© Verein zum Schutz der Bergwelt e.V. download unter www.vzsb.de/publikationen.php und www.zobodat.at

Lichenometrie[1]) im Gletschervorfeld

Von *Roland Beschel*, Sackville N. B. (Kanada)

Ausgedehnte Gebiete haben die Gletscher bei ihrem großen Rückzug in den letzten hundert Jahren freigegeben. Vor den Moränen dieses letzten Hochstandes liegen häufig noch ältere historische Wälle. Den ganzen Raum, der in historischer Zeit eisbedeckt war, bis zur heutigen Eisgrenze, nennt man Gletschervorfeld. Der Großteil dieser Flächen weicht schon, aus der Ferne gesehen, durch seine schwächere und andersartige Pflanzenbesiedlung in der Farbe deutlich von dem Gelände außerhalb ab. Über die Besiedlung dieses Neulandes wurden schon viele Untersuchungen angestellt (Arnold 1868—97, Klebelsberg 1913, Frey 1922, Faegri 1931, Negri 1934, Friedel 1938 a u. b, Mattick 1941, Lüdi 1945).

Die ersten Blütenpflanzen keimen knapp vor der Gletscherstirn und manchmal schon auf stark schuttbedecktem Eis und Moosrasen, meist *Pohlia gracilis* (Schleicher) Lindb., durchweben kleine Sandflächen. Die Felsflächen aber bleiben noch geraume Zeit nackt, ehe die ersten Spuren pflanzlichen Lebens auch auf ihnen sichtbar werden. Außerordentlich langsam wachsen die Flechtenlager (epipetrisch) auf den Steinen. Winzige Fortpflanzungskörper, oft aus wenigen Pilzfäden und einigen Algenzellen bestehend, fangen sich, vom Wind hergeweht, in kleinen Rissen und Haarspalten des Gesteins. Doch nur ein Teil der Flechten ist im Zusammenleben, in der Symbiose von Pilz und Alge soweit gediehen, daß Pilz und Alge gemeinsam verbreitet werden. Die häufigsten Krustenflechten des Hochgebirges bilden keine solchen Soredien oder Isidien aus. Bei ihnen erfolgt die Fortpflanzung getrennt. Ein Flechtenlager (Thallus) bildet Fruchtkörper des Pilzes aus, die Sporen auswerfen. Die Luftströmungen wehen diese Sporen über einen Großteil der Erde. Aber nur wenn die Sporen unter günstigen Umweltsbedingungen den notwendigen Algenpartner treffen, kann eine neue Symbiose entstehen. Auch die enzystierten Zellen der Luftalgen werden durch den Wind überall hingetragen. Zwei Lebewesen, die nur für ein Leben in großer Feuchtigkeit tauglich erscheinen, erreichen durch gegenseitige Ausnützung das Unglaubliche. Auf dem nackten Gestein, unter Temperaturschwankungen von + 60° C bis — 40° C, die meiste Zeit des Jahres staubtrocken oder frostig erstarrt, auf eine Zuführung der meisten Nährsalze durch den Wind angewiesen, wächst ein Flechtenlager. Da nur selten Durchfeuchtung, Licht und Wärme zusammentreffen, sind die Zeiten des Stoffgewinnes, der Photosynthese mit Assimilationsüberschuß sehr kurz (Butin 1954). Kurz sind aber auch die Zeiten, in denen wohl aktives Leben mit intensiver Atmung, aber keine Photosynthese möglich ist. Solche Zeiten bedeuten einen Stoffverlust. In der Nacht sinkt die Temperatur im Strahlungsklima des Hochgebirges rasch und vermindert auch die Atmung (Scholander 1953). Dies scheint für die Hochgebirgsflechten wichtig

[1]) Gr. von λειχην Flechte und μετρεω messe. Der Versuch, aus der Größe der langsam wachsenden Flechten das Alter ihrer Unterlage und die Umweltverhältnisse zu erschließen. Die Ergebnisse sind bedeutungsvoll für Ökologie, Physiologie, Klimatologie, Glaziologie, Archäologie, Stadthygiene und Kraftwerkbau.

© Verein zum Schutz der Bergwelt e.V. download unter www.vzsb.de/publikationen.php und www.zobodat.at

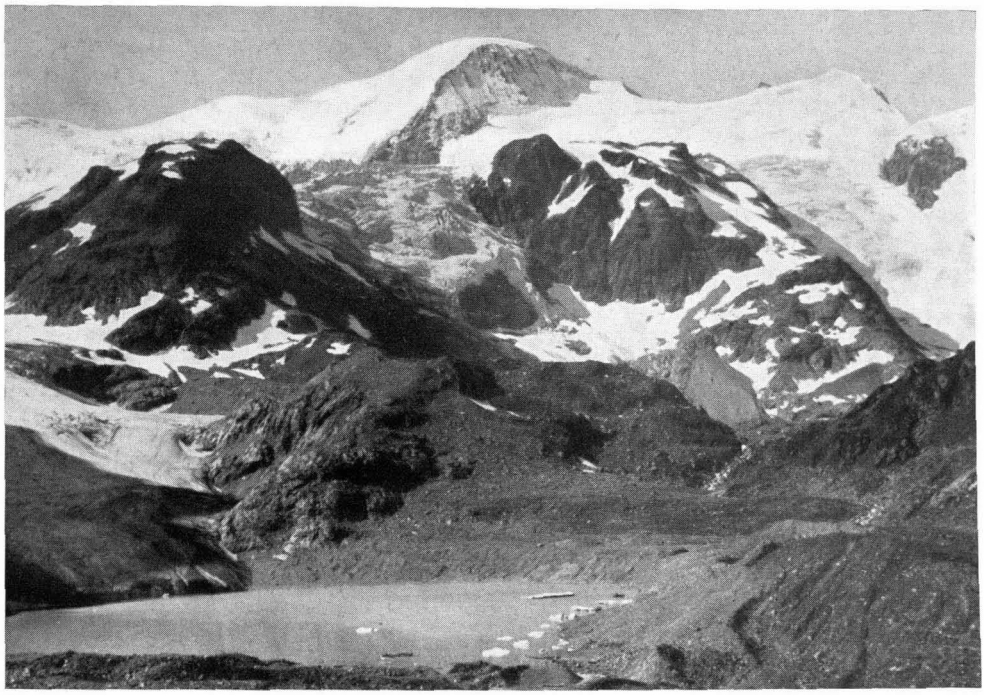

Abb. 1: Die drei Zungen des Steingletschers von der 1850er-Stirnmoräne gesehen

Abb. 2: Das Vorfeld der drei Zungen des Steingletschers vom Weg zur Tierberglihütte bei 2600 m gegen Norden

© Verein zum Schutz der Bergwelt e.V. download unter www.vzsb.de/publikationen.php und www.zobodat.at

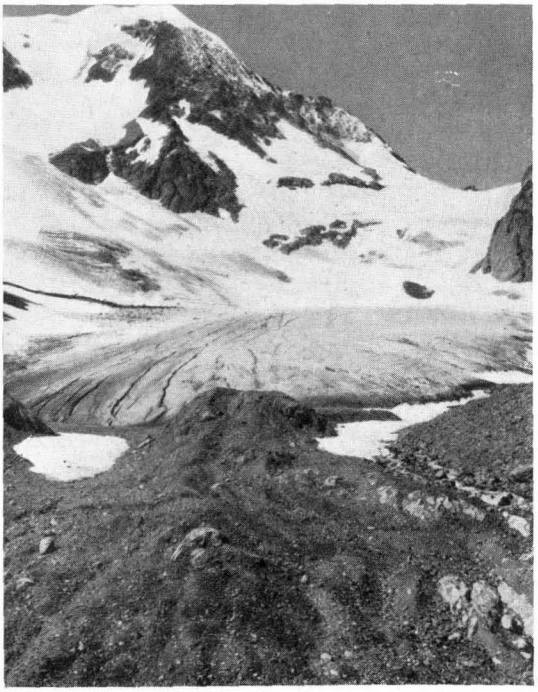

Abb. 3:
Die Zunge des Steinlimmigletschers

Abb. 4: Die linken Ufermoränen der Hauptzunge des Steingletschers, im Vordergrund die Moräne von 1820, dahinter die Moräne von 1850, im Mittelgrund die Wintermoränen aus der Zeit zwischen 1850 und 1920 und der den Moränensee stauende Wall von 1920

© Verein zum Schutz der Bergwelt e.V. download unter www.vzsb.de/publikationen.php und www.zobodat.at

Abb. 5: Ostnordöstlich der Stirnmoräne der Hauptzunge von 1920 verschwindet der grüne Wall von 1820 unter dem schuttreichen Wall von 1850

Abb. 6: Östlich des heutigen Endes der Hauptzunge liegen außerhalb der hohen Moräne von 1850 einige frührezente Wallsysteme (1780 und 1600)

© Verein zum Schutz der Bergwelt e.V. download unter www.vzsb.de/publikationen.php und www.zobodat.at

Abb. 7: Der erste epipetre Pflanzenbewuchs (Umbilicaria cylindrica auf der Spitze, Rhizocarpon geographicum, Aspicilia cinerea und Grimmia sp. auf den Neigungsflächen) auf der rechten Stirnmoräne der mittleren Zunge des Steingletschers von 1920. Der Hammer mißt 32 × 17 cm

© Verein zum Schutz der Bergwelt e.V. download unter www.vzsb.de/publikationen.php und www.zobodat.at

zu sein, da in tieferen Lagen viele Arten fehlen. Daher leben die epipetren Flechten den Großteil des Jahres passiv bei minimaler Atmung, und so erklärt sich auch das langsame Wachstum dieser Doppellebewesen.

Das Wachstum hält aber viele Jahrhunderte an, und manche Flechten gehören zu den ältesten Lebewesen (Beschel 1955 a).

Als Beispiel eines Gletschervorfeldes wähle ich das des Steingletschers am Sustenpaß in der Innerschweiz. Am 4. und 5. August 1955 untersuchte ich es zusammen mit J. de Heinzelin.

Auf den Verebnungsflächen und in den Karen zwischen Giglistock (2900 m), Vorder Tierberg (3094 m), Gwächtenhorn (3425 m) und Sustenhorn (3504 m) sammelt sich der Firn. Das Gletscherbett wird von Granit der Erstfelder Zone und Biotitgneisen, Amphiboliten und Serizitschiefern der Lötschental-Färniger Schieferzone aufgebaut (Müller 1947). Alle Gesteine und ihre Verwitterungsprodukte haben einen mäßig sauren p_H-Wert. In drei Zungen, dem Steinlimmigletscher im Westen, einer kleinen, steilen, mittleren Zunge und der Hauptzunge des Steingletschers im Osten fließt das Eis nach Norden talwärts (Abb. 1). Das Vorfeld (Abb. 2) habe ich in Abbildung 12 skizziert, wobei mir Blatt 255 (Sustenpaß) der Landeskarte der Schweiz 1:50000 (1948) als Grundlage für das Relief diente. Die Aufnahme des betreffenden Gebietes erfolgte zwischen 1927 und 1944, nach den eingezeichneten Gletschergrenzen zwischen 1927 und 1930. In meiner Skizze habe ich die jetzigen Grenzen der Gletscher und Moränenseen sowie den heutigen Verlauf der Gletscherbäche angegeben. Die Schneegrenze zieht zwischen 2500 m und 2600 m.

