der Struktur und Funktion der Atmungsorgane immer noch unbeantwortet. Insekten besitzen keine Lungen, sondern weitverzweigte Tracheensysteme; daher sind viele Menschen der Meinung, daß die Sauerstoffversorgung der Körperzellen ausschließlich durch Diffusion der Atemluft in den Röhren des Tracheensystems gewährleistet wird. Aber auch Insekten "atmen" und ventilieren dabei ihr Tracheensystem. Im Gegensatz zu den Wirbeltieren geschieht dies mit einer sehr viel geringeren Atemfrequenz. Daher haben wir die Atemfrequenzen von Insekten unterschiedlicher Größe mit Hilfe eines neuentwickelten photoakustischen Verfahrens gemessen und untersucht, ob auch bei Insekten ein Zusammenhang zwischen Körpergröße und Atemfrequenz wie bei den Wirbeltieren besteht. Bei Imagines der Rosenkäfer, die im Ruhezustand nur etwa einmal pro Stunde atmen, fanden wir in diesem Zusammenhang, daß das Volumen des Tracheensystem durch zahlreiche Luftsäcke beträchtlich vergrößert ist. Diese Luftsäcke sind in Fettkörperzellen eingebettet, und über ihre Funktion gibt es nur Spekulationen.

2. Material und Methode

Larven und Imagines der Rosenkäfer *Pachnoda marginata* und *P. bhutana* stammen aus Zuchten des Löbbecke-Museums, Düsseldorf, bzw. des Kölner Zoos. Die verschiedenen Schabenarten werden an der Universität Nijmegen gehalten. Für die Ermittlung der Atemfrequenz, wurden Larven und Imagines unterschiedlichen Gewichts in eine Glasküvette gesetzt, die von einem Gemisch aus Stickstoff und Sauerstoff (80/20 vol.%) durchströmt wurde. Die ausströmende Luft wurde mit Hilfe einer photoakustischen Zelle analysiert, die von einem abstimmbaren CO-Laser im infraroten Bereich des Spektrums aufgeheizt wurde. Zur Bestimmung der Atemfrequenz wurden Wasserdampf, Kohlendioxyd und Methan gemessen, die während der Atmung gleichzeitig freigesetzt werden. Dieses Verfahren wurde durch BIJNEN et al. (1995) detailliert beschreiben.

Für die elektronenmikroskopischen Untersuchungen wurden Tracheensäcke von Imagines von *P. marginata* in einer PBS gepufferten Paraform-Glutardialdehyd Lösung fixiert. Die Nachfixierung erfolgte mit OsO_4 Lösung. Nach Entwässerung und Einbettung in Epon 812, wurden die Schnitte mit einem Zeiss 109T Elektronenmikroskop untersucht.

3. Ergebnisse und Diskussion

Sowohl die hemimetabolen Schaben als auch die holometabolen Rosenkäfer beherbergen symbiontische Mikroorganismen in ihrem Darm, die zur Verdauung der

Nahrung beitragen. Methanbakterien nehmen hierbei eine Schlüsselrolle ein. Bei den Larven der Rosenkäfer entwickelte sich im Laufe der Evolution ein enorm vergrößerter Enddarm, der als Gärkammer funktioniert und zahlreiche Adaptationen zum Gasaustausch aufweist (ROSENBERG und HACKSTEIN 1995). Bei den Imagines der Rosenkäfer, die eine Vorliebe für eine mehr frugivore Nahrung besitzen, fehlen diese hochentwickelten Differenzierungen des larvalen Enddarmepithels. Das Enddarmepithel der Imagines ist ähnlich wie bei Schaben lediglich mit Trichomen besetzt. Der imaginale Enddarm ist bei Rosenkäfern und Schaben vergrößert und beherbergt ein fermentierendes mikrobielles Ökosystem, in dem auch Methanbakterien vorkommen.

