

Methanbildende Blatthornkäfer (Scarabaeidae, Coleoptera)

Jörg Rosenberg und Johannes H. P. Hackstein

1. Einleitung

Wohl kaum einem Betrachter wird angesichts der bunten und formenreichen tropischen Blatthornkäfer in den Sinn kommen, daß diese Insekten etwas mit dem viel zitierten Ozonloch und dem Treibhauseffekt zu tun haben. Dennoch beherbergen die Larven dieser Tiere in ihrem Enddarm ein komplexes Ökosystem von Mikroorganismen, um ihre zellulosehaltige, aber stickstoff- und proteinarme Nahrung aufzuschließen und verwertbar zu machen (BUCHNER 1953, BREZNAK 1982). Bei diesem Prozeß werden durch die Aktivität von Methanbakterien erhebliche Mengen des Spurengases Methan produziert, welches über die Tracheen in die Atmosphäre abgegeben wird (HACKSTEIN & STUMM 1994, STUMM & HACKSTEIN 1994). Blatthornkäfer tragen damit zur globalen Luftverschmutzung bei, da Methan nicht unerheblich am Treibhauseffekt und der Entstehung des Ozonlochs beteiligt ist (GRAEDEL & CRUTZEN 1989).

Bei der bakteriellen Vergärung wird die Zellulose anaerobisch zu CO_2 , flüchtigen, kurzkettigen Fettsäuren (vor allem Essigsäure) und freiem Wasserstoff abgebaut. Spezialisierte Archaeobakterien (Methanbakterien) bestreiten ihren Energiestoffwechsel durch die Umsetzung von Kohlendioxid und giftigem Wasserstoff zu Methan. Bei diesem enzymatischen Prozeß wird ein spezifisches Coenzym benötigt, welches die Eigenschaft besitzt, bei Anregung mit UV-Licht blau zu fluoreszieren (DODDEMA & VOGELS 1978). Da die Isolierung und Identifizierung von symbiontischen Mikroorganismen generell auf Schwierigkeiten stößt, ist es einfacher, nach Methanbakterien zu forschen, die sich sowohl durch ihre Methanproduktion als auch durch ihre Autofluoreszenz verraten.

Systematische Untersuchungen an pflanzenfressenden und omnivoren Arthropoden zeigen, daß Symbiosen zwischen Arthropoden und Methanbakterien recht selten sind und nicht zufällig bei Tieren unterschiedlicher Taxa anzutreffen sind. Vielmehr konnte eine Methanbildung bislang nur innerhalb der Gruppen der Diplopoden, Schaben (Blattidae), Termiten (Isoptera) und Blatthornkäfer (Scarabaeidae) nachgewiesen werden (HACKSTEIN & STUMM 1994). Nur Angehörige dieser Ordnungen beherbergen in ihrem Darm Mikroorganismen, die Methan produzieren, während bei anderen Arthropoden-Gruppen bislang keine Methan-Bildung nachgewiesen werden konnte. Die Methanbakterien können entweder intrazellulär in symbiontischen Flagellaten oder Ciliaten auftreten (Diplopoden, Schaben und Termiten) oder als freie Methanbakterien zu Gärkammern spezialisierte Enddarmabschnitte besiedeln (Termiten, Schaben und Blatthornkäfer).

Die xylophagen und detritivoren Larven der Scarabaeidae können ihre nährstoffarme, cellulosehaltige Nahrung nur sehr unvollkommen aufschließen. Dieses Problem wird von diesen Tieren mit Hilfe von symbiontischen Mikroorganismen

gelöst, die in den Verdauungstrakten ihrer Wirte leben. Im Verlaufe der Evolution wurden bestimmte Abschnitte des Enddarms zu einer Gärkammer vergrößert und für die Unterbringung von Mikroorganismen umgestaltet. Hierbei entstanden eindrucksvolle Differenzierungen in Form von sich verästelnden haarförmigen Ausstülpungen, die offensichtlich erheblich zur Steigerung der Methanproduktion beitragen.



