

Zeitschrift: Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Bern
Herausgeber: Naturforschende Gesellschaft in Bern
Band: 81 (2024)

Artikel: Flechtengemeinschaften im Wandel der Zeit
Autor: Hirschheydt, Gesa von
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1062020>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 16.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Flechtengemeinschaften im Wandel der Zeit

Autorin

**Gesa von
Hirschheydt**

An der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) findet dieses Jahr die Einschätzung der Flechten in Gefährdungsstufen der nationalen Roten Liste statt (<https://www.wsl.ch/de/projekte/rote-liste-der-baum-und-erdbewohnenden-flechten/>). Im Rahmen dieses Projekts habe ich im Oktober 2023 meine Doktorarbeit an der Universität Bern abgeschlossen (VON HIRSCHHEYDT 2023). Einige Teile meiner Arbeit fasse ich in diesem Artikel zusammen.

Einleitung

Was sind Flechten?

W Flechten sind symbiontische Lebewesen. Das heisst, sie bestehen immer aus mindestens zwei Organismen, nämlich einem Pilz (meist ein Schlauchpilz, seltener ein Ständerpilz), dem sogenannten Mycobionten, und Grünalgen oder Cyanobakterien, den sogenannten Photobionten (SCHEIDEGGER ET AL. 2023). Der Pilz ist für die Struktur des Lagers (Flechtenkörpers) verantwortlich und schützt die Photobionten vor Frass und starker UV-Strahlung. Im Gegenzug produzieren die Photobionten mithilfe ihrer Photosynthese Zucker und ermöglichen dadurch den Stoffwechsel und das Wachstum der Flechte. Ein Organismus wird erst dann Flechte genannt, wenn durch gemeinsames Wachstum von Myco- und Photobionten das für die Flechtenart typische Aussehen entstanden ist (Abb. 1).

Flechten in der Schweiz

In der Schweiz sind bisher rund 2000 verschiedene Flechtenarten bekannt (BAFU 2019). Dank laufender Forschung kommen aber jährlich eine Handvoll neuer Arten hinzu, die neu entdeckt oder beschrieben wur-

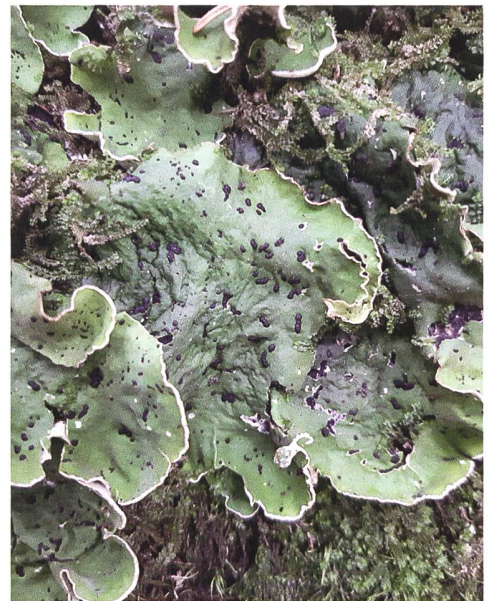


Abb. 1: Die erdbewohnende Apfelflechte *Peltigera leucophlebia* ist ein komplexer Mikrokosmos. Wie bei den meisten anderen Flechten besteht das Lager hauptsächlich aus Pilz und Grünalgen, aber auf ihrer Oberfläche befinden sich zusätzlich Kolonien von Cyanobakterien in schwärzlichen Häuflein. Diese versorgen die Flechte mit Stickstoff aus der Luft, was es ihr ermöglicht, an nährstoffarmen Standorten zu überleben.

Foto: Gesa von Hirschheydt



Abb. 2: Die Safranflechte *Solorina crocea* kommt vor allem oberhalb der Baumgrenze in silikatreichen Senken vor, in denen der Schnee lange liegen bleibt. Mit ihrer leuchtend orangenen Unterseite und den grossen, flachen, rotbraunen Fruchtkörpern ist diese Art unverwechselbar.

Foto: Gesa von Hirschheydt

den. Die häufigsten Substrate sind Gestein (v.a. Felsen und Mauern), Baumrinde, Erde und Totholz. Mit Ausnahme von Gletschern und tiefen Gewässern kommen Flechten in sämtlichen Lebensräumen der Schweiz vor, aber die einzelnen Arten haben sich meist auf einzelne Lebensräume und Substrate spezialisiert. So wächst zum Beispiel die Safranflechte *Solorina crocea* bevorzugt auf dünner Erde in alpinen Schneetälchen (Abb. 2).

Rote Liste der Flechten

Bei der ersten offiziellen Roten Liste der Schweizer Flechten im Jahr 2002 wurde die Aussterbewahrscheinlichkeit von 786 rinden- und erdbewohnenden Flechtenarten eingeschätzt (SCHEIDEGGER & CLERC 2002). Insgesamt wurden 33% der Arten als bedroht und 5% als ausgestorben eingestuft. Nach knapp 20 Jahren hat das Bundesamt für Umwelt (BAFU) 2018 eine Revision dieser Roten Liste in Auftrag gegeben (STOFER ET AL. 2019). Die Feld- und Bestimmungsarbeiten sind grösstenteils abgeschlossen (GABATHULER ET AL. 2022) und die revidierte Rote Liste wird im Laufe der nächsten zwei Jahre publiziert.

