© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

Sedimentation in Hochgebirgsseen

Von Roland Pechlaner

Im Jahre 1925 wurde der Lüner See im Rhätikon (Vorarlberg), dessen natürlicher Wasserspiegel zwischen den Koten 1936 und 1944 m schwankte (größte Tiefe bei Kote 1832 m), durch einen Stollen angezapft und bis zum Sommer 1926 auf die Kote 1895 m und im Winter 1926/27 auf 1889 m abgesenkt (VORARLBERGER ILLWERKE AG 1960, p. 39). Diese teilweise Entleerung bot die Möglichkeit, die Seewanne künstlich abzudichten und so als hydro-elektrisches Speicherbecken verwendbar zu machen. GAMS war es möglich, in den Jahren 1927 und 1928 die durch diese künstliche Absenkung gegebene günstige Gelegenheit für das Studium der Sedimente dieses Hochgebirgssees zu nützen und sehr wertvolle Resultate zu erzielen (GAMS 1929a, 1929b). Eines der Ergebnisse war, daß der heute an der Grenze zur alpinen Höhenstufe gelegene See in der postglazialen Wärmezeit von Nadelwald umgeben war und sich zu dieser Zeit im Lüner See Schwefeleisengyttja bildete. GAMS nimmt an (1929b, p. 549, 556, 557), die heutige Sedimentation im Lüner See erzeuge keine Gyttja, sondern sei rein minerogen, eine Vermutung, die durchaus berechtigt erscheint. Das Wasser des Sees ist — durch anorganische Einschwemmungen bedingt — deutlich getrübt. Im Juli 1961 ergaben Strahlungsmessungen im Rahmen einer unter Leitung von Prof. O. STEINBÖCK stehenden Exkursion des Institutes für Zoologie der Universität Innsbruck an den Lüner See, daß das „Unterlicht", jene Strahlung, die im Wasser auf eine horizontale Empfangsfläche von unten her auftrifft, bei einer Wellenlänge von 590 nm 17% und bei 525 nm 25% der von oben einfallenden Strahlung ausmacht, was den hohen Gehalt des Wassers an lichtstreuenden minerogenen Schwebstoffen beweist. Es überrascht darum sehr, als sich bei der Entnahme von Bodenproben (Bodengreifer nach EKMAN-BIRGE, 11 Entnahmen zwischen den Koten 1908 und 1840 m) zeigte, daß unter dem 6 bis 8 cm mächtigen, vorwiegend minerogenen Sediment eine etwa 2 cm dicke Schicht von tiefschwarzem Schlamm lag.

---

[1] Ein Teil der hier verwendeten Daten wurde in limnologischer Feldarbeit gewonnen, die durch Subventionen von seiten der Österr. Akademie der Wissenschaften und des Österr. Alpenvereines ermöglicht wurde. Beiden Institutionen sei für ihre Hilfe auch hier aufrichtig gedankt.

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

Die mit dem EKMAN-Greifer erfaßbaren jüngsten Sedimente von Hochgebirgsseen und -speichern sind relativ gut untersucht, was ihr Aussehen und ihre makroskopisch erfaßbare Fauna anlangt (STEINBÖCK 1938, 1949, 1953, 1955, 1958, 1959; PECHLANER 1959, 1961, unveröff. Ergebnisse; GOTTWALD 1961; TURNOWSKY 1961, p. 114 und 115; GUTMANN 1962, p. 102 und 103). Sapropele (sensu LAUTERBORN[1]) waren in einigen alpinen[2] Seen zu finden (vgl. STEINBÖCK 1949, p. 142; GOTTWALD 1961, p. 14, 15 und 18), aber durchwegs in solchen, bei denen die allochthone minerogene Sedimentation zurücktritt. Der Versuch, das Zustandekommen der erwähnten Sapropelschicht im Lüner See zu erklären, bietet Anlaß darzulegen, was bisher über Sedimentation in Hochgebirgsseen bekannt ist:

GAMS (1942 u. a.) wies darauf hin, daß Moorwachstum in der alpinen Höhenstufe heute nicht mehr vorkommt. Zu diskutieren ist die Frage, welche Rolle andere Formen organogener und anorganischer Sedimentation bei der Verlandung von Hochgebirgsseen spielen.

Organische Sedimentanteile:

Allochthone organische Substanzen spielen im Sediment der Hochgebirgsseen eine große Rolle. STEINBÖCK (1949, p. 142; 1953 u. a.) wies darauf hin, daß das „Empneuston", und zwar in erster Linie eingewehte Bestandteile terrestrischer Vegetation, eine wesentliche Quelle organischer Substanz im Hochgebirge darstellt, der gegenüber Einschwemmungen durch die Fließgewässer mengenmäßig zurücktreten dürften, vor allem bei Seen mit geringem Einzugsgebiet (vgl. auch TURNOWSKY 1961, p. 124; über organische Geschwebefracht von Flüssen vgl. EINSELE 1960, p. 26ff.).