Bei den Rosenkäfern ist das tracheale System, das auch für die Abfuhr des im Enddarm gebildeten Methan verantwortlich ist, hochentwickelt. Neben Tracheen und Tracheolen finden sich große, von Fettkörperzellen umgebene Luftsäcke. Bei diesen Luftsäcken scheint es sich um hochspezialisierte Tracheenabschnitte zu handeln. Das Lumen der Luftsäcke ist mit einer dünnen Kutikula ausgekleidet. Im Lichtmikroskop scheinen die Fettkörperzellen direkt unter der Kutikula zu liegen (Abb. 1).

Elektronenmikroskopische Aufnahmen zeigen jedoch, daß zwischen der Kutikula des Luftsacks und den Fettkörperzellen eine dünne Tracheenzelle liegt. Eine Basallamina ist nicht zu erkennen, benachbarte Zellen sind durch Desmosomen verbunden (Abb. 2). Die Fettkörperzellen grenzen direkt an die Tracheenzelle. Sie enthalten zahlreiche Grana unterschiedlicher Größe. Fettkörperzellen umkleiden auch die angrenzenden Tracheen und Tracheolen.

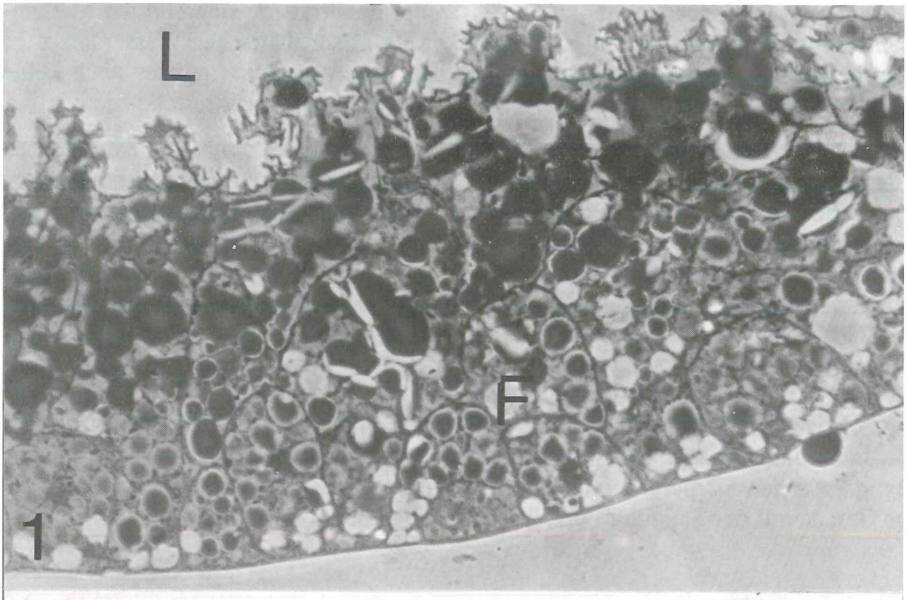
Die Funktion dieser einzigartigen Assoziation zwischen Tracheen und Fettkörperzellen ist nicht bekannt; sie findet aber vermutlich im Ventilationsverhalten der Käfer eine Erklärung. Adulte Rosenkäfer der Arten *P. bhutana* und *P. marginata* ventilieren ihr Tracheensystem im Ruhezustand etwa einmal pro Stunde (BIJNEN et al. 1995). Man kann darüber spekulieren, ob in den Luftsäcken Sauerstoff für die langen "geschlossenen" Phasen gespeichert wird, oder ob hier Stoffwechselvorgänge ablaufen. Vielleicht werden hier die flüchtigen Fettsäuren resorbiert, die im Enddarm gebildet werden (STUMM und HACKSTEIN 1994; HACKSTEIN et al. 1996). Eine nähere Analyse der Kinetik des Gasaustausches zeigt jedoch, daß die Atmo-

