© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Untersuchungen über Thallusbildung und Thallusbau in ihren Beziehungen zum Substrat bei siliciseden Krustenflechten.

Von

Eugen Stahlecker.

Einleitung.

Die nachfolgenden Untersuchungen möchten einerseits die Frage ihrer Lösung näher führen, inwieweit bei Flechten, speziell bei siliciseden Krustenflechten der anatomische Aufbau des Thallus durch die chemische Beschaffenheit des Substrats beeinflusst wird, — anderseits möchten sie einen Beitrag liefern zur Kenntnis der Entstehung und Entwicklung, resp. Ausbreitung der Gesamtkruste einiger auf kieselsäurereichem Untergrund vegetierenden Krustenflechten. Im Verlauf der nachfolgenden Darstellung wird sich ergeben, dass auch die Frage nach der Entwicklung der Gesamtthalluskruste in einigem Zusammenhang mit der chemischen Beschaffenheit des Wohngrundes der Flechten steht.

Von vornherein musste ich deshalb darauf bedacht sein, den petrographischen Charakter und die chemische Beschaffenheit des Substrats weit genauer, als dies seither je geschehen ist, festzustellen und in Betracht zu ziehen. Zwar hat schon Lang[1] auf die Notwendigkeit, dies zu tun, hingewiesen; allein er selbst hat, wenn er auch die petrographische Seite der Frage mehr als andere berücksichtigte, sich doch noch mit ziemlich allgemeinen Unterscheidungen begnügt. Immer mehr aber drängte sich mir die Überzeugung auf, dass ohne eingehende Untersuchung der petrographischen

[1] Lang, Beiträge zur Anatomie der Krustenflechten. Inaugural-Dissertation. Stuttgart 1903. p. 11.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Verhältnisse des Substrats, ja schliesslich ohne die chemische Analyse ein volles Verständnis für den Flechtenbau sich nicht gewinnen lässt.

Meine Ausführungen werden demnach sich etwas eingehender mit den Substraten beschäftigen, dann den Thallus im allgemeinen, seine Ausbreitung und Entwicklung und seine allgemeinen Beziehungen zu den Substraten ins Auge fassen, endlich im besonderen den anatomischen Aufbau des Thallus vornehmlich in seiner Beziehung zu den Substraten behandeln. — Die von mir genauer beschriebenen Spezies haben sich hauptsächlich deswegen zu genauerer Untersuchung und Darstellung geeignet, weil sie mir in verschiedenen Exemplaren auf qualitativ verschiedener Siedelungsgrundlage zu Gebot standen. Die an ihnen beobachteten Erscheinungen haben sich sehr häufig als typisch erwiesen; ich konnte mich deswegen im wesentlichen darauf beschränken, meine Untersuchungen weiteren Materials nur insoweit heranzuziehen, als sie zur Ergänzung des Gesamtbildes oder zur Erhärtung wichtiger Ergebnisse nötig erschienen.

A. Die untersuchten Spezies und ihre Substrate.

So sind es denn hauptsächlich zwei Rhizocarponspezies, welche meinen Aufstellungen als Grundlage dienen: Rhizocarpon coniopsoideum Hepp und Rhizocarpon concentricum Dav. respektive Rh. excentricum Ach., Nyl.

Von Rhizocarpon coniopsoideum hatte ich drei Nummern (120, 121, 497) der Arnoldschen Exsikkatensammlung zur Verfügung mit zusammen 5 Stücken, deren Substrat teilweise sehr verschiedener Art ist. Die den Arnoldschen Exsikkaten beigefügten Substratbezeichnungen sind durchaus nicht verlässlich, sondern vielfach ungenau oder geradezu unrichtig. Bei den genannten Nummern sind die Substrate, wie folgt, bezeichnet:

No. 120: „Auf einem Gneisblocke am Waldsaum auf einem Hügel zwischen Haarkirchen und Merlbach (daselbst auch an Glimmerblöcken.) 10. Aug. 1890.“

No. 121: „An Gneisblöcken auf der Höhe zwischen Neufahrn und Merlbach. 20. Sept. 1890.“

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

No. 497: „An Amphibolitgesteinen auf der bewaldeten Höhe von Haarkirchen gegen Irschenhausen. 22. Juli 1898."

Die Nummer 120 enthält zwei Stücke, wohl von einem und demselben petrographischen Vorkommen eines ziemlich verwitterten Gneises. Die Stücke brauchen also hinsichtlich ihres Substrats nicht unterschieden zu werden. Die Gneisunterlage führt reichlich Glimmer (hellen und dunklen) und enthält im übrigen eine ziemlich kompakte Mischung von Quarz und Feldspat zwischen den Glimmerlagen.

Auch in der Nummer 121 sind zwei Stücke vereinigt, aber Stücke von ganz verschiedenem Gesteinscharakter. Ich nenne sie 121 a und 121 b. No. 121 a hat als Substrat ebenfalls einen Gneis, eine parallele Schichtung von Quarz- und Feldspatlagen, mit weniger Glimmer. Der Feldspat herrscht vor. Die Verwitterung ist weniger vorgeschritten als bei No. 120. No. 121 b ist ein sehr dunkler, nach seiner Färbung von Anfang an als stark basisch zu vermutender Amphibolit: schieferig aggregierte Hornblende mit wenig Feldspat.

Bei No. 497 stimmt die Arnoldsche Bezeichnung. Das Substrat ist ein äusserst feinkörniger, dünnschieferiger Amphibolit von hellerer Farbe als der vorhergenannte und daher in der chemischen Zusammensetzung vermutlich saurer.

Demnach haben wir wohl mit dreierlei Nährböden für die vorliegenden Exemplare unserer Flechte zu rechnen, nämlich mit 1. Gneis, frei von $CaCO_3$, arm an basischen Bestandteilen überhaupt (120 und 121 a). 2. Amphibolit von mehr basischer Beschaffenheit (497). 3. Amphibolit mit erheblichem Prozentsatz basischer Bestandteile (121 b).

Von Rhizocarpon concentricum Dav. und Rhizocarpon excentricum Ach., Nyl. lagen mir zusammen sechs Exemplare vor. Die Formen concentricum und excentricum zu unterscheiden, halte ich für unnötig und ungerechtfertigt, da sie so sehr im ganzen Habitus wie in den einzelnen systematischen Merkmalen übereinstimmen, dass schon deswegen ihre Unterscheidung nicht notwendig wäre. Dazu kommt aber, dass auch die Anordnung der Früchte — das einzige unterscheidende Merkmal — nicht eine so bestimmte ist, dass nicht die eine Form in die andere überginge. So sind bei Rh. concentricum (Arnold No. 122) die Früchte nicht überall

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

konzentrisch angeordnet. Sichelförmige Thalluskomplexe (Fig. 1) mit sichelförmiger Anordnung der Apothecien lassen vermuten, dass die Entwicklung der Früchte nicht von einem Zentrum ausgeht. Denn, würden auch irgendwelche physikalische Bedingungen eine vollständige allseitige Entwicklung verhindern, so müssten die betreffenden Thalluskomplexe wenigstens halbkreis- oder sektorenförmig ausgebildet sein, aber nicht sichelförmig. Ausser diesen sichelförmigen Früchtegruppen sind aber auch vollständig exzentrische vorhanden. Anderseits neigen bei Rh. excentricum (so in No. 124 bei Arnold) die Früchte stellenweise wieder deutlich zu konzentrischer Gruppierung, wie denn die Neigung zu linienförmiger Fruchtordnung auch sonst bei Krustenflechten zu beobachten ist, so dass Rh. concentricum nur als eine Spielart von Rh. excentricum anzusehen sein dürfte und es am besten ist, die treffliche zusammenfassende Körbersche Bezeichnung subconcentricum für beide Formen beizubehalten. Jedenfalls bedingt ihre subtile Unterscheidung keine Differenzierung im Thallusbau oder Thalluswachstum und kann daher für die Zwecke der vorliegenden Untersuchung füglich ausser acht gelassen werden. Überhaupt ist, wenn irgendwo, so in der Lichenologie die vielfach beliebte Speziesmacherei nicht am Platz, wo ein und dieselbe Form nach der chemischen Zusammensetzung des Substrats, wie nach physikalischen Bedingungen, nach dem Wassergehalt, nach dem Altersstadium etc. gänzlich verschiedenen Habitus aufweisen kann.

Fig. 1.

Wie gesagt, konnte ich von Rhizocarpon subconcentricum Kbr. sechs Stücke untersuchen, je zwei in den Nummern 122, 123, 124 in der Arnoldschen Sammlung von Trockenexemplaren. Die Arnoldschen Bezeichnungen lauten:

No. 122: „Rhizocarpon concentricum. Auf Sand- und Glimmersteinen eines Steinhaufens zwischen Dettenhausen und Egling. 26. Juli 1890."

No. 123: „Rhizocarpon excentricum. An Kieselsteinen des Fusswegs ausserhalb Pullach gegen Baierbrunn. 8. Sept. 1890."

No. 124: „Rhizocarpon excentricum. Auf Sand- und Glimmersteinen in einer mit jungen Fichten bewachsenen Kiesgrube an der Strasse im Forstenrieder Park bei München. 5. Juli 1890."

Auch hier ist mit den Substratbezeichnungen nichts anzu-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

fangen. Ausdrücke wie „Glimmersteine“ oder „Kieselsteine“ besagen ja überhaupt nichts Besonderes. Ich bin genötigt, zunächst alle sechs Stücke für sich zu bezeichnen, da in allen drei Fällen die in den Nummern vereinigten Stücke petrographisch und chemisch verschiedenartige Substrate aufweisen.

In der Nummer 122 haben wir a) einen glaukonitführenden Molassesandstein mit geringem Gehalt an $CaCO_3$, b) einen tonigen Kalksandstein, dichter als der vorige und reicher an $CaCO_3$; in der Nummer 123 bei beiden Exemplaren anscheinend ebenfalls einen Molassesandstein, etwas grobkörniger als 122 a und zwar a) deutlich, aber schwach auf HCl reagierend, b) auf HCl nicht mehr reagierend, ursprünglich wohl ebenfalls $CaCO_3$ enthaltend, aber durch Auslaugung bei der Verwitterung des Kalkgehalts verlustig gegangen; in der Nummer 124 zwei Stücke protoginartigen Gesteins (Alpengranit), a) stärker, b) weniger stark verwittert.

Waren bei Rhizocarpon coniopsoideum Hepp lauter karbonatfreie, dagegen in der prozentualen Mischung basischer und saurer Bestandteile verschiedene Substrate gegeben, so kommen nun bei Rhizocarpon subconcentricum Kbr. Substrate mit Calciumkarbonatgehalt, und zwar mit quantitativ verschiedenem Gehalt an $CaCO_3$ hinzu. Genauer genommen handelt es sich um 1. mehr oder minder sauren Granit (124); 2. Molassesandstein von verschiedener Korngrösse und mit verschiedenem Gehalt an $CaCO_3$ (122 a, 123); 3. dichten tonigen Kalksandstein mit bemerkenswertem Gehalt an $CaCO_3$ (122 b).

B. Die Entwicklung des Gesamtthallus und ihre Abhängigkeit vom Substrat.

1. Der allgemeine Habitus der untersuchten Spezies und die Besiedelungsfläche bei geschichteten Substratgesteinen.

Der makroskopische Habitus bei Rhizocarpon coniopsoideum Hepp ist der eines grauschwarzen oder gelbgrauen von zahlreichen, erst bei genauer Besichtigung in die Augen fallenden, kleinen Rissen durchfurchten dünnen Überzugs. Bei 121 b ist der Thallus etwas rauher, kräftiger entwickelt, bei 497 glatter, zierlicher. Die Flechte überzieht bei letzterer Nummer das die Unterlage bildende glatt-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

gescheuerte Geschiebestück gleichmässig, übrigens auf solchen Teilen der Oberfläche, wo diese die Schichtflächen schneidet. Bei einem der Gneisstücke in No. 120 ist die besiedelte Bruchfläche teilweise identisch mit den Schichtflächen, da sie die letzteren unter kleinem Winkel schneidet. Bei allen übrigen Stücken breitet sich der Flechtenthallus nicht auf den Schichtflächen, sondern wie bei No. 497 auf solchen Flächen aus, welche die Schichtung quer gebrochen haben, obwohl stark verwitterte, also der Besiedelung wohl längst an und für sich zugängliche Schichtoberflächen vorhanden sind. — Auch sonst, bei anderen Flechtenarten habe ich die Beobachtung gemacht, dass bei geschichteten Gesteinen offen liegende Schichtflächen nicht besiedelt waren, sondern zumeist die quer zur Schichtung laufenden (Fig. 2) bevorzugt wurden.

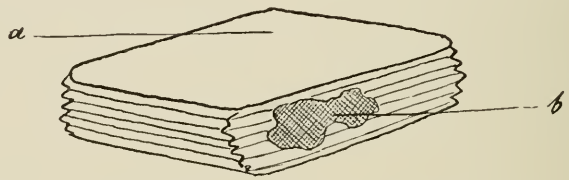

Fig. 2. Schematisch. a nackte Schichtfläche, b Flechte.

Vielleicht ist diese Bevorzugung von solchen Flächen geschichteter Gesteine, welche die Schichtung brechen, eine zufällige; vielleicht hängt sie mit der an dem Exsikkatenmaterial natürlich nicht mehr festzustellenden Orientierung, Beschattung etc. des Substrats zusammen. Man könnte ja vermuten, dass die durch den Abbruch der Schichten hervorgerufene Riefung mit den Schichtfugen dem Flechtenthallus die Anheftung und das Eindringen zum Zweck der Nahrungsaufnahme erleichtert. Allein dem widersprechen andere, weiter unten namhaft gemachte Erwägungen, und wenn die Flechte die am stärksten verwitterten Gesteinsflächen unter Umständen verschmäht, zeigt dieser Umstand, dass sie einer chemisch und physikalisch zersetzenden Vorbereitung der Substrate für die Ansiedelung nicht bedarf. Damit ist nicht ausgeschlossen, dass der Anflug von Sporen und Algen durch die Schichtfugen begünstigt wird. Auch die länger anhaltende Befeuchtung solcher Flächen kann ihre Bevorzugung durch die Flechte genügend begründen.

