

WOLFGANG R. MÜLLER-STOLL

Der Cyanophyceen-Bewuchs der Furchen- oder Hirnsteine des Bodensees

Kurzfassung

Die Furchen- oder Hirnsteine sind an kalkreiche Wasserverhältnisse gebunden und kommen nur in größeren Seen vor. Eine Furchenbildung tritt nur auf Kalksteinen auf; sie zeigen einen hellen Überzug, der fast in allen Fällen im Zusammenhang mit dem Algenbewuchs steht. Eine Inkrustation tritt wegen des Lichtgenusses der Algen nur an der Oberseite der Steine auf. Die auf den Furchensteinen vorkommenden Algen lassen sich auch auf anderen Steinen als auf Kalk nachweisen, haben jedoch keine korrodierende Wirkung. Der Algenbewuchs ist auf den Graten viel stärker ausgebildet als in den eingetieften Furchen. Die wichtigsten Cyanophyceen, die wir nachweisen konnten, sind die in den Stein eindringenden *Schizothrix fasciculata* sowie *Rivularia haematites*; daneben auch andere Cyanophyceen wie *Schizothrix undulata*, *Dichothrix gypsophila* und *Chroococcus* sp.

Abstract

Growth of Cyanophyceae on Furrow or Brain-like Stones in the Lake of Constance

Furrow stones are binded on water proportions rich in lime; these stones occur only in greater lakes. The formation of furrows do only appear at limestones; these stones show a clear cover which nearly in all cases is connected with growth of algae. An incrustation because of light enjoyment of algae only on top side of stones is possible. The algae of furrow stones also could be find at another stones than limestones but without corroding effect. The most essential Cyanophyta, we have been proved are *Schizothrix fasciculata* penetrating the stones and *Rivularia haematites*; besides also other Cyanophyceae occur like *Schizothrix undulata*, *Dichothrix gypsophila* and *Chroococcus* sp.

Autor

Prof. emerit. Dr. phil. nat. habil. WOLFGANG R. MÜLLER-STOLL, Am Drachenberg 1, DDR-1500 Potsdam.

1. Einleitung

Die Furchensteine weisen außer der Korrosion der Oberfläche eine Kalkkruste auf; es ist zweifellos so, daß hierbei Kalklösung und Kalkabscheidung nebeneinander herlaufen. Die Furchensteine zeigen eine hirn förmig korrodierte Oberfläche und es sind ausschließlich Kalksteine, welche diese Erscheinung zeigen. Für Kalklösung und Kalkfällung kommen sowohl Organismen des Pflanzen- und Tierreiches wie anorganische Kräfte in Betracht. Die Entstehungsursache ist bisher immer noch nicht einwandfrei geklärt; es gibt zwar verschiedene Theorien darüber, jedoch als sicher wurde bisher wohl keine angenommen. Abweichende Meinungen bestehen vor allem darüber, ob den organischen oder den rein chemischen Vorgängen die größere Bedeutung beizumessen ist.

Die Furchensteine stammen vom Strand von Kirchberg, östlich von Meersburg am Bodensee; wir haben davon eine ganze Kiste

gesammelt. Die Kalksteine sind meist tertiärer Flysch mit einem geringen Tongehalt; selten kommen auch andere Steine vor, die z. B. aus Quarzit oder Granit bestehen. Diese Abhandlung stützt sich auf eine vom Verfasser angeregte Diplomarbeit von DIETLIND MÜLLER. Die Namen der erwähnten Cyanophyta richten sich nach GEITLER (1925, 1942).

2. Beschaffenheit der Furchensteine

Der Bodensee ist trotz seiner Oligotrophie ein kalkreiches Gewässer. Einmal sind es die nördlichen Kalkalpen in der Schweiz, die durch ihre Zuflüsse viel Kalziumkarbonat, meist durch ihren Gehalt an Bikarbonat, in den See einbringen. Außerdem erhält der See auch viel Kalk durch die Donauversickerung oberhalb von Tuttlingen, die im sog. Aach-Topf, einer großen lebhaft sprudelnden Quelle, wieder an die Oberfläche kommt und durch die Aach dem Untersee (Bodensee) zufließt; dabei werden täglich 8,5 m³ Kalkstein aus dem Jura gelöst und über den Aach-Topf und die Aach dem See zugeführt, wo er auf chemischem und organischem Weg niedergeschlagen wird. Die Furchensteine werden auch Hirnsteine genannt, weil sie in der Anordnung der Furchen dem menschlichen Gehirn ähnlich sehen.

Über die Hydrographie und Hydrobiologie des Bodensees vergleiche z. B. die Schriften von KLEINSCHMIDT (1921), AUERBACH et al. (1924, 1926), ELSTER & GESSNER (1935), ELSTER & EINSELE (1937 a, b), GESSNER (1937), AUERBACH & SCHMALZ (1939), MUCKLE (1942) und KIEFER & MUCKLE (1959).

Am häufigsten sind Steine der ersten Gruppe mit grob-kristalliner Textur mit einem hohen Kalkgehalt von 90–96 % CaCO₃, die nur wenig Tonbeimengungen enthalten. Sie zeigen die schon mehrfach beschriebenen mäanderartigen Furchen, die keinerlei Regelmäßigkeit in ihrer Anordnung aufweisen und den Furchensteinen den Namen gegeben haben. Meist handelt es sich um etwa faustgroße flache Steine, die einen auffälligen Unterschied in der Ausbildung der Ober- und Unterseite zeigen (Abb. 1). Die Oberseite ist stark korrodiert und mit Algen inkrustiert; an den Seiten geht die Skulpturierung in eine flachere Form über und zeigt an der Unterseite nur flache Vertiefungen, gewissermaßen nur noch Andeutungen der Furchenbildung, die kaum 1–2 mm tief in den Stein eindringen. Neben den flachen Steinen gehören auch stärker gewölbte Stücke zu dieser Gruppe, die an den Seitenflächen ziemlich regelmäßig nach unten gerichtete Furchenbildung erkennen lassen. Mitunter sind beide Seiten der Steine gleichmäßig und stark skulpturiert; hierbei handelt es sich offenbar um Fälle, bei denen der Stein durch den Wellenschlag mehrfach umgewendet wurde (Abb. 2). Betrachtet man die Furchensteine von oben mit der durch Blaualgen hervorgerufenen Inkrustation, so läßt sich unschwer erkennen, wie tief die Furchen sind; im ersten Fall handelt es sich um einen Stein mit tiefen Furchen, im zweiten Fall um einen Stein mit

