



RUNDGESPRÄCH

# Flechten: Überlebenskünstler und Umweltzeiger

DIE SYMBIOTISCHEN LEBENSWESEN STANDEN IM MITTELPUNKT DES LETZTEN RUNDGESPRÄCHS DER KOMMISSION FÜR ÖKOLOGIE AM 23. OKTOBER 2008.

VON CLAUDIA DEIGELE

## Literaturhinweis

Das Rundgespräch wurde organisiert von Andreas Beck, Botanische Staatssammlung München, und Otto L. Lange, Universität Würzburg. Die Vorträge und Diskussionen werden als Band 36 in der Reihe „Rundgespräche der Kommission für Ökologie“, Verlag Dr. Friedrich Pfeil, München, veröffentlicht.

Wer kennt sie nicht, die oft auffällig orange, hellgrün, weiß oder gelb gefärbten Flecken auf Steinen, Mauern, Hausdächern und im Wald? Flechten, Lebensgemeinschaften aus Pilzen und Algen oder Cyanobakterien, besiedeln eine große Vielfalt von Substraten in fast allen Lebensräumen. In einer Fachtagung beschäftigte sich die Kommission für Ökologie mit dem Bau und den morphologischen Besonderheiten von Flechten, den Anpassungen an ihre Lebensräume, ihren Stoffwechselleistungen und ihrer Rolle im Ökosystem.

## Symbiotische Lebenswesen

Flechten sind keine Einzellebewesen wie Algen, Moose, Farne oder Höhere Pflanzen, sondern stellen eine Symbiose dar, das heißt, ein enges Zusammenleben genetisch unterschiedlicher Organismen: Der Pilzpartner (Mycobiont), der die Form der Flechte bestimmt und namensge-

bend ist, beherbergt in seinem Lager Photosynthese betreibende Grünalgen- oder Cyanobakterienzellen (Photobionten). Bei Symbiosen wird unterschieden zwischen antagonistischen (parasitischen) Assoziationen, das heißt, der eine Partner lebt „auf Kosten“ des anderen, und mutualistischen, bei denen die beteiligten Organismen von ihren unterschiedlichen metabolischen Fähigkeiten profitieren („leben und leben lassen“). Bei Flechten wird meist von einer mutualistischen Symbiose gesprochen.

Entdeckt wurde die Doppelnatur der Flechten erst 1867 von Simon Schwendener während seines Aufenthalts in München als Mitarbeiter seines Schweizer Landsmanns Carl Wilhelm Nägeli. Anfangs heftig umstritten (William Nylander, einer der führenden Lichenologen, sprach von der „Stultitia Schwendeneriana“), setzte sich die Erkenntnis von der Doppelnatur der Flechten nicht zuletzt aufgrund der umfangreichen lichtmikroskopischen Untersuchungen Schwendeners schließlich durch.

## Im Reich der Pilze zu Hause

Flechten gehören zum Reich der Pilze, bilden aber keine eigene systematische Gruppe. Fast alle Flechtenpilze (weltweit ca. 14.000 Arten) zählen zu den Schlauchpilzen (Ascomyceten), innerhalb derer sie verschiedenen Gruppen angehören. Offenbar ist die Symbiose in der Evolution mehrfach unabhängig voneinander entstanden. Auch die Photobionten (gut 30 Arten) gehören verschiedenen systematischen Einheiten an, etwa 90 % stammen aus drei Untergruppen der Grünalgen (Chlorophyta), etwa 10 % aus der Gruppe der Cyanobakterien („Blaualgen“). Sowohl der Flechtenpilz als auch sein Photobiont können, zumindest in Kultur, auch unabhängig voneinander leben. Der typische Flechtenkörper – man spricht von Flechtenlager oder Thallus – bildet sich jedoch nur in der Symbiose aus. In diesem Thallus werden die Algenzellen vom Pilzpartner an einer günstigen Stelle bezüglich Licht und Gasaustausch angeordnet, meist direkt unterhalb der oberen

Abb. 1: *Cetraria islandica*, das Isländische Moos.

Abb. 2: *Xanthoria elegans*, die Zierliche Gelbflechte (orange), mit *Lecanora muralis* (weiß).

Abb. 3: *Rhizocarpon geographicum*, die Landkartenflechte.