Mag es übrigens dahingestelllt sein, ob die Wahl der An-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

siedelungsfläche mit dem Schichtenverlauf etwas zu tun hat oder nicht, so scheint doch die Anordnung der Früchte mit der Schichtung der Gesteinsunterlage einigermassen zusammenzuhängen. Am deutlichsten ist dies bei dem Exemplar No. 121 a, wo die Anordnung der Apothecien ganz deutlich den Schichtfugen entlang getroffen ist, jedoch so, dass die Apothecien nicht in den Schichtfugen selbst sitzen. Sie meiden diese sogar geflissentlich und haben die Schichtwülste besetzt, was jedenfalls für die Verbreitung ihrer Sporen die günstigere Anordnung ist.

Der Thallus von Rhizocarpon subconcentricum Kbr. bildet makroskopisch betrachtet eine weissliche, rahmartige Kruste. Der allgemeine Habitus stimmt bei allen vorliegenden Exemplaren im wesentlichen überein — abgesehen von der mehr oder weniger konzentrischen Anordnung der Früchte. Nur bei 124a weicht der allgemeine Eindruck etwas ab. Der Thallus erscheint wie ein schmutziger staubiger Überzug, weniger als deutliche Kruste. Die Früchte sind weniger zahlreich und zum Teil im Thallus verborgen, — wohl ein von den übrigen Proben verschiedenes Alterstadium der Flechte.

Die Frage, welche Oberflächenteile der Gesteinsunterlage vorzugsweise bewohnt werden, fällt hier von selber weg, da bei sämtlichen Probestücken eine Schichtung der Gesteinsunterlage nicht in Frage kommt.

2. Die Felderung des Gesamtthallus.

Die Prüfung des Thallus bei starker Vergrösserung im auffallenden Licht (Zeiss Simplex bis zu 100 : 1) ergab für Rhizocarpon coniopsoideum Hepp und Rh. subconcentricum Kbr. ein in den wesentlichen Grundzügen übereinstimmendes, auch für andere Krustenflechten massgebendes Bild.

Der Thallus erscheint gefeldert, durch rissartige Vertiefungen in polygonale unregelmässig begrenzte Lappen oder Schollen zerteilt. Bei Rh. subconcentricum sind die Einzelfelder meist durch besonders scharf gerandete Risse getrennt, so dass die Einzelfelder scharf und eckig abgerissen erscheinen, während bei Rh. coniopsoideum die Felderchen sich zwischen den Furchen in die Höhe wölben, also abwärts gebogene Ränder haben. Auch tangentiale Schnitte (der Siedelungsfläche und Thallusoberfläche parallel

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

genommen), durch mehrere benachbarte Felder zugleich geführt und im durchfallenden Licht des Mikroskops geprüft, lehren, dass die Thallusfelder getrennt, polygonal geformt, bei No. 120 der Exsikkaten beispielsweise 200—250 μ im Durchschnitt breit sind. Doch ist die Trennung keine so scharfe, dass nicht auch einmal zwei aneinandergrenzende Felder durch einen Isthmus verbunden wären; auch zeigen offenbar zusammengehörige Thallusstücke, die einen einheitlichen Eindruck machen, unvollkommen, d. h. von einer Grenze des Feldes nicht ganz bis zur anderen verlaufende Risse und Sprünge (Fig. 3), die der Beginn weiteren Fortschreitens der Felderung sein könnten. Bei No. 122 der Exsikkaten Arnolds

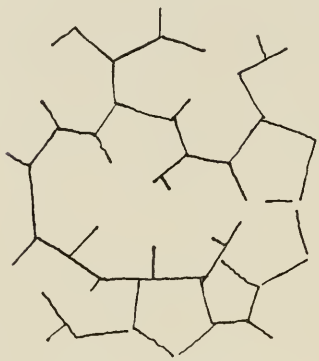

Fig. 3. Schematisch.

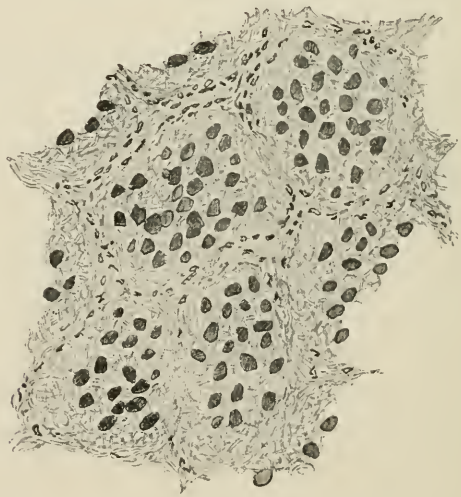

Fig. 4. Flächenschnitt durch den Thallus von Rhicocarpon subconcentricum (Arnold No. 122). Verwachsung einzelner Thallusfelder. Die kleinen schwärzlichen Partikelchen sind Reste der früheren Berindung der Einzelfelder und lassen den Verlauf der Grenzlinien noch erkennen. Die Hyphen am Rande der früheren Einzelfelder ziehen noch dem Rande entlang, sind aber mit denen der Nachbarfelder verflochten.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

haben wir Bezirke von grösserer Ausdehnung als die Einzelfelder es sind, von nicht geschlossenen, einander entgegenstrebenden Rissen durchzogen (Fig. 3).

Auch die tangentialen Schnitte durch den Thallus zeigen den letzteren häufig zwar in einzelne Felder differenziert, diese Felder aber wie zusammengewachsen, durch ein gemeinsames Hyphengeflecht verbunden und nicht oder unvollständig durch besondere Berindung getrennt (Fig. 4). Bei Rh. subconcentricum 124 a sind die Risse sowieso schmäler, die Rissung stellenweise auffallend unvollkommen. Aus dem bisherigen Befund ergibt sich also noch nicht mit Sicherheit, dass die Einzelfelder ebensoviele Einzelthalli darstellen, und dass wir es nicht mit einem Gesamtthallus der Flechte, sondern mit einer Summe von Einzelthalli zu tun haben, wie dies Bitter[1] und Friederich[2] mitgeteilt haben. Die nächstliegende Erklärung der unvollkommenen Felderung der Gesamtkruste wäre ja doch die, dass diese Felderung ein sekundärer Vorgang wäre, der sich uns in verschiedenen Fortschrittsstadien zeigte.

3. Isolierte Einzel-Thallusfelder.

Allein in den Aussenzonen, da wo die Thallusränder der Gesamtkruste in die unbewohnten Bezirke des Substrats sich verlieren, finden sich einzeln sitzende rundliche höckerartige Thallusfelder und zwar bis zu den kleinsten Dimensionen, herunter bis zu schätzungsweise 50 μ Durchmesser oder noch weniger. Besonders deutlich ist diese Erscheinung bei Rh. coniopsoideum zu beobachten. Aber auch Rh. subconcentricum hat diese vorgeschobenen einzelnstehenden ganz kleinen Thalli, wenn auch nicht bei sämtlichen vorliegenden Proben. Merkwürdigerweise sind diese isolierten Thalluskörperchen hier rostgelb, also anders als die übrige weisslichgraue Thalluskruste gefärbt, so dass man zunächst an ihrer Zugehörigkeit zu unserer Flechte zweifeln könnte. Die abweichende Färbung findet jedoch schon in dem Umstand eine Erklärung, dass ein die weissliche Färbung des älteren Thallus

[1] Bitter, Über das Verhalten der Krustenflechten beim Zusammentreffen ihrer Ränder. Jahrb. f. wiss. Bot. XXXIII. 1. p. 55 ss.

[2] Friederich, Beiträge zur Anatomie der Silikatflechten. Inaugural-Dissertation. Stuttgart 1904. p. 7.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

bedingendes, äusserst dichtes Geflecht weisser Rindenhyphen bei diesen jungen Thalli noch nicht in gleichem Masse wie bei älteren Flechtenteilen ausgebildet ist.

Es war ausserordentlich schwierig, diese winzigen isolierten Thalluskörperchen abzuheben und unter das Mikroskop zu bringen. Es geschah dies mit einer sehr feinen Nadel während der Beobachtung im auffallenden Licht mit dem Zeissschen Simplex oder mit dem Zeissschen binokularen Mikroskop. Dann wurden die Objekte — an Schnitte war entfernt nicht zu denken —, um ihre Zusammensetzung zu erkennen, gequetscht. Dabei zeigte es sich, dass wir es wirklich mit Thallusbildungen zu tun haben. Es sind Gemeinschaften meist schon dick übereinander geschichteter Gonidien mit Pilzhyphen. Masse liessen sich infolge der durch die Quetschung erfolgten Zerstörung nicht mehr feststellen. Die kleinsten dieser Objekte gewann ich von Rhizocarpon subconcentricum No. 122a. Hier erwies sich eines dieser Körperchen (das Präparat ging mir leider sogleich wieder verloren und konnte nicht weiter verwertet werden) als ein Gemenge paraphysenartig parallel liegender langer Hyphen, zahlreicher Gonidien und vieler reifer Sporen unserer Flechte. Ein anderes erschien als eine Art Thallus, die Gonidien zumeist in kleineren Partien, dicht von Hyphen umklammert, die Hyphen in dichten Strängen oder Filzen, stellenweise quastenartig von einem Punkt auseinanderstrebend; dazwischen eine Spore liegend, fest verwachsen mit einem Hyphengeäst und kleinen Algen dazwischen. Spuren von Keimung waren weder hier noch in sonstigen Präparaten bei diesen Sporen zu entdecken. Von diesem Umstand wird weiter unten noch einmal geredet werden.

Bei denjenigen Exemplaren von Rhizocarpon subconcentricum in der Arnoldschen Trockensammlung, bei welchen diese vorgeschobenen Thalli fehlen, finden sich einzelne Früchte vorgeschoben ohne deutlich erkennbaren zugehörigen Thallus, den letzteren offenbar vollständig zudeckend. Auch bei anderen Krustenflechten findet sich dieselbe Erscheinung.

Jene einzelnstehenden Thallusfelderchen nun sprechen ziemlich gewichtig für die Entstehung der ganzen Thalluskruste aus lauter Einzelthalli, die im Zusammentreffen polygonale Form annehmen. Die unvollständige Abgrenzung einzelner Felder ist dann nicht ein Stadium unvollendeter sekundärer

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Rissbildung, sondern sie zeigt den Beginn der Verwachsung resp. Verschmelzung älterer Thalli, wie sie Bitter l. c. nachgewiesen hat. Hiermit stimmt auch die bei den vorliegenden und anderen Krustenflechten an manchen tangentialen Thallusschnitten von mir gemachte Beobachtung undeutlicher, wie verwaschen erscheinender Begrenzungszonen zusammen. Vergl. hierzu die Zeichnung Fig. 4 und ihre Erklärung.

Auch der abweichende Habitus des mehrfach genannten Thallus von No. 124a mit der weniger scharfen Felderung und den kleineren spärlicheren Früchten ist leicht erklärt, wenn wir in dieser Thalluskruste ein seniles Flechtenexemplar sehen.

4. Präkurrierende Hyphen und undifferenzierter Thallusrasen.

Wo unsere Flechten — und hierin verhalten sie sich ganz typisch — auf dem Gestein noch keine eigentliche Thalluskruste gebildet haben, erscheinen schwärzliche, dendritisch verzweigte, das Substrat überspinnende Gebilde, welche insbesondere regelmässig auch die kleinen vorpostenartigen Einzelthalli umgeben. Diese dendritisch verzweigten, oft dicht verlaufenden und zu einer Art Rasen zusammentretenden, oft lose verästelten Bildungen gleichen unter dem Simplex oder dem Stereoskopmikroskop dem makroskopischen Bilde kleiner feinverästelter Laubmoose. Wo sie sich zu dichteren Knäueln scharen, sitzen manchmal kleine Thalli, deren Bau mit dem der eigentlichen Thallusfelder übereinstimmt. Diese Thalli scheinen im Grösserwerden das dunkle Gespinst zu resorbieren. Die dendritischen Auflagerungen gehen stellenweise, besonders auf sauren Gesteinspartikeln, in Fäden aus, die sich dem substraten, im übrigen noch nackten Gestein fest anpressen. Hauptsächlich eines der Gneisstücke der Exsikkatennummer 120 zeigte diese Erscheinung auf einer grösseren von der Flechte noch wenig bestandenen Quarzpartie. Die Fäden folgen dabei oft den natürlichen Vertiefungen der Quarzoberfläche, kriechen aber auch über Wülste hin. Wo die Bahnen solcher Fäden sich kreuzen, aber auch getrennt vom Verlauf der im allgemeinen sonst schwach verzweigten Fäden, zeigen sich wieder die moosigen Polster jener schwarzen Auflagerungen.

War schon die Feststellung dieser Verhältnisse mit dem

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Simplex (Vergrössung 100 : 1) eine sehr anstrengende und zeitraubende Arbeit, so bedurfte es bei der Kleinheit der Objekte der peinlichsten Sorgfalt, um geeignete Teile der dendritischen Auflagerungen, und vollends unendlicher Geduld und vieler missglückter Versuche, um Stückchen der zuletzt genannten festaufgepressten Fäden zur Untersuchung im durchfallenden Licht unter das Mikroskop zu bringen.

Diese Fäden erwiesen sich bei starker Vergrösserung gesehen als mehr oder weniger durchsichtige, hellere oder dunklere, unseptierte fadenförmige Zellen, von denen eine mit Gesteinspartikelchen kandiert war[1]. — Die dendritischen Auflagerungen erschienen unter dem Mikroskop im durchfallenden Licht als ein dichteres Hyphengeäst von dunklerer Farbe. Gonidien habe ich in diesem Hyphengeäst bei den ersten Präparaten, die ich davon fertigte, nicht entdeckt. Diese ersten Präparate wurden von dem besagten Gneisstück mit den unbewohnten Quarzpartien und den festanhaftenden Fäden in der Nähe der letzteren weggenommen. Später fand ich in Präparaten von derselben Flechtenprobe mit jenen Hyphen auch Gonidien vergesellschaftet, allerdings nur spärlich und von geringsten Dimensionen (2—3 μ). In einem Fall fanden sich in Teilung begriffene Algen in diesen Gebilden, in Präparaten von den anderen Proben von Rh. coniopsoideum schon massenhafte Gonidien und dazwischen ab und zu reife Sporen des Flechtenpilzes.