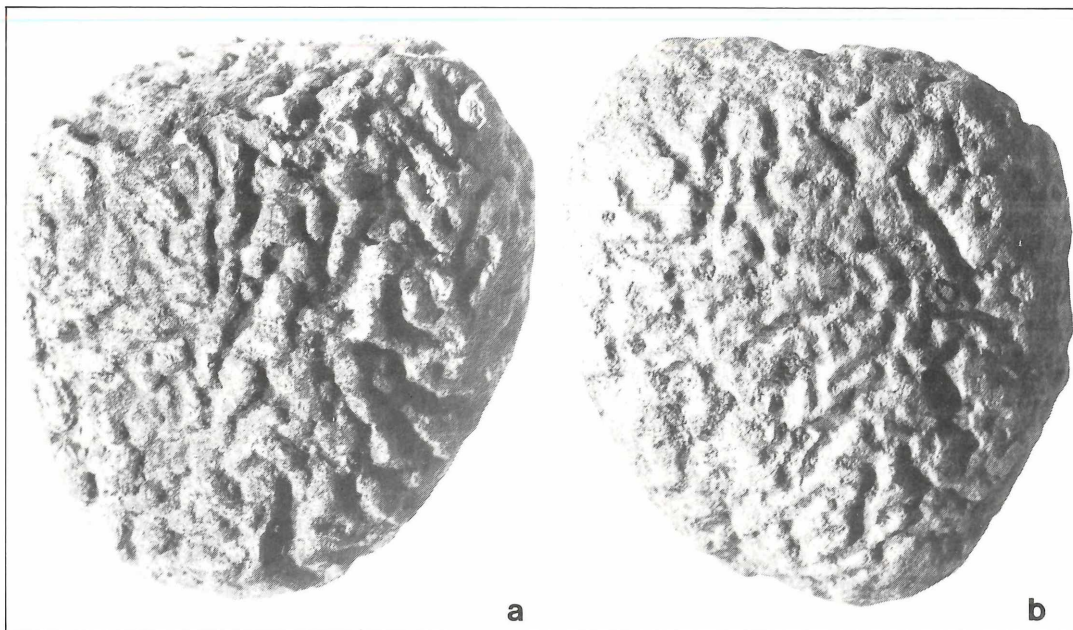


Abbildung 1. Furchenstein (9 cm lang); a) Oberseite, b) Unterseite; auf der heller gefärbten Unterseite sind die Furchen wesentlich schwächer.

ziemlich flachen Furchen (Abb. 3), so daß der Algen-Belag über den Furchen und Graten fast auf gleicher Höhe liegt.

Bei der folgenden Gruppe zeigt der Stein im Inneren eine viel feinere, wenngleich ebenfalls kristalline Textur mit mineralischen Beimengungen, die auch eine verschiedene Färbung hervorrufen, z. B. rostbraun, dunkelgrau oder blaugrau. An einigen Stücken sind feine Quarzschichten zu erkennen, mitunter sogar ein bis zu 3 mm breiter Quarzgang, der sich auch an der Oberfläche des Steins unter dem Algenbelag deutlich als heller Streifen hervorhebt. Durch eine solche Einlagerung bietet offenbar der Stein der Korrosion kein Hindernis; die Furchen folgen vielmehr genau der Skulpturierung des umgebenden Kalksteins. Der Kalkgehalt dieser Gruppe ist geringer als bei der ersten Gruppe und schwankt zwischen 65 und 75 %; die Furchen der Oberseite sind meist gut ausgebildet, aber nicht so stark inkrustiert wie bei der vorigen Gruppe.

Die in der dritten Gruppe zusammengefaßten Steine sind augenfällig von den beiden vorigen Gruppen unterschieden, und zwar sowohl durch die Art des Gesteins als auch durch die Furchbildung. Der Stein zeigt eine völlig amorphe Textur ohne jegliche größere Kristalleinlagerungen. Der Kalkgehalt liegt etwa bei 80 bis 82 %, also zwischen den beiden vorigen Gruppen; einige Stücke waren schwach eisenhaltig und zeigten besonders in den äußeren Steinschichten eine rostbraune Färbung. Die Oberfläche ist sehr stark erodiert, so daß an einigen Stellen nur eine Anzahl scharfkantiger Höcker übrigbleibt; dadurch geht das übliche Bild der Furchen fast vollständig verloren. Wenn die Gestalt der Furchen erhalten bleibt, sind diese besonders tief und liegen dicht beisammen, so daß nur schmale Grate stehenbleiben; die können nach oben hin wieder etwas breiter werden.

Auf Steinen mit nur geringem Kalkgehalt, wie Granit, Diabas oder Quarzit, zeigen sich keine eingetieften Furchen, sondern nur eine schwache Inkrustation von Algen. Unter unserem Material fanden sich nur drei solche Steine, von denen zwei zu den Quarziten und das dritte Stück offenbar zu Granit gehören.

Uns lag auch ein Furchenstein aus einem See in Mecklenburg vor; die Furchen waren nur ganz flach eingesenkt und von kleinen, dunklen, fast schwarz erscheinenden Algenpolstern bedeckt, die sich napfförmige kleine Vertiefungen schafften. Ob sie der Urheber der Furchenbildung sind, erscheint uns fraglich. Von einer Inkrustation war nichts zu erkennen, wohl aber ist der Stein ganz von einer hellen, dem Farbton des Kalksteins entsprechenden gelblichen Schicht überzogen (Abb. 4). Somit kommen auch Furchensteine vor, die sowohl in der Gestaltung der Furchen wie auch in der Algenbesiedlung völlig vom Material aus dem Bodensee abweichen.

Die Furchensteine kommen in den großen Seen der ganzen nördlichen Halbkugel vor, wenn sie nur kalkreich genug sind. Am bekanntesten sind sie für die Alpenseen, zu denen auch der Bodensee gehört; sie kommen z. B. im Genfer See (Lac Léman, FOREL 1904), im Thuner See, Walensee und Walchensee vor (WASMUND 1930). Furchensteine sind auch in ausgesprochen kalten Seen vertreten, wie es z. B. der hochalpine Lünensee zeigt. Außerhalb des alpinen Gebiets treten sie offenbar spärlicher auf; doch es sind Funde in den Seen Schleswig-Holsteins und Mecklenburgs bekanntgeworden; etwas später wurden Vorkommen von Furchensteinen aus dem Takersee in Schweden beschrieben, und BOYSEN-JENSEN (1909) berichtet über entsprechende Bildungen aus dem Furesee in Dänemark. WASMUND (1930) schreibt, daß nicht nur die großen Alpen-Randseen und schwedischen Seen, sondern auch der Baikalsee in Sibirien, ein Teil der schottischen Seen und die großen nordamerikanisch-kanadischen Seen im Litoral neben den organogenen Kalken und Seekreiden auch die Furchensteine gemeinsam haben.

Wie kommt es zu den Kalkniederschlägen im Wasser? Das CO_2 für die Photosynthese der Wasserpflanzen stammt aus dem Calciumbikarbonat, wobei zunächst Calciumhydroxid entsteht nach der Formel:



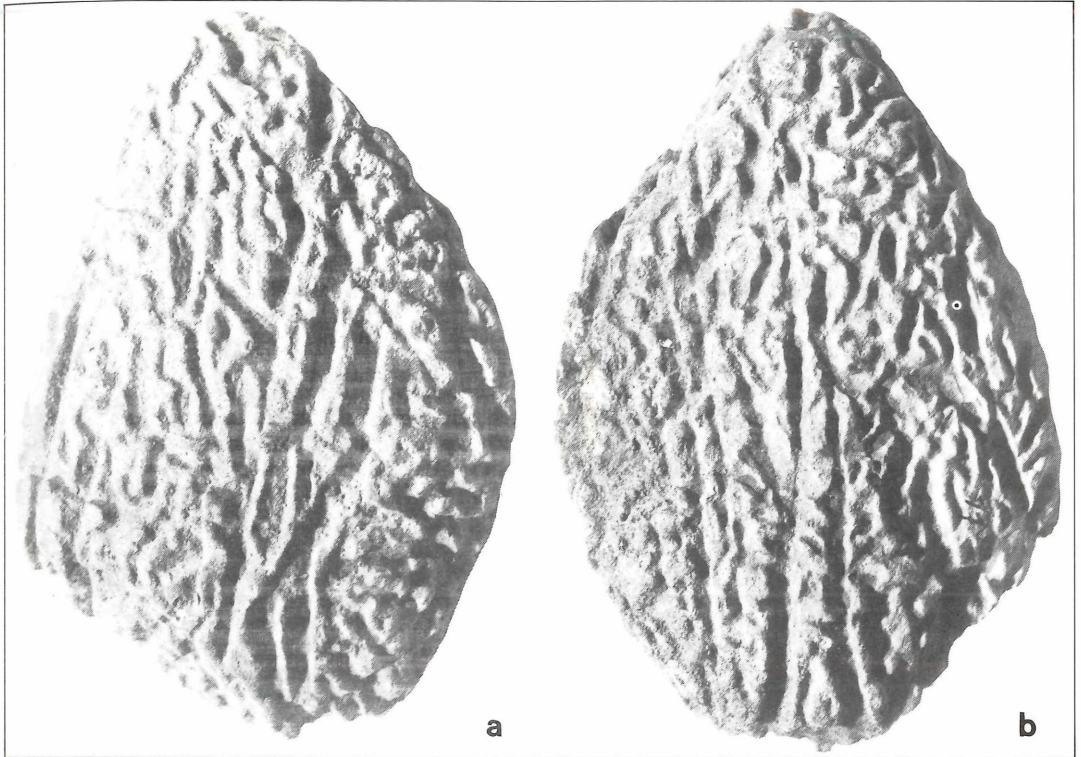


Abbildung 2. Großer Furchenstein (13,5 cm lang; a) Oberseite, b) Unterseite; der Stein wurde durch den Wellenschlag mehrfach umgewendet, so daß die Tiefe der Furchen auf der Ober- und Unterseite fast gleich stark ist.