Standardisierte Felderhebungen zur Berechnung der Häufigkeiten

Die Einschätzung der aktuellen Verbreitung und Häufigkeit der Arten basiert unter anderem auf Felderhebungen von statistisch repräsentativen Stichprobenflächen. Bei der aktuellen Feldarbeit sind dies 500 runde Flächen (im Folgenden Plots genannt) von 500 m² Fläche (Radius von 12,62 m), die zufällig über die ganze Schweiz verteilt sind, stratifiziert nach biogeografischer Region, Höhenstufe und Bewaldungsgrad (Abb. 3). Auf diesen Plots wurde in intensiver Feldarbeit von 2018 bis 2022 systematisch nach Flechtenarten gesucht und ihre Vorkommen notiert. Aufgrund der Repräsentativität der Stichprobe erlauben die Plotdaten die Einschätzung der Häufigkeiten der Arten in der Schweiz. Ein Vergleich mit den Häufigkeiten der Arten während der Erhebungen der ersten Roten Liste (1995 bis 2000) erlaubt ausserdem die Einschätzung der Populationsveränderungen über die Zeit, ein wichtiges Kriterium bei der Einteilung der Arten in Rote-Liste-Kategorien. Es war das Hauptziel meiner Dissertation, diese Populationsveränderungen zu berechnen, Muster darin zu

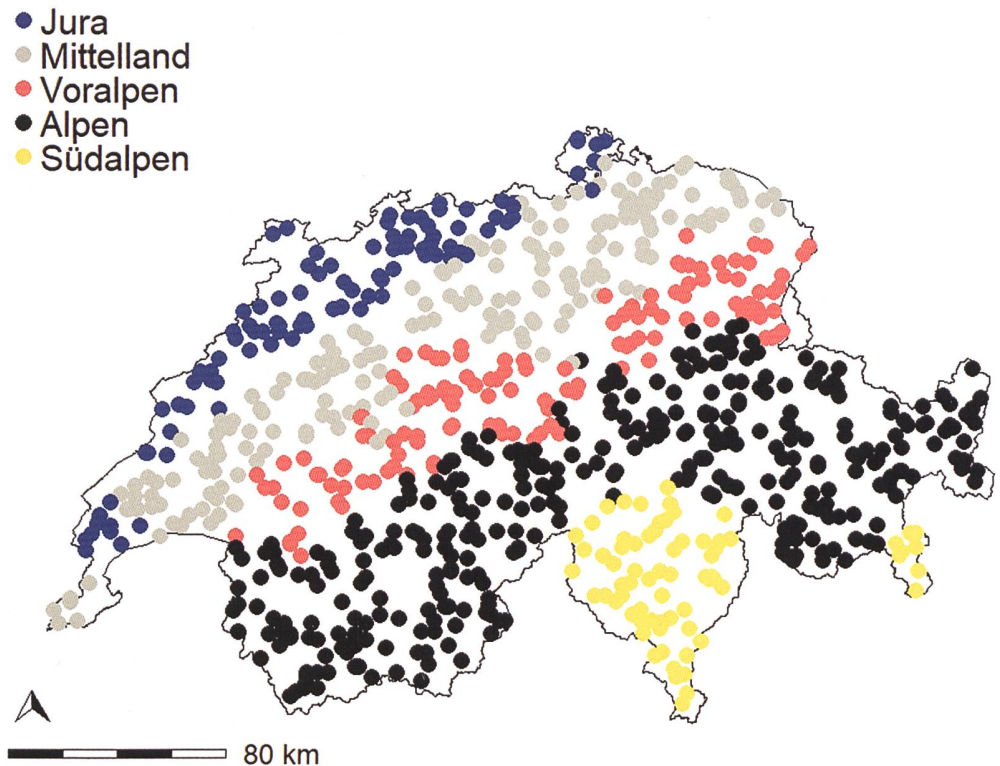


Abb. 3: Karte der Schweiz mit der Verteilung der 500 Plots, die für die Revision der Roten Liste der Flechten erhoben wurden. Um die Lebensräume der Schweiz abzudecken, wurde die Stichprobe unter anderem nach biogeografischer Region stratifiziert. Jeder Plot hat eine kreisrunde Fläche von 500 m².

finden und mögliche Ursachen vorzuschlagen.

Schwierigkeit Entdeckungsfehler

Diese Aufgabe hatte aber eine grosse Schwierigkeit. Die gemessenen Häufigkeiten, bzw. Häufigkeitsveränderungen über die Zeit, sind nämlich nur dann richtig, wenn jedes Vorkommen auf einem Plot auch tatsächlich entdeckt wird. Wiederholungsaufnahmen auf einem Teil der Plots durch eine andere Person haben aber gezeigt, dass bei einem zweiten Besuch noch einige zusätzliche Arten gefunden werden, während andere Arten, die während der ersten Standarderhebung notiert wurden, nicht wieder entdeckt wurden. Da die zwei Erhebungen innerhalb eines Jahres durchgeführt wurden, kann man annehmen, dass dies nicht an einer veränderten Flechtengemeinschaft liegt – denn Flechten wachsen vergleichsweise langsam – sondern an einem Erhe-

bungsfehler. Der bei weitem häufigste Erhebungsfehler ist das Verpassen von Arten. Dieser Fehler geschieht, wenn Arten nicht entdeckt werden, obwohl sie auf einem Plot vorkommen (ALEXANDER ET AL. 1997, LINK & SAUER 1997). Ein zweiter möglicher Erhebungsfehler kann vorkommen, wenn eine Art notiert wird, obwohl sie gar nicht auf dem Plot vorkommt (meist durch Falschbestimmung; ROYLE & LINK 2006, MILLER ET AL. 2011). Aufgrund der langjährigen Erfahrung und der sorgfältigen Arbeitsweise der Bearbeiter:innen ist dieser zweite Erhebungsfehler in unseren Daten vergleichsweise selten. Wenn also das Verpassen der Arten häufig, das falsche Notieren aber äusserst selten ist, dann führt das zu einer systematischen Verzerrung der Häufigkeiten in unseren Daten: Arten wirken seltener als sie sind. Das erschwert die Anwendung der standardisierten Rote-Liste-Kriterien, denn es ist unklar, wie oft die Flechten entdeckt

bzw. verpasst werden. Ausserdem ist es wahrscheinlich, dass einige Arten häufiger verpasst werden als andere, und es ist ebenfalls möglich, dass sich die Fehler über die Zeit verändern. Die Untersuchung dieses Entdeckungsfehlers war ein weiteres grosses Ziel meiner Dissertation. Und da die Berechnung des Fehlers notwendig ist, um die Populationsveränderungen richtig abzuschätzen, lege ich den Fokus in diesem Bericht zunächst auf den Entdeckungsfehler, bzw. die Entdeckungswahrscheinlichkeit, und erst dann auf die Populationsveränderungen.

