

Mitteilungen aus dem biologischen Süßwasserlaboratorium
Frederiksdal bei Lyngby (Dänemark). Nr. III,

Über Steinkorrosion an den Ufern von Furesø.

Von

P. Boysen Jensen (Kopenhagen).

Mit 7 Figuren im Text.

Inhalt: Einleitung: Historische Übersicht. — Steinkorrosion und Kalkinkrustation im Furesø. — Die Entstehung der Korrosion und die Korrosionsursachen. — Literaturverzeichnis.

Einleitung.

Hier und da findet man zwischen den Steinen an den Ufern der Binnengewässer Kalkgesteine, die mit eigentümlichen Furchen überzogen sind. Die Entstehung dieser Furchen hat man längst pflanzlichen oder tierischen Organismen zugeschrieben, und man hat das Phänomen als Steinkorrosion bezeichnet.

Eine Darstellung der Literatur, die die Steinkorrosion und die Korrosionsursachen behandelt, ist nicht ganz leicht zu geben. Wie Forel, der die diesbezüglichen Fragen sehr eingehend behandelt hat, bemerkt, gibt es mehrere verschiedene Korrosionsursachen und entsprechend mehrere verschiedene Korrosionsformen, und diese sind nicht immer, besonders nicht in der älteren Literatur, getrennt gehalten worden.

Die Korrosionsform, mit der ich mich beschäftigt habe, ist die von Forel genannte „sculpture sous le tuf des algues incrustantes“, eine Korrosion nämlich, die am häufigsten, aber doch nicht immer in Verbindung mit Kalkinkrustation auftritt. Indem ich nun versuche, eine Übersicht der Literatur, die speziell diese Korrosionsform behandelt, zu geben, folge ich im wesentlichen der genauen und gründlichen Darstellung Forels (1901, pag. 384). Mehrere der diesbezüglichen Abhandlungen sind in Zeitschriften, die mir nicht zur Verfügung standen, gedruckt.

Steinkorrosion ist zum ersten Male in den Seen der Schweiz von verschiedenen Forschern in Neuchâtel, dazwischen Alex. Braun und William Schimper, beobachtet worden. 1857 studierte Schimper das Phänomen aufs neue. Die Resultate seiner Studien sind nicht veröffentlicht; er hat sie aber 1877 Forel in einem Briefe mitgeteilt. Er schreibt folgendes (zitiert nach Forel): „Pour ces galets sculptés, il y a deux choses à observer: une algue, qui décompose la pierre, une Rivulariée, *Enactis calcivora*; et une autre, qui réunit les particules désagrégées pour en faire des glomerules qui finissent par se détacher et qui forment quelquefois des tas considérables sur les bords du lac de Neuchâtel près de Concise: c'est l'*Hydrocoleum calcilegum*, espèce d'Oscillariée tout à fait semblable à la fameuse *Osc. Ohtonoplastes* qui fixe les sables des dunes de Fionie.“

Ch. Th. Gaudin (1865, pag. 306 u. 351) beschrieb demnächst einen am Genfersee gefundenen Kalkstein, der auf beiden Seiten zahlreiche Vertiefungen trug. Wegen des mandelförmigen Aussehens derselben glaubte er, daß sie durch junge Anodonten hervorgebracht waren. Diese Hypothese ist am 20. November 1865 im Soc. d. sc. nat. de Zürich diskutiert worden. Im Procès-verbal dieser Gesellschaft findet man in betreff dieser Diskussion folgendes (zitiert nach Forel): „M. le professeur Heer entretient la société des sculptures paléontologiques (vorweltliche Fraß-Spuren) sur des pierres près de Genève, par l'action d'Anodontes ou d'Hélices. M. le professeur Escher de la Linth tient ce phénomène pour l'effet d'érosions par le lac, car les sculptures se retrouvent tout autour de galet.“

Bald nachher starb Gaudin. Seine Studien wurden von de la Harpe fortgesetzt (1866, pag. 237). Dieser Forscher beschreibt unter anderm einige Steine, die er von einem Dr. Flaction empfangen hat. Diese Steine hatten, nach der Beschreibung zu urteilen, ganz das charakteristische Aussehen, wie es bei Korrosion in Verbindung mit Inkrustation hervorgebracht wird. Die Korrosionsursache hat er nicht gefunden. In einem in derselben Abhandlung veröffentlichten Briefe von Forel schreibt dieser Neuropterenlarven die Korrosion zu.