Vor jeder der drei Zungen ist das Gelände anders beschaffen. Vor dem Steinlimmigletscher (Abb. 3) ist der Boden stellenweise ganz weich. Das Material ist noch nicht aussortiert und in steter Bewegung. Knietief kann man in dem Schlamm des Brodelbodens versinken. Die mittlere Zunge liegt in einem steilen Felshang. Dauernd bricht Eis ab und zerstäubt im Aufprall. Die Trümmer sammeln sich in zwei Firnflecken vor der Zunge. Im Laufe eines Tages wich der Gletscher durch Eissturz an einer Stelle um 30 m zurück. Vor der Hauptzunge des Steingletschers aber hat sich das Schmelzwasser innerhalb der jüngsten Moränenwälle zu einem großen Moränensee angesammelt, in den der Gletscher kalbt. Zwischen dem innersten durchgehenden Moränensystem und dem Rand des Vorfeldes liegen zahlreiche niedere Wälle (Abb. 4). Die Moränen am Rande des Vorfeldes sind im Westen gut begrünt und niedrig (Abb. 4). Im Norden aber ist nur ein äußerer Wall gut begrünt, während der mächtigste, schuttreiche Wall noch sehr wenig besiedelt ist (Abb. 5). Dort barg der Schutt lange Eis und blieb durch das langsame Abschmelzen in steter Bewegung. Außerhalb des hohen Uferwalles tauchen östlich des heutigen Gletscherendes einige niedere Wälle auf (Abb. 6).

Da der Sustenpaß seit dem Mittelalter häufig begangen wird und dieses Gebiet auch Gegenstand von Grenzstreitigkeiten zwischen Bern und Uri war, wird uns in diesem Zusammenhang über große Vorstöße des Steingletschers um ungefähr 1600, 1820 und 1850 berichtet (Müller 1947).

© Verein zum Schutz der Bergwelt e.V. download unter www.vzsb.de/publikationen.php und www.zobodat.at

Der Pflanzenbewuchs erlaubt es, die verschieden alten Moränensysteme eindeutig zu unterscheiden. Besonders der epipetre Flechtenbewuchs zeigt große Unterschiede.

Die Moränen aus der Zeit um 1920 sind erst sehr spärlich bewachsen (Abb. 7). Zu den ersten Besiedlern der nackten Gesteinsflächen zählen Moose der Gattung *Grimmia* sect. *Alpestres* Vilh. und sect. *Alpinae* Vilh. Sie breiten sich besonders entlang der größeren Spalten aus. Die ersten Flechten sind nicht so raschwüchsig wie die Moospolster. Winzige schwarze Fleckchen, die in ein Netzwerk feinster Stränge auslaufen, sind die ersten Thalli. Noch ist eine Bestimmung der Art nicht möglich. Vereinzelt aber sind die Lager schon etwas weiter gediehen. Ein halb in die Haarspalten des Gesteins eingesenktes Lager bilden die jungen *Lecidea*-Thalli aus. Sie tragen auch schon die ersten Pilzfrüchte, schwarze Apothezien. Graue und dunkelgraue, schwarzgesäumte Scheibchen sind die jungen *Aspicilia*-Lager. Auf den erst dreißigjährigen Unterlagen haben sie in der Regel noch keine Früchte ausgebildet. Ihre Apothezien sind klein und in die einzelnen Felderchen des Thallus etwas eingesenkt. Am kleinsten sind die Lager der gelbgrünen Landkartenflechte *Rhizocarpon geographicum* (L.) DC. Ihr Hypothallus umgibt die Einzelindividuen als schwarzer Ring. Der gelbgrüne Thallus ist gefeldert und trägt schwarze, flache Apothezien. Auf den Spitzen der Blöcke beginnen sich Nabelflechten anzusiedeln. Am häufigsten findet man *Umbilicaria cylindrica* (L.) Ach. Auf Abbildung 7 überwiegen sie. Zwischen den Blöcken liegen oft große, lose Polster von Strauchflechten der Gattung *Stereocaulon*. Gelegentlich wachsen sie auf den Blöcken, doch auf älteren Moränen sind sie wieder vom Fels verschwunden.

Außerhalb des Moränenkranzes von 1920 sind die Blöcke besser bewachsen. Doch der Unterschied ist nicht sehr bedeutend. Das zeigt, daß der Gletscher 1920 nur bis zur Linie des Eisrandes von ungefähr 1900 vorgestoßen ist. An den Orten, wo das Vorfeld länger Toteis enthielt, ist die Besiedlung spärlicher. Am Steingletscher ist das Vorfeld zwischen den Moränen von 1920 und denen von 1850 mit vielen kleinen Wällen bedeckt, die aber meist nur über kurze Strecken ziehen. Vor, auf und hinter ihnen ist die Besiedlung sehr ähnlich. Es handelt sich wohl durchwegs um Wintermoränen. Der Gletscher schmolz während des Sommers ein größeres Stück zurück und stieß während des Winters an einzelnen Stellen ein kleines Stück vor. Das im Winter zusammengestauchte Material setzt diese kleinen Moränen zusammen. So trifft man, wenn man von innen nach außen das Vorfeld durchwandert, allmählich größere Thalli auf den Blöcken. Auch der Deckungsgrad nimmt zu.

Die Wälle von 1850 sind schon gut mit Flechten bewachsen. Die Abbildung 8 ist typisch für den Steingletscher. Ungefähr die Hälfte der Gesteinsoberflächen ist mit Flechten bedeckt. An den schattigeren Teilen überwiegen *Lecidea*-Arten. Der Thallus von *Lecidea promiscens* Nyl. überzieht das Gestein mit einer jetzt epipetren grauen Kruste. Andere Arten, darunter *Lecidea lapicida* Ach. oxydieren eisenhaltige Verbindungen des Gesteins und färben ihren Thallus rostrot. *Rhizocarpon geographicum* ist zur häufigsten Flechte auf ost-, west- und südexponierten Neigungsflächen geworden. Es verändert die Unterlage kaum. Die *Aspicilia*-Arten, besonders *A. cinerea* (L.) Kbr. und *A. caesiocinerea* Nyl. zersetzen das Substrat wenig und bilden eine dünne Schicht

© Verein zum Schutz der Bergwelt e.V. download unter www.vzsb.de/publikationen.php und www.zobodat.at

weißen Pulvers unter ihrem festen Thallus. Am stärksten verändert die Schildkrötenflechte *Sporastatia testudinea* (Ach.) Mass., die erst auf diesen Moränen häufig wird, das Gestein. Die schwarzgelblich feingemusterten Thalli haben einen scharfen Rand und zeigen eine vom Mittelpunkt ausstrahlende Felderung. Da aber häufig Teile des Lagers mit den zu Pulver zerfallenen Feldspatkristallen ausbrechen, entstehen durch die Regeneration sekundäre Wachstumszentren. Auf Abbildung 8 sind diese dunklen, sich dauernd umbildenden Lager (S) gut zu sehen. Solange die Thalli kreisrund sind, kann man sie wohl als ein Individuum ansprechen, doch bei anderen Formen ist eine Verwachsung mehrerer Individuen nicht ausgeschlossen. *Sporastatia testudinea* kommt auf etwas exponierten Standorten, spitzengenähert oder auf süd- und westexponierten Neigungsflächen häufiger vor (Frey 1922). Vielleicht ist die Dauer der jährlichen Schneebedeckung hier ein maßgebender Faktor. Die Spitzen der hohen Blöcke tragen schon ausgewachsene *Umbilicaria*-Arten. An bevorzugten Vogelsitzplätzen, wo häufig Kot abgelagert wird, weichen die Umbilicarien zurück und machen den ersten ornithokoprophilen Flechten Platz (Sernander 1912). Im Zentrum siedeln die orangerote, deutlich effigurierte Krustenflechte *Caloplaca elegans* (Link.) Th. Fr. oder die schmallappigen, hellgrauen Blattflechten *Physcia teretiuscula* (Ach.) Lynge, *P. caesia* (Hoffm.) Nyl. und *P. dubia* (Hoffm.) Lettau emend. Lynge. Spitzengenähert breiten sich, für Flechten relativ rasch wachsend, die oft ringförmigen Blattflechtenlager von *Parmelia encausta* Ach. aus. Diese Sukzession beginnt auf den 100jährigen Moränen des Steingletschers erst undeutlich.

Eine sonderbare Erscheinung ist im Bereich der Moränen von 1850 sehr häufig. Besonders dort, wo die Moränen am mächtigsten und blockreichsten sind, zeigen viele Steine einen rotbraunen bis schwarzbraunen Überzug, den sogenannten Gletscherlack (Kinzl 1950). Von kleinen, braunen Flecken aus, oxydierenden Biotitkristallen meistens, wird der ganze Stein mit einer mattglänzenden Oxydschicht überzogen. Häufig zerfällt der ganze Block etwas später zu kleinem Gesteinsgrus. Flechten können auf dem Gletscherlack kaum Fuß fassen. Schon vorher entwickelte Thalli werden abgetötet. Ganz selten wächst *Aspicilia cinerea* auf Gletscherlack. Die Ursache dieses spontanen Zerfalls ist unbekannt. Benachbarte Blöcke mit anscheinend derselben Zusammensetzung des Gesteins zeigen diese Erscheinung oft nicht.

Auf den 1820er Moränen des Steingletschers ist der Gletscherlack schon fast verschwunden, d. h. die befallenen Blöcke sind schon zerfallen. Dies trifft auch für andere Gletschergebiete der Nordalpen zu, wie Kinzl (1950) ausführt. In kontinentaleren Gebieten der Alpen ist die Entwicklung des Gletscherlacks aber verzögert und noch auf frührezenten Moränen kann der Gletscherlack beträchtliche Flächen überziehen. Die durchschnittliche Flechtenbedeckung der Blöcke auf den Moränen von 1820 ist auf 80% der Oberflächen angestiegen. Manche Steine sind schon total mit Flechten überzogen (Abb. 9). Damit beginnt ein neuer Abschnitt der Besiedlung. Flechtenthalli, die aneinander stoßen, beginnen sich zu bedrängen. Dieser schleichende Kampf wird wohl nicht nur durch das schnellere Wachstum, sondern auch durch Wirkstoffe entschieden (Tobler 1944). Meist bleiben die Grenzen der einzelnen Thalli gut sichtbar, auch wenn zwei Lager

© Verein zum Schutz der Bergwelt e.V. download unter www.vzsb.de/publikationen.php und www.zobodat.at

der gleichen Art zusammenstoßen (Bitter 1898, Degelius 1940). Gelegentlich können wohl auch Verwachsungen vorkommen (Beschel 1955 a). Abbildung 9 zeigt deutlich den Übergang vom *Aspicilietum cinereae* zum *Sporastatietum testudineae* nach oben. Die einzelnen Flechtenvereine formen sich auf diesen Moränen schon zusehends zum endgültigen Bild um. Die Spitzen tragen manchmal schon gut entwickelte ornithokoprophile Vereine. Die niedrigeren Blöcke werden bereits stellenweise von Rasen und Zwergsträuchern überzogen. Auf den hohen Blöcken hat sich aus zerfallenden Blattflechten und Moosen, Vogelkot und angewehtem Staub schon etwas Humus gebildet, doch reicht er noch nicht zur Rasenbildung aus.

Die älteren Moränen am Ostrand des Vorfeldes zeigen eine den Bedingungen der Umwelt angepaßte und mit ihnen im Gleichgewicht stehende Flechtenbesiedlung (Abb. 10). Die tiefer liegenden Teile sind von *Lecidea*-Arten bedeckt. *Rhizocarpon geographicum, Sporastatia testudinea* und vor allem die Blattflechten und Nabelflechten wachsen nur auf den höchsten Teilen dieser Moränen. Aber auch dort weisen dichte *Rhododendron ferrugineum* L.-Bestände auf eine lange Schneebedeckung hin. Sogar die Kulmflächen der Blöcke tragen Zwergsträucher. Die tieferen Teile sind auf dem Sand und Feinschutt mit einer Schneetälchenflora *(Soldanella alpina* L. und *Polytrichum sexangulare* Floerke) bedeckt. Die untersten Blöcke tragen nur sehr wenig Flechten oder haben nackte Oberflächen. Hier tötete eine langjährige Verfirnung die Flechten ab, wie einige Flechtenleichen auf den Steinen beweisen. Aber eine Neubesiedlung war nicht möglich.

