

Leben um zu dienen – oder: Wenn der Ginko mit der Alge...

Von Florian Wascher

Angestellt als Projektmitarbeiter der Uni Wien in der Abteilung für mikrobielle Ökologie

Masterabschluss in mikrobieller Ökologie

Zeit seines Lebens befindet sich der Mensch auf der Suche. Das Streben nach den eigenen Vorteilen, die Vollendung aller Träume, die Jagd nach dem letztendlichen Glück bestimmen das Leben der meisten. Das ist eines der Merkmale, welche uns von anderen Lebensformen wie Tieren und Pflanzen unterscheiden. Unser Bemühen um Anerkennung, die Pflege des eigenen Ichs, die Hervorkehrung des Stolzes, all diese Charakteristika bestimmen unser Handeln im Allgemeinen.

Besonders deutlich sichtbar werden diese Züge bei der Suche nach dem passenden Partner, einem Leitmotiv unseres Daseins. Beziehungen zwischen Menschen verlaufen oft an der Grenze zwischen Erfüllung selbstsüchtiger Träume und der Rücksicht gegenüber dem Partner sowie der Hingabe an ihn; leider oft mit negativem Ausgang.

Die Natur hält im Gegenzug vielerorts Beispiele perfekter Partnerschaften innerhalb von Arten und ebenso zwischen verschiedenen Spezies für uns Menschen parat. Diese sind gekennzeichnet durch Aufopferungsgabe und Selbstlosigkeit zum beiderseitigen Vorteil. Was passiert, wenn der eine Partner nur auf die Sicherung eigener Interessen fokussiert ist? Auch dafür liefert die Natur zahllose Beispiele.

In folgender Abhandlung dringen wir in die Tiefen des „Mikrolebens“ ein, wo Symbiose immer wieder lebensnotwendig ist. „Symbiose“, ein Schlagwort aus der Biologie, doch was genau verbirgt sich dahinter?

SYMBIOSE

Der Begriff Symbiose stammt aus dem antiken Griechenland und setzt sich aus den Wörtern *σύν* „Lebensweise“ und *βίωσις* „in Gemeinschaft mit“ zusammen.^{1,2} Konzeptionell beschreibt

er die innige Vergesellschaftung zweier oder mehrerer unterschiedlicher biologischer Arten, welche zusammen in einer langfristigen Beziehung miteinander leben. Gemäß der Auffassung der breiten Öffentlichkeit wird der Begriff Symbiose oft gleichgesetzt mit einer Gemeinschaft aus zwei oder mehreren Spezies, deren Partner gleichermaßen voneinander profitieren und dem/den jeweiligen Partner/n weitreichende Überlebensvorteile gewährleisten. In manchen dieser Lebensgemeinschaften finden sich die Partner in einem derartig eng verflochtenen Netz aus Interaktionen wieder, dass ein Überleben ohne den jeweils anderen nicht mehr möglich ist.

GESCHICHTE

Es war **Albert Bernhard Frank**, auf den die ursprüngliche Erstbeschreibung des Begriffs „Symbiotismus“ im Zuge seiner Studien der **Krustenflechten** zurückgeht.³

Ein weiterer wichtiger Aspekt der Symbiose wurde durch die Forschertätigkeit des deutschen Mykologen **Heinrich Anton de Bary** erbracht, welchen er umschrieb als „ein Zusammenleben ungleich benannter Organismen“.⁴ Gemäß de Barys ursprünglicher Auffassung spielte das finale Ergebnis zwischenartlicher Interaktionen keine Rolle und so schließt er folglich parasitäre und negative Wechselwirkung mit ein.

KLASSIFIZIERUNG

Basierend auf der ursprünglichen Klassifikation durch **Pierre-Joseph van Beneden** werden heutzutage drei eindeutige Arten interspezifischer Beziehungen unterschieden: **Mutualismus, Kommensalismus und Parasitismus**.⁵ Intensive Forschungstätigkeiten in den letzten hundert Jahren haben gezeigt, dass neben der physischen Präsenz teilnehmender Organismen auch verschiedenartige intrinsische und extrinsische Faktoren eine gewichtige Rolle bei der Erhaltung der Stabilität und Dauer solcher Symbiosen haben. In Übereinstimmung damit wurde **Symbiose** als eine langzeitige Wechselwirkung charakterisiert, welche letztendlich in der Ausbildung neuer Strukturen und Erlangung einzigartiger metabolischer Eigenschaften mündet und damit die Artbildung und Biodiversität (Artenvielfalt) fördert.⁶

MUTUALISMUS

Mutualismus beschreibt all jene interspezifischen Beziehungen, die auf beiderseitige Überlebens- und Fitnessvorteile sowie enger und intimer Vergesellschaftung gegründet sind. Mutualistische Interaktionen befähigen Organismen zur Kolonisierung neuer ökologischer Nischen und ermöglichen oft Zugang zu neuen Stoffwechselprodukten.