Bei No. 497 der Arnoldschen Exsikkaten intermittieren die Thallusfelder, auch wo die Kruste sonst ein grösseres Ganzes bildet, stellenweise auf Strecken von ca. 1 mm Durchmesser. Die Zwischenräume deckt rasenartig ein schwärzlicher dichter Belag. Dieser Belag zeigt bei der genaueren Untersuchung ein dichtes Aggregat kurzgliedriger Hyphen, von dem einzelne Präparate gonidienlos waren, andere spärliche, sehr kleine Gonidien enthielten. Auch in diesen die Flechtenkruste unterbrechenden Bezirken finden sich winzige Einzelthalli. — Ähnliche Befunde, d. h. Hyphen mit mehr oder weniger Gonidien vergesellschaftet, ergaben sich bei der Untersuchung des gleichen dendritisch verzweigten oder rasenartig das Gestein überziehenden schwärzlichen Belags bei anderen Krustenflechten.

[1] Vergl. hierzu die Beobachtungen Langs, Beiträge zur Anatomie der Krustenflechten. Inaugural-Dissertation. Stuttgart 1903. p. 15, 16.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Was ergeben nun diese Befunde? Sie lassen sich alle aufs schönste miteinander in Einklang bringen durch die Annahme, dass wir es hier mit einem schliesslich zur Thallusbildung führenden Mycel zu tun haben, womit insbesondere die schon angeführte Beobachtung stimmt, dass dieses dunkle Mycel die einzelnstehenden Thallusfelderchen kranzartig umgibt, oder anders ausgedrückt, dass da, wo dieses Mycel am dichtesten ist, sich isolierte Thallusfelder oder auch Apothecien aus demselben erheben. Auch die Beobachtung stimmt damit zusammen, dass sich diese Bildung vorzugsweise auf den frischesten Stücken der Gesteinsunterlage zeigt, insofern auf solchen die Flechte noch nicht lange siedeln, die Thallusbildung also noch nicht im Endstadium angelangt sein wird. Die Entwicklung geht ohne Zweifel aus von den fest auf dem Gesteinsuntergrund haftenden schwarzen Fäden, die ich als gleichsam vorauseilende, vom Mutterthallus zentrifugal fortkriechende, gonidiensuchende Hyphen deute und kurz präkurrierende Hyphenfäden nenne. Da die Pilzhyphen überhaupt, wenn sie in das symbiotische Verhältnis mit Flechtengonidien eintreten, sich wesentlich ändern und ein ihnen sonst fremdes, ganz besonderes chemisches Verhalten annehmen; da ferner nachgewiesenermassen die Abscheidung der Flechtensäuren durch die Pilzhyphen je nach den Umständen eine qualitativ und quantitativ sehr variable ist, dürfen wir ohne weiteres vermuten, dass die präkurrierenden Hyphen ihren eigenen Chemismus haben. Es handelt sich also bei ihnen um eine besondere Art von Hyphen, mit eigenem Chemismus zur ersten Bewältigung des oft ganz frischen Gesteinsuntergrunds versehen, die eine Zeitlang ohne Algen vegetieren, noch im Ernährungshaushalt der Mutterthalli stehend, bis sie imstande sind, mit Hilfe von aussen ihnen zugeführter Gonidien neue Thalli zu bilden. Da sie sich vorzugsweise auf Quarz, dem härtesten und widerstandsfähigsten Ansiedelungsgrund, finden, vermute ich sogar, dass sie das Hauptmittel, wenn nicht das einzige Mittel der Flechte sind, auf diesem schwierigen Wohngrund sich heimisch zu machen, da Sporen, Soredien etc. auf ihm sich gar nicht einnisten könnten. Möglicherweise werden die präkurrierenden Hyphen bei ihrer thallusbildenden Tätigkeit unterstützt, möglicherweise aber auch verdrängt durch auskeimende Sporen des Flechtenpilzes, welch letztere in

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

diesem Mycel sich leicht einbetten können, wie ich sie denn auch darin vorgefunden habe — allerdings nie in keimendem Zustand.

Es stünde demnach der Flechte zur weitergreifenden Thallusbildung eine doppelte Möglichkeit zu Gebot. Einerseits hätte sie die auskeimende Spore, anderseits die vom Mutterthallus ausgesandte präkurrierende Hyphe zur Verfügung, welche beide entweder getrennt voneinander, jede für sich, mit Gonidien in Gemeinschaft treten können, oder, wo sie zufällig zusammentreffen, in gegenseitiger Unterstützung — oder Konkurrenz (so, dass die Spore die Hyphe ausser Funktion setzte) zur Thallusbildung führen. Die Leistung der auskeimenden Spore dabei ist freilich vorläufig nur eine theoretisch gedachte. Die Frage, ob solche Sporen wirklich auskeimen, ist noch nicht gelöst und wird weiter unten noch zur Sprache gebracht werden.

Zunächst haben wir bei den präkurrierenden Hyphen noch zu verweilen.

5. Korrosion des Quarzes durch die präkurrierenden Hyphen.

Da jene zentrifugal vom Mutterthallus sich entfernenden Hyphen dem darunterliegenden Gestein so fest anhaften, ja sogar in einem Fall sich ganz mit Gesteinsteilchen verwachsen zeigten, liegt die Frage nahe, ob sie das Gestein selbst anzugreifen vermögen, eine Frage, die um so mehr Interesse bietet, als es sich dabei um den chemisch und physikalisch so widerstandsfähigen Quarz handelt. — Friederich[1] schreibt zwar: „Nach der Entfernung der Hyphen zeigten sich dann an solchen (d. h. mit Hyphen fest verwachsenen) Quarzkörnern dem Verlauf der Stränge entsprechende Korrosionen.“ Er gibt jedoch nicht an, auf welche Weise er dies festgestellt hat. Da nun die natürliche Oberfläche des Quarzes sowieso wie korrodiert und mannigfach durchfurcht erscheint, schien mir zunächst nicht ausgeschlossen, dass Friederich sich auch getäuscht haben könnte. Immerhin aber erscheint die Korrosion des Quarzes durch Flechtenhyphen an sich als wahrscheinlich, wenn die Flechte auf dem Quarz heimisch werden soll. Um das diesbezügliche Verhalten der Flechtenhyphen festzustellen, behandelte ich die betreffende Stelle bei No. 120 der Arnoldschen

[1] Friederich, l. c. p. 10.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Exsikkaten, wo die präkurrierenden Hyphen den Quarz in Angriff genommen haben, mit Salpetersäure, welche alle organische Substanz zerstört, den Quarz aber intakt lässt. Nachdem die aufliegenden Hyphen mit HNO_3 weggeätzt und ihre Reste mit Wasser weggewaschen waren, wurde die Stelle mit Fuchsinlösung tingiert, dann die Flüssigkeit mit Fliesspapier aufgesogen. Nun zeigten sich wirklich die Hyphenbahnen noch rot gefärbt, und es ergab sich in roten Fäden ein mit dem ursprünglichen, das die schwarz aufliegenden Fäden dargeboten hatten, übereinstimmendes Bild: der Quarz ist also faktisch durch die Hyphen genau ihrem Verlauf entsprechend korrodiert worden.

Dasselbe Experiment machte ich bei einer auf reinem Quarz gefundenen Lecidea crustulata (Ach.) Kbr. Das Substrat ist eine Quarzdruse von Neubulach im württembergischen Schwarzwald, woselbst ein mehrere Kilometer langer quarzitischer Gang den Buntsandstein durchsetzt und, an die Oberfläche tretend, eine ganz sterile Halde bildet, die reichlich mit Stücken reinen Quarzes übersät ist. Das mir vorliegende Handstück trägt zwischen und auf den hervorragenden Quarzpyramiden der Druse die fruchtende, im übrigen höchst dürftig entwickelte Flechte. Eine ausgebildete Thalluskruste ist noch nirgends vorhanden; es sind nur schwärzliche, auch wieder dendritisch verzweigte Auflagerungen, die in einzelne Hyphenstränge und -fäden auslaufen. Die schwärzlichen Auflagerungen setzen sich zusammen aus kurzgliederigen dunkelgraugrünen Hyphen, sind stellenweise noch ohne Gonidien, stellenweise mit winzigen Gonidien (1—2 μ) vergesellschaftet, an manchen Stellen enthalten sie Gonidien in lebhafter Teilung; — sie entsprechen also ganz dem Typus des besprochenen zur Thallusbildung führenden Mycels.

Die Korrosion des Quarzes konnte hier mit der angegebenen Methode nicht so vollkommen nachgewiesen werden, wie bei No. 120 der Arnoldschen Trockenflechten. Die Hyphenbahnen färbten sich nicht überall, am wenigsten da, wo der Quarz den Eindruck vollkommener Frische macht, wie denn das ganze Handstück ein noch frischer Quarz ist. Doch gelang auch bei diesem Substrat die Färbung an einzelnen Stellen und der ganze Befund widerstreitet deswegen trotz seines z. T. negativen Ergebnisses nicht der Annahme von der Korrosion des Quarzes, weil offenbar hier die

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Flechte ganz jugendlich, der Quarz noch ganz frisch, der Einwirkung der Hyphen noch nicht genügend lange ausgesetzt ist. Die Einwirkung der Hyphen kann recht wohl doch schon vorhanden sein, wenn sie auch noch nicht stark genug ist, um bei der angewandten Methode deutlich sichtbar zu werden.

Es ist somit an der Tatsache der Korrosion, also der chemischen Zerstörung des Quarzes durch Flechtenhyphen, speziell durch die präkurrierenden Hyphen füglich nicht zu zweifeln, und es ist bedeutungsvoll, dass die Flechten mit ihrer Hilfe auch den frischesten Quarz bewältigen. Nicht bedürfen sie einer irgendwie vorangehenden atmosphärischen Zersetzung oder Aufbereitung; ja, sie bedürfen nicht einmal irgendwelcher physikalischen Lockerung oder unebener Oberfläche des Substrats als mechanischer Erleichterung ihrer Anheftung; und so ist es nicht die Gesteinsverwitterung im gewöhnlichen Sinne, sondern es ist die unscheinbare Flechte selbst, welche die Gesteinszerstörung und die Humifizierung beginnt, so auch auf dem härtesten und beständigsten Gestein, der freien Kieselsäure, der Welt der Organismen den Einzug eröffnet und eben damit den Prozess einleitet, der seinen Abschluss findet in der Kultur der Menschen.

6. Ungleichmässige Besiedelung verschiedenartiger Gesteinsgemengteile durch die Flechten.

Wir sehen dementsprechend mächtige Felsen reinen oder fast reinen Quarzes mit einer Flechtendecke bestanden, z. B. die Quarzfelsen des „Pfahls“ im Bayrischen Walde oder die zutage tretenden Quarzgänge der rheinischen Devonschieferformation. Das schliesst jedoch nicht aus, dass quarzdurchsetzte Silikatgesteine vielfach ein Zurückbleiben der Flechtenwucherung auf den Quarzpartikeln gegenüber den übrigen Gesteinsgemengteilen aufweisen. Ein Gestein freilich, das wie der Amphibolit in No. 497 der Arnoldschen Trockenflechten eine sehr dichte Packung feinkörniger Partikel darstellt, wird wohl sowieso von Anfang an von der Flechte gleichmässig in Angriff genommen werden, und schliesslich wird auch bei grobkörnigen Stücken ihr die gleichmässige Besiedelung gelingen, wie dies z. B. bei dem einen Exemplar in No. 120 der Exsikkaten deutlich der Fall ist. Dagegen lässt sich bei den

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

verschiedenartigsten Substraten ebenso deutlich nachweisen, dass nicht nur die Besiedelung des Quarzes, wo ausser dem letzteren noch andere Gesteinsteile der Flechte zur Verfügung stehen, langsamer vor sich geht, sondern dass überhaupt die Flechten gewisse petrographische Bestandteile des Wohngrundes bevorzugen resp. vernachlässigen.

Schon oben (p. 415) wurde auf ein Gneisstück in No. 120 der Arnoldschen Exsikkaten hingewiesen, bei dem der Quarz nackt zutage tritt und soeben von den präkurrierenden Hyphen in Angriff genommen wird. Auch bei dem Gneisstück 121 a bleibt der Quarz vielfach nackt. Bei No. 257 (Arnold) sind in einem dichten Amphibolit grobe Quarzeinsprenglinge nur mangelhaft und spärlich von der sonst gleichmässig wuchernden Flechte (Stigmatomma clopimum Kmplb.) besetzt. Die gleiche Beobachtung von dem Freibleiben des Quarzes war bei Rhizocarpon subconcentricum Kbr. auf Granit (Arnolds Exsikkaten No. 124) zu machen, ebenso bei Stigmatomma clopimum Kmplb. auf Granit und bei einer Reihe anderer Granit bewohnender Flechtenexemplare. Ein sehr deutliches Beispiel für die genannte Erscheinung bot ein von Herrn Prof. Dr. Sauer mir gütigst beschafftes Exemplar eines Flechtenthallus auf Granit von Burgbach im Kinzigtal. Der Thallus stellt noch keine ausgebildete Flechte dar. Seine Bestimmung ist, da er noch nicht fruchtet, nicht möglich. Er bildet zunächst eine staubige, weissgraue Kruste, welche aber jedes Quarzkorn des Granits noch frei gelassen hat, so dass alle die rauchgrauen Quarzkörner wie ebenso viele dunklere Punkte oder Flecke von dem helleren Thallus sich abheben und das Ganze wie gesprenkelt aussieht (vergl. die Abbildung 1—3 auf der beigegebenen Tafel).

Aber nicht nur dem Quarz gegenüber zeigen sich unsere Flechten zunächst zurückhaltender. Bei dem grobkörnigen Hornblendeschiefer, der dem Trockenexemplar No. 121 b in Arnolds Sammlung zur Siedelungsunterlage dient, sind Stellen, an denen der Feldspat die Oberfläche bildet, teilweise unbewohnt oder nur spärlich mit dem Thallus bestanden, obwohl der Feldspat ziemlich brüchig ist, während im ganzen Wachstumsbezirk der Flechte die letztere auf oberflächlichen Hornblendekristallen nirgends fehlt. Es hat also dieselbe Flechtenspezies auf Gneissubstrat den Quarz, auf Amphibolitgrund den Feldspat gemieden.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

7. Die Beziehungen zwischen der ungleichmässigen Thallusentwicklung und der Verschiedenheit des Substrats.

Von vornherein sind es nun zwei Möglichkeiten, dieses Verhalten der Flechten zu erklären. Entweder ist es durch die physikalischen, d. h. strukturellen Verhältnisse des Nährbodens bedingt, oder aber sind die chemischen Verschiedenheiten des letzteren der Grund.