Außerhalb des Gletschervorfeldes ist jeder Block mit großen Flechtenlagern bedeckt (Abb. 11). Habituell unterscheidet sich dieses Gelände nicht von den ältesten historischen Moränen. Kappen aus Zwergsträuchern oder auch Rasen bedecken die meisten Blöcke. Auf den höchsten übt die intensive Düngung mit Vogelkot noch immer ihren Einfluß aus. Die Gesteinsoberfläche der Blöcke aber hat sich verändert. Die Erosion läßt die härteren Quarzitadern oder in Gebieten mit Augengneisen die großen Feldspatkristalle stark aus der korrodierten Gesteinsoberfläche hervortreten. Auch auf den ältesten historischen Moränen hat diese Verwitterungsphase noch nicht eingesetzt. Wo Spaltenfrost oder die Temperaturschwankungen des Strahlungsklimas Blöcke entzweigesprengt haben, sind auch die Oberflächen der Spalten meist schon mit großen Flechten überzogen. Auf Wegen, in Wildbachrinnen oder in Schutthalden ist die Flechtenbesiedlung natürlich durch die dauernde Abnutzung oder Verlagerung des Materials spärlich.

Eine genaue Altersbestimmung der Moränen kann durch einen soziologischen Vergleich nicht erfolgen. Es können höchstens verschieden alte Einheiten, die aus den letzten 150 bis 200 Jahren stammen, unterschieden werden. Das langsame und über längere Zeiträume auch ziemlich gleichmäßige Flechtenwachstum gibt weitere Möglichkeiten (Ahlmann 1941, Beschel 1950 a, b, 1954 a, 1955 a, b, Dahl 1954). Andere Versuche, die Gletscherschwankungen der letzten Jahrhunderte exakt zu datieren, wurden mit Hilfe der Jahresringchronologie (Faegri 1934, Ahlmann 1941, 1948, Hustich

© Verein zum Schutz der Bergwelt e.V. download unter www.vzsb.de/publikationen.php und www.zobodat.at

1949, Lawrence 1950, Mathews 1951, Nichols & Miller 1951) oder mit Hilfe der Bodenentwicklung (Jenny 1941, Lüdi 1945, Raeside 1948) unternommen. In tieferen Lagen, wo die Gletscherenden weit unterhalb der Baumgrenze liegen, ist die Jahresringchronologie sicher vorzuziehen. In vielen Gletschergebieten der Erde aber enden die Gletscher oberhalb der Baumgrenze. Hier bietet die Lichenometrie mehr Aussichten auf eine exakte Datierung der Moränen und damit der Gletschervorstöße. Ein weiterer Vorteil der Flechtenmethode besteht darin, daß die häufigsten Arten Kosmopoliten sind und soweit bis jetzt bekannt, in allen Gletschergebieten der Erde vorkommen. Das ermöglicht einen direkten Vergleich. Bevor ich im einzelnen auf die Lichenometrie zu sprechen komme, möchte ich ihre Möglichkeiten und Ziele zusammenfassen.

Wenn man die größten, scheibenförmigen Thalli häufiger Arten auf einer Moräne als gleichaltrig mit der Unterlage annimmt, kann man folgende Schlüsse ziehen:

1. Wenn das Alter der Unterlage bekannt ist, kann man die Wachstumsgeschwindigkeit der betreffenden Art in einem bestimmten Gebiet ermitteln.
2. Durch die bekannte Wachstumsgeschwindigkeit kann man aus der maximalen Flechtengröße auf einer undatierten Unterlage deren Alter erschließen.
3. Aus den Unterschieden der Wachstumsgeschwindigkeit in verschiedenen Gebieten sind bei gleichen edaphischen Bedingungen gewisse Schlüsse auf klimatische Faktoren möglich.

Somit ist die Lichenometrie ein Grenzgebiet der Botanik (Physiologie und Ökologie), der Glaziologie und Klimatologie. Die Kenntnis des Flechtenwachstums ist die Grundlage der Lichenometrie. Da Berichte über derartige Messungen in der Literatur sehr verstreut sind, gebe ich eine Zusammenfassung der Hinweise. Besprochen habe ich sie schon 1950 (b). Über direkte Wachstumsmessungen berichten Lotsy 1890, Fink 1917, Linkola 1918, Stormer 1934, Beschel 1950b, 1954b, Des Abbayes 1951, Mattick 1952. Die Methode der datierten Unterlage und daher indirekten Messung der Wachstumsgeschwindigkeit wurde wegen des langsamen Flechtenwachstums häufiger angewendet. Darüber schreiben Nylander 1868, Arnold 1868—97, 1891—97, Lotsy 1890, Schenk 1914, Nienburg 1919, Tobler 1919, 1925, Frey 1922, 1923, Kujala 1926, Mattick 1929, 1941, Faegri 1934, Kieslinger 1938, Mattick und Tobler 1939, Santesson 1939, Doignon 1949, Beschel 1950a, b, 1955b. Die direkten Nachmessungen der Flechtengrößen bestätigen die Werte der indirekten Messung. Doch ist eine direkte Messung zu sehr von individuellen oder kleinstklimatischen Verschiedenheiten beeinflußt. Die indirekte Messung schaltet von vornherein schlecht entwickelte Flechtenlager aus, da ja eine Unterscheidung von alten, schlecht entwickelten und jüngeren, optimal ausgebildeten Lagern mit gleichem Durchmesser unmöglich ist. Nur maximal große und daher optimal entwickelte Lager können berücksichtigt werden. Am Anfang meiner Untersuchungen bestand die große Ungewißheit, ob überhaupt genügend maximale Flechtenlager auf einer Moräne zur Verfügung stünden, oder ob die Methode allein durch den glück-

© Verein zum Schutz der Bergwelt e.V. download unter www.vzsb.de/publikationen.php und www.zobodat.at

lichen Zufallsfund einer maximalen Flechte bestimmt und daher unexakt sei. Verschiedene Momente bekräftigen aber die Genauigkeit der Methode. Wenn eine Moräne mit mindestens 50 Meter Länge vorhanden ist, steht bereits eine genügend große Substratfläche zur Verfügung. Je länger die Moräne, desto größer ist natürlich die Gewißheit, maximalgroße Flechten mehrerer Arten zu finden. Berücksichtigt man nur eine Flechtenart, dann steigt die Wahrscheinlichkeit mit der Häufigkeit der Art. Seltene Arten können daher nicht herangezogen werden. Findet man auf den ersten Blöcken bereits viele Individuen mit relativ großem Durchmesser, dann ist zu erwarten, daß die Maximalgröße höher liegt. Nach einigem Suchen sind dann meist ein paar größere Flechten registriert und nur drei bis fünf Lager zeigen pro 100 Meter wahrscheinlich maximale Werte. Auszählungen der Individuenzahl nach Größenklassen auf Fotografien ergaben einen sehr gesetzmäßigen Zusammenhang. Die Individuenzahl sinkt mit zunehmender Größe p a r a b o l i s c h zum Nullpunkt, der gleichzeitig die maximale Größe angibt. Die Wahrscheinlichkeit wird weiter gesteigert durch den Vergleich der Größen verschiedener Flechtenarten. Die Wachstumsgeschwindigkeiten stehen in einem ziemlich konstanten Verhältnis zueinander. Verwandte Arten zeigen eine ähnliche Wachstumsgeschwindigkeit. Folgende Arten haben sich für die Lichenometrie im alpinen Gletschervorfeld bewährt:

Rhizocarpon geographicum (L.) DC.	1,0
Rhizocarpon oreites (Vain.) A. Zahlbr.	1,0—1,5
Sporastatia testudinea (Ach.) Mass.	0,8—2,0
Lecanora badia (Hoffm.) Ach.	1,5—2,0
Aspicilia cinerea (L.) Kbr.	1,5—2,5
Aspicilia caesiocinerea Nyl.	1,5—2,5
Diploschistes scruposus (L.) Norm.	2,0—3,0
Lecidea lapicida Ach.	2,5—3,5
Lecidea promiscens Nyl.	2,5—4,0

Neben den Flechten helfen auch oft die Moose und Blütenpflanzen:

Grimmia sect. *Alpestres* Vilh.	3,5— 5,5
Grimmia sect. *Alpinae* Vilh.	4,0— 6,0
Silene acaulis (L.) Jacq.	20 — 30
Salix serpyllifolia Scop.	80 —120

Auf jungen Moränen können auch Umbilicarien verwendet werden, doch sind sie zu rasch ausgewachsen. In der angegebenen Reihenfolge steigt die Wachstumsgeschwindigkeit. Die Zahlen hinter den Arten geben an, wie sich die Wachstumsgeschwindigkeit zu der von *Rhizocarpon geographicum* verhält.

Das Wachstum nehme ich als gleichmäßig an. Wie schon anfangs erwähnt, erfolgt das Wachstum natürlich in kleinen Schritten, die durch größere Pausen passiven Lebens getrennt werden. Auch der Jahreszuwachs ist Schwankungen unterworfen. Doch bei dem langsamen Wachstum der Hochgebirgsflechten lassen sich Größenunterschiede nach einem Jahr mit einem Millimeter-Maßstab nicht feststellen. Über längere Zeiträume

© Verein zum Schutz der Bergwelt e.V. download unter www.vzsb.de/publikationen.php und www.zobodat.at

gleichen sich die jährlichen Schwankungen weiter aus. Nach meinen Messungen an über 70 Alpengletschern konnte ich überall nur ein gleichmäßiges Wachstum auf lange Sicht feststellen. Nichts wies auf ein beschleunigtes oder verlangsamtes Wachstum in bestimmten Jahrzehnten hin. Soweit ich das bereits beurteilen kann, reagieren die Gletscher also feiner auf langjährige Klimaschwankungen als die Flechten. Nur am Anfang ihrer Entwicklung nehmen Flechten nicht gleichmäßig an Größe zu. Wie ich 1950 (b) ausführte und schon Nienburg 1919 feststellte, durchlaufen die untersuchten, jungen Flechten eine „große Periode". Das Wachstum setzt langsam ein, beschleunigt sich und geht dann erst verlangsamt, aber gleichmäßig weiter. Wahrscheinlich sind die zentralen Thallusteile mit ihrem Stoffgewinn nur über relativ kurze Entfernungen am randlichen Wachstum beteiligt. Die zentralen Thallusteile widmen sich bei den meisten scheibenförmigen Lagern nur der Fortpflanzung und können auch ausbrechen, ohne das randliche Wachstum zu beeinflussen. Sobald nun der Radius des Lagers die Transportdistanz überschreitet, ist die große Periode abgeschlossen. Je größer die Transportdistanz ist, desto rascher scheint auch das Wachstum zu sein. So sind unter den Krustenflechten z. B. die *Pertusaria*-Arten als relativ raschwüchsig bekannt. Bei ihnen treten auch sogenannte Schiebehyphen auf (Nienburg 1926), die einen zentrifugalen Stofftransport erleichtern. Genaue Messungen über die Transportdistanz stehen noch aus.