Die Blattschneiderameisen

Ein feines und weithin bekanntes Beispiel für diese **beiderseits vorteilhaften Lebensgemeinschaften** ist jenes der Blattschneiderameisen. Sie kultivieren in ihren Bauten Pilze des Stammes der *Basidiomycota*. Hierbei gewähren die Ameisen dem Pilz Schutz vor Fressfeinden und sorgen aktiv für dessen Anzucht und Verteilung. Um ihren ernährungsspezifischen Anforderungen zu entsprechen, erhalten jene im Gegenzug zum Beispiel Kohlenhydrate und Proteine. Diese Metabolite sammeln sich in den Hyphenspitzen des Pilzes.⁷ Darüber hinaus gewährleisten Bakterien (*Pseudonocardia*), die sich auf der Haut der Blattschneiderameisen befinden, zusätzlichen Schutz vor einem anderen parasitären Pilz (*Escovopsis*).⁸

EKTOSYMBIOSEN

Der Ameisen-Pilz sowie diverse Ameisen-Pflanzen-Interaktionen lassen sich dem Feld der Ektosymbiosen zuordnen. Ektosymbiose spielt eine gewichtige Rolle bei der Artenvielfalt und Artenverteilung und erhöht folglich den Artenreichtum und die Artenvielfalt.⁹ Zu den Hauptmerkmalen von Ektosymbiosen zählt die Aufrechterhaltung zellulärer Integrität trotz enger Symbiose. Dabei bleiben die einzigartige Form und die charakteristischen Eigenschaften erhalten.

Bei Ektosymbiosen profitieren beide Partner direkt vom angebotenen Schutz in einer kontrollierten Umgebung sowie gesteigertem Bewegungsvermögen (Motilität) und bieten im Gegenzug Zugang zu einzigartigen Stoffwechselprodukten sowie zusätzliche Verteidigung gegenüber Fressfeinden.

Seeigel

So erhöht beispielsweise die Präsenz von *Cideroidea*, einer Ordnung primitiver Seeigel, in antarktischen und benthischen Tiefseegebieten die totale Artenvielfalt und Abundanz (Besiedlungsdichte) spezialisierter sessiler Organismen, welche zwischen den Stacheln der Seeigel Schutz suchen.

Einsiedlerkrebse

Einsiedlerkrebse (*Paguristes oculatus*) wiederum beherbergen auf ihren Schneckenhäusern Exemplare der *Calliactis parasitica* (Schmarotzerrose), einer Gattung von Seeanemonen. Diese verleihen den Einsiedlerkrebsen Schutz vor Feinden aufgrund ihrer Stacheln und profitieren dabei von der Mobilität des Krebses. Des Weiteren gewährt der Einsiedlerkrebs auch Zugang zu zusätzlicher Nahrung, welche er mittels Bewegung seiner Zangen den Seeanemonen zuwirft.¹⁰

KOMMENSALISMUS

Kommensalismus wiederum ist gekennzeichnet durch die Überlebens- sowie Fitnessvorteile, die nur **einem** der beiden oder mehreren **Partnern** zugänglich sind, währenddessen der/die jeweilig andere/n Lebensform/en **keinen unmittelbaren Nutzen, aber auch keinen Schaden** davon haben.

Ein Beispiel hierfür stammt aus dem Reich der **Bakterien**. Die beiden gram-positiven Bakterien *Acinetobacter* Stamm C6 sowie *Pseudomonas putida* Stamm R1 zeigen in Gegenwart einer einzigen Kohlenstoff- und Energiequelle (z. B. Benzyl-Alkohol) eine Symbiose in der Form des Kommensalismus. Befinden sich die beiden Bakterien gemeinsam in einer Schleimschicht von Mikroorganismen (Biofilm) ist *Acinetobacter* Stamm C6 in der Lage, bei höherer Konzentration an Benzyl-Alkohol, diesen schneller umzusetzen. *Pseudomonas putida* Stamm R1 wiederum profitiert von der Ansammlung und unbeabsichtigten Sekretion eines Abfallproduktes von Benzyl-Alkohol durch *Acinetobacter* Stamm C6, ohne dabei seinem Partner einen unmittelbaren Wachstumsvorteil zu gewähren.¹¹

PARASITISMUS

Definitionsgemäß umschreibt der Begriff Parasitismus all jene zwischenartlichen Interaktionen, die auf dem Erwerb von Wachstums- und Überlebensvorteilen eines Partners bei gleichzeitigem und effektivem Verlust an Fitness des jeweilig anderen beruhen. Symbionten bedienen sich also der metabolischen Fähigkeiten ihrer Wirtorganismen, um dadurch Zugang zu (ihnen normalerweise unzugänglichen) Metaboliten zu gewinnen.

