

# Faszination Flechten - Symbiose aus Pilz und Alge

Objektyp: **Chapter**

Zeitschrift: **NAGON / Naturforschende Gesellschaft Ob- und Nidwalden**

Band (Jahr): **5 (2014)**

PDF erstellt am: **05.08.2024**

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

## 4 Faszination Flechten – Symbiose aus Pilz und Alge

---

### 4.1 Flechten auf Schritt und Tritt

Flechten (Lichenes) begegnen uns fast überall in einer grossen Vielfalt an Formen und Farben. Sie sind faszinierende Organismen. Erst 1869 entdeckte der Schweizer Botaniker **Simon Schwendener** (1829–1919), dass es sich eigentlich um zwei Organismen, einen Pilz und eine Alge handelt. Sie leben symbiotisch, also zu gegenseitigem Nutzen, zusammen.

#### Umfassendes Spektrum an Lebensräumen

Flechten sind sehr artenreich. Ihre Vielfalt beträgt **weltweit** rund **25'000 Arten**. Sie kennen kaum klimatische Grenzen und sind von den Meeresküsten bis auf die höchsten Alpengipfel im ganzen Spektrum der Lebensräume anzutreffen. Je feuchter diese sind, umso üppiger wachsen die Flechten. Aufgrund der Fähigkeit, anhaltende Trockenheit in Starre zu überdauern, kommen Flechten auch in Wüstengebieten vor. Untergetaucht in Gewässern können allerdings nur wenige Arten leben.

In der **Schweiz** sind **1'800 Flechtenarten** bekannt. Sie besiedeln verschiedenste Lebensräume, zum Beispiel Felsen, Geröllhalden, Zwergstrauchheiden, Hochmoore, Wälder oder Magerrasen. Doch auch von Menschen geschaffene Habitate bieten vielen Flechten einen Wuchsort, so etwa Mauern, Ziegel- oder Schindeldächer, Holzzäune oder Park- und Alleebäume.

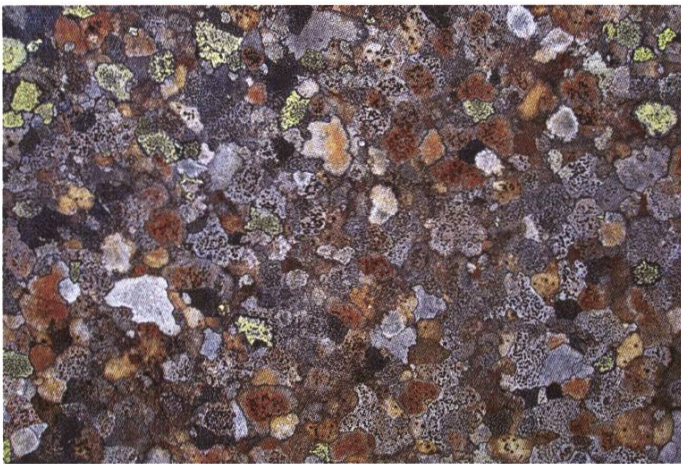
#### Genügsam auf allen Unterlagen

So vielfältig die Lebensräume der Flechten sind, so zahlreich sind auch die von Flechten besiedelten Unterlagen. Grundsätzlich werden gesteins-, boden-, baum- und holzbewohnende Arten unterschieden. Doch auch künstliche Substrate wie Plastik, Eternit, Glas und Farbanstriche werden von Flechten in Beschlag genommen. Neben der physischen Beschaffenheit des Substrats, hart oder weich, glatt, rau oder porös, sind es die chemischen Eigenschaften wie Nährstoffangebot, Kalkgehalt und pH-Wert, welche für die jeweilige Artenzusammensetzung der Flechten verantwortlich sind. Nichtspezialisierte Flechten können durchaus auf verschiedenen Substrattypen leben, einige wenige Arten sind sogar imstande, auf fast allen Unterlagen zu wachsen.

## Gesteinsbewohnende Flechten

Der Kalkgehalt der Unterlage sorgt bei der Artenzusammensetzung der gesteinsbewohnenden (saxicolen) Flechten für die grössten Differenzen. Auf kalkfreiem Silikatgestein siedeln andere Flechtenarten als auf Karbonatgestein, was sich oft auch farblich sehr deutlich zeigt. Auf Silikatgestein wie Granit oder Gneis ist die oft krustenförmige Flechtenvegetation bunt. Auf Karbonatgestein wie Dolomit (Calcium-Magnesium-Karbonat) oder auf Kalkgestein (Calcium-Karbonat) hingegen sind die Flechtenüberzüge blass und meistens mehr oder weniger weiss. Während letztere basisch reagieren, sind die silikathaltigen Gesteine sauer. Je höher der Silikatanteil respektive der Kalkgehalt sind, umso ausgeprägter stellen sich die typischen Flechten ein. Zwischen den Extremen gibt es auch Übergänge, die entweder auf intermediären Gesteinen oder auf oberflächlicher Entkalkung beruhen.

Sehr augenfällig sind saxicole Flechten deshalb in den Silikatgebieten der Alpen, wo sie meist bunte Mosaik an Felswänden und -blöcken bilden. Einige Flechten leben dabei ausschliesslich auf schwermetallreichem Silikatgestein. Auch auf Karbonatgestein können artenreiche Flechtengemeinschaften ausgebildet sein, doch sind die Lager der unscheinbaren Krustenflechten oft kaum zu differenzieren. Einige der Arten wachsen sogar wenig unterhalb der Gesteinsoberfläche und sind meist nur an ihren punktförmigen, herausragenden Fruchtkörpern erkennbar.



Buntes Mosaik von gesteinsbewohnenden Krustenflechten auf Silikatgestein



Unscheinbare Flechtenüberzüge auf Kalkfelsen

Die Wasserspeicherkapazität des Gesteins sorgt für weitere Unterschiede in der Artenzusammensetzung. Raue oder poröse Unterlagen wie Sandgesteine fördern die Wasserspeicherung und sorgen für ein günstiges Mikroklima. Dies kommt den Flechten mit ihrem Feuchtigkeitsbedürfnis entgegen. Schliesslich spielen Exposition und Neigung der Gesteinsfläche eine wichtige Rolle für die beherbergte Artengarnitur. Kuppenlagen weisen andere Flechten auf als Vertikal- oder gar Überhangsflächen.

Insgesamt existiert auf den verschiedenen Unterlagen eine Vielfalt von ökologischen Nischen, nicht nur an Felsen und Blöcken. Flechten wachsen auch an Steinbauten jeglicher Art. Strukturreiche Trockensteinmauern, Grabsteine auf Friedhöfen oder Dachziegel bieten eine willkommene Unterlage, ja selbst Beton wird von Flechten nicht verschmäht.



Bunt verzierter, alter Dachziegel: *Xanthoparmelia verruculifera* (oliv), *Candelariella vitellina* (gelb), *Lecanora rupicola* (weiss), *Lecidea fuscoatra* (grau)



Stützmauer mit Krustenflechten, unter anderem der orange-farbenen *Caloplaca velana*

### Bodenbewohnende Flechten

Unter dem Begriff terricole Flechten zusammengefasst, wachsen die bodenbewohnenden Flechten hauptsächlich auf Erde, Pflanzenresten und Moosen. Nur relativ karge Böden ermöglichen diesen Flechten ein Aufkommen. Auf fruchtbareren Böden werden die konkurrenzschwachen Flechten von schneller wachsenden Blütenpflanzen verdrängt. Im Gegensatz zu den Gesteinsbewohnern lassen sich die Bodenbewohner wesentlich seltener beobachten. Die kargen und zudem ungestörten Böden, die sie zum Leben benötigen, sind in unseren weitgehend genutzten Landschaften der tieferen Lagen fast ganz verschwunden. Nicht so in der alpinen Stufe, wo Flechten viele ökologische Nischen mit einer noch so dünnen Erdkruste als Bodenfestiger in Anspruch nehmen können.

Für die Artenzusammensetzung spielt das Ausgangsgestein eine zentrale Rolle, da seine Verwitterungsprodukte die chemischen Eigenschaften des Bodensubstrats bestimmen. Wie bei den saxicolen Flechten sorgt der Kalk- und Basengehalt des Bodens für eine Trennung in basophile und acidophile Bodenflechten. Letztere finden sich auch auf zersetztem, organischem Material wie Nadelstreu oder Torf, denn auch in lichtreichen Wäldern und Hochmooren können terricole Flechten wachsen.