Das Calciumhydroxid reichert sich an der Blattoberfläche an und führt zu einer stark alkalischen Reaktion; denn zugeführtes Phenolphthalein färbt das Wasser an der Blattoberfläche rot. Durch die Wasserbewegung wird das $\text{Ca}(\text{OH})_2$ weggeführt und neues $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ wird dem Blatt zugeleitet. Schließlich wird das Calciumkarbonat ausgefällt, wie man sich leicht z. B. bei *Potamogeton*-Blättern überzeugen kann (über die Biochemie der Kalkfällung vgl. GESSNER 1959, S. 190 ff.); vgl. hierzu auch N. PRINGSHEIM (1888). Das gleiche ist auch bei Furchen- oder Hirnsteinen der Fall, indem sie durch die Kalkausfällung der Blaualgen imprägniert werden. BORNEMANN (1887) schreibt dazu, daß die Gallerthülle der Cyanophyceen nicht am Eindringen (Bohren) in den Stein beteiligt ist, denn nur die freien Enden der Trichome, die frei beweglich hervortreten, lösen den Kalk auf, transportieren die Substanz nach oben, wo er wieder als Calciumkarbonat niederschlagen wird. Über eine mikrobiologische Kalkfällung in der tropischen See berichtet z. B. BAVENDAMM (1932); in verschiedenen Arbeiten hat sich auch WALLNER (1933, 1934, 1936) mit der Kalkabscheidung durch Algen, darunter von der Gattung *Rivularia* (WALLNER 1935) befaßt. Mit kalklösenden Algen beschäftigt sich z. B. BACHMANN (1914). CHARLOTTE JÜRGENSEN (1935) hat sich mit der Algen-Besiedlung des Mains bei Würzburg befaßt. MOLLENHAUER (1985/86) hat in seiner Arbeit über *Nostoc* der Erdalge *N. commune* VAUCHER die beiden in fließenden Bächen vorkommenden Arten *N. verrucosum* VAUCHER und *N. parmelioides* KÜTZ. gegenübergestellt. Er betont dabei, daß ein wesentlicher Unterschied im Vorkommen der beiden zuletzt genannten Sippen im Nährstoffgehalt des Wassers liegt; *N. verrucosum* ist an nährstoffreiches Wasser

angepaßt, wohingegen *N. parmelioides* z. B. im nährstoffarmen Wasser der Buntsandstein-Landschaft des Spessart zu Hause ist.

3. Der Algenbewuchs der Furchensteine

Für den Bewuchs der Furchensteine werden von den verschiedenen Autoren eine ganze Reihe von Algen-Gattungen angegeben; übereinstimmend stellten fast alle Verfasser *Rivularia*- und *Schizothrix*-Arten fest. COHN (1883) und SCHRÖTER & KIRCHNER (1896, 1902) geben in erster Linie *Rivularia haematites* (DC.) C. A. AG. und *Schizothrix fasciculata* (NÄGELI) GOMBERT an. FOREL (1904) konnte im Genfer See u. a. folgende Organismen beobachten: *Schizothrix lateritia* (KÜTZ.) GOMONT, *Calothrix*-Arten und *Rivularia haematites*, ferner auch Chroococcaceae. Es können auf den Furchensteinen z. B. folgende Blaualgen vorkommen: *Scytonema*-, *Schizothrix*- und *Rivularia*-Arten, ferner *Oscillatoria* sp. BAUMANN (1911) fand auf den Furchensteinen folgende wichtige Arten: *Scytonema myochrous* (DILLWYN) C. A. AG., *Scytonema informe* KÜTZ., *Schizothrix lacustris* A. BRAUN, *Sch. lynbyana* SCHMIDLE, *Sch. fasciculata* (NÄGELI) GOMBERT, *Calothrix parietina* A. BRAUN und *Rivularia haematites*; auf den mit den Furchensteinen eng verwandten Schneggli-Sanden

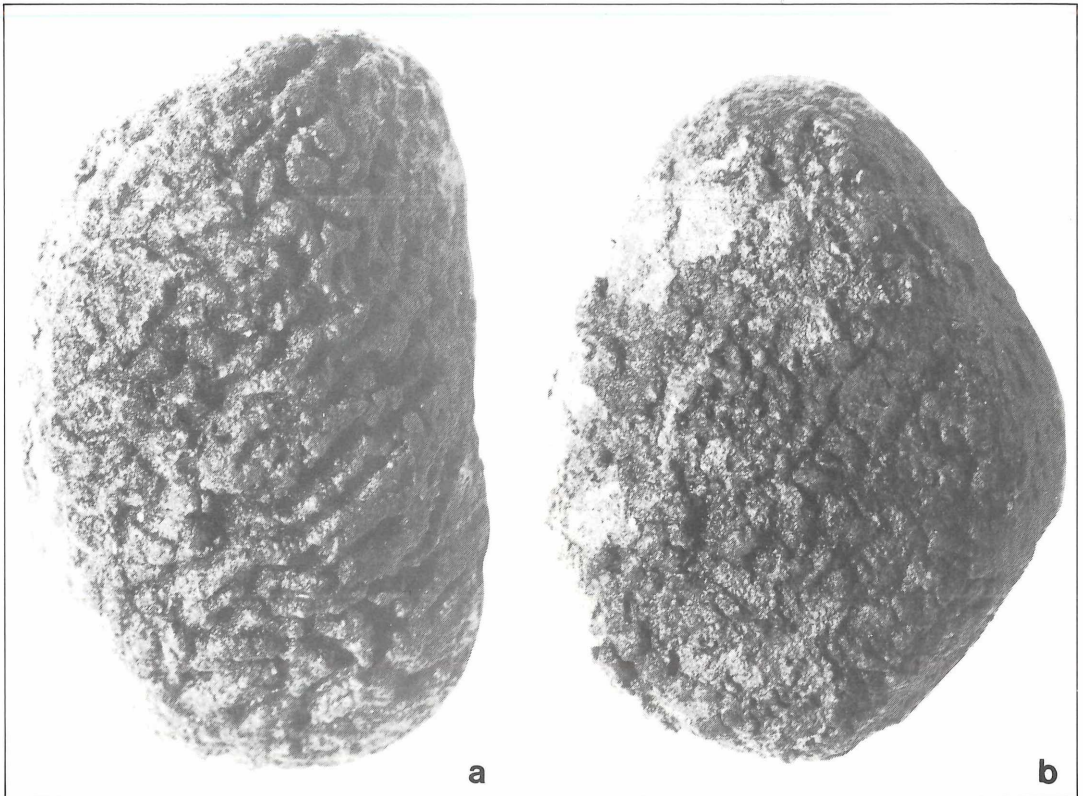


Abbildung 3. Furchensteine mit Algenkruste von der Oberseite; links: Stein 10,5 cm lang, Furchen stark eingetieft, stark kalkhaltig; rechts: Stein 8,8 cm lang, nur schwache Furchenbildung, mäßig kalkhaltig.