Aus den Flechtengrößen auf den verschiedenen Moränen läßt sich ihr relatives Alter zueinander erschließen. Wieder möge der Steingletscher als Beispiel dienen. Der größte Vorstoß der Gletscherstirn um 1820 ist historisch gesichert und liefert daher den Ausgangspunkt für die Datierung der anderen Moränen. Die verschiedenen Moränensysteme tragen folgende maximale Flechten:

	1920	(1900)	1850	1820	(1780)	1600
Rhizocarpon geographicum	1,5	2,6	6,3	8,1	10,5	18,5
Aspicilia cinerea	1,5	5,5	12,8	16,5	18,0	30,0
Diploschistes scruposus	—	7,0	—	15,3	17,5	—
Lecidea promiscens	—	—	15,2	21,0	27,0	36,0

Trägt man die in der Tabelle angegebenen Werte der gesicherten Moräne von 1820 in einem Koordinatensystem ein, in dem der Durchmesser der Flechten und ihr Alter die Koordinaten bilden, dann liegen die Flechtengrößen der übrigen Moränen im allgemeinen auf den Geraden, die durch den Nullpunkt und durch die Punkte der 1820er Werte gehen. So wird die Moräne von 1850 absolut bestätigt. Die Moräne von 1920 wurde aus Zeitmangel nur kursorisch abgesucht. Daher sind die Werte unvollständig. Die Flechten auf dieser Moräne zeigen auch noch den Einfluß der großen Periode. Die Werte von 1900 beziehen sich nicht auf ein Moränensystem, sondern auf einen Rundhöcker im Vorfeld des Steinlimmigletschers, der nach den Größen der darauf wachsenden Flechten um 1900 ausgeapert sein dürfte. Zufällig trug er keine gut entwickelten Lecideen.

Der Mangel genügend ausgedehnter Substratflächen wirkt sich auch auf die Flechtengrößen der frührezenten Moränen östlich des Endes der Hauptzunge aus (Abb. 6 u. 10). Außerhalb des hohen Uferwalles von 1850 liegen diese kurzen Wälle. Die inneren

© Verein zum Schutz der Bergwelt e.V. download unter www.vzsb.de/publikationen.php und www.zobodat.at

beiden Wallsysteme sind nach den Flechtengrößen aber sicher älter als der Vorstoß von 1820. Ein Vorstoß um 1780 könnte sie aufgebaut haben. Es ist sehr unwahrscheinlich, daß diese Wälle aus einer viel früheren Zeit stammen, doch ist das Fehlen größerer Flechten auf einem kurzen Wall nur ein negativer Beweis. Das äußerste Wallsystem ist deutlich älter. Die Flechtengrößen von *Rhizocarpon geographicum* weisen auf eine Bildung vor 1650 hin. Da auch diese Moräne nur kurz ist, können zufällig größere Flechten fehlen. Der Vorstoß, der diese Moräne aufgebaut hat, könnte um 1600 erfolgt sein. Ein großer Vorstoß aus dieser Zeit ist ja am Steingletscher beobachtet worden.

Die Datierung von historischen Vorstößen an Alpengletschern bringt allgemein, soweit ich sie durchgeführt habe, eine Bestätigung der urkundlichen Nachrichten und der morphologischen Untersuchungen (Richter 1891, Kinzl 1929, 1932, Klebelsberg 1948/49, Weinberger 1949). In jeder der von mir besuchten Gletschergruppen (Gran Paradiso, Innerschweiz, Glarner Alpen, Ötztaler Alpen, Nord- und Hochstubaier Alpen, Zillertaler Alpen, Großvenediger- und Sonnblickgruppe) kehren dieselben Vorstöße wieder. Die großen Vorstöße in historischer Zeit beginnen um 1600. Moränen aus früherer Zeit sind nach den ausgewachsenen Flechten zu schließen mindestens 600 bis 1000 Jahre alt. Für ältere Substratflächen versagt die Lichenometrie. In vielen Fällen wurden Moränen, die von früheren Autoren als frührezent beschrieben worden waren, als älter erkannt (Heuberger 1954). Besonders im Hochstubai konnte ich zusammen mit H. Heuberger die frührezenten Moränen viel höher finden als Senarclens-Grancy (1938) annahm. Seine „frührezenten" Moränen sind fast durchwegs stadial oder stammen aus der Klimaverschlechterung des Subatlantikums nach der postglazialen Wärmezeit. Indirekt kann die Lichenometrie auch die Datierung älterer Moränensysteme beeinflussen.

Die Moränen von 1600 sind in jeder untersuchten Gletschergruppe vorhanden. Ein Unterschied zwischen den verschiedenen Alpengebieten läßt sich nicht finden. Wenn ein Unterschied besteht, dann höchstens der, daß große Gletscher an den Stirnen diese eventuell vorhandenen Moränen durch jüngere Vorstöße überschoben, während bei kleineren Gletschern mehr Aussichten auf erhaltene 1600er Stirnmoränen bestehen. Gelegentlich haben größere Gletscher aber Ablenkungsmoränen, apparati di diversione nach Capello 1952, aus dieser Zeit erhalten.

Eine jüngere Vorstoßperiode zeichnet sich um 1680 ab, doch sind Moränen aus dieser Zeit allgemein etwas spärlicher als 1600er Moränen. An vielen Gletschern wurden wahrscheinlich die Moränen von 1680 später überfahren. In den untersuchten Gebieten der Ostalpen sind Moränen aus der Zeit um 1680 etwas häufiger als in den besuchten Westalpengebieten.

Während von verschiedenen Gletschern Vorstöße von 1740 belegt sind, konnte ich bis jetzt keine Moränen aus dieser Zeit entdecken. Dieser negative Beweis läßt auf ein kleineres Ausmaß dieses Vorstoßes schließen.

Dafür fand ich in jeder Gruppe Moränen aus der Zeit zwischen 1770 und 1780. Nachrichten von solchen Vorstößen gibt es genug (Richter 1891), aber in der

© Verein zum Schutz der Bergwelt e.V. download unter www.vzsb.de/publikationen.php und www.zobodat.at

neueren Literatur sind sie leider etwas in Vergessenheit geraten. Dieser Vorstoß ist deswegen bedeutungsvoll, weil er mit den größten historischen Vorstößen der skandinavischen Gletscher zusammenfällt (Faegri 1951). In den von mir besuchten Teilen der Alpen ist der Vorstoß von 1770—1780 häufig nicht der größte historische. Vernagtferner und Hintereisferner im Ötztal, an denen ich zuerst diesen Vorstoß feststellte, bilden eigentlich eine Ausnahme. Innerhalb von Moränen des 17. Jahrhunderts sind 1780er-Moränen häufiger.

1820 und 1850 waren die letzten großen historischen Vorstöße. In den Ostalpen und in der Gran-Paradiso-Gruppe ist häufig der Stand von 1850 mächtiger, während er in den nördlichen und zentralen Schweizer Alpen meist vom Stand von 1820 übertroffen wird (Kinzl 1932). Wie sehr aber diese Unterschiede auch vom Gelände abhängen, zeigen die drei Zungen des Steingletschers. Da alle drei Zungen aus einem zusammenhängenden Firnfeld stammen, wäre auch ein ähnliches Ausmaß der Vorstöße zu erwarten. Während sich aber im Vorfeld der Hauptzunge die Moränen von 1850 an der Stirn eng an die 1820er-Moränen anlegen, endete der Steinlimmigletscher um 1850 500 Meter hinter seiner Moränenstirn von 1820. Von der mittleren, namenlosen Zunge sind 1850 gar keine Moränen ausgebildet worden.

Spätestens um 1860 setzte bei allen Alpengletschern der große Rückzug ein, der nur von zwei kleinen Halten oder auch kleinen Vorstößen um 1890 und 1920 unterbrochen wurde. Aus der Zeit um 1890 sind gelegentlich kleine Moränen vorhanden, doch hat sie der Vorstoß von 1920 in vielen Fällen überfahren. Die Bestimmung dieser Moränen mit Hilfe der Lichenometrie ist in den Alpen meist nicht notwendig, da durch die Gletschermessungen der alpinen Vereine die Bewegungen der Gletscher seither ausführlich registriert werden.

Anderseits wäre die Analyse des Flechtenwachstums in seinen Anfängen in einem Vorfeld mit vielen Wintermoränen sehr wichtig. Solche Wintermoränen haben in großer Zahl der Ghiacciaio di Montcorvé (Gran Paradiso), der Steingletscher und das Schwarzensteinkees im Zillertal.

Die Lichenometrie bestätigt die Gleichzeitigkeit der Gletschervorstöße in den von mir besuchten Teilen der Alpen. Es wird für die Glaziologie und Klimatologie sehr wesentlich werden, diese Untersuchungen auf außeralpine Gebiete auszudehnen (Faegri 1951, Mattick 1952, De Heinzelin 1953[2]) Kleinere Unterschiede des Zeitpunktes der Vorstoßmaxima konnte ich mit der Lichenometrie allerdings bis jetzt noch nicht erfassen, da die Fehlergrenze ungefähr 5% des Alters beträgt. Die historischen Vorstöße von 1600, 1680, 1770, 1820 und 1850 hatten sehr häufig ähnliche Ausmaße. Es ist oft nur den etwas wechselnden Fließrichtungen des Eises zuzuschreiben, wenn viele verschiedenaltrige Moränen in einem Vorfeld erhalten sind. Bis jetzt fand ich nur einen Gletscher, den Ghiacciaio di Gran Neiron im Gran Paradiso, der alle historischen Vorstöße und ein Larstig-System (Heuberger 1954) hintereinander gestaffelt erhal-

[2]) Während der Drucklegung erhielt ich von J. De Heinzelin die ersten Meßwerte vom Vorfeld des Stanley-Gletschers (Ruwenzori, Zentralafrika). Die Wachstumsgeschwindigkeit von *Rhizocarpon geographicum* zeigt „alpines" Ausmaß und läßt mehrere historische Wälle datieren.

© Verein zum Schutz der Bergwelt e.V. download unter www.vzsb.de/publikationen.php und www.zobodat.at

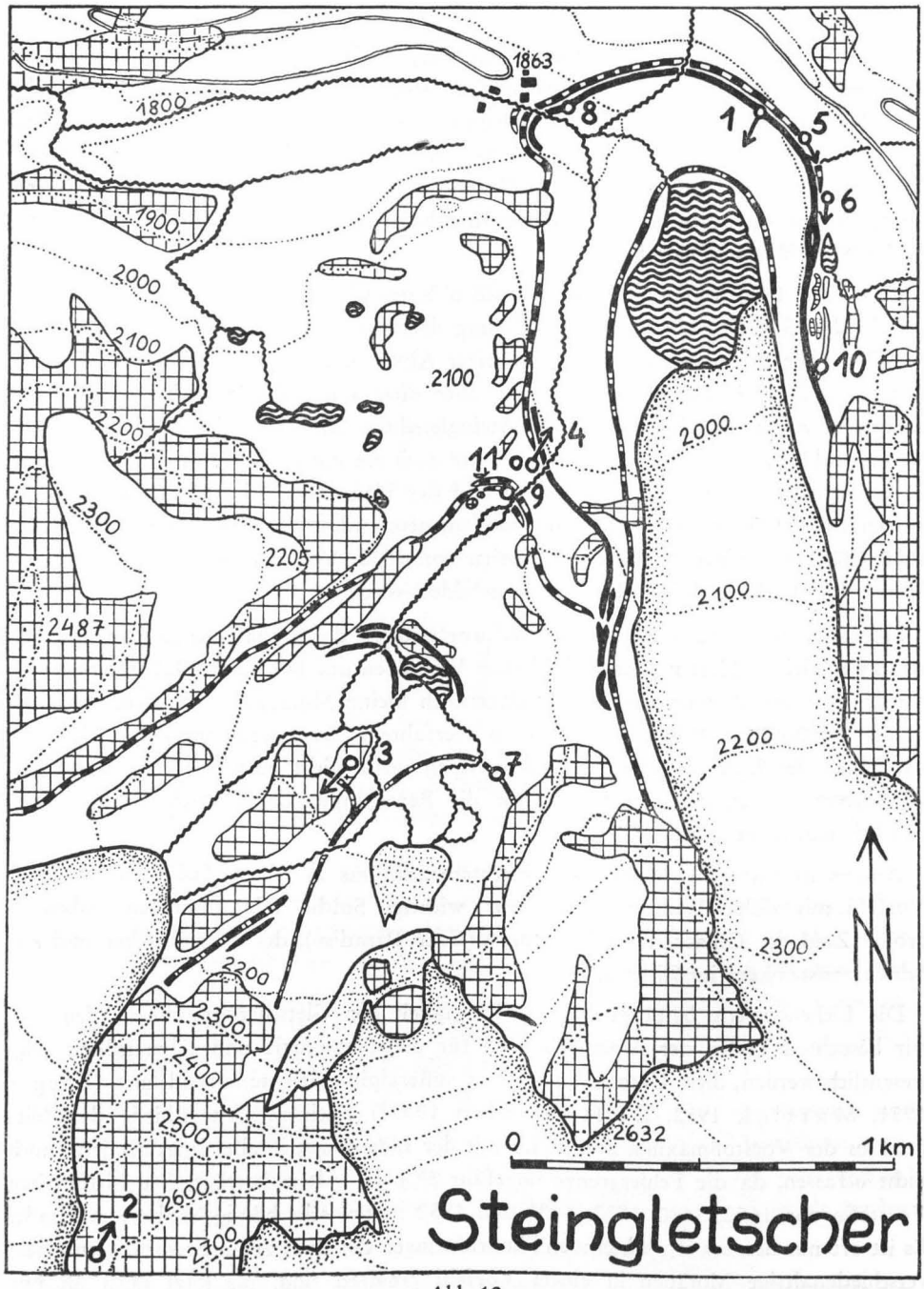

Abb. 12

Gletscher
Firnfleck
See
Fels
Standorte der Flechtenfotos
Moränenfotos
Straße
Bach
Isohypsen
Gebäude
Moränen von
1920
1850
1820
1770
1600