Von GOTTWALD (l. c.) liegt eine schöne Studie vor, bei der der Versuch unternommen wurde, das Empneuston zu wägen. Die angewandte Methode berücksichtigt nur einen Teil des Empneustons (die eingewehten Substanzen wurden mit der Pinzette aus dem Siebrückstand gelesen und — bei 110° C getrocknet — gewogen). Mikroskopisch kleine Anteile pflanzlicher und tierischer Herkunft, die sich stets in Proben aus dem Pelagial wie auch im Sediment finden, sind nicht einbezogen und auch die makroskopischen Siebrückstände sind bereits verschieden weit abgebaut, trotzdem sind die Zahlen von Wert: Das Trockengewicht schwankte im Vorderen

[1] NAUMANN (1929) lehnt den Begriff „Sapropel" im Sinne von LAUTERBORN (1901, p. 50 und 51; 1915, p. 400—404) ab und erklärt den Terminus in dieser Fassung trotz der Argumente von GAMS (1930) für überflüssig (NAUMANN 1930, p. 74). Mir erscheint es dagegen sehr zweckmäßig, stark reduzierte Schlammbildungen mit dem Namen „Sapropel" abzugrenzen, wie dies in der neueren Literatur auch immer wieder geschieht (FINDENEGG 1937, p. 606; KUBIENA 1933, p. 105—107; FREY 1955, p. 147), doch ist zu betonen, daß über Genese und Verbreitung dieses Schlammtypus noch nicht viel bekannt ist. GROSSEBRAUCKMANN (1961) betont die Schwierigkeiten, in der Sedimentansprache „Sapropel" von „Gyttjen" zu trennen; er scheidet den Sapropelbegriff wegen seiner Verquickung mit einer entwicklungsgeschichtlichen Deutung aus der descriptiven Terminologie aus.

[2] „alpin" als Höhenstufe verstanden (= Hochgebirge)!

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

Finstertaler See (2240 m) zwischen 56 und 14300 mg/m², der Durchschnitt liegt bei 2,5 g/m², wobei sich tierische und pflanzliche Empneusta etwa die Waage halten. Dazu ein Vergleich mit dem Lüner See: Der organische Siebrückstand von zwei Bodenproben, die am 17. 7. 1961 bei den Koten 1942 und 1852 m entnommen wurden (heutiger Vollstauspiegel 1970 m, Absenkziel 1867 m, größte Tiefe bei 1821 m), hatte im Durchschnitt ein Trockengewicht von 20 g/m². Das organische Material war fast zur Gänze pflanzlicher Herkunft.

Autochthone organische Substanz ist aber, wie Untersuchungen der letzten Jahre gezeigt haben, für den Hochgebirgssee von größerer Bedeutung als man früher annahm. TURNOWSKY (1961, p. 125) wies als erster auf diese Tatsache hin, aber auch RODHE (1962 und in Vorbereitung), NAUWERCK (in Vorbereitung) und PECHLANER (1961 und in Druck) kamen auf Grund ihrer Befunde zu demselben Resultat. Es besteht nach den Arbeiten der genannten Autoren sowie Daten von GAMS (1948, in STEINBÖCK 1949, p. 145) und GUTMANN (1962, p. 101) heute kein Zweifel mehr, daß planktische Primärproduktion für den Stoffkreislauf vieler Hochgebirgsseen eine wichtige Rolle spielt.

Über die Menge autochthoner organischer Substanz, die sedimentiert wird, haben wir noch keine verläßliche Vorstellung. Angaben über den Phytoplanktonbestand tragen zur Klärung dieser Frage kaum bei. Die verfügbaren Produktionszahlen, die in Tabelle 1 zusammengestellt sind (gewonnen mit der ^{14}C-Methode nach STEE-

Tab. 1: Planktische Primärproduktion (^{14}C) in Hochgebirgsseen der Alpen.

See	Untersuchungsdatum	Primärproduktion mg C ass/m². Tag	Autor
Drachensee (1880 m) (Mieminger Kette)	12. 9. 1959, wolkenlos	180	RODHE in Vorbereitung
Lüner See (1970 m) (Rhätikon)	17. 7. 1961, wechselnd bewölkt	41	PECHLANER in Druck
Vord. Finstertaler See (2240 m)	26. 7. 1961, wolkenlos	24	PECHLANER in Druck
(Stubaier Alpen, Kühtai)	9. 1. 1962, wolkenlos	4	PECHLANER in Druck
Gossenköllesee (2413 m) (Stubaier Alpen, Kühtai)	8. 9. 1959, wolkenlos	24	RODHE in Vorbereitung
Schwarzsee ob Sölden (2792 m) (Ötztaler Alpen)	10. 9. 1959, wolkenlos	50	RODHE in Vorbereitung

MANN NIELSEN 1952) erlauben selbst für den am besten untersuchten Hochgebirgssee, den Vorderen Finstertaler See (2240 m), bis dato nur eine grobe Schätzung der jährlichen Kohlenstoffbindung durch Primärproduzenten: Etwa 410 kg Kohlenstoff werden im Jahr vom Phytoplankton des Sees (Volumen: 2,33 Mio m³) assimiliert. Es läßt sich noch nicht sagen, wieviel davon im See bleibt und wieviel über den Abfluß weggeführt wird. Was an Phytoplankton — unabgebaut oder koprogenisiert — sedimentiert, wird sich fast zur Gänze im See unterhalb einer Tiefe von 15 m ablagern (Maximaltiefe 28,8 m), da im Sommer, während des Höhe-

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

punktes in der Planktonproduktion, pflanzliche und tierische Plankter in der Tiefe des Sees konzentriert sind (PECHLANER in Druck). Etwa 5 g organischer Kohlenstoff würden im Vorderen Finstertaler See unterhalb der 15-m-Isohypse pro m^2 und Jahr sedimentiert, wenn kein Plankton durch den Abfluß verloren ginge und pelagische Mineralisation vernachlässigt werden könnte.