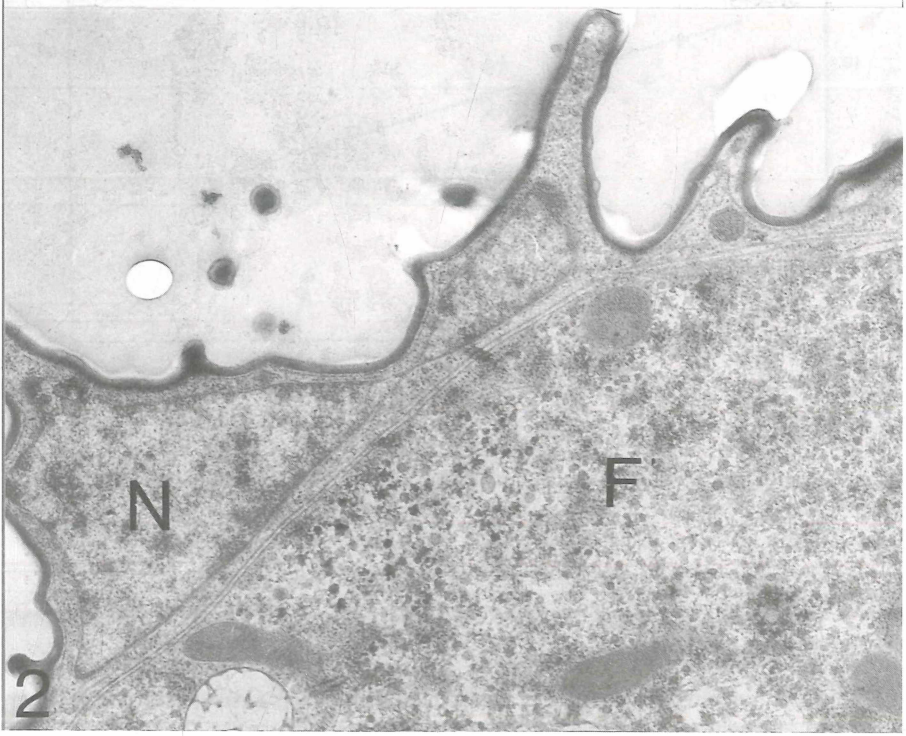
---

Abb. 1: Ausschnitt aus der Wand eines Tracheensackes von *Pachnoda bhutana*. Im Lichtmikroskop scheinen die Fettzellen direkt an die vielfach vorspringende Kutikula des Tracheensackes zu grenzen. **F** Fettzelle, **L** Lumen des Tracheensackes. Vergr. 950x (rechts oben).

Abb. 2: Elektronenmikroskopische Darstellung einer flachen Tracheenzelle des Tracheensackes von *Pachnoda bhutana* mit ihrer schmalen Kutikula. Die Fettzellen (**F**) grenzen unmittelbar an die Tracheenzellen. **N** Kern der Tracheenzelle. Vergr. 15 000x (rechts unten)

Verh. Westd. Entom. Tag 1995, S. 285 - 290, Löbbecke-Mus., Düsseldorf 1996





sphäre des Tracheensystems mit Wasserdampf gesättigt ist, während die Methankonzentration relativ gering ist. Daher könnte atmosphärischer Wasserdampf in biochemischen Reaktionen gebunden werden. Im Augenblick gibt es noch keine Möglichkeit, um zwischen den verschiedenen Hypothesen zu unterscheiden.

Um die Zusammenhänge zwischen Atmung, Stoffwechselaktivität und Körpergröße näher zu untersuchen, kann man nur hemimetabole Insekten benutzen, da die Körpergröße der holometabolen Rosenkäfer nur kleine Schwankungen aufweist. Schaben sind hierfür sehr geeignet. Die verschiedenen Schabenarten mit ihren Larvenstadien unterscheiden sich zwar stark in ihrer Größe, aber kaum in ihren Ernährungsweisen und Stoffwechselaktivitäten. Alle Entwicklungsstadien produzieren Methan, das zusammen mit CO_2 und Wasserdampf in regelmäßigen Zyklen ausgestoßen wird. Messungen dieser Gase zeigen, daß die Ventilationsperioden pro Stunde eine auffällige Korrelation mit dem Frischgewicht der Schaben aufweisen: kleine Schaben - auch junge Larven ein und derselben Art - "atmen" schneller als große Individuen. In doppelt-logarithmischer Darstellung läßt sich der Zusammenhang zwischen Körpergröße und Atemfrequenz wie bei den Wirbeltieren durch eine Gerade mit der Steigung - 0,25 beschreiben (Abb. 3, 4).

