

Die Lunzer Seen – ein wissenschaftlich-historischer Exkurs

Hommage an Prof. Dr. Franz Berger

Martin T. Dokulil

Diese Übersicht über mehr als ein Jahrhundert Forschung an der Biologischen Station Lunz am See, seit 2005 Wasser Cluster Lunz, bildet den dritten Teil einer historischen Darstellung der limnologischen Forschung in Österreich. Der Artikel soll einen Überblick über die vielfältigen Arbeiten an den drei Lunzer Seen seit etwa 1900 ermöglichen. Bisher unbekanntes Daten aus dem wissenschaftlichen Nachlass von Prof. Dr. Franz Berger wurden mit veröffentlichten Ergebnissen kombiniert, sowie bekannte, aber verstreute Daten zusammengeführt, verglichen und neu interpretiert. Dissertationen und weniger bekannte Veröffentlichungen wurden eingebunden. Den Abschluss bildet ein Resümee der historischen Abläufe mit einem Hinweis auf mögliche offene Fragen.

Dokulil M (2003) The Lakes near Lunz, Austria – a science-historic perspective. Homage to Prof. Dr. Franz Berger.

This synopsis of a century of research at the Biological Station Lunz am See, since 2005 Wasser Cluster Lunz, forms the third part of a historical perspective of limnological research in Austria. The article intends to provide a detailed overview of the diverse investigations in the three lakes situated near Lunz in Austria since about 1900. Hidden data from the scientific legacy of Prof. Dr. Franz Berger were combined with published results, as well as published but scattered data merged, compared, and re-interpreted. Dissertations and lesser-known publications were incorporated. A resume at the end rounds up the historical developments with a note to open questions.

Keywords: science history, regional limnology, mountain lakes, meromixis, oligotrophic.

Motto:

*Ach, wie viel ist doch verborgen,
was man immer noch nicht weiß*

Wilhelm Busch

Präambel

Dr. Franz Berger (1903–2002) war wohl DER Limnochemiker seiner Generation. Ab 1934 an der Biologischen Station Lunz am See angestellt, war er verantwortlich für die Erfassung des Chemismus der Gewässer in Lunz und anderswo. Seine Messergebnisse flossen oft in Veröffentlichungen ein ohne seine Mit-Autorenschaft. Als engagierter und von seinem Fach begeisterter Lehrer hat er mehrere Generationen von Limnologen in seinem Limno-Chemiekurs und auf Exkursionen ausgebildet und geprägt. Die Abbildung zeigt Professor Dr. Franz Berger mit dem Autor als Student beim Chemiekurs im Februar 1967. In seinen Arbeiten strebte Berger immer höchste Präzision in den Methoden an, hat sie weiterentwickelt (z. B. Berger 1938, 1948) und danach getrachtet, ständig auf dem neuesten Stand zu bleiben. In seinem wissenschaftlichen Nachlass, den ich verwalten durfte, fanden sich zahlreiche unveröffentlichte Messergebnisse, die zusammen mit bereits publizierten Daten in dieser Studie dargestellt und interpretiert werden. Darüber hinaus be-

fanden sich im Nachlass auch Daten seines Vorgängers Dr. H. Müller, welche nicht oder nur teilweise veröffentlicht wurden. Auch diese Ergebnisse werden hier vergleichend dargestellt, neu bewertet und interpretiert.



Professor Dr. Franz Berger mit dem Autor als Student beim Chemiekurs an der Biologischen Station Lunz/See im Februar 1967. – Professor Dr. Berger with the author as student. Limno-Chemical course at the Biological Station Lunz/See, Austria, February 1967.

Da ich zum Zeitpunkt seines Ablebens gerade österreichischer Landesvertreter der Internationalen Vereinigung für Limnologie (SIL) war, wurde mir die Ehre zu Teil, Franz Berger bei seiner Einsegnung würdigen zu dürfen. Lebensweg und wissenschaftliche Veröffentlichungen Bergers wurden zu dessen 80sten Geburtstag von Löffler (1984) dargestellt. Mir ist es ein Anliegen, mit der vorliegenden Arbeit an die umfangreiche Tätigkeit von Herrn Professor Dr. Franz Berger zu erinnern und zugleich einen wesentlichen Teil seiner unveröffentlichten Ergebnisse der Öffentlichkeit zu übergeben.

Einleitung

Bereits in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts lange vor der Gründung der Biologischen Station durch Karl Kupelwieser 1906, wurde in der Region Lunz verschiedentlich geforscht. So etwa Pötsch (1856, 1857), der Moose, vor allem Arten der Gattung *Sphagnum* sowie ein folioses Lebermoos vom Schwingrasen am Lunzer Obersee beschreibt. Über die Fische des Lunzer Sees berichtet bereits Fitzinger (1879). Er beschreibt den Lunzer See sowie den Erlaufsee mit sechs beziehungsweise fünf Arten als vergleichsweise artenarm. Vor allem ist aber die erste Planktonuntersuchung des Lunzer Untersees (LUS) durch Hansgirg (1905) zu erwähnen. Der Autor wies auf die große Transparenz des Wassers hin, war doch sein Planktonnetz bis 12 m sichtbar. Irritierend ist für ihn das Fehlen von Chroococcaceen und Diatomeen, sowie die Dominanz der Desmidiaceen. Letztere waren hauptsächlich durch die Gattung *Staurastrum* vertreten, wobei *St. paradoxum* an Individuenzahlen sogar das häufige *Ceratium hirundinella* übertrifft. Insgesamt gibt Keissler (1900) an, 20 pflanzliche Arten aus 11 Gattungen vorgefunden zu haben, aber nur sieben Vertreter des Zooplanktons (3 Rotatorien, 2 Copepoden und 2 Cladoceren). Neben dem Plankton widmete sich Keissler bereits auch der Uferregion, den Zonierungen der aquatischen Vegetation und den Algen in Ufernähe. Hier verwies er auf die vergleichsweise größeren Zahlen an Arten und vor allem auf das Vorkommen von Diatomeen. Der Autor versuchte auch das Planktonvolumen quantitativ zu bestimmen (Tabelle auf S. 549 in Keissler 1900). Da es sich um Netzfänge und Absetzvolumina handelte, sind die Ergebnisse nur mit Vorbehalt mit späteren Resultaten zu vergleichen. Trotzdem sind seine Vergleiche zu anderen Seen interessant, da mit gleichen Methoden erarbeitet. Die von ihm im September 1900 ermittelten 137 cm³ Plankton unter einem Quadratmeter bis 20 m Tiefe waren nach seinen Angaben dreimal mehr als im Attersee, aber neunmal weniger als im Dobersdorfer See bei Kiel. Zur Frage der horizontalen Verteilung schloss Kreissler aus seinen Beobachtungen, dass diese im Lunzer See praktisch vernachlässigbar sei, sich aber sehr wohl die Vertikalwanderung des tierischen Planktons in der Tiefenverteilung von Tag- und Nachtfängen niederschlägt. Weitere Angaben zu Algenarten im Oberen und Unteren Lunzersee, Erlaufsee und Hechtensee finden sich bei Hansgirg (1905).

Der Botaniker Professor Richard von Wettstein hat bereits 1899 in einem Vortrag über die Zukunft der Biologie in Österreich darauf hingewiesen, dass Lunz am See ein geeigneter Standort für eine biologische Station wäre (Gruber 2012, S. 88). Tatsächlich kam es 1906 zur Gründung und Einrichtung einer biologischen Station in Lunz am See durch Dr. Karl Kupelwieser. Prof. Richard Woltereck als Leiter und Dr. Franz Ruttner als sein Assistent bestimmten die frühe Ausrichtung auf die Ökologie der Gewässer (Limnologie), wie Schiemer (2014) ausführte.

Neben Publikationen zur Bekanntmachung der neuen Station (z. B. Woltereck 1906) erschien bereits 1906 eine Arbeit über *Diaptomus tatricus* in den Ostalpen (Brehm 1907). Überraschend ist, dass bereits zwischen 1906 und 1909 bakteriologische Untersuchungen nach der Plattenmethode erfolgten, die 1926–1929 fortgesetzt wurden (Zih & Ruttner 1932). Der Dynamik des Stickstoff- und Sulfatumsatzes widmeten sich Klein und Steiner (1929), die zahlreiche beteiligte Organismengruppen nachweisen konnten, wobei sie bereits auf wesentlich höhere Keimgehalte im Schlamm hinwiesen. Die dabei aufgefundenen Schichtungsbilder von Nitrit und Ammoniak und ihre Abhängigkeit von der Sauerstoffkonzentration untersuchte im Detail danach Müller (1934) in einigen Alpenseen,

insbesondere im Lunzer Obersee. Diese frühen Befunde fanden lange keine Fortsetzung. Erst Anfang der 1980er Jahre findet sich eine Erhebung der benthischen Bakterien (Zibuschka 1981).

Datengrundlage

Zunächst musste der Nachlass von Prof. Berger gesichtet und geordnet werden. Die vorgefundenen Unterlagen erwiesen sich als sehr heterogen. Einige Mappen und Ordner enthielten Aufzeichnungen und Materialien von Vorgängern ohne genaue Zuordnung. Bergers persönlicher wissenschaftlicher Nachlass war gleichfalls verschiedenartig. Neben Protokollen auf Einzelzettel und in Heften, waren Graphiken in unterschiedlichem Zustand und Größe vorhanden. Alle handschriftlichen Daten, die zugeordnet werden konnten, wurden in einer einfachen Datenbank (Excel 360) digitalisiert. Graphiken deren Daten nicht auffindbar waren wurden mittels Un-Scan-it 7.0 oder Grapher-19 digitalisiert und die Ergebnisse in die Datenbank übertragen. Die Abbildungen wurden in SigmaPlot 14.5, Grapher 19 und Surfer 8 erstellt.

Um eine Gesamtansicht der Langzeitforschung an den Seen zu ermöglichen, wurden ausgewählte Beispiele aus den Veröffentlichungen mit bisher nicht publizierten Daten aus dem Nachlass Berger zusammengeführt.

Die Lunzer Seen

Einen raschen Überblick über das Lunzer Seetal, seine Sehenswürdigkeiten sowie Karten der drei Seen ermöglicht der Exkursionsführer von Berger (1987), dessen Karte in Abb. 1 wiedergegeben ist. Die morphometrischen Angaben zu den Seen sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Das Seebecken des Obersees war ursprünglich 14,43 ha groß, hatte aber durch pflanzliche Verlandung bis etwa 1926 44 % freie Wasseroberfläche eingebüßt, die durch aus Schwinggras bestehenden Moorflächen ersetzt wurden (Brehm & Ruttner 1926). Die Wanne des Obersees besteht aus 5 Teilbecken, deren tiefstes 15 m tief ist (Götzinger 1912). Der See wird von mehreren kleineren Bächen gespeist. Chemisch unterscheidet sich der Obersee wenig von den beiden anderen Seen (Mulley 1914; Mulley & Wittmann 1914). Der enge Abfluss

Tab. 1: Morphometrische Angaben zu den drei Lunzer Seen. – Tab. 1: Morphometric data for the three lakes at Lunz.

	Obersee (LOS)	Mittersee (LMS)	Untersee (LUS)
Seehöhe (m ü.A.)	1116	767	608
Seefläche (ha)	14,43	2,35	67,87
Tiefe max, (m)	15,15	4	33,3
Tiefe mittlere (m)		2	20,0
Volumen (Mio, m ³)			14
Einzugsgebiet (km ²)			25
Erneuerungszeit (Jahre)			0,3
Mischungstyp	Holo-, dimiktisch		Holo-, dimiktisch
	Dystropher See	Grundwassersee	Alpensee

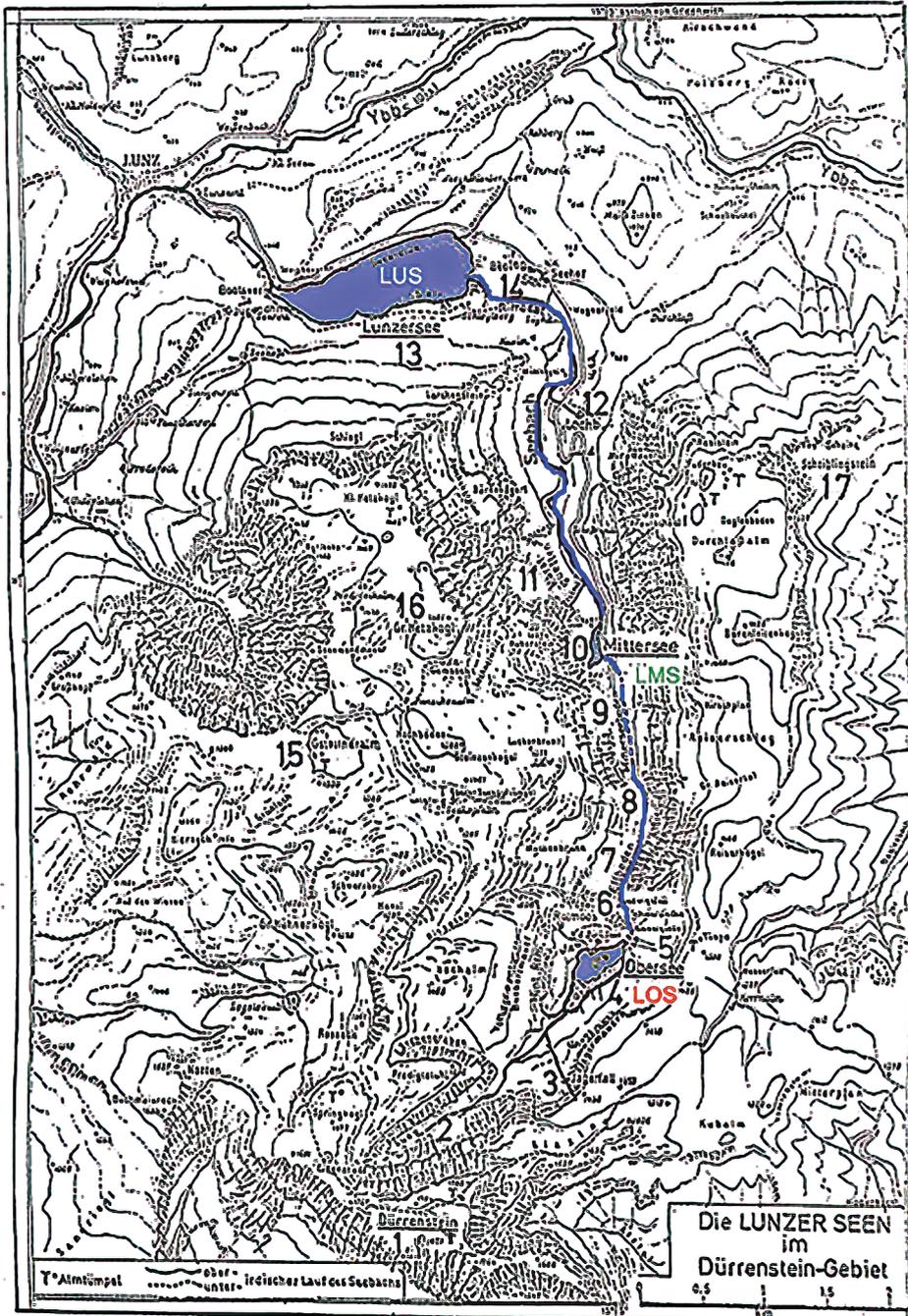


Abb. 1: Originalkarte des Lunzer Seetals aus Berger (1987) elektronisch verbessert. Die Zahlen in der Karte beziehen sich auf die Beschreibung der Objekte in der op. cit. Arbeit. – Fig. 1: Original map of the Lunzer Seetal from Berger (1987) electronically improved. The numbers in the map refer to the description of the objects in the paper cited.

des Sees bewirkt Pegelschwankungen bis zu 1 Meter, da der Abfluss bei Niederwasser im Gestein verschwindet, bei Hochwasser aber gestaut wird. Die Originalkarten aller drei Lunzer Seen von Göttinger sind im Anhang wiedergegeben (Abb. S1).