Desor veröffentlichte 1868 (p. 68) einige Untersuchungen. Er teilt die Auffassung Schimpers, daß Algen die Korrosionsursache sind. Als korrodierende Algen nennt er *Enactis calcivora* und *Hydrocoleum calcilegum*.

In demselben Jahre publiziert auch de la Harpe (1868, p. 64) eine neue Abhandlung. In Übereinstimmung mit Forel findet er, daß Tiere die Korrosionsursache sein müssen: es finden sich nämlich keine Spuren von Pflanzen in den Furchen.

1877—79 studiert Forel aufs neue die Phänomene (1878, p. 128), und wir treffen hier zum ersten Male eine konsequent durchgeführte Hypothese die Steinkorrosion betreffend. Als Ausgangspunkt benützt er eine Beobach-

tung, infolge derer die inkrustierenden Algen nur an den Kämmen zwischen den Furchen, nicht in den Furchen selber sitzen. Daraus schließt er, daß die inkrustierenden Algen nicht den Stein angreifen, sondern eine schützende Decke bilden; diese Decke aber wird durch zahlreiche kleine Tiere zerstört, die sich Pfade darin bahnen, wie die Elefanten im Dschungel und die Mäuse im Gras der Fluren. Auf den nackten Stellen wird dann der Stein von dem kohlensäurehaltigen Wasser angegriffen, und es entstehen dadurch die Furchen.

C. Vogt (1878) entwickelt aufs neue die Schimperschen Ideen; Fraas (1885) betrachtet Dipterenlarven als Ursache der Korrosion.

Cohn (1893) meint, daß Rivulariaceen und Schizotricheen Steine zu korrodieren vermögen; die Basalzellen sollen wie Wurzeln lösend auf den Kalk wirken, während der übrige Zellfaden Kalk inkrustiert.

Schröter und Kirchner (1898) nehmen die Hypothese Forels an.

Chodat (1898) leugnet die oben erwähnte Beobachtung Forels. Er meint, daß Algen die Korrosionsursache sind. Wenn der Stein durch den Angriff der Algen morsch geworden ist, entstehen die Furchen seiner Meinung nach völlig mechanisch, indem die Tiere, die in den Krusten herumkriechen, die Partikeln auseinander splittern.

Wesenberg-Lund (1901, pag. 25 ff.), der erste, der korrodierte Steine in Dänemark gefunden hat, nimmt einen Zwischenstandpunkt zwischen den Hypothesen Chodats und Forels ein. In Übereinstimmung mit Chodat meint er, daß Algen den Korrosionsvorgang beginnen. Ob aber bei dem weiteren Verlauf des Korrosionsvorganges Pflanzen oder Tiere die wirksamsten sind, läßt sich seiner Meinung nach nicht genau entscheiden.

Ule (1901, pag. 75 ff.) betrachtet Korrosion und Inkrustation als zwei von einander gänzlich unabhängige Phänomene. Als Ursache der Korrosion nennt er Insektenlarven. Sind die korrodierten Steine mit Kalkkrusten überzogen, so ist dies seiner Meinung nach sekundärer Natur, nach der Korrosion geschehen.

Marc le Roux (1907, p. 140) dagegen meint, dass die inkrustierenden Algen auch den Stein zu korrodieren vermögen. Die Entstehung der Furchen erklärt er folgenderweise: Die Algenkolonien setzen sich an einzelnen Punkten fest und fangen an, den Stein zu korrodieren (Fig. 1 a u. b). Durch den Korrosionsvorgang berauben sie sich selber den Boden und sterben daher ab. Inzwischen setzen sie sich an den noch nicht angegriffenen Teilen des Steines fest, und das schließliche Bild (Fig. 1 c) werden daher seiner Meinung nach Furchen im Stein, getrennt durch Kämmе, die mit Algen besetzt sind.