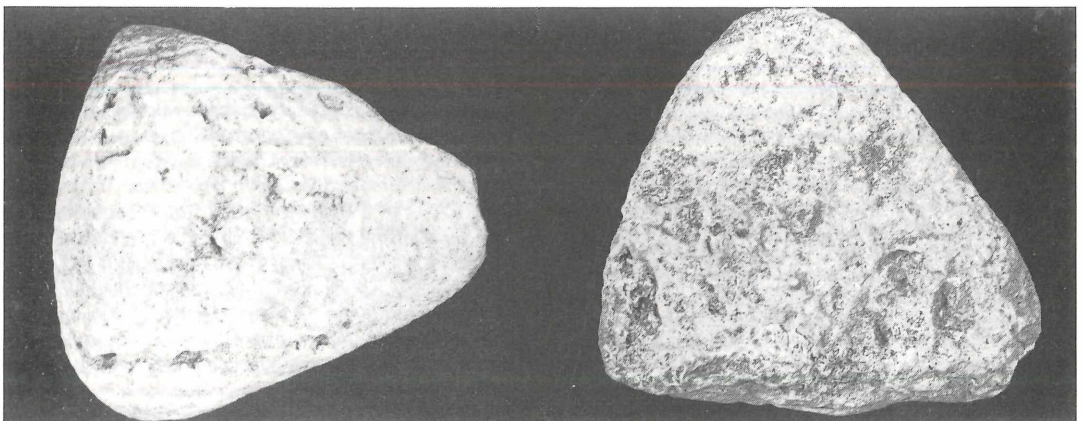


Abbildung 4. Furchenstein aus einem mecklenburgischen See mit Besiedlung durch *Chroococcus* sp. (auf linkem Stein als dunkle Punkte zu erkennen); links: Oberseite, rechts: Unterseite.

nennt derselbe Autor nachstehende Sippen: *Plectonema tenue* THURET var. *crustacea* SCHMIDLE, *P. terrebrans* BORNET & FLAHL., *Schizothrix fucescens* KÜTZ., *Sch. lyngbyana*

(= *Sch. lateritia* var. *lyngbyana*), *Sch. fasciculata*, *Calothrix parietina*, *Rivularia haematites* und *Hyellocooccus niger* SCHMIDLE.

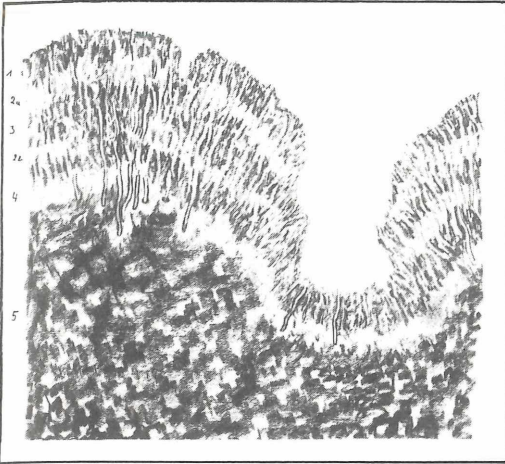


Abbildung 5. Inkrustation durch *Rivularia*, vornehmlich durch *R. haematites*, als dreischichtige Auflage auf den Höckern, in der Furche nur einschichtig.

Nach FOTT (1959, S. 412) werden im Lunzer See in Österreich die aus Kalkstein bestehenden Felsen im Uferbereich von den Blaualgen *Tolypothrix distorta* KÜTZ., *Scytonema myochrous* und *Rivularia haematites* besiedelt; unterhalb der *Tolypothrix*-Zone wächst *Schizothrix lacustris*, die bis in einige Meter Tiefe vorkommt. In einer Tiefe von 10–20 m kommen andere Cyanophyta vor, die den veränderten Lichtbedingungen angepaßt sind; vgl. auch BREHM & RUTTNER (1926). Bei WALTER (1968, S. 879) findet sich ein von KIRCHNER aufgenommenes Bild eines Furchensteins von Langenargen südöstlich von Friedrichshafen am Bodensee.

Wir selbst konnten auf den Furchensteinen *Schizothrix fasciculata* (NAGELI) GOMBERT (Abb. 8 und 9), *Sch. undulata* VIRIEUX (Abb. 10), *Dichothrix gypsophila* (KÜTZ.) BORNET & FLAHL (Abb. 11) und *Rivularia haematites* (DC.) C. A. AG. (Abb. 7, 12) nachweisen. *Sch. fasciculata* ist eine den Stein perforierende Art, wohingegen die Kalkpolster selbst in der Hauptsache von *Rivularia haematites* gebildet werden, in der oberen Zone auch *Dichothrix gypsophila* zu finden ist. Auf mehreren Steinen konnten wir kleine dunkle Polster feststellen, die von einer anderen scheidichotom verzweigten *Rivularia*-Art gebildet werden, die gleichfalls stark mit Kalk inkrustiert war. Hauptsächlich auf den Steinen der dritten Gruppe, jedoch auch auf einigen anderen Steinen erwies sich eine dünne schwärzliche Schicht als Lager einer anderen Cyanophyceae, die oft von einer *Chroococcus*-Art besetzt war, deren nähere Bestimmung jedoch auf Schwierigkeiten stieß.

Bei der ersten Gruppe der Furchensteine sind die Algenbeläge auf den Graten bis zu 3 mm dick; in den Furchen sind sie meist nicht so mächtig, jedoch manchmal ebenfalls stark mit Kalk überkrustet, so daß sie mit den Graten fast eine Ebene bilden. Eine freie Oberfläche des Steins tritt im Grunde der Furche nie auf; stets ist die ganze Außenfläche mit der beschriebenen hellen Schicht überzo-

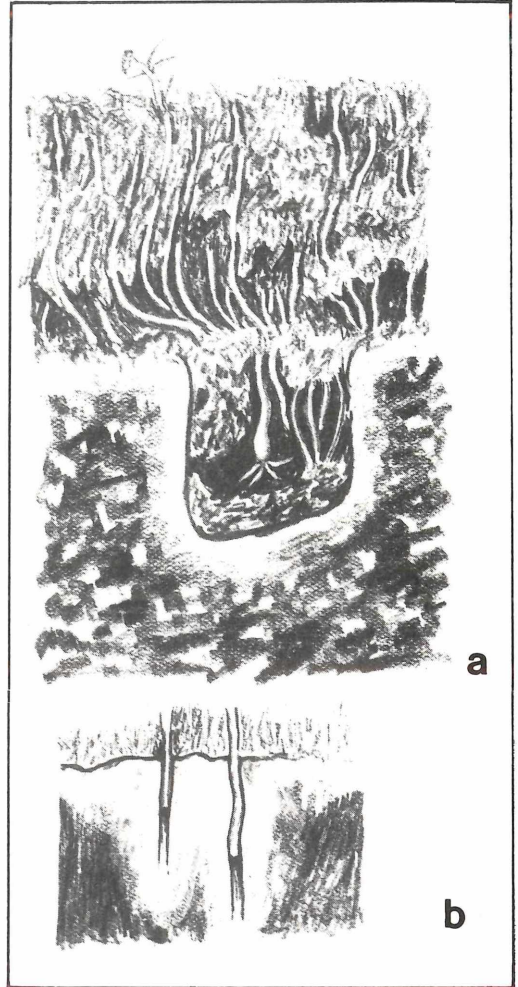


Abbildung 6. Cyanophyceen-Inkrustationen hauptsächlich durch *Schizothrix fasciculata*; a) Die Fäden haben sich eine Höhlung gebohrt, b) *Schizothrix*-Fäden im Gestein selbst, das hell verfärbt ist.

gen, der auch fast überall, nur in verschiedener Stärke, der Algenbelag aufsitzt. Einige Steine zeigen deutlich, daß auch die Unterseite vor nicht allzulanger Zeit ebenfalls inkrustiert war, da die Ränder der Algenkruste abgebrochen sind, anstatt einen fließenden Übergang zur Unterseite zu bilden.