Weitere Gewässer der Region

Da in verschiedenen Arbeiten neben den Lunzer Seen auch auf andere Seen der Region eingegangen wurde (z. B. Ruttner 1937), sollen diese hier kurz abgehandelt werden. Eine Übersichtskarte der Region mit den Seen findet sich im Anhang (Abb. S4).

So gab etwa Müllner (1924) Vereisungsdaten für den Erlaufsee und die Lunzer Seen an. Im Winter 1900/01 dauerte die Eisperiode am Erlaufsee 108 Tage bei 81 Tagen völliger Schließung. Die maximale Eisdicke betrug 40 cm. Die Beobachtungsreihe für den Lunzer Untersee umfasste die Winter 1905/06 bis 1914/15 deren Eisperioden 90 bis 140 Tage (Mittelwert 117 Tage) betrug. Völlig geschlossen war der See in dieser Zeit 2 bis 101 Tage. Die maximale Eisdicke variierte zwischen 17 und 48 cm mit einem Mittel von 26 cm. Für die Winter 1906/07 bis 1908/09 standen Beobachtungen für den Mitter- und den Obersee zur Verfügung. Die Eisperioden betrug im Mittersee 122, 110 bzw. 157 Tage, jeweils mit mehreren Maxima. Im Obersee dauerten die Vereisungen entsprechend 206, 198 und 213 Tage, die maximale Eisdicke lag zwischen 63 und 180 cm.

Sauberer und Eckel (1938) und Sauberer (1939) untersuchten das Lichtklima der Lunzer Seen und des Leopoldsteiner Sees. Die größten Unterschiede fanden sich bei den kürzesten Wellenlängen. Die größten Tiefen des eindringenden Lichtes lagen im grünen Bereich. Die errechneten optischen Schwerpunkte lagen bei: 580 nm im Obersee, 523 nm im Mittersee, 540 nm im Untersee und 538 nm im Leopoldsteiner See.

Den Leopoldsteiner See, ein See der in Größe und Tiefe dem Lunzer Untersee ähnlich ist, bearbeitete Metz (1966) in seiner Dissertation in den Jahren 1964 und 1965. Der See war damals oligotroph mit Sichttiefen bis 8 m. Die maximalen Biomassen des Phytoplanktons lagen um 5 g m^{-2} , was damals den Werten des Attersees entsprach. Die Tagesproduktion entsprach mit Werten zwischen 100 und 442 mg C m^{-2} der Produktionsleistung des Lunzer Obersees (siehe unten). Etwas früher von 1961 bis 1964 war der Sackwiesensee Objekt einer Dissertation (Kosswig 1964), die ausführlich publiziert worden ist (Kosswig 1967). Durch die bakterielle Aktivität und den damit verbundenen O_2 -Schwund in der Tiefe war dieser See dem Lunzer Obersee recht ähnlich. Um die gleiche Zeit untersuchte Sampl (1964) den Erlaufsee zwischen 1960 und 1964. Die Sichttiefen erreichten selbst im 3-Jahres Mittel 12 m. Die Biomasse des Phytoplanktons war 3x kleiner als zur selben Zeit im Lunzer Untersee. Dementsprechend gering war auch die Tagesproduktion von $58\text{--}296 \text{ mg C m}^{-2}$ (Sampl 1976a). Für die Rotatorien gab Sampl (1971) 10 Arten an, wobei sechs Arten regelmäßig auftraten mit *Polyarthra vulgaris* als häufigstem Rädertier, das in allen Profilen und das ganze Jahr vorkam. Die quantitative Erfassung der benthalen Fauna sowie der Fische findet sich in Sampl (1976b). In den Jahren 1959 bis 1962 lieferte Bretschko (1963, 1966) einen umfassenden Beitrag zur Karstlimnologie durch seine Bearbeitung des Grünen Sees. Darin bedankte er sich bei Dr. Berger für Geräte und ständige Anteilnahme, wie das auch Kosswig getan hat.

Lunzer Obersee (LOS)

Schon früh begann die Biologische Station Lunz mit der Erforschung des Lunzer Obersees auf 1117 m Seehöhe. Ausführliche Analysen des Chemismus des Ober- und Untersees wurden bereits im Jahr 1905 an der k.k. landwirtschaftlichen Versuchsstation von Wittmann ausgeführt und danach von Mulley und Wittmann weitergeführt (Mulley & Wittmann 1914). Dazu fanden sich zwei Originalgraphiken zur Sauerstoffverteilung im Tiefenprofil aus den Jahren 1908 und 1909 im Nachlass von Dr. Berger (Abb. 2). Dazu stellten die Autoren fest „Leider stellte sich später heraus, dass die Resultate [...] nicht verlässlich genug sind. Sie mussten später wiederholt werden, obwohl es [...] möglich war, das Bild der Sauerstoffverteilung in den Lunzer Seen in seinen Hauptzügen festzulegen“ (Einleitung S. III). Analysen aus den Jahren 1911/12 zeigten allerdings nicht wesentlich andere Werte (Götzinger 1914, Tabelle Obersee auf S. 544). Im August wurden nahe der Oberfläche um $8 \text{ mg L}^{-1} \text{ O}_2$ erreicht, im Oktober sogar $9,6 \text{ mg L}^{-1} \text{ O}_2$. In der Tiefe unterhalb von 10 m sank die Sauerstoffkonzentration hingegen zu allen Jahreszeiten, vor allem aber unter der Eisdecke, auf niedrige Werte ab. Originalprotokolle aus dem Nachlass ent-

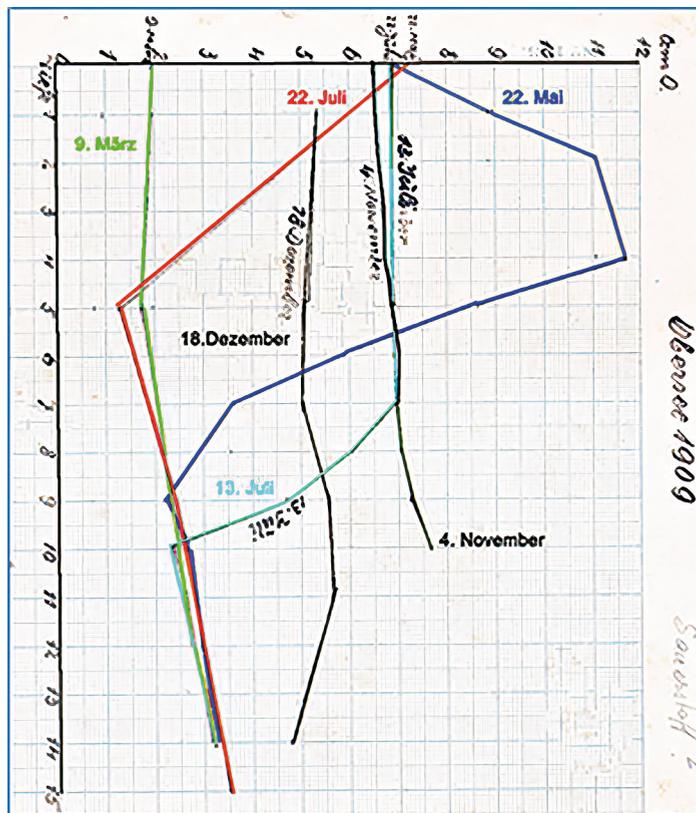


Abb. 2: Sauerstoffprofile aus dem Obersee (LOS) aus dem Jahr 1909 von Mulley & Wittmann (unpubl.) aus dem Nachlass Berger. Originalgraphik, 90° gedreht und elektronisch nachbearbeitet. – Fig. 2: Oxygen profiles from Obersee (LOS) from the year 1909 by Mulley & Wittmann (unpubl.) from the legacy of Berger. Original graphics rotated 90° and electronically post-processed.

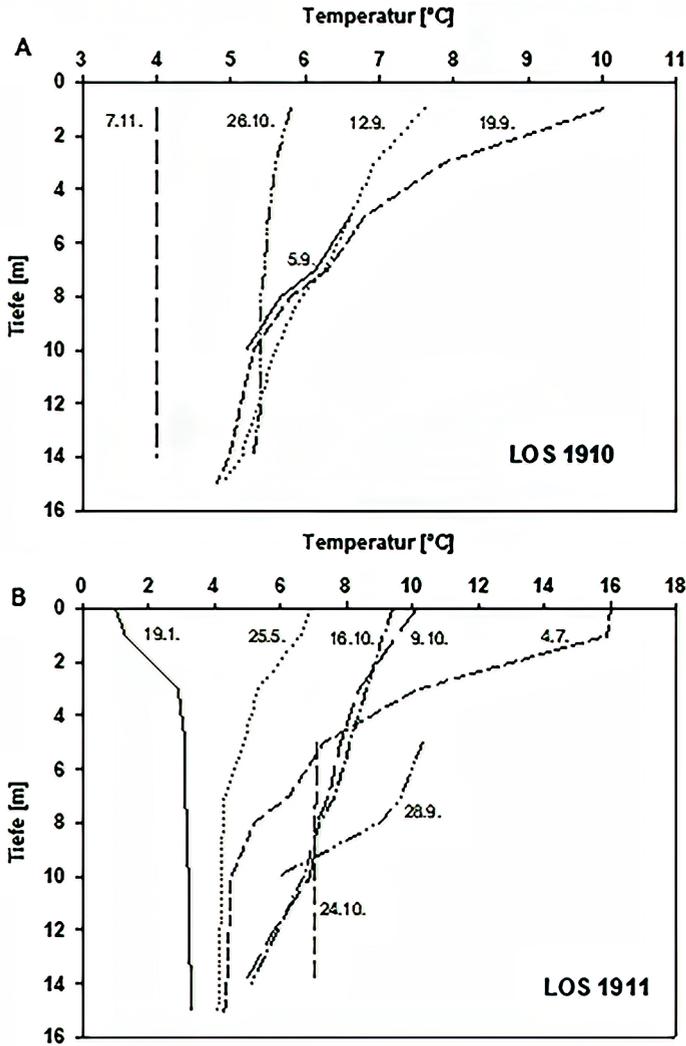


Abb. 3: Temperaturprofile Lunzer Obersee (LOS) aus den Jahren 1910 (A) und 1911 (B). Originaldaten von Mulley & Wittmann (unpubl.) aus dem Nachlass Berger. Beachte die unterschiedliche Skalierung der Temperaturachse in A und B. – Fig. 3: Temperature profiles Lunzer Obersee (LOS) from the years 1910 (A) and 1911 (B). Original data of Mulley & Wittmann (unpubl.) from the legacy of Berger. Note the different scaling of the temperature axis in A and B.

halten auch die Wassertemperaturen (Abb. 3). Der zeitlich räumliche Verlauf der Temperatur mit der Tiefe war in beiden Jahren, vor allem aber im vollständigeren Jahr 1911 als Jahresverlauf von inverser Schichtung unter Eis im Jänner, über die sommerliche thermische Schichtung im Juli bis zum Abbau der Schichtung und Übergang zur homothermen Schichtung Ende Oktober gut zu verfolgen. Im Nachlass fanden sich auch einige wenige Daten zur Temperatur im Sediment des LOS aus Juni 1908. In 10 cm Tiefe des Sediments wurden Temperaturen zwischen 10,7 und 12,5° C gemessen.

Bis über die Mitte des 20sten Jahrhunderts war der LOS nur zu Fuß erreichbar. Als Folge davon sind die Daten zeitlich meist stark fragmentiert. Es finden sich aber auch zusammenhängende Zeiträume mit dichterem Beprobung. So etwa die Jahre 1910 bis 1912 (Mulley & Wittmann 1914), 1930/31 (Müller 1938), 1970/71 (Berger unpubl.) und 1985 bis 1987 (Manlik 1988; Mikschi 1990). Die Ergebnisse der Temperatur- und Sauerstoff-

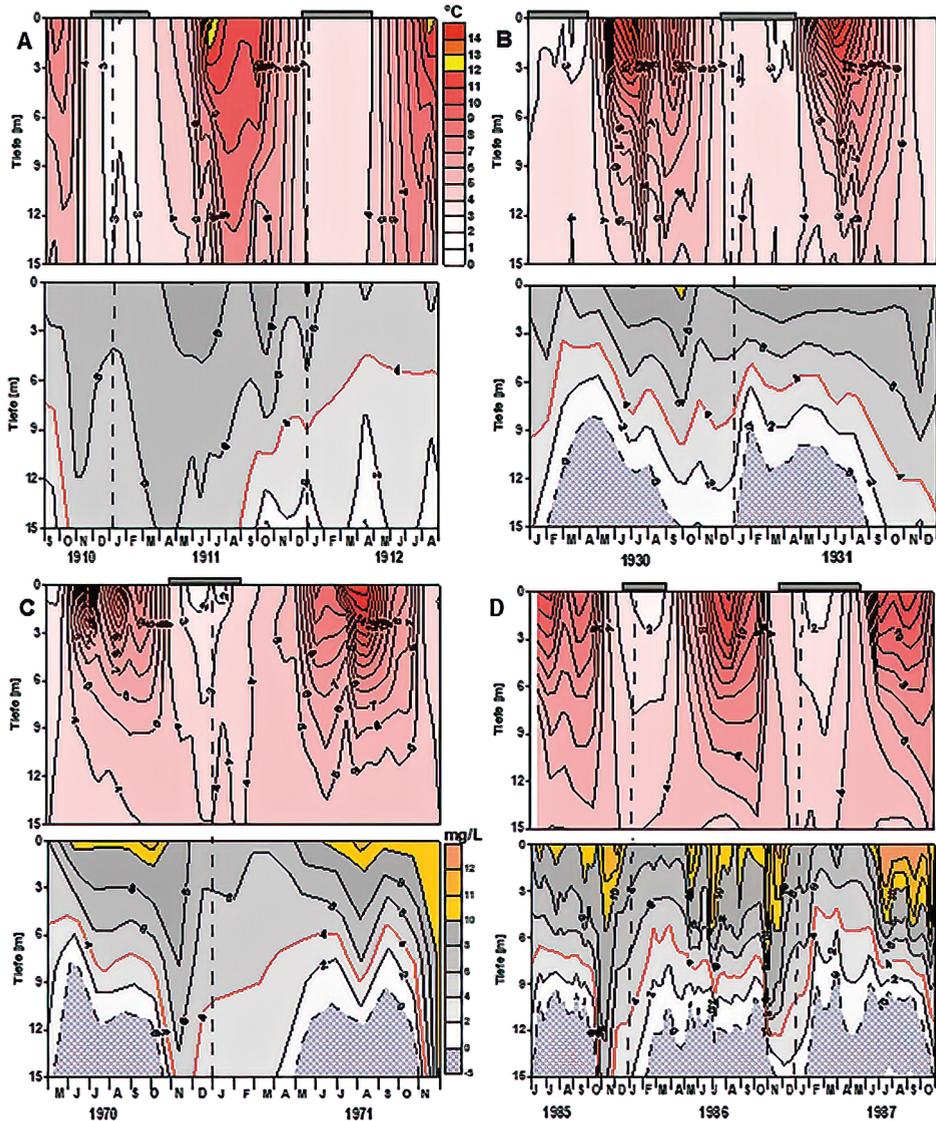


Abb. 4: Isoliniendiagramme der Wassertemperatur ($^{\circ}\text{C}$) und der Konzentration des Sauerstoffs ($\text{mg O}_2 \text{ L}^{-1}$) im Lunzer Obersee. A. Für die Jahre 1910 bis 1912 zusammengestellt nach Daten aus Mulley & Wittmann (1914) und Berger Nachlass. B. Für die Jahre 1930 und 1931 nach Daten aus Müller (1938). C. Für die Jahre 1970 und 1971 nach Daten im Nachlass Berger. D. Für die Jahre 1985 bis 1987 nach Daten in Manlik (1988) und Mikschi (1990). Das obere Diagramm zeigt jeweils die Temperatur (Legende neben A oben), das untere jeweils die Konzentration an Sauerstoff. (Legende neben C unten). Werte $< 0 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ sind grau unterlegt. – Fig. 4: Isoleths for the water temperature ($^{\circ}\text{C}$) and the concentration of oxygen ($\text{mg O}_2 \text{ L}^{-1}$) in Lunzer Obersee. A. Compiled for the years 1910 to 1912 according to data from Mulley & Wittmann (1914) and Berger's legacy. B. For the years 1930 and 1931 according to data from Müller (1938). C. For the years 1970 and 1971 according to data in the legacy of Berger. D. For the years 1985 to 1987 according to data in Manlik (1988) and Mikschi (1990). The upper diagram shows the temperature (legend next to A above), the lower one the concentration of oxygen. (Legend next to C below). Values $< 0 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ are highlighted in grey.

tiefenprofile dieser vier Untersuchungszeiträume sind als Isoplethen-Diagramme wiedergegeben (Abb. 4). Auf den ersten Blick scheinen die Veränderungen im Jahresablauf sowohl bei der Temperatur als auch bei der Konzentration des Sauerstoffs in den etwa 80 Jahren seit 1910 nur geringfügig gewesen zu sein. Eine Analyse der Ergebnisse aus den einzelnen Untersuchungsperioden erlaubt eine detailliertere Betrachtung.