Abb. 1



Abb. 2



Rindenschicht. Zugang zu Wasser und gelösten Nährstoffen haben sie ausschließlich über den Pilz. Der Kontakt zwischen Pilz- und Algen- bzw. Cyanobakterienzelle geschieht auf verschiedene Weise. Bei Krustenflechten durchbricht der Pilz oft mit Haustorien die Zellwand des Photobionten. Bei Blatt-, Strauch- oder Bartflechten dringen die umgebenden fadenförmigen Pilzhypen in der Regel nicht in die Zellen des Photobionten ein, sondern bilden einen engen Kontakt über fingerartige Fortsätze (sog. intragelatinöse Hypen), über einfache Wand-an-Wand-Anlagerung (Apposition) oder über sog. intraparietale Haustorien. Diese dringen nur bis in die Wand des Photobionten vor, die Zellwände des Myco- und des Photobionten bleiben dabei erhalten. Für den beiderseitigen Austausch ist neben diesen engen Kontaktstellen die Versiegelung der gesamten Hypen- und Photobiontenoberflächen im Thallusinneren wichtig. Eine dünne Schicht aus wasserabweisenden Proteinen, sog. Hydrophobinen, bewirkt diese Oberflächenversiegelung von Pilz- und Algen- bzw. Cyanobakterienzellen.

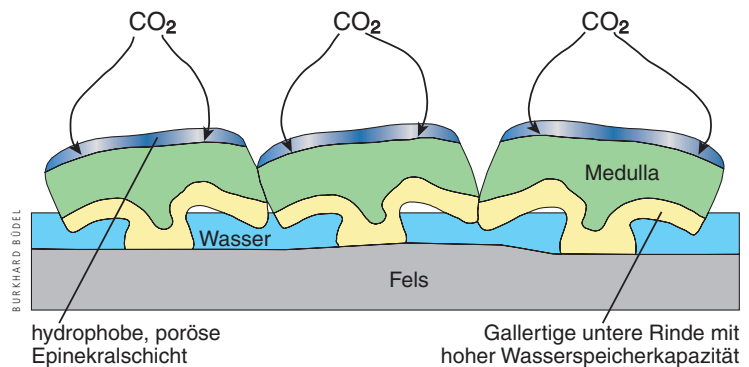
**Anpassung an den Standort**

Flechten sind wechselfeucht (poikilohydric), ihr Wasserhaushalt ist eng mit den Feuchtigkeitsbedingungen ihres Standorts verknüpft. Spezielle Mechanismen erlauben es den Flechten, ohne nachfolgende Schäden bei Wassermangel auszu-

trocknen und dabei um ein Drittel zu schrumpfen; *Cetraria islandica*, das Isländische Moos (Abb. 1), enthält im trockenen Zustand nur noch etwa 15 % Wasser des Trockengewichtes und lässt sich zwischen den Fingern zerbröseln. Flechtenpilze zeigen dabei ein zellbiologisch interessantes Phänomen: Da ihre Zellwände offenbar zu dick und starr sind, um sich genügend zu verformen, cavitiert („implodiert“) ihr Zytoplasma während des Austrocknens. Im trockenen Zustand können Flechten extreme Außenbedingungen überleben. *Xanthoria elegans*, die Zierliche Gelbflechte (Abb. 2), und *Rhizocarpon geographicum*, die Landkartenflechte (Abb. 3), haben im trockenen Zustand eine 14-tägige Reise ins Weltall unbeschadet überstanden, und zwar außen auf dem Flugkörper frei exponiert.

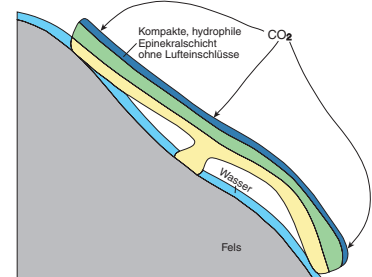
Bei Wiederbefeuchtung quellen Flechten i. d. R. schnell wieder auf und betreiben erneut Photosynthese. Man hat Flechtenthalli nach der Polarnacht bei -50° C aus dem Schnee ausgegraben, befeuchtet und in die volle Sonne gelegt; schon nach wenigen Stunden fand eine Nettophotosynthese statt. Je nach Flechtenart wird die maximale Photosyntheserate bei verschiedenen Thalluswassergehalten erreicht; zu viel Feuchtigkeit behindert den Gasaustausch und hemmt dadurch die Photosyntheseleistung des Photobionten. Entsprechend spiegeln die Wuchsformtypen der Flechten deren Lebensweise wider. Diejeni-