Im trockenen Zustand läßt sich die Kruste leicht abbrechen und die freiwerdende Oberfläche des Steins unterscheidet sich durch nichts von der Unterseite des Steins. Eine Ablösung der Algenkruste tritt häufig auf, wenn bei starkem Wellenschlag die Steine durcheinander geworfen, gegeneinander gedrängt und sogar umgedreht werden, so daß die Unterseite nunmehr nach oben kommt; dadurch wird die Inkrustation gelockert und schließlich ab-

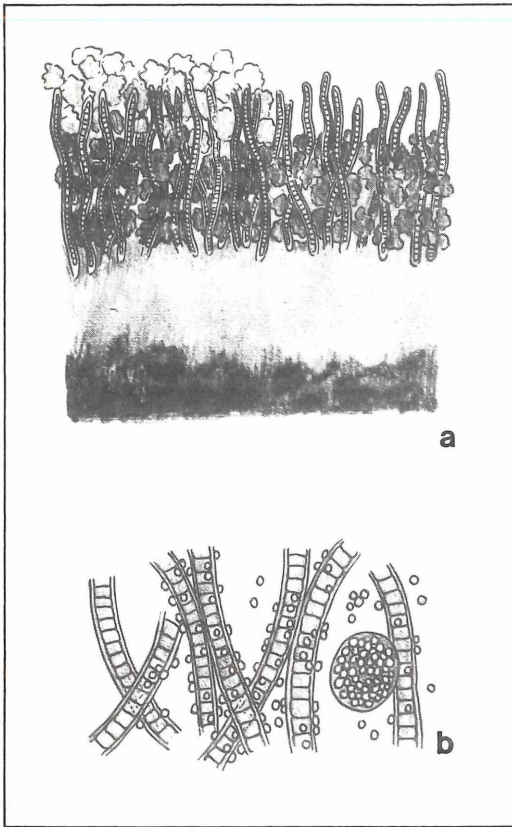


Abbildung 7. Cyanophyceen-Kruste; a) Die Kruste, meist von *Rivularia haematites*, lagert über einer hellen (gebleichten) Schicht des Steins, links: mit Kalk inkrustiert, rechts: Kalk entfernt; b) Die Fäden von *Rivularia haematites* sind mit *Chroococcus* sp. besetzt.

gestoßen. Die losgelöste Algenschicht liegt dann in unregelmäßigen Fetzen und Brocken im Wasser und wird von den Wellen ans Ufer gespült und zu sandartigem Grus zerrieben. Das gleiche tritt ein, wenn bei niedrigem Wasserstand die Steine längere Zeit trocken liegen und Sonne und Wind ausgesetzt sind.

Die Kruste besteht hauptsächlich aus *Rivularia*-Arten, besonders aus *R. haematites*; sie zeigt die für diese Art typische Zonierung (Abb. 5). Die Fäden stehen aufrecht nebeneinander und bestehen aus einer Zellreihe mit einer, manchmal auch mehreren Heterocysten am basalen Ende, mit dem sie dem Stein aufsitzen. Die Zonierung entsteht dadurch, daß die Trichome in einer nur teilweise bräunlich bis grün gefärbten Scheide liegen, denn stets sind beide Enden gefärbt; manchmal zeigt auch die Mitte des Fadens Färbung. Dabei liegen die dunklen und die hellen Zonen aller Fäden eines Lagers jeweils in gleicher Höhe, so daß eine Schichtenbildung entsteht. Auch die Kalkabscheidung erfolgt zonenweise; die *Rivularia*-Arten dringen nicht in das Gestein ein.

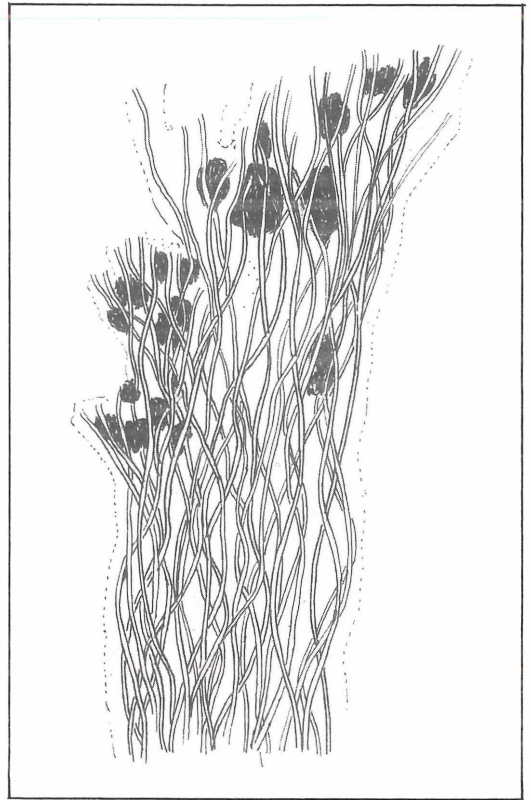


Abbildung 8. *Schizothrix fasciculata* zu einem Bündel vereinigte Fäden, im oberen Teil stark kalkhaltig, im unteren Teil fast nicht.

Die *Schizothrix*-Arten, besonders *Sch. fasciculata* (Abb. 8 und 9) bildet dicke, türkisgrüne Fadenbündel, die über den ganzen Belag auftreten und ein beträchtliches Stück in den Stein selbst eindringen können; mit dem oberen Teil der Faden ragt die Alge über die inkrustierte Schicht hinaus. Rund um das sogenannte „Bohrloch“ der Fäden hat sich eine relativ breite, helle Zone im Stein gebildet, die offensichtlich mit der Tätigkeit der Cyanophyceen im Zusammenhang steht; besonders gut läßt sich das an einzeln liegenden Bohrlochern erkennen (vgl. auch Abb. 6). Die helle Zone, die sich rund um die Einsenkung gebildet hat, stellt einen fließenden Übergang der beschriebenen hellen Schicht zwischen der Algenauflage in dem grauen Innern des Steins her. Die Fäden haben offensichtlich das Bestreben, möglichst tief in den Stein einzudringen, und nutzen dazu jede Höhlung an der Oberfläche des Steins aus. Die Trichome der Umgebung vereinigen sich in einer solchen Eintiefung zu einem dichten Büschel; meist handelt es sich dabei um *Sch. fasciculata*, seltener um *Sch. undulata*. In regelrechten Bündeln sind die *Schizothrix*-Fäden in den Höckern der Algenkruste zu finden; sie heben sich schon bei schwacher Vergrößerung (25fach) als blaugrün erscheinende Flecken und Punkte ab, wenn man die Polster abhebt. Dabei wird meist der obere Teil