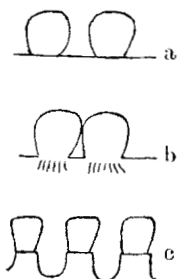


Fig. 1
(kopiert nach
Marc le Roux l. c.
Fig. 14, p. 144).

Steinkorrosion und Kalkinkrustation im Furesö.

Die Ufer des Furesö sind zum größten Teile ziemlich eben. Abhänge befinden sich nur an einem Teil des südlichen und westlichen Ufers, und nur an diesen Stellen ist das Land vom See erodiert worden. Als Folge dieser Erosion ist das Ufer vor den Abhängen mit einer Schicht von Steinen bedeckt, die sich ins Wasser bis zu einer Tiefe von ca. 1 m erstreckt. Die Mehrzahl der Steine bestehen aus Granit; Kalk und Flintsteine finden sich in geringerer Menge, doch häufiger als an den Ufern der meisten übrigen dänischen Seen.

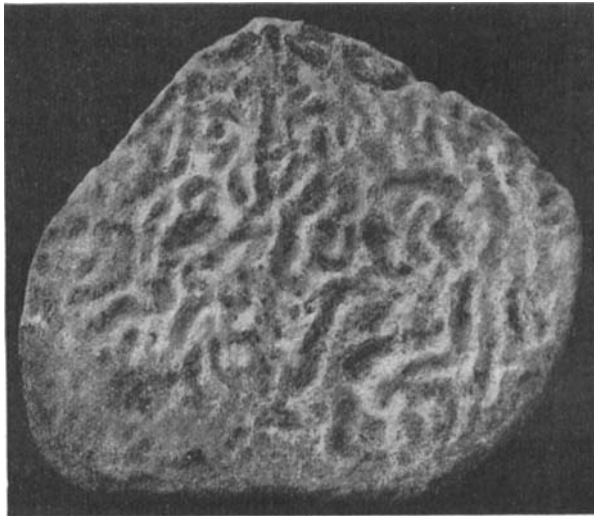


Fig. 2. Korrodiertes Stein vom Furesö, ca. $\frac{1}{3}$ natürl. Größe.

Die Steine des Ufers über der Wasserlinie haben den Sommer hindurch ein ganz gewöhnliches Aussehen. Bei genauer Untersuchung findet man jedoch, daß sie am Grunde von einer porösen Kalkkruste, die leicht losgemacht werden kann, umgeben sind. Im Spätherbste, in den Monaten Oktober und November, fangen diese Krusten an zu wachsen und überziehen zuletzt alle Steine mit einer Schicht, die von der Feuchtigkeit schwillt, so daß das Ufer ganz schlüpfrig wird. Im Verlaufe des Winters verschwinden die Krusten auf der Oberseite der Steine wieder.

Die im Wasser liegenden Steine sind zum Teil mit ähnlichen Krusten überzogen. Im Gegensatz zu den oben erwähnten bleiben diese Krusten das ganze Jahr hindurch auf den Steinen liegen. Sie erlangen nur eine geringe Dicke, zwischen $\frac{1}{2}$ und 1 cm, und finden sich sowohl auf Granit wie auf Kalk und Flintstein, aber lange nicht auf allen Steinen.

Zwischen den im Wasser liegenden Steinen findet sich ein Teil, die gefurcht sind. (Fig. 2 und 3.) Die Furchen überziehen die Steine in allen möglichen Richtungen, haben eine Breite von $\frac{1}{2}$ —1 cm und eine ähnliche Tiefe. Die Länge ist sehr variabel. Die Furchen finden sich nur auf Kalkgesteinen niemals auf Granit, und auf Flintsteinen nur, wenn diese, wie sie es bisweilen sind, mit einer Kalkkruste überzogen sind. Verlauf und Gestaltung der Furchen sind sehr unregelmäßig. Man begegnet allen möglichen Übergangsformen von ringsum zerstreuten größeren oder kleineren Vertiefungen im Stein bis zu Furchen, die sich so dicht aneinander lagern, daß sie nur durch schmale Kämme getrennt sind. Sie