gen Flechten beispielsweise, die in Regenabflussrinnen oder anderen Habitaten wachsen, auf denen sich geschlossene Wasserfilme bilden, deren Algenpartner aber auf gasförmiges CO<sub>2</sub> angewiesen sind, sind meist krustig-schuppig und bilden geschlossene Polster. Sie sind durch eine wasserabweisende (hydrophobe), poröse Epinekralschicht, die ein Eindringen von Wasser verhindert und damit den Gasaustausch erleichtert, und eine gallertige untere Rindenschicht mit hoher Wasser-



speicherkapazität gekennzeichnet (Abb. 4 oben). Flechten dagegen, die auf stark geneigten Flächen wachsen, auf denen sich nur selten geschlossene Wasserfilme bilden können, besitzen eher schildförmig-genabelte (peltat-umbilicate) Einzelthalli mit einer kompakten, hydrophilen Epinekralschicht ohne Luftpfeilschlüsse (Abb. 4 unten).

**Abb. 4: Korrelation von Thallusmorphologie und -anatomie mit der Einnischung im jeweils spezifischen speziellen Habitattyp.**



Einerseits ermöglicht also die Poikilohydrie Flechten das Wachstum an Standorten, die für andere Pflanzen lebensfeindlich sind, andererseits beschränkt sie die Stoffwechselaktivität auf die oft kurzen Phasen ausreichender Befeuchtung. An Wüstenstandorten sind Flechten z. B. in ihrem Leben weniger als 10 % der Zeit stoffwechselaktiv. In offenen, sonnigen Habitaten mit ausreichend Niederschlägen sind Flechten nicht konkurrenzfähig gegenüber Höheren Pflanzen. Dringen diese aufgrund steigender Temperaturen in bisher für sie zu kalte Gebiete



**Abb. 3**

ANDREAS BECK

**Abb. 5:** Ein Thallus von *Xanthoria parietina*. Obere Hälfte: Kontrollen, untere Hälfte: Flechtenstoffe mit Aceton extrahiert; links: lufttrocken, rechts: befeuchtet.

vor, so sind die Flechten in ihren typischen Ökosystemen gefährdet.

**Flechtenstoffe und ihre Funktionen**

Die bunten Farben der Flechten beruhen auf sekundären Inhaltsstoffen in oder unterhalb der Rindenschicht, die ausschließlich vom Pilz gebildet werden. Zu ihnen gehören Parietin (orange), Usninsäure (hellgelb) und Atranorin (weiß). Diese Flechtenstoffe lassen sich mit wasserfreiem Aceton aus dem Thallus extrahieren, ohne dass die Flechte Schaden nimmt (Abb. 5). Vergleichende Untersuchungen an Thalli mit und ohne Flechtenstoffe lassen Rückschlüsse auf deren Funktion zu. Für Parietin und Usninsäure ist z. B. gezeigt worden, dass sie den Photosyntheseparat vor einem Übermaß an Sonneneinstrahlung einschließlich des UV-Anteils schützen. Während auf stickstoffarmen Standorten die mit Aceton extrahierbaren Flechtenstoffe vor Tierfraß schützen, werden die Arten stickstoffreicher Standorte vermutlich durch stickstoffhaltige Inhaltsstoffe geschützt, die jedoch nur unter Zerstörung des Gewebes entfernt werden können.

**Abb. 6:** *Evernia mesomorpha*.

**Abb. 7:** *Hypogymnia physodes*, deren Fehlen bzw. Rückgang hohe Kupferbelastung anzeigt.

**Abb. 8:** Die Lungenflechten *Lobaria scrobiculata* (grau) und *L. pulmonaria* (grün), früher in Mitteleuropa in Laubwäldern weit verbreitet, sind durch saure Luftschadstoffe stark zurückgegangen.

**Standortökologie**

Flechtenstoffe sind auch für die Standortökologie von Bedeutung. Flechtenarten zeigen eine hohe