Im Untersuchungszeitraum 1910 bis 1912 ist nur das Jahr 1911 vollständig. Die thermische Schichtung war im Sommer wenig ausgeprägt. Der See erreichte Anfang Juli nicht mehr als 16°C an der Oberfläche (Abb. 4, A oben). Vor Eislegung durchmischte der LOS vollständig und wies unter der Eisdecke eine inverse Schichtung auf. Die höchste Sauerstoffkonzentration betrug $11,2\text{ mg L}^{-1}$, ebenfalls Anfang Juli 1911 (Abb. 4, A unten). Mit der Tiefe nahm die O_2 -Konzentration rasch ab und über dem Sediment schwand der Sauerstoff mehrfach fast vollständig. Darauf führten Mulley und Wittmann (1914) die Anreicherung von Eisen und die Erhöhung der Leitfähigkeit in der Tiefe zurück, worauf auch Ruttner (1914 a) hinwies. Die für Fische kritische Grenze von $4\text{ mg L}^{-1}\text{ O}_2$ stieg Ende August rasch von der Tiefe an, erreichte im November und Dezember 8 m, stieg unter der Eisdecke bis auf 5 m im April und blieb danach trotz Mischungsphase bis August 1912 um die 6 m.

Die beiden vollständigen Jahre 1930 und 1931 zeichnen grundsätzlich ein ähnliches Bild (Abb. 4, B). Die thermische Schichtung war allerdings bei Weitem ausgeprägter. Ende Juni 1930 erwärmte sich der See an der Oberfläche auf fast 21°C . Bemerkenswert ist der kurzfristige Zusammenbruch der Schichtung Anfang August 1930, möglicherweise hervorgerufen durch einen Sturm. Die Temperatur an der Oberfläche fiel auf $7,4^{\circ}\text{C}$ ab. Danach baute sich erneut eine Schichtung auf und Mitte September wurden $14,2^{\circ}\text{C}$ an der Oberfläche erreicht. Danach baute die Schichtung wieder ab, erreichte im November vor der Eislegung Homothermie und schichtete unter der Eisdecke invers. Im darauffolgenden Jahr bildete sich eine sehr stabile Schichtung mit einer Höchsttemperatur von 20°C Anfang Juli aus, welche danach aber relativ rasch abgebaut wurde, sodass der See bereits im Oktober homotherm war. Der Verlauf der Sauerstoffverteilung war in beiden Jahren recht ähnlich. Im Winter 1929/30 war eine starke Sauerstoffzehrung in der Tiefe festzustellen, was Ende April 1930 dazu führte, dass unterhalb von 3 m Tiefe nur mehr Werte kleiner als 4 mg L^{-1} auftraten und unterhalb von etwa 9 m kein Sauerstoff vorhanden war. In der eisfreien Zeit besserte sich die Situation zusehends. Von Oktober bis Ende Dezember gelangte Sauerstoff wieder bis zur tiefsten Stelle (Abb. 4, B). Mit Eislegung trat neuerlich starker Sauerstoffschwund in der Tiefe auf. Im weiteren Verlauf des Jahres 1931 entwickelten sich ähnliche Zustände wie im Jahr zuvor. Ende August war Sauerstoff bis zum Grund nachweisbar und auch die 4 mg L^{-1} Konzentration erreichte zu Jahresende die tiefste Stelle des Gewässers. Im September 1930 wurde nahe der Oberfläche eine Sauerstoffübersättigung von bis zu 13 mg L^{-1} nachgewiesen (Abb. 4, B). Diese Übersättigungen waren wohl auf starke Entwicklung des Phytoplanktons zurückzuführen. Leider sind darüber keine Angaben verfügbar. Ein indirekter Hinweis lässt sich aus den Daten zur Sonnenscheindauer und der Regenmenge in Müller (1938, S. 456) ableiten. Der Juni 1931 war mit 123 Stunden Sonnenschein aber nur 31 mm Niederschlag wohl ein sehr schöner Monat, was die Übersättigung des Sauerstoffs erklären könnte. Zumindest zieht Müller daraus den Schluss, dass die O_2 -Maxima auf verstärkte Assimilationstätigkeit hinweisen.

40 Jahre später, 1970 bis 1971 waren sehr ähnliche Verhältnisse zu beobachten (Abb. 4, C). Die maximale Temperatur an der Oberfläche betrug Anfang August 1970 $18,1^{\circ}\text{C}$,

im Jahr darauf 19,4°C. In beiden Jahren war der See von Anfang Juni bis Mitte Oktober thermisch geschichtet. Das Metalimnion war nur wenig ausgeprägt. Im Winter unter der Eisdecke bestand wiederum eine inverse Schichtung. Die 4 mg L⁻¹ Grenze der Sauerstoffkonzentration lag Ende Mai bei 5 m und die Tiefenzone unterhalb von etwa 8 m war sauerstofffrei. Während des Sommers verbesserte sich die Situation. Mitte Oktober erreichte der Sauerstoff wieder das Sediment am tiefsten Punkt, gefolgt von der 4 mg L⁻¹ Konzentration, welche Anfang November 1970 den Seeboden erreichte. Die Eislegung erfolgte früh Ende Oktober zeitgleich mit der Durchmischung. Schon früh im Dezember schwand dann der Sauerstoff in der Tiefe rapide und die 4 mg L⁻¹ Grenze stieg unter Eis auf 10 m. Nach Eisbruch Ende Jänner verbesserte sich die Sauerstoffsituation in der Tiefe trotz der neuerlichen Durchmischung nicht. Die kritische 4 mg L⁻¹ Grenze stieg im Gegenteil bis Juni auf 6 m an. Von Anfang Mai bis Ende Oktober 1971 war die Tiefenzone unterhalb von etwa 9 m sauerstofffrei. Erst die Herstdurchmischung Anfang November ändert die Verteilung schlagartig (Abb. 4, C). In beiden Jahren waren in der eisfreien Periode nahe der Oberfläche immer wieder O₂-Konzentrationen von über 10 mg L⁻¹ festgestellt worden.

Weitere 15 Jahre später arbeiteten Martha Manlik und Ernst Mikschi von 1985 bis 1987 an ihren Doktorarbeiten am Obersee (Manlik 1988; Mikschi 1990). Temperaturen und Sauerstoffkonzentrationen dieser Periode sind neu dargestellt und interpretiert (Abb. 4, D). Die Jahresverläufe ähnelten zwar einander, unterschieden sich jedoch in Details. Die höchsten Oberflächentemperaturen wurden mit 18,3°C Mitte Juli und Anfang August 1986 erreicht. Im Jahr darauf wurden 17,3°C im Juli als höchste Temperatur an der Oberfläche registriert. In allen drei Jahren war der See thermisch geschichtet. Durchmischung bis zum Grund erfolgte jeweils im Oktober und November. Die Vereisung erfolgte 1985 Ende November und führte zu einer inversen Schichtung der Temperatur. Der Obersee blieb eisbedeckt bis fast Ende April 1986. Im Spätherbst 1986 konnte die Durchmischung wegen der frühen Eislegung Anfang November nicht mehr bis zum Sediment durchgreifen, was deutlich an der Konzentration des Sauerstoffs zu erkennen ist, da die kritische 4 mg L⁻¹ Grenze nicht verschwand wie im Winter zuvor. Der Eisbruch erfolgte 1987 offenbar sehr spät, Ende Mai, wie Manlik (1988) anmerkt. Danach baute sich rasch eine thermische Schichtung auf. Die Sauerstoffverhältnisse glichen sehr stark dem Zustand in den 70er Jahren. Die Durchmischung Ende 1985 führte zu einer 90%igen Sättigung mit Sauerstoff in der gesamten Wassersäule. Unter Eis kam es aber sehr rasch zu Zehrungsvorgängen über Grund, die zu einer Verminderung des Sauerstoffgehaltes führten. Der Grenzwert für Fische von 4 mg L⁻¹ lag mehrfach um die 6 m Tiefe. Die Tiefenzone des Sees war in den drei Jahren unterhalb von 8–10 m mit starken Schwankungen sauerstofffrei (Abb. 4, D unten). Die Zirkulation Ende 1986 reichte dann, wie bereits erwähnt, nicht mehr bis zum Grund. In den Jahren 1985 bis 1987 kam es im Epilimnion während der Sommermonate immer wieder zu Übersättigungen mit Sauerstoff. Ende Oktober 1986 reichte diese Zone während der Durchmischung bis über 7 m Tiefe.

Da sauerstoffarme Zustände in der Tiefe auch in den Sommermonaten auftraten, hat sich der zeitweilig meromiktische Charakter des Sees zumindest bis in die 90er Jahre verfestigt, wie die Ergebnisse vom 7. September 1992 (Dokulil unpubl.) erkennen lassen (Abb. 5). An diesem Tag war unterhalb von 9 m Tiefe praktisch kein Sauerstoff mehr nachweisbar (Abb. 5, A). Gleichzeitig war die Grenze der euphotischen Zone (1 % Lichtgrenze) erreicht, wo sowohl die Menge an Chlorophyll-a (Chl-a) als auch des Bakteriochlorophylls-a (B-Chla) auf Werte um 2 µg L⁻¹ anstieg (Abb. 5, C). Die Inkorporation von ¹⁴C, als Maß

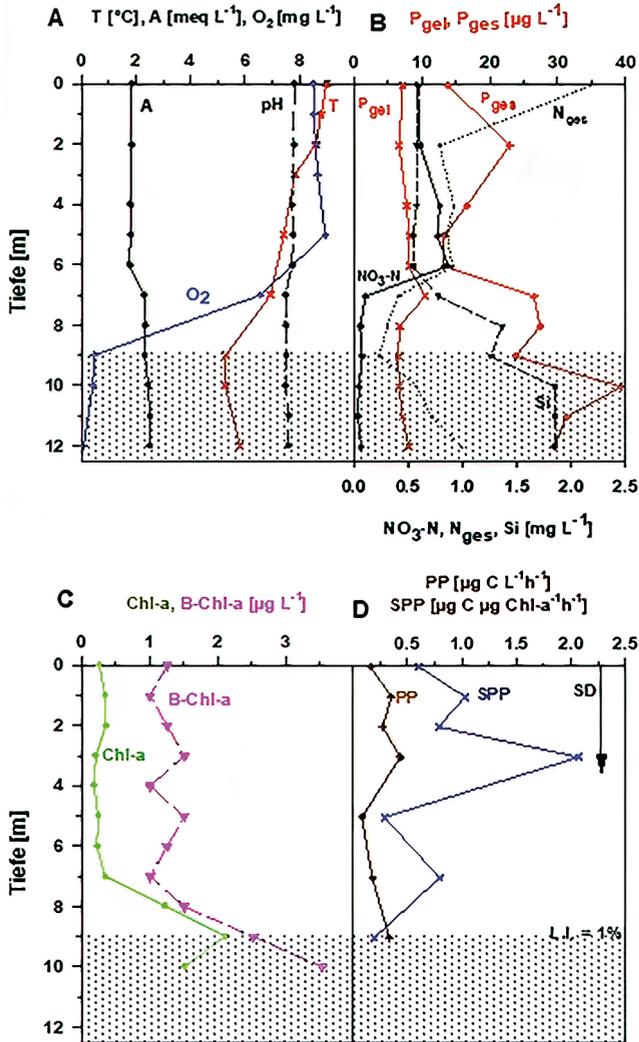


Abb. 5: Tiefenprofile vom Lunzer Obersee vom 7. September 1992. A. Temperatur (T) in $^{\circ}\text{C}$, Alkalinität (A) in meq pro Liter, Sauerstoff (O_2) in mg pro Liter und pH. B. Phosphor gelöst (Pgel), Gesamt-P (Pges) in μg pro Liter, sowie Nitrat ($\text{NO}_3\text{-N}$), Gesamtstickstoff (N_{ges}) und Silikat in mg pro Liter. C. Konzentration von Chlorophyll-a (Chl-a) und Bakterienchlorophyll (B-Chl a) in μg pro Liter. D. Primärproduktion (PP) in $\mu\text{g C}$ pro Liter und Stunde sowie spezifische PP (SPP) in $\mu\text{g C}$ pro $\mu\text{g Chl-a}$ und Stunde. Daten Original von Dokulil (unpubl.). – Fig. 5: Depth profiles of Lunzer Obersee from 7 September 1992. A. Temperature (T) in $^{\circ}\text{C}$, alkalinity (A) in meq per litre, oxygen (O_2) in mg per liter and pH. B. Dissolved phosphorus (Pgel)), total P (Pges) in μg per liter, nitrate ($\text{NO}_3\text{-N}$), total nitrogen (N_{ges}) and silicate in mg per liter. C. Concentration of chlorophyll-a (Chl-a) and bacterial chlorophyll (B-Chl a) in μg per liter. D. Primary production (PP) in $\mu\text{g C}$ per liter per hour and specific PP (SPP) in $\mu\text{g C}$ per $\mu\text{g Chl-a}$ per hour. All data original from Dokulil (unpubl.).

der Photosynthese, wies ein Maximum von $0,42 \mu\text{g C L}^{-1}\text{h}^{-1}$ in 3 m Tiefe auf, obwohl die Chl-a Konzentration hier nur $0,27 \mu\text{g L}^{-1}$ betrug. Die daraus errechnete Chlorophyll-spezifische Produktivität betrug $2,3 \mu\text{g C } \mu\text{g Chl-a}^{-1}\text{h}^{-1}$ (Abb. 5, D).

Eine stark fragmentierte Zeitreihe aller verfügbaren Oberflächen-Wassertemperaturen aus dem Nachlass Berger lässt bis Mitte der 80er Jahre keinen Trend erkennen. Die maximal gemessenen Temperaturen an der Oberfläche lagen in allen Fällen unter 20°C , meist zwischen 15 und 19°C . Nur in den 50er und 60er Jahren erreichten die Maxima nur um und unter 15°C , was aber an den zufälligen Terminen liegen kann (Abb. S2 im Anhang).