Daß benthische Algen in Hochgebirgsseen als Sedimentbildner Bedeutung erlangen, wissen wir nur aus zwei qualitativen Befunden: GUTMANN entnahm am Mölser See (2238 m) ein Sedimentprofil, in dem sich in den obersten Schichten als Schlammkomponente reichlich Diatomeen finden (GUTMANN 1955, p. 93). An Bodenproben aus dem Vorderen Finstertaler See (2240 m) ließ sich im Uferbereich bis etwa 20 m Tiefe ein Sediment feststellen, das als Diatomeenocker zu bezeichnen ist (GOTTWALD 1961, p. 24).

Über die Populationsdynamik von Zooplankton und Bodenfauna der Hochgebirgsseen wissen wir noch zu wenig, als daß die vorliegenden Zahlen über Zooplanktonbestand (TURNOWSKY 1946, 1954, 1961; PECHLANER 1961; GUTMANN 1962) und Bodenfauna (STEINBÖCK 1938, 1949, 1953, 1955, 1958, 1959; PECHLANER 1959, 1961; GOTTWALD 1961; GUTMANN 1962) ein Bild davon liefern könnten, wieviel von der organischen Substanz alpiner Sedimente auf dem Weg über diese Faunenelemente abgelagert wird. Die mikroskopische Untersuchung von Schlammablagerungen alpiner Seen kann in dieser Frage nur wenig weiterhelfen, da höchstens Panzer von Chydoriden und Ostracoden, Krallen und Ephippien von Daphnien, Kopfkapseln von Chironomiden und eventuell Pisidienschalen im Sediment erhalten bleiben, während Tubificiden keinerlei Hartteile hinterlassen und die im Hochgebirgssee dominierenden Copepoden und panzertragenden Rädertiere rasch abgebaut werden, wie zuletzt DEEVEY (im Druck) gezeigt hat.

Die an der Limnologischen Station Kühtai derzeit laufenden Untersuchungen zielen u. a. darauf hin, Ursachen und Ausmaß von Wachstum, Vermehrung und Verlustrate von Zooplankton und Bodenfauna zu erfassen, um so über die bisher aus dem Hochgebirge erarbeiteten Angaben über den „Bestand" hinaus zu einem zuverlässigen Bild über die Jahresproduktion dieser Lebensgemeinschaften zu gelangen.

Ein Ergebnis der organischen Sedimentation, nämlich der augenblickliche Gehalt der Schlammablagerungen an organischem Kohlenstoff, ist relativ leicht erfaßbar: GOTTWALD (l. c.) gibt für 124 Bodenproben aus dem Vorderen Finstertaler See den Gehalt der obersten 35 mm des Sedimentes an organischem Kohlenstoff in Gewichtsprozenten an. Die Zahlen schwanken zwischen 1,30 und 3,00%. Das entspricht einem Trockengewichtsanteil der organischen Substanz am Gesamtsediment von etwa 3 bis 8%, wenn es sich um Zelluloseablagerungen handelt, und von 2,6 bis 6%, wenn nur Chitin als organische Substanz vorläge. Das sind niedere Werte, verglichen mit den einzigen Angaben, die sonst noch über das Sediment eines Hochgebirgssees (Lüner See, SMIT SIBINGA 1959, p. 176) vorliegen und nach denen die bei der erneuten Absenkung des Lüner Sees im Jahre 1956 auf Kote 1891 m

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

freigelegte schwarze gebänderte Tongyttja aus der postglazialen Wärmezeit an der Oberfläche zu 15,9%, in 40 cm Tiefe zu 15,6% und in 60 cm zu 14,9% aus organischer Substanz besteht.

Anorganische Sedimente:

Die Zufuhr allochthoner anorganischer Sedimente hängt in erster Linie von Art und Umfang des Einzugsgebietes und der Transportkraft der Zuflüsse ab. Angaben über die Sedimentführung von Fließgewässern des Hochgebirges bringen AN DER LAN (1936, dort weitere Literatur) und LANSER (1959). Neben dem Transport von Geröll und Sand, die die Zuflüsse meist im unmittelbaren Bereich der Bachmündung ablagern, tragen die Fließgewässer durch Einschwemmung von feinstem Gesteinsschluff viel zur Verlandung der Hochgebirgsseen bei. Zahlenangaben über minerogene Sedimentation in stehenden Gewässern des Hochgebirges liegen von natürlichen Seen keine vor; gemessen wurde nur an Stauräumen für Kraftwerke, wo die Verminderung des Speichervolumens durch Sedimentanhäufung aus wirtschaftlichen Erwägungen verfolgt wird:

