

SONDERDRUCK

aus

3 | 2022

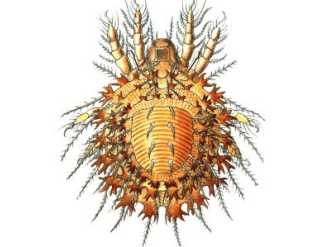
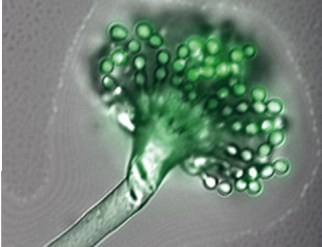
VBio

Verband | Biologie, Biowissenschaften
& Biomedizin in Deutschland

MYKOLOGIE
Lebensbedrohliche
Pilzinfektionen

**BODEN-
ORGANISMEN**
Hornmilben

ÖKOLOGIE
Chemodiversität
bei Pflanzen



BIOLOGIE

IN UNSERER ZEIT

Fleischproduktion 2.0

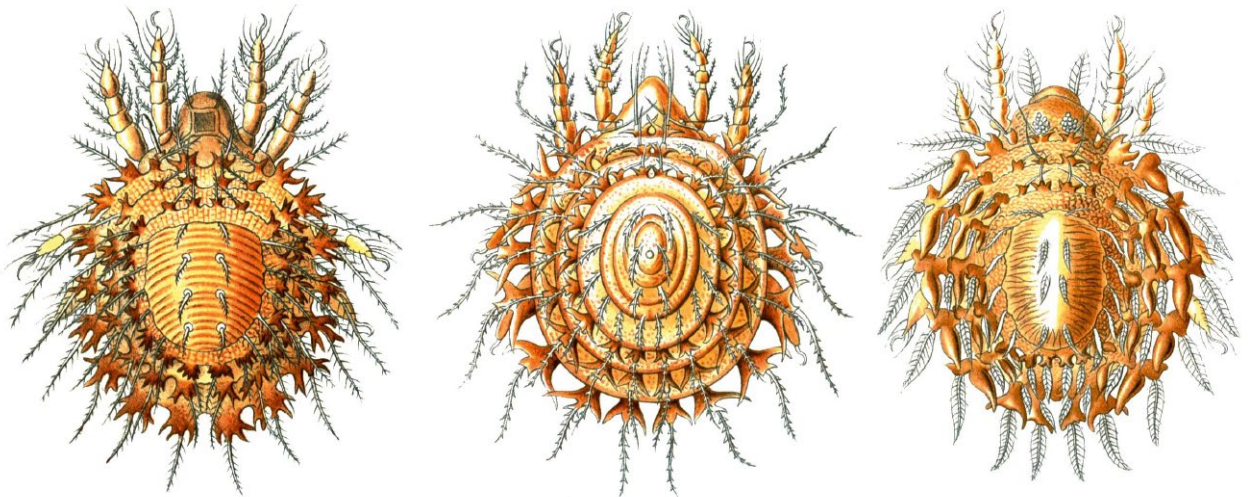


ABB. 1 Die Schönheit im Verborgenen: Milben-Zeichnungen von Ernst Haeckel [2].

Mit der Lupe durch den Wald

Hornmilben – die unscheinbare Vielfalt aus dem Boden

KATJA WEHNER | MICHAEL HEETHOFF

Die winzig kleinen, in den unterschiedlichsten Mikrohabitaten auf der ganzen Welt lebenden Hornmilben sind eine faszinierende Tiergruppe. Bereits vor über 500 Millionen Jahren entstanden, entwickelten sie eine enorme Diversität, die sich auch in einer großen Vielzahl an Schutzmaßnahmen vor Fressfeinden widerspiegelt. Sie selbst ernähren sich eher friedlich von totem organischem Material, Pilzen und Bakterien. Zum „Skandal der Evolution“ wurden Hornmilben aus einem anderen Grund: Etwa 10 Prozent der bekannten Hornmilbenarten vermehren sich rein eingeschlechtlich, haben also die Männchen im Laufe der Evolution „abgeschafft“. Dass dies über hundert Millionen Jahre funktioniert und sogar zur Entstehung zahlreicher neuer Arten geführt hat, ist ein einzigartiges Erfolgsmodell in der Biologie.

Wenn wir über Biodiversität sprechen, so haben wir meist direkt die „bunte“ und sichtbare Vielfalt der Organismen im Auge: große Wirbeltiere, farbenfrohe Schmetterlinge, duftende Blütenpflanzen und beeindruckende Bäume. Daher faszinieren uns Aufnahmen aus den tropischen Regenwäldern, die sich durch die vielen unterschiedlichen und meist fremdartigen Tier- und Pflanzenarten auszeichnen. Ein Spaziergang im heimischen Buchen-, Fichten- oder Mischwald gestaltet sich dagegen vergleichsweise trist. Doch der Eindruck täuscht: Gehen wir auf die Knie und bewaffnen unser Auge mit einer guten Lupe, so finden wir hunderttausende von Kleinstlebewesen aus hunderten von Arten und das auf jedem Quadratmeter des mit Laubstreu bedeckten Waldbodens. Konzentrieren wir uns an dieser Stelle auf einen Teil dieser Diversität: die Mesofauna. Hierunter verstehen wir mehrzellige Tiere im Millimeter-Bereich – vor allem Springschwänze (Collembola, eine ursprüngliche Gruppe der Insekten), Enchytraeën (Enchytraeidae, kleine Verwandte der Regenwürmer) und verschiedenste Arten von Bodenmilben. Unter diesen Bodenmilben dominieren die Hornmilben (Oribatida), in älterer Literatur auch als Moosmilben bezeichnet. In eher unscheinbaren Farben fallen die blinden Achtbeiner, die zu den Spinnentieren gehören, nur den wirklich danach Suchenden auf. Wechseln wir jedoch von der Lupe zum

