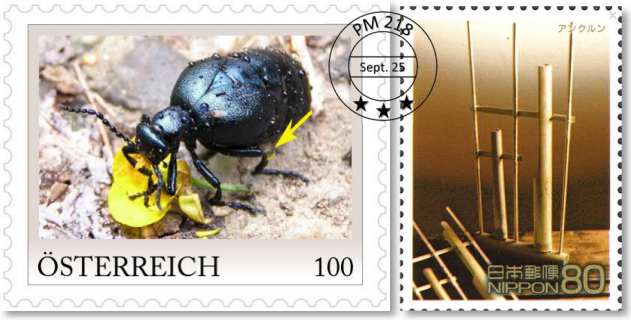
Hämolymphe der Insekten

Clemens M. Brandstetter

Immunologie, antimikrobielle Peptide und biotechnologische Perspektiven



Bei Insekten ist die Hämolymphe eine klare Flüssigkeit (siehe Pfeil), die – wie beim Ölkäfer – auch giftig sein kann und zur Verteidigung durch deren Absonderung eingesetzt wird. Die Atmung erfolgt über ein luftgefülltes Tracheensystem, ein Netz aus Röhren unterschiedlicher Dicke *(Personalisierte Marke Österreich 2025; Indonesien 2008)*

Die Hämolymphe ist die zentrale Körperflüssigkeit der Insekten und übernimmt Aufgaben, die bei Wirbeltieren Blut und Lymphe gemeinsam erfüllen. Sie versorgt die Gewebe mit Nährstoffen, hilft bei der Heilung von Verletzungen und spielt eine Schlüsselrolle in der Immunabwehr [1]. Insekten besitzen ein offenes Kreislaufsystem: Ein schlauchförmiges Herz pumpt die Hämolymphe in den Körperhohlraum, wo sie die Organe direkt umspült. Sauerstoff wird dabei nicht über die Hämolymphe transportiert, sondern durch ein feines Röhrensystem, die Tracheen, die die Luft direkt in die Gewebe leiten [2]. Die Hämolymphe selbst besteht hauptsächlich aus Wasser, gelösten Salzen, Eiweißen, Zucker (vor allem Trehalose), Enzymen und speziellen Immunzellen, den Hämocyten. Sie ist meist farblos oder leicht gelblich [3].

Abwehrmechanismen und Gedächtnis-Effekte

Die Immunabwehr der Insekten funktioniert sowohl durch Zellen als auch durch lösliche Stoffe. Hämocyten erkennen Krankheitserreger, verschlingen Bakterien, kapseln größere Parasiten ein und können mit der Bildung von Melanin eindringende Mikroorganismen abtöten. Zudem sind sie an der Wundheilung beteiligt [4]. Ergänzend produziert die Hämolymphe verschiedene Eiweiße, darunter Enzyme wie Lysozym und eine Vielzahl antimikrobieller Peptide (AMPs), und aktiviert wichtige Signalwege wie Toll und Imd [5].

Bakterien werden in der Hämolymphe sowohl von Abwehrzellen als auch vom 1922 von A. Fleming entdeckten Enzym Lysozym abgebaut. *(Sonderstempel 2023; Moldawien 2018)*

Besonders interessant ist das sogenannte Immun-Priming. Obwohl Insekten keine „Gedächtniszellen“ wie Wirbeltiere besitzen, können sie nach einer ersten Infektion eine verstärkte Reaktion bei erneuter Ansteckung zeigen [6]. Beim Mehlkäfer *Tribolium castaneum* etwa sank die Sterblichkeit nach einer Zweitinfektion mit demselben Bakterium deutlich [6]. Bei Honigbienen wurde sogar ein transgenerationaler Effekt beobachtet: Nach einer Infektion der Muttertiere reagierte die Brut widerstandsfähiger, obwohl sie selbst nicht mit dem Erreger in Kontakt gekommen war [18]. Auch bei der Fruchtfliege *Drosophila melanogaster* wurden veränderte Muster in der Produktion von Abwehrpeptiden beschrieben [9].