Abb. 1: Enddarmdifferenzierung der Larve des Rosenkäfers *Pachnoda marginata* nach Behandlung mit 15% iger KOH und Waschen mit Detergentien, um anhaftende Bakterien zu entfernen. Pfeile weisen auf nadelförmige Trichome, die vom Haarschaft ausstrahlen. Vergrößerung: 1400 x. Differenzieller Interferenzkontrast.

2. Material und Methode

Larven der Rosenkäfer *Pachnoda marginata*, *P. butana* und des Nashornkäfers *Dynastes hercules* entstammen Zuchten des Löbbecke Museums Düsseldorf und des Zoologischen Gartens Köln. Für die elektronenmikroskopische Aufbereitung wurden die Gärkammern der Tiere eröffnet und die Nahrungsreste durch Spülen entfernt. Die Fixierung erfolgte mit einer gepufferten Paraform-Glutardialdehyd- und einer sich anschließenden OsO_4 -Lösung. Nach Entwässerung über verschiedene

Alkoholstufen und Einbettung in das Kunstharz Epon 812 konnten die Objekte mit Hilfe eines Diamantmessers geschnitten werden. Die Auswertung erfolgte mit einem Zeiss 109 T Elektronenmikroskop.

3. Ergebnisse und Diskussion

Der Darm der xylophagen Scarabaeidenlarven unterscheidet sich von dem anderer Insekten-Ordnungen vor allem durch die starke Erweiterung des mittleren Enddarmabschnittes, der zu einer mächtigen Gärkammer aufgetrieben ist und der Zelluloseverdauung dient (WIEDEMANN 1930). In vivo zeigt das Epithel einer geöffneten Gärkammer ein zottenähnliches Aussehen, das makroskopisch nicht näher zu interpretieren ist. Erst ein Quetschpräparat offenbart die Form solcher Zotten als bis zu 1 mm lange haarförmige, sich mehrfach verzweigende Gebilde, die, ähnlich einer Reagenzglasbürste, von Tausenden nadelförmiger Borsten besetzt sind und dadurch zu einer beträchtlichen Vergrößerung der Darmoberfläche führen (Abb. 1). Schnitte durch die Gärkammer offenbaren, daß das einschichtige und wenig differenzierte, chitinüberzogene Epithel der Gärkammer zahlreiche haarförmige Ausstülpungen ausbildet, die von großen Mengen von Bakterien umgeben und ihnen dadurch in vivo ein zottenähnliches Aussehen verleihen. Auch der Wandung der Gärkammer ist eine breite Schicht von Bakterien aufgelagert. Dank ihrer Autofluoreszenz entpuppen sich viele dieser Bakterien unter dem Fluoreszenzmikroskop als Methanbakterien (HACKSTEIN & STUMM 1994, STUMM & HACKSTEIN 1994), daneben sind einige kleine Protozoen (Flagellaten) zu erkennen. Der Nahrungsbrei wird innerhalb der Gärkammer ständig an den entlang der zahllosen chitinen Borsten festsitzenden Bakterien vorbeigeführt; die durch die Borsten erzielte Vergrößerung der Oberfläche erlaubt eine massenhafte Vermehrung der Bakterien.

Die innige Beziehung zwischen symbiontischen Mikroorganismen und den Differenzierungen der Gärkammer lassen sich recht gut im Elektronenmikroskop darstellen. Nicht nur dem sich verzweigenden Schaft sind die langgestreckten Methanbakterien eng angelagert, sie umstehen auch die zahllosen chitinen Borsten, die vom Haarschaft ausstrahlen. Querschnitte durch den mittleren Teil des Haarschaftes lassen die besondere Organisation eines solchen verzweigten Haars erkennen, die in mancher Hinsicht überrascht. Am Aufbau eines solchen Haars sind immer mehrere Zellen beteiligt; sie sind über lange und gewundene Zellkontakte eng miteinander verbunden (Abb. 2). Das Cytoplasma einer jeden Haarzelle wird fast vollständig von Mikrotubuli ausgefüllt, die die Zellen in Längsrichtung durchziehen. Zwischen den Tubuli liegen zahlreiche kleinere Vakuolen. Sie erscheinen im Elektronenmikroskop leer, da ihr Inhalt offenbar im Verlauf der Fixierung herausgelöst ist. Ausschließlich im basalen Bereich einer jeden Haarzelle liegt ihr Zellkern, in seiner Nähe liegen weitere Zellorganelle wie endoplasmatisches Retikulum und Mitochondrien. Die nebeneinanderliegenden Haarzellen sind in eine breite, wenig strukturierte Subkutikula eingebettet, die den weitlumigen Haarschaft um die Zellen herum vollständig ausfüllt. Diese homogen erscheinende Schicht verdichtet sich