Für den Tauernmoossee (2004 m, Stubachtal, Salzburg; erster Vollstau 1929, Nutzinhalt 21,5 Mio m³, Areal bei Vollstau 1,45 km²) errechnete ASCHER (ASCHER und POWONDRA 1930, p. 284) einen Jahreszuwachs von 30.000 bis 35.000 m³ durch die Ablagerung der Geschiebe- und Sinkstoffracht der Zubringer. Herrn Oberrevident Ing. Karl HERCEG (Kraftwerk Uttendorf) verdanke ich die Mitteilung, daß im Mai 1956 nach maximaler Absenkung des Speichers die Sedimentanlagerungen im südlichsten Drittel des Sees (Mündungsgebiet des Hauptzuflusses) tachymetrisch gemessen wurde. Die Ermittlungen ergaben, daß in diesem Bereich jährlich etwa 5000 m³ Sediment abgelagert wurden. Nicht erfaßt sind dabei allerdings jene feinen Aufschwemmungen, die sich erst im Hauptbecken des Sees absetzen. Vor dem Entnahmebauwerk, zirka 1500 m von der Mündung des Hauptzubringers entfernt, war im Mai 1956 festzustellen, daß sich eine etwa 80 cm hohe Schicht von Gesteinsschluff angesammelt hatte.

Genaue Zahlen liegen über die Verlandung der Margaritze (2000 m, Nutzinhalt 3,1 Mio m³, Areal bei Vollstau 200.000 m²) vor, jenes Tagesspeichers der Kraftwerksgruppe Glockner-Kaprun, der in den Hohen Tauern am Fuße des Großglockners liegt und den Abfluß der Pasterze auffängt. Im Jahre 1960 brachte der Pasterzenabfluß 62.550 m³ Gesteinsschluff, im Jahre 1961 56.250 m³, von denen 18 bis 20% mit dem Nutzwasser in die Speicher Mooserboden und Wasserfallboden gelangen und dort teils absitzen, teils bei der Abarbeitung des Wassers über die Turbinen durch die Kapruner Ache weiter transportiert werden, während der Rest in der Margaritze sedimentiert (LIEPOLT 1961, p. 110).

Der Lüner See ist ein Pumpspeicher. Seine natürlichen Zuflüsse und der künstlich zugeleitete Abfluß eines Teiles des Brandnergletschers bringen im Jahr nur 17 Mio m³ Wasser. Um den gesamten Speicherraum für den Winter zu füllen (Nutzinhalt

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

76 Mio m³) und jene Wassermengen zu ersetzen, die bei Spitzenbedarf im Sommer abgearbeitet werden, wird zu Zeiten geringen Energiebedarfs mit Überschußstrom Wasser aus dem fast 1000 m tiefer gelegenen Staubecken Latschau in den Lüner See gepumpt. Über die minerogene Sedimentation erhielt ich von Dipl.-Ing. HÄMMERLE (Vorarlberger Illwerke AG) brieflich folgende Auskunft: „Wir können die jährlichen Ablagerungen im Lüner See nur schätzen nach der sedimentierbaren Schwebstoffführung des gepumpten Illwassers. Wir schätzen nach Messungen in dem den Pumpen vorgeschalteten Absitzbecken in Latschau, daß im Jahresmittel mit dem Pumpwasser etwa 400 m³/Jahr Sediment mit einer Korngröße unterhalb von 0,2 . . . 0,1 mm in den Lüner See gebracht wird bei einer gesamten Pumpwassermenge von etwa 95 Mio m³/Jahr (1960). Die von den natürlichen Zubringern Verabach und Totalpbach eingebrachten Sedimente werden kaum 30 m³/Jahr erreichen, weil der größte Teil des Totalpbachzuflusses im Schuttkegel versickert und unterirdisch dem See zufließt."

Der Lüner See steht seit 1957 als Pumpspeicher in Verwendung. Auf Grund der oben vorgelegten Schätzungen wären bis zum Sommer 1961 1720 m³ Sediment eingebracht worden. Wegen der ständigen Spiegelschwankungen ist anzunehmen, daß die wandernde Ufererosion keine nennenswerte Sedimentation im Bereich zwischen Stauziel und Absenkziel zuläßt, die eingebrachten Schwebstoffe im wesentlichen also unterhalb der Kote 1897 m abgelagert werden. Dies würde bedeuten daß unterhalb dieses Horizontes das Sediment, horizontal homogenes Absetzen vorausgesetzt, im Jahr um 0,9 mm wächst. Durch Datierung des eingangs erwähnten schwarzen Schlammhorizontes müßte es möglich sein, die Sedimentationsberechnung mit den tatsächlichen Gegebenheiten zu konfrontieren:

Es besteht kein Zweifel, daß der schwarze Schlamm Sapropel darstellt. Seine dunkle Farbe rührt von Eisensulfid her, das nach den Angaben von VALLENTYNE (1961 und 1963) auch hier als Pyrit vorliegen dürfte. H_2S-ähnlicher Geruch war bei der Probenentnahme festzustellen, eine chemische Untersuchung wurde nicht durchgeführt. Die große Menge pflanzlicher Substanz, die den Siebrückstand auszeichnete (vgl. p. 255), stammte — soweit die rein makroskopische Feststellung bei der Probenentnahme diese Aussage erlaubt — vor allem aus der Sapropelschicht.