Flechten alpiner Gratlagen: *Alectoria ochroleuca* (grünlich), *Flavocetraria cucullata* (gelblich), *Thamnolia vermicularis* (weiss), *Cetraria islandica* (olivbraun)



Flechten auf Waldboden: *Cetraria islandica* (oliv), *Cladonia furcata*

Die Wasserspeicherkapazität des Bodensubstrats ist ein weiterer wichtiger Faktor für das Flechtenwachstum. Aufsaugende, schwammige Substrate wie Torf fördern eine üppigere Flechtenvegetation als sandige Unterlagen.



Offene Torfflächen bieten säureliebenden Flechten einen Standort (Bildmitte).



Auch an trockenwarmen Standorten können Flechten, wie die weisse *Cladonia symphycarpa*, mit Blütenpflanzen konkurrieren.

In den anthropogen, also von Menschen gestalteten Siedlungsräumen können bodenbewohnende Flechten nur ganz selten Fuss fassen. Erdige Auflagen an Mauern, breitere Ritzen in Pflästerungen oder ungestörte Stellen in Friedhofsanlagen werden manchmal genutzt.

## Baumbewohnende Flechten

Als baumbewohnende oder corticole Flechten werden alle Arten bezeichnet, die auf der Rinde von verholzten Pflanzen leben. Dazu gehören auch diejenigen Arten, die auf Sträuchern und Zwergsträuchern wachsen. Bei den Bäumen wird nicht nur der Stamm besiedelt, auch die Äste und Zweige der Krone bieten willkommene Wuchsorte. Die ökologischen Nischen sind zahlreich, wobei die Exposition und die Höhe des Wuchsortes zu gut unterscheidbaren Artenzusammensetzungen führen.



*Parmelina tiliacea* (grau) und *Candelaria concolor* (gelb) am Stamm einer Rosskastanie



Strauchflechten in der Krone eines Vogelbeerbaums

Jede Baumart besitzt in gewissem Rahmen ihre eigenen Rindeneigenschaften, welche für die Zusammensetzung des auf ihr wachsenden Flechtenspektrums verantwortlich sind. Es gibt jedoch kaum Arten, die ausschliesslich auf einer Baumart wachsen. Von zentraler Bedeutung ist für die Flechten die Oberflächengestalt. Eine glatte Buchenrinde, die kaum Wasser speichern kann und deshalb von Krustenflechten favorisiert wird, unterscheidet sich in ihrem Flechtenbewuchs wesentlich von schuppiger Fichten- oder rauborkiger Eichenrinde. Bei einer stark zerklüfteten Borke bieten die tiefen Risse und die erhöhten Stege zusätzliche ökologische Nischen – insbesondere Stecknadelflechten bevorzugen die geschützten Risse und ihre Flanken. In allen ökologischen Nischen können baumbewohnende, wasserspeichernde Moose den Flechtenbewuchs wesentlich fördern.

Auch chemisch variiert die Rindenoberfläche von Gehölzart zu Gehölzart. Durch den tiefen pH-Wert ihrer Rinden begünstigen zum Beispiel Fichte und Eiche säureliebende Flechten, Nussbaum und Holunder mit höherem pH-Wert basenliebende Arten. Hinzu kommt das baumspezifische Nährstoffangebot, das für unterschiedliche Artengarnituren verantwortlich ist. Die Differenz zwischen den nährstoffarmen, sauren Nadel- und den nährstoffreicheren Laubhölzern ist erkennbar.

Wälder sind für die Vielfalt der baumbewohnenden Flechten von zentraler Bedeutung. Unter ihnen gibt es zahlreiche typische Waldbewohner, welche auf die spezifischen Licht- und Feuchtigkeitsbedingungen angewiesen und im Offenland kaum anzutreffen sind. Andere Flechten treten regelmässig auch an frei stehenden Bäumen auf oder beschränken sich sogar darauf. Auch diese Bäume bieten einem breiten Artenspektrum eine Unterlage. Bäume in Weiden, auf Wiesen, Obst-, Park- und auch Strassenbäume können gleichermaßen als Flechtenstandorte dienen.



Die tiefrissige Eichenrinde unterscheidet sich deutlich von der glatten Rinde der Buche.



Auf der strukturierten, bemoosten Weidenrinde kann neben der weissen Krustenflechte *Phlyctis argena* auch die blättrige *Parmelia sulcata* üppig wachsen.

### Holzbewohnende Flechten

Die holzbewohnenden (lignicolen) Flechten wachsen auf Totholz. Das kann rindenfreies Holz abgestorbener Bäume oder totes Astmaterial an lebenden Bäumen sein. Auch Hochstümpfe und Baumstrünke können von einer beeindruckenden Flechtengarnitur geschmückt sein, wobei die horizontalen Zenitflächen andere Bedingungen als die Seitenflächen bieten. Etliche lignicole Arten sind auf das Stammholz stehender Baumindividuen angewiesen. Die Bäume können unter günstigen Umständen sogar den sehr langsam wachsenden Stecknadelflechten ein geeignetes Substrat bieten. Mit zunehmender Zersetzung des Holzes ändert auch dessen Wasserspeicherkapazität. Entsprechend trägt hartes, zähmorsches Holz andere Flechtengemeinschaften als schwammig-weiches Totholz. Liegendes Totholz erfährt aufgrund der Bodennähe eine raschere Zersetzung, was sich negativ auf das Wachstum der holzbewohnenden Flechten auswirkt.



Sich langsam zersetzende Nadelhölzer bieten stehend noch lange ein Substrat.



*Lecanora circumborealis* (weisse mit braunen Apothecien) und *Lecanora expallens* (gelblich-grün) auf Nadelholz

Holzbewohnende Flechten kommen nur dort vor, wo auch Gehölze wachsen können. Oberhalb der subalpinen Stufe gedeihen nur noch wenige Arten auf abgestorbenen Zwergsträuchern. Ausnahmen bilden die Flechten auf verbautem Holz, seien dies die Pfähle eines Viehzauns, die alte Bretterwand eines Stalls, ein Schindeldach oder ein hölzernes Gipfelkreuz. Sofern das Holz unbehandelt ist, können von Menschen hergestellte Holzbauten, auch in tieferen Lagen, durchaus eine wertvolle Unterlage für Flechten darstellen.



*Physconia distorta* (bräunlich-grau), *Parmelina tiliacea* (grau) und *Xanthoria parietina* (gelb) auf dem Holz eines Zaunes



*Candelariella vitellina* (gelb) und verschiedene andere Flechten auf Dachschindeln



## 4.2 Formenvielfalt – Drei Wuchsformen

Flechten sind das ganze Jahr zu beobachten. Das Erscheinungsbild ihres Körpers, auch Lager oder Thallus genannt, bleibt zu allen Jahreszeiten gleich. Anhand der Gestalt ihres Körpers werden sie grundsätzlich in drei Wuchsformen unterteilt: **Strauch-, Blatt- und Krustenflechten**. Zwischen den einzelnen Wuchsformen ist die Abgrenzung allerdings nicht immer scharf, sondern es kommen Übergangsformen vor. Die Strauch- und Blattflechten werden gemeinsam auch als Gross- oder Makroflechten bezeichnet. Für die Systematik der Flechten sind die Wuchsformen nicht mehr oberstes Einteilungsprinzip, für die Bestimmung jedoch von grosser Bedeutung.

### Strauchflechten

Der Körper der Strauchflechten ist mehr oder weniger stark verzweigt und erinnert meist an kleine Sträucher. Die entsprechenden Stämmchen und Ästchen sind sehr verschieden geformt: gestaucht bis langgezogen, kantig bis kraus gegliedert, band- bis rohrförmig, stift- oder becherförmig.

Innerhalb der Strauchflechten werden die **Bartflechten** wegen ihrer fädig dünnen, langen Zweige abgegrenzt. Ihre Lager zieren als grün-gelbliche oder mehr oder weniger braune Bärte meist Äste und Zweige von Nadelbäumen. Noch feiner als bei den Bartflechten sind die Zweige bei den wenigen Vertretern der Haarflechten.

Die **Rentierflechten** mit ihren kleinbuschigen Körpern zählen ebenfalls zu den Strauchflechten. Aufgrund ihrer Wuchsform dienen sie im Modellbau als zierliche Bäume. Auch die übrigen Vertreter der artenreichen Gattung *Cladonia*, in denen die Rentierflechten eine gesonderte Einheit bilden, gehören im weiteren Sinne zu den Strauchflechten. Sie besitzen meist ein deutliches, kleinschuppiges Grundlager, auf dem sich verzweigte, stift- oder becherförmige Lagerteile (Podetien) entwickeln.