Ist die physikalische Beschaffenheit der der Flechte als Wohnstätte dienenden Gesteinsteile der Grund für die Bevorzugung oder raschere Besiedelung des einen vor dem anderen, so kann es sich hierbei nur um eine Erleichterung oder Erschwerung der mechanischen Bewältigung des Substrats für die Flechte handeln. Eine derartige Erleichterung könnte geschehen durch vorgeschrittene Verwitterung, durch welche Gesteine von kompakterer Struktur gelockert und einer mechanischen Inangriffnahme zugänglicher gemacht werden. Ausserdem könnte die verschiedengradige Spaltbarkeit der Mineralbestandteile eines Gesteins eine ihr proportionale verschiedengradige Zugänglichkeit für unsere Flechten bedingen. Wenn aber diese physikalischen Verhältnisse der von den Flechten zu besetzenden oberflächlichen Gesteinsteile eine Rolle spielen, dann müssen sich Spuren der mechanischen Bewältigung des Substrats auffinden lassen. Es muss mit anderen Worten der Flechtenpilz irgendwie in das Substrat mechanisch eindringen, etwa auf Haarspalten oder Blätterdurchgängen vorwärts dringen, die Struktur des Gesteins irgendwie benützen — und beeinflussen.

Vor allem müsste sich dies beim Glimmer in Anbetracht seiner vorzüglichen Spaltbarkeit nachweisen lassen. Auch verwitterter Feldspat sollte — vorausgesetzt, dass es sich um physikalische Verhältnisse handelte — einen bevorzugten Wohngrund für die Flechten abgeben.

Diese Erwägungen leiteten mich bei der Untersuchung der Frage, ob die physikalische Beschaffenheit oder mechanische Zugänglichkeit des Substrats das Flechtenwachstum erleichtert. — Schon in anderem Zusammenhang wurde darauf hingewiesen (p. 410), dass die Flechten unter Umständen die am stärksten verwitterten Gesteinsflächen auffallenderweise verschmähen und frische in Angriff nehmen. Es handelte sich also hauptsächlich darum, die

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

einzelnen Mineralbestandteile der Substratgesteine auf das mechanische Eindringen der Flechtenhyphen hin zu prüfen. Vor allem den Glimmer.

Zu dieser Prüfung schien sich der ziemlich verwitterte Gneis in No. 120 der Arnoldschen Exsikkaten zu eignen, der dunklen und hellen Glimmer führt, und dessen Feldspat infolge der Verwitterung leicht bröckelt. Um etwaige in das Gestein eingedrungene Hyphen konstatieren und untersuchen und jede etwaige mechanische Beeinflussung des Substrats durch den etwa vorwärtsdringenden Flechtenpilz genau feststellen zu können, ätzte ich wieder die Flechte oberflächlich mit HNO_3. Sowohl Glimmer wie Quarz und Feldspat mussten bei kürzerer Einwirkung der Säure widerstehen, während die organische Substanz der Flechte zerstört und so das Substrat von dem epilithischen Teil des Thallus befreit werden musste. Der Thallus wurde also mit HNO_3 beträufelt, nachher abgewaschen, die breiig gewordenen Pflanzenteile mit zuvor geglühter, also weicher Nadel vorsichtig abgekratzt und mit einem rauhen Tuche abgerieben. War nun auch HNO_3 in die Fugen und Blätterdurchgänge des Gesteins eingedrungen, so mussten doch die zersetzten Pflanzenteile, wenn solche endolithisch vorhanden waren, noch anwesend und sichtbar sein.

Zunächst nahm ich Muskovitschüppchen vor, die nach der geschilderten Behandlung an die Oberfläche getreten waren. — Wirklich zeigten sich diese Muskovitschüppchen an einer Stelle von braunen Hyphen netzartig durchzogen. Die Hyphen hatten dünne längliche Zellen, dazwischen aber auch rundliche kurze rosenkranzartig oder traubig angeordnete, so dass zunächst die Vermutung nahe lag, man könnte es mit Ölzellen zu tun haben. Bei näherer Untersuchung und Vergleichung mit Langs[1] Befunden stellte es sich heraus, dass hier der gleiche Parasit vorliegt, den Lang mehrfach angeführt[2], und wegen dessen er sich mit Bachmann auseinandergesetzt hat. Ein Zusammenhang der braunen Hyphen mit der vorliegenden Flechte (Rhizocarpon coniopsoideum) lässt sich nicht nachweisen. Dass sie das Mycelium eines fremden Pilzes sind, geht auch daraus hervor, dass an anderen Stellen die Glimmerplättchen nicht von diesen, noch von andersartigen Hyphen durch-

[1] Lang, l. c. p. 25.

[2] Ders., l. c. p. 13, 21.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

setzt sind. Nirgends zeigte der Parasit Beziehungen zu Gonidien irgendwelcher Art. Ich habe denselben Parasiten, ebenso wie Lang[1] häufig bei meinen Flechtenuntersuchungen angetroffen, bei der vorliegenden und bei anderen Spezies und auf allen möglichen Substraten. — Auffallend ist bei dem in Rede stehenden Befund in Glimmerblättern die weitgehende Ähnlichkeit des mikroskopischen Bildes mit einigen Abbildungen bei Bachmann[2], die er von Hyphen, ebenfalls in Muskovit vorgefunden, gegeben. Möglicherweise gehören die von ihm gesehenen Hyphen deswegen auch nicht dem Thallus der von ihm untersuchten Flechte an, sondern einem fremden Pilz, und eine Nachprüfung seiner Ergebnisse wäre wohl angezeigt. — Von dem Eindringen der Hyphen des Flechtenpilzes im Glimmer konnte ich nirgends auch nur eine Spur entdecken.

Fig. 5. Vergr. 250 : 1.

Mit der gleichen Methode an dem genannten Gneisstück vom darüberwuchernden Thallus befreite Feldspatstückchen, deren oberflächliche Teile leicht zertrümmert wurden, um das etwaige Eindringen der Hyphen zu erkennen, ergaben gleichfalls ein negatives Resultat. Nirgends war die geringste Spur des Flechtenpilzes innerhalb des Gesteins zu erkennen, nirgends nur auch die geringfügigste Erscheinung, die eine mechanische Inangriffnahme des Minerals durch Pilzhyphen hätte schliessen lassen können. Die an sich ja vielleicht etwas rohe Methode der Prüfung konnte deswegen einem Erfolg nicht hinderlich sein, weil der Feldspat infolge starker Verwitterung leicht bröckelte. Anhaftende oder zwischeneindringende

[1] Lang, l. c. p. 13, 21.

[2] Bachmann, Die Beziehungen der Kieselflechten zu ihrem Substrat. Berichte d. deutsch. Bot. Gesellsch. 1904. Bd. XXII Heft 2. Mit Tafel VII.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Hyphen wären daher erhalten geblieben und hätten um so eher vermutet werden können, als der nach zwei Richtungen gut, und überhaupt sogar nach drei Richtungen, spaltbare durch die starke Verwitterung in seiner Molekularstruktur wesentlich gelockerte Feldspat ein verhältnismässig leichtes Eindringen des Thallus oder einzelner Hyphen gestattet hätte. Trotzdem ist hiervon nichts zu beobachten, während z. B. fremde Algen in Haarspalten des Gesteins unter der Flechte eingedrungen und in Vermehrung begriffen waren.

Auch mit der grünlichen Hornblende des Handstücks No. 121 b in der Exsikkatensammlung wurde dieselbe Untersuchung auf eindringende Hyphen angestellt, und mit demselben negativen Ergebnis. Wenn Hyphen in das Mineral eingedrungen waren, so konnten sie der Beobachtung um so weniger entgehen, als die betreffende Hornblende in kleinen Teilstücken durchsichtig ist.

Überhaupt habe ich nirgends bei den von mir untersuchten Kieselflechten das Gestein von Hyphen durchdrungen gefunden, auch nicht Sandstein mit Calciumkarbonatgehalt. Bei Rhizocarpon subconcentricum z. B. habe ich beide Substrate der Exsikkatennummer 122 der Behandlung mit etwas verdünnter Salzsäure unterzogen und zwar wiederholt, das einemal die Substrate einige Minuten, das anderemal 18 Stunden der Einwirkung der Säure aussetzend. Der $CaCO_3$-Gehalt der Stücke ist nicht so gross, dass das Gestein auch nach dieser langen Säurebehandlung nicht seine Konsistenz noch behalten hätte. Absuchen der so behandelten Substrate nach Hyphen auf einer zur Thallusoberfläche senkrechten Fläche mit dem Simplex bei hundertfacher Vergrösserung im auffallenden Licht lieferte kein Ergebnis. Auch vorsichtige Zertrümmerung der obersten, unmittelbar unter der Flechte liegenden Gesteinsschicht zeigte neben den restierenden Quarzpartikeln keine pflanzlichen Teile.

Wenn also bei den mir vorliegenden Kieselflechten die Pilzhyphen weder in Quarz oder zwischen Quarzkörnern, noch in Feldspat oder Hornblende, noch in Glimmer, noch in kalkhaltigen Sandstein eindringen; wenn sie brüchigen Feldspat weniger bedecken als Hornblende; wenn sie stark verwitterte Flächen vermieden und dafür frischen Bruch in Angriff genommen haben: so spielen also für die Besiedelung der Flechte die strukturellen

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Verhältnisse des Gesteinsuntergrunds überhaupt keine Rolle. Und wenn vielleicht auch, wie oben (p. 410) gesagt, die die Schichtung brechenden Flächen bevorzugt werden, so kann dies in der länger anhaltenden Befeuchtung solcher Flächen genügend begründet sein.

Ist es aber nicht die strukturelle Beschaffenheit, so kann nur die chemische Eigentümlichkeit des Substrats die Flechte veranlassen, gewisse Gesteinsteile vor anderen zu bevorzugen. Sehen wir uns die zunächst verschmähten Teile näher an! Der Quarz wird am längsten gemieden. Quarz aber ist freie reine Kieselsäure (SiO_2). Auf Hornblendeschiefer bleibt der Feldspat neben der bewohnten Hornblende frei. Der Feldspat enthält in den hier allein in Betracht kommenden Varietäten 60 und mehr Prozent SiO_2, die dunkle Hornblende dagegen nur 40—50%, Der Quarz ist saurer als der Feldspat, der Feldspat saurer als die Hornblende. Der Flechtenpilz bevorzugt also offenbar die basischeren Gesteinsbestandteile und nimmt, wenn ihm solche zur Verfügung stehen, die saureren zunächst nicht in Angriff. Somit wird auf Gneis der Feldspat in erster, dasselbe Mineral von derselben Flechte auf Hornblendeschiefer in letzter Linie angegriffen, und zwar weil hier neben dem Feldspat die basischere Hornblende zur Verfügung steht, dort der saurere Quarz. Der Quarz des Gneises und der Feldspat des Hornblendeschiefers wird aber doch von der Flechte auch besetzt. Die Flechte weicht den sauren Gesteinsteilen also nicht überhaupt aus, wohl aber braucht sie längere Zeit, um saurere Partien von einiger Ausdehnung zu besiedeln. Der oben hervorgehobene Satz ist demnach dahin zu ergänzen: Der Flechtenpilz verschmäht die sauren Teile nicht überhaupt, aber er bewältigt sie langsamer.

8. Der Vorgang bei Bildung der Gesamtflechtenkruste.

So haben wir denn, um uns ein Bild von den Vorgängen bei der Entwicklung der Gesamtflechtenkruste zu machen, ein erstes Stadium der Besiedelung in jener Krustenbildung der Granitflechte von Burgbach (s. oben p. 421) vor uns, wo von dem ganz jugendlichen Thallus sämtliche Quarzkörner noch freigelassen sind. In anderen von den geschilderten Fällen hat sich ein normaler

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Thallus auf den basischen Oberflächenteilen gebildet. Präkurrierende Hyphen werden von einem Mutterthallus ausgesandt, um auch die sauren Teile, um insbesondere auch den Quarz in Angriff zu nehmen. Diese Hyphen verzweigen und kreuzen sich. Es bildet sich zunächst ein verworrenes, noch wenig differenziertes Hyphengeäst, das in Gemeinschaft mit irgendwie zugeführten Gonidien eine Art dünnen Thallusrasen bildet, — ein eigentliches „Vorlager". Der Pilz ist in diesem Stadium schon fähig, Apothecien hervorzubringen. Mit oder ohne Beiwirkung von Sporen bilden sich aus oder auf oder unter oder zwischen diesem Thallusrasen einzelne isoliert stehende, wie Vorposten aufgestellte kleine Thalli und bei ihrer Vermehrung die eigentliche gefelderte Thalluskruste von normalem Habitus, indem die Einzelthalli bei ihrer Vermehrung und Ausbreitung mit den Rändern zusammentreffen, polygonale Form annehmen, ihre Ränder meist aneinander aufbiegen und so dem Gesamtthallus das rauhe krustige Aussehen verleihen. Später verwachsen und verschmelzen die Einzelfelder, zwischen denen das ursprüngliche undifferenzierte Thallusgeflecht von Anfang an eine gewisse Verbindung hergestellt hatte, dadurch, daß an Stelle der früheren Rindenhyphen sich ein Hyphengeflecht in langgestreckter, den früheren Begrenzungslinien der Einzelfelder folgender Anordnung legt. So wachsen die scharfen und tiefen Risse zwischen den Feldern stellenweise zu, einzelne Feldergruppen sind nur noch teilweise von Rissen durchzogen, die Kruste im ganzen wird glätter.

Dies dürfte für viele Krustenflechten eine, wenn auch vielleicht nicht die einzige Art normaler Thallusbildung sein.