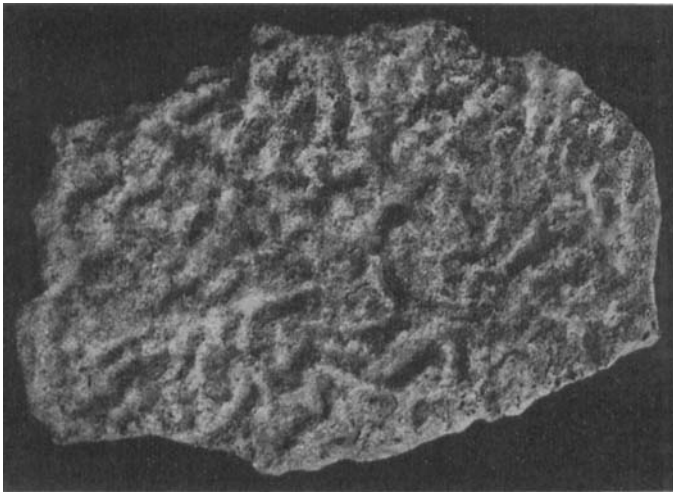


Fig. 3. Korrodierte Stein vom Furesö, ca. $\frac{1}{3}$ natürl. Größe, jüngeres Stadium.

bilden dann ein dichtes Netz von Kanälen die sich unter allen möglichen Winkeln schneiden und durch und durch zerflochten sind. Die Tiefe der Furchen ist, wie erwähnt, nur gering. Löcher durch die Steine, wie es von Forel und anderen an den gefurchten Steinen beobachtet worden ist, finden sich niemals.

Die Menge der gefurchten Steine war 1905, als ich die Untersuchung begann, groß. Sie fanden sich von wenigen Centimetern Wassertiefe bis zu der Steingrenze hinaus. In den späteren Jahren haben sie aber in Menge sehr stark abgenommen, und im Augenblicke — November 1908 — ist ein gefurchter Stein an den Ufern des Furesö geradezu eine Seltenheit. Wir werden diesen Punkt späterhin näher erörtern.

Es geht aus dem oben erwähnten hervor, daß wir es mit zwei Phänomenen zu tun haben, erstens einer Inkrustation, zweitens einer Korrosion

von Kalk. Ob nun diese zwei Phänomene in irgend welcher Relation zu einander stehen, und in zutreffendem Fall, wie der nähere Zusammenhang zwischen ihnen ist, das müssen wir nun untersuchen.

Die Entstehung der Korrosion und die Korrosionsursachen.

Als Ausgangspunkt für meine Untersuchungen diente die Auffassung, daß Korrosion und Inkrustation von verschiedenen Organismen verursacht werden. Diese Auffassung, die schon früher von Wesenberg-Lund angedeutet worden ist, ergibt sich doch nicht unmittelbar von selbst. Pfeffer spricht (Pflanzenphysiologie I, p. 156) diesbezüglich folgendes aus: „Übrigens ist es, wie hier nicht erörtert werden kann, ganz wohl möglich, daß Organismen gleichzeitig Kalktuff bilden und auf Kalkgesteine lösend wirken.“ Um die Richtigkeit der erwähnten Auffassung zu beweisen, wird man daher das getrennte Vorkommen der beiden Phänomene in der Natur dartun müssen.

Erstens mußte ich eine Unterscheidung zwischen inkrustierenden und korrodierenden Algen unternehmen. Eine mikroskopische Untersuchung der Krusten von Steinen mit beginnender Furchenbildung ergab eine Mischung von verschiedenen Cyanophyceen, fadenförmigen und chroococcaceenähnlichen nebeneinander. Untersuchte ich abgeschabtes Material von Steinen mit tieferen Furchen, wurde die Anzahl der fadenförmigen Cyanophyceen kleiner und der chroococcaceenähnlichen größer. Das ließ mich vermuten, daß die korrodierende Alge zwischen den letztgenannten gesucht werden mußte; einen sicheren Schluß zu ziehen war aber unmöglich. Ich entdeckte da, daß die Steine häufig auch auf der unteren Seite mit Algen bedeckt waren. Diese Algen waren meistens verschiedene Chlorophyceen, und es fand sich entsprechend keine Spur von Korrosion. Hier und da fanden sich aber auch kreisrunde, blaugrüne Vertiefungen im Stein, und in diesen fand sich die chroococcaceenähnliche Cyanophycee beinahe in Reinkultur. Es geht hieraus hervor, daß diese Alge eine notwendige und genügende Bedingung der Korrosion ist. Sie ist notwendig, weil sie überall, wo sich eine Korrosion findet, nachgewiesen werden kann, und sie ist genügend, weil sie allein eine Korrosion zu verursachen vermag.