© Verein zum Schutz der Bergwelt e.V. download unter www.vzsb.de/publikationen.php und www.zobodat.at

ten hat. Auch dort zeigt bloß die Stirne die verschiedenen Moränen, während nur ein System hoher Ufermoränen erhalten ist. Diese hohen Ufermoränen wurden zuletzt vom größten Vorstoß des 19. Jahrhunderts, meist um 1850 überformt. Sie sind meist die Summe aller historischen Vorstöße. Auch der Steingletscher zeigt im Moränenkranz seiner Hauptzunge diesen Fall typisch. An der Moränenstirn sind die getrennten und in sich oft verdoppelten oder gar verdreifachten Wälle von 1820 und 1850 nicht besonders mächtig. Die höchsten Stellen haben eine relative Höhe von 5 Metern. Die Ufermoränen schwellen aber sofort an, wo das Material von 1850 die älteren Blöcke überdeckt. Hier steigt die relative Höhe auf 10 bis 15 Meter. Die linke Ufermoräne der Hauptzunge knapp nördlich des Bockberges aber wurde vom Vorstoß von 1920 gebildet. Dort überdeckte der letzte kleine Vorstoß alles ältere Moränenmaterial. Talauswärts sinkt die Moräne von 1920 jedoch rasch tiefer. Mit Hilfe der Lichenometrie ist es möglich, solche Moränenfolgen zu analysieren, was morphologisch oft nur schwer geschehen kann. Der Steingletscher hat durch das Moränenmaterial seiner früheren Vorstöße sein Bett immer weiter eingeengt. Das Eis stieg im eingeengten Bett höher als bei früheren Vorstößen, auch wenn die Vorstöße nicht so mächtig waren und nicht so weit talwärts reichten. Trotz des gewaltigen Druckes der Eismassen bedeuteten bei den relativ kleinen historischen Vorstößen Moränenmassen bereits Hindernisse, die nicht immer beiseite geschoben wurden. Gelegentlich wurden sie überflossen, gelegentlich wich das Eis solchen Hindernissen auch aus und formte Ablenkungsmoränen (Capello 1952). Oft mögen auch Rundhöcker im Untergrund die Ursache dafür gewesen sein. Besonders im Gran Paradiso und der Montblanc-Gruppe sind solche Bildungen nicht selten. So kann die Lichenometrie auch zur Strömungstheorie der Gletscher beitragen.

Besonders weitreichend sind die Ergebnisse der Lichenometrie für die Kenntnis der Klimatologie des Hochgebirges. Die Flechtengrößen sind auf gleichaltrigen Moränen nicht immer konstant. Da die epipetren Flechten vor allem klimatisch und kaum edaphisch beeinflußt werden, ist es ja nicht anders zu erwarten. Innerhalb eines Gletschervorfeldes schwanken die Flechtengrößen aber kaum. Vor allem die Meereshöhe scheint das Flechtenwachstum im Bereich eines Vorfeldes wenig zu beeinflussen. So zeigt z. B. *Rhizocarpon geographicum* auf der ganzen rechten Ufermoräne des Schwarzenbergferners beim Schrankogel in den Stubaier Alpen von 3050 m bis 2150 m maximale Thallusdurchmesser von 4,5 cm. Wahrscheinlich kompensiert die Zunahme des Niederschlages die Abnahme der Temperatur in größerer Höhe. Ausnahmen von dieser Regel sind Stellen, an denen eine langjährige Verfirnung z. B. im Zusammenhang mit dem Vorstoß von 1850 den Flechtenbewuchs abtötete. Diese Schneetälchen zeigen einen sehr spärlichen Flechtenbewuchs. Einzelne Arten werden verschieden stark beeinflußt. Manche Gletscher in hochgelegenen kleinen Karen können wegen der ausgedehnten Verfirnung im 19. Jahrhundert lichenometrisch kaum untersucht werden. So können für den Ruderhofferner und den Grawawandferner im Huchstubai keine Flechtenwerte in der folgenden Tabelle angegeben werden. Aber die Kenntnis vom Ausmaß der Verfirnung im 19. Jahrhundert erweitert auch das Bild von diesem Vorstoß. In hochgelegenen kleinen

© Verein zum Schutz der Bergwelt e.V. download unter www.vzsb.de/publikationen.php und www.zobodat.at

Karen muß der Firn sogar stellenweise stadiale Moränen überzogen haben. Auch im Gran Paradiso ist diese Erscheinung häufig. Dieses Gebiet wurde 1853 erstmals genauer kartographiert. Dabei sind die Gletschergrenzen außerordentlich übertrieben eingezeichnet. Bei Berücksichtigung der lichenometrischen Tatsachen nimmt das nicht wunder. Bei manchen Gletschern muß um die Mitte des 19. Jahrhunderts die ganze Stirn unter einer Firndecke gelegen haben. So sonderbar es klingen mag, aber auch die Bildung der Stirnmoräne hat sich dort wahrscheinlich unter der Firndecke vollzogen. Diese paradoxe Verschiebung der Gletscherstirn in das Nährgebiet konnte natürlich nicht lange anhalten. Andererseits vollzog sich aber auch die Bildung der Wintermoränen unter der winterlichen Schneedecke. Hätten die klimatischen Bedingungen um die Mitte des 19. Jahrhunderts länger angehalten, dann wären die kleinen Gletscher natürlich sprungartig vorgerückt, sobald sich die Firndecke in bewegtes Eis umgewandelt hätte. Gerade neuere Untersuchungen der Höhe der Schneegrenze haben gezeigt, wie wenig statisch diese Linie ist (Tollner 1949a, Peretti 1931). Wird der Gletscher zur Bestimmung der Schneegrenze über die Firnlinie herangezogen, so erscheint sie als einigermaßen statische Linie, die sich im Verlauf einiger Jahre nur langsam verändert. In Wirklichkeit hinkt der Gletscher in seiner Reaktion nach und das um so mehr, je größer er ist. Nur ein stationärer Gletscher kann ein Maß für die Schneegrenze abgeben. Ein Gletscher, der vorstößt oder zurückgeht, strebt erst sein neues Gleichgewicht zwischen Nährgebiet und Zehrgebiet an. Kleine Gletscher erreichen das Gleichgewicht schneller und daher schwankt dann scheinbar die Firnlinie bei ihnen in größerem Umfang. Der Zeitfaktor wurde bei den meisten Schneegrenzbestimmungen ziemlich vernachlässigt. Je größer der Gletscher ist, an dem Schneegrenzbestimmungen durchgeführt werden, desto länger scheint auch die Periode zu sein, aus der als Mittelwert die Firnlinie gewonnen wird. Gerade das Studium kleiner Gletscher, an denen zwar historische Vorstöße nicht belegt sind, aber lichenometrisch bestimmt werden können, wird wohl manche glaziologischen und klimatologischen Erkenntnisse bringen.

Neben den Substraten mit längerer Verfirnung weichen auch bodennahe Gesteinsflächen, die durch fließendes Wasser beeinflußt werden, z. B. Steine, die häufig von Gletscherbächen überspült werden, in den Flechtengrößen vom normalen Wert innerhalb eines Vorfeldes ab. Solche Blöcke tragen größere Flechten als Steine außerhalb der Spritz- und Spülstufe. In und an Gletscherbächen ist die Feuchtigkeit dauernd und optimal vorhanden. Daher können sich Temperaturunterschiede und damit auch Höhenunterschiede im Flechtenwachstum auswirken. Im Gran-Paradiso-Gebiet erreichte die amphinereïdische Krustenflechte *Aspicilia lacustris* (With.) Th. Fr. im Gletscherbach des Ghiacciaio del Gran Paradiso in 100 Jahren 9,5 cm Durchmesser in 2820 m Höhe, während im Gletscherbach des Ghiacciaio di Money in 2160 m Höhe dieselbe Flechte in derselben Zeit zu 12,5 cm Durchmesser heranwuchs (Beschel 1955b). Die *Aspicilia*-Arten auf den unbeeinflußten Blöcken sind viel kleiner. In größerer Höhe ist die Temperatur länger ungünstig und hemmt das Wachstum. Noch habe ich aber nicht genügend Messungen amphinereïdischer Flechten im Hochgebirge gemacht, um exakte Zusammenhänge mit der Temperatur zu erkennen.

© Verein zum Schutz der Bergwelt e.V. download unter www.vzsb.de/publikationen.php und www.zobodat.at