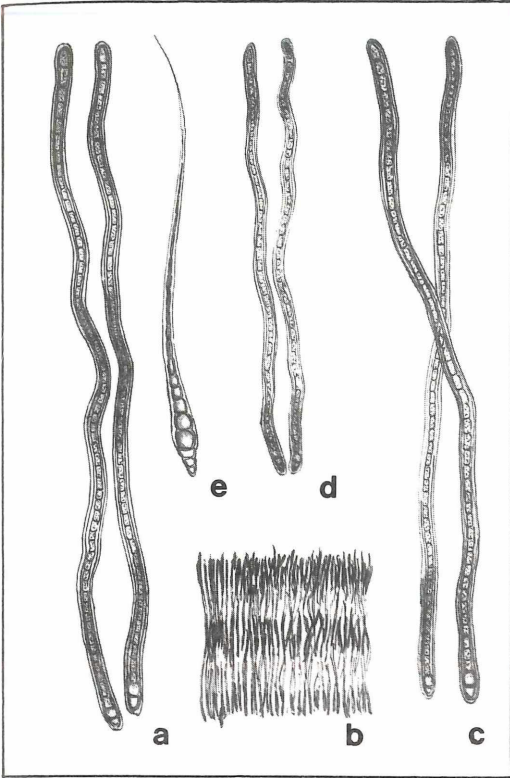


Abbildung 9. *Schizothrix fasciculata*, a–d 1–4, davon b) ein Bild mit einem dreischichtigen Lager der Alge; e) *Rivularia* sp., selten vorkommend.

der Fäden abgerissen, da sie fest mit dem Algenbelag verkrustet sind. In geringem Maß zeigen auch die *Schizothrix*-Fäden Kalkinkrustation; offenbar vermögen die Fäden, nachdem sich eine *Rivularia*-Kruste gebildet hat, von oben her in diese einzudringen und durch sie hindurch zu wachsen; man findet allerdings einen solchen Zustand nur selten. Aus einem Knäuel von Trichomen können Fäden hervorgehen, die mehrere stark undulierte (gewellte) Trichome enthält; hierbei handelt es sich um *Schizothrix undulata* (Abb. 10), die ebenfalls starke Kalkfällungen bewirken; sie sind von einer deutlichen Gallertscheide umgeben. An den Trichom-Enden haften Kalkbrocken, deren Größe und Menge von außen nach der Tiefe hin abnimmt. Besonders zahlreich finden sie sich im Knäuel selbst. Die drei bis vier treten am unteren Ende offenbar aus der Gallerthülle heraus. Eine weitere Algenform ist *Dichothrix gypsumophila* (Abb. 11); sie ist offenbar nur in der oberen Schicht der Kalkkrusten zu finden und hat an der Inkrustierung kaum Anteil.

Die zweite Gruppe der Steine weist ziemliche Unterschiede in der Beschaffenheit der Kalkkruste auf. Manchmal ist sie nur schwach entwickelt; dann unterscheiden sich Ober- und Unterseite der Furchensteine fast gar nicht. Die

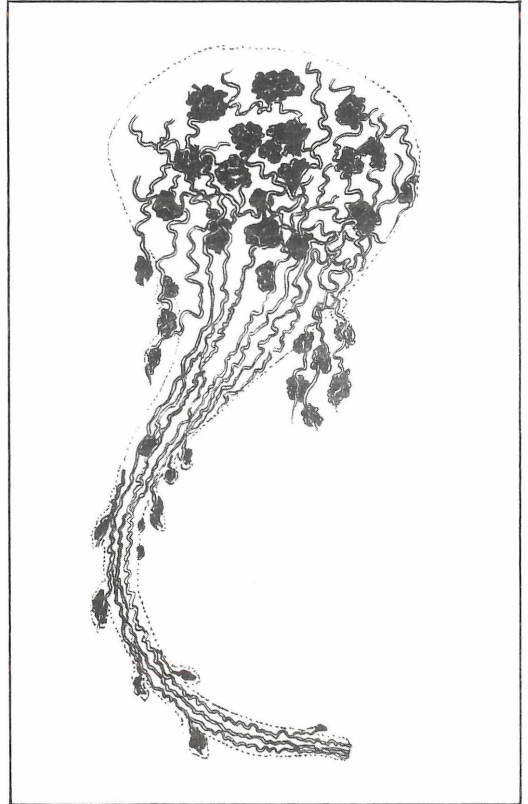


Abbildung 10. *Schizothrix undulata*, im oberen Teil stark verkrustet, in einer Gallert-Scheide liegend; die Fäden dringen von oben hier in einen *Rivularia*-Belag ein.

erwähnten Quarzeinlagerungen sind genauso überkrustet wie der Kalkstein selbst; in manchen Fällen liegen die Furchen enger beisammen, und die Kruste ist stark erodiert und von bröckeliger Beschaffenheit. Man findet Steine, bei denen die Kalkkruste von Gängen durchzogen sind, die offenbar tierischer Herkunft sind; sie können dabei brückenartige Bildungen hinterlassen. Der Bestand an Algen ist der gleiche wie bei der vorigen Gruppe der Hirnsteine.

Bei der dritten Gruppe von Furchensteinen ist die Algenkruste nur in einer schmalen Zone an den Seitenflächen ausgebildet. Die helle Außenschicht, die auch hier die Steine ganz überzieht, ist ziemlich porös und in kleinen Gruben sind in wenigen Fällen noch eingewachsene Algenreste zu finden; sie dringen aber nie in den Stein selbst ein, eine Erscheinung, die sowohl in den Furchen als auch an den abfallenden Flächen der Grate und Höcker eintritt. Nur die unbedeckten Kappen der Höcker zeigen das nackte Gestein; dadurch ist die Unterseite des Hirnsteins hell weißlich gefärbt. Die übrige Oberfläche zeigt eine dünne, dunkelgrau bis schwärzliche Decke aus Algenkalk; sie besteht aus Lagern aufrechtstehender Fäden in

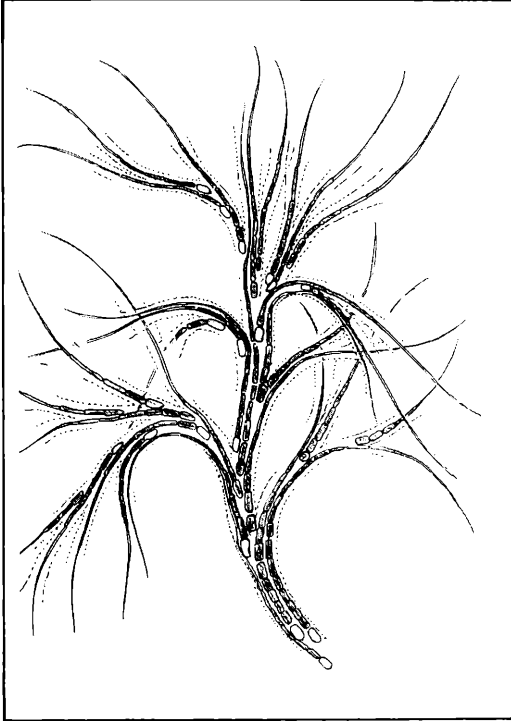


Abbildung 11. *Dichothrix gypsophila*, weist keine Kalkinkrustation auf, kommt in der obersten Schicht der *Rivularia*-Lager vor; man erkennt die Heterocysten am basalen Ende der Trichome.

zwei Schichten. Mit dem basalen Ende sind die *Schizothrix*-Fäden in der hellen Schicht des Steins verankert; ihr unterer Teil ist mit dunklen Kristallen inkrustiert, die jedoch nicht aus Kalk bestehen. Der obere Teil ist mit Kalk überkrustet; bei Behandlung mit Säure lösen sich nur diese auf, während die dunkle Inkrustation erhalten bleibt. Die Lager enthalten die schon von FOREL (1904) und BOYSEN-JENSEN (1909) erwähnten *Chroococcus*-ähnlichen Cyanophytae; sie sitzen meist auf den fädigen Algen auf. Manchmal findet man auch kugelige Kolonien einer blaugrünen Alge; um welche Cyanophyceae es sich hierbei handelt, blieb unklar; es war auch fraglich, ob die Alge irgendwie am Aufbau der Kruste beteiligt ist oder nicht.

