EVOLUTIONÄRE ÖKOLOGIE

Bakterien schützen Wespen-Nachwuchs vor Pilzbefall

Weibchen des Europäischen Bienenwolfes sind an einer erstaunlichen und einzigartigen Symbiose beteiligt: Sie kultivieren Bakterien in spezialisierten Antennen-Drüsen und geben diese vor der Eiablage als eine sichtbare weiße Substanz in ihre Brutzellen im Boden ab. Die Bakterien werden von der Larve aufgenommen und zur Imprägnierung des Kokons verwendet. Dadurch wird die Gefahr von Pilzbefall herabgesetzt und der Überlebenserfolg der Larve beträchtlich erhöht. Genetische Analysen deuten darauf hin, dass die Symbiose zwischen Bienenwölfen und Bakterien bereits vor langer Zeit entstanden ist.

Symbiosen mit Bakterien haben nicht nur für die Evolution aller mehrzelligen Organismen eine herausragende Rolle gespielt, sondern sie sind auch in rezenten Ökosystemen für die meisten Tiere und Pflanzen von entscheidender Bedeutung [1-3]. Viele Insekten sind beispielsweise auf symbiontische Bakterien angewiesen, die essentielle Aminosäuren oder Vitamine produzieren und ihren Wirten zur Verfügung stellen [4-5]. Der Europäische Bienenwolf, *Philanthus triangulum* (Hymenoptera, Crabronidae), macht sich Bakterien in einem ganz anderen Zusammenhang zunutze, der für das Überleben der Tiere aber nicht minder wichtig ist: Er setzt Bakterien zum Schutz seiner Nachkommen vor Pilzbefall ein [6].

Abb. 1. Bienenwolf-Weibchen bei der Abgabe der bakterienhaltigen weißen Substanz aus den Antennendrüsen in die Brutzelle. [Photo Erhard Strohm]

Der Bienenwolf ist eine solitäre Grabwespe und verdankt seinen Namen dem Jagdverhalten der Weibchen, die Honigbienen fangen und lähmen und sie als Lebendfutter für ihre Larven in selbstgegrabene Nisthöhlen im Boden eintragen. Schon seit mehreren Jahren ist bekannt, dass die Weibchen vor der Eiablage große Mengen eines weißlichen Sekretes aus Antennendrüsen ausscheiden. Es wird in die Brutkammer abgegeben (Abb. 1) und dient später als Richtungsinformation für den schlüpfenden Bienenwolf [7]. Die Zusammensetzung dieser weißen Substanz war jedoch weitgehend unbekannt. Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen haben nun längliche, zellähnliche Strukturen in dem Sekret erkennen lassen, deren Form stark an bestimmte Bakterien erinnert (Abb. 2). Genetische Analysen bestätigten das Vorhandensein von Bakterien und ermöglichten deren Bestimmung als eine bislang unbekannte Art der Gattung *Streptomyces* [6]. Diese Ergebnisse sind in zweierlei Hinsicht besonders erstaunlich: Erstens sind die Antennen von Insekten ein außerordentlich ungewöhnlicher Platz für endosymbiontische Bakterien, und zweitens ist dies der erste Fall einer Symbiose von Tieren mit Bakterien der extrem wichtigen Gattung *Streptomyces*. Viele Arten dieser Gattung produzieren nämlich wirkungsvolle Antibiotika gegen andere Bakterien oder Pilze, und viele dieser Substanzen werden erfolgreich in der Humanmedizin eingesetzt [8]. Ob die Bakterien der Bienenwölfe ebenfalls Schutz gegen schädliche Bakterien oder Pilze bieten, sollten Biotests zei-

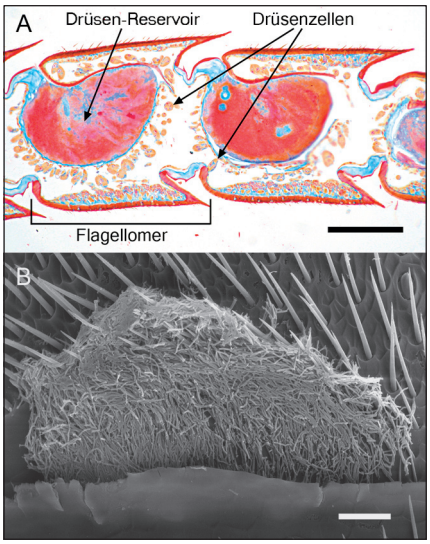

Abb. 2. Antennen von Bienenwolf-Weibchen mit endosymbiontischen Bakterien. – **a.** Lichtmikroskopische Aufnahme einer Weibchen-Antenne mit endosymbiontischen Bakterien (rot angefärbt) in den Reservoirs der Antennendrüsen. Maßstabsbalken: 0,3 mm. – **b.** Rasterelektronenmikroskopisches Bild der Antenne eines Bienenwolf-Weibchens mit austretenden Bakterien an der Öffnung einer Antennendrüse. Maßstabsbalken: 20 µm. Verändert aus [6], mit freundlicher Genehmigung von Elsevier.

gen, bei denen Larven der Zugang zur bakterienhaltigen weißen Substanz in der Brutkammer verwehrt wurde. Verglichen mit Kontrolltieren, die Kontakt zu den Bakterien hatten, war bei den Larven ohne Bakterien die Mortalität tatsächlich drastisch erhöht; ihre Überlebenswahrscheinlichkeit sank dramatisch von über 80% auf knapp 7% [6].