Mikroskop, dann verstehen wir sofort, warum der irische Ökologe Paul Giller die Bodentier-Gemeinschaft als den „Regenwald des kleinen Mannes“ („poor man’s tropical rainforest“) bezeichnet hat [1]. Ein passender Vergleich, wie wir finden: nicht nur wegen der hohen Diversität, sondern auch wegen der Fremdartigkeit, Vielfalt und Schönheit der Formen. So war auch schon Ernst Haeckel in seinen „Kunstformen der Natur“ [2] von der komplexen Morphologie einiger Hornmilbenarten angetan (Abbildung 1). Mit diesem Beitrag möchten wir daher den wenig beachteten Hornmilben eine Bühne bieten und zeigen, dass sie in evolutionsbiologischer und ökologischer Hinsicht ganz erstaunliche Tiere sind. Der Blick auf den Waldboden wird danach sicher ein anderer sein, so viel wollen wir an dieser Stelle schon versprechen.

Fressen und gefressen werden

Wie sah die Welt vor ca. 400 Millionen Jahren aus? Am Übergang vom Silur zum Devon hatten sich bereits einige Pflanzen an Land etabliert. Tierische Vorstöße in Richtung permanentes Landleben hingegen gab es kaum. Fossile Funde von terrestrisch lebenden Hornmilben gehen jedoch zurück bis ins frühe Devon – und die gefundenen Exemplare sehen den verwandten, heute noch existierenden Arten bereits sehr ähnlich [3]. Studien anhand von Genanalysen datieren den Ursprung der Hornmilben sogar bereits in das Präkambrium (ca. 550 Millionen Jahre) [4]. In jedem Fall haben die Hornmilben als Zeitzeugen die Dinosaurier sowohl kommen als auch wieder gehen sehen.

Durch die Zunahme von Landpflanzen entstand auf den terrestrischen Böden eine reichhaltige und ungenutzte Quelle an organischem Material. Hornmilben gehörten wahrscheinlich zu den ersten Tieren, die diese Quelle als Nahrung nutzten und so den Gang an Land bewerkstelligen konnten [4]. Auch heute noch ernähren sich die meisten Hornmilbenarten als Zersetzer von organischem Material und leisten so einen wichtigen Beitrag im Energie- und Stoffkreislauf der Böden und Pflanzen [5]. Vorwiegend Pilze fressende (fungivore) und Bakterien fressende Hornmilbenarten tragen zur Regulierung der Mikroorganismen-Gemeinschaften im Boden bei [6]. Dies ist durchaus eine erwähnenswerte Besonderheit, denn die landlebenden Spinnentiere (Arachnida) ernähren sich ansonsten fast ausschließlich räuberisch. So zählen heute neben diversen Insekten und