Ich mußte zunächst das Vorkommen der korrodierenden Alge in der Natur verfolgen. Es zeigte sich bald, daß sie sehr verbreitet war. Sie fand sich beinahe auf allen Kalkgesteinen, teils, wie oben erwähnt, allein und dann immer auf der Unterseite der Steine, teils mit inkrustierenden Algen vergesellschaftet in den Kalkkrusten auf der Oberseite. Schließlich fand sie sich auch in korrodierten Planorbisschalen. Beschreibung und Abbildung dieser letzteren bei Wesenberg-Lund (p. 48 und Tafel I, Fig. 1—6).

Die Artbestimmung der korrodierenden Alge war nicht leicht. Sie bildet, wie oben erwähnt, chroococcaceenähnliche Kolonien (Fig. 4). Die einzelnen Zellen sind kreisrund, und ich war daher anfangs der Vermutung, daß es eine *Aphanocapsa* war. Indem ich nun aber durch monatliche Beobachtungen die Entwicklung der Alge verfolgte, entdeckte ich November 1906 folgendes. Es entstanden durch lebhaftes Teilungen Reihen von Zellen, so daß die Alge das Aussehen einer *Nostoc* gewann (Fig. 5). Die Zellen sind blaugrün, 3—4 μ im Diameter. Sporen konnte ich nicht entdecken, es wurden aber interkaläre Heterocysten von olivengrüner Farbe gebildet (h in Fig. 5). Ich glaube daher, daß die korrodierende Alge eine, vermutlich bis jetzt unbeschriebene, *Nostocacee* ist, von der Gruppe *Amorpha* (Bornet et Flahault, 7 p. 189), bei welchen ein ähnlicher Zerfall in chroococcaceenähnliche Kolonien beobachtet worden ist (cf. auch Sauvageau 1897, p. 367).

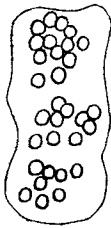


Fig. 4.

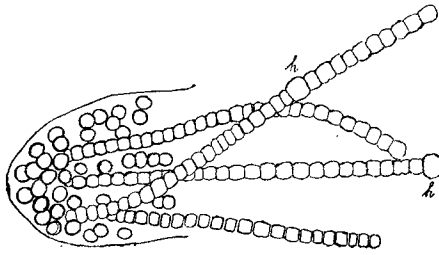


Fig. 5.

Um einen näheren Einblick in den Korrosionsvorgang zu gewinnen, begann ich die Korrosion auf der Unterseite der Steine näher zu untersuchen; diese schien mir nämlich die einfachste zu sein. Es zeigte sich bald, daß nicht wenige Steine auf der Unterseite mit schönen Korrosionsfurchen versehen waren. Man konnte sich zwar denken, daß die jetzige Unterseite während des Korrosionsvorganges nach oben gewendet hatte, und später auf die eine oder andere Weise gedreht worden war. Es gelang mir aber, eine ganze Entwicklungsreihe von Steinen mit beginnender bis zu Steinen mit vollständiger Korrosion zu konstruieren, und man kann hieraus mit vollkommener Sicherheit schließen, daß der ganze Verlauf des Korrosionsvorganges sich auf der Unterseite der Steine abspielen kann. Da die Algen natürlich Licht zu ihrer Entwicklung brauchen, werden nur solche Steine korrodiert, die auf die eine oder andere Weise über den Boden ein bischen gehoben liegen.