Für die Ansammlung dieses organogenen Sedimentes in einem engen Horizont gibt es zwei Möglichkeiten:

1. Bei der Absenkung des Lüner Sees in den Jahren 1955 und 1956 wurde die oberste Sedimentschicht (besonders reich an organischer Substanz) des trocken gelegten Ufers durch Wellenwirkung re-suspendiert, teils durch den Abfluß abtransportiert, zum Großteil aber wegen der geringen Strömungsgeschwindigkeit im See abgesetzt. JAAG (1953) stellte fest, daß sich die zeitweise überstauten Uferhalden selbst hochgelegener Speicher (Ritomsee, Stauziel 1936 m) rasch begrünen. Um so mehr ist anzunehmen, daß sich in der mehr als zwei Vegetationsperioden dauernden Spiegelsenkung am Lüneer See an den Ufern eine reiche krautige Vegetation bilden konnte. Beim Höherstau im Jahre 1957 wurde dieser Bewuchs und außerdem die

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

erstmals überstaute Pflanzendecke einer Fläche von etwa 36 ha ertränkt. Wenn auch im Juli 1961 vor allem die Alpenrosenbestände unterhalb des neuen Stauzieles zum Teil noch die abgestorbenen Blätter trugen und mit ihrem Wurzelgeflecht und den Ästen der Erosion des Untergrundes entgegenwirkten, ist doch anzunehmen, daß fast alle krautigen Pflanzen im ersten Jahr der Überstauung so zerfallen sind, daß ihre Reste vom Wasser bei der Spiegelsenkung im Winter 1957/58 abtranspotiert und zu einem großen Teil unterhalb des Absenkzieles abgelagert wurden. Wenn nicht schon in diesem Winter durch die Anhäufung fäulnisfähiger Substanz am Grunde im Profundal O_2-Zehrung eintrat, so ist anzunehmen, daß zumindest im Sommer 1958 die Sapropelbildung begann, als dieses allochthone organische Material unter minerogenem Sediment begraben wurde, das durch die natürlichen Zuflüsse, den beigeleiteten Abfluß des Brandnergletschers, die verstärkte Erosionstätigkeit aller Zuflüsse im Uferbereich zwischen Stau- und Absenkziel und den Schwebestoffgehalt des eingepumpten Illwassers in dieser Stauphase in besonders reicher Menge eingebracht wurde. Wenn die etwa 7 cm vorwiegend minerogenen Sedimente, die die Sapropelschicht überdeckten, in den drei Jahren zwischen 1958 und Juli 1961 abgelagert wurden, ist die geschätzte Sedimentsrate von 0,9 mm pro Jahr viel zu niedrig.

2. Die Diskrepanz zwischen der festgestellten Dicke des minerogenen Sedimentes und der geschätzten Sedimentationsrate ist weniger groß, wenn man sich das Sapropel entstanden denkt, als der Lüner See im Zusammenhang mit den Abdichtungsarbeiten an der Seebarre 1926, 1927, 1930 und 1931 weitgehend abgesenkt war, 1928 und 1929 und in den Jahren nach 1931 gestaut wurde und der Speicher 1935 mit Kote 1943 m erstmals sein damaliges Stauziel erreichte. Die bei diesen Seespiegeländerungen ertränkte Ufervegetation könnte mit jener organischen Substanz, die mit dem Erdrutsch (GAMS 1929b, p. 547) in den See kam, zu Faulschlamm geworden sein, doch bestand damals viel weniger Anlaß, daß diese organische Ablagerung rasch durch minerogene Sedimente eingeschlossen und dadurch ein dauernd reduziertes Milieu geschaffen worden wäre.

Nach den vorgebrachten Argumenten ist anzunehmen, daß das Sapropel aus den Jahren 1957 und 1958 stammt. Eine endgültige Klärung wäre durch Entnahme eines Sedimentprofils aus dem See möglich, wobei der Anschluß der rezenten Sedimente an die von GAMS (1929a, 1929b) und SMIT SIBINGA (1959) gefundenen und datierten Ablagerungen hergestellt werden könnte. Wenn der Sapropelhorizont im Lüner See unterhalb des Absenkzieles einheitlich ausgebildet ist (was sich vielleicht mit dem Bodengreifer nach EKMAN-BIRGE, sicher aber mit einem Profillot oder einem Sedimentbohrer leicht prüfen ließe), könnte in den kommenden Jahren an Bodenprofilen die jährliche Sedimentationsrate sicher eruiert werden. Es ließe sich auch die Frage entscheiden, ob die tatsächliche Sedimentation noch heute weit über dem geschätzten Wert (p. 258) liegt oder ob nur große Mengen von Einschwemmungen aus dem ersten Jahr des zweiten Höherstaues den Großteil des minerogenen Sedimentes über dem Sapropel brachten.

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

Auch autochthone anorganische Sedimentation kommt in Hochgebirgsseen vor, wenn wir mit RUTTNER (1962, p. 217) alle jene Ablagerungen als autochthon bezeichnen, die „in Seen selbst durch die Prozesse des Lebens oder durch physikalisch-chemische Vorgänge aus dem Wasser ausgefällt" werden.

Ausfällung von Kalk und seine Ablagerung als Seekreide — ein häufiges Phänomen in carbonatreichen Niederungsseen — ist mir aus dem Hochgebirge nicht bekannt.