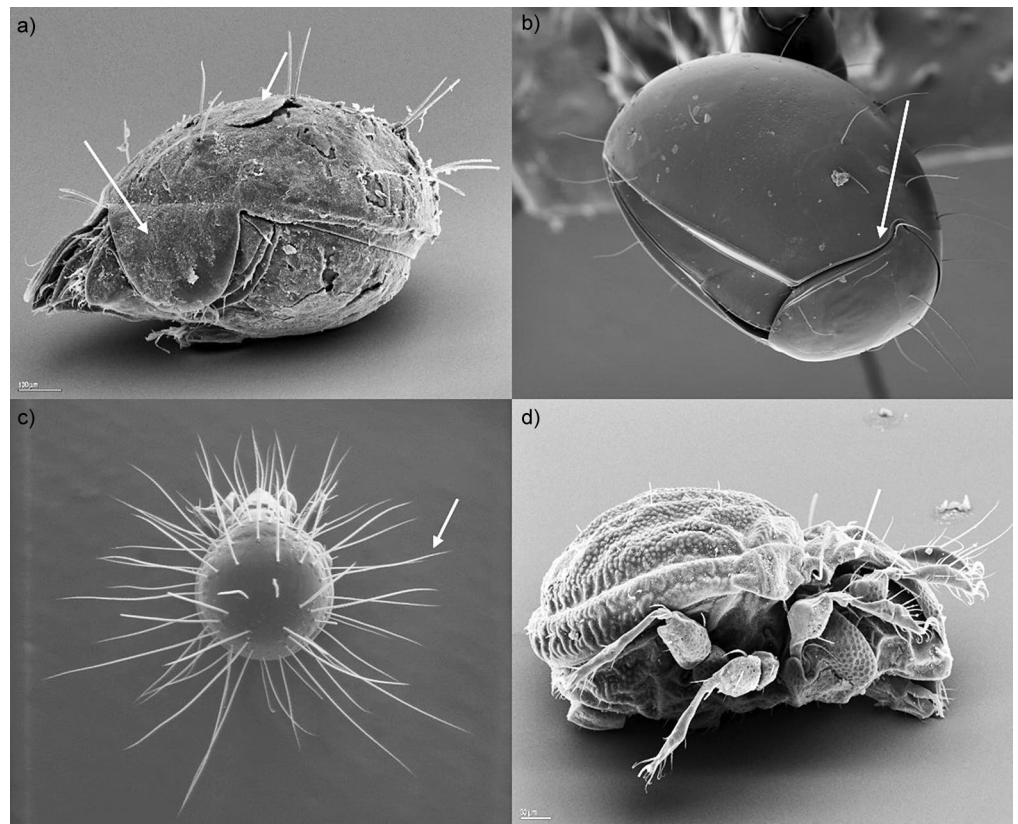


ABB. 2 Morphologischer Schutz vor Fressfeinden: a) *Eupelops plicatus* schützt seine Extremitäten durch sogenannte Pteromorphe und „ein dickes Fell“. b) Vertreter ptychoider Hornmilben können durch das Einklappen des Vorderkörpers ihre Extremitäten vollständig in den Körper zurückziehen. c) Diese australische Milbenart zeigt ein beeindruckendes Ausmaß an Borsten. d) Die Gattung *Carabodes* schützt weichhäutige Stellen der Beinansätze durch das Anklappen in dafür vorgesehene Vertiefungen. Bilder: Katja Wehner und Sebastian Schmelzle.

Amphibien vor allem andere Milben (Raubmilben, Gamasina) zu den wichtigsten Räubern der Hornmilben [7, 8].

Hornmilben sind also seit mehreren hundert Millionen Jahren eine beliebte Beute im Bodennahrungsnetz – und haben entsprechend der langen Zeit eine Vielzahl von effektiven morphologischen und chemischen Schutzmechanismen zur Abwehr der Räuber entwickelt. Während juvenile Hornmilben (Larven, und bis zu drei Nymphen-

IN KÜRZE

- Hornmilben sind „lebende Fossilien“ und bereits aus dem Devon bekannt.
- Hornmilben sind als Zersetzer beteiligt an Energie- und Stoffkreisläufen.
- Mit Dichten von vielen zehntausenden Individuen pro Quadratmeter und einer weltweiten Verbreitung sind Hornmilben ein wichtiger Bestandteil des Bodennahrungsnetzes.
- Hornmilben haben zahlreiche morphologische und chemische Abwehrmechanismen gegen Fressfeinde entwickelt.
- Relativ zu ihrem Körpergewicht gesehen gehören Hornmilben zu den stärksten Tieren der Welt.
- Skandale der Evolution: Etwa 10 Prozent aller bekannten Hornmilbenarten reproduzieren ohne Männchen (parthenogenetisch).
- Ein Modell für die Zukunft: *Archezogetes longisetosus*

stadien) aufgrund fehlender Sklerotisierung morphologisch nicht besonders geschützt sind, unterstellt man den erwachsenen Tieren ein Leben im „feindfreien Raum“ [9]. Lange hat man als Erklärung hierfür vor allem die vielen morphologischen Anpassungen an den Fresschutz gesehen wie zum Beispiel die Beine schützende Körperanhänge, eine starke Sklerotisierung oder Borsten [9] (Abbildung 2). Mittlerweile wissen wir aber, dass die Hornmilben, sowie die aus ihnen wahrscheinlich hervorgegangenen astigmaten Milben (Astigmata), auch eine hocheffiziente chemische Verteidigung entwickelt haben [7, 8, 10]. Wir kennen heute bereits weit über einhundert chemische Stoffe unterschiedlichster Substanzklassen, welche vermutlich alle von den Hornmilben selbst synthetisiert werden können. *Oribatula tibialis* ist sogar in der Lage, sich mit Hilfe von Blausäure zu verteidigen und diese in einer für die Tiere selbst ungefährlichen Vorstufe zu speichern [11].

Doch auch die chemische Verteidigung liefert natürlich keine vollkommene Sicherheit und ist sogar für manchen Fressfeind besonders attraktiv: Der zitronige Geschmack des traditionellen Würchwtitzer Milbenkäses wird durch Neral, einen flüchtigen Bestandteil von Zitronenöl, verursacht, welches wiederum durch die für die Reifung des Käses eingesetzte und beim Genuss mit verzehrte Milbe *Tyrollichus casei* (Astigmata) produziert wird [12]. Auch wenn es dem geneigten Käse-Gourmet zu Freuden gereicht, so dient dieses Sekret eigentlich dem Schutz der Tiere vor Fressfeinden. Und was dem Käse-Gourmet das Neral, sind dem Pfeilgiftfrosch die Alkaloide: Zahlreiche tropische Hornmilbenarten produzieren Alkaloide und schützen sich so vor Fraß durch andere Gliedertiere. Pfeilgiftfrösche jedoch sind auf ebendiese Alkaloide der Hornmilben angewiesen, da sie diese nicht selbst synthetisieren können. Die zum eigenen Schutz vor Räubern dringend benötigten Stoffe werden aus der gefressenen Beute isoliert und gespeichert. Für diese Pfeilgiftfrösche sind die Alkaloide der

Hornmilben also nicht nur ungiftig, sondern ein essentieller Bestandteil des eigenen Überlebens [13].