Ich bin in der Lage, diese Auffassung durch ein besonders lehrreiches Belegstück zu erhärten. Es ist ein von Herrn Professor Dr. Fünfstück gesammeltes und mir freundlichst zur Verwertung überlassenes Exemplar von Rhizocarpon geographicum L. auf Tonschiefer aus dem Berner Oberland. Die Flechte zeigt wegen ihrer lebhaft gelbgrünen Farbe, vermöge deren der Thallus sich scharf von der dunkleren Unterlage abhebt, die Ausdehnung und Anordnung der Thallusfelder schon makroskopisch sehr deutlich. Sie bewohnt eine annähernd ebene Schichtfläche des Gesteins. Eine ziemlich scharfe Linie teilt deutlich das Bild, das die Flechte darbietet, quer in zwei gleichgrosse Hälften von verschiedenem

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Aussehen. Auf der einen Seite haben wir eine ziemlich einheitlich gelbgrün erscheinende Fläche, unterbrochen von den zahlreichen schwarzen Früchten, ziemlich grosse Einzelfelder, durch schwarze schmale Risse getrennt, den Verlauf dieser trennenden Risse aber vielfach unvollkommen nach dem Schema der Zeichnung auf p. 412. Auf der anderen Seite der Bildfläche haben wir einzelne geschlossene Komplexe der Flechtenkruste, unterbrochen von dem schwärzlichen rasenartigen Thallusbelag. Die Einzelfelder dieser Komplexe sind kleiner, von breiteren und schärferen Rissen umgeben als in der jenseitigen Hälfte, jedes Einzelfeld vollständig begrenzt. In den schwärzlichen Rasenpartien verstreut sind viele runde, einzelnstehende Thalli, von den kleinsten kaum wahrnehmbaren bis zu fast normalen Dimensionen. Diese einzelnstehenden Thalli sind stellenweise ganz isoliert, stellenweise bilden sie schon mehr oder weniger dichte Gruppen. Die Abbildung dieses sehr lehrreichen Handstücks (Abb. 4 auf der beigefügten Tafel) gibt die Verhältnisse hinreichend deutlich wieder, wenn auch lange nicht so scharf wie das Original selbst, da die gelbe Farbe für die photographische Wiedergabe sehr ungünstig ist.

Das verschieden geartete Bild der beiden Hälften der flechtenbewohnten Fläche findet die einfachste Erklärung durch die Annahme, dass ursprünglich nur die eine Hälfte des (geschichteten) Gesteins oberflächlich zutage trat und von der Flechte besiedelt wurde. Nachher blätterten die die andere Hälfte ursprünglich bedeckenden Schichten ab, oder löste sich das ganze Schieferstück aus seinem anfänglichen Gesteinsverband, so dass auch die andere Hälfte für Licht, Luft, Wasser und damit für die Flechtenvegetation zugänglich wurde. Die Flechte, welche die erste Hälfte schon ganz überzogen haben mochte, breitete sich nun auch auf die andere aus. Es ist klar, dass hierbei eine scharfe Grenze zwischen älterem und jüngerem Flechtenbestand stehen bleiben musste. Die ältere Kruste ist die glatte, grösser gefelderte, zusammenhängende Flächen bildende, unvollständig durchrissene. Die Einzelthalli sind alle ausgebildet, haben sich zusammengeschlossen und untereinander zu verwachsen begonnen. Die rauhere, noch nicht geschlossene, kleiner und schärfer gefelderte, vielfach erst in der Ausbildung der isolierten Einzelthalli begriffene Kruste ist die jüngere.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Die geschilderten Vorgänge der Thallus- resp. Krustenbildung zeigen uns, was von der tatsächlich angewandten systematischen Verwertung der schärferen oder undeutlicheren Felderung, der rauheren oder glatteren Krustenbildung für die Einteilung der Flechtenformen zu halten ist. Ich kann mir nicht versagen, als Beispiel hierfür eben Rhizocarpon geographicum bei P. Sydow („Die Flechten Deutschlands." Berlin 1887. p. 196 u. 197) anzuführen. Nach der vorausgeschickten allgemeinen Diagnose heisst es dort:

„Formenreich:

f. contiguum Fr. — Felderchen flach, zusammenhängend und ineinanderfliessend, das Vorlager verdeckend.

f. atrovirens Fr. (= prothallinum Kbr.). — Felderchen klein, etwas zerstreut und getrennt. Vorlager vortretend.

f. geronticum Ach. (= alpicolum Kbr. pro parte) — Felderchen gross, intensiv gelb, geschwollen, fast runzelig.

pulverulentum (Schaer). — Felderchen ziemlich getrennt, weiss bestaubt.

immundum Kbr. — Felderchen zuletzt schmutzig ockergelb.

f. lecanorinum (Flk.). — Felderchen warzig aufgedunsen. Früchte eingesenkt, gleichsam lekanorisch berandet.

f. urceolata Schaer. Früchte krugförmig, an der Mündung hell."

Bei der ersten und zweiten dieser hier angeführten Formen haben wir es ganz sicher mit einem älteren und einem jüngeren Stadium der Krustenbildung zu tun, ebenso wohl bei den Unterabteilungen der Form geronticum.

9. Die Beteiligung der Flechtensporen an der Thallusbildung.

Ob bei der geschilderten Thallusbildung Sporen des Flechtenpilzes beteiligt sind oder nicht, muss vorläufig noch dahingestellt bleiben. Jedenfalls ist dies möglich; denn ich habe nicht nur auf und zwischen und unter, ja mitten im Thallus der ausgebildeten Flechten bei fast allen untersuchten Spezies verstreute reife Sporen des betreffenden Flechtenpilzes in ziemlicher Anzahl entdeckt, sondern auch, wie oben schon angeführt, in jenen mehrfach beschriebenen Thallusrasen oder Vorlagern und dendritischen Auflagerungen. Dass es sich um Sporen des jeweils in Betracht kommenden Flechtenpilzes handelte, liess sich leicht kontrollieren, da die Apothecien

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

oft ebenfalls reife Sporen enthielten. Die auf oder zwischen dem ausgebildeten Thallus verstreuten reifen Flechtensporen waren am besten zu finden, wenn vom Thallus Flächenschnitte abgehoben und unter das Mikroskop gebracht wurden. Dieselben verstreuten Sporen habe ich wie bei den Arnoldschen Exsikkaten, so auch bei lebender Xanthoria parietina (Okt. 1904) auf dem benachbarten Substrat ausserhalb des Thallus gefunden, ebenfalls durch Flächenschnitte, die von den benachbarten Holzteilen abgehoben wurden.

Dass übrigens diese Sporen, wenn die Flechte fruchtet, gefunden werden müssen, ist klar. Weit wichtiger ist die Frage, ob sich keimende Sporen finden lassen. Bei den untersuchten Exsikkaten fand ich aber trotz anhaltenden und genauen Nachforschens bei etwa zwei Dutzend verschiedenen Exemplaren keine auskeimenden Sporen. Öfters zwar glaubte ich solche gesehen zu haben. Die Sporen erschienen oft von einer gallertigen Haut umgeben; letztere schien da und dort kleine Ausstülpungen zu zeigen oder ab und zu auch vereinzelte Anfänge von Keimschläuchen. Allein in keinem derartigen Fall war ich sicher, ob nicht in der Nähe liegende abgerissene Hyphenenden oder ähnliche fremde Erscheinungen das Bild vorgetäuscht hatten, da ja in meinen Präparaten die Sporen überhaupt in oder auf oder neben einem Gemenge von Hyphen und Algen lagen, und ich wage nicht, das Vorhandensein gekeimter oder keimender Sporen in den untersuchten Exsikkaten zu behaupten. Auf der Suche nach keimenden Sporen der lebenden Xanthoria parietina entdeckte ich ebenfalls niemals auskeimende Xanthoriasporen, dagegen fand ich einmal eine dunkle vielzellige mauerähnlich gebaute Spore, wahrscheinlich eine Rhizocarponspore, die einen deutlichen, wenn auch kurzen Keimschlauch aufwies. Diese Spore lag zwischen allerhand Algen und Pilzhyphen auf der feuchten faulenden Oberfläche eines Zaunbalkens, auf welchem mehrere Flechten wohnten. In unmittelbarster Nähe des Fundplatzes waren flechtenbewohnte Bäume und Steine. Weitertragende Schlüsse lassen sich aus diesem vereinzelten Befund nicht ziehen. Die tatsächliche Beteiligung der Flechtenspore an der Thallusbildung ist noch immer eine offene Frage.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

C. Der anatomische Aufbau des Flechtenthallus und seine Abhängigkeit vom Substrat.

1. Der Thallusbau im allgemeinen.

Wie wir gesehen haben, ist Mass und Art des Wachstums unserer Flechten wesentlich beeinflusst durch die chemische Beschaffenheit ihres Wohngrundes. Dass auch der anatomische Aufbau des Flechtenkörpers durch die Verschiedenheit der Nährböden modifiziert wird, hat die neuere Flechtenforschung (Fünfstück, Bitter, Bachmann etc.) schon festgestellt. Lang und Friedrich haben für calcisede und silicisede Flechten je einen besonderen Typus des anatomischen Thallusaufbaus nachgewiesen. Die Typen unterscheiden sich insbesondere durch das verschiedene Verhältnis in der Mächtigkeit der oberen Rinden-, der Gonidien- und der Hyphenschicht.

Es war daher für die Zwecke der vorliegenden Arbeit von besonderer Wichtigkeit, den Thallusbau anatomisch zu untersuchen und seine Beziehungen zur Unterlage festzustellen. Von selber ergab sich die Fragestellung, ob ein und dieselbe Spezies auf verschiedenem Substrat gewachsen verschiedenen anatomischen Bau aufweist, und ob die Flechte auch auf relativ geringe Verschiedenheiten des Substrats schon reagiert.

Um dies festzustellen, nahm ich an einer grösseren Zahl von Querschnitten Messungen vor, und als sich tatsächlich bei ein und derselben Flechtenart bemerkenswerte Unterschiede hinsichtlich der Schichtenmächtigkeit ergaben, je nachdem sie auf dem einen oder anderen Substrat gewachsen war, liess ich genaue Substratanalysen anfertigen. —

Was nun den Thallusbau im allgemeinen betrifft, wie er aus Quer- und Flächenschnitten zu erkennen ist, so bestätigt der anatomische Befund zunächst das über die Entwicklung der Gesamtflechtenkruste aus Einzelthalli Gesagte. Die Einzelfelder erscheinen nicht nur in Flächenschnitten, sondern auch in günstig geführten Querschnitten allseitig, also auch seitlich berindet (vergl. Fig. 6), wobei die seitliche Rinde unmittelbar die Fortsetzung der oberen Rinde bildet und unmittelbar in die untere Hyphen- oder Rindenschicht übergeht.

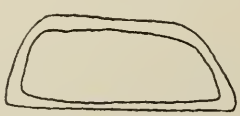

Fig. 6. Schematisch.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Die untersuchten Flechten sind heteromer. Die Berindung ist meist schwach; oft ist kaum eine eigentliche Rinde zu unterscheiden. Manchmal, nicht immer, erscheint die Rinde mit einem deutlichen dunkleren Randsaum, am deutlichsten bei Rhizocarpon coniopsoideum No. 121 b unserer Exsikkaten (Amphibolitgrundlage). Die Gonidienschicht ist nur in seltenen Fällen eine geschlossene. Eigentlich geschlossen tritt sie nur bei Rhizocarpon coniopsoideum 121 b (Amphibolit) und Rhizocarpon subconcentricum 124 a und 124 b (Granit) auf. Die Gonidien sind meistens in Nestern geschart, manchmal so, dass weite Strecken zwischen den Nestern ganz gonidienlos bleiben. So bei Rhizocarpon subconcentricum 122 a (Sandstein). Dann wieder erscheinen die Algen unregelmässig zerstreut, auch die im übrigen wohl unterscheidbare Hyphenschicht in verirrten Exemplaren noch bewohnend, wie bei Rhizocarpon subconcentricum 123 b (Sandstein). Bei Rhizocarpon coniopsoideum 120 treten sie stellenweise in geraden der Thallusoberfläche parallelen Reihen auf. Wo sie dicht stehen, sind sie meist kleiner, als wo sie verstreut sind; ihre Grösse schwankt innerhalb ziemlich bedeutender Grenzen ($< 4 — > 20\ \mu$). Die geschilderte Mannigfaltigkeit in der Anordnung der Gonidien hat offenbar mit den Substratverschiedenheiten nichts su tun. Ihren Gründen nachzugehen, dürfte schwierig sein und lag ausserhalb der Aufgabe, die ich mir gestellt. (Dagegen scheint die verschiedene Grösse der Einzelgonidien in Beziehung zur Beschaffenheit der Unterlage zu stehen. s. u.)

Bei einzelnen Präparaten umschliessen von unten nach oben mehr oder weniger schief ziehende Hyphenstränge die Gonidiennester, resp. trennen sie die letzteren voneinander. Diese Hyphenstränge scheinen radialstrahlig von einem Punkt auszugehen (vgl. Fig. 7 u. 8). Dieser Punkt könnte vielleicht als der Ausgangspunkt der Entwicklung des ganzen Einzelthallusfeldes angesehen werden, und meine Beobachtung würde ein Analogon bilden zu der von Friedrich[1] mitgeteilten, wonach bei Staurothele rugulosa Mass. „die Gonidien linear angeordnet sind und diese Goni-

Fig. 7 und 8. Schematisch.

[1] Friedrich, l. c. p. 8.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

dienschnüre alle von einem Punkt strahlenförmig ausgehen, so dass es den Anschein hat, als ob das Wachstum des ganzen Thallus von eben diesem Punkt aus seinen Ursprung genommen habe". Wie aber dieser Entwicklungsprozess näher vorzustellen ist, dazu geben mir die wenigen Präparate, welche mich auf die genannte Anordnung des Thallusbaus schliessen liessen, zu wenig Anhaltspunkte.

Die Hyphenzone bei den von mir untersuchten Krustenflechten ist ein dicht verfilztes Mycel. Rhizinen habe ich bei den hier in Betracht kommenden Spezies nicht gefunden.

2. Das Verhältnis der Schichtenmächtigkeit im Thallusbau.

Von höchstem Interesse ist es nun, die Schichtenmächtigkeit im Thallusbau bei den verschiedenen Substraten zu vergleichen, vor allem das Verhältnis des Gonidienraums und der Hyphenzone. Wegen der ungleichmässigen Verteilung der Gonidien rede ich absichtlich nicht von einer Gonidienschicht, sondern von einem Gonidienraum. Die Herstellung zum Messen geeigneter Querschnitte gelang oft nur schwer, auch wechselt die Stärke besonders des Gonidienraums oft bei dem gleichen Querschnitt in auffallender Weise, so dass es schwierig ist, zu Durchschnittszahlen zu gelangen. Ich verzichte daher auf solche und gebe überall die wirklich gemessenen Verhältnisse an, und dies um so unbedenklicher, als sich zeigen wird, dass auch die extremen Werte brauchbare Resultate für die Beurteilung liefern. Immerhin aber wird man vorsichtig sein müssen, vereinzelte Ermittlungen zu verallgemeinern. Zur Erleichterung der Vergleichung sind im folgenden die Befunde in tabellarischer Form zusammengestellt. Die dabei angegebenen Zahlenwerte bedeuten durchweg μ.