randwärts zu einer schmalen, elektronenoptisch dichteren Substanz, die einer nicht lamellierten Endokutikula entspricht. Den äußeren Abschluß bildet eine sehr dünne Epikutikula.

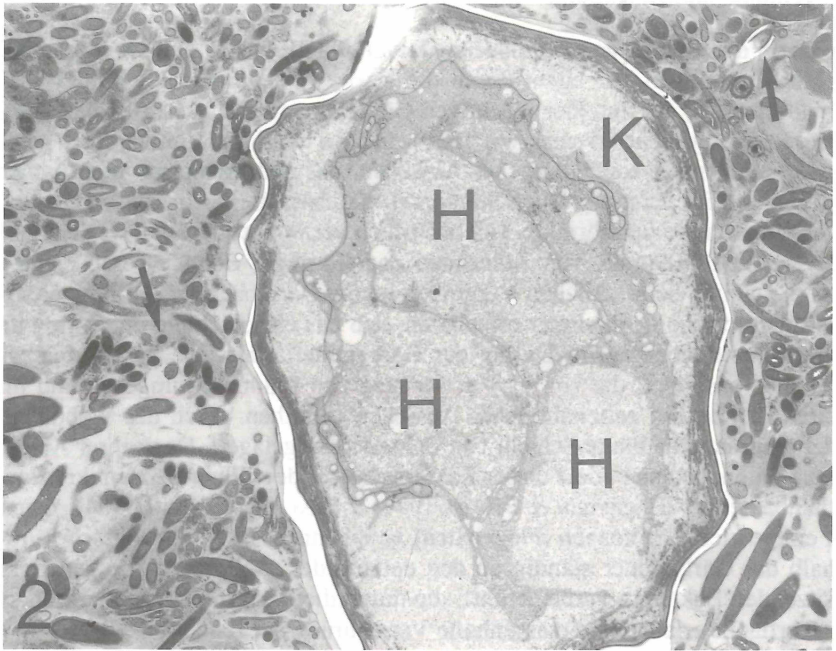


Abb. 2: Elektronenmikroskopisches Bild eines quergetroffenen Haares in der Gärkammer der Larve des Rosenkäfers *Paenodonta marginata*. An der Bildung des Haarschaftes sind mehrere Haarzellen (H) beteiligt. Das Haar ist von einer großen Menge von Bakterien umgeben. Pfeile weisen auf Anschnitte nadelförmiger Trichome. K - Kutikula des Haarschaftes. Vergrößerung: 4.300 x.

Die zahllosen feinen Chitinborsten entpuppen sich als Ausstülpungen der äußeren Kutikula, in die über kurze Bereiche auch Anteile der Subkutikula hineinziehen. Die chitinigen Borsten sind daher als Trichome zu charakterisieren, an denen zahllose Methanbakterien angelagert sind.

Der mehrzellige Aufbau dieser feinverästelten Differenzierungen der Gärkammer von Blatthornkäfern weicht erheblich von der Organisation echter Haare (Setae) ab, deren unverzweigter Haarschaft immer von einer einzelnen trichogenen Zelle gebildet und ausgefüllt wird, während eine zweite tormogene Zelle ausschließlich auf die Haarbasis beschränkt ist (SEIFERT 1994). Bei den Enddarmdifferenzierungen der Blatthornkäfer ziehen die einzelnen Haarzellen bis in die Verästelungen des

Haarschaftes hinein. Zusammen mit den zahllosen, nadelförmigen Trichomen resultiert daraus eine Vergrößerung der Darmoberfläche um etwa den Faktor 10 und damit einhergehend eine verbesserte Anheftungsmöglichkeit für Mikroorganismen.