Die Bildung der Korrosionsfurchen versuchte Forel, wie wir erwähnten, durch Annahme von Tieren als Korrosionsursachen zu erklären. Diese

Hypothese reicht aber in dem vorliegenden Falle nicht aus. In den Vertiefungen der Unterseite finden sich nämlich sehr selten Tiere, höchstens einzelne Crustaceen, niemals Phryganeen. Die Ursache der Furchenbildung muß daher eine andere sein. Man konnte sich denken, daß sie von einer bestimmten Struktur der Steine oder von bestimmt orientierten Wachstumsverhältnissen der Algen herrührte. Der Verlauf der Furchen in allen Richtungen beweist aber, daß keine solche Struktur der Steine besteht, und die kreisrunden Vertiefungen, die den Anfang des Korrosionsvorganges bilden, zeigen, daß das Wachstum der Algen keiner Richtung nach orientiert ist. Indessen sind diese Voraussetzungen zum Verständnis des Korrosionsprozesses auch nicht nötig. Eine Furchenbildung muß nämlich entstehen, wenn, wie es nachweislich in der Natur vorgeht, nicht ein einzelner, sondern mehrere zerstreute, aber einander nahe liegende Infektionsstellen den Beginn des Korrosionsvorganges bilden. Die zuerst gebildeten kreisrunden Vertiefungen müssen nämlich, indem sie weiter wachsen, zusammenstoßen

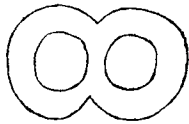


Fig. 6.

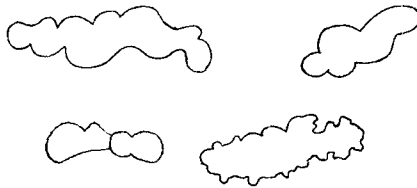


Fig. 7.

und gegenseitig verschmelzen, und aus diesen Verschmelzungen muß, wie die schematische Figur 6 zeigt, eine Furche hervorgehen. Man kann nun leicht dartun, daß die Furchen wirklich auf diese Weise entstehen. Fig. 7 zeigt verschiedene Furchen in Entstehung begriffen, wo die Verschmelzung aus mehreren kreisrunden Vertiefungen unmittelbar sichtbar ist. Es geht hieraus hervor, daß der Korrosionsvorgang eine Furchenbildung verursachen kann; er tut es aber nicht immer. Es gibt in der Natur viele Beispiele von minder regelmäßigen Korrosionsformen.

Das Auftreten der korrodierenden Algen auf der Unterseite der Steine zeigt, daß sie zu ihrer Entwicklung nur wenig Licht nötig haben. Da sie auf der Oberseite nur zusammen mit inkrustierenden Algen oder anderen schattengebenden Objekten, niemals allein, auftreten, muß man schließen, daß sie das volle Tageslicht nicht ertragen können. Dieses Verhältnis hilft uns den Verlauf des Korrosionsvorganges auf der Unterseite der Steine zu verstehen. Es geht nämlich hieraus hervor, daß eine Inkrustation der Korrosion vorangehen muß. Umgekehrt ist, da die korrodierende Alge in dem Furesö häufig ist, eine Inkrustation auf Kalk, aber nicht auf Granit oder Flintgestein, sehr allgemein von einer Korrosion begleitet. Der Verlauf

des Korrosionsvorganges auf der Oberseite der Steine ist daher der folgende: Die frischen Bruchflächen, die nach Mitteilung von Dr. Wesenberg-Lund durch Spaltung der Kalkgesteine durch Eis entstehen, überziehen sich relativ schnell mit einer Kruste von inkrustierenden Algen. Wenn diese Kruste eine gewisse Dicke gewonnen hat, wird das Licht bei dem Durchgange so viel geschwächt, daß die korrodierende Alge innerhalb der Kruste zu gedeihen vermag, und der Korrosionsvorgang nimmt dann seinen Anfang. Die Korrosion beginnt aber auch hier, wie ich nachweisen konnte, mit sehr vielen zerstreuten blaugrünen Punkten.

Die ovalen Vertiefungen, deren Entstehung Forel ein Rätsel war, erklären sich auf folgende Weise. Außer den inkrustierenden Algen kann natürlich ein jedes schattengebendes Objekt das Gedeihen der korrodierenden Algen ermöglichen. So habe ich öfters auf Kalkgesteinen eine verzweigte Chlorophycee angetroffen, an derer Basis sich immer ein blaugrüner Fleck, von der korrodierenden Alge herrührend, fand. Falls nun dieses sich weiter entwickelte, was aber am meistens durch die inkrustierenden Algen verhindert wird, würde man kreisrunde Vertiefungen als Resultat der Korrosion wahrnehmen.