Spezifität in Bezug auf die pH-Bedingungen ihrer Substrate. Bei epiphytischen, Borken bewohnenden Flechten reicht die Spannweite von sauer (pH < 4, z. B. Borke von Fichte, Kiefer, Tanne, Lärche, Birke) bis neutral (pH 6–7, z. B. Borke von Ahorn, Ulme, Pappel, Rosskastanie). So kommt es, dass sich bei sauren Einträgen (v. a. SO<sub>2</sub>) die Habitatbedingungen verschieben und Flechten, die vorher typisch für Nadelbäume waren, nun z. B. auf Ulmen gefunden werden. Es konnte gezeigt werden, dass Flechten, die Usninsäure enthalten, im Wesentlichen Substrate mit einem pH-Wert zwischen 3,5 und 5,5 besiedeln. Bei *Evernia mesomorpha* (Abb. 6) wird dagegen die Aufnahme von Kupferionen durch Usninsäure gefördert, vermutlich über die Ausbildung von Komplexen aus Cu<sup>2+</sup> und Usninsäure. Die Fähigkeit von Flechtenstoffen, die Metallaufnahme zu unterstützen, trägt vermutlich wesentlich dazu bei, dass Flechten wie *E. mesomorpha* an sauren, nährstoffarmen Standorten wachsen können, wo sie geringerer Konkurrenz ausgesetzt sind. Bei *Hypogymnia physodes* (Abb. 7) dagegen, die durch höhere Konzentrationen von Kupfer und Mangan im Gelände begrenzt wird, wird die Aufnahme von Cu<sup>2+</sup> und Mn<sup>2+</sup> durch Flechtenstoffe selektiv gehemmt, diejenige von Fe<sup>2+</sup> und Zn<sup>2+</sup> dagegen nicht.



**Abb. 5**

**Flechten als Bioindikatoren**

Flechten dienen zum einen als Bioindikatoren für saure Einträge (z. B. *Lobaria pulmonaria*, *L. scrobiculata*, Abb. 8), Schwermetalle (z. B. Kupfer: *Hypogymnia physodes*) oder Stickstoff- und Phosphateinträge in landwirtschaftliche Nutzflächen (z. B. *Lecidella elaeochroma*, Abb. 9). Gerade bei den Stickstoffeinträgen ist jedoch zu berücksichtigen, dass z. B. Landnutzungsänderungen wie das Verschwinden von Hecken oder Steinmauern zwischen Feldern ebenfalls drastische Veränderungen in der Flechtenvegetation haben. Zum anderen lassen Messungen der stabilen Isotope <sup>13</sup>C und <sup>18</sup>O in Flechten Rückschlüsse auf CO<sub>2</sub>- und H<sub>2</sub>O-Austauschprozesse zu und besitzen damit das Potenzial, langfristige Umweltveränderungen z. B.

KNUT ASBJØRN SOLHAUG



**Abb. 6**

EINAR TINDAL



**Abb. 7**

CHRISTOPH SCHEIDEGGER



**Abb. 8**

EINAR TINDAL



in der Wasserverfügbarkeit zu erfassen.

Anhand eines neu entwickelten Modells können die passiven Wasseraustauschprozesse in Flechtenthalli sehr genau untersucht und bestehende Modelle entsprechend erweitert werden.

Mithilfe von Flechten lassen sich über ganz Europa hinweg naturnahe Wälder von Sekundärwäldern unterscheiden. Auch wurden Indikatorarten für ökologische Kontinuität gefunden, um für den Naturschutz wertvolle Waldgebiete mit langer ungestörter Entwicklung auszumachen. Das Vorkommen dieser Arten weist auf alte Baumindividuen hin, sie sind z. B. auf Borkenrisse oder auf regengeschützte, da leicht überhängende Stammseiten alter Eichen angewiesen. Andere sind Anzeiger für räumlich-zeitliche Vernetzung

(z. B. *Lobaria pulmonaria*), da sie zwar auf autochthone Bestände beschränkt sind, aber auch auf jüngeren Bäumen wachsen können, sofern sie die Möglichkeit zur Ausbreitung und Etablierung haben.

### Flechten und Tiere

Auch wenn Flechten für zahlreiche Groß- und Kleinsäuger eine wichtige Nahrungsquelle darstellen (z. B. *Cladonia rangiferina*, die Rentierflechte, auch „Hungermoos“ genannt, Abb. 10), finden sich die meisten Assoziationen zwischen Flechten und Tieren bei den Wirbellosen, insbesondere in verschiedenen Familien der Schmetterlinge (Lepidoptera). Flechten dienen dabei als Nahrung (Lichenovorie), zur aktiven und passiven Tarnung (Abb. 11) sowie als Lebensraum. Die Erschließung des „Nahrungsraumes Flechte“ hat jedoch nur in wenigen Fällen zu mehr oder weniger artenreichen Radiation, d. h. Auffächerung von Arten geführt. Tiere tragen ihrerseits zur Verbreitung der Flechten bei. So wurden im Kot einer lichenovoren Milbe lebensfähige Zellen des Photobionten (*Trebouxia*) und des Pilzes von *Xanthoria parietina* nachgewiesen. Auch der Mensch nutzt(e) Flechten in vielfältiger Weise, sei es als Farbstofflieferant (u. a. Lackmus), Parfümzusatz, Nahrung (z. B. die Mannaflechte, *Lecanora esculenta*), Arzneimittel (Isländisch Moos

zur Linderung von Atemwegserkrankungen; usninsäurehaltige Flechten als Wundsalbe aufgrund der antibiotischen Wirkung von Usninsäure gegen Gram-positive Keime) oder Futterzusatz für Nutztiere.