Dank dieser Vergrößerung der Darmoberfläche kann der Wirt die Stoffwechselprodukte seiner symbiontischen Methanbakterien sehr viel effektiver nutzen, wobei neben Methan auch flüchtige Fettsäuren gebildet werden, die über die spezialisierte Kutikula der Haare und/oder über die Kutikula der Gärkammer dem Wirt zugeführt und für seinen Stoffwechsel genutzt werden (BAYON 1980, BAYON & MATHELIN 1980). Das Methan wird via Hämolymphe über die Tracheen in die Außenwelt abgegeben. Quantitative Abschätzungen der abgegebenen Methanmenge pro Tier sind schwierig, schwanken diese doch selbst innerhalb der Individuen einer Population sehr stark. Im Mittel produzieren die Larven der Blatthornkäfer 255 ± 214 nmol Methan/g Lebendgewicht/h. Dabei könnte die globale Methanemission allein der tropischen Blatthornkäfer bis zu 150 Mio. t/Jahr betragen. Zusammen mit methanbildenden Diplopoden, Schaben und Termiten sind die tropischen Arthropoden in der Lage, mehr als 200 Mio. t Methan pro Jahr zu produzieren (HACKSTEIN & STUMM 1994).

4. Danksagung

Wir danken Herrn H. SCHLIERENKAMP recht herzlich für seine engagierte Mitarbeit bei den elektronenmikroskopischen Untersuchungen. Herrn Dr. S. LÖSER und Herrn D. SCHULTEN (Löbbecke Museum Düsseldorf) sowie Herrn M. FORST (Zoologischer Garten Köln) gilt unser Dank für die Überlassung der Insektenlarven.

5. Literatur

- BAYON, C. (1980): Volatile fatty acids and methane production in relation to anaerobic carbohydrate fermentation in *Oryctes nasicornis* larvae (Coleoptera : Scarabaeidae). J. Insect Physiol. 26, 819-828
- , MATHELIN, J. (1980): Carbohydrate fermentation and by-product absorption studied with labelled cellulose in *Oryctes nasicornis* Larvae (Coleoptera: Scarabaeidae). J. Insect Physiol. 26, 833-840
- BREZNAK, J.A. (1982): Intestinal microbiota of termites and other xylophagous insects. Ann. Rev. Microbiol. 36, 323-343
- BUCHNER, P. (1953): Endosymbiose der Tiere mit pflanzlichen Mikroorganismen. Verlag Birkhäuser, Basel, Stuttgart
- DODDEMA, H.J., VOGELS, G.D. (1978): Improved identification of methanogenic bacteria by fluorescence microscopy. Appl. Env. Microbiol. 36, 752-754
- GRAEDEL, T.E., CRUTZEN, P.J. (1989): Veränderungen der Atmosphäre. Spektrum der Wissenschaft 11, 58-68
- HACKSTEIN, J.H.P., STUMM, C.K. (1994): Methane production in terrestrial arthropods. Proc. Natl. Acad. Sci. (USA) 91, 5441-5445

- SEIFERT, G. (1995): Entomologisches Praktikum. G. Thieme Verlag Stuttgart, 3. Auflage.
- 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
- WIEDEMANN, J.E. (1930): Die Zelluloseverdauung bei Lamellicornierlarven. Z. Morph. Ökol. Tiere 19, 228-258

Dr. Jörg Rosenberg
Lehrstuhl f. Tierphysiol., Ruhr-Universität
D 44780 Bochum

Dr. J.H.P. Hackstein
Dept. of Microbiol. and Evolutionary Biology
Faculty of Science, Catholic University of Nijmegen
Toernooiveld
NL 6525 ED Nijmegen

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen des Westdeutschen Entomologentag Düsseldorf](#)

Jahr/Year: 1995

Band/Volume: [1994](#)

Autor(en)/Author(s): Rosenberg Jörg, Hackstein Johannes H.P.

Artikel/Article: [Methanbildende Blatthornkäfer \(Scarabaeidae, Coleoptera\) 67-72](#)