Neben der chemischen Verteidigung behelfen sich zahlreiche Hornmilbenarten mit morphologischem Schutz vor Räubern [14]. Viele, besonders größere Arten, sind dunkel gefärbt, was durch eine starke Sklerotisierung und teilweise Mineralisierung ihrer Kutikula zu erklären ist. Zusätzlich kann eine Zementschicht, das sogenannte Cerotegument, aufgelagert sein. Mehrfach unabhängig entwickelt hat sich eine ganz besondere Körperform, die Ptychoidie. Die Tiere haben einen rundlichen Körperbau, können die Extremitäten vollständig in den Körper zurückziehen und sich mithilfe des Prodorsums, einer Art Kopfschild, verschließen. In diesem eingekapselten Zustand bieten sie wenig Angriffsfläche für Räuber, denn die so entstehende Kapsel kann teilweise bis zum 560.000-fachen Druck des eigenen Körpergewichts widerstehen [15] (Abbildung 3).

Auch an anderer Stelle beweisen Hornmilben erstaunliche morphologische Fähigkeiten. Die unter 1 mm große und etwa 100 µg schwere tropische Art *Archegozetes longisetosus* hat in ihren Krallen Haltekraften, die etwa 1.000-fach höher sind als ihr eigenes Körpergewicht [16]. Damit sind Hornmilben, relativ gesehen, die bislang stärksten bekannten Tiere der Welt.

Divers und abundant – überall Hornmilben

Hornmilben kommen weltweit in den verschiedensten (Mikro-) Habitaten wie Laubstreu, Baumkronen, Moospolstern, Pilzen, Flechten, Wiesen, Mooren und Gewässern vor. Sie haben sich auch extreme Lebensräume wie die arktischen Regionen oder das Hochgebirge erschlossen, und einige Arten haben sogar vom Landleben wieder ins Süßwasser oder ins Meer gewechselt [6]. Während die meisten Arten in den tropischen oder gemäßigten Regionen eine bis wenige Generationen pro Jahr hervorbringen, benötigt die antarktische Art *Alaskozetes antarcticus* etwa fünf

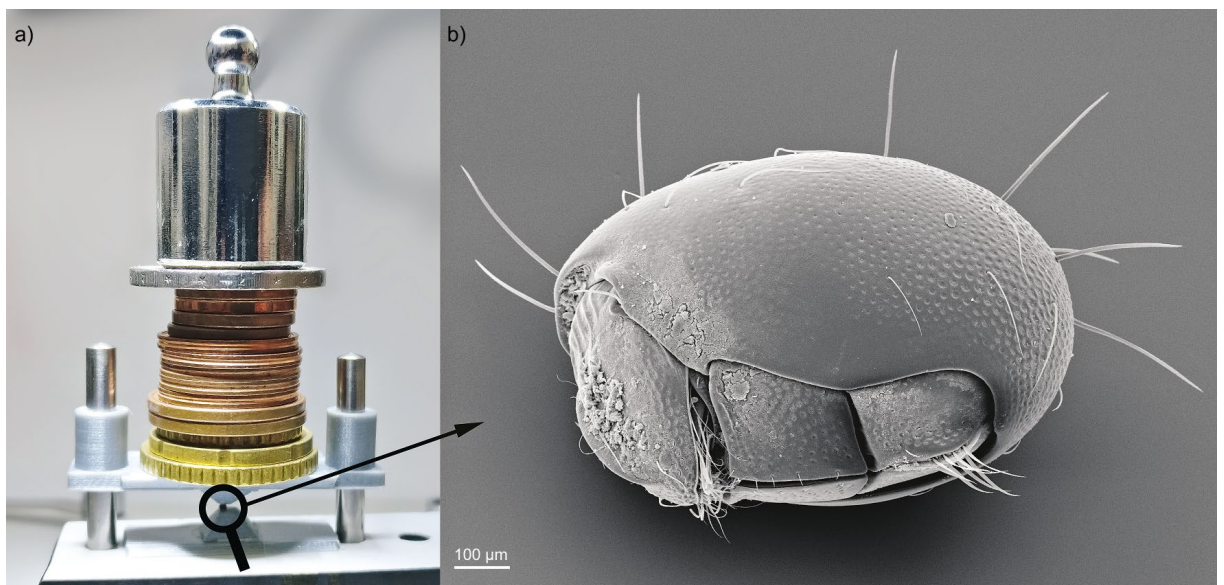


ABB. 3 Beeindruckende Druckresistenz von *Steganacarus magnus*. Das Gesamtgewicht auf der 420 µg schweren Milbe beträgt 110,17 g. Bilder: Sebastian Schmelzle aus [7].



ABB. 4 Hornmilben – divers und abundant: a) *Platynothrus peltifer*, b) *Xenillus* sp., c, d) *Phthiracarus* sp. Bilder: Frank Ashwood.