Beobachtungen über die Vereisung des Lunzer Obersees finden sich in den Aufzeichnungen Bergers nur gelegentlich. Eckel (1955) gibt als Vereisungstermin Anfang November an, was vergleichsweise sehr früh ist. Eckel führte es auf die wind- und strahlungsgeschützte

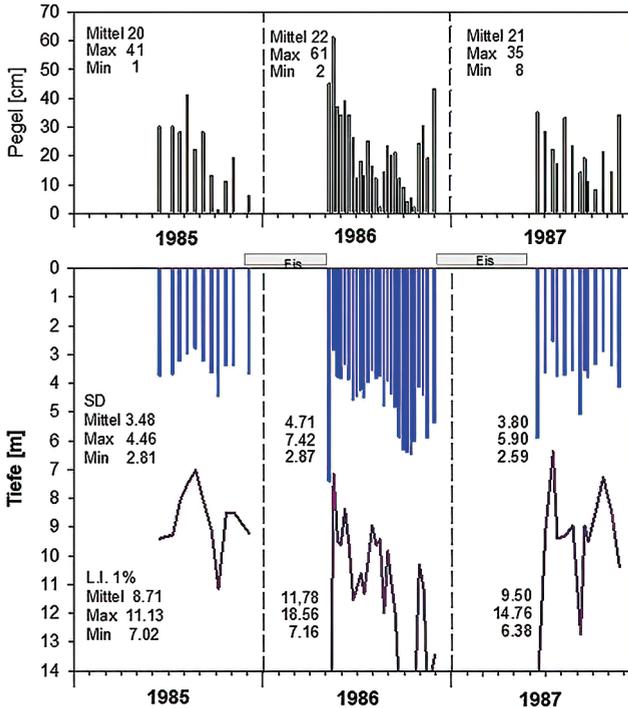


Abb. 6: Lunzer Obersee 1985–1987. Obere Tafel: Seepiegel in cm mit Angaben der Mittelwerte, Maxima und Minima für jedes Jahr. Untere Tafel: Sichttiefe in m sowie die daraus errechnete 1% Lichttiefe = euphotische Zone jeweils mit Angaben der Mittelwerte, Maxima und Minima für jedes Jahr. Daten aus Manlik (1988) zusammengestellt und umgezeichnet. – Fig. 6: Lunzer Obersee 1985–1987. Upper Panel: Lake level in cm indicating mean values, maxima, and minima for each year. Lower panel: Secchi depth in meter, and the calculated 1% light depth = euphotic zone, each with mean values, maxima, and minima for each year. Data from Manlik (1988) compiled and redrawn.

Lage in einer schneereichen Gegend zurück. Aus seiner Abbildung 1 lässt sich Mitte Mai als Ende der Eisperiode ausmachen. Nach den Notizen Bergers betrug die Eisdicke fallweise bis zu 100 cm (z. B. am 4. Februar 1939). Für den Winter 1930/31 gab Müller Schneehöhen bis zu 1,5 m und Eisdicken bis 75 cm am Obersee an (Müller 1938).

Ein Charakteristikum des Obersees sind auch seine starken Pegelschwankungen, wie sie beispielhaft für die Jahre 1985 bis 1987 aus Manlik (1988) in Abb. 6, A dargestellt sind. Die mittleren Pegeländerungen waren in den drei Jahren fast gleich, unterschieden sich aber in der Spannweite. Die größte Variabilität wurde 1986 mit maximal 61 cm beobachtet. Die beiden anderen Jahre erwiesen sich als wesentlich ausgeglichener. Diese Schwankungen des Pegels schlagen sich auch in den Verläufen der Sichttiefe und damit auch dem Ausmaß der euphotischen Zone nieder (Abb. 6, B). Im variablen Jahr 1986 betrug die maximale Sichttiefe 7,42 m (Mittel 4,71 m). Entsprechend groß war die euphotische Zone, die mit 18,6 m theoretisch weit unter die tiefste Stelle des Sees reichte. Die minimale Sichttiefe erwies sich in den drei Jahren als weitgehend ähnlich (2,81 m, 2,87 m bzw. 2,59 m). Die 1% Lichtgrenzen lagen entsprechend bei 7,02 m, 7,16 m und 6,38 m. Eine Darstellung aller im Nachlass Bergers aufgefundenen Sichttiefen findet sich im Anhang (Abb. S2). Daraus wird deutlich, dass die Sichttiefen im Durchschnitt (4,5 m) und in ihrer Spannweite (von 1–7 m) nahezu mit den Resultaten von Manlik (1988) übereinstimmen.

Als Chemiker hat sich Berger intensiv mit chemischen Analysen beschäftigt aber auch über die Abhängigkeit der Konzentrations-Stabilität von der Dichte und der Morphometrie von Seebecken gearbeitet (Berger 1955). Besonders beschäftigt hat ihn das Problem der Entstehung von meromiktischen Zuständen in Seen. Dazu hat er neben der Wasser-Boden Relation ($\Delta V/\Delta A$) als Maß für die Beeinflussung des Wasservolumens durch die

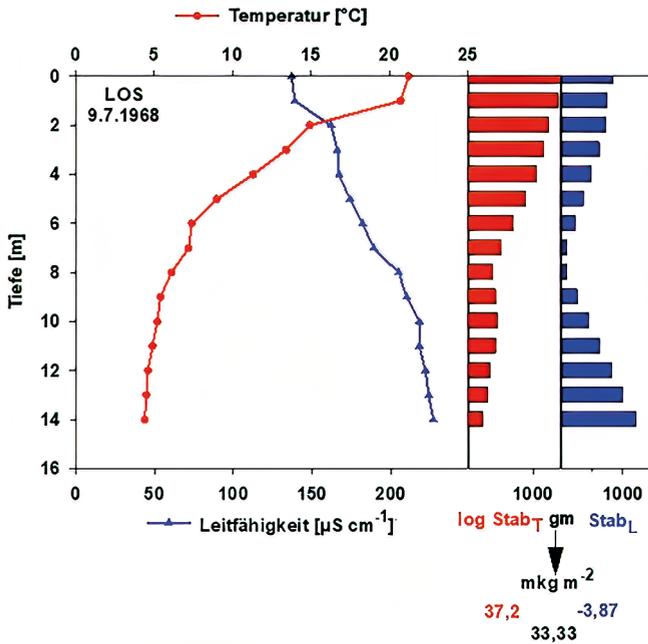


Abb. 7: Tiefenprofile für Temperatur und Leitfähigkeit am 9. Juli 1968 im Lunzer Obersee (LOS) und die daraus berechnete Tiefenverteilung der thermischen (Stab_T) und der Konzentrations-Stabilität (Stab_L), sowie die sich ergebende Gesamtstabilität der Wassersäule. Aus Daten in den Protokollheften im Nachlass Berger. – Fig. 7: Depth profiles for temperature and conductivity on 9 July 1968 in Lunzer Obersee (LOS) and the calculated depth distribution of the thermal (Stab_T) and the concentration stability (Stab_L), as well as the resulting overall stability of the water column. From data in the booklets of Berger's legacy.

Schlammkontaktfläche auch eine reduzierte Tiefenskala zu Vergleichszwecken eingeführt, deren Einheit die 4. Wurzel aus der Seeoberfläche in Quadratmeter ist (Berger 1971). Im Gegensatz zu großen tiefen Seen, die Werte von z_{red} bis zu 3 erreichen können, reicht etwa der Lunzer Obersee im Hauptbecken nur knapp an 1 heran. Die $\Delta V/\Delta A$ -Werte wiesen im Epilimnion sehr niedere Relationen von 3–5 m^3m^{-2} auf. An fünf Alpenseen führte Berger mehrjährige umfangreiche Untersuchungen zur Beeinflussung der Stabilität auf Grund der Windwirkung durch, die leider nur sehr bruchstückhaft publiziert wurden (Berger & Lanzemberger 1978, 1987). Im Nachlass fanden sich zahlreiche Daten und Graphiken dazu, welche aber wegen fehlender Begleitdaten nur teilweise auswertbar waren.

Die Berechnung der Stabilität durch Berger (1955), die verschieden war von späteren Methoden (Eckel 1950), wird an einem Beispiel vom 9. Juli 1968 demonstriert (Abb. 7). Aus dem Verlauf der Temperatur und Leitfähigkeit wurden die entsprechenden Stabilitäten meterweise berechnet, aufsummiert, in mkg m^{-2} umgerechnet und als Gesamtstabilität von 33,3 mkg m^{-2} ausgedrückt. (Abb. 7).

Im Nachlass für den Lunzer Ober- und Untersee erwies sich ein Jahr so vollständig dokumentiert, dass eine Darstellung für 1968 möglich wurde (Abb. 8). Ein Vergleich der Stabilitäten beider Seen im Jahresverlauf bildet den Kerngedanken der Darstellung. Für jeden Zeitraum des Jahres 1968 berechnete Berger sowohl die thermische (S_T) als auch die Konzentrations-Stabilität (S_C). Für beide Seen war S_T bedeutsamer als S_C , wobei letztere im LOS mehr Gewicht hatte als im LUS (Abb. 8, B, C). Die Stabilität der Wassersäule im Frühjahr nahm in beiden Gewässern etwa gleichsinnig zu, allerdings mit sehr unterschiedlicher Größenordnung und erreichte Anfang Juli ihr Maximum. Im LUS wurden 165 mkg m^{-2} erreicht, im LOS hingegen nur 30 mkg m^{-2} , was auf wesentlich schwächere Stabilität hinweist. In dieser Phase nahmen im Obersee die Windwege pro Tag und die mittleren

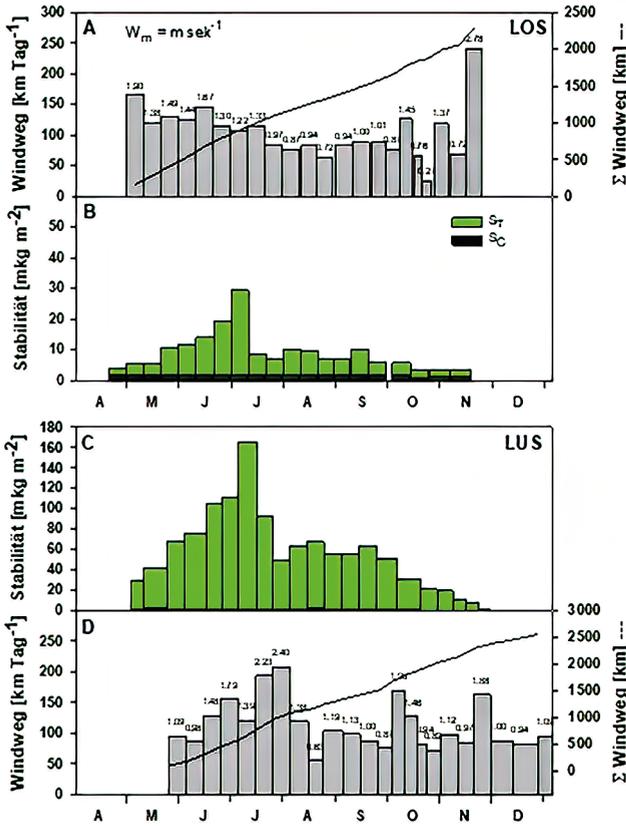


Abb. 8: Lunzer Obersee (LOS) und Untersee (LUS) im Jahr 1968. A. LOS: Windweg in km pro Tag, Summe des Windweges in km. Die Zahlen über den Säulen sind die mittleren Windgeschwindigkeiten pro Tag in m pro Sekunde. B. LOS: Gesamtstabilität der Wassersäule als Summe der thermischen (S_T) und der Konzentrations-Stabilität (S_C). C. Wie B, jedoch für den LUS. D. Wie A, jedoch für den LUS. Alle Daten zusammengestellt aus Angaben im Nachlass von Berger. – Fig. 8: Lunzer Obersee (LOS) and Untersee (LUS) in the year 1968. A. LOS: wind way in km per day, sum of the wind way in km. The numbers above the columns are the mean wind speeds per day in m per second. B. LOS: total stability of the water column as the sum of thermal (S_T) and concentration stability (S_C). C. Like B, but for LUS. D. Like A, but for LUS. All data compiled from notes in Berger’s legacy.

Windgeschwindigkeiten tendenziell von 160 auf 120 $km \cdot Tag^{-1}$ bzw. von 1,90 auf 1,22 $m \cdot sek^{-1}$ ab. Dieselben Parameter nahmen hingegen im Untersee von 95 auf 155 $mkg \cdot m^{-2}$ bzw. 1,09 auf 1,79 $m \cdot sek^{-1}$ zu, ohne die Stabilität wesentlich beeinflussen zu können (Abb. 8, A, D). Die beiden höheren Werte von 2,23 und 2,40 $m \cdot sek^{-1}$ (8 bzw. 8,6 $km \cdot h^{-1}$) führten jedoch zu einem Abbau der Stabilität auf 50 $mkg \cdot m^{-2}$. Der mäßige Wind in den folgenden Wochen führte zu einer Erholung der Stabilität und einem stufenweisen Abbau zum Herbst hin. Ein ähnlicher Verlauf war auch am Obersee auf deutlich niedrigerem Niveau zu beobachten. Trotz der verschiedenen Windverhältnisse, abnehmender Windwege und -geschwindigkeiten am LOS, Zunahme beider Variablen im Frühjahr am LUS, waren die kumulativen Windwerte in beiden Fällen ähnlich (Abb. 8 A, D).

Die Meromixie des Lunzer Obersees ordnete Berger dem klimatisch-morphometrischen Typus zu, den er durch hohe Schneelage, lange Eisbedeckung, große Schmelzwasserzufuhr, hohe Schlammrückwirkung (kleine $\Delta V/\Delta A$ -Werte) und plötzliche Wintereinbrüche charakterisierte. (Berger & Lanzenberger 1987, S. 63, Abschnitt 1.3.1). Zudem erwies sich die mittlere Windgeschwindigkeit von 1,03 Meter pro Sekunde als wesentliche Einflussgröße im Vergleich mit anderen mero- und holomiktischen Seen als ungenügend. Ähnliches gilt für die Wasserfracht (Berger & Lanzenberger 1987)

Zum Chemismus des Obersees mögen einige wenige Angaben genügen. Frühe Analysen anorganischer Elemente im Freiwasser aller drei Lunzer Seen sind bei Mulley & Wittmann

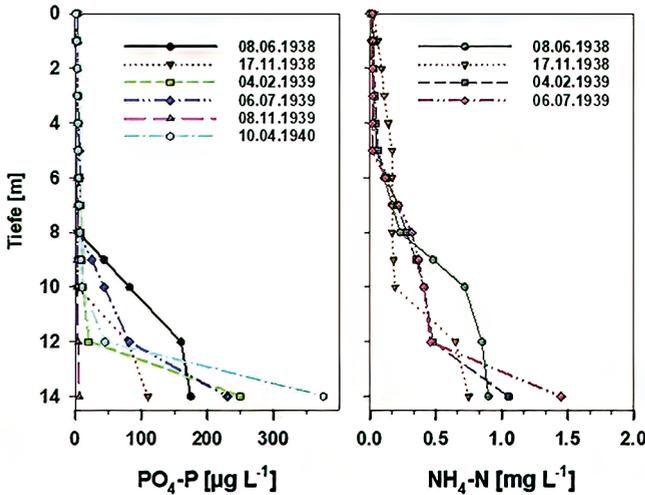


Abb. 9: Tiefenprofile für anorganischen Phosphor (PO₄-P) in µg pro Liter (linke Graphik) und Ammonium Stickstoff (NH₄-N) in mg pro Liter (rechte Graphik) für die Jahre 1938 bis 1940 im Lunzer Obersee. Alle Daten aus Protokollen im Nachlass Berger. – Fig. 9: Depth profiles of inorganic phosphorus (PO₄-P) in µg per litre (left graph) and ammonium nitrogen (NH₄-N) in mg per litre (right graph) for the years 1938 to 1940 in Lunzer Obersee. All data from logs in Berger's legacy.

(1914) zu finden. Da die Zuflüsse zum Obersee aus dem Kalk kommen, machten Calcium und Magnesium 90 % der Milligramm-Äquivalente der Kationen aus. Wegen der Sauerstoffarmut in der Tiefe, nahm unter anderem der Eisengehalt dort stark zu und dadurch auch die Leitfähigkeit. Schlammanalysen wiesen einen viel größeren Glühverlust auf, als etwa im Untersee. Neben Calcium und Kieselsäure war vor allem der hohe Eisengehalt (20 %) auffällig, der dem Schlamm eine rostrote Farbe verlieh. Die Sedimentation des Eisens untersuchte Berger im Jahresgang (zit. Ruttner 1942, S. 25), der zeigen konnte, dass das ausgefällte Eisen dauerhaft im Sediment verbleibt.