Dagegen kommt Eisen sicher in zwei Formen in alpinen Sedimenten vor: Als Ferrosulfid und als Ferrihydroxyd. Von dem Auftreten als Ferrosulfid war schon weiter oben (p. 254) die Rede, als extremes Beispiel könnte man noch den Ritomsee anführen, dessen anaerobes schwefelwasserstoffreiches Hypolimnion ein eisensulfidschwarzes Sediment schuf, zumindest, so lange die Meromixie dieses Sees nicht durch seine hydroelektrische Nutzung aufgehoben wurde (EDER-SCHWYZER 1924).

Entsprechende Beobachtungen erlauben es, den von GAMS (1929b, p. 559) aus den Alpen gemeldeten rezenten Eisenablagerungen den Vorderen Finstertaler See (2240 m) als weiteren Fundort hinzuzufügen: In diesem See fand GOTTWALD (l. c.) in zahlreichen Tiefenproben Ferrihydroxyd als Diatomeenocker (vgl. p. 256) und See-Erz vor. Nach ihren Befunden und nach einer „Bodenkarte", die ich im Winter 1959/60 bei der Auslotung dieses Sees aufnehmen konnte[1], bilden diese oxydierten Eisensedimente zwischen 5 und 22 m Tiefe einen breiten Ring am Seegrund, der nur im südwestlichen Teil offen ist, wo — teils durch die starke Neigung des Ufers, teils durch Grundwasseraustritte bedingt — feinere Sedimente überhaupt fehlen bzw. mit dem Bodengreifer nicht erfaßt werden konnten.

Es ist anzunehmen, daß das Eisen als Ferrobikarbonat mit dem Grundwasser in den See gelangt (RUTTNER 1962, p. 102) und dort als Ferrihydroxyd ausfällt. Ein Teil davon wird im Sediment zu Ferrosulfid reduziert werden, der Großteil aber scheint als Ferrihydroxyd abgelagert zu werden. Die Dynamik der Eisen- und Manganschichtung in Seen mit hypolimnischer Sauerstoffzehrung hat EINSELE (1940) aufgeklärt. Die speziellen Verhältnisse im Vorderen Finstertaler See und die Auswirkung der gegebenen limnochemischen Situation auf Art, Menge und Genese seiner Eisensedimente sind noch nicht untersucht. Auch die Herkunft des Eisens wäre noch zu klären. GAMS (1929b, p. 559ff.) weist auf den Zusammenhang zwischen Eisensedimentbildung und Podsolierungsgrad der Böden des Einzugsgebietes hin. Diese Abhängigkeit könnte auch im Falle des Finstertaler Sees bestehen, in dem Sinn, daß das Eisen seiner Ablagerungen aus abgetragenen alten Eisenpodsolen stammt. Doch ist ebensogut möglich, daß Eisen auch heute in entsprechender Menge aus dem Gestein der Umgebung gelöst wird. Im Einzugsgebiet der Finstertaler Seen herrschen Granodioritgneis und schuppiger Biotitgneis vor (vgl. HAMMER 1929

---

[1] Die Entnahme von über 100 Bodenproben bei einer Eisdicke von 30 cm (15. 12. 1955) bzw. 60 cm (28. 1. 1960) wäre ohne die bereitwillige Mitarbeit von Dr. W. GAMS, N. GÖSSNER und H. NATHER nicht möglich gewesen. Ich möchte den Genannten darum auch an dieser Stelle für ihre Hilfe herzlich danken.

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

bzw. Geologische Spezialkarte, Blatt Ötztal). BECKE (1913, p. 177ff.) gibt für den Granodioritgneis des Acherkogels (Ötztal), der demselben Typus angehören dürfte wie das Gestein um den Vorderen Finstertaler See, nur geringen Eisengehalt an (2,62 Gewichtsprozent Ferrooxyd und 0,95% Ferrioxyd), doch könnte das Eisen der Sedimente durchaus direkt aus diesem Gestein stammen. Nach Eisenbakterien wurde in den Ablagerungen des Vorderen Finstertaler Sees noch nicht gesucht. Als Tychoplankter wurden Eisenbakterien nie beobachtet. Der pH des Vorderen Finstertaler Sees schwankt im Jahresgang in Sedimentnähe zwischen den Werten 5,8 und 6,3, die Bedingungen sind also noch günstig für rasche Oxydation des Ferrobikarbonates zu Ferrihydroxyd, und schon deshalb ist anzunehmen, daß Eisenbakterien für die Sedimentation des Eisens kaum eine Rolle spielen. Für die Oxydation von Manganoverbindungen hingegen ist Beteiligung durch Bakterien eher zu erwarten (EINSELE 1940, p. 260), doch wissen wir über die diesbezügliche Situation im Vorderen Finstertaler See noch gar nichts.

Zusammenfassung

Eine vertikal streng begrenzte Sapropelschicht im Sediment des Lüner Sees und die daraus resultierende Frage nach dem Zustandekommen dieses Faulschlammes sind der Anlaß, die Frage der rezenten Sedimentation in Hochgebirgsseen ganz allgemein zu erörtern und auf Lücken in unserer Kenntnis hinzuweisen.