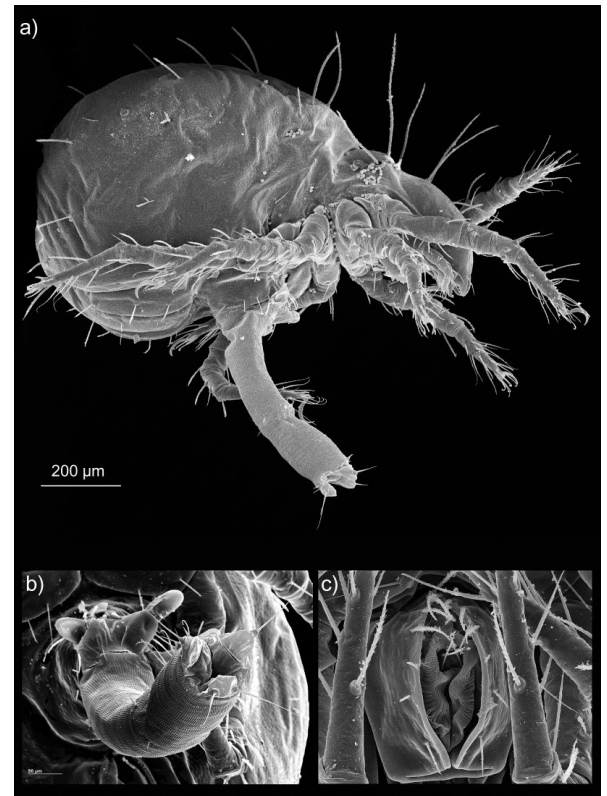


ABB. 5 Legebohrer (Ovipositor) von *Archegozetes longisetosus* (a, b). Zur Eiablage wird der Legebohrer aus der Genitalöffnung ausgestülpt (c). Bilder: Michael Heethoff.

Jahre für die Entwicklung bis zur eigenen Eiablage und hat eine Lebenserwartung von bis zu sieben Jahren – ein erstaunliches Alter für ein nur etwa 0,2 mm großes Tier [17].

Obwohl sich die meisten Hornmilben frei in ihren bevorzugten Mikrohabitaten bewegen, sind einige Arten für die Entwicklung ihrer Larven auf besondere Lebensräume angewiesen: Seziert man Fichtennadeln, so kann man in etwa einem Drittel davon 2–4 Jungtiere von verschiedenen Hornmilben entdecken. Die Tiere verbringen in den selbst gegrabenen Nadelhöhlen bis zu zwei Jahre ihrer Entwicklung [18, 19].

In gemäßigten Regionen erreichen Hornmilben Dichten von 10.000 bis 1.000.000 Individuen pro Quadratmeter [20] und machen demnach einen großen Anteil der Bodenmesofauna aus. Weltweit sind etwa 11.000 Arten beschrieben, geschätzt wird die Artenzahl jedoch sogar auf 100.000 [21] (Abbildung 4). Doch diese beeindruckenden Zahlen täuschen etwas: Auch Hornmilben sind durch den Klimawandel und die Land- und Waldwirtschaft durchaus gefährdet [22], und so wird aktuell auch erstmals eine Rote Liste für Hornmilben erstellt, um die Diversität und die Gefährdung systematisch zu dokumentieren.

Männchen – ohne geht es auch

Die meisten Hornmilbenarten vermehren sich – so wie die meisten anderen Tiere auch – sexuell. Die Männ-

chen setzen dabei Spermatophoren am Boden ab, die anschließend ohne direkten Partnerkontakt durch das Weibchen aufgenommen werden. Abgelegt werden die Eier dann durch einen ausstülpbaren Ovipositor (Abbildung 5). Obwohl die meisten Hornmilben bisexuell sind, sind erstaunlich viele Arten, ganze Gattungen und sogar Familien eingeschlechtlich, also parthenogenetisch [23]. Solche parthenogenetischen Linien entstehen in der Evolution immer mal wieder, sind aber meist kurzlebig, da sie durch fehlende Rekombination und genetische Vielfalt sogenannte „Sackgassen der Evolution“ darstellen [24]. Nur ganz wenige Ausnahmen von dieser Regel sind bekannt, und diese wurden als „Skandal der Evolution“ bezeichnet [25]. Und unter diesen Ausnahmen stellen die Hornmilben wiederum eine besondere Gruppe dar, denn hier ist die Parthenogenese teilweise nicht nur über 100 Millionen Jahre alt [26], sondern es sind ohne sexuelle Rekombination auch zahlreiche neue Arten entstanden [12, 23]. Eine mögliche Erklärung für die Langlebigkeit und die Möglichkeit zur Diversifikation könnte sein, dass die Tiere eine spezielle Art der Keimzellbildung verwenden: die invertierte Meiose. Diese Form der Meiose kennt man z. B. auch von Nematoden, und sie scheint das Genom trotz ausbleibender Durchmischung gut vor schädlichen Mutationen zu schützen [28].