Als Resultat der oben erwähnten Untersuchungen finden wir:

1. Die korrodierende Alge ist eine Nostocacee.
2. Die Furchen bilden sich durch Verschmelzung von zerstreuten kreisrunden Vertiefungen.

Wir wollen nun wieder die von Forel und Chodat aufgestellten Hypothesen ins Auge fassen.

Die Anschauung Forels, daß die Algen überhaupt nicht fähig sind, den Kalk zu korrodieren, glaube ich entkräftet zu haben. In Betreff der Bedeutung der Tiere für den Korrosionsvorgang muß ich ein wenig weiter ausholen. Was die Unterseite der Steine betrifft, habe ich zwar bewiesen, daß eine Korrosion ohne eine Mitwirkung der Tiere stattfinden kann; es besteht aber noch die Möglichkeit, daß sie bei der Korrosion der Oberseite irgend eine Rolle spielen. Es läßt sich aber dartun, daß die Furchen gebildet sind, ehe die Tiere in die Kalkkrusten einwandern. Schabt man einen Stein, wo die Krusten noch nicht von den Tieren angegriffen sind und daher ein vollständig glattes Ansehen haben, wird man gewahr, daß der Stein mit breiten blaugrünen Linien, die sich in den Stein hineinerstrecken, überzogen ist. Aus diesen Linien entstehen später bei dem weiteren Verlauf des Korrosionsvorganges die Furchen. Auf die Beobachtung Forels und anderer, daß die inkrustierenden Algen an den Kämmen zwischen den Furchen sitzen, werde ich weiter unten zurückkommen.

Der Unterschied zwischen der Anschauung Chodats und der meinigen liegt erstens in dem Namen der korrodierenden Alge. Sie ist, wie ich

oben nachgewiesen habe, nicht zwischen den inkrustierenden zu suchen; sondern von diesen völlig verschieden. Die inkrustierenden Algen vermögen überhaupt nicht Kalkgesteine zu erodieren. Ich habe an anderen Seen in Dänemark, wo die korrodierende Alge sich nicht findet, sehr häufig Steine untersucht, die mit einer Kalkkruste überzogen waren, ohne die charakteristischen Merkmale der Korrosion zu zeigen. Chodat meint ferner, daß die Tiere bei dem Korrosionsvorgange mitwirken, indem sie rein mechanisch die Furchenbildung verursachen sollen, wenn der Stein durch die Korrosion der Algen morsch geworden ist. Wie ich aber oft beobachtet habe, wandern die Tiere erst ein, wenn die Furchen eine gewisse Tiefe erlangt haben, und ich bezweifle darum nicht, daß die Furchenbildung ohne irgendwelche Mitwirkung von seiten der Tiere stattfinden kann.

Der weitere Verlauf des Korrosionsvorganges gestaltet sich nun folgendermaßen. Die Furchenbildung raubt den inkrustierenden Algen den Boden, den sie zu ihrer Befestigung nötig haben, und die Kruste beginnt daher bald Falten zu bilden. Schreitet der Vorgang weiter fort, so verschwinden allmählich die über den Furchen liegenden Teile der Kruste; diese bleibt daher, wie es schon von Forel und anderen beobachtet worden ist, und wie ich es selber oft gefunden habe, nur an den Kämmen zwischen den Furchen sitzen, während man in den Furchen nur spärliche Reste von inkrustierenden Algen trifft.

Die korrodierenden Algen werden durch die Zerstörung der Krusten ihrer lichtschützenden Decke beraubt; sie sterben daher bald ab, und der Korrosionsvorgang nimmt von selbst ein Ende. Der größte Teil der korrodierten Steine, die man in der Natur findet, ist „tot“. Die Steine haben oft ein rötliches Ansehen, von den abgestorbenen Cyanophyceen herrührend.