Die Strauchflechte *Pseudevernia furfuracea*



Bartflechten der Gattung *Usnea*

Die Strauchflechte *Cladonia squamosa*Die Rentierflechte *Cladonia rangiferina*

## Blattflechten

Wie die Strauchflechten lassen sich auch die Blattflechten meist leicht von ihrer Unterlage ablösen. Ihr Körper ist nur lose angewachsen und besteht aus blattähnlich abgeflachten Lappen, die unterschiedlich gestaltete Ober- und Unterflächen aufweisen (dorsiventral). Bei einzelnen Arten sind die Lappen so gross wie Handteller. Meist misst ihre Breite jedoch weniger als einen Zentimeter, manchmal sind sie so klein, dass sie sich kaum von schuppenförmig wachsenden Krustenflechten unterscheiden. Die Lappen der Blattflechten können papierdünn bis kartondick oder auch aufgeblasen sein. Ihre Ränder variieren von ganzrandig über eingeschnitten bis kraus. Wenn die Lappen in feuchtem Zustand stark aufquellen, handelt es sich um blattförmig wachsende Blaualgen-Flechten. Zusammen mit entsprechenden Krustenflechten und kleinstrauchigen Arten werden sie auch als **Gallertflechten** abgegrenzt.

Die Blattflechten *Menegazzia terebrata* (Bildmitte), *Cetraria cetrarioides* (rechts) und *Parmelia saxatilis* (unten links)Die Blattflechten *Physcia tenella* (links), *Phaeophyscia endophoenicea* (Mitte) und *Melanelixia glabrata* (oben rechts)



Die Gallertflechte *Collema auriforme* in gequollenem Zustand



Die Gallertflechte *Collema fuscovirens* in trockenem Zustand



Die Blatflechte *Peltigera praetextata*



Die Nabelflechte *Umbilicaria decussata*

Die **Nabelflechten** bilden innerhalb der Blatflechten eine eigene Gruppe. Ihre derben Lappen sind typischerweise mit einem zentralen, starren Nabel am Substrat befestigt, was sich auf der Oberseite oft in Form einer trichterartigen Vertiefung abzeichnet.

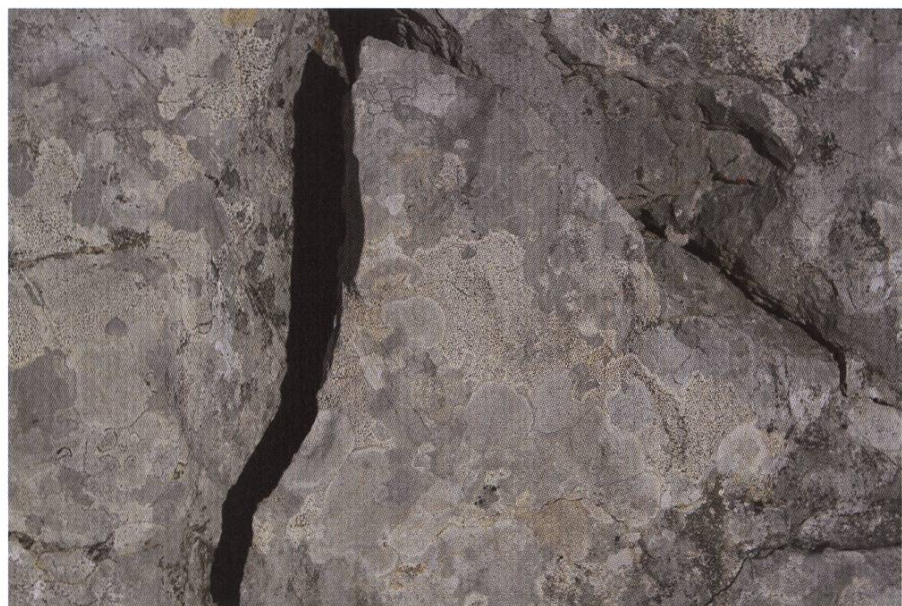
### Krustenflechten

Die Krustenflechten zeichnen sich durch ein überzugartiges Lager aus, welches mit dem Substrat fest verbunden und kaum als Ganzes entfernbar ist. Meist wachsen sie deutlich erkennbar auf dem Substrat, sei es auf Baumstämmen, sei es auf totem Holz, Erde oder Gestein. Einige Arten entwickeln ihren unscheinbaren Körper im Substrat, meist wenig unter der Oberfläche von Gestein (endolithisch) oder Holz (endophloeodisch). Dann ragen einzig die punktförmig kleinen Fruchtkörper mehr oder weniger deutlich hervor.

Oberflächlich wachsende Flechtenkörper bilden kaum differenzierte dünne Krusten, mehrheitlich jedoch rissige bis vielgestaltig **gefelderte** (areolierte) oder **warzig** strukturierte Überzüge. Teilweise treten sie durchwegs **schuppig** auf, manchmal erscheinen sie aufgrund kleinlappiger Ränder rosettenförmig. Spezielle Blaualgen-Flechten bilden in feuchtem Zustand stark gallertige Krusten. Die **leprösen Krustenflechten** bestehen lediglich aus einer pulverigen bis schwammigen Anhäufung von körnigen Einheiten aus vom Flechtenpilz umwobenen Algen.



Krustenflechten auf einem Dachziegel: *Rhizocarpon grande* (grau), *Lecanora rupicola* (weiss), *Candelariella vitellina* (gelb)



In Karbonatgestein wachsende Krustenflechten, unter anderem *Protoblastenia incrustans* (bräunlich)

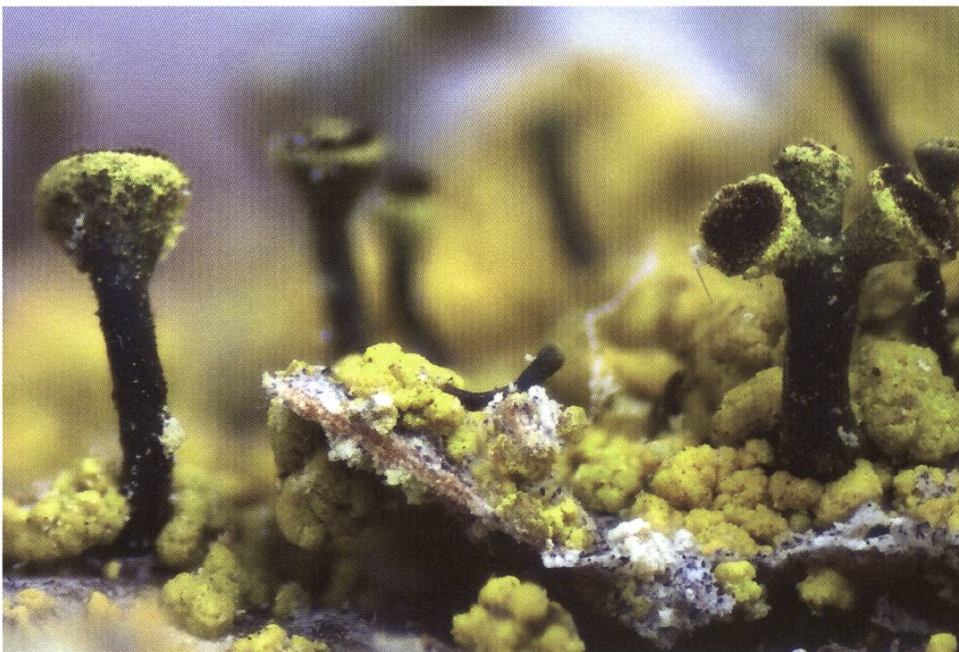


*Psora decipiens* hat ein schuppiges Lager.



*Lepraria lobificans* hat ein lepröses Lager.

Um eine spezielle Gruppe von Krustenflechten handelt es sich bei den **Stecknadelflechten**. Ihre mehr oder weniger deutlich ausgebildeten Lager erscheinen zwar typisch krustenförmig, daraus erheben sich jedoch deutlich die zierlichen Fruchtkörper stecknadelförmig empor. Auf dem Stiel wird die Sporenmasse erhöht exponiert.



Die Stecknadelflechte *Chaenotheca chrysocephala* exponiert die Sporenmasse über dem gelben Lager auf einem um 1 mm langen Stiel.