Allochthone organische Sedimente gelangen in alpine Seen als Empneuston, mit den Zuflüssen und — vor allem bei Speicherseen — durch Ufererosion bzw. Überstauen von Pioniervegetation. Von Bedeutung für die Bildung organischer Ablagerungen ist aber auch die autochthone Stoffproduktion. Einige Daten über den Gehalt alpiner Sedimente an organischer Substanz liegen vor, doch wird betont, daß in Anbetracht des raschen totalen Abbaus vieler abgestorbener Primärproduzenten und Konsumenten der Hochgebirgsseen für das Verständnis des Zustandekommens des organischen Anteiles der Sedimente die Kenntnis des heutigen Stoffumsatzes des ganzen Sees eine — erst wenig erarbeitete — Voraussetzung ist.

Über den Umfang allochthoner anorganischer Sedimentation liegen derzeit nur von Speicherseen Zahlen vor. Die jüngsten Ablagerungen im Lüner See machen es wahrscheinlich, daß die tatsächliche Anlandung minerogenen Materials weit über dem geschätzten Betrag liegt.

Der letzte Abschnitt behandelt die rezente Bildung von Eisensedimenten in Hochgebirgsseen.

Sedimentation in High Mountain Lakes

SUMMARY:

In the recent sediments of Lüner See (Austria, Rhätikon, top level of the reservoir since 1957 1970 m a. s. l., since 1935 lake used as hydro-electric water basin) in July 1961 a layer of sapropel was found, covered with 7 cm of inorganic deposits. The question how this sapropel has developed leads to a general discussion concerning our knowledge on sedimentation in alpine lakes.

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

Allochthonous organic sediments get into high mountain lakes as "Empneuston" (i. e. mainly parts of vegetation blown into the water from outside), by affluents and — especially in reservoirs — by erosions of the banks and by overflowing of pioneer-vegetation respectively. Autochthonous organic production however is of importance concerning the formation of organic deposits too. There are some data about the organic contents of alpine sediments. The knowledge of the present turnover of the lake forms the basis, as yet little known, to find out how the organic sediments were formed. This is all the more important, as the bulk of primary producers and consumers of alpine lakes undergo a total decomposition.

The amount of inorganic sedimentation has as yet been measured only in reservoirs. The latest deposits in Lüner See lead to the conclusion that the real mineral accumulation is far greater than it has been estimated for this lake.

Concluding evidence has been given for the occurrence of iron sediments in an alpine lake (Vorderer Finstertaler See, 2240 m).

Literaturverzeichnis

AN DER LAN, H. (1936): Hydrographische und hydrobiologische Beobachtungen im Liesenser Gletschergebiet. I. Hydrographischer Teil. Veröff. Museum Ferdinandeum, Innsbruck, Bd. 15, p. 29—51.

ASCHER, H. und POWONDRA, K. (1930): Über geologisch-technische Erfahrungen beim Bau des Stubachwerkes. Jahrb. d. Geol. Bundesanstalt, Bd. 80, p. 261—308.

BECKE, F. (1913): Chemische Analysen von kristallinen Gesteinen aus der Zentralkette der Ostalpen. Denkschr. d. Kaiserl. Akad. d. Wiss. Wien, math.-nat. Kl., Bd. 75, I, p. 153 bis 229.

DEEVEY, S. jr. (in Druck): Morphological Aspects of Decomposition. Verh. Int. Ver. Limnol., Bd. 15.

EDER-SCHWYZER, J. (1924): Chemische Untersuchungen am Ritomsee vor und nach der Absenkung. Ztschr. f. Hydrologie, Bd. 2, p. 28—64.

EINSELE, W. (1940): Versuch einer Theorie der Dynamik der Mangan- und Eisenschichtung im europhen See. Naturwissenschaften, 28. Jg., p. 257—264 und 280—285.

— (1960): Die Strömungsgeschwindigkeit als beherrschender Faktor bei der limnologischen Gestaltung der Gewässer. Österr. Fischerei, Suppl. 1, p. 1—40.

FINDENEGG, I. (1937): Holomiktische und meroktische Seen. Int. Revue Hydrobiol., Bd. 35, p. 586—610.

FREY, G. (1955): Längsee: A history of meromixis. Mem. Ist. Ital. Idrobiol., Suppl. 8, p. 141 bis 164.

GAMS, H. (1929a): Sedimentation und Vermoorung der Lunzer Seen und des Lünersees. Verh. Int. Ver. Limnol., Bd. 4, p. 325—332.

— (1929b): Die postarktische Geschichte des Lüner Sees im Rhätikon. Jahrb. d. Geol. Bundesanstalt, Bd. 79, p. 531—570.

— (1930): Zur Schlammnomenklatur. Arch. Hydrobiol., Bd. 21, p. 493—495.

— (1942): Die Höhengrenzen der Verlandung und des Moorwachstums in den Alpen. Abh. Nat. Ver. Bremen, Bd. 32, p. 115—133.

GOTTWALD, E. (1961): Bodenuntersuchungen im Vorderen Finstertaler See. Hausarbeit, Univ. Innsbruck, MS, 65 pp.

GROSSE-BRAUCKMANN, G. (1961): Zur Terminologie organogener Sedimente. Geol. Jb., Bd. 79, p. 117—144.

GUTMANN, V. (1955): Der Mölsersee im Wattental/Tirol. Eine hydrobiologische Studie. Diss. Univ. Innsbruck, 161 pp.

— (1962): Der Mölsersee im Wattental/Tirol. Veröff. Museum Ferdinandeum Innsbruck, Bd. 41, p. 49—116.