Entdeckungswahrscheinlichkeit

Für dieses Teilprojekt habe ich ausschliesslich den Datensatz verwendet, der für die erste Rote Liste der rindenbewohnenden Flechten erhoben wurde (SCHEIDEGGER ET AL. 2002). Die Feldarbeiten fanden zwischen den Jahren 1995 und 2000 statt und beinhalteten 826 (inkl. der heutigen 500) Plots. Die Datenerfassung war der heutigen sehr ähnlich.

Entdeckungswahrscheinlichkeit

Entdeckungswahrscheinlichkeit (auf Englisch *detection probability*) ist die Wahrscheinlichkeit, dass eine Art, die im Perimeter des Plots vorkommt, während einer Standarderhebung gefunden, erkannt und notiert wird. Sie wird meist mit p abgekürzt und liegt zwischen 0 und 1, bzw. 0% und 100%. Der Entdeckungsfehler ist ihr Gegenstück, also $1-p$. Ich habe vermutet, dass sich p zwischen den Arten unterscheidet und dass auffällige Arten und leicht bestimmbare Arten im Allgemeinen eine höhere Entdeckungswahrscheinlichkeit haben als unscheinbare oder schwer bestimmbare Arten. Zu letzteren gehören zum Beispiel Flechten, die für die Bestimmung mikroskopische oder gar chemische Merkmale benötigen, was bedeutet, dass ein Stückchen der Flechte gesammelt und im Labor untersucht werden muss. Des Weiteren habe ich Unterschiede zwischen den Beobachter:innen erwartet, denn nicht alle Leute hatten mit allen Arten die gleiche Menge an Erfahrung. Ich habe die Erfahrung jeder Person für jede einzelne Art und

jedes Jahr neu definiert: Wenn die Person die Art in einem früheren Jahr beobachtet hatte, galt sie als «erfahren» mit der Art; wenn sie die Art noch nie zuvor beobachtet hatte, galt sie als «unerfahren» in Bezug auf diese Art.

Statistisches Modell

Zur Berechnung der Entdeckungswahrscheinlichkeit p und ihrer Einflussfaktoren habe ich ein statistisches Modell verwendet, das auf Englisch *occupancy model* genannt wird (MACKENZIE ET AL. 2018). Dieses Modell setzt voraus, dass zumindest ein Teil der Plots mehrfach erhoben wurde (MACKENZIE & ROYLE 2005, VON HIRSCHHEYDT ET AL. 2023a). Wie bereits angedeutet, lagen solche Mehrfacherhebungen vor, und zwar in Form von Doppelerhebungen bei 46 der 826 Plots. Das Modell macht die Annahme, dass eine Art nie fälschlicherweise entdeckt wird. Deswegen «weiss» es, dass eine Art in einem Plot vorkommt, wenn mindestens ein:e Beobachter:in sie entdeckt hat (Tab. 1). Mit Hilfe von Variablen, die die Eignung des Plots als Flechtenlebensraum beschreiben, lässt sich zusätzlich unterscheiden, ob ein Vorkommen dort wahrscheinlich oder eher unwahrscheinlich ist. Die Entdeckungswahrscheinlichkeit wird unter anderem aus dem Verhältnis der unvollständigen (01 und 10) zu den vollständigen (11) Entdeckungsgeschichten abgeleitet (Tabelle 1). Je grösser

Plot	Beobachter:in 1	Beobachter:in 2	Entdeckungsgeschichte	Vorkommen
1	0	1	01	sicher
2	1	0	10	sicher
3	1	1	11	sicher
4	0	0	00	?
5	1	NA	1	sicher
6	0	NA	0	?

Tab. 1: Beispiel der beobachteten Daten einer Art mit 1–2 Erhebungen pro Plot. Die Entdeckungsgeschichte ergibt sich aus den Beobachtungen der verschiedenen Erhebungen. Das verwendete statistische Modell schliesst bei einer Beobachtung (1) auf ein sicheres Vorkommen, erlaubt aber bei keiner Beobachtung (0 oder 00) die Möglichkeit, dass ein Vorkommen übersehen wurde.

dieses Verhältnis und je geeigneter der Lebensraum ist, desto öfter kommt es vor, dass das Modell ein Vorkommen voraussagt, selbst wenn die Art bei den 1–2 Erhebungen gar nicht entdeckt wurde.

Resultate

Die durchschnittliche Entdeckungswahrscheinlichkeit während der Standarderhebungen war 49% (VON HIRSCHHEYDT ET AL. 2024). Die höchste Entdeckungswahrscheinlichkeit lag bei 74% (Wechselhafte Napfflechte *Parmeliopsis ambigua*) und die tiefste bei 25% (Falsche Holunder-Kuchenflechte *Myriolecis persimilis*; Abb. 4). Erstere ist eine hellgelbliche, einige Zentimeter grosse Blattflechte, die bereits von blossen Auge problemlos im Feld zu erkennen ist. Letztere ist eine sehr kleine, unscheinbare Krustenflechte, für deren Artbestimmung mikroskopische Merkmale notwendig sind. Die morphologische Auffälligkeit – abgeleitet aus der Grösse, Dicke und Farbe des Lagers sowie dem Vorkommen von kontrastreichen Strukturen – war signifikant mit der Entdeckungswahrscheinlichkeit verknüpft, ebenso wie die taxonomische Erkennbarkeit der Arten und die Erfahrung des Beobachters