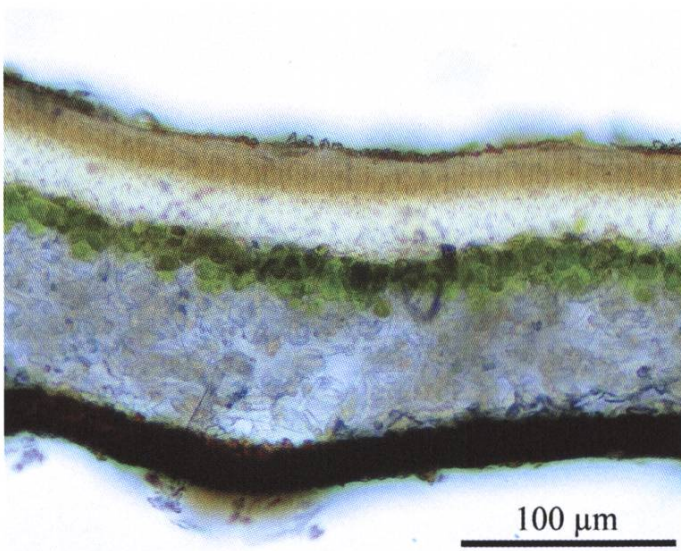
### 4.3 Die Organisation zu einem Ganzen

#### Zwei, die zusammen passen

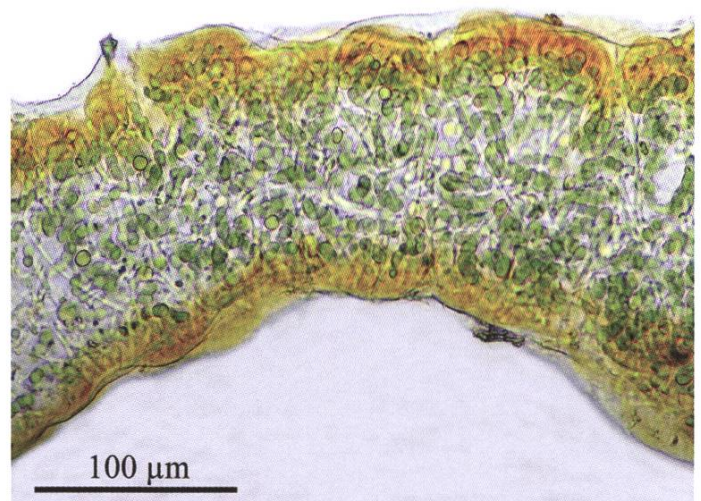
So vielfältig die Formen auch sind, der innere Aufbau des Flechtenkörpers kennt nur wenige Variationen. Beim symbiotischen Zusammenleben der beiden unterschiedlichen Organismen bestimmt in der Regel der Pilz die Form.

Je nach Anordnung der Pilzgewebe und der Algen im Flechtenkörper wird von einem **geschichteten** (heteromeren) oder einem **ungeschichteten** (homöomeren) **Lageraufbau** gesprochen. Bei ersterem, bei den meisten Grünalgen-Flechten vorkommenden Typ, liegen die Algen in einer eigenen Schicht eng beieinander. Dieser Algenschicht schliesst sich einseitig ein lockeres Gewebe aus Pilzhyphen, das Mark, an. Mark- und Algenschicht werden schliesslich durch eine kompakte Rinde nach aussen abgegrenzt. Die obere Rinde ist fast immer ausgebildet, die untere kann auch fehlen.

Einen ungeschichteten Lageraufbau weisen die Gallertflechten auf. Darin befinden sich Blaualgen (Cyanobakterien) regelmässig verteilt im einheitlichen Geflecht der Pilzhyphen. In feuchtem Zustand quellen die Gallerthüllen der Blaualgen stark auf und verleihen der sonst spröden Flechte die typische gallertig-gummige Gestalt.



Geschichteter Lageraufbau der Blattflechte *Parmelia sulcata* mit oberer Rinde, Schicht mit Grünalgen, Markschrift und unterer Rinde



Ungeschichteter Aufbau der Gallertflechte *Collema fuscovirens* mit kettenförmigen Cyanobakterien der Gattung *Nostoc*

## Überlebenskunst dank Symbiose

In der Flechte herrscht zwischen Pilz und Alge eine klare Rollenteilung. Nur die **Algen** (Fotobionten) sind mit Hilfe ihres Blattgrüns (Chlorophyll) dazu fähig, aus dem Sonnenlicht mittels **Fotosynthese** energiereiche **Zucker** zu produzieren. Diese werden kontrolliert dem Pilzpartner abgegeben. Die Algen hingegen werden vom **Pilz** mit lebenswichtigen **Mineralstoffen** und **Wasser** versorgt. Zudem schützt sie das Pilzgewebe vor zu intensiver UV-Strahlung, davor, von Kleintieren gefressen zu werden, und vor zu schnellem Austrocknen.

Als Ganzes verliert die Flechte bei Trockenheit zunehmend ihre Feuchtigkeit, da weder Wurzeln noch ein Verdunstungsschutz vorhanden sind und somit keine Kontrolle über den Wasserhaushalt besteht. Extreme Trockenheit kann Flechten allerdings nichts anhaben. Diese überdauert der Flechtenkörper in einer sogenannten **Trockenstarre**. Dabei werden sämtliche Funktionen weitestgehend eingestellt und erst bei genügender Feuchtigkeit wieder aufgenommen. Dieser Zustand kann unter extremen Umständen sogar jahrelang andauern. Diese Fähigkeit erlaubt es den Flechten, als sogenannte wechselfeuchte Organismen, auch Extremstandorte zu besiedeln, die für Blütenpflanzen zu unwirtlich sind. Umgekehrt gestattet die eingeschränkte Zeit der Stoffwechselaktivität nur ein ausserordentlich langsames Wachstum. Auch bezüglich der Temperaturtoleranz, sowohl nach oben als auch nach unten, kennen die wechselfeuchten Flechten kaum Grenzen. Die Fähigkeit vieler Arten, auch bei Minusgraden Fotosynthese zu betreiben, verleiht Flechten in kühlen Lagen einen wesentlichen Konkurrenzvorteil.

Das symbiotische Zusammenleben von Pilz und Alge macht die Flechten als Ganzes zu eigentlichen Überlebenskünstlerinnen. Aufgrund ihrer Ernährungsweise sind sie weder Parasiten noch Schädlinge. Alles, was sie zum Leben brauchen, entnehmen sie der Luft, den Niederschlägen und dem Sonnenlicht. Dem Substrat, auf dem sie wachsen, rauben sie keine lebensnotwendigen Stoffe. Es dient einzig als Unterlage für ihr genügsames Leben. Dies gilt auch für Bäume, deren Stämme und Äste durch einen selbst noch so dichten Flechtenbewuchs keinen Schaden nehmen.

### Langsames Wachstum – alte Individuen

Flechten wachsen sehr langsam. Nur wenige grössere Blattflechten und einige Strauchflechten können im Jahr mehr als einen Zentimeter zulegen. Bei den meisten Arten hingegen beträgt der Zuwachs wesentlich weniger. 5 mm sind es etwa bei der verbreitet vorkommenden, blattförmig wachsenden *Flavoparmelia caperata*. Bei vielen Krustenflechten liegt die jährliche radiale Zunahme im Millimeterbereich oder gar darunter. Die auffällig grünlich-gelbe Landkartenflechte (*Rhizocarpon geographicum*) bringt es im Durchschnitt gerade mal auf 0.5 mm.

Insbesondere Krustenflechten können sehr alt werden. Ein Alter von mehreren hundert Jahren ist bei auf hartem Gestein wachsenden Arten nicht aussergewöhnlich. Bei einzelnen Individuen wurde gar ein Alter von über tausend Jahren ermittelt.

Mit dem Wissen über die jährliche Zuwachsrates können Flechten zur Altersbestimmung (Lichenometrie) von Moränen und Gletscherrückzügen verwendet werden. Auch das Alter von Gesteinsmonumenten, wie die berühmten, über 400-jährigen Skulpturen auf der Osterinsel, wurde mit Hilfe von Flechten ermittelt.

### Schadstoffen wehrlos ausgesetzt

Zwar sind Flechten in vielerlei Hinsicht Überlebenskünstler, doch ihre aussergewöhnliche Anatomie und Physiologie birgt auch verheerende Gefahren. Da sie im Gegensatz zu Pflanzen kein robustes Abschlussgewebe besitzen, können Schadstoffe ungehindert in ihren Körper eindringen. Sowohl in Wasser gelöst als auch aus der sie umgebenden Luft werden die Schadstoffe ungefiltert aufgenommen.

Die Auswirkungen der Luftschadstoffe auf die Flechten waren vor allem in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts gravierend. Die hohen Belastungen der Luft, insbesondere durch Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>), führten in den Städten zu Zuständen, welche besonders baumbewohnenden Arten ein Überleben verunmöglichten. Die grossen Ballungszentren verkamen so zu wahren Flechtenwüsten, während nur in siedlungsfernen, kaum belasteten Gebieten das empfindliche Symbiosegleichgewicht zwischen Pilz und Alge keinen Schaden nahm. Durch die drastische Abnahme der SO<sub>2</sub>-Belastung hat sich die Situation inzwischen wesentlich verbessert. Trotzdem sind diverse Arten, aufgrund ihrer hohen Empfindlichkeit, aus dem Schweizer Mittelland weitgehend verschwunden. Eine Wiedereinwanderung aus benachbarten Regionen, wo sie an günstigen Standorten überdauern konnten, dürfte nur sehr langsam und nicht für alle verloren gegangenen Flechtenarten möglich sein. Hinzu kommt, dass Flechten heutzutage an der vielerorts herrschenden Überdüngung (Eutrophierung) leiden. Viele, von Natur aus auf nährstoffarme, saure Substrate angewiesene Arten, ertragen das Überangebot an Stickstoff nicht gut. Vor allem in Gegenden mit intensiver Landwirtschaft werden diese Flechten von wenigen, stickstofftoleranten Arten verdrängt.