Wie oben erwähnt, sind korrodierte Steine am Ufer des Furesö im Augenblicke eine Seltenheit. Dieses erklärt sich vermutlich auf folgende Weise. Die Bedingungen dafür, daß eine Korrosion entstehen kann, sind selbstverständlich diese, daß Kalkgesteine in genügender Zahl vorhanden sind. Die Steine des Ufers werden aber allmählich mit Sand bedeckt, und die korrodierten Steine verschwinden daher mit der Zeit. Tritt aber, wie es mit einem Zwischenraume von einigen Jahren geschieht, kräftiger Eisgang ein, werden die Kalkgesteine aus dem Boden herausgegraben und zerklüftet, so daß das Ufer mit Kalkscherben bedeckt liegt, und die Bedingungen für eine neue Korrosion sind dann wieder hergestellt. Ein solcher Eisgang trat nach Mitteilung von Dr. Wesenberg-Lund im Winter 1904 ein, und es sind vermutlich die dadurch hergestellten frischen Bruchflächen, deren Korrosion ich 1905 und die folgenden Jahre studiert habe.

Mit Ausnahme vom Furesö sind korrodierte Steine nur bei dem Själsö von Dr. Wesenberg-Lund gefunden. An einigen anderen Seen, die ich mit Dr. Wesenberg-Lund besucht habe, fanden sich reichliche Kalkinkrustationen, aber keine Korrosionen.

Die vorliegende Arbeit wurde in dem biologischen Laboratorium bei dem Furesö ausgeführt. Ich möchte zum Schlusse dem Direktor des Laboratoriums, Herrn Dr. Wesenberg-Lund, meinen herzlichen Dank für zahlreiche persönliche Mitteilungen und für das Interesse, das er immer meiner Arbeit gezeigt hat, aussprechen. Herrn Dr. Kolderup Rosenwinge, der mir bei der Artbestimmung der korrodierenden Alge geholfen hat, möchte ich gleichfalls herzlich danken.

Kopenhagen, Dezember 1908.

Literaturverzeichnis.

- Bornet et Flahault**, Revision des Nostocacées hétérocystes. Ann. des Sciences nat. Botan., Ser. VII, Vol 3 et 7.
- Chodat**, Etudes de biologie lacustre. Bull. de l'herbier Boissier, T. VI, 1898.
- Cohn**, Über Erosion von Kalkgesteinen durch Algen. Jahrb. d. Schles. Gesellschaft f. vaterl. Kultur, 1893.
- Desor**, Bull. soc. d. sc. d. Neuchâtel 1868, T. VIII.
- Forel**, Remarques sur la sculpture des galets des grèves des lacs Suisses. Act. soc. helv. d. sc. nat. Bern 1878.
- Forel**, Le Léman, Vol. III, 1901.
- Fraas**, Über Furchensteine am Bodensee. Bericht üb. d. XVIII. Vers. d. Oberrhein. Geolog. Vereins 1885.
- Gaudin**, Note sur certains galets des bords du lac de Genève. Bull. de l. soc. Vaudoise d. sc. nat. T. VIII, 1865.
- de la Harpe**, Nouveaux renseignements sur les galets sculptés des lacs de Genève et de Neuchâtel, recueillies par M. de la Harpe et observations de M. F. Forel. Bull. d. l. soc. Vaud. d. sc. nat. T. IX, 1866.
- de la Harpe**, Cailloux sculptés du lac de Wallenstadt. Bull. d. l. soc. Vaud. d. d. sc. nat., 1868, T. X.
- Pfeffer**, Pflanzenphysiologie. Bd. I, 1897.
- Marc le Roux**, Recherches biologiques sur le lac d'Annecy. Annales de biolog. lacustre, 1907, T. II.
- Sauvageau**, Sur le Nostoc punctiforme. Ann. de sc. nat., 1897.
- Schröter und Kirchner**, Die Vegetation des Bodensees. Die Bodenseeforschungen. Lindau 1896.
- Ule**, Der Würmsee 1901. Wissensch. Veröffentl. d. Vereins f. Erdkunde zu Leipzig, 1901, Bd. V.
- Wesenberg-Lund**, Studier over Sökalk, Bönnemalm og Sögytje i danske Indsøer with an English resume. Meddelelser fra dansk geol. Forening, 1901.
- Vogt, C.**, Sur les cailloux corrodés des lacs. Verh. d. schw. Nat. Gesellschaft. Bern 1878.
-