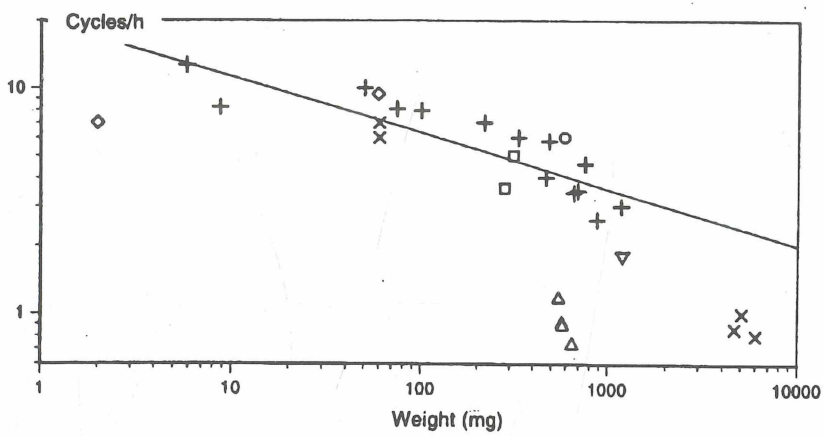


Abb. 3: Atemfrequenz als Funktion des Gewichts von verschiedenen Schabenarten und Rosenkäfern.
+ *Periplaneta americana* (n=14), × *Gromphadorhina portentosa* (n=5),
O *Periplaneta australasia* (n=1), □ *Nyctibora* spec. (n=3),
◊ *Blatella germanica* (n=2), ▽ *Pachnoda marginata* (n=1),
△ *Pachnoda bhutana* (n= 4), $f = m^{-0,25}$

Die Atemfrequenzen der Insekten liegen jedoch um 2 bis 3 Größenordnungen unter denen der Wirbeltiere (Abb. 4). Während die größte gemessene Schabe *Grompha-*

Gromphadorhina portentosa mit einem Gewicht von etwa 6 g ca. einmal pro Stunde ventiliert, atmen Wirbeltiere dieser Größe mehr als 100 mal pro Minute (z.B. Spitzmäuse und Kolibris). Man kann sich leicht vorstellen, daß hier die Grenzen der mechanischen Belastbarkeit erreicht werden. Am anderen Ende der Gewichtsskala finden sich die größten Landsäugetiere (Elefanten), die weniger als 10 mal pro Minute atmen. Extrapoliert man die Gerade zu größeren Gewichten hin, müßten noch größere Tiere theoretisch ihre Atmung einstellen. Das bedeutet, daß die Gesetzmäßigkeiten der Atmung die Existenz von Wirbeltieren nur innerhalb eines Bereichs von 1g bis zu etwa 100 t Körpergewicht erlauben.

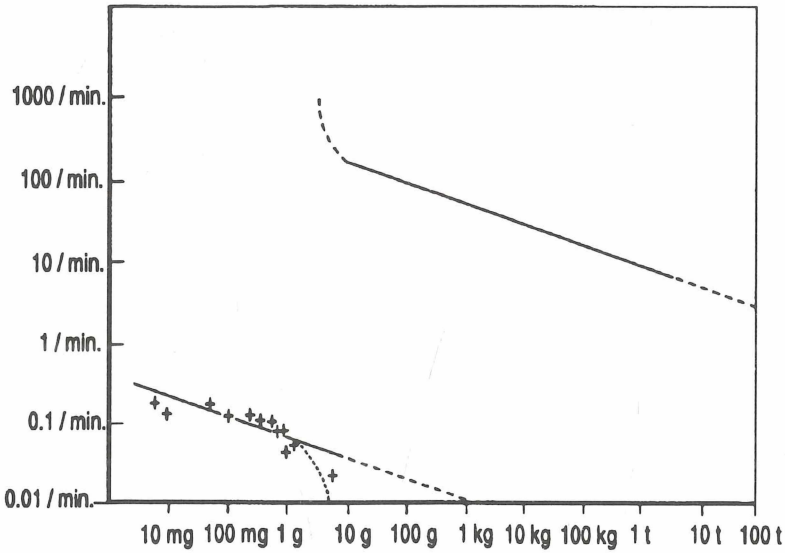


Abb. 4: Atemfrequenzen als Funktion des Tiergewichts. Unterer Graph: kombiniert aus Abb. 3; oberer Graph: Wirbeltiere, zusammengestellt aus verschiedenen Lehrbüchern