Interessant ist das Verhalten einiger Flechten bei einem in der Gesteinsunterlage vorhandenen Überangebot von Schwermetallen. An eisenreiches Gestein angepasste Krustenflechten sind in der Lage, das durch die Verwitterung freigesetzte Eisen ohne Schaden in ihrem Körper anzuhäufen. Diese Krustenflechten fallen durch ihre intensiv rostroten Lager auf. Auch Kupfer kann von verschiedenen Krustenflechten in relativ grossen Mengen angereichert werden. Sie sind meist türkisfarben.



Die rostfarbene *Acarospora sinopica* auf eisenhaltigem Gestein



Die türkisfarbene *Lecanora polytropa* unter einem kupfernen Blitzableiter

### Zuverlässige Bioindikatoren

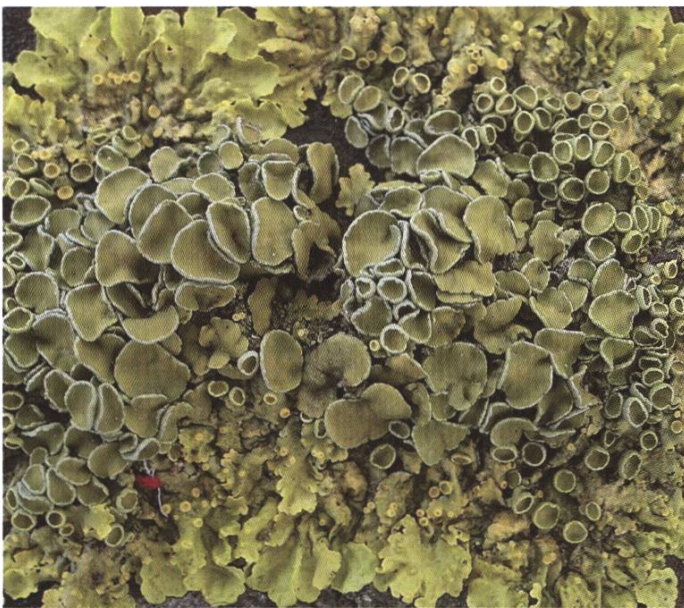
Ihre Empfindlichkeit gegenüber Luftschadstoffen macht die Flechten zu wertvollen Bioindikatoren. Auch ihre Fähigkeit, Schwermetalle anzureichern, lässt sich nutzen. So kann das Ausmass der Blei-, Cadmium- und Zinkbelastung, welche durch den Strassenverkehr bedingt ist, anhand der Schadstoffmenge in Flechten ermittelt werden. Häufiger werden baumbewohnende Flechten für die Beurteilung der Gesamtluftbelastung genutzt. Dazu werden die Zusammensetzung der Arten und deren Deckung am Stamm analysiert. Standardisierte Verfahren erlauben dabei auch Aussagen bezüglich des Einflusses von eutrophierenden, stickstoffhaltigen Verbindungen. In der Schweiz wird der Index der Luftgüte in verschiedenen Kantonen schon seit mehreren Jahrzehnten regelmässig ermittelt. Die Bioindikation mit Flechten stellt ein kostengünstiges Instrument für die Beurteilung und Empfehlung von Luftreinhaltemassnahmen dar.

## 4.4 Vermehrung

### Pilz sucht Alge ...

Wissenschaftlich gesehen sind Flechten hoch spezialisierte, sogenannte **lichenisierte Pilze**. Die Pilzpartner verschiedener Flechten repräsentieren stets unterschiedliche Pilzarten. Die Algen hingegen können in verschiedenen Flechten identisch sein. Sie gehören mehrheitlich den **Grünalgen**, weniger häufig den **Blualgen** (Cyanobakterien) an. Die systematische Einteilung der Flechten erfolgt anhand des Pilzpartners und auch der wissenschaftliche, lateinische Name richtet sich nach dem Pilz. Dies beruht darauf, dass nur der Pilzpartner befähigt ist, sich geschlechtlich fortzupflanzen. Die Algen vermehren sich im Flechtenkörper einfach durch Zellteilung. Der Flechtenpilz hingegen, in der Regel ein **Schlauchpilz** (Ascomycet), ganz selten ein **Ständerpilz** (Basidiomycet), kann Fruchtkörper bilden. Vielfach gleichen diese jenen der frei lebenden Verwandten.

Bei den Fruchtkörpern werden **Apothecien** und **Perithechien** unterschieden. Erstere stellen den hauptsächlichen Fruchtkörper-Typ dar. Bei ihnen liegt das Gewebe mit den **Schläuchen** (Asci) und den darin eingeschlossenen **Sporen** scheibenförmig offen. Die Scheibe wird entweder von einem mehr oder weniger hohen Lagerrand oder einem scheibenfarbenen Eigenrand umgeben. Die Apothecien besitzen nicht selten eine schüsselförmige Form, können aber auch abgeflacht bis fast kugelig erscheinen. Der Umriss ist nicht immer rund, er kann auch eckig, langgezogen oder verästelt sein.

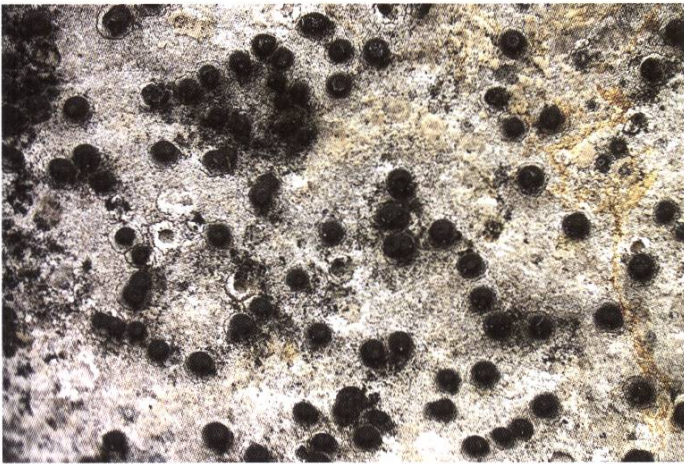


Die Blatflechte *Xanthoria parietina* mit Apothecien



Die Krustenflechte *Lecanora chlorotera* mit Apothecien

Im Gegensatz zu den Apothecien ist die Schicht mit den Schläuchen und Sporen bei den kugeligen bis birnenförmigen Perithechien von einem Gehäuse umschlossen, wobei die Sporen durch eine kleine oberflächliche Öffnung (Ostiolum) freigesetzt werden. Während die Perithechien oft vom Flechtenlager umgeben und nur anhand der punktförmigen Mündung erkennbar sind, sitzen die Apothecien dem Flechtenkörper mehrheitlich gut sichtbar auf. Am deutlichsten heben sich die kugeligen bis kelch- und glockenförmigen Fruchtkörper der Stecknadelflechten mit ihren langen Stielen vom Lager ab.