Wie aber können die Bakterien den Bienenwolf-Nachwuchs beschützen? Verhaltensbeobachtungen zeigten, dass die Larven in der Brutkammer aktiv die weiße Substanz mit den Bakterien suchen und aufnehmen. Durch verschiedene spezifische Färbemethoden und Elektronenmikroskopie konnten die Bakterien außerdem auf dem Kokon nachgewiesen werden, in den sich die Larve etwa 8 bis 10 Tage nach ihrem Schlupf einspinnt [6]. Die Larven scheinen also ihren Kokon mit den aufgenommenen Bakterien zu imprägnieren. Biotests zeigten, dass sehr alte und verlassene Kokons schneller verschimmeln als frische Kokons, was vermuten lässt, dass die Bakterien auf frischen Kokons Antibiotika produzieren und sie so gegen Pilzbefall schützen, während alte Kokons keine lebenden oder

zumindest keine aktiven Bakterien mehr beherbergen und so Infektionen durch Pilze schutzlos ausgeliefert sind [6]. Der letztendliche Nachweis und die Identifikation der wahrscheinlich beteiligten antibiotisch wirksamen Substanzen stehen allerdings noch aus.

Aus evolutionären und ökologischen Gesichtspunkten ist die Frage besonders interessant, ob die Symbiose zwischen Bienenwölfen und Bakterien obligat ist und ob die Bakterien von der Mutter an die Tochter weitergegeben werden oder ob jedes Bienenwolfweibchen sie erneut aus der Umwelt aufnehmen muss. Genetische Analysen der Endosymbionten verschiedener Bienenwolf-Individuen lassen darauf schließen, dass alle Weibchen des Europäischen Bienenwolfes dieselbe *Streptomyces*-Art kultivieren, und dass es sich somit um eine hochspezialisierte und vermutlich obligate Symbiose handelt [6]. Verhaltensbeobachtungen und die Aufzucht von Tieren in Abwesenheit der Bakterien deuten außerdem stark auf eine strikt vertikale Weitergabe der Endosymbionten von der Mutter an ihre Töchter hin [6].

Angesichts des hohen Spezialisierungsgrades beider Symbiosepartner erscheint es unwahrscheinlich, dass diese Assoziation auf den Europäischen Bienenwolf beschränkt ist. Tatsächlich wurden mit Hilfe genetischer Methoden die Endosymbionten auch in den Antennen anderer Arten der Gattung *Philanthus* nachgewiesen, und es wurde gezeigt, dass die Bakterien der verschiedenen Arten näher miteinander verwandt sind als mit irgendeiner anderen bekannten Art der Gattung *Streptomyces* [6]. Diese Ergebnisse lassen vermuten, dass die Symbiose schon vor langer Zeit entstanden ist und sich Wirte und Symbionten parallel entwickelt und in mehrere Arten aufgespalten haben. Genauere Untersuchungen weiterer Bienenwolf-Arten sind nötig, um diese Hypothese zu testen.

Die Kultivierung Antibiotika-produzierender Bakterien zum Schutz des Nachwuchses stellt eine einzigartige Anpassung für im Boden nistende Insekten dar, um ihre Nachkommen gegen Infektionen durch omnipräsente pathogene Pilze und Bakterien zu schützen. Neben der Assoziation von Blattschneiderameisen mit Antibiotika-produzierenden Bakterien ist der Bienenwolf-*Streptomyces*-Mutualismus erst der zweite bekannte Fall einer solchen Symbiose. Inwieweit andere bodenlebende Arthropoden von Bakterien als „externes Immunsystem“ Gebrauch machen und ob die Symbiose mit schützenden Mikroorganismen einen wichtigen Schritt in der Evolution des bodennistenden Verhaltens von Grabwespen darstellt, werden weitere gezielte Untersuchungen an anderen bodenlebenden Insektenarten zeigen. Die Erforschung der dabei involvierten Bakterienarten kann außerdem zur Entdeckung neuer antibiotischer Substanzen führen und damit möglicherweise dazu beitragen, der Humanmedizin neue Waffen im Kampf gegen zunehmend resistente Krankheitserreger zu liefern.

[1] P. Buchner: Tier und Pflanze in intrazellulärer Symbiose. Verlag Gebrüder Borntraeger. Berlin 1921. – [2] L. Margulis, R. Fester: Symbiosis as a Source of Evolutionary Innovation: Speciation and Morphogenesis. MIT Press. Cambridge 1991. – [3] J. Sapp: Evolution by Association: A History of Symbiosis. Oxford Univ. Press. New York 1994. – [4] N. Moran, P. Baumann, Trends Ecol. Evol. **9,** 15 (1994). – [5] A. E. Douglas, Annu. Rev. Entomol. **43,** 17 (1998). – [6] M. Kaltenpoth et al., Curr. Biol. **15,** 475 (2005). – [7] E. Strohm, K. E. Linsenmair, Zoology **98,** 137 (1995). – [8] V. Behal, in: S. Neidleman et al. (Hrsg.): Advances in Applied Microbiology, Vol. 47. Academic Press. New York 2000.

Martin Kaltenpoth, Würzburg