In die Übersichtstabellen sind auch die Grössenangaben für die Einzelgonidien eingefügt, da eben aus ihrer Zusammenstellung hervorgeht, dass nicht nur die Mächtigkeit des Gonidienraums, sondern auch die Grösse der Einzelindividuen im Zusammenhang mit der Substratbeschaffenheit steht.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Tabelle I.

a) Schichtenmächtigkeit bei Rhizocarpon coniopsoideum.

Nummer u. Substrat	Rinde (Aussensaum + weisse Hyphen)	Gonidienraum	Hyphenzone	Grösse der Einzelgonidien
120 Gneis . . .	2—5 (selten — 10)	> 150	10—12	gross, 10—15
121 a „ . . .	5—10	120	15	gross
„ . . .	5—10	> 200	20	„
„ . . .	15	170	15	„
497 Amphibolit .	15—20	100	50	mittel (durchschn. < bei 121 a > bei 121 b)
121 b Amphibolit	10—15	40	120	klein, 5—6
„	25	45	100	klein
„	40	60	120	„

Der auffallendste Unterschied zeigt sich zwischen No. 120 und 121 a einerseits und No. 121 b anderseits. Die beifolgenden Zeichnungen mögen diesen Unterschied noch mehr verdeutlichen.

Bei No. 120 ist die Ausbildung der Gonidienschicht meist so stark, dass der Thallus wie ein allseitig schwach mit Hyphen eingefasster Gonidienkomplex erscheint. Der Thallusquerschnitt von No. 121 b zeigt dem gegenüber einen ganz auffallenden Unter-

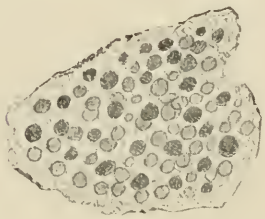

Fig. 9 und 10. Thallusquerschnitte.
No. 120. (Gneis). Vergr. 300 : 1. No. 121 b (Amphibolit). Vergr. 200 : 1.

schied. Der Thallus ist oben derb berindet, die Rinde besteht aus braunen, kurzgliedrigen robusten Hyphen. Darunter folgt eine dünne helle Hyphenschicht, dann der Gonidienraum. Die Gonidien darin sind wesentlich kleiner als bei den gneisbewohnenden Exemplaren, die Gonidienzone selbst ist ziemlich reduziert. Die Hyphenschicht unter der Gonidienzone übertrifft die letztere stark an Mächtigkeit.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Der Thallus von No. 497 hält in seinem anatomischen Aufbau die Mitte zwischen demjenigen von No. 120 und 121a einerseits und dem von No. 121b anderseits, sowohl was die Grösse der Einzelgonidien, als was das Verhältnis der Gonidienzone zur Hyphenschicht, und was die Berindung angeht, sofern die letztere noch einen braunen Aussensaum an der Oberfläche zeigt, aber viel weniger ausgeprägt als 121b.

Tabelle II.

b) Schichtenmächtigkeit bei Rhizocarpon subconcentricum.

Nummer u. Substrat	Rinde	Gonidienraum	Hyphenzone	Grösse der Einzelgonidien.
124b Granit	24	60	16	mittelgross (bis 10)
„	10+20	60	15—45	„
„	5—10+20	40—80	10	„
„	15	60	12	„
124a Granit	20	60	40	mittelgross
„	20	80	155	„
„	30	80	100	„
„	30	60	160	„
„	40	70	> 100	„
123b Sandstein annähernd frei von $CaCO_3$ . .	10	100	0	gross
„ . .	20	65	0	„
„ . .	5—8	75	0	„
„ . .	30	30	75	„
„ . .	8	60	40	„
„ . .	25	50	120	„
123a Sandstein mit wenig $CaCO_3$ . .	40	25	20	wechselnd, meist klein
„ . .	20	70	20	„
„ . .	25	50	25	„
„ . .	25	45	30	„
„ . .	40	45	40	„
„ . .	20	40	30	„
„ . .	20	60	30—100	„
„ . .	30	40	30	„
„ . .	45	50	60	„
„ . .	50	30	50	„
„ . .	20	40	30	„

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Nummer u. Substrat	Rinde	Gonidienraum	Hyphenzone	Grösse der Einzelgonidien
122 a Sandstein mit wenig $CaCO_3$ . .	20	80—100	45—50	ziemlich gross
„ . .	25	90	25	„
„ . .	12	50	140	„
„ . .	20	70	120	„
122 b toniger Kalksandstein mit mehr $CaCO_3$	20	60	160—220	mittelgross

Bei No. 124b (Granit) ist die Gonidienschicht geschlossen, aus zahlreichen Individuen bestehend. Bei No. 124a (Granit) haben wir dieselbe strammgeschlossene Gonidienschicht von ungefähr der gleichen Mächtigkeit wie bei 124b, die Hyphen dagegen ungleich stärker entwickelt als dort. — Bei No. 123b (annähernd kalkfreier Sandstein) lässt sich die Gonidien- und die Hyphenschicht oft nicht scharf trennen, es treten verstreute Gonidien oder Gonidienhäufchen auch innerhalb der Hyphenschicht, ja noch am Grunde derselben auf. Die starke Differenz in den Zahlenangaben der Tabelle erklärt sich daraus, dass an manchen Stellen der ganze Hyphenraum noch mit verstreuten Gonidien, wenn auch nicht so zahlreich wie in der eigentlichen Gonidienschicht, besetzt ist, daher eine eigene Hyphenschicht nicht unterschieden wird (Hyphenschicht 0); an anderen Stellen dagegen setzt eine Hyphenschicht vom Gonidienraum ab, enthält aber doch bis zum Grunde noch Gonidien. Die auffallend starke Hyphenschicht (75, ja 120 μ) kann also nicht als reine Hyphenschicht in Anspruch genommen werden. — Bei 123a (schwach kalkhaltiger Sandstein) intermittieren die Algenkomplexe oft auf weite Strecken. — Bei 122a (schwach kalkhaltiger Sandstein) ist die Gonidienschicht ungleich dick, ihre Grenze nach oben und unten eine Art Wellenlinie. Die Gonidien sind ganz unregelmässig verteilt, ohne irgendwie geschlossene Einheiten zu bilden. Die auffallende Differenz in der Stärke der Hyphenschicht bei den verschiedenen Schnitten rührt wohl daher, dass die Schicht bei den Schnitten mit geringer Mächtigkeit der Hyphenzone nicht vollständig vom Substrat abgelöst wurde, so dass die Schnitte mit höheren Zahlen für die Hyphenschicht die typischen Verhältnisse darbieten. — Bei No. 122b (dichter toniger Kalksandstein) haben wir die Hyphenschicht am üppigsten von allen sechs Proben entwickelt.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

3. Die für die ungleiche Entwicklung der Schichten massgebenden Substratbestandteile.

Der anatomische Befund zeigt also wesentliche Unterschiede im Thallusbau, und zwar bei Vertretern der gleichen Flechtenart. Wie sind diese Erscheinungen zu deuten?

Lang und Friederich haben aufgezeigt, worauf schon Fünfstück wiederholt hingewiesen hat, dass der Calciumkarbonatgehalt des Substrats die Ausgestaltung des Thallus beeinflusst. Daraus erklärt sich ohne weiteres der verschiedenartige aus Tabelle II ersichtliche Befund, soweit er die auf $CaCO_3$-haltigen Sandsteinen gewachsenen Exemplare von Rhicocarpon subconcentricum betrifft. Substrat 123b ist annähernd vollständig oder vollständig calciumkarbonatfrei, wenn auch nicht von Haus aus, sondern nur durch Auslaugung seines Gehalts an $CaCO_3$ verlustig gegangen. Die Substrate 123a und 122a sind schwach, 122b wesentlich stärker $CaCO_3$-haltig. Bei No. 123b haben wir entweder keine ausgesprochene oder eine bis in die tiefsten Regionen noch mit Gonidien durchsetzte Hyphenschicht, bei 123a und 122a eine deutliche, aber immer noch mässig entwickelte Hyphenzone, deren Mächtigkeit bei 123a derjenigen des Gonidienraums ungefähr gleichkommt, bei 122a ungefähr das Doppelte von jener beträgt; während wir bei 122b einer Hyphenschicht begegnen, welche die vierfache Mächtigkeit der zugehörigen Gonidienzone aufweist.

Soweit liegen die Verhältnisse klar, bieten aber auch keine neue Erkenntnis. Immerhin bestätigen sich Langs und Friederichs Aufstellungen auf das exakteste, und es ist bemerkenswert, dass die Reaktion auf den $CaCO_3$-Gehalt eine ziemlich empfindliche ist; denn der Gehalt an $CaCO_3$ ist bei allen in Rede stehenden Substraten noch ein verhältnismässig geringer und hat z. B. noch nirgends zur Bildung von Ölhyphen oder Ölzellen Anlass gegeben.

Aber auch die nicht $CaCO_3$-haltigen Substrate von Rhizocarpon coniopsoideum (Tabelle I) und die ebenfalls $CaCO_3$-freien Granitsubstrate von Rhizocarpon subconcentricum (Tabelle II) haben auffallende Differenzen im Thallusbau der auf ihnen wohnenden Flechten hervorgerufen. Es kann also der Gehalt des Sub-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

strats an $CaCO_3$ nicht in allen Fällen und damit auch nicht allein für den Thallusaufbau massgehend sein.

Bei Rhizocarpon coniopsoideum stehen Gneis- und Amphibolitsubstrate einander gegenüber. Weder Gneis noch Amphibolit enthalten kohlensauren Kalk. Dagegen ist der Gneis ein saures, der Hornblendeschiefer ein ziemlich basisches Gestein. Und da wir gesehen haben, wie die Basizität eines Gesteinsuntergrundes auf das Thalluswachstum von ersichtlich günstigem Einfluss ist, liegt der Gedanke nahe, dass die Basizität der Unterlage es sein werde, die dem Pilze, d. h. derjenigen Komponente des Flechtenkörpers, die auf die Nährstoffe des Untergrundes angewiesen ist, ein stärkeres Wachstum sichert.

Da ferner der Amphibolit, auch wenn er kohlensauren Kalk nicht enthält, doch in seinem Hauptgesteinsbildner, der Hornblende, einen oft sehr kalkreichen Bestandteil besitzt, ist zu erwägen, ob es nicht der Kalkgehalt überhaupt — also nicht bloss der Gehalt an kohlensaurem Kalk — sein dürfte, der für das Hyphenwachstum besonders in Betracht kommt. Auch Friederich hat bei seinen Silikatflechtenuntersuchungen auf Hornblendegesteinen verhältnismässig starke Hyphenschichten angetroffen, ohne allerdings für diesen Umstand eine Deutung zu suchen.

Es liesse sich also vermuten, dass vermehrtes Hyphenwachstum, wo es nicht durch Calciumkarbonat verursacht ist, entweder durch den Gehalt der Unterlage an Kalk oder durch deren Gehalt an basischen Bestandteilen überhaupt bedingt wird.

Vergleichen wir zur Prüfung dieses deduktiven Schlusses die Ergebnisse der anatomischen Untersuchung! Dass der Gneis bei den verschiedenen Proben von Rhizocarpon coniopsoideum entschieden die ärmste Hyphenzone erzeugt hat, darf wohl ohne weiteres als Stütze für den Satz in Anspruch genommen werden, dass auf sauren Gesteinen die Pilzschicht sich dürftiger entwickelt als auf basischeren. Abgesehen von einer Reihe eigener Beobachtungen, die dies bestätigen, kann ich mich hierfür auch auf Friederichs Untersuchungen berufen, der zwar diesen Erklärungsversuch noch nicht unternommen, aber eine Reihe von Beobachtungen registriert hat, die in unserem Zusammenhang als beweiskräftig beigezogen werden dürfen. Er verzeichnet in seiner mehrfach zitierten Dissertation für Dimelaena Mougeotioides Nyl. auf Gneis

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

(sauer) einen Gonidienraum von 140 μ, eine Hyphenzone von 105 μ, für Buellia Aethalea Ach. auf Porphyr (sauer) die betreffenden Masse mit 125 bezw. 70 μ, für Callopisma rubellianum Ach. auf Amphibolit (basisch) mit 80 bezw. 160 μ, für Buellia minutula Hepp gleichfalls auf Amphibolit mit 40 bezw. 150 μ. Alle diese Befunde entsprechen den in Tabelle I für Gneis- und Amphibolitexemplare von Rhizocarpon coniopsoideum angeführten.

Die beiden Amphibolitexemplare zeigen nun aber unter sich wieder eine bemerkenswerte Verschiedenheit in der Hyphenstärke der von ihnen ernährten Flechte. Ist nun bei den beiden Substraten 121 b und 497 die Summe der basischen Bestandteile oder der Kalkgehalt ein wesentlich verschiedener, welch letzterer allerdings bei Hornblende und noch mehr bei Hornblendegesteinen in ziemlich weiten Grenzen schwanken kann? Nur die chemische Analyse kann darüber sicheren Aufschluss geben.

Es sei daher hier eine vollständige genaue Gesteinsanalyse für die dreierlei in Betracht kommenden Substrate unserer Flechtenart beigefügt und zugleich aus Tabelle I die Schichtenmächtigkeit der von ihnen getragenen Flechtenkörper wiederholt (und zwar in ihren extremen Werten)!

Tabelle III.

Substratanalysen für Rhizocarpon coniopsoideum.

	Gneis 121a	Amphibolit 497	Amphibolit 121b
Wasser (bei ca. 200°)	0,30 %	0,20 %	0,50 %
Glühverlust (Wasser und organ. Spuren)	0,80	1,35	0,60
Kieselsäure (Spur Titansäure?)	68,50	48,00	45,05
Tonerde	16,50	17,20	16,50
Eisenoxyd	1,90	—	—
Eisenoxydul	—	11,05	12,02
Manganoxyd (Oxydul?)	kaum Spuren		Spuren
Kalk	2,48	10,65	9,85
Magnesia	1,02	8,05	12,05
Natron	3,80	2,50	2,75
Kali	4,10	Spuren	Spuren
Unbestimmtes und Rest	0,60	1,00	0,68
	100,00	100,00	100,00
Rindenschicht	5—10 μ	15—20 μ	10—40 μ
Gonidienschicht	120—200 μ	100 μ	40—60 μ
Hyphenschicht	15—20 μ	50 μ	100—120 μ

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Der Flechtenkörper von No. 121b nähert sich am meisten dem Typus der Kalkflechten, und wirklich zeigt uns die Analyse, dass der Gesamtgehalt seines Substrats an basischen Bestandteilen um 3% höher ist, als derjenige bei No. 497. Trotzdem ist es überraschend, wenn dieser verhältnismässig geringe Unterschied einen so starken Ausschlag im Thallusbau ergeben sollte, wie dies hier der Fall ist; wenn ein Überschuss von 3% in der Gesamtmenge der basischen Mineralteile das Verhältnis zwischen Gonidienschicht und Hyphenschicht (2 : 1) in das gegenteilige (1 : 2) zu verwandeln, also eine im Verhältnis viermal mächtigere Hyphenschicht zu erzeugen vermöchte. Wenn wirklich jene 3% diese Wirkung hervorgebracht hätten, dann müsste bei den weiten Grenzen, innerhalb deren die Summe der basischen Gemengteile bei Silikatgesteinen variiert, die Verschiedenheit im Aufbau der Flechtenkörper eine noch weit grössere sein, als sie es tatsächlich ist. Ich nehme also an, dass die Gesamtmenge des basischen Anteils in der Zusammensetzung der Substrate den verschiedenartigen anatomischen Befund im vorliegenden Fall nur zum Teil befriedigend zu erklären vermag.