Schlupfwespen

Ein bekanntes Beispiel stellen hierfür parasitäre Schlupfwespen aus der Superfamilie der Hymenoptera dar. Diese nutzen verschiedenste Wirte aus. Bevorzugt werden andere Athropoden (Gliederfüßer), wie Larven der Lepidoptera, einer Klasse von Raupen. Über die Eiablage im Wirtsgewebe oder direkt in dessen vergrabenen Eiern sichern ausgewachsene Schlupfwespen die Sicherheit ihres eigenen Nachwuchses sowie dessen Fortbestand. Junge Larven greifen unmittelbar auf vorhandenes Wirtsgewebe zurück und verdauen selbiges langsam, doch stetig; ein Vorgang, den der Wirtsorganismus nicht überlebt. Letztendlich verpuppen sich parasitäre Larven und brechen als frisch geschlüpfte Schlupfwespen aus dem Wirtskörper aus. Einzig eine leere Hülle verbleibt als stummer Zeuge eines allgegenwärtigen Vorganges.^{12,13}

Des Weiteren gilt festzuhalten, dass symbiotische Beziehungen zwischen Lebensformen Veränderungen unterworfen sind. Abhängig von sich ebenfalls ändernden Umweltbedingungen sowie der Beschaffenheit beteiligter Organismen können sich diese neutral, positiv oder negativ auf Symbiont und/oder Wirt auswirken.

Ein Schaden mit deutlichem Nutzen

Wissenschaftlichen Berichten zufolge stimulieren **Pilzhypen** der Familie der *Clavicipitaceae* bei Eindringen in eine Wirtspflanze diese zur Produktion von reaktiven Sauerstoffspezies (ROS). Auf diesem Weg werden die Membranen von Wirtszellen verändert und ein Austreten von Nährstoffen wird möglich. Aufgrund des gestiegenen ROS-Pegels beginnt die Pflanze mit der massiven Produktion von sekundären, **antioxidativen Metaboliten** wie **Flavenoiden**. Diese schützen in weiterer Folge die Pflanze vor Effekten schädlicher Umweltstresssituationen wie diversen Pflanzenkrankheiten, Trockenheit oder Metallmangel bzw. -überschuss.¹⁴

ENDOSYMBIONTEN

Im Gegensatz zu Ektosymbionten ist es Vertretern aus dem Bereich Endosymbionten vorbehalten, die zelluläre Struktur ihrer Wirtsorganismen zu durchbrechen und zu verändern, um neue ökologische Nischen zu besiedeln und ihr eigenes Überleben dabei sicherzustellen. Endosymbionten finden sich in großer Zahl unter den Bakterien, welche von höheren Einzellern wie Flagellaten, Cilliaten oder Amöben vereinnahmt wurden. Dem nahen Tod entgegenblickend entwickelten sie verschiedenartige Methoden zum Schutz vor zellulärem Abbau, um zu überleben.

Endosymbiose wird im Allgemeinen als eine Assoziation zweier oder mehrerer verschiedenartiger Organismen mit unterschiedlicher Größe definiert. Endosymbiotische Organismen (wie z. B. Bakterien) durchlaufen nach passiver bzw. aktiver Aufnahme durch den Wirt alle Stadien ihres Entwicklungszyklus und nutzen dabei den Wirtsorganismus als Transportvehikel sowie als Schutzhülle vor feindlichen Organismen und widrigen Umweltbedingungen.

Die Teeblattlaus

Eine Teeblattlaus (*Acyrtosiphon pisum*) beherbergt in ihrem Inneren verschiedenste sekundäre Endosymbionten. Diese verleihen ihrem Wirt, der Teeblattlaus, keinen unmittelbaren Schutz vor dem Eindringen des Hauptfeindes, der parasitären Schlupfwespe, senken jedoch die Wahrscheinlichkeit der parasitären Entwicklung abgelegter Schlupfwespeneier durch infizierte Blattläuse.¹⁹

Die Natur liefert viele einzigartige Beispiele ekto- und endosymbiotischer Assoziationen unter Organismen, die in ihrer Ausprägung sowie Intensität und Dauer variieren und erheblichen Einfluss auf die Gestaltung unserer Erde nehmen. Manche von ihnen enden tödlich für einen der beiden Partner, andere wiederum führen zu völlig neuen Strukturen, Funktionen sowie genetischen Eigenschaften und erlauben es allen beteiligten Organismen, friedlich miteinander auszukommen und einander zu begünstigen.

Ein Spiegel der Gesellschaft???