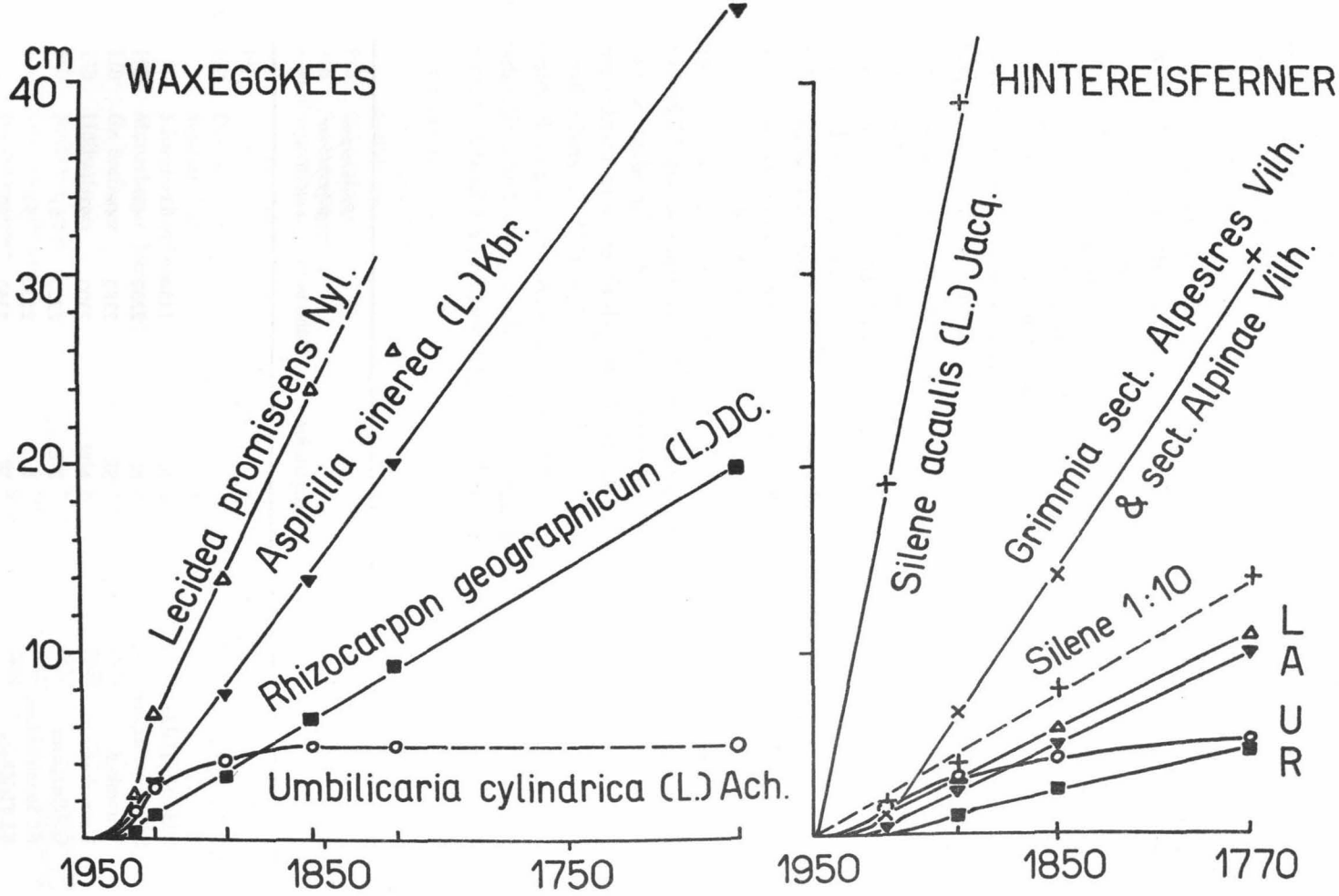

Abb. 13 PFLANZENWACHSTUM IN ZWEI GLETSCHERVORFELDERN

© Verein zum Schutz der Bergwelt e.V. download unter www.vzsb.de/publikationen.php und www.zobodat.at

Auf den nicht derart beeinflußten Substraten schwankt die Wachstumsgeschwindigkeit in verschiedenen Gebieten ziemlich stark. Die Flechten wachsen in zentralen Alpengebieten langsamer als am Alpenrand. In Abbildung 13 stelle ich die Pflanzendurchmesser am Waxeggkees im Zillertal denen des Hintereisferners im Ötztal gegenüber. Diese Unterschiede sind kein Zufall, sondern gesetzmäßige Manifestationen des Klimas im Flechtenwachstum. Da sich die Wachstumsgechwindigkeiten der einzelnen Flechtenarten unter verchiedenen klimatischen Bedingungen etwas gegeneinander verschieben, ist es zweckmäßig, vorerst eine Art herauszugreifen. Die häufigste und gleichzeitig eine der auffälligsten Arten im Hochgebirge ist der Kosmopolit *Rhizocarpon geographicum.* In der folgenden Tabelle stelle ich die maximalen Lagerdurchmesser dieser Art auf 100jährigen Substraten der untersuchten Gebiete zusammen. Die Wachstumsgeschwindigkeit entspricht daher im allgemeinen $^1/_{200}$ des Wertes, wenn sie auf ein Jahr bezogen wird. Einflüsse der großen Periode werden dabei vernachlässigt. Die 100jährigen Substrate sind Moränenblöcke des Vorstoßes von 1850. Die Untersuchungen fanden 1949—1955 statt. Das Wachstum in diesen maximal sechs Jahren fällt in die Fehlergrenze. Auch das schwankende Bildungsdatum dieser Moränen zwischen 1848 und 1856 wird dabei nicht berücksichtigt. Diese Unterschiede betragen maximal 3% des Wertes. In der Tabelle gebe ich die Gletscher nach Gebirgsgruppen geordnet von Osten nach Westen fortschreitend an. Exposition der Stirn und Meereshöhe der Stirnmoränen geben einen einfachen Einblick in die Lage der Gletscher. Zwei Meßstellen werden eingeschlossen, die nicht von Gletschern gebildet wurden. Im Sonnblickgebiet konnte ich die 45jährige Halde des Tauerntunnels besuchen, auf der schon Kieslinger (1938) Flechten maß. Hier wurde der in 45 Jahren erreichte Durchmesser auf 100 Jahre erweitert. Im Sellraintal im Nordstubai erfolgte 1852 ein großer Bergsturz (Marberger 1932). Auch dieses Blockmaterial wurde auf seinen Flechtenbewuchs von H. Heuberger und mir untersucht. Mit H bezeichnete Gletscher wurden von H. Heuberger allein besucht; mit HB bezeichnete Gletscher wurden von uns gemeinsam begangen.

Gebiet	Exposition	Höhe in m	*Rhizocarpon geographicum* Durchmess. in mm
Sonnblickgruppe			
Böckstein-Halde	N	1150	93
Schlapperebenkees	N	2230	48
Wurtenkees	SE	2380	49
Neunerkees	NW	2300	52
Goldbergkees	NE	2200	51
Kl. Sonnblickkees	E	2500	50
Kl. Fleißkees	W	2350	50

© Verein zum Schutz der Bergwelt e.V. download unter www.vzsb.de/publikationen.php und www.zobodat.at

	Gebiet	Exposition	Höhe in m	*Rhizocarpon geographicum* Durchmess. in mm	
Großvenediger					
	Frosnitzkees	E	2200	70	
	Schlattenkees	NE	1730	57	
	Viltragenkees	SE	1730	57	
	Zettalunitzkees	SW	2350	73	
	Dorfer- und Rainerkees	S	2200	62	
	Obersulzbachkees	NW	1800	90	
	Krimmler Kees	W	1900	57	
Zillertaler Alpen					
	Stillupkees	NW	2200	65	
	Löfflerkees	NE	2200	62	
	Lapenkees	NE	2200	63	
	Floitenkees	NW	1900	75	
	Schwarzensteinkees	W	2140	61	
	Hornkees	NW	1950	65	
	Waxeggkees	N	1950	62	
	Schlegeisferner	NW	1950	52	
	Oberschrämmachkees	E	2500	53	
Nordstubaier Alpen					
HB	Bergsturz bei Gries (Sellrain)	E	1380	70	
H	Kraspesferner	N	2600	52	R. selten
H	Grießkogelferner	NE	2500	60	
H	Zwieselbachferner	N	2500	57	Sporastatia; R. zu selten
H	Larstigferner	N	2500	65	
HB	Längentaler Ferner	N	2400	60	
	Bachfallenferner	W	2400	51	
Hochstubaier Alpen					
	Simminger Ferner	NE	2260	47	
	Grüblferner	N	2260	49	
HB	Grünauferner	NW	2200	56	
HB	Sulzenauferner	NE	2250	52	
HB	Schaufelferner	N	2360	50	
HB	Fernauferner	N	2300	50	
HB	Daunkogelferner	E	2500	50	
HB	Daunkopfferner	E	2600	50	
	Sulztalferner	N	2150	49	
	Schwarzenbergferner	W	2200	48	
HB	Mutterberger Jochferner	E	2700	46?	
HB	Gr. Seeferner	SE	2600	40?	
HB	Hölltalferner	S	2600	50	
HB	Ruderhofferner	S	2750	—	Verfirnung
	Grawawandferner	SE	2800	—	Verfirnung
	Hochmoosferner	E	2400	48	

© Verein zum Schutz der Bergwelt e.V. download unter www.vzsb.de/publikationen.php und www.zobodat.at

	Gebiet	Exposition	Höhe in m	*Rhizocarpon geographicum* Durchmess. in mm
Ötztaler Alpen				
H	Gurgler Ferner	N	2180	40
	Rofenkarferner	SE	2600	32
	Mitterkarferner	SE	2800	30
	Vernagtferner	NE	2150	31
	Guslarferner	NE	2750	35
	Kesselwandferner	S	2600	21
	Hintereisferner	NE	2300	24
Schweizer Alpen				
	Segnesgletscher, Glarus	SW	2500	65
	Glatscher de Medel, Graubünden	N	2150	60
	Steingletscher, Bern	N	1900	63
	Steinlimmigletscher, Bern	NE	2050	62
Gran-Paradiso-Gruppe				
	Ghiacciaio di Noaschetta	SE	2800	25
	Ghiacciaio di Goi	SE	2800	25
	Ghiacciaio di Money	W	2200	23
	Ghiacciaio di Grand Croux	N	2250	21
	Ghiacciaio della Tribolazione	NE	2300	20
	Ghiacciaio dell'Herbetet	E	2900	19
	Ghiacciaio del Gran Sertz	NE	2900	23
	Ghiacciaio del Lauson	NE	2900	23
	Ghiacciaio della Rossa	S	3100	8?
	Ghiacciaio del Trayo	NE	2400	21
	Ghiacciaio di Gran Neiron	NW	2700	19
	Ghiacciaio di Montandeyne	W	2700	15
	Ghiacciaio di Lavacciu	NW	2600	15
	Ghiacciaio del Gran Paradiso	W	2800	13
	Ghiacciaio di Montcorvé	W	2600	15
	Ghiacciaio di Monciair	W	2700	21
	Ghiacciaio del Grand Etret	N	2600	22
	Ghiacciaio di Punta Foura	NE, SE	3100	18

Der Durchmesser 100jähriger *Rhizocarpon geographicum* Thalli, den ich vereinfacht den Flechtenfaktor nennen möchte, zeigt unabhängig von der Meereshöhe im einzelnen Gletschervorfeld einen deutlichen Einfluß der Massenerhebung im betreffenden Gletschergebiet. Klimatisch zeigen Gebiete mit großer Massenerhebung ein Defizit an Niederschlägen gegenüber gleich hohen Bergen des Alpenrandes. Auch die Morgentemperaturen sind im Bereich der großen Massenerhebungen niedriger als in der unbeeinflußten Atmosphäre gleicher Höhe über dem Alpenvorland (Tollner 1949b). Doch zeigt die Temperatur keine großen Unterschiede im Mittel. Die Morgentemperaturen, d. h. die Tagesminima, sind erniedrigt, während die Tagesmaxima, die ungefähr gleich hoch wie in der unbeeinflußten Atmosphäre sind, diesen Unterschied nicht mehr

© Verein zum Schutz der Bergwelt e.V. download unter www.vzsb.de/publikationen.php und www.zobodat.at