Angaben zu Stickstoff und Phosphor fehlen, finden sich aber unter Berücksichtigung organisch gebundener Komponenten in Müller (1938). Für den starken Sauerstoffschwund in der Tiefe waren nach Müller (1937) die organischen Abbauprodukte aus dem Schwingrasen verantwortlich. Wie für das Eisen bereits erwähnt, stiegen auch die Konzentrationen des Phosphors mit der Tiefe bis auf 250 µg L⁻¹ an. In den Jahren 1930 und 1931 wurden zusätzlich hohe Mangankonzentrationen in der Tiefe beobachtet. Die Anreicherung von Phosphat und Ammonium im sauerstoffarmen Tiefenwasser ist mittels Daten aus dem Nachlass Bergers beispielhaft für die Jahre 1938 bis 1940 dargestellt (Abb. 9). Unterhalb von 8 m Tiefe stiegen die Konzentrationen beider Variablen an, erreichten maximal fast 400 µg L⁻¹ PO₄-P beziehungsweise fast 1,5 mg L⁻¹ NH₄-N über dem Sediment. Ähnliche Verläufe zeigten auch die Mengen an Gesamtphosphor, Gesamtstickstoff und die Konzentration an Silikat im Tiefenwasser im September 1992 (Abb. 5, B).

Aus den wenigen im Nachlass Berger erhaltenen Messungen des Lichtklimas unter Wasser (Tabelle 2), lässt sich ableiten, dass die Attenuation der Sonnenstrahlung durch das braun gefärbte Wasser des Obersees variabel war. Die mittleren Koeffizienten der Attenuation wiesen 1954 Grün als am tiefsten ins Gewässer eindringende Komponente aus, im Jahr 1975 drang hingegen Rot am weitesten ein. Beide Spektralbereiche lagen 1984 nahezu gleich auf, mit Rot als wenig dominierend. Der blaue Spektralbereich wird in jedem Fall am stärksten abgeschwächt (Tab. 2). Die starke Abschwächung aller Spektralbereiche, der Gesamtstrahlung (E) sowie die geringe Sichttiefe von 2,5 m im Juli weisen auf eine erhöhte

Tab. 2: Strahlungsverhältnisse unter Wasser im Obersee zu drei Terminen in den Jahren 1954, 1975 und 1984, dargestellt als Tiefe der Sichttiefe (SD), des vertikalen Attenuations-Koeffizienten (K) für den blauen, grünen, roten und den Gesamtbereich (KE, 400-700 nm, fett), sowie die 1 % Lichtgrenze (Untergrenze der euphotischen Zone) für dieselben Bereiche (LI). Zusätzlich ist für zwei Termine der Faktor F zur ungefähren Abschätzung von 1 % Licht aus SD angegeben. Alle Berechnungen nach Daten aus dem Nachlass Berger. – Tab. 2: Underwater radiation in Obersee on three dates in 1954, 1975 and 1984, shown as depth of Secchi- depth (SD), vertical attenuation coefficient (K) for the blue, green, red and total range (K E, 400-700 nm, bold), as well as the 1 % light boundary (lower limit of the euphotic zone) for the same spectral ranges (LI). In addition, the factor F is given for the approximate estimation of 1 % light from SD for two dates. All calculations based on data from the Berger's legacy.

Variable	Einh.	04.08.1954	23.07.1975	01.07.1984
SD	(m)	nn	2,5	3,7
K blau	(m ⁻¹)	0,642	1,149	0,914
K grün	(m ⁻¹)	0,281	0,731	0,490
K rot	(m ⁻¹)	0,495	0,597	0,525
KE	(m⁻¹)	0,432	0,750	0,550
1% LI blau	(m)	7,175	4,009	5,037
1% LI grün	(m)	16,404	6,302	9,397
1% LI rot	(m)	9,297	7,711	8,765
1% LI E	(m)	10,649	6,139	8,369
F SD zu 1%E			2,500	2,300

Trübung durch Hochwasser oder vermehrte Entwicklung des Phytoplanktons hin. Dementsprechend wird bereits in 6 m Tiefe die 1 % Grenze der Einstrahlung erreicht, welche in den beiden anderen Fällen in über 10 bzw. 8 m liegt. Eine noch geringere mittlere 1 % Lichtgrenze von nur 3,5 m ergibt sich aus den Angaben in Sauberer (1939 Tab. 2, S.33). Die Tiefe der euphotischen Zone variierte im Verlauf des Jahres 2002 meist zwischen 5 und 7 m, lag im März aber nur bei 3 m und im August bei 14 m, reichte also bis zur maximalen Tiefe (Ruzicka & Schagerl 2004).

Von den fünf von Sauberer (1939) untersuchten Alpenseen hatte der Lunzer Obersee die geringste Lichtdurchlässigkeit sowie eine Verschiebung der maximalen Transparenz zum roten Spektralbereich (Abb. 10). Beides ist eine Folge der Gewässerfarbe, die auf die Schwingrasen und die benachbarten Moore zurückzuführen ist. Diese Verschiebung der Transparenz in den orange-roten Bereich fand Koswig (1967) auch im Sackwiesensee im Hochschwabgebiet, der dem Obersee recht ähnlich ist.

Die Auswirkungen der Sauerstoffverhältnisse auf die Biozöosen beschrieben bereits Ruttner (1914 b) und Brehm & Ruttner (1926). Das Plankton des Tiefenwassers war von, *Trachelomonas* und Eisenorganismen, wie etwa *Leptothrix*, *Ochrobium* oder *Siderocapsa coronata* dominiert. An der Sauerstoffgrenze bewirkte das Auftreten der Purpurbakterie *Chromatium* eine rosa bis rote Färbung des Wassers (Müller 1938; Manlik 1988, Berger unpubl.). Verteilungsbilder der Organismen in der Tiefe, wie etwa für den Mittersee (Ruttner 1955 a, b), sind für den Obersee nur bruchstückhaft erhalten. So etwa in Ruttner (1914 b) für die *Leptothrix* sowie in Ruttner und Sauberer (1938) für *Chromatium*. Experimentell konnte Czurda (1940) nachweisen, dass die *Chromatium* Biozönose im Lunzer Obersee unter Ausschluss von Sauerstoff zur Sulfatreduktion befähigt ist. Im Schlamm

der Uferbänke waren *Beggiatoa*, *Achromatium* und *Lamprocystis* anzutreffen.

Die Menge und Zusammensetzung des Phyto- und Zooplanktons sind mehrfach dokumentiert worden. Ruttner (1914 b) erwähnte im Epilimnion die Gattung *Cryptomonas* als vorherrschend, sowie *Daphnia longispina* als Vertreter der Crustaceen und *Polyarthra platyptera* bei den Rotatorien, welche an der Sauerstoffgrenze konzentriert waren. Für die Kieselalgen (Diatomeen) führte Hustedt (1922) 103 Arten aus 30 Gattungen an, wovon er 14 Arten als häufig auswies. Dieser verhältnismäßig armen Diatomeenflora stellte schon Hustedt eine reichere Flora an Desmidiaceen gegenüber (Lenzenweger 1993).

Eine Übersicht über die Biozönosen des Lunzer Obersees boten Brehm & Ruttner (1926). Zu den Makrophyten des Obersees bemerkten sie, dass hier Charakterarten wie *Phragmites* und *Schoenoplectus* fehlen, andererseits die Bildung von Schwinggrasen wesentliche Bedeutung erlangte. Als Repräsentant der Schwimmblattflora führten sie *Potamogeton natans* an. Die submersen Flora war artenarm und wurde ab 1913 durch die invasive Gattung *Elodea* erweitert. An den Rändern der Schwinggrasen fanden sich festsitzende Tiere, wie *Ophridium* und andere Protozoen, sowie Vertreter des Planktons wie *Simocephalus*, *Polyphemus*, *Scapholeberis*, *Noteus quadricornis* (heute *Platygaster quadricornis* und andere. Auf anstehendem Gestein beschrieben Brehm und Ruttner (1926) Zonierungen des Aufwuchses von *Tolypothrix* und *Rivularia*. Die Epiphyten-Vegetation wurde als quantitativ reich entwickelt detailliert aufgeführt.

Abgesehen von speziellen Einzeluntersuchungen über Rotatorien des Obersees (Ruttner-Kolisko 1975, 1977) fehlten zusammenhängende Bearbeitungen der vertikalen und jahreszeitlichen Verteilung des Phyto- und Zooplanktons. Erst die Dissertationen von Manlik (1988) und Miksch (1990) schlossen diese Lücke. Die Verteilung der Biomasse des Phytoplanktons in Raum und Zeit wurde für das Jahr 1986 aus der Arbeit von Manlik neu dargestellt (Abb. 11). Die Biomassen waren unter der Eisdecke sehr niedrig, begannen ge-

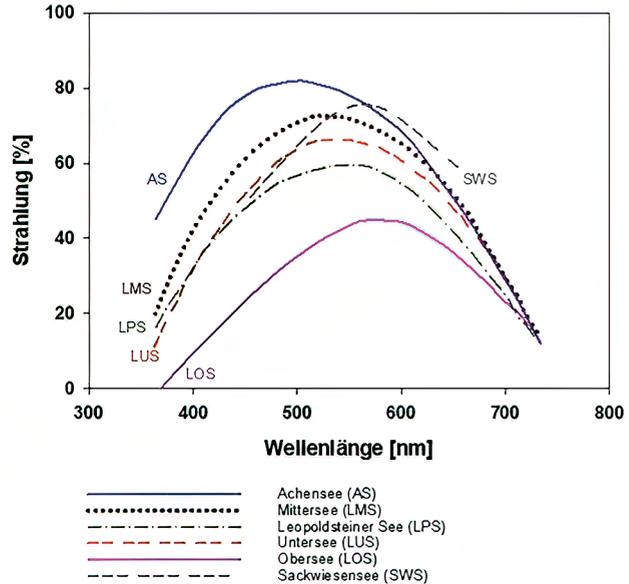


Abb. 10: Strahlungsverteilung im sichtbaren Spektrum zwischen 380 und 740 nm im ersten Meter unter Wasser in % der an der Oberfläche eintreffenden Strahlung im Lunzer Obersee (LOS), Mittersee (LMS), Untersee (LUS), Sackwiesensee (SWS) und Leopoldsteiner See (LPS) im Vergleich zur Strahlung unter Wasser im Achensee (AS) Aus Sauberer (1939) und Kosswig (1967) umgezeichnet und kombiniert. – Fig. 10: Distribution of the radiation in the visible spectrum between 380 and 740 nm in the first meter below surface as % of the impinging radiation at the surface in the Lunzer Obersee (LOS), Mittersee (LMS), Untersee (LUS), Sackwiesensee (SWS) and Leopoldsteiner See (LPS) compared to under-water data from Achensee (AS). From Sauberer (1939) and Kosswig (1967), redrawn and combined.

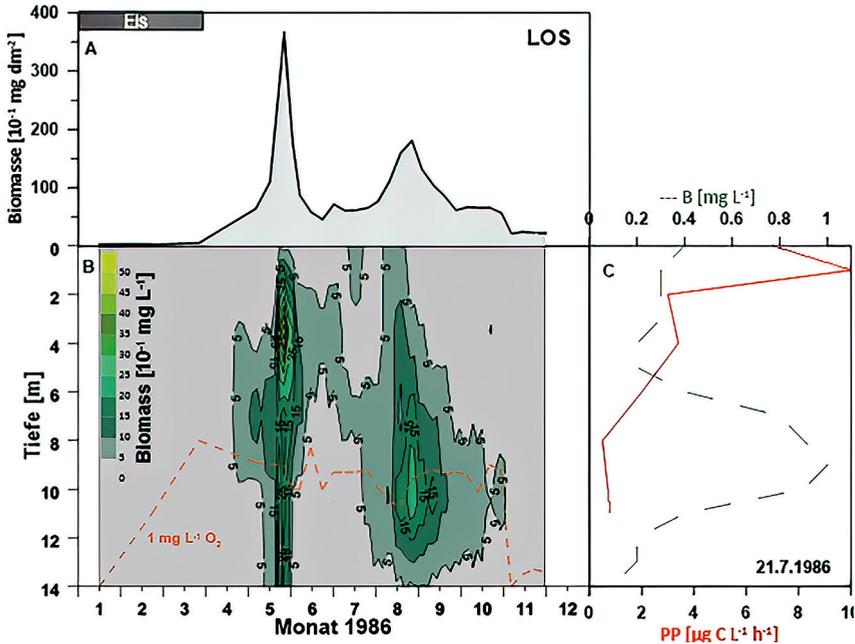


Abb. 11: Phytoplankton im Lunzer Obersee (LOS) im Jahr 1986. A. Jahresgang der gesamten Biomasse des Phytoplanktons in der Wassersäule in $10^{-1} \text{ mg dm}^{-2}$. Die Eisbedeckung ist eingezeichnet. B. Tiefenverteilung der Gesamtbiomasse in $10^{-1} \text{ mg L}^{-1}$ mit Legende. Zusätzlich ist strichliert die Grenze von $1 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ angegeben. C. Tiefenprofil der Primärproduktion (PP) in $\mu\text{g C L}^{-1} \text{ h}^{-1}$ sowie der Gesamtbiomasse des Phytoplanktons (B) als mg L^{-1} zur Mittagszeit des 21. Juli 1986. Umgezeichnet und kombiniert aus Manlik (1988). – Fig. 11: Phytoplankton in Lunzer Obersee (LOS) in the year 1986. A. Annual cycle of total biomass of phytoplankton in the water column in $10^{-1} \text{ mg dm}^{-2}$. Duration of ice cover indicated. B. Depth distribution of total biomass in $10^{-1} \text{ mg L}^{-1}$ with legend. In addition, the limit of $1 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ is indicated. C. Depth profile of primary production (PP) in $\mu\text{g C L}^{-1} \text{ h}^{-1}$ and total biomass of phytoplankton (B) as mg L^{-1} at midday on 21 July 1986. Redrawn and combined from Manlik (1988).

gen den Eisbruch Mitte April anzusteigen und erreichten Ende Mai einen Höchstwert in der Wassersäule von $36,7 \text{ mg m}^{-2}$ (Abb. 11, A). Gleichzeitig entstand im Epilimnion in 4 m Tiefe ein Biomasse-Maximum, das einen Spitzenwert von 10 mg L^{-1} erreichte (Abb. 11, B). Diese Entwicklungsspitze brach danach rasch auf $6,1 \text{ mg L}^{-1}$ ein, zum Großteil wegen der Verluste durch das Abweiden mehrerer Rotatorien, wie *Keratella hiemalis*, *K. cochlearis* oder *Filinia hofmanni* (Mikschi 1990). Die Ergebnisse sind in den Tabellen 3 und 4 zu finden. Danach steigt die Biomasse des Phytoplanktons zunächst langsam, dann schneller an und erreichte in der zweiten Hälfte August $18,1 \text{ mg L}^{-1}$ mit Schwerpunkt bei 10 m Tiefe, was mit der Sauerstoffgrenze zusammenfiel (Abb. 11, B). Bemerkenswert ist auch, dass *Keratella testudo*, welche Ruttner (1954) für die Dekade 1943 bis 1953 als reichlicher Bestandteil des Rotatorienplanktons angab, von Mikschi (1990) nicht mehr gefunden werden konnte. Der Autor führt als letzten Nachweis des Auftretens Herbst 1979 bei einem Studentenkurs an (Mikschi 1990, S. 120).