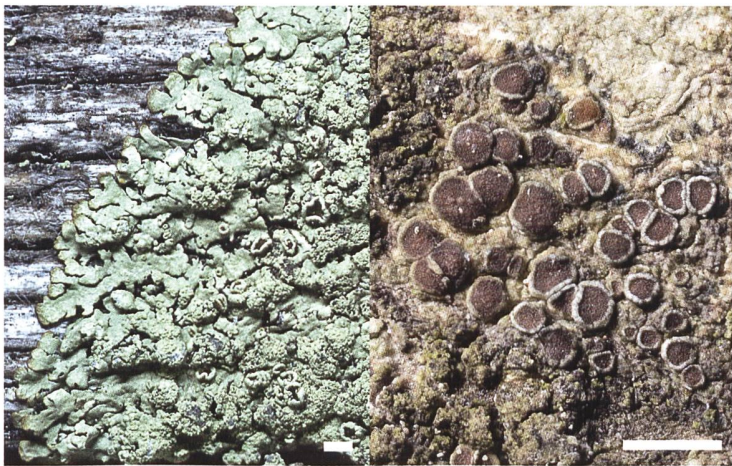


Abb. 4: Die zwei Flechtenarten mit der höchsten bzw. tiefsten Entdeckungswahrscheinlichkeit im Vergleich (der weisse Balken entspricht in beiden 1 mm): Links die Wechselhafte Napfflechte *Parmeliopsis ambigua*, die dank ihrer Grösse und markanten Farbe am zuverlässigsten gefunden wurde. Rechts die Falsche Holunder-Kuchenflechte *Myriolecis persimilis*, die aufgrund ihrer kleinen und unscheinbaren Erscheinung und vieler Verwechslungsarten am häufigsten verpasst wurde. Foto: Ulf Arup

oder der Beobachterin (Abb. 5). Die geschätzte Häufigkeit der Arten lag damit weitaus höher als die beobachtete Häufigkeit. Es ist für die Einschätzung der Arten also relevant, ob Kriterien, wie zum Beispiel die besiedelte Fläche einer Art, nur von den beobachteten oder von den geschätzten Häufigkeiten abgeleitet werden (Tab. 2). Da die geschätzten Häufigkeiten den Entdeckungsfehler berücksichtigen, liegen sie vermutlich näher an der Wahrheit. Wann immer möglich sollten also auch zukünftige Flechtenerhebungen ihre Daten in einer Form erfassen, die es erlaubt, diesen Fehler zu schätzen und zu korrigieren.

Schwellenwert der besiedelten Fläche (Kriterium für die Rote-Liste- Kategorie nach IUCN 2012)	gemäss beobachteter Häufigkeit	gemäss geschätzter Häufigkeit
>2000 km ²	79	131
<2000 km ²	91	115
<500 km ²	203	127

Tab. 2: Die besiedelte Fläche von Arten kann aus der Häufigkeit der Flechten in der repräsentativen Stichprobe berechnet werden. Aufgrund der tiefen Entdeckungswahrscheinlichkeit verschiebt sich aber die Verteilung der Arten in den Kategorien, wenn statt der beobachteten die geschätzte Häufigkeit verwendet wird.

Populationsveränderungen über die letzten 20 Jahre

Ökologische Gilden

Die Veränderung der Populationen basiert auf dem Vergleich der zwei Datensätze der ersten und der zweiten Roten Liste (Erhebungsperioden 1995–2000, resp. 2018–2022). Da der erste Datensatz nur rindenbewohnende Flechten enthält, habe ich mich wiederum auf diese Artengruppe konzentriert. Um systematische Muster in den Veränderungen der Flechtengemeinschaft zu finden, habe ich Arten in ökologische Grup-

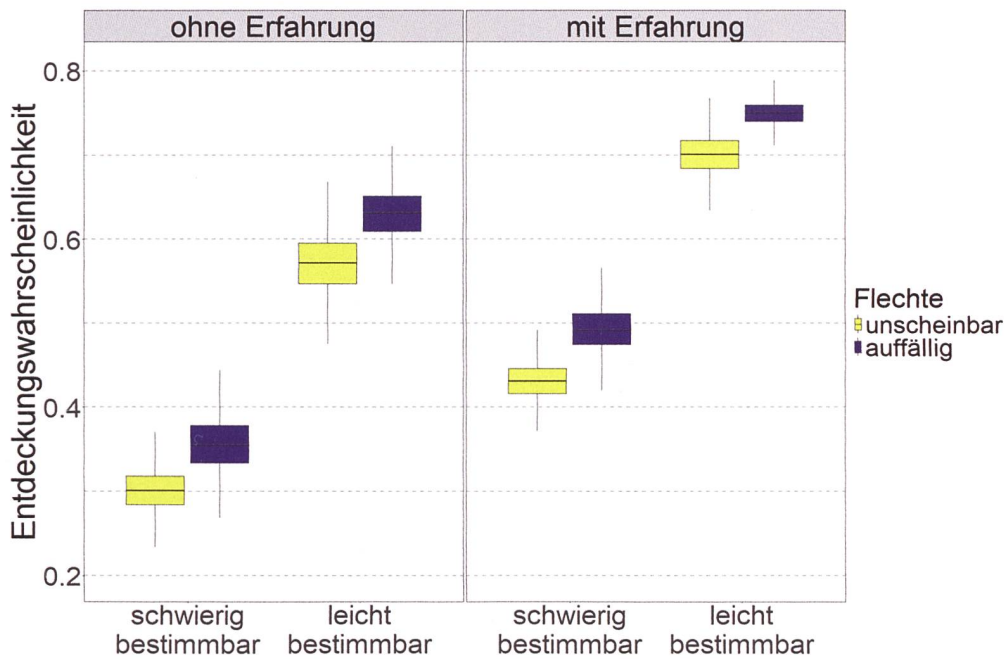


Abb. 5: Die Entdeckungswahrscheinlichkeit von Flechten hing deutlich mit drei Faktoren zusammen: 1) ob der/die Beobachter:in zum Zeitpunkt der Aufnahme bereits Erfahrung mit der Flechte hatte (links: nein, rechts: ja), 2) ob für die Artbestimmung mikroskopische oder chemische Analysen im Labor notwendig sind (schwierig bestimmbar) oder ob die Flechte im Feld erkannt werden kann (leicht bestimmbar), und 3) ob die Flechte optisch unscheinbar ist (gelb) oder auffällig (blau).