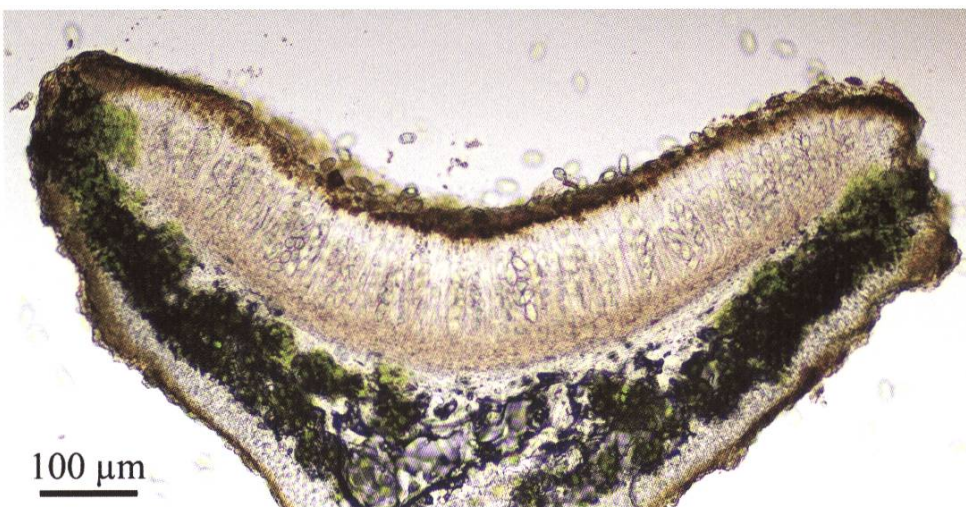


Aufsitzende, um 0.5 mm breite Perithechien von *Thelidium papulare*

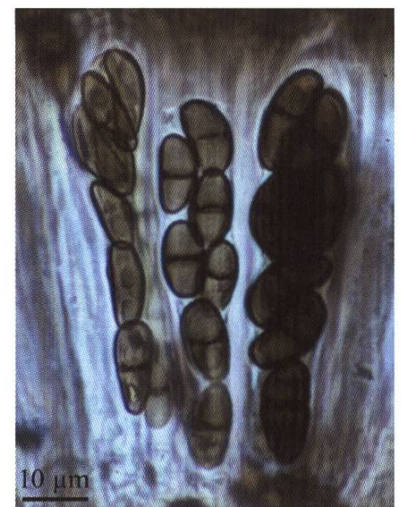


Durch die punktförmige Öffnung der Perithechien treten die Sporen aus.

Die inneren und äusseren Merkmale der Fruchtkörper sind für die Bestimmung der Flechten von zentraler Bedeutung, insbesondere die Anzahl der Sporen je Schlauch (Ascus), deren Farbe und Zellenzahl sowie die Gestalt der Schläuche selbst.



Der Schnitt durch ein Apothecium von *Xanthoria parietina* zeigt die farblose Schicht mit den Schläuchen und den teils freigesetzten, einzelligen Sporen.



Schläuche mit gefärbten, zweizelligen Sporen von *Buellia punctata*

Speziell an der sexuellen Vermehrung der Flechten ist der Umstand, dass die sich in den Fruchtkörpern entwickelnden Pilzsporen nach ihrer Freisetzung auf die entsprechenden Algen treffen müssen, die ihrerseits jedoch auch ohne den Pilzpartner lebensfähig sind. Nur dann ist ein erfolgreiches Auskeimen und damit die Entstehung eines neuen Flechtenlagers möglich.

### ... oder umgarnt sie schon frühzeitig

Doch es geht auch anders. Viele Flechtenarten besitzen Strukturen, welche sie auch oder nur zur vegetativen, also ungeschlechtlichen Vermehrung befähigen. «Nur» deshalb, weil damit auch der Verlust an genetischen Variationsmöglichkeiten einhergeht, da die Verbreitungseinheiten mit der «Mutterflechte» genetisch identisch sind.

Bei den **Soredien** handelt es sich um feinste, rindenlose, körnige Einheiten, bei denen wenige Algenzellen von Pilzhyphen umschlossen werden. Sie werden in oberflächlichen Organen, den Soralen gebildet. Je nach Form und Lage werden Punkt-, Fleck-, Lippen-, Borten- oder auch Kopf- und Manschettensorale unterschieden.

Die gröberen **Isidien** sind berindet, entstehen auf der Lageroberfläche und sind knopfartig, kugelig, oft stiftförmig bis korallenartig verzweigt. Sowohl bei Soredien als auch Isidien werden durch Abbrechen vom «Mutterlager» Algen- und Pilzpartner effizient gemeinsam verbreitet. Die Chance der Neubildung eines Flechtenlagers an einem neuen Standort wird damit deutlich erhöht. Seltener kann die ungeschlechtliche Vermehrung auch durch kleinste Flechtenbruchstücke erfolgen.

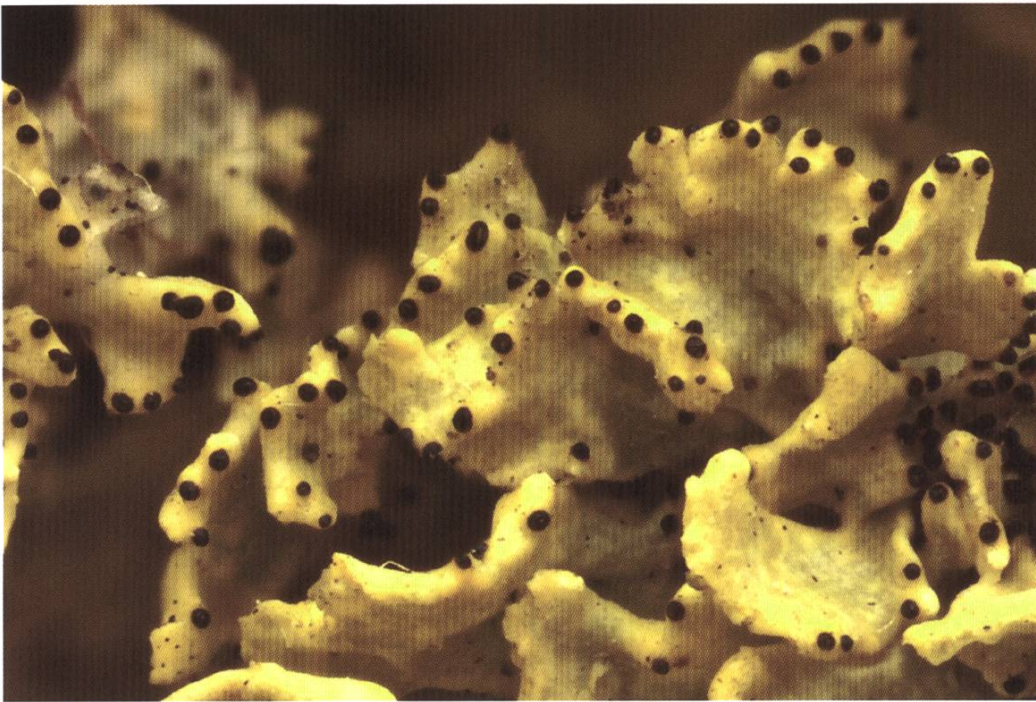


Strichförmige Sorale von *Parmelia sulcata*



Isidien von *Parmelina pastillifera*

Der Pilz kann sich auch ohne Algen vegetativ fortpflanzen. Dazu produziert er in warzigen, kugeligen, seltener aufsitzenden oder gestielten Pyknidien massenweise Pyknosporen. Es ist davon auszugehen, dass diese als Spermastien auch der geschlechtlichen Vermehrung dienen können.



Schwarze Pyknidien von *Vulpicida tubulosus*



Helle Pyknidien mit austretender Masse von Pyknosporen bei *Lecanactis abietina* (mit grau-gelblich bereiften Apothecien)

## 4.5 Bizarre Strukturen

Den Flechten mit ihren vielgestaltigen Wuchsformen verleihen neben den Organen zur geschlechtlichen und ungeschlechtlichen Vermehrung auch verschiedene andere typische Lagerstrukturen ein charakteristisches Aussehen. Deren Präsenz oder Abwesenheit, respektive ihr Aussehen, spielt neben den Merkmalen der Fortpflanzungsorgane eine wichtige Rolle bei der Flechtenbestimmung.

Bei Krustenflechten ist häufig ein deutlich anders gestaltetes, oft schwarzes **Vorlager** ausgebildet. Es handelt sich um reines Pilzgewebe, das meist dem Hauptlager radiär sich ausbreitend «das Terrain vorbereitet».

Als **Rhizinen** werden die feinen Haftorgane bezeichnet, mit welchen sich primär Blattflechten auf ihrem Substrat verankern. Sie ähneln kleinen Wurzeln, entziehen dem Substrat jedoch keine Substanzen.



*Lecidea fuscoatra* mit dunklem Vorlager

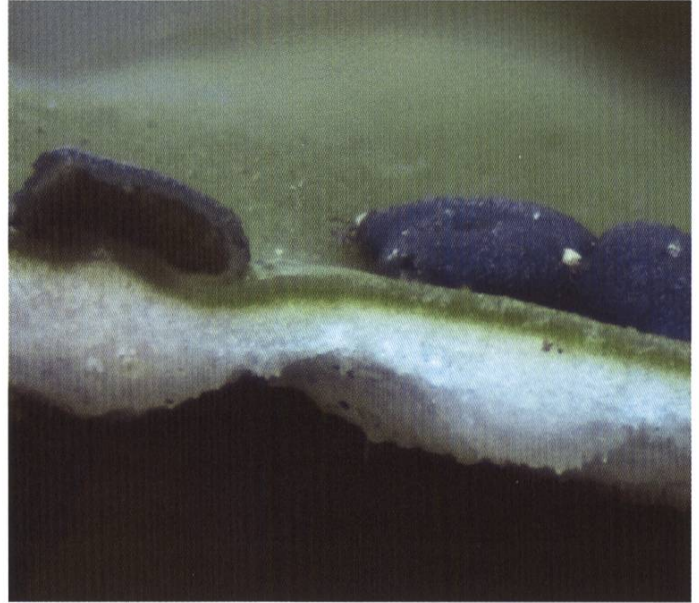


Kurze, bis 3 mm lange Rhizinen von *Peltigera collina*

Einige in kargen Lebensräumen vorkommende Grünalgen-Flechten bilden zur Stickstoffgewinnung **Cephalodien**, in denen Cyanobakterien als weitere Symbiosepartner leben. Im Gegensatz zu den Grünalgen sind sie fähig, Stickstoff aus der Luft zu fixieren. Cephalodien zeichnen sich oberflächlich meist deutlich ab, sei es als dunklere Flecken auf grünem Lager oder als knäuelartige Auswüchse. Sie können aber auch im Inneren des Lagers liegen und sind dann äusserlich nur wenig erkennbar.