Insekten leben dahingegen in einer "anderen Welt": die Extrapolation der unteren Kurve in Abb. 4 zeigt, daß das Gewicht der Insekten nicht mehr als etwa 100 g betragen kann. Andererseits haben kleine Insekten mit einem Gewicht unter 10 mg die Grenzen der mechanischen Belastung bei der Atmung noch lange nicht erreicht. Offensichtlich gibt es keinen fließenden Übergang von kleinen lungenatmenden Wirbeltieren zu großen Tracheenatmern, obwohl die Regressionsgeraden, die den Zusammenhang zwischen Körpergewicht und Atemfrequenz beschreiben, die gleiche Steigung aufweisen. Man kann daher die Korrelation zwischen Gewicht und Atemfrequenz auch mit einer einzigen hyperbolen Funktion beschreiben. Alle

landlebenden Insekten und Vertebraten erfüllen diese Bedingungen. Allerdings liegen die Daten von Insekten und Wirbeltieren auf verschiedenen Ästen der Hyperbel: Insekten und Wirbeltiere leben in zwei völlig voneinander getrennten "Welten", obwohl sie den gleichen physiologischen Bedingungen und Gesetzmäßigkeiten unterworfen sind.

4. Danksagung

Wir danken H. Schlierenkamp, Ruhr-Universität-Bochum, für seine engagierte Mitarbeit bei den elektronenmikroskopischen Untersuchungen, Dr. S. Löser und D. Schulten, Düsseldorf, und H. Forst, Köln, für die Überlassung der Rosenkäfer.

5. Literatur

BIJNEN, F.G.C., HACKSTEIN, J.H.P., KESTLER, P., HARREN, F.J.M., REUSS, J. (1995): Fast laser photoacoustical detection of trace gases; respiration of Arthropods. Laser und Optoelektronik 27, 68-72.

HACKSTEIN, J.H.P., LANGER, P., ROSENBERG, J.(1996): Genetic and evolutionary constriants for the symbiosis between animals and methanogenic bacteria. Exp. Monitoring Assessment 42, 39-56.

ROSENBERG, J., HACKSTEIN, J.H.P. (1995): Methanbildende Blatthornkäfer (Scarabaeidae, Coleoptera). Verh. Westd. Entom. Tag 1994, pp 67-72, Löbbecke Mus., Düsseldorf.

STUMM, C.K., HACKSTEIN, J.H.P. (1994): Methanbakterien und Protisten in den Gärkammern von Wiederkäuern und Insekten. In: Extremophile Mikroorganismen in ausgefallenen Lebensräumen (Hausmann, K. und Kremer, B.P. eds). VCH Weinheim.

Dr. J.H.P. Hackstein[1], Dr. F.G.C. Bijnen[2], Dr. F.J.M. Harren[2], Prof. Dr. J. Reuss[2]

Department of Microbiology and Evolutionary Biology[1] und Department of Molecular and Laser Physics[2], Faculty of Science, Catholic University of Nijmegen, Toernooiveld 1,

NL 6525 ED Nijmegen

Dr. Jörg Rosenberg
Sommerhaus 45
D 50 129 Bergheim

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Verhandlungen des Westdeutschen Entomologentag Düsseldorf

Jahr/Year: 1996

Band/Volume: 1995

Autor(en)/Author(s): Hackstein Johannes H.P., Bijnen F.G.C., Harren F.J.M., Reuss J., Rosenberg Jörg

Artikel/Article: Atmung bei Rosenkäfern und Schaben: oder warum sind Schaben so klein und Elefanten so groß? 285-290