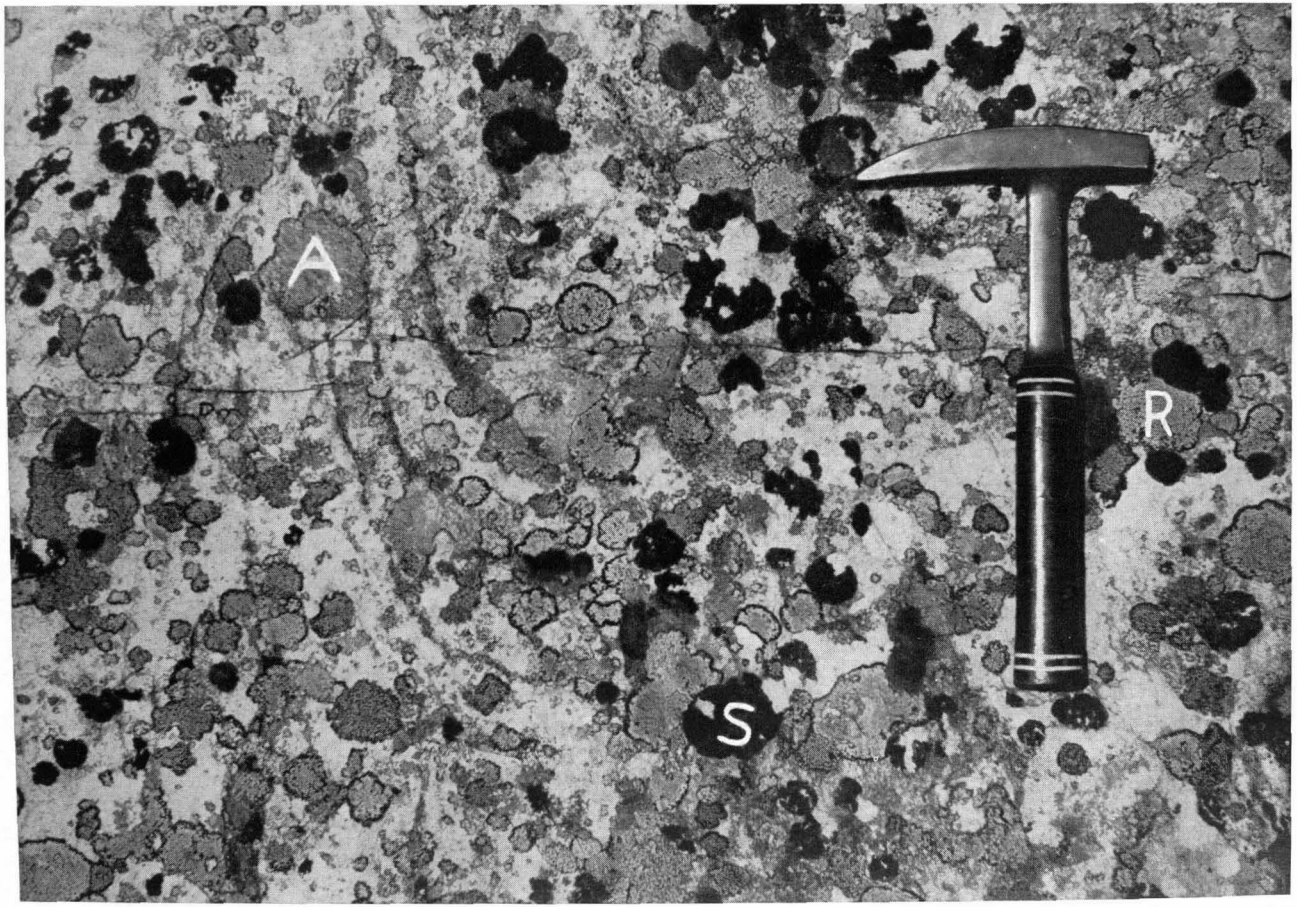

Abb. 8: Westexponierte Neigungsfläche eines Blockes der Stirnmoräne von 1850 beim Hotel Steingletscher mit Aspicilia cinerea (A) 7,0 cm; Sporastatia testudinea (S) 5,9 cm; Rhizocarpon geographicum (R) 5,4 cm Durchmesser

© Verein zum Schutz der Bergwelt e.V. download unter www.vzsb.de/publikationen.php und www.zobodat.at

Abb. 9: Ostexponierte Neigungsfläche eines Blockes der Stirnmoräne des Steinlimmigletschers von 1820 über dem Gletscherbach mit Lecidea sp. (L) 11,5 cm; Aspicilia cinerea (A) 9,8 cm; Rhizocarpon geographicum (R) 5,9 cm; Sporastatia testudinea (S) 4 cm Durchmesser

© Verein zum Schutz der Bergwelt e.V. download unter www.vzsb.de/publikationen.php und www.zobodat.at

Abb. 10: Ostexponierte Steilfläche eines Blockes der Moräne von 1600 mit Rhizocarpon geographicum 18,5 cm Durchmesser

© Verein zum Schutz der Bergwelt e.V. download unter www.vzsb.de/publikationen.php und www.zobodat.at

Abb. 11: Ostexponierte Steilfläche eines Blockes außerhalb des Vorfeldes des Steingletschers zwischen der Moränenstirn des Steinlimmigletschers und der linken Ufermoräne der Hauptzunge mit Rhizocarpon geographicum 26 cm Durchmesser

Sämtliche Aufnahmen von J. de Heinzelin, Brüssel

© Verein zum Schutz der Bergwelt e.V. download unter www.vzsb.de/publikationen.php und www.zobodat.at

ausgleichen können. Während die Vegetationsgrenzen nach Tollner (1949 b) vorwiegend durch bessere edaphische Bedingungen und kürzere Schneebedeckung in den Gebieten der großen Massenerhebung ansteigen, verringert sich der Flechtenfaktor, der fast ausschließlich klimatisch bedingt wird, in ihnen. Dies scheint teilweise die Ansicht Tollners zu bestätigen. Der Flechtenfaktor wird durch den komplexen Einfluß des Klimas bestimmt. Parallelen werden daher nur mit kombinierten Klimafaktoren und nicht mit einzelnen Klimaelementen aufscheinen.

Wie ich schon mehrfach hinweisen konnte (1954 a, 1955 a, b), zeigt der Flechtenfaktor einen engen Zusammenhang mit der hygrischen Kontinentalität. Dieser von Gams (1932) kombinierte Klimafaktor setzt an Stelle der noch durch zu wenige Messungen bekannten Temperatur die Meereshöhe. In der Formel cot $\varkappa$ = Niederschläge in mm : Meereshöhe in m bezeichnet $\varkappa$ den Kontinentalitätswinkel. Soweit Niederschlagsmessungen in den von mir besuchten Gletschergebieten gemacht wurden, zeigt sich allgemein ein langsameres Flechtenwachstum bei höherer hygrischer Kontinentalität. Bei Berücksichtigung eines erhöhten Temperaturgradienten bei größerer Massenerhebung und eines allmählichen Temperaturabfalles des Jahresmittels von Westen nach Osten würden die Zusammenhänge vielleicht noch klarer werden. Da aber andererseits die Niederschlagsmessungen im Hochgebirge noch immer ein vieldiskutiertes Problem darstellen, deren Ergebnisse häufig angezweifelt werden, sind auch die Niederschlagswerte nicht gesichert. Die in der folgenden Tabelle angegebenen Kontinentalitätsgrade sind darüber hinaus auf sehr verschiedenen Meßmethoden des Niederschlags basiert.

Gebiet	Flechtenfaktor	$\varkappa$	Niederschlagswerte erhalten durch:
Böckstein-Halde	93	39°	Ombrometer (Steinhauser 1937)
Hornkees	65	51°	Ombrometer (Hydrogr. Zentralbüro 1946—1949)
Waxeggkees	62	51°	
Goldbergkees	51	53°	Totalisator (Steinhauser 1938)
Kl. Fleißkees	50	57°	
Fernauferner	50	64°	Ombrometer (Hydrogr. Zentralbüro 1913)
Guslarferner	35	68°	Totalisator (Ekhart 1939)
Hintereisferner	24	68°	
Ghiacciaio di Noaschetta	25	58°	Totalisator (mitgeteilt von F. de Gemini, Ufficio Idrografico del Po)
Ghiacciaio dell'Herbetet	19	64°	
Ghiacciaio di Montcorvé	15	68°	
Ghiacciaio della Rossa	8	73°	

Alle Niederschlagswerte wurden auf die langjährigen Mittel von 1900 bis 1930 nach den Mittelwerten der nächsten Basisstationen umgerechnet. Doch der Zusammenhang ist nicht gesetzmäßig. Das langsame Wachstum der Flechten im Gran-Paradiso-Gebiet bildet eine Ausnahme. Der Vergleich Fernauferner : Ghiacciaio dell'Herbetet und Guslarferner : Ghiacciaio di Montcorvé zeigt das deutlich. Hier scheint die Nieder-

© Verein zum Schutz der Bergwelt e.V. download unter www.vzsb.de/publikationen.php und www.zobodat.at

schlagsverteilung im Laufe eines Jahres wesentlich zu sein. Im Gran-Paradiso-Gebiet überwiegen Frühjahrs- und Herbstniederschläge, die im Gletschervorfeld häufig in fester Form fallen und im Zusammenhang mit den niederen Temperaturen in diesen Monaten von den Flechten kaum ausgenützt werden können. Im Gegensatz hiezu häufen sich im Nordalpengebiet die Niederschläge besonders im Sommer und werden daher besser verwertet. Die geringen Niederschläge im Sommer verhindern im Zusammenhang mit der intensiven Bestrahlung im Gran-Paradiso-Gebiet sogar das Flechtenwachstum auf nicht anderweitig beschatteten, südexponierten Gesteinsflächen in den kontinentalsten Gletschervorfeldern.

Durch die Abhängigkeit des Flechtenfaktors von der jährlichen Niederschlagsverteilung wird ein Rückschluß von der Flechtengröße über die hygrische Kontinentalität auf den mittleren jährlichen Niederschlag erschwert. Innerhalb eines Gletschergebietes bleiben die großklimatischen Bedingungen aber doch so weit konstant, daß der Versuch Erfolg verspricht. Für das Gebiet des Gran Paradiso habe ich mit Totalisatorwerten als Grundlage und mit den Flechtenfaktoren als wesentliche Ergänzung eine Karte der hygrischen Kontinentalität gezeichnet. Die Isokontinentalen zeigen weitgehende Parallelen mit dem Verlauf der Isochionen, wie sie von Peretti (1931) und Bossolasco (1929) angegeben werden.

Für die Nordalpen mit deutlichem Niederschlagsmaximum in den Sommermonaten zeigt sich ein fast linearer, reziproker Zusammenhang des Flechtenfaktors mit der hygrischen Kontinentalität. Das erlaubt wesentliche Schlüsse auf die Niederschlagshöhe in den verschiedenen Gebieten. Die umgekehrte Probe konnte ich am Steingletscher machen. Nach den Interpolationen der nächsten Niederschlagsstationen ist in der Umgebung des Sustenpasses mit einer hygrischen Kontinentalität von 50° zu rechnen. Das entspricht nach meinen bisherigen Messungen einem Flechtenfaktor von 65. Die maximalen 100jährigen Flechten von *Rhizocarpon geographicum* mit 63 mm, die ich zusammen mit J. De Heinzelin fand, bestätigen diese Vermutung.

Vielleicht wird die Lichenometrie verschiedene Klimafaktoren noch exakter und auch noch andere darüber hinaus ermitteln lassen. Weitere Möglichkeiten erwachsen aus dem Vergleich des Verhaltens verschiedener Arten. Ein weites Forschungsgebiet wartet auf seine Bearbeitung.

Nicht nur die Kenntnis der Verbreitung verschiedener Lebewesen ist wichtig. Sicher kann man aus der Grenze des Areals Umweltfaktoren ermitteln. Wesentlicher aber ist das Verhalten eines Lebewesens gegenüber Umweltfaktoren innerhalb seines Areals. Das Wachstum der oxyphilen, epipetren Krustenflechten zeigt auf ähnlichem Substrat ein streng klimagebundenes Verhalten. Die Wachstumsgeschwindigkeit von *Rhizocarpon geographicum* kann sogar als kombinierter Klimafaktor verwendet werden. Hier ist eine Zahl, die das Hochgebirgsklima ausdrückt. Um sie zu gewinnen, sind keine langwierigen Messungen notwendig. Richtig interpretiert kann diese Zahl sehr viel sagen.

Sie gibt uns aber nicht nur neue Kenntnisse, sondern könnte auch dazu beitragen, Wasserkraftwerke in den Alpen dort zu errichten, wo die meisten Niederschläge fallen.

© Verein zum Schutz der Bergwelt e.V. download unter www.vzsb.de/publikationen.php und www.zobodat.at

So könnten andererseits viele Gebiete mit einer einmaligen Formenwelt, wie sie besonders die kontinentalen Gebirgsgruppen der Alpen (Gran Paradiso, Venter Gebiet des Ötztales, Großglockner) darstellen, vor einem unnötigen und unrentablen Zugriff der Technik bewahrt bleiben.

Schrifttum

Des Abbayes, H., 1951: Traité de Lichénologie. Encycl. Biol. Paris 41.