Aber auch die Vergleichung des Kalkgehalts der beiden Hornblendegesteine vermag diese befriedigende Erklärung noch nicht zu geben. Denn der Kalkgehalt ist merkwürdigerweise bei beiden Substraten annähernd gleich, ja bei 497, dessen Flechte vom Typus der Kalkflechten weiter entfernt ist, noch um 0,8% grösser als bei 121b. Also kann im vorliegenden Fall auch der Kalkgehalt für den Thallusbau nicht ausschlaggebend mitgewirkt haben.

Einen auffallenden Unterschied bemerken wir nun aber in den Analysen der Tabelle III bei dem Magnesiagehalt der untersuchten Substrate. Es liegt ohne weiteres nahe, deswegen sogleich den Schluss zu ziehen: also wirkt hier der Magnesiagehalt des Substrats in erster Linie bestimmend auf die anatomische Gestaltung des Flechtenthallus ein, und zwar so, dass ein vermehrter Magnesiagehalt das Hyphenwachstum fördert. So naheliegend dieser Schluss war, habe ich ihn doch nicht ohne weiteres gezogen.

Der einfachste und zugleich sicherste Weg, die Frage zu lösen, wäre die Anfertigung einer grösseren Zahl, etwa einiger Dutzende, von genauen Substratanalysen. Diesen Weg konnte ich schon aus Mangel an weiterem passenden Flechtenmaterial gleicher

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Spezies auf qualitativ verschiedener Grundlage nicht einschlagen. Er verbot sich mir auch noch aus anderen Gründen.

Um dennoch zu einer Entscheidung zu gelangen, ging ich von der Erwägung aus: eine Flechte auf einem von basischen Bestandteilen ganz freien Substrat, die also ihre wesentlichen mineralischen Nährstoffe nicht aus diesem ihrem Substrat bezieht, müsste in der Zusammensetzung ihrer Trockensubstanz den Nachweis darüber erbringen, welche Mineralstoffe ihr besonders zusagen, und die Trockenanalyse der Flechtensubstanz überhaupt könnte wertvolle Fingerzeige zur Beantwortung der Frage bieten, welche basischen Bestandteile als die wirksamsten Faktoren das vermehrte Hyphenwachstum zustande bringen.

Das Problem der Ernährung auf reinem Quarz, d. h. auf vollständig steriler Grundlage, gewachsener Flechten beschäftigte mich sowieso. Ich liess daher eine genaue quantitative Trockenanalyse einer auf reinem Quarz gewachsenen Flechtenprobe vornehmen. Das betreffende Flechtenmaterial ist von Prof. Dr. Sauer-Stuttgart bei Viechtach im Bayrischen Walde gesammelt worden und stammt vom sogen. „Pfahl", dem grössten uns bekannten Quarzgang. — Ich gebe im folgenden den in mancher Hinsicht sehr interessanten Bericht des Herrn Dr. Hundeshagen („Dr. Hundeshagen und Dr. Philip, Chemisches Laboratorium Stuttgart") zu der Analyse der Pfahlquarzflechte annähernd wörtlich wieder:

„Zu der . . . quantitativen Analyse der Aschenbestandteile der Flechten diente das durch mechanische Reinigung möglichst von anhaftenden Mineralteilchen befreite, bei 100° C. getrocknete Material der braunen und schwarzbraunen, teils in Krusten aufgewachsenen, teils laubartig frei entwickelten Flechtenvegetationen von denjenigen Teilen der Gesteinsstücke, welche der freien Oberfläche des Quarzfelses angehört hatten, und zwar: von den Krusten ca. 0,43 g, von den frei entfalteten Flechten 0,22 g, zusammen 0,65 g wasserfreier Flechtensubstanz.

In der nachfolgenden Zusammenstellung ist unter „Reinasche" die Gesamtheit derjenigen Mineralstoffe verstanden, welche nach der Veraschung der organischen Substanz bei möglichst gemässigter Glühhitze in Wasser und in kalter ca. 10%iger Salzsäure löslich waren, einschliesslich der nicht in Form von Quarz oder Silikaten vorhandenen amorphen Kieselsäure, soweit diese durch chemische

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Trennung bestimmbar war. Unter „Flechtenreinsubstanz“ ist zu verstehen die nach Abzug der mechanisch beigemengten Mineraltrümmer („Gangart“) von der Flechtenrohsubstanz verbleibende aschehaltige wasserfreie Flechtensubstanz.

100 Teile der wasserfreien Flechtenrohsubstanz enthielten:

	Gangart etc.	Reinasche
Krustenartige Flechten	10,9	17,0 Teile
frei gewachsene Flechten	0,9	19,50 „
beide zusammen	9,2	17,85 „

Die „Gangart“ bestand aus fast reinem Quarz mit nur Spuren anderer Mineralien, nämlich schwer zersetzlicher Silikate und Eisenerzstäubchen.

100 Teile der wasserfreien Flechtenreinsubstanz enthielten:

Tabelle IV.

Gesamtasche (Reinsche) 19,66 %		
darin:		% der Reinasche
Kalk	2,71	13,8
Magnesia	2,69	13,7
Natron	1,24	6,3
Kali	1,11	5,6
Eisenoxyd und Spur Tonerde . .	3,02	15,3
Manganoxyd	geringe Spur	
Kieselsäure	6,72	34,2
Schwefelsäure	1,14	5,8
Phosphorsäure	0,84	4,3
Chlor	Spuren	Spuren
Unbestimmtes und Rest	0,19	1,0
	19,66	100,0

. . . Bezüglich der Kieselsäure und des Eisenoxyds ist zu bemerken, dass, da eine scharfe Trennung dieser Bestandteile der Reinasche von den betreffenden Bestandteilen der Gangart praktisch nicht ausführbar ist, obige Zahlen vielleicht nicht ganz den wirklichen Verhältnissen entsprechen.

Ferner zeigten sich auf solchen Flächen der Gesteinsstücke, welche Spalten des Quarzfelses begrenzt hatten, dünne, lederige, braunschwarze Flechtenüberzüge (a), hauptsächlich die äusseren Ränder der Sprungflächen einnehmend, sowie von ersteren ziemlich scharf absetzend und mehr die inneren Teile der Flächen bedeckend, mehlige, weissliche Häute von Pilzhyphengewebe (b). Der Befund

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

der qualitativen Untersuchung der Aschenbestandteile dieser Gewebe entsprach bei a) ungefähr der oben aufgeführten Aschenanalyse; bei b) war aus den Reaktionen auf eine im ganzen ähnliche qualitative Zusammensetzung, jedoch auf einen besonders hohen Gehalt der Asche an Schwefel- und Phosphorsäure und einen beträchtlicheren Gehalt an Kali bei verhältnismässig geringerem Gehalt an Eisenoxyd zu schliessen.

Leider musste bei der Untersuchung der Aschen wegen des äusserst beschränkten Materials von einer Prüfung auf etwa vorhandenes Fluor abgesehen werden. Es ist mit grosser Wahrscheinlichkeit anzunehmen, dass Fluor im Stoffwechsel der Flechten eine gewisse Rolle spielt."

Eine qualitative Aschenanalyse der Flechtenproben von No. 121a, 121b und 497 „ergab übereinstimmend als Hauptbestandteile der Asche: Kalk, Magnesia, Eisenoxyd, Natron, Kali, Kieselsäure, Schwefelsäure und deutliche Mengen Phosphorsäure".

Nach den Mitteilungen von Dr. Hundeshagen war besonders der Magnesiagehalt neben dem Kalkgehalt der Flechtensubstanz in allen Fällen ein überraschend hoher. Und so gestatten uns diese Analysen der Flechtensubstanz einen wertvollen Rückschluss zur Beurteilung der Verhältnisse bei unseren Amphibolitexemplaren 121b und 497. Kalk und Magnesia sind die wichtigsten Faktoren für das Hyphenwachstum. Der Kalkgehalt beider Amphibolite hat gegenüber dem kalkarmen Gneis bereits einen ziemlich deutlichen Ausschlag gegeben und den morphotischen Charakter des Thallusbaus wesentlich verändert. Unter sich aber unterscheiden sich die Amphibolite durch ihren Magnesiagehalt, und tatsächlich ist es auch dieser, der das Hyphenwachstum bei No. 121b über das Mass desjenigen bei 497 hinaus gefördert hat. Dazu kommt noch bei 121b ein Plus von Eisenoxyd und das Überwiegen der basischen Bestandteile überhaupt, und wir haben für die anatomische Verschiedenheit der beiden Flechtenproben den zureichenden Grund gefunden.

Bei den gneisbewohnenden Exemplaren ist noch bemerkenswert, dass die Hyphenschicht so überaus gering bleibt trotz des in der Analyse aufgezeigten hohen Alkaligehalts des Gneises. Da auch die Trockenanalysen der Flechtensubstanz allgemein einen verhältnismässig geringen Prozentsatz an Alkalien ergeben, so

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

scheinen also die letzteren auf das Hyphenwachstum einen besonders fördernden Einfluss nicht auszuüben.

4. Die Beeinflussung des Flechtenbaus durch fremde Mineralbestandteile.

Die quantitative Aschenanalyse in Tabelle IV lehrt uns aber nicht nur, was dem Geschmack der Flechten zusagt. Sie lehrt uns auch, dass die Flechten zum Bezug ihrer mineralischen Nährstoffe nicht auf ihr Substrat allein angewiesen sind, da jene Quarzflechten nicht weniger als $\frac{3}{5}$ der prozentualen Menge ihrer Mineralsubstanz unmöglich aus ihrem Substrat ziehen konnten. Zehn Elemente macht die Analyse namhaft, welche die Flechten „von auswärts" bezogen haben müssen (Ca, Mg, Na, Ka, Fe, Al, Mn, S, P, Cl).

Somit kann auch der anatomische Aufbau des Thallus nicht allein von der Beschaffenheit des Substrats abhängig sein, sondern eventuell auch von auswärtiger Zufuhr mineralischer Nährstoffe. Und damit erklären sich sicherlich so manche Anomalien, welche da und dort einmal im Bau des Flechtenkörpers den erwarteten typischen Befund vermissen lassen. Wäre die Flechte allein auf die Mineralsubstanz ihrer Wohnungsgrundlage angewiesen, und wäre jene Zufuhr mineralischer Nährstoffe von aussen her nicht auch von Einfluss auf den Bau des Flechtenkörpers, so würde der Thallusbau der Flechten geradezu als ein Hilfsmittel der petrographischen Untersuchung für die Frage nach der Basizität des Substrats, insbesondere für dessen Gehalt an Kalk und Magnesia benützt werden können. So aber, wie die Verhältnisse tatsächlich liegen, lässt sich nur sagen: Die chemische Beschaffenheit des Gesteinsuntergrundes beeinflusst sicher den Thallusbau der auf ihm wohnenden Flechten, der Thallusbau epilithischer Flechten aber lässt nicht immer einen sicheren Rückschluss auf die chemische Beschaffenheit des Gesteinsuntergrundes zu.

Ein Beispiel hierfür bieten uns unsere beiden Flechtenproben von Rhizocarpon subconcentricum auf Granit 124a und 124b. Da diese Flechtenexemplare ebenfalls einen bemerkenswerten Unterschied der Schichtenmächtigkeit aufweisen, war auch hier die Substratanalyse angezeigt.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Tabelle V.

Substratanalysen für Rhizocarpon subconcentricum.

	Granit 124a	Granit 124b
Tonerde	12,48 %	7,78 %
Eisenoxyd	2,08	1,56
Kalk	0,33	2,68
Magnesia	0,30	0,47
Natron	3,88	2,08
Kali	2,66	0,40
Kieselsäure und Rest	78,27	85,03

Die Schichtenmessung hatte als extreme Werte ergeben:

Rinde	29—40 μ	15—35 μ
Gonidien	60—80 μ	40—80 μ
Hyphen	100—160 μ	15—45 μ

Bei den Analysen der Tabelle V wurden nur die basischen Bestandteile direkt ermittelt, aus der Differenz ergibt sich dann der ungefähre Gehalt an Kieselsäure.

Die Flechte 124a hat die stärker entwickelte Hyphenschicht und das basischere Substrat. Die Summe der Basen übersteigt hier diejenige des anderen Granitsubstrats um $6\frac{3}{4}$ %. Der Alkaligehalt ist um 4 %, der Eisenoxydgehalt um $\frac{1}{2}$ % höher als bei 124b, der Gehalt an Magnesia so ziemlich gleich, der Kalkgehalt dagegen um $2\frac{1}{3}$ % niederer.