Die Artenzusammensetzung des Phytoplanktons wies in der Tiefenverteilung 1986 eine starke Dominanz kleinerer Formen von Chrysophyceen, Cryptomonaden, Peridineen und

zentrischen Diatomeen auf. Im Mai trat *Dinobryon divergens* in Tiefen von 2,6 m auf, *Cryptomonas rufescens*, *C. reflexa* und *C. obovata* waren bis zu 12 m Tiefe nachweisbar, reichten also bis in die sauerstoffarme Zone. Als ganzjähriger Begleiter fand sich *Rhodomonas lacustris* in geringeren Biomassen. *Peridinium. inconspicuum* bewohnte alle Tiefen von 2–14 m. Die Reduktion der Biomasse Anfang August bis in fast 6 m Tiefe war nach Manlik (1988) auf einen Schlechtwettereinbruch zurückzuführen, der vor allem die Peridineen drastisch reduzierte. Das Maximum an der Sauerstoffgrenze in 10 m Tiefe im August war geprägt von *Dinobryon divergens* und *D. sertularia*. Die Cryptomonaden, *C. marsonii* und *C. phaseolus* hatten ihren Schwerpunkt in 2–5 m Tiefe, erreichten aber auch 10 m. Die zentrische Diatomee *Cyclotella stelligera* war 1986 vor allem im Sommer verbreitet (Abb. 11, B). Von Interesse ist der Vergleich der Algenklassen in Prozent (Abb. 12) aus den Jahren 2002 (Ruzicka und Schagerl 2004), 1985–1987 (Manlik 1988) und 1940/50 (Ruttner unpubl.). Zwischen 1940 und 1988 waren kaum Unterschiede festzustellen. Erst 2002 nahmen die Anteile der Cyanoprokaryota deutlich von 11 auf 23 %, jene der Diatomeen von 9 auf 13 % zu. Chrysophyceen, Cryptophyta und Chlorophyceen haben hingegen anteilmäßig abgenommen.

Ergänzend zu den Vertikalverteilungen ist ein einzelnes Profil der Primärproduktion zusammen mit der Biomasseverteilung vom 21. Juli 1986 wiedergegeben (Abb. 11, C). Die größte Rate der Photosynthese wird mit $10 \mu\text{g C L}^{-1} \text{h}^{-1}$ bereits in 1 m Tiefe erreicht bei gleichzeitig nur $0,3 \text{ mg L}^{-1}$ Biomasse, was einen Produktions-Biomasse Koeffizienten (P/B) von $0,033^\circ \mu\text{g C}^\circ \mu\text{g}^\circ \text{B}^{-1} \text{h}^{-1}$ oder bezogen auf Chlorophyll-a $6,7 \mu\text{g C} \mu\text{g chl-a}^{-1} \text{h}^{-1}$ ergibt. Eine spätere Produktionskurve aus dem Jahr 1992 zeigt einen ähnlichen Verlauf mit wesentlich kleinerem Maximum (siehe Abb. 5, D). Um einen Vergleich mit früheren Messungen von Steemann-Nielsen (1959) anstellen zu können, mussten die beiden Profile auf

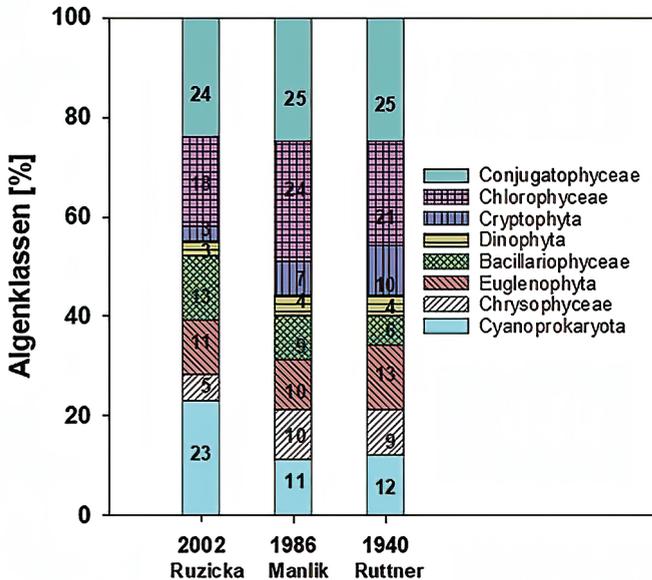


Abb. 12: Prozentuelle Verteilung der Algenklassen (%) im Lunzer Obersee im Jahr 2002 (Ruzicka & Schagerl 2004), im Jahr 1986 und nach unveröffentlichten Protokollen aus den 1940er und 50er Jahren von Franz Ruttner (Manlik 1988). Aus Ruzicka & Schagerl (2004, Tabelle 5) extrahiert und graphisch dargestellt. – Fig. 12: Percentage distribution of algae classes (%) in Lunzer Obersee in the year 2002 (Ruzicka & Schagerl 2004), in the year 1986 and according to unpublished notes from the 1940s and 50s by Franz Ruttner (Manlik 1988). From Ruzicka & Schagerl (2004 Table 5) extracted and redrawn.

Gesamtproduktion in der Wassersäule umgerechnet werden. Für das Juli-Profil 1986 ergibt sich ein ungefähre Wert von $280 \text{ mg C m}^{-2} \text{ Tag}^{-1}$, was der Angabe von $250 \text{ mg C m}^{-2} \text{ Tag}^{-1}$ im Juli 1953 bei Steemann-Nielsen in etwa entspricht. Aus dem Profil von September 1992 errechnete sich eine höhere Gesamtproduktion von $350 \text{ mg C m}^{-2} \text{ Tag}^{-1}$. Diese Ergebnisse stimmen überraschend gut überein, obwohl ja die unterschiedliche Einstrahlung an den Messtagen nicht berücksichtigt werden konnte.

Die drastischen Einbrüche der Phytoplanktonbiomasse im Mai und August 1986 bzw. die rasche Auflösung der Tiefenmaxima (Abb. 11, B) fanden ihre Erklärung in der Zusammensetzung des Zooplanktons (Mikschi 1990). Die Abundanz von Rotatorien-Arten war im Wesentlichen dafür verantwortlich. Am einfachsten sind die Zusammenhänge zwischen dem Zooplankton und ihrer potenziellen Nahrung mit einer Korrelationsmatrix festzustellen (Tabelle 3). Signifikante Korrelationskoeffizienten ergaben, dass *Keratella cochlearis* Ciliaten und farblose Flagellaten als Nahrung bevorzugte, so wie auch *Filinia hofmanni* deren Korrelation aber nicht signifikant war. Hingegen ernährt sich *K. hiemalis* lieber von *Cryptomonas*, *Rhodomonas* und *Peridinium*. Eine multiple Regression zwischen den Abundanzen und den Nahrungskomponenten (Tabelle 4) erbrachte eine hohe Gesamtkorrelation von $R^2 = 0,73$ für *K. cochlearis*, wobei Ciliaten mit $r = 0,51$ an erster Stelle standen.

Diese Analyse ergab einen signifikanten Einfluss von Ciliaten (also Detritus und Bakterien) auf *K. cochlearis*, sowie ein positiver, aber nicht signifikanter Einfluss von kleinen, farblosen Flagellaten und eine negative Korrelation zu den Cryptomonaden. Insgesamt erklärte die multiple Regression 73 % der Varianz von *K. cochlearis*. Die Varianz von *K. hiemalis* wurde von der Regression zu 37 % erklärt, wobei *Peridinium sp.* und *Cryptomonas sp.* einen signifikant positiven Einfluss haben. *Cryptomonas sp.* war auch signifikant bedeutend für *S. pectinata*. Die Regression erklärt immerhin 37,4 % der Varianz dieser Art. Auf Grund der einfachen Korrelation kam für *P. dolichoptera* vor allem *Rhodomonas sp.* und farblose Flagellaten als Nahrung in Frage. Bei einem Er-

Tab. 3: Korrelation zwischen der Abundanz der Arten des Zooplanktons und dem Gesamtvorkommen geeigneter Nahrung an den einzelnen Terminen, beides als Ind. m^{-2} . Signifikante Koeffizienten ($p < 0,05$) sind Fett wiedergegeben, solche von $+0,1$ bis $-0,1$ durch – symbolisiert. N = Nauplien, C = Copepoditen. Aus Mikschi (1990, S. 84) verändert. – Tab. 3: Correlation between the abundance of zooplankton species and the total number of suitable foods at each date, both as Ind. m^{-2} . Significant coefficients ($p < 0.05$) are marked in bold, those from $+0.1$ to -0.1 are by – symbolized. N = nauplii, C = copepodites. From Mikschi (1990, p. 84) modified.

	Ciliaten	Farblose Flagellaten	Cryptomonas	Rhodomonas	Andere
<i>Keratella cochlearis</i>	+0,86	+0,61	+0,22	+0,14	
<i>Keratella hiemalis</i>	–	+0,29	+0,56	–	<i>Peridinium</i> +0,52
<i>Polyarthra dolichoptera</i>	–	+0,44	+0,16	+0,77	
<i>Synchaeta pectinata</i>	+0,15	–	+0,24	0,21	
<i>Ascomorpha ecaudis</i>	–0,25	–	–	–0,3	
<i>Filinia hofmanni</i>	+0,19	–	+0,15	–	
<i>Bosmina longispina</i>	–0,2	–	–	–0,19	
<i>Ceriodaphnia quadrangula</i>	–0,2	–	–0,2	0,26	
<i>Acanthocyclops robustus</i> N	–	–	–	–	<i>Dinobryon</i> +0,21
<i>Acanthocyclops robustus</i> C	+0,25	–	–	–	<i>Dinobryon</i> +0,24

Tab. 4: Multiple Regression zwischen der Abundanz einzelner Rotatorienarten und dem Vorkommen verschiedener Gruppen von Nahrung. Signifikante Koeffizienten sind fett dargestellt ($p < 0,05$). Aus Mikschi (1990, S.86) verändert. – Tab. 4: Multiple regression between the abundance of individual Rotifera species and the occurrence of different food items. Significant coefficients are shown in bold ($p < 0,05$). From Mikschi (1990, p.86) modified.

	Farblose					Mult,	Mult,
	Ciliaten	Flagellaten	Crypto	Rhodo	Peri	R ²	p
<i>Keratella cochlearis</i>	0,60	0,60	-0,22	-0,12		0,73	0,001
<i>Keratella hiemalis</i>		0,01	0,10	0,01	0,30	0,37	0,002
<i>Polyarthra dolichoptera</i>		0,07		0,04		0,24	0,008
<i>Synchaeta pectinata</i>	0,01	-0,04	0,10	0,04		0,38	0,006

klärungswert von 24% der Varianz durch die Regression, war nur der Einfluss von Flagellaten signifikant.

Die dominanten Arten des Rotatorienplanktons wiesen überdies unterschiedliche Bedürfnisse in Bezug auf Temperatur und Sauerstoff auf. *Filinia hofmanni* trat in weiten Sauerstoffkonzentrationen von 0,6 bis 13,3 mg O₂ L⁻¹ und Temperaturen von 4–6°C auf. Diese Art bewohnte 1–7 m Tiefe im Frühjahr und die tieferen, anoxischen Schichten im Sommer. Im Gegensatz dazu braucht *Asplanchna priodonta* Konzentrationen von mehr als 9 mg O₂ L⁻¹ und Temperaturen von 4 bis 15°C (Mikschi 1989).

Die Algenflora der Schlenken der Hochmoore am LOS untersuchte bereits Redinger (1934), der über eine große Zahl an Desmidiaceen berichtete. Das Phytobenthos einiger Schlenken im Schwingrasen erhoben Rauch & Schagerl (2003) Der Anteil der einzelnen Algenklassen in sieben untersuchten Schlenken unterschied sich nur wenig, die Artenzusammensetzung hingegen wesentlich. Die größte Schlenke, das Moorloch war mit 108 bestimmten Taxa am artenreichsten und wies eine völlig andere Zusammensetzung der Arten auf als die anderen Probenstellen. Einige Arten, wie sehr große Desmidiaceen (z. B. *Closterium ehrenhegii* var. *ebrenbergii*), sowie fädige Algen (z. B. *Spirogyra* sp.) konnten ausschließlich im Moorloch gefunden werden. Nur dort kamen auch Planktonarten wie z. B. *Asterionella formosa* vor. Die Studie wird durch eine ausführliche Artenliste ergänzt. Korrelationen der wichtigsten Arten zu Umweltvariablen ergänzten in einer zweiten Publikation diese Studie (Rauch et al. 2006). Leitfähigkeit und pH-Wert erwiesen sich als bestimmende Größen, Temperatur und Alkalinität spielten hingegen kaum eine Rolle. Für jede Algenklasse wurden charakteristische Indikator-taxe definiert.

Die Moosflora der Umgebung des Obersees, der Schwingrasen und des Sees beschrieb Fuchsig (1924). Die Ufer des Sees wiesen eine diverse Moosflora auf, der See selbst war hingegen frei von Moosen, was Fuchsig auf den geringen Sauerstoffgehalt zurückführte. Eine detaillierte Beschreibung der Entstehung und Zusammensetzung der Schwingrasen ist bei Kusel-Fetzmann (1978) nachzulesen. Die neueste Kartierung des Schwingrasens und der Makrophyten im Obersee ließ signifikante zeitliche Veränderungen erkennen (Forsthuber & Sary 2021).

Die bereits erwähnten bakteriologische Untersuchungen nach der Plattenmethode am Ober- und Untersee (Zih & Ruttner 1932) verfolgten im Obersee den Vorgang der

Selbstreinigung nach einem sommerlichen Regenereignis. Unmittelbar nach dem Regen erhöhte sich die Keimzahl oberhalb der Temperatursprungschicht auf mehr als das Hundertfache. Schon am nächsten Tag nahmen die Zahlen in allen Schichten deutliche ab und nach 7 Tagen war der Ausgangszustand wieder hergestellt. Als Ursache dieser rasch erfolgten Verminderung der Bakterienzahlen führten die Autoren die bakterizide Kraft des Lichtes an.

Die benthische Tierwelt im Obersee wurde von Lundbeck (1936) als ärmlich beschrieben, da sie fast ausschließlich aus Chironomiden-Larven bestand, welche ausführlich in Thienemann (1951) behandelt wurden. Nur im Uferbereich bis etwa 2 m Tiefe waren Mollusken zahlreich. Lundbeck führte das auf die ungünstigen, einseitigen Lebensbedingungen zurück.

Zum Abschluss dieses Abschnittes soll noch kurz auf die oberhalb des LOS im Bereich der Herrenalm und dem Dürrensteingebiet gelegenen Almtümpel verwiesen werden. Auch dazu fand sich ein Beispiel in Bergers Nachlass. Nach Messungen am 27. Juli 1948 und 27. August 1961 lagen die Temperaturen in den 14 untersuchten Tümpeln zwischen 11°C und 27°C. Die Alkalität variierte wenig (0,23–0,38) und der pH-Werte reichte von 5,8 bis 6,5. Nur in einem Fall lag der pH bei 7,5 bis 8,0. Die Notiz dazu beschrieb das Kleingewässer als klares Regenwasser. Alle anderen Tümpel waren trüb, rötlich oder grasgrün. Schon Brehm (1930) erwähnte extreme Unterschiede der Temperatur: „Mittagstemperatur 18°C in einem Tümpel, der morgens noch mit einer Eiskruste bedeckt war“. Die rötliche bis rote Färbung mancher Tümpel rührte von *Euglena sanguinea* oder rot pigmentierten Crustaceen her, wie bereits Klausener (1908) unter anderem für die Lunzer „Blutseen“ erwähnte. Schon früher (Nägler 1911; Pascher & Jahoda 1928) waren die Tümpel Untersuchungsobjekt wegen ihrer Vegetationsfärbung durch Organismen. Etwas ausführlicher stellte Thienemann (1951) die Almtümpel samt deren Chironomiden dar.