pen («Gilden») eingeteilt. Arten innerhalb einer Gilde teilen die Präferenz für spezielle Standorte oder ökologisch-klimatische Voraussetzungen. Drei Gilden beschreiben eine Lebensraumpräferenz (Altbaumarten, Feuchtwaldarten, Arten freistehender Bäume), zwei Gilden eine Spezialisierung aufgrund eines besonderen Photobionten (Cyano-flechten, trentepohlioide Flechten) und zwölf Gilden eine Anpassung an besonders hohe oder besonders tiefe ökologische Indikatorwerte für klimatische, chemische oder Lichtverhältnisse (übernommen von WIRTH 2010; Temperatur, Niederschlag, Kontinentalität, pH, Stickstoff, Lichtverhältnisse).

Datensatz und statistisches Modell

Für die Analyse habe ich wiederum ein Modell verwendet, das für fehlerhafte Entdeckungen korrigiert (*occupancy model*). Das Modell berücksichtigt ausserdem die Reduktion der Stichprobengrösse von 826 auf die heutigen 500 Plots. Eine gildenspezifische Veränderung ergibt sich dann, wenn

der Median der artspezifischen Veränderungen in dieser Gilde mit grosser Wahrscheinlichkeit (z. B. 95%) von null abweicht. Das bedeutet nämlich, dass die Mehrheit der Arten innerhalb dieser Gilde eine Veränderung in die gleiche Richtung erfahren hat.

Resultate

Im Durchschnitt haben mehr Arten abgenommen als zugenommen (VON HIRSCHHEYDT ET AL. 2023b). Systematische Zunahmen – solche mit $\geq 95\%$ Wahrscheinlichkeit – waren in vier Gilden zu verzeichnen, nämlich bei stickstoffliebenden (hoher Stickstoffgehalt), säuremeidenden (hoher pH), trockenheitsliebenden (wenig oder selten Niederschlag) und lichtliebenden (sonnige Lichtverhältnisse) Arten (Abb. 6). Systematische Abnahmen gab es in sechs Gilden, und zwar bei säureliebenden (tiefer pH), stickstoffmeidenden (geringer Stickstoffgehalt), kälteliebenden (tiefe Temperaturen), niederschlagsliebenden (hohe Niederschlagsfrequenz) Arten und bei Altbaum- und Feucht-

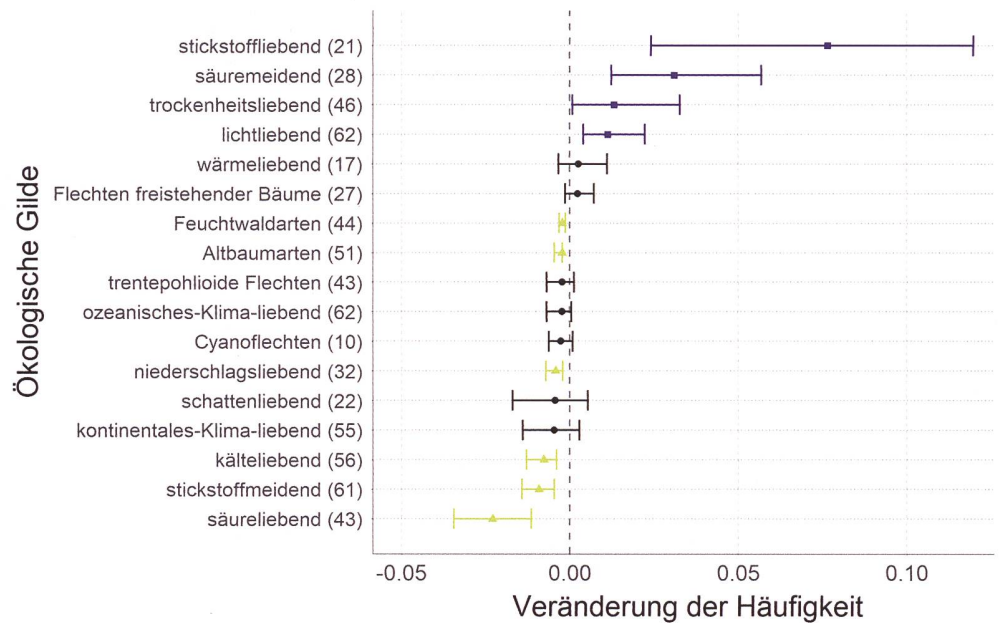


Abb. 6: Veränderungen der Häufigkeit von Flechtengilden über die letzten 20 Jahre. Symbole und horizontale Balken zeigen den Mittelwert und das 95%-Glaubwürdigkeitsintervall der Schätzungen. Gelbe Farbe und dreieckige Symbole weisen auf einen negativen Trend hin, blaue Farbe und quadratische Symbole auf einen positiven Trend. Die Zahl in Klammern beschreibt die Anzahl Arten in der entsprechenden Gilde.