Stets dort, wo Bindungen am engsten verlaufen und Symbiosen eingegangen werden, treten auch die größten Vorteile für alle Beteiligten auf und Organismen sichern nicht nur ihr eigenes Überleben, sondern auch jenes des Partners. Eine Beziehung auf gleicher Augenhöhe zwischen Lebensformen gleicher und unterschiedlicher Herkunft zum beiderseitigen Wohl sowie die unbarmherzige Ausbeutung anderer im eigenen Interesse - Die belebte Natur liefert Beispiele für beides. Damit dient die Natur als perfekter Spiegel für die Gesellschaft, in der die rücksichtslose und unbarmherzige Jagd

nach dem eigenen Glück, der Befriedigung eigener Bedürfnisse in der Vernichtung des Nächsten und letztendlich auch einem selbst mündet.

1. Henry George Liddell, R. S. σύν [υ^]. *A Greek-English Lex.* (1940). at <http://www.perseus.tufts.edu/hopper/text?doc=Perseus:text:1999.04.0057:entry=su/n>
2. Henry George Liddell, R. S. βίωσις, εως, ἥ. *A Greek-English Lex.* (1940). at <http://www.perseus.tufts.edu/hopper/text?doc=Perseus:text:1999.04.0057:entry=bi/wsis>
3. Frank AB. Über die biologischen Verhältnisse des Thallus einiger Krustflechten. *Cohn Beitr Biol Pflanz* **2**, 123 – 200 (1877).
4. De Bary, A. Die Erscheinung der Symbiose. *Verlag von Karl J. Trubn. Strassburg.* (1879).
5. Sapp, J. *Evolution by Association. A History of Symbiosis.* 272 (Oxford University Press, New York., 1994).
6. Douglas, E. A. *Symbiotic Interactions.* Univ. Press. Oxford 156 (1995).
7. Mueller, U. G., Schultz, T. R., Currie, C. R., Adams, R. M. & Malloch, D. The origin of the attine ant-fungus mutualism. *Q. Rev. Biol.* **76**, 169–197 (2001).
8. Currie, C. R. *et al.* Ancient tripartite coevolution in the attine ant-microbe symbiosis. *Science* **299**, 386–8 (2003).
9. Hétérier, V., David, B., De Ridder, C. & Rigaud, T. Ectosymbiosis is a critical factor in the local benthic biodiversity of the Antarctic deep sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **364**, 67–76 (2008).
10. Elliott, P. A student's guide to the seashore (3rd Edn). *J. Biol. Educ.* **45**, 169–170 (2011).
11. Christensen, B. B., Haagenen, J. A. J., Heydorn, A. & Molin, S. Metabolic Commensalism and Competition in a Two-Species Microbial Consortium Metabolic Commensalism and Competition in a Two-Species Microbial Consortium. *Appl. Environ. Microbiol.* **68**, (2002).
12. Sugonyaev, E. S. Strategies of parasitism in parasitic wasps. *Entomol. Rev.* **86**, 544–556 (2006).
13. Jervis, M. A., Heimpel, G. E., Ferns, P. N., Harvey, J. A. & Kidd, N. A. C. Life-history strategies in parasitoid wasps: a comparative analysis of "ovigeny." *J. Anim. Ecol.* **70**, 442–458 (2001).
14. White, J. F. & Torres, M. S. Is plant endophyte-mediated defensive mutualism the result of oxidative stress protection? *Physiol. Plant.* **138**, 440–6 (2010).
15. Malinowski, D. P. & Belesky, D. P. Ecological importance of Neotyphodium spp. grass endophytes in agroecosystems. *Grassl. Sci.* **52**, 1–14 (2006).
16. Greub, G. & Raoult, D. Microorganisms Resistant to Free-Living Amoebae. *Clin. Microbiol. Rev.* **17**, (2004).
17. Parniske, M. Arbuscular mycorrhiza: the mother of plant root endosymbioses. *Nat. Rev. Microbiol.* **6**, 763–75 (2008).
18. Biloba, G. I. *et al.* DISCOVERY OF AN ENDOPHYTIC ALGA IN GINKGO BILOBA. *Am. J. Bot.* **89**, 727–733 (2002).

19. Oliver, K. M., Russell, J. a, Moran, N. a & Hunter, M. S. Facultative bacterial symbionts in aphids confer resistance to parasitic wasps. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* **100**, 1803–7 (2003).
20. Horwitz, M. A. & Silverstein, S. C. Legionnaires ' Disease Bacterium (*Legionella pneumophila*) Multiplies Intracellularly in Human Monocytes. *Lab. Cell. Physiol. Immunol.* **66**, 441–450 (1980).
21. Barker, J. & Brown, M. R. W. REVIEW Trojan Horses of the microbial world : protozoa and the survival of bacterial pathogens in the environment. *Microbiology* (1993).