Die vierte Gruppe von Steinen enthalten nur wenig Kalk; wir fanden in unserem Material nur drei solcher Steine. Trotz ihrer Inkrustation zeigten sie keine Furchenbildung.

4. Die Rolle der Cyanophyta bei der Entstehung der Furchensteine

Daß die Furchenstein-Bildung auf kalkige Gesteine beschränkt ist, weist darauf hin, daß wir es mit einem kalklösenden Vorgang zu tun haben und daß das Gesteinsmaterial selbst von Einfluß auf die Erosionserscheinung sein

muß. Die Struktur und chemische Zusammensetzung der Steine ist jedoch nur für die Form der Furchen, nicht für die Furchenbildung als solche von Bedeutung. Die helle Außenschicht der Steine scheint phytogener Herkunft zu sein. Dafür spricht zunächst die Beobachtung, daß bei in den Stein eingedrungenen Algenfäden eine helle Zone um das Bohrloch auftritt, welche in die Außenschicht übergeht. Daß es sich bei Steinen der drei ersten Gruppen nicht um ein Abscheidungsprodukt der Algen handelt, geht daraus hervor, daß sie auf verschieden gefärbten Gesteinsunterlagen gewisse Unterschiede in der Farbgebung erkennen lassen. Deutlich ist das auch an einem Stein zu sehen, der einen hellen Quarzgang enthält.

Was die Korrosion betrifft, kann es sich in der Hauptsache um drei Entstehungsmöglichkeiten handeln, nämlich um eine anorganische, eine phytogene und eine zoogene Bildung. Die erste, die FOREL (1904) vertritt, ist offenbar unhaltbar; gegen die Ansicht, daß die Inkrustation der Grate auf dem Stein als Schutz gegen einen Angriff auf die Gesteinsoberfläche diene, spricht schon der Umstand, daß die perforierenden *Schizothrix*-Fäden besonders an Stellen mit starker Inkrustation auftritt. WESENBERG-LUND (1908) schreibt, daß es unwahrscheinlich sei, daß Pflanzenüberzüge, die sonst einen zerstörenden Einfluß auf Steine ausüben, in einem solchen Falle eine Schutzfunktion ausüben sollen. BAUMANN (1911) äußert sich im gleichen Sinne. Es tritt auch nie die nackte Stein-Oberfläche zutage, wie es FOREL angibt, außer in der dritten Gruppe auf den Kuppen; gewöhnlich sind auch die Furchen inkrustiert, wenn auch in den meisten Fällen schwächer als die Grate, immer aber sind sie von einer hellen Schicht unterlagert. Falls man, wie FOREL (1904) es tut, die chemische Erosionskraft des CO₂-haltigen Wassers als Bildungursachen der Furchen annehmen sollte, erhebt sich sofort die Frage, warum dann nur der Kalk im Stein aufgelöst wird, derjenige in der Kruste nicht; denn dieser ist dem Wasser viel leichter zugänglich. Wie mehrfach bestätigt wurde, hält sich in der Kruste das Wasser viel länger als an unbedeckten Stellen; dann ist auch das Wasser in den obersten, wärmsten Schichten meistens am CO₂-ärmsten.

Die meisten Beobachtungen über die Frage sprechen entschieden für eine phytogene Einwirkung. BOYSEN-JENSEN (1909) gibt eine in den Grundzügen recht einleuchtende Erklärung für die Erosion der Furchensteine; ob sie aber für die Bildung der Furchensteine im Bodensee anwendbar ist, erscheint uns zweifelhaft. Einmal sind die von BOYSEN-JENSEN angegebenen *Chroococcus*-ähnlichen Algen nur in Einzelfällen auf unserem Material anzutreffen und dann nicht auf der Gesteinsoberfläche selbst, sondern den Fäden von *Schizothrix* aufsitzend. Ob diese von uns als *Chroococcus* sp. bezeichnete Cyanophyceae überhaupt an den kalklösenden und kalkbildenden Vorgängen Anteil hat, mußte unentschieden bleiben. Vielleicht handelt es sich in beiden Fällen um völlig verschiedene Algenformen. Über die inkrustierenden Algen macht BOYSEN-JENSEN (1909) keine Angaben, so daß ein Vergleich mit den Cyanophyceen unseres Materials nicht

möglich ist. Daß nach seinen Angaben die Furchenbildung an der Unterseite der Steine vor sich gehen soll, ist ein weiterer Unterschied gegenüber unseren Beobachtungen, doch hat BOYSEN-JENSEN die Ober- und Unterseite vielleicht nur verwechselt. Wie die Furchen eigentlich auftreten können, ist nach seiner Darstellung eigentlich nicht einzusehen; danach „muß eine Furchenbildung entstehen, wenn, wie es nachweislich in der Natur vor sich geht, 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 und miteinander verschmelzen und aus dieser Verschmelzung muß eine Furche hervorgehen“.

Nach dieser Darstellung wäre die Furchenbildung reiner Zufall; die Häufigkeit dieser Bildung weist jedoch auf eine Gesetzmäßigkeit hin: An den mit der Oberseite höher herausragenden Steinen mit den parallelen Furchen an den geneigten Seitenflächen hat man den Eindruck, als hätte doch das Wasser eine gewisse korrodierende Gewalt, indem es beim Wellenschlag in den Furchen herunterläuft und den Belag von Algenkalk wegspült; am unteren Ende der Furchen ist der Algenkalk als kompakte Masse vorhanden, so als wenn der Kalk aus den Furchen hierher

transportiert wurde und von neuem in den Inkrustationsvorgang einbezogen wird. So kann man sich die Furchenbildung vorstellen, denn auf der Oberfläche jedes Steins zeigt fast jede Stelle eine gewisse Neigung, von der das Wasser bei Wellenschlag wieder herabläuft.

Ein Vertreter zoogener Entstehung der Furchenbildung ist FRAAS (1885), der die Korrosion ausschließlich tierischer Einwirkung zuschrieb. Nach seiner Darstellung siedeln sich in den Tuffinkrustationen Dipteren-Larven an, die eine Säure ausscheiden sollen; diese Säure wirkt dann zerstörend auf den Algenkalk. Er sagt dazu, wenn das Tuffpolster mit den minierenden Insektenlarven auf einem Kalkstein oder auch nur auf ein schwach kalkhaltiges Gestein aufsitzen, so wird die Unterlage der Tuffkruste ebenso wie diese selbst in Mitleidenschaft gezogen; es vertiefen dabei die in den Tuff gewühlten Gänge noch millimeter-tief in den Stein selbst hinein. An tierischen Organismen kommen nach BAUMANN (1911 S. 53) auf den Hirnstainen *Gammarus*-, *Asellus*- und *Clepsine*-Arten sowie ihre Eier vor, ferner auch verschiedene Insektenlarven. FOREL (1904) fand auf den Furchensteinen neben Insektenlarven verschiedene Turbellarien, Anneliden, Mollusken und Krustaceen, die sich durch die aufgelagerten Algenmassen bohren. Nach eigenen Beobachtungen findet man in den Furchen gelegentlich kleine Schnecken- und Muschelschalen.