Lunzer Mittersee (LMS)

Der Mittersee ist ein Gundwassersee auf 767 m Höhe über Adria. Im Gegensatz zu den beiden anderen Seen ist der Mittersee je nach Wasserstand nur 2,5 bis 4 m tief. Er ist eingebettet in Talschuttmassen, in denen der Seebach verschwindet und unterirdisch in den Mittersee eintritt. Ein oberflächlicher Zufluss ist nur bei Hochwasser zu beobachten (Götzinger 1908a). Das Wasser aus dem Untergrund dringt vorwiegend in sogenannten Quelltrichtern auf, welche vom Wasser selbst geformt wurden. Eine detaillierte Erklärung zur Entstehung der Trichter findet sich in Götzinger (1908a). Primär war wohl ein querliegender Felsriegel verantwortlich für die primäre Entstehung eines flachen, vom Grundwasser gespeisten Gewässers. Sekundär wurde dann der See durch eine künstliche Barriere für die Holzdrift überstaut. Zu- und Abfluss bestimmen im Wesentlichen den Wasserhaushalt und sind für die oft erheblichen Änderungen des Pegelstandes bei Starkregen oder Schneeschmelze verantwortlich. Ein extremes Beispiel führt Götzinger für den 17. März 1906 an, bei dem nach über 30 cm Niederschlag ein Hochwasser eintrat, das mit kurzer Verzögerung einen extremen Pegelanstieg von 67 cm bewirkte. Die Temperatur des Grundwassers wies übers Jahr eine Amplitude von etwa 2°C auf, wobei das Minimum im Mai zur Zeit der Schneeschmelze eintrat (Götzinger 1908b). Die komplizierten Eisverhältnisse des Mittersees werden ausführlich in Götzinger (1917) abgehandelt. Die eigentliche Eis-

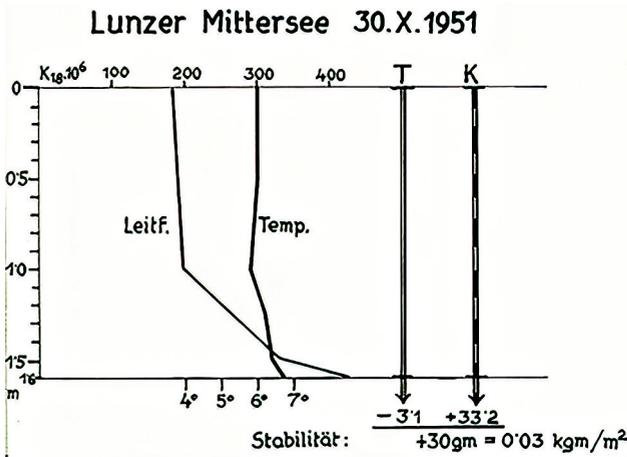


Abb. 13: Temperatur (Temp.) und Leitfähigkeit (Leitf.) im Lunzer Mittersee am 30.10.1951. Dazu die berechnete thermische (T) und Konzentrations-Stabilität (K) sowie die daraus abgeleitete Gesamtstabilität der Wassersäule in kgm pro m². Original aus dem Nachlass Berger und Berger (1955). – Fig. 13: Temperature (Temp.) and conductivity (Leitf.) in Lunzer Mittersee on 30.10.1951. The calculated thermal (T) and concentration stability (K) as well as the resulting overall stability of the water column in kgm per m² are given. Original from the legacy of Berger and Berger (1955).

periode dauerte etwa drei Monate, von Dezember bis Februar. Sie konnte aber bereits im November beginnen und erst im März enden. Jedenfalls dauerte die 3–6-mal unterbrochene Vereisung des Mittersees kürzer als die des Obersees, was sich auch auf die Flora und Fauna auswirkte.

Wie am Obersee hat Berger auch am Mittersee Untersuchungen zur Stabilität durchgeführt (Berger 1955). Zum Vergleich zum Obersee sei hier die Graphik vom 30.10.1951 aus dieser Arbeit im Original aus dem Nachlass wiedergegeben (Abb. 13). Dazu Berger „Die Temperaturinversion ergibt eine negative, die Konzentrationsschichtung eine etwas größere, positive Stabilität. Der Überschuss beträgt nur 30 Metergramm gleich 0,03 mkg je m². Dennoch hielt sich diese Schichtung längere Zeit gegen die durchmischende Kraft des Windes aufrecht, ein Zeichen, dass sie vom Schlamm aus, während der wenige Monate dauernden Stagnationsperiode recht intensiv genährt wurde“.

In seiner Untersuchung der Bacillariaceen (Diatomeen, Kieselalgen) des Gebietes wies Hustedt (1922) darauf hin, dass der Mittersee, abgesehen von den Almtümpeln, die wenigsten Formen aufweist. Von den 349 aufgefundenen Formen waren im Mittersee nur 90 vertreten, wobei *Navicula* und *Cymbella* Arten am häufigsten vorkamen.

Über die Wassermoose des Mittersees berichtete Fuchsig (1924). Der sumpfige Süd- und Südwestteil des Seeufers wies eine artenreiche submerse Mossvegetation auf, während am felsigen Westufer die Sumpfmoss zurücktreten.

Brehm (1910) charakterisierte bereits die Fauna des Sees. Eine Ufervegetation existierte nicht, wohl aber ausgedehnte *Chara*- und *Potamogeton*-Rasen am Boden des Sees. Typische Planktonorganismen fehlten. Allerdings wurden Evertebraten mit gutem Schwimmvermögen (z. B. *Cyclops*, *Chydorus*, *Notholca* ua.) in den Wasserschichten über der Vegetation gefunden. Im feinen Schlamm des Bodens fand Brehm die Ostracoden *Candona candida* und *Limnocythere relictta*, ein Glazialrelikt. Auf einer Sandbank fanden sich Kolonien hellroter Exemplare von *Ilocryptus sordidus* gemeinschaftlich mit *Lebertia rufipes* und Pisidien. *Cyclops fimbriatus* war im Mittersee eine perennierende Art im Gegensatz zum zeitlich beschränkten Vorkommen in diversen Bächen. Ursache war wohl die geringe

Temperaturamplitude dieses Sees, der dadurch generell artenarm war. Deswegen war auch die Verteilung der Tierwelt gleichmäßig zu allen Jahreszeiten. Auf Grund des Nahrungsmangels bildeten sich Kümmerformen aus. Weitere Beiträge lieferten Mikoletzky (1914) für die Nematoden, sowie Albrecht (1924), der die Chironomiden untersuchte und umfassend beschrieb, auflistete und mit Verteilungskarten der einzelnen Arten aufwartete. Begründet wurden die Verteilungsmuster vor allem durch die unterschiedliche Bodenbeschaffenheit. Der Mittersee wurde fast ausschließlich von Chironomidenlarven der Gruppe *Orthocladinae* bevölkert.

Als größte Quelle des Gebietes (Limnokrene) bezeichneten Brehm & Ruttner (1926) den Mittersee in ihrer Studie über die Biozönosen der Lunzer Gewässer. Darin beschrieben die Autoren auch die Zonierung der Cyanoprokaryoten im Aufwuchs des Littorals. Als charakteristischste Form bezeichneten sie die Grünalge *Tetraspora gelatinosa*, welche dichte Überzüge bildete. Zwischen den Cyanoprokaryoten, vielmehr jedoch in den submersen Moosen fand sich eine reiche Fauna bdelloider Rotatorien, die dem See eine Sonderstellung gaben (Bryce 1926). In einer späteren Untersuchung der Lunzer Seen unterschied Thiennemann (1951) verschiedene Biotope im Mittersee nach ihrer Besiedelung mit Chironomiden, wobei er betont, dass der gesamte See der Litoralregion zuzurechnen ist.

Eine detaillierte Analyse der Zonierung des Aufwuchses auf Steinen, Holz und Makrophyten sowie der flottierenden Algenwatten im Mittersee findet sich in Kann (1978, S. 488ff). Die zusammenfassende Beurteilung hob das Vorkommen für den Seebach typischer Arten hervor, obwohl hier stehendes Wasser vorherrscht. Ein Vergleich mit einem Hochgebirgssee machte die niedrigen Wassertemperaturen für das Auftreten einiger Arten verantwortlich.

Purpurbakterien vergesellschaftet mit Schwefelbakterien verliehen dem Seeboden zeitweise einen rötlichen Schimmer. Grund für das Vorkommen war die zeitweise Meromixie des Mittersees (Ruttner 1955 a, b) mit sprunghafter Zunahme der Leitfähigkeit unterhalb einem Meter Tiefe bei gleichzeitig abnehmendem Sauerstoffgehalt. Die chemischen Analysen in diesen beiden Publikationen stammten von Franz Berger, wie sich aus seinem Nachlass erkennen lässt. Diese Schichtungszustände stimmten weitgehend mit Verhältnissen in tiefen meromiktischen Seen überein, traten aber nur zeitweise auf. Während der meromiktischen Zustände traten unterhalb der Chemokline Schwefelorganismen der Gattungen, *Chromatium*, *Lamprocystis* und *Thiospira* sowie verschiedene Bakterien in erheblichen Individuenzahlen auf. An assimilierenden Algen waren vor allem *Cryptomonas*- und *Chlamydomonas*-Arten sowie *Euglena acus* beteiligt.

Die fakultative Meromixie lässt sich auch mit Angaben aus dem Nachlass Bergers für den Winter 1954/55 nachweisen (Abb. 14, oben). Von Oktober 1954 bis Februar 1955 nahm zwar in allen Fällen die Leitfähigkeit mit der Tiefe zu und die Sauerstoffkonzentration ab, der Sauerstoff erreichte aber niemals eine kritische Konzentration. Es lassen sich also keine meromiktischen Zustände im Winter 1954/55 ableiten. Meromixie beherrschte hingegen den Winter 1953/54, wie der Vergleich mit Daten aus Ruttner (1955 b) erkennen lässt (Abb. 14, unten).

Nach Lundbeck (1936) glich die Tierwelt des Bodens im Mittersee mehr einer Quelle als einem See, wie die Grundwassertiere *Bythinella* und *Niphargus* bewiesen. Ebenso sind bei den Chironomiden 87 % der *Orthocladius*-Gruppe zugewiesen worden.

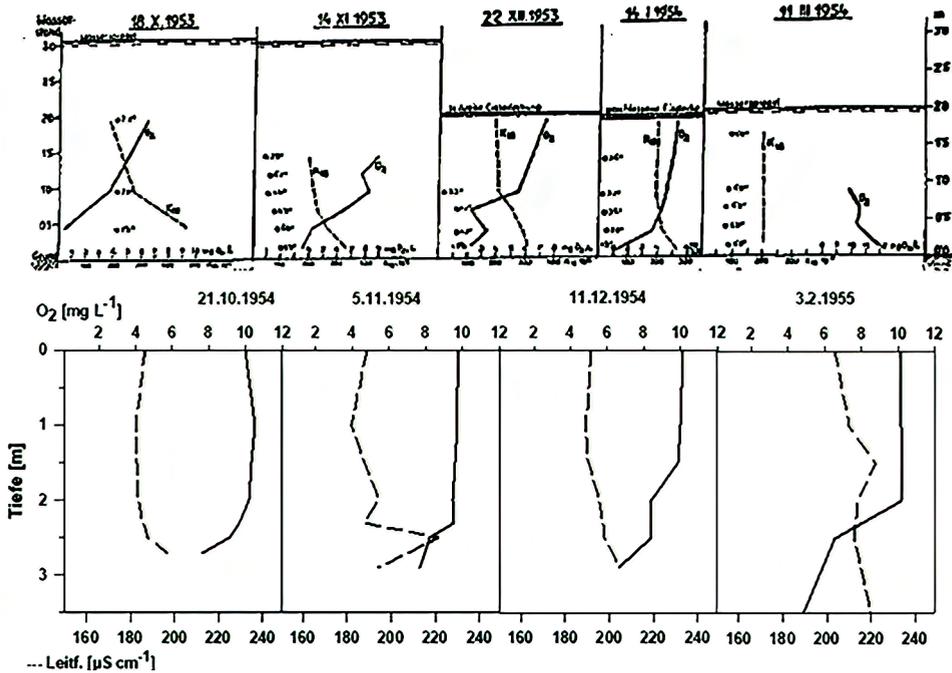


Abb. 14: Leitfähigkeit und Sauerstoffprofile im Lunzer Mittersee im Herbst-Winter 1953/54 (obere Graphik, verändert aus Ruttner 1955 b) und Herbst-Winter 1954/55 nach Daten aus dem Nachlass Berger. – Fig. 14: Conductivity and oxygen profiles in Lunzer Mittersee in autumn-winter 1953/54 (upper graph, modified from Ruttner 1955 b) and autumn-winter 1954/55 according to data from the legacy of Berger.

Lunzer Untersee (LUS)

Für den Lunzer Untersee liegen bei weitem die meisten Untersuchungen und Publikationen vor. Es wird daher nur auf nicht veröffentlichte oder wenig bekannte Arbeiten eingegangen, sowie auf Studien, die zwei oder alle drei Seen im Fokus haben.

Die Vereisung des Unter- und Obersees, den Aufbau und die Veränderungen des Eises sowie die Vorgänge beim vollständigen Zufrieren beschrieb Götzing (1909) ausführlich. Zum Obersee stellte er fest, dass häufig das Kerneis fehlt, wohl wegen der großen Schneemengen, die im Jahr 1907 Höhen von 1,15 bis 3 m erreichten.

Horizontale Unterschiede der Oberflächentemperatur sind im Lunzer Untersees bereits 1907 nachgewiesen worden, wie eine Kartendarstellung des Westteiles des Sees von Götzing aus dem Nachlass von Berger zeigt (Abb. 15, A). Die Karte, datiert 12.9.1907, zeigt einen deutlichen Unterschied zwischen wärmerem Wasser (18°C) im Bereich des Südufers und dem zentralen Teil des Sees ($16\text{--}17^\circ\text{C}$). Deutlich niedrigere Temperaturen sind im Bereich des Seebachausflusses und des Kanals gemessen worden. Im selben Jahr wurden auch Temperaturmessungen im Schlamm des LUS zu verschiedenen Tageszeiten ausgeführt (Abb. 15, B). In den meisten Fällen sank die Temperatur im Schlamm ab oder blieb konstant. Nur am 3.11.1907 war die Temperatur im Schlamm um über 1°C höher als im Wasserkörper. Im Nachlass Berger fand sich weiters ein Kuriosum – eine Feinmessung der

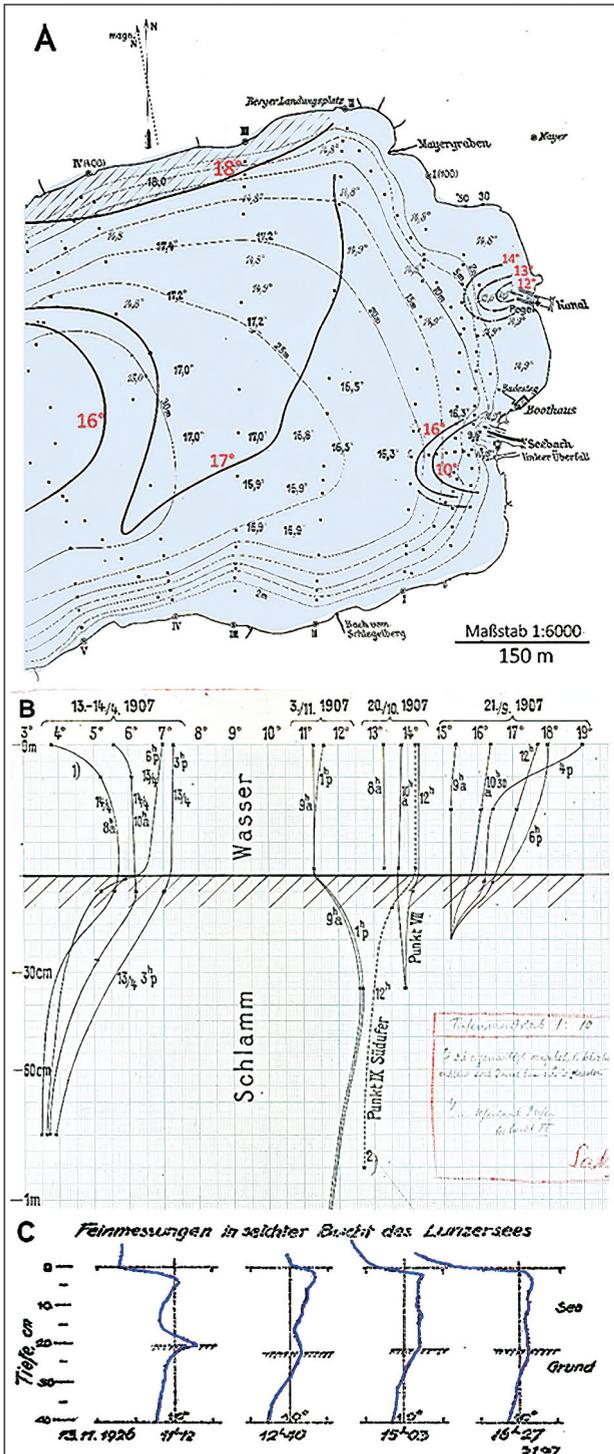


Abb. 15: Lunzer Untersee. A. Horizontale Unterschiede der Oberflächentemperatur im Westteil des Sees im Jahr 1907. B. Temperatur des Wassers und des Schlamms an mehreren Tagen und zu verschiedenen Tageszeiten im Jahr 1907. C. Feinmessung in einer Bucht am 13.11.1926. Alle Darstellungen aus dem Nachlass Berger im Original. A und C wurden elektronisch nachbearbeitet. – Fig. 15: Lunzer Untersee. A. Horizontal differences in surface temperature in the western part of the lake in the year 1907. B. temperature of water and mud on several days and at different times of the day in the year 1907. C. Fine measurement in a bay on 13.11.1926. All originals from the legacy of Berger. A and C were electronically post-processed.