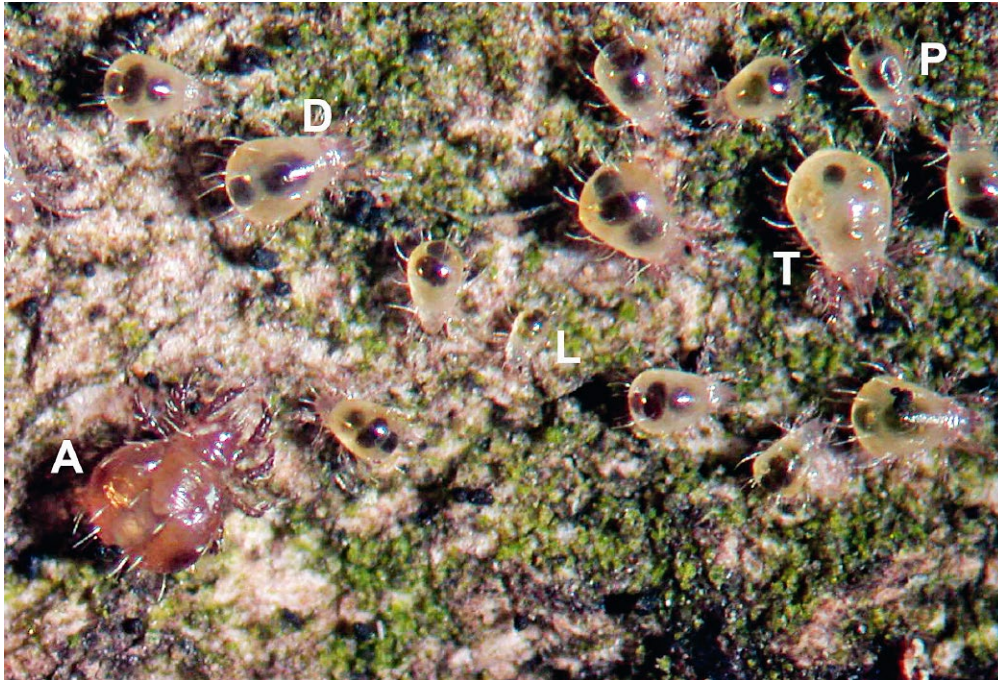


ABB. 6 Entwicklungsstadien von *Archegozetes longisetosus*: L: Larve, P: Protonympe, D: Deutonympe, T: Tritonympe, A: Adult. Die Cuticula sklerotisiert erst im erwachsenen Stadium. Foto: Michael Heethoff.

Im größten parthenogenetischen Cluster der Hornmilben – den Desmonomata – könnte es sogar zu einer Rück-Evolution von sexueller Reproduktion gekommen sein: Die sexuelle Gattung *Crotonia*, die in Wäldern der südlichen Hemisphäre beheimatet ist, erscheint in molekularen Stammbäumen als nahe Verwandte inmitten von parthenogenetisch reproduzierenden Arten [29]. Somit scheint das genetische Programm für Männchen in manchen Linien zwar inaktiviert, aber nicht verschwunden zu sein.

Ein Modell muss her

Die hohe Diversität der Lebewesen zwingt die Wissenschaft quasi dazu, sich für detaillierte Untersuchungen auf ausgewählte Arten als Modelle zu konzentrieren und die so gewonnenen Erkenntnisse dann auf andere Arten zu übertragen. So haben unter anderem das Bakterium *Escherichia coli*, die Acker-Schmalwand *Arabidopsis thaliana*, die Fruchtfliege *Drosophila melanogaster*, der Nematode *Caenorhabditis elegans* und auch die Hausmaus *Mus musculus* weitreichende Berühmtheit erlangt. Solche Modellarten müssen relativ einfach zu kultivieren sein und sollten keine allzu langen Generationszeiten aufweisen. Für die Spinnentiere gibt es keine Modellart mit ähnlicher Berühmtheit, auch wenn der – fälschlicherweise als „Krebs“ bezeichnete – Atlantische Pfeilschwanzkrebs *Limulus polyphemus* sowie die Wandernde Tigerspinne *Cupiennius salei*, in zahlreichen Aspekten ihrer Biologie hervorragend untersucht sind. Seit annähernd dreißig Jahren etabliert sich nun jedoch eine Hornmilbe zunehmend

als Modellart: die parthenogenetische *Archegozetes longisetosus*. Sämtliche in Laboren kultivierte und untersuchte Individuen gehen auf ein einzelnes schwangeres Weibchen zurück, welches von Roy A. Norton 1993 in Puerto Rico gesammelt wurde [30]. Seither wurden zahlreiche Studien zur Ökotoxikologie, chemischen Ökologie, Entwicklungsbiologie, Neurobiologie und Biochemie dieser Modellart veröffentlicht. Einen Trivialnamen hat sich *Archegozetes longisetosus* zwar noch nicht verdient, aber sie zählt mittlerweile ohne Zweifel zu den am besten untersuchten Spinnentieren überhaupt (Abbildung 6).