Abb. 7: Viele der zahlreichen Flechtenarten auf diesem städtischen Baum haben von der verbesserten Luftqualität und vom hohen Nährstoffgehalt der letzten Jahrzehnte profitiert. Ihre Populationen haben deutlich zugenommen.
Foto: Yinyin Ma



waldarten. Diese Resultate legen nahe, dass die Veränderungen auf drei Faktoren zurückzuführen sind: den Zustand der Luft-/Umweltverschmutzung, den Klimawandel, und die Lebensraumbewirtschaftung.

Flechten reagieren sehr sensibel auf ihr chemisches Umfeld, sowohl in Bezug auf Säuregrad (pH; HERZIG & URECH 1991) als auch auf Nähr-, insbesondere Stickstoffgehalt (GAIO-OLIVEIRA ET AL. 2005). Während in den 1970er-Jahren die grossen Mengen an Schwefeloxiden aus Industrie und Verkehr zu saurem Regen (und damit immer tieferem pH) geführt haben, hat sich dieser Trend in der Zwischenzeit umgekehrt und der pH ist gestiegen (BAFU 2022). Parallel mit diesem Trend sind säureliebende Arten zurückgegangen und säuremeidende Arten haben zugenommen. Die starke Zunahme von stickstoffliebenden Arten zusammen mit einer Abnahme der stickstoffmeidenden Arten ist ausserdem ein Hinweis, dass die nach wie vor hohen Stickstoffwerte in der Schweiz (RIHM & KÜNZLE 2023) die Flech-



Abb. 8: Die Gebänderte Blasenflechte *Hypogymnia vittata* gehört als Charakterart der kühlen, luftfeuchten Bergwälder zu den Verliererinnen des Klimawandels. Die geringere Anzahl Regentage und die durch höhere Temperaturen verminderte Luftfeuchtigkeit haben vermutlich dazu beigetragen, dass ihre Populationen in den letzten 20 Jahren abgenommen haben.

Foto: Lars Salomon

tenpopulationen nicht verschont haben (Abb. 7). Ähnliche Veränderungen wurden bereits in den Niederlanden beobachtet (VAN HERK 2009). Dieser Trend ist leider nicht nur auf das Mittelland beschränkt, in dem der Grossteil der Stickstoffquellen liegt, sondern ist auch in den höher gelegenen Regionen deutlich.

Die Erwärmung des Klimas erhöht die Durchschnittstemperatur und führt zu weniger Regentagen in der Schweiz (METEOSCHWEIZ 2020). Die Zunahme an trockenheitsliebenden und die Abnahme von kälte- und niederschlagsliebenden Arten sowie Feuchtwaldarten ist höchstwahrscheinlich auf diese klimatischen Veränderungen zurückzuführen (Abb. 8). Diese Studie ist die erste, die eine Populationsveränderung von klimatisch angepassten Flechten über die Zeit messen konnte. Sie wird allerdings nicht die letzte sein, denn diese Veränderungen sind wohl kaum auf die Schweiz beschränkt.

Die Bewirtschaftung des Lebensraums von rindenbewohnenden Flechten in der

Schweiz hat sich im letzten Jahrhundert sehr verändert. Aus dem Nachlass einer alten Forstpraxis, sämtliche Bäume über einem gewissen Alter zu fällen, ist der Anteil an alten Bäumen in den Wäldern nach wie vor gering (BOLLMANN ET AL. 2009, SCHEIDEGGER ET AL. 2010). Auch wenn die heutige Forstwirtschaft bemüht ist, einen grösseren Anteil alter Bäume stehen zu lassen, und deren Anzahl dadurch stetig zunimmt (BRÄNDLI ET AL. 2020), hat diese Praxis noch nicht zu einer Stabilisierung – geschweige denn einer Zunahme – der Altbaumflechtenarten geführt. Das kann entweder daran liegen, dass 1) die Menge alter Bäume nach wie vor nicht hoch genug ist, 2) diese Flechtenarten, die eher einen langsamen Lebenszyklus aufweisen, nicht schnell genug wachsen und die neuen Bäume besiedeln können, oder 3) dass die Populationen dieser Flechtenarten so dezimiert sind, dass eine Besiedlung neuer Bäume gar nicht mehr möglich ist, weil die existierenden Populationen bereits zu klein und zu fragmentiert sind (SILLET ET AL. 2000, WERTH ET AL. 2006). Bei den licht-

liebenden Arten sieht es etwas anders aus. Diese sind grundsätzlich häufiger und haben eher einen schnelleren Lebenszyklus, was sie zu Spezialistinnen der Neubesiedlung macht. Ihre Zunahme mag teilweise an der aktiven Förderung von lichten Wäldern für die Stärkung der Biodiversität liegen (IMESCH ET AL. 2015), aber möglicherweise auch an einer Korrelation zwischen einer Präferenz für Licht und einer für hohen Stickstoffgehalt. Beide Faktoren wirken vor allem im Offenland, wo diese Arten stark zugenommen haben.

Ausblick

Die Resultate dieser Studien haben gezeigt, dass Flechten schwieriger zu erfassen sind als bisher vermutet. Das Wissen um die Sichtbarkeit und Erkennbarkeit einer Art ist hilfreich, um die Anzahl übersehener Vorkommen zu errahnen, aber eine explizite Schätzung ist nur möglich, wenn wiederholte Ploterhebungen durchgeführt werden. Zukünftige Flechteninventare sollten daher den Aufwand nicht scheuen, Zeit in diese Art der Feldaufnahmen zu investieren.

Die Schweiz und die Niederlande sind bisher die einzigen Länder, die Veränderungen der Flechtenpopulationen über einen längeren Zeitraum beobachtet und geschätzt haben, mit ähnlichen Resultaten. Stickstoffwerte sind aber europaweit extrem hoch und der Klimawandel agiert sogar global. Die Forschungen der nächsten paar Jahre werden zeigen, wie repräsentativ die Veränderungen in der Schweiz den grossräumigen Veränderungen entsprechen.