Die um 1 mm grossen Cephalodien zeichnen sich bei *Peltigera leucophlebia* als schwarze Flecken ab.

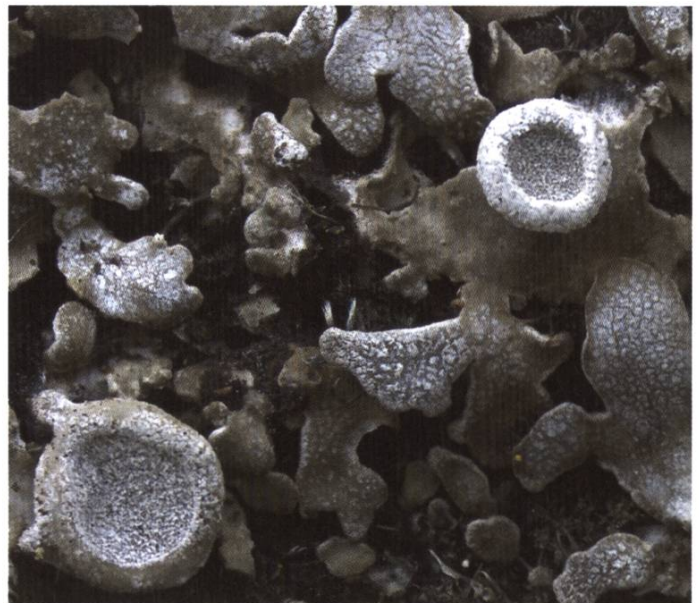


Der Querschnitt zeigt die dunklen Cyanobakterien mit hellerer Ummantelung.

**Cilien** zieren wimpernartig etliche, insbesondere blattförmige Flechten. Glashärchen treten relativ selten auf der Oberfläche von Flechten auf. Häufig ist hingegen ein als **Reif** bezeichneter Belag, der einzelnen Stellen oder ganzen Fruchtkörpern und Lagern ein mehlig bestäubtes Aussehen verleiht. Es handelt sich meist um Calciumoxalat, welches auf der Lageroberfläche deponiert wird und besonders bei Flechten auffällig sein kann, die auf karbonathaltigem Gestein wachsen. Auf der Flechtenunterseite ist bei einigen Arten ein haarig-filziges **Tomentum** ausgebildet.



Robuste Cilien von *Anaptychia ciliaris*



Bereifte Apothecien und Lappen von *Physconia distorta*

Bei den selten auf der Unterseite von Blattflechten auftretenden **Cyphellen** handelt es sich um Atmungsorgane. Die kraterförmigen Strukturen bieten der Luft einen freien Zugang zum Markgewebe, wo der Gasaustausch stattfindet. Dieselbe Funktion besitzen die häufiger vorkommenden oberflächlichen **Pseudocyphellen**. Es handelt sich um feine Aufbrüche in der Oberrinde von diversen Flechtenarten, welche punkt- bis strichförmig ausgebildet sein können.



Kraterförmige Cyphellen im Tomentum von *Sticta sylvatica*



Strichförmige Pseudocyphellen von *Parmelia saxatilis*



## 4.6 Einzigartige Inhaltsstoffe

### Vielseitiger Nutzen

Eine weitere Eigenheit von Flechten sind die zahlreichen Inhaltsstoffe, welche nur in der Symbiose von Pilz und Alge entstehen. Bei den über 600 bekannten **Flechtenstoffen** handelt es sich um sekundäre Stoffwechselprodukte. Diese werden den Pilzhyphen entweder in der äusseren Rinde oder im Mark aufgelagert. Sie erfüllen die verschiedensten Funktionen. Stoffe, die ultraviolette Strahlen reflektieren können, dienen als UV-Schutz. Sie bewahren insbesondere die Algen vor der schädlichen Einwirkung der UV-Strahlen. Wasserabweisende Fettsäuren schützen die Flechten vor übermässiger Durchnässung. Einige Flechtenstoffe, wie die Usninsäure der gelblich-grünen Bartflechten der Gattung *Usnea*, wirken antibiotisch. Sie finden ihre Anwendung auch in verschiedenen Präparaten der Humanmedizin und in der Volksmedizin zudem bei der Behandlung von Haustieren. Heute stellen Flechten in der medizinischen Forschung wertvolle Hoffnungsträger dar, etwa in der Krebsbehandlung.

Verschiedene Substanzen schützen die Flechten davor, von ihren natürlichen Feinden, zahlreichen Kleintieren, gefressen zu werden. Für den Menschen sind nur die wenigsten Flechten und deren Stoffe giftig. Dazu zählt die durch die Vulpinsäure intensiv gelb gefärbte Wolfsflechte (*Letharia vulpina*). Sie wurde früher in Fleischködern zur Vergiftung von Wölfen eingesetzt.

### Flechtenfarben

Neben zahlreichen farblich kaum prägenden Flechtenstoffen gibt es auch solche, die den Symbioseorganismen eine auffällige Farbe verleihen. Oft sind diese intensiv gelb, sei es leuchtend-, grünlich- oder dottergelb. Die Landkartenflechte (*Rhizocarpon geographicum*) hat ihre Farbe von der in der oberen Rinde eingelagerten Rhizocarpsäure. Die Anthrachinone färben Flechten neben gelb auch orange bis rot. Häufig ist aber auch der Algenpartner für die Flechtenfarbe hauptverantwortlich. Grünalgen enthaltende Flechten sind mehr oder weniger grün, speziell in feuchtem Zustand. Graubraun bis schwarz erscheinen Arten mit Cyanobakterien.

Die Flechtenstoffe färben nicht nur den Organismus. Bereits 1500 vor Christus dienten sie den Phöniziern zur Herstellung von purpurfarbenem Orseille, mit dem sie prunkvolle Gewänder einfärbten. Der Farbstoff wurde aus strauchförmigen *Rocella*-Arten gewonnen, die hauptsächlich an Felsen der Mittelmeer- und der Atlantikküste wachsen. Seit dem 14. Jahrhundert nach Christus fanden immer mehr Flechtenarten Verwendung bei der Textilfärbung. Bis ins 19. Jahrhundert erlebten die Flechten auch in

Mitteleuropa, England und Skandinavien als Farbstofflieferanten wahre Blütezeiten. Die Farbpalette war vielfältig und besonders reich an warmen Gelb- und Brauntönen. Auch Lackmus, in der Chemie seit Jahrhunderten zum Nachweis von Säuren und Basen verwendet, basiert auf Flechtenstoffen.

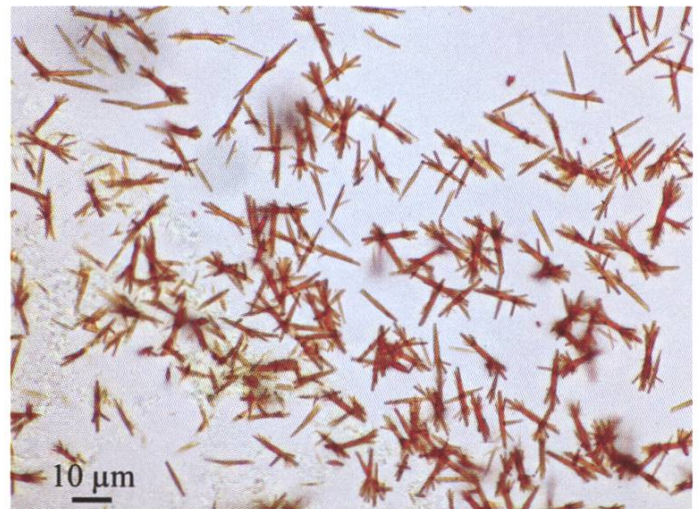
Während bei Farbstoffen die kommerzielle Nutzung immer bedeutungsloser wurde, besteht bei der Produktion von Duftstoffen für die Parfümindustrie nach wie vor eine grosse Nachfrage an Flechten. Verwendet werden hauptsächlich die Strauchflechten *Evernia prunastri* («Mousse de chêne» – Eichenmoos, Pflaumenflechte) und *Pseudevernia furfuracea* («Mousse des arbres» – Baummoos, Geweihflechte), die verschiedenen Produkten eine erdig-moosige Duftnote unterlegen.