### Flechten und Denkmalschutz

Im Denkmalschutz sind Flechten aus verschiedenen Gründen bisher mit teilweise recht drastischen Methoden bekämpft worden. Zum einen können Flechten unter der Gesteinsoberfläche Material abtragen, zum anderen färben sie Oberflächen ein, was ein ästhetisches Problem darstellen kann. So war eine Buntsandsteinmauer der Festung Rosenberg bei Kronach nur drei Jahre nach der Restaurierung durch Flechtenbewuchs komplett schwarz geworden. Es konnte jedoch nachgewiesen werden, dass Flechten direkt und indirekt zur Bildung von Schutzschichten beitragen können, indem sie die Wasseraufnahme von Gesteinen reduziert. Auf diese Weise vermögen Flechten Mauern auf natürliche Weise zu „verfügen“. Zudem tragen sie durch das Ausfällen von Kalzium zur Festigung der Gesteinsoberfläche bei. So können Flechten zu Vermittlern zwischen Naturschutz und Denkmalschutz werden.



Die Autorin ist wissenschaftliche Mitarbeiterin der Kommission für Ökologie.

### Vorträge

Andreas Beck, Burkhard Büdel (TU Kaiserslautern), Rainer Drewello (Universität Bamberg), Yngvar Gauslaa (Norwegian University of Life Sciences, Ås, NO), T. G. Allan Green (University of Waikato, Hamilton, NZ), Markus Hauck (Universität Göttingen), Rosmarie Honegger (Universität Zürich), Michael Lakatos (TU Kaiserslautern), Christoph Scheidegger (WSL Birmensdorf, CH) und Andreas Segerer (Zoologische Staatssammlung München).

Abb. 9: *Lecidella elaeochroma* bevorzugt Flächen mit niedrigen Stickstoff- und Phosphateinträgen.

Abb. 10: *Cladonia rangiferina*, die Rentierflechte.

Abb. 11: *Chloroclysta siterata* (Geometridae) auf Flechten.

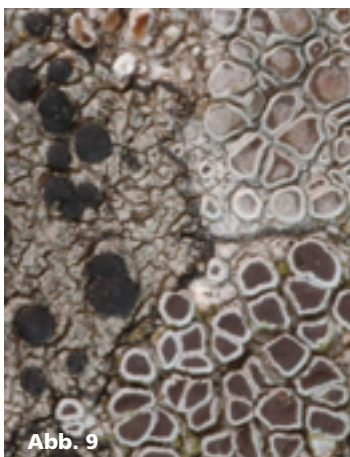


Abb. 9

CHRISTOPH SCHEIDEGGER



Abb. 10

ANDREAS BECK

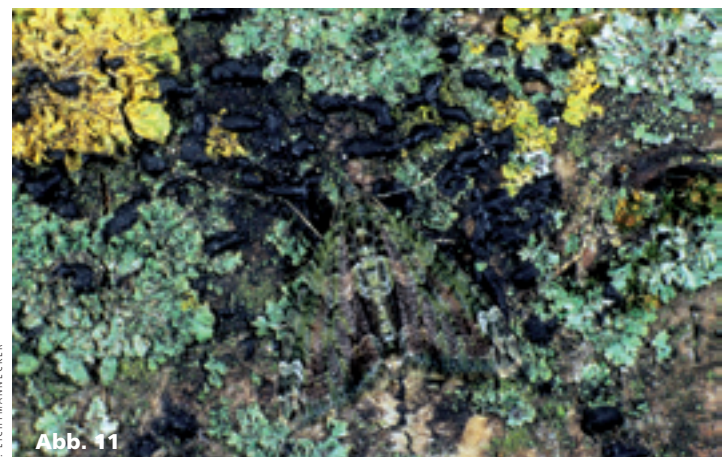


Abb. 11

P. LICHTMANNECKER