Dank

Ich danke Christoph Scheidegger und Stefan Ekman für die Betreuung dieser Doktorarbeit und Marc Kéry, Silvia Stofer, Michael Dietrich, Markus Gabathuler, Christine Keller, Mathias Vust und Martin Westberg für die gute Zusammenarbeit.

Literatur

- ALEXANDER, H.M., SLADE, N.A. & KETTLE, W.D. 1997. Application of mark-recapture models to estimation of the population size of plants. *Ecology*, 78, 1230–1237, 10.1890/0012-9658(1997)078[1230:AOMRMT]2.0.CO;2.
- BAFU. 2022. Gesamtemissionen von Luftschadstoffen in der Schweiz. Available at: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/thema-luft/luft--fachinformationen/luftschadstoffquellen/gesamtemissionen-von-luftschadstoffen-in-der-schweiz.html> [Accessed July 2, 2023].
- BAFU. 2019. Liste der National Prioritären Arten und Lebensräume. In der Schweiz zu fördernde prioritäre Arten und Lebensräume. Bern, Switzerland: Bundesamt für Umwelt. Available at: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/biodiversitaet/publikationen-studien/publikationen/liste-national-prioritaeren-arten.html>.
- BOLLMANN, K., BERGAMINI, A., SENN-IRLET, B., NOBIS, M., DUELLI, P. & SCHEIDEGGER, C. 2009. Concepts, instruments and challenges for the conservation of biodiversity in the forest. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 160, 53–67, 10.3188/szf.2009.0053.
- BRÄNDLI, U.-B., AEBEGG, M. & ALLGAIER LEUCH, B. 2020. Schweizerisches Landesforstinventar: Ergebnisse der vierten Erhebung 2009–2017. Birmensdorf, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft. Bern, Bundesamt für Umwelt. 341 pp. Available at: https://www.lfi.ch/publikationen/publ/ergebnisberichte/LFI4_Ergebnisbericht.pdf.
- GABATHULER, M., DIETRICH, M., GRAF, N., VON HIRSCHHEYDT, G., KELLER, C., VUST, M., SCHEIDEGGER, C. & STOFER, S. 2022. Die Revision der Roten Liste der Flechten auf Kurs. *Meylania*, 69, 40–45.
- GAIO-OLIVEIRA, G., DAHLMAN, L., PALMQVIST, K., MARTINS-LOUÇÃO, M.A. & MÁGUAS, C. 2005. Nitrogen uptake in relation to excess supply and its effects on the lichens *Evernia prunastri* (L.) Ach and *Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr. *Planta*, 220, 794–803, 10.1007/s00425-004-1396-1.
- HERZIG, R. & URECH, M. 1991. Lichens as bioindicators. Integrated biological system for monitoring air pollution in Central Switzerland (Schweizer Mittelland). *Bibliotheca Lichenologica*, 43, 283.