### Wichtige Bestimmungshilfe

Flechtenstoffe spielen bei der Bestimmung der Gattungen und Arten eine wichtige Rolle, insbesondere wenn Merkmale der geschlechtlichen Vermehrung fehlen. Anhand der Präsenz oder Absenz von Stoffen können ähnliche Arten oft eindeutig unterschieden werden. Eine simple Methode zum Nachweis von spezifischen Stoffen benutzt verschiedene Reagenzien, die einen Farbumschlag am Flechtenkörper bewirken. Am gebräuchlichsten sind Kaliumhydroxid (K) und Calciumhypochlorit (C), die in Abhängigkeit des Stoffes in der Regel für einen gelben bis tiefroten Farbumschlag sorgen.



Die K-Reaktion ergibt bei *Phlyctis argena* eine rote Färbung, wofür die Norstictinsäure verantwortlich ist.



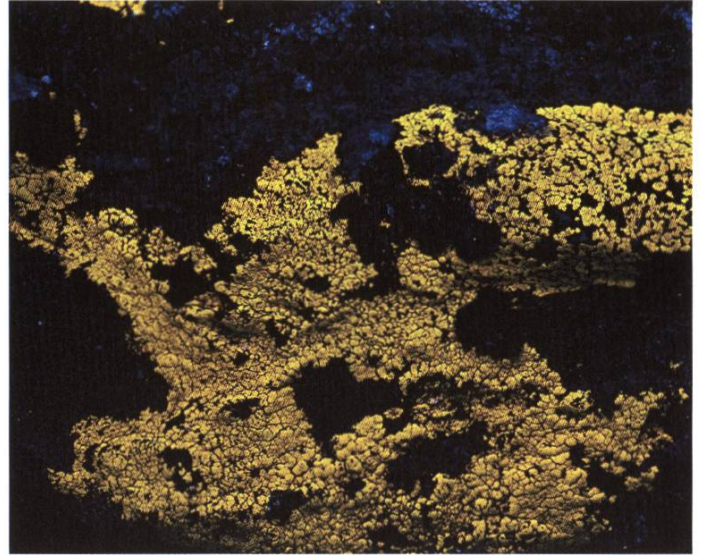
Bei der Reaktion kristallisiert die Norstictinsäure in mikroskopisch feinen Nadeln aus.

Differenzierter, aber auch aufwändiger können sämtliche Flechtenstoffe mithilfe der Dünnschichtchromatographie ermittelt werden. Mit der noch komplexeren Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie kann zusätzlich die Quantität der einzelnen

Stoffe bestimmt werden. Auch langwelliges ultraviolettes Licht (365 nm) wird für den Nachweis von spezifischen Stoffen benutzt. Diese erscheinen im Tageslicht meist unspektakulär, unter der UV-Lampe jedoch umso imposanter bläulich-weiss bis leuchtend orangerot.



Die gelbliche Rhizocarpsäure lässt die Landkartenflechte auch unter der UV-Lampe leuchtend erscheinen.



Die übrigen Flechten sind nicht mehr zu erkennen.

### Karge Nahrung

Für bestimmte Wildtiere sind Flechten im Winter eine willkommene Nahrungsquelle. Rentiere ernähren sich in den vegetationsarmen Wintermonaten sogar fast ausschliesslich von den im hohen Norden ausgiebig wachsenden Rentierflechten. Dies wurde zahllosen Tieren nach der Reaktorkatastrophe von Tschernobyl 1986 zum Verhängnis. Die Flechtenlager hatten eine derart grosse Menge des radioaktiven Cäsium-Niederschlags aufgenommen, dass das Fleisch der Tiere, die sich davon ernährten, über Jahre hinaus ungeniessbar war und viele Herden notgeschlachtet werden mussten.

Rentiere können die Flechten mithilfe des Enzyms Lichenase verwerten. Für uns Menschen sind sie jedoch von geringem Nährwert. Als Nahrung werden sie primär in Notlagen verwendet, so auch das Isländisch Moos (*Cetraria islandica*), das getrocknet und gemahlen als Mehlersatz genutzt werden kann. In Japan hingegen wurde früher und wird vereinzelt heute noch die an steilen Felsen wachsende Nabelflechte *Umbilicaria esculenta* zu besonderen Anlässen als Iwatake (Felsenpilz) genossen. Die Mannaflechte (*Sphaerothallia esculenta*) schliesslich wird als Himmelsbrot oder Manna interpretiert, welches, wie im Alten Testament beschrieben, den Israeliten in der Wüste als Nahrung zugefallen ist.

## 4.7 Gefährdung

### Von allen Seiten bedroht

Flechten gehören zu den am stärksten bedrohten Organismen. Aufgrund ihrer Empfindlichkeit gegenüber schädlichen Umwelteinflüssen und ihrem langsamen Wachstum sind die Bedrohungen mannigfaltig. Insbesondere die Luftverschmutzung sowie die massive Intensivierung in der Land- und Forstwirtschaft haben bei zahlreichen Arten zu einer drastischen Verkleinerung oder gar zum Verschwinden der Populationen geführt. Das Schweizer Mittelland mit seinen Ballungszentren ist davon besonders stark betroffen. Sind einzelne Flechtenarten einmal aus einem Gebiet verschwunden, dauert es aufgrund der speziellen Lebensweise besonders lang, bis sie allenfalls wieder Fuss gefasst, geschweige denn überlebensfähige Populationen gebildet haben.

Fast die Hälfte der baumbewohnenden Flechten und ein Viertel der bodenbewohnenden Arten stehen aktuell auf der **Roten Liste** der Schweiz. Verschiedene Flechten sind durch das **Natur- und Heimatschutzgesetz** national geschützt.

### Massnahmen, um die Artenvielfalt zu erhalten

Im Gegensatz zu Wildtieren oder Pflanzen ist eine gezielte Wiederansiedlung bei Flechten kaum möglich. Das Symbiosegleichgewicht zwischen Pilz und Alge ist zu empfindlich und verlangt jeweils sehr genau definierte ökologische Bedingungen. Für den Erhalt der Flechtenvielfalt gilt es deshalb in erster Linie, die noch vorhandenen Populationen durch geeignete Massnahmen zu erhalten und deren Ausbreitung zu fördern. Die Landwirtschaft kann mit der Einschränkung der flächendeckenden Stickstoffeinträge, aber auch mit dem Erhalt von vielfältigen Strukturen, etwa in Form von frei stehenden Feldbäumen, Magerwiesen oder Trockensteinmauern wertvolle Dienste leisten. Nachhaltig bewirtschafteter, naturnaher Dauerwald garantiert mit der ökologischen Kontinuität vielen baumbewohnenden Flechten einen Fortbestand. Auch die Denkmalpflege kann mit dem gezielten Erhalt des vielfältigen Flechtenbewuchses auf alten Bauten einen wesentlichen Beitrag leisten. An von Menschen geprägten Standorten können durch Mässigung des Sauberkeitswahns und dem Belassen von abwechslungsreichen Strukturen für zahlreiche Flechten geeignete Unterlagen erhalten bleiben.

## Quellen

- Nash III, T. H. (ed.) 2008: Lichen Biology. Second Edition. Cambridge: University Press.
- Purvis, O. W. 2000: Lichens. Washington D.C. & London: Smithsonian Institution & Natural History Museum.
- Scheidegger, C., Clerc, P., Dietrich, M., Frei, M., Groner, U., Keller, C., Roth, I., Stofer, S., Vust, M. 2002: Rote Liste der gefährdeten Arten der Schweiz: Baum- und erdbewohnende Flechten. Hrsg. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL, Bern, und Eidgenössische Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf, und Conservatoire et Jardin botaniques de la Ville de Genève CJGB. BUWAL-Reihe Vollzug Umwelt.
- Schöller, H. (Hrsg.) 1997: Flechten. Kleine Senckenberg-Reihe 27.
- Wirth, V., Hauck, M. & Schultz, M. 2013: Die Flechten Deutschlands. Stuttgart: Ulmer.
- Wirth, V. & Kirschbaum, U. 2014: Flechten einfach bestimmen. Ein zuverlässiger Führer zu den häufigsten Arten Mitteleuropas. Wiebelsheim: Quelle & Meyer.