Literatur

- AUERBACH, M., MAERKER, M. & SCHMALZ, J. (1924): Hydrographisch-Biologische Bodensee-Untersuchungen I. – Arch. Hydrobiol. Suppl., **3**: 597–738; Stuttgart.
- AUERBACH, M., MAERKER, W. & SCHMALZ, J. (1926): Hydrographisch-Biologische Bodensee-Untersuchungen II. – Verh. naturwiss. Ver. Karlsruhe, **30**: 1–128; Karlsruhe.
- AUERBACH, M. & SCHMALZ, J. (1939): Studie über die Hydrographie und Biologie des freien Wassers im Gnadensee (Untersee) 1925–1931. – Beitr. naturk. Forsch. SüdwDtl., **4**: 120–162; Karlsruhe.
- BACHMANN, E. (1914): Kalklösende Algen. – Ber. dtsh. bot. Ges., **33**: 45–57; Berlin.
- BAUMANN, E. (1911): Die Vegetation des Untersees (Bodensee). – Arch. Hydrobiol. Suppl., **1**: 1–554; Stuttgart.
- BAVENDAMM, W. (1932): Die mikrobiologische Kalkfällung in der tropischen See. – Arch. Hydrobiol., **3**: 105–276; Stuttgart.
- BORNEMANN, J. G. (1887): Geologische Algenstudien. – Jb. preuß. geol. Landesanst. und Bergakademie f. d. Jahr 1886: 116–134; Berlin.
- BOYSEN-JENSEN, P. (1909): Über Steinkorrosionen an den Ufern des Furesö. – Int. Revue ges. Hydrobiol., **2**: 163–173; Leipzig.
- BREHM, V. & RUTTNER, F. (1926): Die Bioöcnosen der Lunzer Gewässer. – Intern. Revue ges. Hydrobiol., **16**: 283–391; Leipzig.
- COHN, (1893): Über Erosionen von Kalkgestein durch Algen. – Schles. Ges. vaterländ. Kultur, Abt. 2. Jber. 1893; Breslau.
- ELSTER, H. J. & EINSELE, W. (1937a): Beiträge zur Hydrographie des Bodensees (Obersee). – Intern. Revue ges. Hydrobiol., **35**: 520–585; Leipzig.
- ELSTER, H. J. & GESSNER, F. (1935): Limnologische Studien. 1. Die chemische und biologische Sommerschichtung im Bodensee (Ober- und Untersee). – S. 1–22; Greifswald.

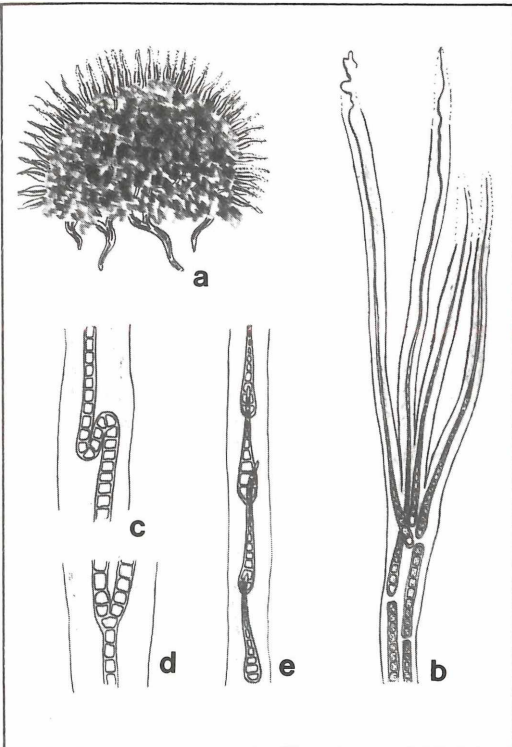


Abbildung 12. *Rivularia haematites*; a) verkaltes Polster im Längsschnitt; b–e) in Schlingen gelegtes Trichom, Verzweigungsstellen und Trichom-Ende.

- FOREL, F. A. (1904): Le Léman. – Bd. 3; Lausanne.
- FOTT, B. (1959): Algenkunde. – 482 S.; Jena (VEB FISCHER G.).
- FRAAS, E. (1886): Über Furchensteine im Bodensee. – Ber. 38. Versamml. Oberrhein. geol. Ver. Stein am Rhein, f. 1885: 20–23; Freiburg i. Br.
- GEITLER, L. (1925): Cyanophyceae – Süßwasserflora, hrsg. von A. PASCHER, 12: 1–481; Jena (FISCHER G.).
- GEITLER, L. (1942): Schizophyta. – In: ENGLER A. & PRANTL K., Die natürlichen Pflanzenfamilien, 2. Aufl., 1–222; Leipzig (ENGELMANN W.).
- GESSNER, F.: (1937): Phytoplanktonverteilung und Vertikalzirkulation im Bodensee. – Ber. dtsh. bot. Ges., 55: 172–184; Berlin-Dahlem.
- GESSNER, F. (1959): Hydrobotanik. – Bd. 2, 701 S.; Berlin (Dtsch. Verl. Wiss.)
- JÜRGENSEN, CHARLOTTE (1935): Die Minalgen bei Würzburg. Vergleichende Phytoplankton- und Benthosuntersuchungen des Mains und seiner Bühnenfelder bei Würzburg. Ein Beitrag zur Ökologie und Soziologie der Algen. – Arch. Hydrobiol., 28: 361–414; Stuttgart.
- KIEFER, F. & MUCKLE, R. (1959): Beobachtungen am Crustaceenplankton des Überlinger Sees (Bodensee) 1952–1957. – Beitr. naturk. Forsch. SüdwDtl., 18: 5–41; Karlsruhe.
- KLEINSCHMIDT, E. (1921): Beiträge zur Limnologie des Bodensees. – Schr. Ver. Gesch. d. Bodensee, 49: 34–69; Konstanz.
- MOLLENHAUER, D. (1985): Blaualgen der Gattung *Nostoc* – ihre Rolle in Forschung und Wissenschaftsgeschichte I. – Natur und Museum, 115: 305–319. – II. Ebenda: 369–379. – (1986) III. Ebenda: 116: 43–59. – IV. Ebenda: 104–120; Frankfurt am Main.
- MUCKLE, R. (1942): Beiträge zur Kenntnis der Uferfauna des Bodensees. – Beitr. naturk. Forsch. SüdwDtl., 7: 5–109; Karlsruhe.
- PRINGSHEIM, N. (1888): Über die Entstehung von Kalkinkrustationen an Süßwasserpflanzen. – Jb. wiss. Bot., 19: 138–154; Leipzig.
- SCHRÖTER, K. & KIRCHNER, O., (1896): Die Vegetation des Bodensees. – 1: 122 S.; (1902): 2, 86 S.; Lindau.
- WALLNER, I. (1933): *Oocardium stratum* NAEG., eine wichtige tuffbildende Alge Südbayerns. – Planta, 20: 287–293; Berlin.
- WALLNER, I. (1934): Zur Kenntnis des unter pflanzlichem Einfluß gebildeten Kalkspats. – Planta 23: 51–95; Berlin.
- WALLNER, J. (1935): Zur Kenntnis der Kalkbildung in der Gattung *Rivularia*. – Beih. bot. Cbl., 54, Abt. A: 151–155; Dresden.
- WALLNER, J. (1936): Eine gesteinsbildende Süßwasser-alge Deutschlands. – Natur & Volk, 66: 85–91; Frankfurt a. Main.
- WALTER, H. (1968): Vegetation der Erde. – 2, 1001 S.; Jena (VEB FISCHER, G.).
- WASMUND, E. (1920): Lakustrische Unterwasserböden (Seeablagerungen der nördlichen humiden Breiten). – In: Handbuch der Bodenlehre, 5: 97 ff.; Berlin (SPRINGER).
- WESENBERG-LUND, C. (1908): Die Litoralen Tiergesellschaften unserer größeren Seen I. – Intern. Revue ges. Hydrobiol., 1: 574–609; Leipzig.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Carolinea - Beiträge zur naturkundlichen Forschung in Südwestdeutschland](#)

Jahr/Year: 1986

Band/Volume: [44](#)

Autor(en)/Author(s): Müller-Stoll Wolfgang R.

Artikel/Article: [Der Cyanophyceen-Bewuchs der Furchen- oder Hirnsteine des Bodensees 51-60](#)