Zusammenfassung

Hornmilben sind faszinierende Tiere. Vor über 500 Millionen Jahren entstanden, leben sie heute in hohen Dichten und in großer Vielfalt in den unterschiedlichsten Ökosystemen und Mikrohabitaten auf der ganzen

Welt – ein langer Zeitraum, der sich auch in einer großen Vielfalt an Maßnahmen zum Schutz vor den zahlreichen Fressfeinden widerspiegelt. Hornmilben selbst hingegen ernähren sich meist eher friedlich von abgestorbenem organischen Material, Pilzen und Bakterien. Etwa zehn Prozent der bekannten Hornmilbenarten vermehren sich rein eingeschlechtlich – haben also die Männchen im Laufe der Evolution „abgeschafft“. Dass dies über hundert Millionen Jahre funktioniert und sogar zur Entstehung zahlreicher neuer Arten geführt hat, ist ein einzigartiges Erfolgsmodell in der Biologie – und ein „Skandal der Evolution“.

Summary

Oribatid mites – inconspicuous diversity from the soil

Oribatid mites are fascinating animals. Having come into existence over 500 million years ago, they now live in high densities and show a high diversity in a wide range of ecosystems and microhabitats all over the world. This is a long period of time, which is also reflected in the development of a high variety of defence mechanisms in oribatid mites against their numerous predators. Oribatid mites themselves, however, usually feed on dead organic material, fungi and bacteria rather peacefully. About ten percent of the known oribatid mite species reproduce purely unisexually – i. e. have “abolished” males in the course of evolution. The fact that this has worked over hundreds of millions of years and has even led to the emergence of numerous new species is a unique model of success in biology – and an “evolutionary scandal”.

Schlagworte:

Hornmilben, Boden-Nahrungsnetz, chemischer und morphologischer Fraßschutz, „Skandale der Evolution“, Parthenogenese

Literatur

- [1] P. S. Giller (1996). The diversity of soil communities, the 'poor man's tropical rainforest', *Biodiv. Conser.* 5, 135–168.
- [2] E. Haeckel (1904). *Kunstformen der Natur*, Bibliographisches Institut Leipzig und Wien, Tafel 66 – Arachnida.
- [3] R. A. Norton et al. (1988). Oribatid mite fossils from a terrestrial Devonian deposit near Gilboa, New York, *J. Paleo.* 62, 259–269.
- [4] I. Schaefer et al. (2010). Arthropod colonization of land – Linking molecules and fossils in oribatid mites (Acari, Oribatida), *Mol. Phyl. Evol.*, 57, 113–121.
- [5] D. A. Wardle et al. (2004). Ecological linkages between aboveground and belowground biota, *Science* 304, 1629–1633.
- [6] D. E. Walter, H. C. Proctor (1999). *Mites. Ecology, Evolution and Behaviour*, CABI Publishing, Wallingford, New York, Sydney.
- [7] M. Heethoff et al. (2011). Tasty but protected – first evidence of chemical defense in oribatid mites. *J. Chem. Ecol.*, 37, 1037–1043.
- [8] A. Brückner et al. (2016). Attack and defense in a gamasid-oribatid mite predator-prey experiment – sclerotization outperforms chemical repellency. *Acarologia* 56, 451–461.
- [9] K. Peschel et al. (2006). Do oribatid mites live in enemy-free space? Evidence from feeding experiments with the predatory mite *Pergamasus septentrionalis*. *Soil Biol. Biochem.* 38, 2985–2989.
- [10] M. Heethoff, G. Rasputnig (2012). Expanding the 'enemy-free space' for oribatid mites: evidence for chemical defense in juvenile *Archegozetes longisetosus* against the rove beetle *Stenus junco*. *Exp. Appl. Acarol.* 56, 93–97.
- [11] A. Brückner et al. (2017). Storage and release of hydrogen cyanide in a chelicerate (*Oribatula tibialis*), *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 114, 3469–3472.
- [12] A. Brückner, M. Heethoff (2016). Scent of a mite: origin and chemical characterization of the lemon-like flavor of mite-ripened cheeses, *Exp. Appl. Acarol.* 69, 249–261.
- [13] R. Saporito et al. (2007). Oribatid mites as a major source for alkaloids in poison frogs. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 104, 8885–8890.
- [14] R. A. Norton, V. M. Behan-Pelletier (1991). Calcium carbonate and calcium oxalate as cuticular hardening agents in oribatid mites (Acari: Oribatida), *Can. J. Zool.* 69, 1504–1511.
- [15] S. Schmelzle, N. Blüthgen (2019). Under pressure: force resistance measurements in box mites (Actinotrichida, Oribatida), *Front. Zool.*, <https://doi.org/10.1186/s12983-019-0325-x>
- [16] M. Heethoff, L. Koerner (2007). Small but powerful: the oribatid mite *Archegozetes longisetosus* Aoki (Acari, Oribatida) produces disproportionately high forces, *J. Exp. Biol.*, 210, 3036–3042.
- [17] T. Pfingstl, H. Schatz (2021). A survey of lifespans in Oribatida excluding Astigmata (Acari), *Zoosymposia* 20, 7–27.
- [18] S. Hågvar (1998). Mites (Acari) developing inside decomposing spruce needles: Biology and effect on decomposition rate, *Pedobiologia* 42, 358–377.
- [19] C. C. Labandeira et al. (1997). Oribatid mites and the decomposition of plant tissues in Palaeozoic coal-swamp forests, *Palais* 12, 319–353.
- [20] M. Maraun et al. (2008). Soil Fauna: Composition and function, in: E. Beck, J. Bendix, I. Kottke, F. Majeschin, R. Moslandl (Eds), *Gradients in a tropical montane ecosystem*, Ecological Studies, Springer, 181–192.
- [21] H. Schatz et al. (2011). Suborder Oribatida van der Hammen, 1968, in: Z.-Q. Zhang (Ed), *Animal Biodiversity: An Outline of Higher Level Classification and Survey of Taxonomic Richness*, *Zootaxa* 3148, 141–148.
- [22] K. Wehner et al. (2021). How land-use intensity affects sexual and parthenogenetic oribatid mites in temperate forests and grasslands in Germany. *Exp. Appl. Acarol.* 83, 343–373.
- [23] R. A. Norton, S. C. Palmer (1991). The distribution, mechanisms and evolutionary significance of parthenogenesis in oribatid mites, in: R. Schuster, P.W. Murphy (eds), *The Acari: Reproduction, Development and Life-History Strategies*, Chapman and Hall, London, pp. 107–136.
- [24] G. Bell (1982). *The Masterpiece of Nature: The Evolution and Genetics of Sexuality*. University of California Press, USA, 635.
- [25] J. Maynard Smith (1978). *The Evolution of Sex*. Cambridge University Press, 222.
- [26] M. Heethoff et al. (2007). Adding to the reproductive biology of the parthenogenetic oribatid mite, *Archegozetes longisetosus* (Acari, Oribatida, Trhypochthoniidae), *Turk. J. Zool.* 31, 151–159.
- [27] M. Maraun et al. (2003). Radiation in sexual and parthenogenetic oribatid mites (Oribatida, Acari) as indicated by genetic divergence of closely related species, *Exp. Appl. Acarol.* 29, 265–277.
- [28] M. Heethoff et al. (2009). Parthenogenesis in Oribatid Mites (Acari, Oribatida): Evolution without sex, in: I. Schön, K. Martens, P. Dijk (eds), *Lost Sex*, Springer, Dordrecht.
- [29] K. Domes et al. (2007). Re-evolution of sex breaks Dollo's law, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 104, 7139–7144.
- [30] M. Heethoff et al. (2013). The 20th anniversary of a model mite: a review of current knowledge about *Archegozetes longisetosus* (Acari, Oribatida), *Acarologia* 53, 353–368.