HAMMER, W. (1929): Erläuterungen zur Geologischen Spezialkarte der Republik Österreich, Blatt Ötztal (5146). Geol. Bundesanstalt Wien.

JAAG, O. (1953): Die spontane Begrünung der zeitweise überstauten Uferhalden verschiedener Stauseen. Bericht an das Eidgen. Amt f. Wasserwirtschaft, Bern.

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

KUBIENA, W. L. (1953): Bestimmungsbuch und Systematik der Böden Europas. Ferdinand-Enke-Verlag, Stuttgart. 392 pp.
LANSER, O. (1959): Beiträge zur Hydrologie der Gletschergewässer. Heft 38 der Schriftenreihe des Österr. Wasserwirtschaftsverbandes, Wien, 63 pp.
LAUTERBORN, R. (1901): Die „sapropelische" Lebewelt. Zool. Anz., Bd. 24, p. 50—55.
— (1915): Die sapropelische Lebewelt. Ein Beitrag zur Biologie des Faulschlammes natürlicher Gewässer. Verh. naturhist.-med. Ver. Heidelberg, N.F., Bd. 13, p. 395—481.
LIEPOLT, R. (1961): Biologische Auswirkung der Entschlammung eines Hochgebirgsstausees in einem alpinen Fließgewässer. Wasser und Abwasser (Wien), Bd. 1961, p. 110—130.
NAUMANN, E. (1929): Einige Bemerkungen zur Terminologie des Sapropels. Arch. Hydrobiol., Bd. 20, p. 700—703.
— (1930): Einführung in die Bodenkunde der Seen. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 126 pp.
PECHLANER, R. (1959): Zur Limnologie der Stauseen des Kapruner Tales und des Stubachtales. Österr. Wasserwirtschaft, Jg. 11, p. 185—194.
— (1961): Umweltsbedingungen und Lebewelt in alpinen Speicherseen. Wasser und Abwasser (Wien), Bd. 1961, p. 190—244.
— (in Druck): Plancton Production in Natural Lakes and Hydro-electric Water Basins in the Alpine Region of the Austrian Alps. Verh. Int. Ver. Limnol., Bd. 15.
RODHE, W. (1962): Sulla produzione di fitoplancton in laghi transparenti di alta montagna. Mem. Ist. Ital. Idrobiol., Bd. 15, p. 21—28.
RUTTNER, F. (1962): Grundriß der Limnologie. Verl. Walter De Gruyter, Berlin, 3. Aufl., 332 pp.
SMIT SIBINGA, G. L. (1959): Ein Profil am Boden des abgesenkten Lünersees. Jahrb. d. Vorarlberger Landesmuseumsvereines 1958/59, p. 173—176.
STEEMANN NIELSEN, E. (1952): The use of radio-active carbon (C^{14}) for measuring organic production in the sea. J. d. Cons. Int. p. l'Explor. d. la Mer, Bd. 18, p. 117—140.
STEINBÖCK, O. (1938): Arbeiten über die Limnologie der Hochgebirgsgewässer. Int. Revue Hydrobiol., Bd. 37, p. 467—509.
— (1949): Der Schwarzsee ob Sölden im Ötztal. Eine hydrobiologische Studie. Veröff. Mus. Ferdinandeum Innsbruck, Bd. 26/29, p. 117—146.
— (1953): Ein neuer Seentyp: Der kryoeutrophe See. Mem. Ist. Ital. Idrobiol., Bd. 7, p. 153 bis 163.
— (1955): Über die Verhältnisse in der Tiefe der Hochgebirgsseen. Mem. Ist. Ital. Idrobiol., Suppl. 8, p. 311—343.
— (1958): Grundsätzliches zum „kryoeutrophen" See. Verh. Int. Ver. Limnol., Bd. 8, p. 181—190.
— (1959): Fragmenta limnologica alpina. "De natura Tiroliensi", Schlern-Schriften (Innsbruck), Bd. 188, p. 113—144.
TURNOWSKY, F. (1946): Die Seen der Schobergruppe in den Hohen Tauern. 8. Sonderheft der Carinthia II, 78 pp.
— (1954): Der Obstanser See in der Karnischen Hauptkette. Carinthia II, Jg. 64, p. 124 bis 132.
— (1961): Der Wolayasee in der Karnischen Hauptkette. Carinthia II, Jg. 71, p. 102—126.
VALLENTYNE, J. R. (1961): On the rate of formation of black spheres in recent sediments. Verh. Int. Ver. Limnol., Bd. 14, p. 291—295.
— (1963): Isolation of Pyrite spherules from recent sediments. Limnol. Oceanogr., Bd. 8, p. 16—30.
VORARLBERGER ILLWERKE AG (1960): Kraftwerk Lünersee. Österr. Kraftwerke in Einzeldarstellungen, Folge 30, Bundesmin. f. Verkehr u. Elektr.-Wirtsch. Wien, 76 pp.

Anschrift des Verfassers: Dr. Roland Pechlaner, Institut für Zoologie der Universität Innsbruck, Innsbruck, Universitätsstraße 4.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Berichte des naturwissenschaftlichen-medizinischen Verein Innsbruck

Jahr/Year: 1963

Band/Volume: 53

Autor(en)/Author(s): Pechlaner Roland

Artikel/Article: Sedimentation in Hochgebirgsseen. 253-263