- IMESCH, N., STADLER, B., BOLLIGER, M. & SCHNEIDER, O. 2015. Biodiversität im Wald: Ziele und Massnahmen. Vollzugshilfe zur Erhaltung und Förderung der biologischen Vielfalt im Schweizer Wald. Bern, Switzerland: Bundesamt für Umwelt. Available at: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/biodiversitaet/publikationen-studien/publikationen/ziele-und-massnahmen-wald.html>.
- IUCN 2012. IUCN Red List categories and criteria (Version 3.1). 2nd ed. Gland, Switzerland, and Cambridge, UK, 32 pp.
- LINK, W.A. & SAUER, J.R. 1997. New approaches to the analysis of population trends in land birds: comment. *Ecology*, 78, 2632–2634, 10.1890/0012-9658(1997)078[2632:NATTA]2.0.CO;2.
- MACKENZIE, D.I., NICHOLS, J.D., ROYLE, A.J., POLLOCK, K.H., BAILEY, L.L. & HINES, J. 2018. Occupancy estimation and modeling: inferring patterns and dynamics of species occurrence. 2nd ed. London, United Kingdom: Elsevier/AP, 641 pp.
- MACKENZIE, D.I. & ROYLE, J.A. 2005. Designing occupancy studies: general advice and allocating survey effort. *Journal of Applied Ecology*, 42, 1105–1114, 10.1111/j.1365-2664.2005.01098.x.
- METEOSCHWEIZ. 2020. Räumliche Klimaanalysen. Available at: <https://www.meteoschweiz.admin.ch/klima/klima-der-schweiz/raeumliche-klimaanalysen.html> [Accessed September 3, 2020].
- MILLER, D.A.W., NICHOLS, J.D., MCCLINTOCK, B.T., GRANT, E.H.C., BAILEY, L.L. & WEIR, L.A. 2011. Improving occupancy estimation when two types of observational error occur: non-detection and species misidentification. *Ecology*, 92, 1422–1428, 10.1890/10-1396.1.
- RIHM, B. & KÜNZLE, T. 2023. Nitrogen deposition and exceedances of critical loads for nitrogen in Switzerland 1990–2020. Meteotest, Bern, commissioned by the Federal Office for the Environment (FOEN). Available at: [https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/luft/externe-studien-berichte/Nitrogen_deposition_and_exceedances_of_critical_loads_for_nitrogen_in_Switzerland_1990%E2%80%932020_final%20\(1\).pdf.download.pdf/Nitrogen_deposition_and_exceedances_of_critical_loads_for_nitrogen_in_Switzerland_1990%E2%80%932020_final%20\(1\).pdf](https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/luft/externe-studien-berichte/Nitrogen_deposition_and_exceedances_of_critical_loads_for_nitrogen_in_Switzerland_1990%E2%80%932020_final%20(1).pdf.download.pdf/Nitrogen_deposition_and_exceedances_of_critical_loads_for_nitrogen_in_Switzerland_1990%E2%80%932020_final%20(1).pdf).
- ROYLE, J.A. & LINK, W.A. 2006. Generalized site occupancy models allowing for false positive and false negative errors. *Ecology*, 87, 835–841, 10.1890/0012-9658(2006)87[835:GSO]2.0.CO;2.
- SCHEIDEGGER, C., BERGAMINI, A., BÜRGI, M., HOLDEREGGER, R., LACHAT, T., SCHNYDER, N., SENN-IRLET, B., WERMELINGER, B. & BOLLMANN, K. 2010. Waldwirtschaft. In Lachat, T., Pauli, D., Gonseth, Y., Klaus, G., Scheidegger, C., Vittoz, P. & Walter, T., eds. *Der Wandel der Biodiversität in der Schweiz seit 1900: Ist die Talsohle erreicht?*. Bristol-Schriftenreihe. Bristol-Stiftung, Zürich; Haupt, Bern, 124–160.
- SCHEIDEGGER, C. & CLERC, P. 2002. Rote Liste der gefährdeten Arten der Schweiz: Baum- und erdbewohnende Flechten. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL, Bern; Eidgenössische Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf; Conservatoire et Jardin botaniques de la Ville de Genève CJBG. Available at: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/biodiversitaet/publikationen-studien/publikationen/rote-liste-gefaehrdete-arten-baum-erdbewohnende-flechten.html>.
- SCHEIDEGGER, C., DIETRICH, M., FREI, M., GRONER, U., KELLER, C., ROTH, I. & STOFER, S. 2002. Epiphytische Flechten der Schweiz. In Scheidegger, C. & Clerc, P., eds. *Rote Liste der gefährdeten Arten der Schweiz: Baum- und erdbewohnende Flechten*. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL, Bern; Eidgenössische Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf; Conservatoire et Jardin botaniques de la Ville de Genève CJBG, 27–74. Available at: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/biodiversitaet/publikationen-studien/publikationen/rote-liste-gefaehrdete-arten-baum-erdbewohnende-flechten.html>.
- SCHEIDEGGER, C., KELLER, C. & STOFER, S. 2023. *Flechten der Schweiz: Vielfalt, Biologie, Naturschutz*. 1. Auflage. Bern: Haupt, 591 pp.
- SILLET, S.C., McCUNE, B., PECK, J.E., RAMBO, T.R. & RUCHTY, A. 2000. Dispersal limitations of epiphytic lichens result in species dependent on old-growth forests. *Ecological Applications*, 10, 789–799, 10.1890/1051-0761(2000)010[0789:DLOELR]2.0.CO;2.
- STOFER, S., DIETRICH, M., GABATHULER, M., KELLER, C., VON HIRSCHHEYDT, G., VUST, M. & SCHEIDEGGER, C. 2019. Die Revision der Roten Liste der Flechten der Schweiz. *Meylania*, 63, 30–34.
- VAN HERK, C.M. 2009. Climate change and ammonia from cars as notable recent factors influencing epiphytic lichens in Zeeland, Netherlands. *Bibliotheca Lichenologica*, 99, 205–224.

- VON HIRSCHHEYDT, G. 2023. Occupancy vs. detection: Changes in epiphytic lichen communities over 20 years. PhD thesis, University of Bern, 203 pp. Available at: <https://boristheses.unibe.ch/4822/>.
- VON HIRSCHHEYDT, G., KÉRY, M., EKMAN, S., DIETRICH, M., GABATHULER, M., KELLER, C., SCHEIDEGGER, C., VUST, M., WESTBERG, M. & STOFER, S. 2023a. Changes in epiphytic lichen communities in Switzerland are related to forest management, nitrogen excess and climate change. In *Occupancy vs. detection: Estimating changes in epiphytic lichen communities over 20 years*. University of Bern, Switzerland: PhD thesis, 106–157. Available at: <https://boristheses.unibe.ch/4822/>.
- VON HIRSCHHEYDT, G., KÉRY, M., EKMAN, S., STOFER, S., DIETRICH, M., KELLER, C. & SCHEIDEGGER, C. 2024. Occupancy model reveals limited detectability of lichens in a standardised large-scale monitoring. *Journal of Vegetation Science*, 35, e13255, 10.1111/jvs.13255.
- VON HIRSCHHEYDT, G., STOFER, S. & KÉRY, M. 2023b. “Mixed” occupancy designs: When do additional single-visit data improve the inferences from standard multi-visit models? *Basic and Applied Ecology*, 67, 61–69, 10.1016/j.baae.2023.01.003.
- WERTH, S., WAGNER, H.H., GUGERLI, F., HOLDEREGGER, R., CSENCICS, D., KALWIJ, J.M. & SCHEIDEGGER, C. 2006. Quantifying dispersal and establishment limitation in a population of an epiphytic lichen. *Ecology*, 87, 2037–2046, 10.1890/0012-9658(2006)87[2037:QDAELI]2.0.CO;2.
- WIRTH, V. 2010. Ökologische Zeigerwerte von Flechten – Erweiterte und Aktualisierte Fassung. *Herzogia*, 23, 229–248, 10.13158/heia.23.2.2010.229.

Gesa von Hirschheydt



entdeckte das Interesse für Flechten während ihres Masterstudiums in Schweden. Seit 2018 arbeitet sie für die Revision der Roten Liste der Flechten beim Schweizer Datenzentrum der Flechten SwissLichens (WSL, Birmensdorf), zunächst als wissenschaftliche Assistentin, dann als Doktorandin und seit Januar 2014 als wissenschaftliche Mitarbeiterin.

Kontakt: gesa.vonhirschheydt@wsl.ch



Bild: AdobeStock

Flechtengemeinschaften

Wenn die Vorkommen der Erde ausgebeutet werden, haben die Nachkommen kein Einkommen, mit dem sie auskommen.

Kühn-Görg, Monika