Verfasst von:

Katja Wehner studierte Biologie an der TU Darmstadt und promovierte dort 2009. Bereits seit 2004 arbeitet sie im Bereich der Bodenökologie und spezialisierte sich auf die Mesofauna-Gruppe der Hornmilben. Seit 2013 ist sie wissenschaftliche Mitarbeiterin in der AG „Ökologische Netzwerke“ an der TU Darmstadt. Im Zentrum ihrer Forschungsaktivität steht die Erfassung der Artendiversität im Zusammenhang mit dem Reproduktionsmodus in verschiedenen Mikrohabitaten. Seit 2020 ist sie Koordinatorin für die erste Rote Liste der Hornmilben in Deutschland.



Michael Heethoff studierte Biologie an der TU Darmstadt und promovierte dort 2003. Von 2004–2013 war er zunächst wissenschaftlicher Assistent, später Akademischer Rat an der Universität Tübingen (Abteilung für Evolutionsbiologie der Invertebraten) und untersuchte dort neben dem Reproduktionsmechanismus eingeschlechtlicher Hornmilben auch deren Morphologie in Hinblick auf den Schutz vor Fressfeinden. Mit einem Forschungsstipendium der DFG verbrachte er die Zeit von 2010–2012 an der Universität Graz und untersuchte dort die chemische Verteidigung von Hornmilben. 2012 habilitierte er an der Universität Tübingen und wechselte 2013 als Gruppenleiter an die TU Darmstadt. Seit 2021 ist er dort außerplanmäßiger Professor für Evolutionäre Tierökologie.

Korrespondenz:

Dr. Katja Wehner
TU Darmstadt / AG Ökologische Netzwerke /
AG Evolutionäre Tierökologie
Schnittspahnstraße 3
64287 Darmstadt
Email: katja.wehner@tu-darmstadt.de

Prof. Dr. Michael Heethoff
TU Darmstadt / AG Evolutionäre Tierökologie
Schnittspahnstraße 3
64287 Darmstadt
Email: heethoff@bio.tu-darmstadt.de



Verband | Biologie, Biowissenschaften
& Biomedizin in Deutschland

**GEMEINSAM
FÜR DIE**

BIEWISSENSCHAFTEN

Gute Gründe, dem VBIO beizutreten:

- Werden Sie Teil des größten Netzwerks von Biowissenschaftlern in Deutschland
- Unterstützen Sie uns, die Interessen der Biowissenschaften zu vertreten
- Nutzen Sie Vorteile im Beruf
- Bleiben Sie auf dem Laufenden – mit dem VBIO-Newsletter und dem Verbandsjournal „Biologie in unserer Zeit“
- Treten Sie ein für die Zukunft der Biologie



www.vbio.de

Jetzt beitreten!