Tribolium castaneum, Honigbienen, Dorsophila zeigen alle das sogenannte Immun-Priming *(Tokelau 1998; Liechtenstein 2003; Schweden 1989)*

Antimikrobielle Peptide

AMPs sind kurze Eiweißmoleküle, die direkt gegen Bakterien, Pilze und zum Teil auch Viren wirken. Meist zerstören sie die Zellhülle der Erreger oder blockieren lebenswichtige Eiweiße [7]. Zu den bekanntesten

gehören Cecropine, die beim Cecropia-Pfauenspinner entdeckt wurden [8], oder Diptericine aus *Drosophila*, die sehr spezifisch wirken und deren Aktivität sich schon durch kleine Veränderungen in der Aminosäuresequenz ändern kann [9]. Pyrrhocoricin aus der Feuerwanze blockiert bakterielle Hitzeschockproteine und verhindert so die Eiweißproduktion [10]. Manche Insektenarten produzieren besonders viele verschiedene AMPs: Die Schwarze Soldatenfliege (*Hermetia illucens*) bildet über 30 Varianten, je nach Art der Infektion [11], und auch die Seidenraupe (*Bombyx mori*) reagiert mit speziellen Peptiden auf bakterielle Angriffe [12].

Insektenarten wie der Pfauenspinner, die Feuerwanze und die Seidenraupe produzieren Eiweißmoleküle als Abwehrstoffe *(Kanada 1998; Bulgarien 1993; Nordkorea 1965)*

Medizinische und technologische Perspektiven

Angesichts zunehmender Antibiotikaresistenzen gelten AMPs aus Insekten als vielversprechende Alternativen. Sie sind sehr vielfältig, wirken oft breit und es treten bislang kaum Resistenzen auf. Zudem lassen sich Synergien mit klassischen Antibiotika beobachten, wie etwa bei Cecropin A in Kombination mit Nalidixinsäure [13]. Auch antivirale Peptide werden erforscht; einige hemmen die Vermehrung von Viren oder blockieren deren Eintritt in Zellen [14].

Das Wissen um die Inhaltsstoffe der Hämolymphe gepaart mit Computer- und Biotechnologie kann helfen neue Medikamente zu entwickeln – und nebenbei liefert uns die Computertechnoloie auch noch Motive für neue Briefmarkenmotive *(USA 1996, Sowjetunion 1998; Taiwan 1988; Frankreich 2014; Deutschland 2025)*

Neue Technologien eröffnen weitere Möglichkeiten: Mit Hilfe von Bioinformatik und künstlicher Intelligenz lassen sich AMP-Varianten gezielt entwerfen [15], und gentechnische Verfahren erlauben ihre Produktion in Zellfabriken [16]. Als Modellorganismen für diese Forschung dienen vor allem die Fruchtfliege *Drosophila melanogaster* und die Schwarze Soldatenfliege *Hermetia illucens*, deren besonders widerstandsfähiges Immunsystem großes Potenzial für Medizin und Biotechnologie bietet [17].

Zusammenfassend: Die Hämolymphe der Insekten ist nicht nur Transportmedium, sondern zugleich ein vielseitiges Abwehrsystem. Ihre antimikrobiellen Peptide eröffnen neue Ansätze für Therapien gegen resistente Keime. Forschung an Arten wie *Hermetia*, *Drosophila* oder *Bombyx* zeigt, wie reichhaltig und innovativ dieses biologische System ist – mit großem Nutzen für zukünftige medizinische Anwendungen.

Weiterführende Literatur

(1) Chapman, A.D. (2013). Encyclopedia of Insects, Elsevier.; (2) Nation, J.L. (2015). Insect Physiology and Biochemistry. CRC Press; (3) Gullan, P.J. & Cranston, P.S. (2014). The Insects: An Outline of Entomology. Wiley Blackwell; (4) Lavine, M.D., & Strand, M.R. (2002). Insect Biochemistry and Molecular Biology, 32(10), 1295–1309; (5) Hoffmann, J.A. (2003). Nature, 426(6962), 33–38; (6) Milutinović, B. & Kurtz, J. (2016). Seminars in Immunology, 28(4), 328–342; (7) Yi, H.-Y. et al. (2014). Applied Microbiology and Biotechnology, 98(13), 5807–5822; (8) Steiner, H. et al. (1981). Nature, 292(5820), 246–248; (9) Unckless, R.L. et al. (2016). Nature Reviews Genetics, 17(8), 502–510; (10) Cociancich, S. et al. (1993). Biochemical Journal, 300(2), 567–575; (11) Vogel, H. et al. (2018). Scientific Reports, 8, 11122; (12) Wang, K. et al. (2022). Scientific Reports, 12, 14394; (13) Liscano, Y. et al. (2020). Frontiers in Microbiology, 11, 1314; (14) Dong, Y. et al. (2020). Frontiers in Immunology, 11, 2030; (15) Nagarajan, D. et al. (2021). Briefings in Bioinformatics, 22(3), bbaa418; (16) Hancock, R.E.W. & Sahl, H.G. (2006). Nature Biotechnology, 24(12), 1551–1557; (17) Moretta, A. et al. (2021). International Journal of Molecular Sciences, 22(7), 3835.