Ahlmann, H. W. son., 1941: Studies in North East Greenland 1939—40. Geogr. Ann. 23: 145—209.

— 1948: Glaciological research on the North Atlantic coasts. Royal Geogr. Soc. London, research ser. 1: 1—83.

Arnold, F., 1868—97: Lichenologische Ausflüge in Tirol, XIV, Nachtr. bei XVIII, XV, XVI, XVII, XXIII, XXIV, XXVII. Verh. zool. bot. Ges., Wien.

— 1891, 1892, 1897, 1898: Zur Lichenenflora von München. Ber. Bayr. bot. Ges., München.

Beschel, R., 1950 a: Flechten als Altersmaßstab rezenter Moränen. Z. f. Gletscherkunde, N. F. 1: 152—161.

— 1950 b: Stadtflechten und ihr Wachstum. (Dissertation, Innsbruck.)

— 1954 a: Growth of lichens, a mathematical indicator of climate. Rapp. & Communic. 8. int. bot. Kongr., Paris, Sekt. 7/8: 148.

— 1954 b: Eine Flechte als Niederschlagsmesser. Wetter und Leben 6/3—4: 56—60.

— 1955 a: Individuum und Alter bei Flechten. Phyton 6/1—2: 60—68.

— 1955 b: Studi lichenometrici nel Gruppo del Gran Paradiso. (Im Druck.)

Bitter, G., 1898: Über das Verhalten der Krustenflechten beim Zusammentreffen ihrer Ränder. Jb. wiss. Bot. 33: 47—127.

Bossolasco, M., 1929: Sulle condizioni attuali di alcuni ghiacciai del Gruppo del Gran Paradiso. Boll. Com. Glac. It. 9: 109—143.

Butin, H., 1954: Physiologisch-ökologische Untersuchungen über den Wasserhaushalt und die Photosynthese bei Flechten. Biol. Zbl. 73: 459—502.

Capello, C., 1952: Gli apparati morenici di diversione. Boll. Com. Glac. It. n. s. 3: 25—44.

Dahl, E., 1954: Cryptogamic Flora of the Arctic, VII. Lichens. The bot. Review 20: 463—476.

Degelius, G., 1940: Studien über die Konkurrenzverhältnisse der Laubflechten auf nacktem Fels. Medd. Göteborgs bot. Trädgard 14: 195—219.

Doignon, P. 1949: La régéneration naturelle du peuplement muscinal dans les parcelles brûlées de la Forêt de Fontainebleau. Rev. Bryol. Lichenol., Paris, 18: 160—168.

Ekhart, E., 1939: Beitrag zur Kenntnis der Niederschlagsverhältnisse der Hochalpen. Zschr. angew. Meteorol. 56/10: 311—322.

Faegri, K., 1933: Über Längenvariationen einiger Gletscher des Jostedalsbre und die dadurch bedingten Pflanzensukzessionen. Bergens Mus. Arbok 7: 137—142.

— 1951: Lavarter som glaciologiske måleinstrumenter. Naturen 9: 278—282.

Fink, B., 1917: The rate of growth and ecesis in lichens. Mycologia 9/3: 138—158.

Frey, E., 1922: Die Vegetationsverhältnisse der Grimselgegend im Gebiet der zukünftigen Stauseen. Mitt. naturf. Ges., Bern 1921 (6): 85—281.

— 1924: Epiphylle Flechten. Mitt. naturf. Ges., Bern 1923 (8).

Friedel, H., 1938 a: Boden- und Vegetationsentwicklung im Vorfeld des Rhonegletschers. Ber. Geob. Inst. Rübel., Zürich 1937: 65—76.

— 1938 b: Die Pflanzenbesiedlung im Vorfeld des Hintereisferners. Z. f. Gletscherkde. 26: 215—239.

Gams, H., 1932: Die klimatische Begrenzung von Pflanzenarealen und die Verteilung der hygrischen Kontinentalität in den Alpen. Z. Ges. f. Erdkde., Berlin 1931/32.

© Verein zum Schutz der Bergwelt e.V. download unter www.vzsb.de/publikationen.php und www.zobodat.at

De Heinzelin, J., 1953: Les stades de récession du Glacier Stanley Occidental (Ruwenzori, Congo Belge). Expl. du Parc National Albert, Bruxelles 2. s. 1: 1—25.

Heuberger, H., 1954: Gletschervorstöße zwischen Daun- und Fernaustadium in den nördlichen Stubaier Alpen (Tirol). Z. f. Gletscherkde. u. Glazialgeol. 3: 91—98.

Hustich, J., 1949: On the correlation between growth and the recent climatic fluctuation. Geogr. Ann. 31: 99—105.

Hydrographisches Zentralbüro, 1913: Beiträge zur Hydrographie Österreichs. X. Niederschläge in österreichischen Flußgebieten, Wien.

— 1946—1949: Niederschlag und Abfluß. Jahresübersicht 1934—1947, Wien.

Jenny, H., 1941: Factors of soil formation. McGraw-Hill Book Co., New York.

Kieslinger, A., 1938: Die Begrünung der Halde des Tauerntunnels bei Böckstein (Salzburg). Mitt. geogr. Ges., Wien, 81: 83—89.

Kinzl, H., 1929: Beiträge zur Geschichte der Gletscherschwankungen in den Ostalpen. Z. f. Gletscherkde. 17: 66—121.

— 1932: Die größten nacheiszeitlichen Gletschervorstöße in den Schweizer Alpen und in der Montblanc-Gruppe. Z. f. Gletscherkde. 20: 270—397.

— 1950: Formenkundliche Beobachtungen im Vorfeld der Alpengletscher. Veröff. Mus. Ferdinandeum, Innsbruck 1949: 61—82.

Klebelsberg, R., 1913: Das Vordringen der Hochgebirgsvegetation in den Tiroler Alpen. Öst. bot. Z. 53.

— 1948/49: Handbuch der Gletscherkunde und Glazialgeologie, Wien.

Kujala, V., 1926: Untersuchungen über die Waldvegetation in Süd- und Mittelfinnland. IC. Flechten. Comm. inst. quaest. forest. Finnlandiae 10: 1—61.

Lawrence, D. B., 1950: Estimating dates of recent glacier advances and recession rates by studying tree growth layers. Trans. Amer. Geophys. Un. 31/2: 243—248.

Linkola, K., 1918: Messungen über den jährlichen Längenzuwachs einiger *Parmelia* und *Parmeliopsis*-Arten. Medd. soc. fauna flora fenn. 44: 153—158.

Lotsy, J. P., 1890: Beiträge zur Biologie der Flechtenflora des Hainberges bei Göttingen. (Dissertation, Göttingen).

Lüdi, W., 1945: Besiedlung und Vegetationsentwicklung auf den jungen Seitenmoränen des großen Aletschgletschers. Ber. Geob. Inst. Rübel, Zürich 1944: 35—112.

Marberger, H., 1932: Der Bergsturz bei Gries im Sellrain im Jahre 1852. Tiroler Heimatblätter 10/3: 96—97.

Mathews, W. H., 1951: Historic and prehistoric fluctuations of alpine glaciers in the Garibaldi map-area, Southwestern British Columbia. Journ. Geol. 59: 357—380.

Mattick, F., 1929: Die Flechten des Naturschutzparkes in den Hohen Tauern. Hedwigia Dresden 69: 274 ff.

— 1941: Die Vegetation frostgeformter Böden der Arktis, der Alpen und des Riesengebirges. Rep. spec. nov. Beih. 126: 129—183.

— 1952: Steinringbildung und Pflanzenwachstum auf Spitzbergen. Ber. deutsch. bot. Ges. 65: 41—46.

Müller, F., 1947: Geologie und Mineralogie des Gadmen- und Meientales. Lage und Oberflächengestaltung des Gadmentales. Schweizerische Alpenposten. Sustenstraße. PTT, Bern, 2. Aufl.: 14—24.

Negri, G., 1934: La vegetazione delle morene del ghiacciaio del Lys (Monte Rosa). Boll. Com. Glac. It. 14: 105—172.

Nichols, R. L., & Miller, M. M., 1951: Glacial geology of Ameghino Valley, Lago Argentino, Patagonia. Geogr. Rev. 41: 274—294.

© Verein zum Schutz der Bergwelt e.V. download unter www.vzsb.de/publikationen.php und www.zobodat.at

Nienburg, W., 1919: Studien zur Biologie der Flechten, I—III. Z. f. Bot. 11 (1/2): 1—38.
— 1926: Über die Beziehungen zwischen den Algen und Hyphen im Flechtenthallus. Z. f. Bot. 18 (9): 529—545.
Nylander, W., 1868: Flora: 355. Zitiert nach Bouly de Lesdain, M., 1948. Ecologie de quelques sites de Paris,. Enycl. biogeogr. ecol. 4: 1—87, p. 57.
Peretti, L., 1931: Il limite climatico delle nevi permanenti nelle Alpi Occidentale Italiane. Boll. Com. Glac. It. 11: 151—187.
Raeside, J. D., 1948: Some postglacial climatic changes in Canterbury (New Zealand) and their effect on soil formation. Transact. R. Soc. New Zealand 77: 153—177.
Richter, E., 1891: Die Geschichte der Schwankungen der Alpengletscher. Z. D. u. Ö. A. V. 22: 1—74.
Santesson, R., 1939: Über die Zonationsverhältnisse der lakustrinen Flechten einiger Seen im Anebodagebiet. Medd. Lunds Univ. limnelag. Inst. 1: 1—70.
Schenck, H., 1915: Flechtenbestände. Vegetationsbilder. Jena 1914 (12/5).
Scholander, P. F., Flagg, W., Hock, R. J., & Irving, L., 1953: Studies on the physiology of frozen plants and animals in the Arctic. J. cell and comp. Physiol. 42: 1—56.
Senarclens-Grancy, W., 1938: Die Gliederung der stadialen Moränen im Stubaital. Jb. Geol. Bundesanstalt Wien 88: 13—22.
Sernander, R., 1912: Studier öfver lafvarnes biologi. I. Nitrofila lafvar. Svensk bot. Tidskr. 6: 803—883.
Steinhauser, F., 1937: Das Klima des Gasteiner Tales. Jb. Zentranst. Meteorol. Geodyn. 1931. Beih. 146.
— 1938: Die Meteorologie des Sonnblicks. Springer Wien.
Stormer, P., 1934.: Remarks on the growth of *Parmelia pulla* Ach. Nyt Mag. f. Naturvidensk. Oslo 74: 295—298.
Tobler, F., 1919: Über Wachstumsbestimmungen an Keimlingen von *Cetraria glauca*. Ber. bot. Ges. 37: 364—368.
— 1925: Biologie der Flechten. Borntraeger Berlin.
— 1944: Die Flechtensymbiose eine Wirkstofffrage. Planta 34 (1).
Tobler, F., & Mattick, F., 1938: Die Flechtenbestände der Heiden und der Reitdächer Nordwestdeutschlands. Bibl. bot. Stuttgart 117: 1—71.
Tollner, H., 1949a: Die Depression ostalpiner Firngrenzen von 1947 auf 1948. Mitt. geogr. Ges. Wien 91. Zitiert nach Weinberger L. s. d.
— 1949b: Der Einfluß großer Massenerhebungen auf die Lufttemperatur und die Ursachen der Hebung der Vegetationsgrenzen in den inneren Ostalpen. Arch. Meteorol. Geophys. Bioklimat. Wien B 1 (3/4): 347—372.
Weinberger, L., 1949: Die Gletscherschwankungen. Mitt. f. Erdkde. Linz 13 (2—4): 33—49.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Jahrbuch des Vereins zum Schutze der Alpenpflanzen und -Tiere

Jahr/Year: 1957

Band/Volume: 22_1957

Autor(en)/Author(s): Beschel Roland Ernst

Artikel/Article: Lichenometrie1) im Gletschervorfeld 164-185