Hier könnte es nun zunächst scheinen, als ob die Alkalien ausschlaggebend gewirkt, und als ob der Kalkfaktor versagt hätte, da gerade der letztere bei 124a (stärkere Hyphen) fehlte, bei 124b (schwächere Hyphen) gegeben war. Allein es ist zu bedenken, dass der Kalkgehalt von Substrat 124b an sich ein sehr mässiger ist und somit vielleicht noch nicht imstande, gegenüber von einem Unterschied von fast 7 % in der Basizität überhaupt ausgleichend zu wirken. Dann aber wurde in der Analyse der Trockensubstanz von 124a „ein bedeutender Gehalt an Kalk und Spuren von Magnesia“ nachgewiesen, ausserdem Spuren von $CaCO_3$ in oberflächlichen Rissen der Gesteinsunterlage, letzteres nicht bei 124b. Auch waren die zur Analyse zur Verfügung stehenden Gesteinsproben von 124a und 124b so klein, dass sie möglicherweise die Durchschnittsanalyse der Gesteine, von denen sie stammten, nicht genau wiedergeben konnten.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Die Flechte 124a hat also, wie die Trockensubstanzanalyse lehrt, doch Kalk zur Verfügung gehabt, und eben der Kalk und nicht etwa das Überwiegen der Alkalien hat ihr Hyphenwachstum gefördert. Es wäre denkbar, dass die Flechte den Kalk ihrem Substrat entnommen und schliesslich völlig entzogen hat, weshalb der Kalkgehalt in der Flechtenasche auftritt und nicht mehr in den Substratteilen, die unmittelbar unter der Flechte lagen. Dies ist um so eher möglich, als wir in dem Thallus der Flechte 124a eine senile Form zu vermuten Ursache hatten (cf. p. 10).

Eine andere ebenso natürliche und wohl wahrscheinlichere Erklärung des Kalkgehalts der Flechtenasche und damit des verstärkten Hyphenwachstums ist die, dass der Kalk der Flechte von aussen zugeführt wurde, und zwar in Form von kohlensaurem Kalk. Das Vorhandensein von solchem in Oberflächenspalten des Steines würde dann in organischem Znsammenhang mit dem Wachstum unseres Flechtenthallus stehen.

Ob wir die eine oder die andere Erklärung annehmen wollen: in jedem Fall dient auch die Vergleichung des Thallusaufbaus von 124a und 124b nur zur Bestätigung der oben entwickelten Grundauffassung.

5. Die Bedeutung der ungleichen Schichtenentwicklung für das Leben der Flechte.

Wo bei der Verschiedenheit der Schichtenentwicklung die Gonidienzone relativ schwächer, die Hyphenschicht relativ stärker war, habe ich absichtlich nur von einem stärkeren Hyphenwachstum geredet — im Gegensatz zu Friederich[1], der von der „stärkeren Entwicklung der Gonidienschicht“ spricht, oder sagt, „dass calciumkarbonatfreier Porphyr einen ganz besonders fördernden Einfluss auf die Entwicklung der Gonidienschicht ausübt“, und noch in seinen Schlussergebnissen anführt: „Die chemische Zusammensetzung des Substrats ist nicht allein von Einfluss auf den Chemismus der Hyphen, sondern auch auf die Entwicklung der Gonidien“. Diese Ausdrucksweise ist meiner Überzeugung nach nur insoweit richtig, als tatsächlich die Gonidienschicht, wo nicht absolut, so doch relativ an Mächtigkeit zunimmt bei zunehmendem

[1] Friederich, l. c. p. 22, 23, 31.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Kieselsäuregehalt des Substrats. Unrichtig aber wäre es, dem Substrat einen direkten Einfluss auf das Gonidienwachstum zuzuschreiben. Vom Substrat abhängig ist das Wachstum des Pilzes und erst durch dieses wird wieder das Gonidienwachstum modifiziert.

Das Zusammenleben von Pilz und Alge ist keine so durchaus friedliche Ehe. Es ist wohl eine gegenseitige Unterstützung, aber zugleich doch auch eine gegenseitige Konkurrenz. Im allgemeinen ist der Pilz der stärkere Teil. Je stärker er im Wachstum durch das Substrat gefördert wird, um so mehr engt er die Alge ein und gestattet ihr nur insoweit überhaupt mit ihm zu leben, als er sie notwendig braucht. Lebt aber der Pilz unter erschwerenden Bedingungen, und ist er im Wachstum gehemmt, so gewinnt die Alge Raum, geradezu auf Kosten des Pilzes, den sie dann ihrerseits stärker in Anspruch nimmt oder ausbeutet. Daher kommt auch die durchweg zu beobachtende Erscheinung, dass auf saurerer Unterlage nicht nur der Gonidienraum verhältnismässig grösser ist, sondern auch die einzelnen Algenindividuen sich grösser und wohlgenährter zeigen und ein behäbigeres Dasein führen. Je mehr dagegen auf basischer Grundlage der Pilz gedeiht, desto kleiner und dürftiger werden auch die Einzelgonidien.

Das Zunehmen der Gonidienschicht und das Wachsen der Einzeldonidien auf saurem Substrat kommt übrigens doch auch wieder dem Pilz selber zu statten (nicht dagegen umgekehrt der Alge das vermehrte Pilzwachstum); denn auf saurem Substrat hat der Pilz mit der Zersetzung der chemisch so widerstandsfähigen Kieselsäure gegenüber der Lösung der basischen Verbindungen eines weniger sauren Gesteins eine ungleich vermehrte Arbeit zu leisten. Um sie zu leisten, ist eine vermehrte Energie erforderlich, und eben diese liefern die zahlreicheren oder kräftigeren Gonidien, indem sie die Energie des Sonnenlichts in chemische Arbeitsleistung umsetzen. Je leichtere Arbeit aber der Pilz hat, um so eher kann er diese Kraftquelle entbehren, desto geringeren Raum und desto geringere Entwicklung wird er der auf seine Kosten lebenden Alge gestatten.

Mit diesen Verhältnissen hängt weiter zusammen, dass je weniger basisch die Unterlage ist, die Flechte desto mehr ihre Algen dem Licht entgegentragen muss, damit sie assimilieren können.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Daher sind die Kieselflechten genötigt, ihren Thallus epilithisch und nicht wie die Kalkflechten endolithisch zu entwickeln.

6. Die Bedeutung der Silikatflechten im Haushalt der Natur.

Auf ganz saurem Substrat ist die epilithische Thallusentwicklung auch deswegen nötig, weil hier die Flechte zum Bezug ihrer mineralischen Nährstoffe auf Zufuhr von aussen her angewiesen ist.

Wenn aber Flechten ihre mineralischen Nährstoffe nicht allein ihrem Substrat entnehmen, ja in manchen Fällen fast ihren ganzen Bedarf an solchen von anderswoher beziehen müssen: woher beziehen sie dann diese Stoffe? Die Frage ist unschwer zu beantworten. Manchmal wird fliessendes Wasser mit gelösten mineralischen Bestandteilen die Bezugsquelle sein. So hat zweifellos der auf einem Geröllstück wachsenden Flechte 124a fliessendes Wasser kohlensauren Kalk geliefert und die Haarspalten der Unterlage damit inkrustiert. In den meisten Fällen aber und in erster Linie müssen es die in Form von Staub in der Atmosphäre allenthalben verbreiteten feinen Mineralpartikelchen sein, welche die Flechten in den Stand setzen, völlig sterile Substrate zu bewohnen. Diese Staubteilchen stehen überall zur Verfügung: auf den entlegensten Inseln des Ozeans, auf den höchsten Höhen der Gebirge. Tausende von Meilen weit trägt sie der Wind von dannen, Regen und Schnee legen sie nieder. Der Vulkanstaub der Krakatauеruption 1883 hat monatelang den ganzen Erdball umkreist. Der Lössboden Chinas ist Wüstenstaub aus der Gobi, vom Winde vertragen.

Die Zufuhr von Nährstoffen durch die Luft erklärt uns auch z. B. die Harmlosigkeit der Rindenflechten, die von ihrem Substrat nichts als eine Wohnstätte ansprechen. Man kennt selbst Flechten auf Koniferennadeln, die ihr Substrat ganz intakt gelassen haben.

Eine besondere Bedeutung aber gewinnt dieser Umstand bei den Silikatflechten. Der eigenartige Chemismus der Flechtenhyphen befähigt diese, sich auf reinem Quarz gleichsam festzufressen. Ist dies einmal geschehen, so sind sie imstande, rein mechanisch Feuchtigkeit und Staubteilchen, die sonst beide nicht auf der Quarzoberfläche haften würden, festzuhalten. So schaffen sie sich selbst die Bedingungen des Weitervegetierens, und im Weiterwachsen werden sie befähigt, immer mehr von jenen staubfeinen Mineralteilchen, die durch die bewegte Luft oder die atmosphärischen

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Niederschläge ihnen zugeführt werden, mechanisch festzuhalten und in ihrem Körper chemisch zu binden. Die mit organischen Nährstoffen angereicherte Flechtensubstanz wird dann im Absterben höheren Pflanzen zur Nahrung und sorgt so für die Humifizierung der Gesteinsoberfläche, indem sie nicht nur das widerstandsfähigste Gestein zersetzt, sondern auch die sterilsten Flächen mit auswärts bezogenen Nährstoffen anreichert und so eine natürliche Düngung bewirkt (wie denn die Trockenanalyse nachweist, dass die Flechtenasche überhaupt ein vorzügliches Düngemittel abgeben würde).

Die Quarzsubstanz führen die Flechten in amorphe Kieselsäure über und bringen sie dadurch in den Kreislauf der chemischen Umsetzungen und des organischen Lebens. Den Kalk, die Magnesia und andere wichtige Pflanzennährstoffe bringen sie zum erstenmal in diesen Kreislauf herein, indem sie sie da holen, wo andere Pflanzen sie nicht aufnehmen können: direkt aus den Silikaten, der Heimat aller jener Stoffe. Siedeln sich die Flechten ja doch auf unzersetztem, frischem Urgestein an, was kein anderer Organismus vermöchte! Und so sind diese unscheinbaren Kinder der Flora tätig und geschäftig im Dienste der geheimnisvollen Kraft, die auch das Unbelebte in den Kreis des Lebens zieht, dass es selber Leben schaffen und Leben werden muss. — Man muss sich die Bedeutung dieser Tatsachen klar machen, und man wird dem Satze beipflichten: Auf gänzlich unfruchtbarem Grund kann ohne Mithilfe der Flechten kein höheres pflanzliches und damit überhaupt kein höheres organisches Leben sich entwickeln. Sie sind die Vorkämpfer gewesen, wo das organische Leben der Welt des unbelebten Stoffes Boden abgewonnen hat.

D. Zusammenfassung der Hauptergebnisse.

Fassen wir zum Schluss unsere Hauptergebnisse noch einmal kurz zusammen, so lassen sie sich ungefähr in folgenden Sätzen ausdrücken:

Ein volles Verständnis für den Flechtenbau lässt sich nur gewinnen auf Grund eingehender Kenntnis der petrographischen Beschaffenheit des Substrats. Die letzten Aufschlüsse muss die chemische Substratanalyse, eventuell unter Zuhilfenahme der Flechtenaschenanalyse liefern.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Sowohl Thallusentwicklung als Thallusbau sind abhängig von der chemischen Beschaffenheit des Substrats.

Bei geschichteten Gesteinen scheinen die Flechten in erster Linie solche Flächen zur Besiedelung zu wählen, die quer zur Schichtung verlaufen.

Verwitterte Flächen werden oft von ihnen verschmäht und dagegen ganz frische Oberflächenteile der Gesteine in Angriff genommen.

Der Gesamtthallus der untersuchten Krustenflechten zerfällt in einzelne Felder. Jedes dieser einzelnen Krustenfelder ist ursprünglich ein selbständiger Thallus. Diese Einzelthalli können mit der Zeit zu grösseren Feldern verwachsen. Wo scharfe Trennung der Einzelfelder fehlt, hat man es mit einem vorgerückteren Altersstadium der Flechte zu tun.

Von einer einmal entstandenen Gesamtkruste aus greift der Thallus mit Hilfe präkurrierender Hyphen weiter um sich. Diese führen zunächst zur Bildung eines undifferenzierten Thallusrasens (Vorlagers), aus welchem sich später die ausgebildeten Einzelthalli erheben, die in dem Masse, wie sie sich mehren und wachsen, zu einer geschlossenen Kruste zusammentreten.

Die Flechtenhyphen korrodieren den Quarz.

Gesteine, die aus verschiedenartigen Gemengteilen bestehen, werden zunächst ungleichmässig von den Flechten besiedelt.

Der Grund für dieses Verhalten der Flechten liegt nicht in der physikalischen oder strukturellen Verschiedenheit der verschiedenen Gesteinsgemengteile, sondern in ihrer chemischen Besonderheit.

Die basischen Bestandteile werden zuerst von den Flechten in Angriff genommen und früher von ihnen bewältigt, als die sauren. Insbesondere bleiben Quarzteile längere Zeit nackt.

Ob bei der Thallusneubildung und Thallusausbreitung Flechtensporen beteiligt sind, bleibt eine offene Frage. Reife Flechtensporen lassen sich in grösserer Menge beobachten, nicht aber auskeimende oder ausgekeimte Sporen.

Die anatomische Ausgestaltung des Thallus wird in der Weise durch die chemische Beschaffenheit des Substrats modifiziert, dass die Hyphenschicht verhältnismässig stärker wird in dem Masse wie die Summe der basischen Bestandteile des Substrats, insbesondere

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

der Gehalt an Kalk (nicht bloss an kohlensaurem Kalk) und an Magnesia zunimmt.

Die Einzelgonidien der Flechte sind um so grösser, je saurer das Substrat, je dürftiger der Pilz entwickelt ist.

Die ungleiche Ausbildung der Schichtenmächtigkeit im Thallusbau ist vom Wachstum des Pilzes abhängig. Je nachdem der Pilz stärker oder schwächer wird, wird die Alge schwächer oder stärker.

Die Flechten sind zum Bezug ihrer mineralischen Nährstoffe nicht allein auf ihr Substrat angewiesen. Deswegen kann ihr anatomischer Aufbau auch nicht allein durch die Beschaffenheit des Substrats bedingt sein.

So beeinflusst zwar die Beschaffenheit des Gesteinsgrundes stets den Aufbau des Flechtenkörpers, umgekehrt lässt aber der Flechtenbau nicht immer einen sicheren Rückschluss auf die Beschaffenheit des Substrats zu.

Infolge der eigenartigen Beziehungen zu ihrem Substrat sind die Flechten in erster Linie berufen, die Erschliessung der unorganischen Welt für das organische Leben einzuleiten.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Fig. 1.

Fig. 2.

Fig. 3.

Fig. 1—3: s. S. 421.

Fig. 4.

Fig. 4 Rechts die ältere, links die jüngere Kruste. Vergr. 3 : 2 s. S. 428.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Beiträge zur Wissenschaftlichen Botanik

Jahr/Year: 1908

Band/Volume: 5

Autor(en)/Author(s): Stahlecker Eugen

Artikel/Article: Untersuchungen über Thallusbildung und Thallusbau in ihren Beziehungen zum Substrat bei siliciseden Krustenflechten 405-451