Temperatur von der Luft bis in den Schlamm in einer nur 40 cm tiefen Bucht des LUS zu verschiedenen Zeiten des 13.11.1926 (Abb. 15, C). Die tageszeitlichen Änderungen der Temperatur vor allem an der Luft und an der Wasser-Schlamm Kontaktzone sind darin zu erkennen. Alle diese Messungen sind nicht dokumentiert, sehr wohl aber die Beschaffenheit und die chemische Zusammensetzung des Schlammes im LUS und im LOS, wobei auf den größeren Glühverlust als Folge organischer Beimengung im LOS hingewiesen wurde (Mulle 1914).

Aus dem Nachlass Berger konnten neben zahlreichen

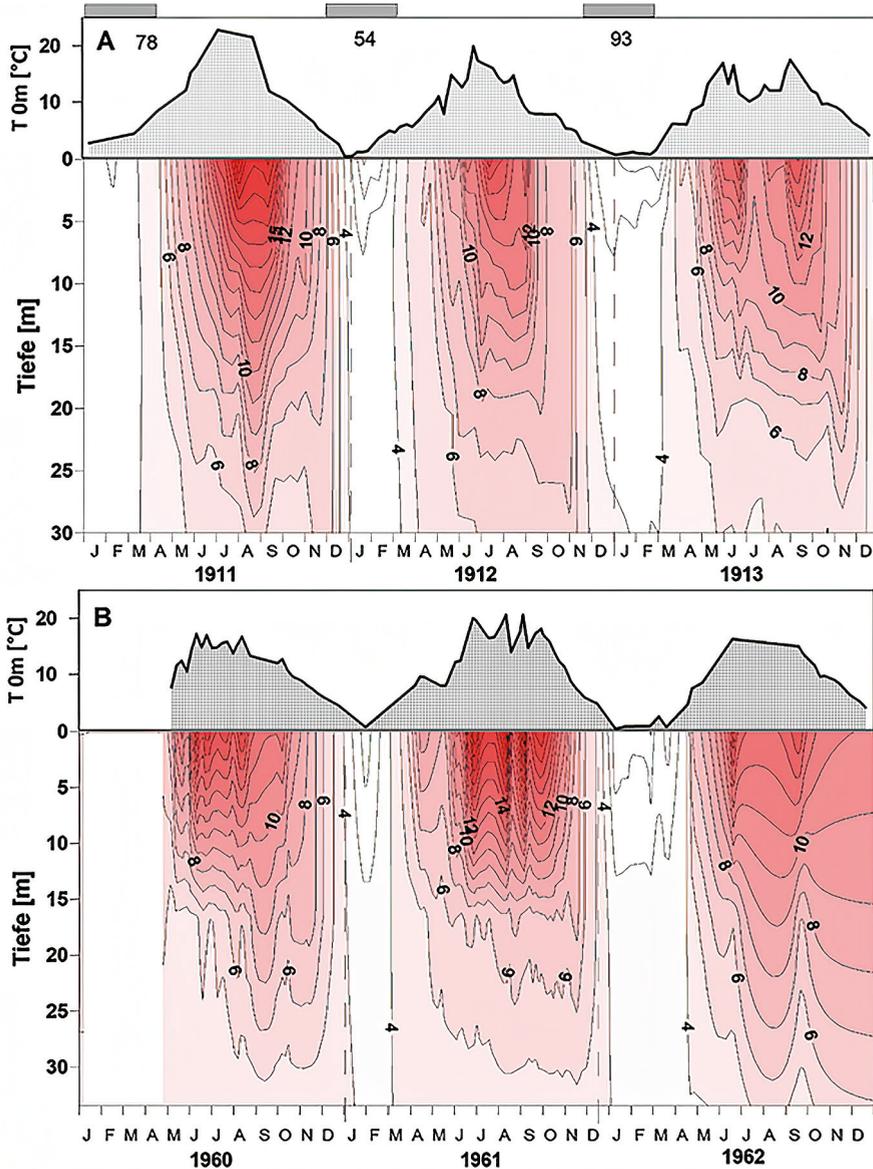


Abb. 16: Lunzer Untersee. A. Jahresgänge der Oberflächentemperatur (T_{0m}) und Tiefen-Isolinien der Wassertemperatur beide in $^{\circ}\text{C}$ für die Jahre 1911 bis 1913 nach Daten in Ruttner (1930). Die Dauer der Vereisung sind als graue Flächen angegeben und darunter als Dauer in Tagen. B. Jahresgänge der Oberflächentemperatur (T_{0m}) und Tiefen-Isolinien der Wassertemperatur für die Jahre 1960 bis 1962 nach Daten aus dem Nachlass Berger, Protokollheft Heigl. Vereisungsdaten waren darin nicht verzeichnet. – Fig. 16: Lunzer Untersee. A. Annual cycles of surface water temperature (T_{0m}) and depth isopleths of water temperature both in $^{\circ}\text{C}$ for the years 1911 to 1913 according to data in Ruttner (1930). The duration of the ice cover is indicated in gray and below in days. B. Annual cycles of surface water temperature (T_{0m}) and depth isopleths of water temperature for the years 1960 to 1962 according to data from the Berger legacy, protocol book Heigl. Ice data were not recorded.

chemischen Analysen vor allem Temperatur- und Sauerstoffprofile für den Zeitraum Februar 1922 bis Mai 1980 aus den handschriftlichen Aufzeichnungen zusammengetragen werden. Meist sind es nur wenige Profile pro Jahr, manche Jahre fehlen ganz. In den Jahren 1960 bis 1962 wurden aber jedenfalls Profile der Wassertemperatur von Herrn Heigl, einem technischen Mitarbeiter der Station, regelmäßig aufgezeichnet. Ein Vergleich dieser Ergebnisse mit früheren Resultaten aus den Jahren 1911 bis 1913 (Ruttner 1930) bot sich daher an (Abb. 16).

Der Verlauf der Temperatur an der Oberfläche des LUS war wenig unterschiedlich und meist eingipflig. Eine Ausnahme bildete das Jahr 1913, in dem es im Sommer von Anfang Juni bis Mitte August zu einem Einbruch der Temperatur kam, vermutlich durch schlechtes Wetter. Anfang Juni wurden noch fast 17°C erreicht, danach sank die Temperatur rasch bis auf 10°C am 1. Juli 1913 ab (Abb. 16, A). Die Erwärmung danach erfolgte langsam und schrittweise. Erst am 24. August wurde wieder ein Wert über 17°C gemessen. Der Temperatureinbruch ist auch im Tiefenprofil deutlich an der 10°C Isoplethe zu erkennen, die von 7 m auf 3 m anstieg, um danach im Herbst auf über 10 m abzusinken. Im Jahr davor 1912 wurden am 6. Juli knapp 20°C gemessen und der See war deutlich geschichtet. Die höchsten Oberflächentemperaturen wurden mit 22,8°C am 6. Juli und mit 21,5°C am 12. September 1911 gemessen. Allerdings gab es keinen Wert für August wie überhaupt der glattere Kurvenverlauf im Jahr 1911 auf weniger Profile (12) zurückzuführen war. Ruttner (1930) wies darauf hin, dass 1911 das bei weitem wärmste Jahr seiner Untersuchungsperiode 1908 bis 1913 war. Für weitere, umfangreiche Analysen der Gewässertemperatur jener Jahre sei auf diese Arbeit verwiesen.

In den Jahren 1960 bis 1962 wurden Temperaturen über 20°C im Juni und August 1961 an der Oberfläche registriert (Abb. 16, B). Die Isolinien dieses Jahres lassen eine thermische Schichtung erkennen. Der etwas unruhige Verlauf der Temperaturen an der Oberflächen 1960 und 1961 hing wohl mit wechselnden Wetterbedingungen zusammen. Der glatte Verlauf in 0m und die Tiefenverteilung der Temperatur 1962 war wohl der weit geringeren Probenfrequenz geschuldet. Insgesamt kann für alle sechs Jahre festgehalten

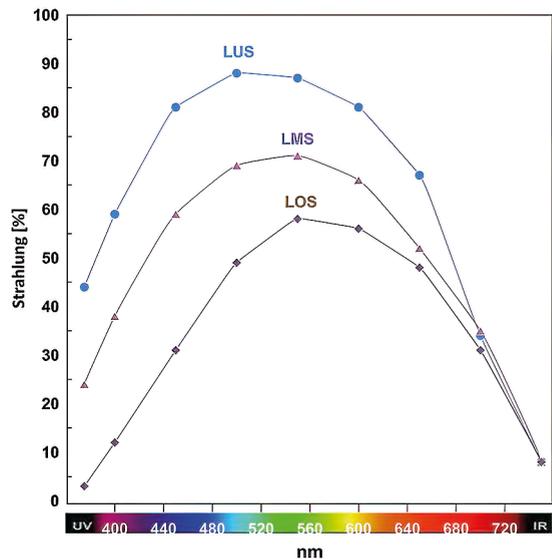


Abb. 17: Lunzer Seen. Spektralkurven der Strahlung unter Wasser von 350 bis 730 nm in Prozent der Oberflächenintensität für den Untersee (LUS), den Mittersee (MLS) und den Obersee (LOS). Mittelwerte für 1–7 m Tiefe im LUS, 1–2 m im LOS und für 1 m im LMS. Nach Daten für das Jahr 1950 aus Dirmhirn (1951). – Fig. 17: Lunz Lakes. Spectral curves of underwater radiation from 350 to 730 nm as % of the surface intensity for the Untersee (LUS), the Mittersee (MLS) and the Obersee (LOS). Mean values for 1–7 m depth in LUS, 1–2 m in LOS and for 1 m in LMS. According to data for the year 1950 from Dirmhirn (1951).

ten werden, dass weder im Jahresverlauf an der Oberfläche noch in der Tiefenverteilung der Temperatur in den knapp 50 Jahren zwischen den beiden Zeitperioden wesentliche Unterschiede festzustellen sind.

Über einen langen Zeitraum von 1921 bis 2015 betrachtet, hat sich der Lunzer Untersee allerdings um $0,8^{\circ}\text{C}$ an der Oberfläche erwärmt, gleichzeitig hat die Dauer der Vereisung im Winter abgenommen (Kainz et al. (2017)). In den Wintern 2006 und 2013 war der See sogar eisfrei.

Einen Vergleich der Strahlung unter Wasser aller drei Lunzer Seen ermöglichten die Messungen von Dirmhirn (1951) aus den Jahren 1937/38, 1949 und 1951 (Abb. 17). Die größte Durchlässigkeit in allen Spektralbereichen mit einem Maximum im blaugrünen Bereich wies der LUS auf, gefolgt vom LMS und dem LUS, beide mit Maxima im Grün. Für den LOS wiesen die Daten aus den oben angeführten Jahren die größte Variabilität auf, im MLS waren sie hingegen sehr konstant.

Die Entwicklung der Artenzusammensetzung des Phyto- und Zooplanktons und die Beziehung zu Umweltvariablen im Lunzer Untersee ist für die Jahre 1908 bis 1913 umfassend und detailreich dargestellt und analysiert worden (Ruttner 1930). In einer späteren Arbeit Ruttner (1937) lag der Fokus auf einem Vergleich mehrerer Ostalpenseen, so auch des Erlauf- und Leopoldsteiner Sees, welche als dem LUS sehr ähnlich beschrieben worden sind. Veränderungen in der Zusammensetzung des Planktons beschrieb Ruttner (1954) in drei Gruppen:

Kurzfristige quantitative Veränderungen der vorherrschenden Desmidiaceenflora, etwa wie im Herbst 1952 als erstmalig *Staurastrum manfeldti* dominierte. Im selben Jahr entwickelten sich Massen

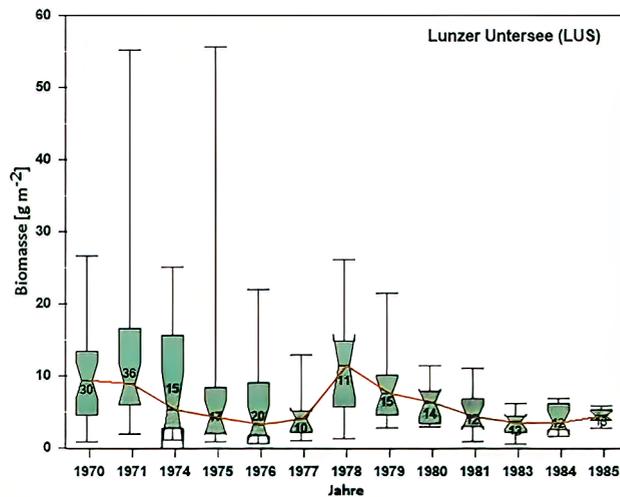


Abb. 18: Phytoplankton-Biomasse in der Wassersäule als g Frischgewicht pro m² im Lunzer Untersee in den Jahren 1970, 1971, 1974–1981 und 1983–1985. Gekerbte Box-Whisker Graphiken. Die Box wird durch das untere und obere Quartil definiert, und die Linie in der Mitte der Box ist der Median. Die Striche zeigen das Minimum und Maximum der Werte. Die Kerbe gibt die 95 % Vertrauensgrenzen für den Median an. Die Werte in den Boxen geben die Anzahl der Erhebungen pro Jahr an. Daten aus Pivoda (1975), Malicky (1979 bis 1985) und Ruttner-Kolisko & Malicky (1988). – Fig. 18: Phytoplankton biomass in the water column as g fresh weight per m² in Lunzer Untersee for the years 1970, 1971, 1974–1981 and 1983–1985 as notched Box-Whisker Plots. The box is defined by the lower and upper quartiles, and the line in the middle of the box is the median. The whiskers show the minimum and maximum of the values. The notch indicates the 95 % confidence limits for the median. The values in the boxes indicate the number of surveys per year. Data from Pivoda (1975), Malicky (1979 to 1985) and Ruttner-Kolisko & Malicky (1988).

der Heliozoe *Acanthocystis lemani*. Weiters war das Rädertier *Collotheca libera* zahlreicher als in den Jahren davor.

Vorübergehende Invasionen etwa das massenhafte Vorkommen der Cyanoprokaryote *Aphanothece clathrata* im Herbst 1936, was besonders bemerkenswert war, da ansonsten nicht einmal Arten oligotropher Seen hier anzutreffen waren. Eine ähnliche Entwicklung zeigte die zentrische Diatomee *Stephanodiscus hantzschii*, die nach 1933 in Massen das Winterplankton beherrschte.

Bleibende Neuzugänge waren *Staurastrum gladiusum* und *Closterium acutum*

Pivoda (1975) bearbeitete das Phytoplankton in den Jahren 1970 und 1971 und verglich die Ergebnisse mit den früheren Arbeiten. Es kam zu weiteren Verschiebungen in der Zusammensetzung der meisten Algenklassen, besonders aber bei den Chrysophyceen, welche als bleibende Invasionen im Sinne von Ruttner (1954) gedeutet wurden. Planktische Cyanoprokaryota fehlten völlig, was schon Ruttner (1930) beobachtet hatte. Im Jahr 1978 begann eine weitere mehrjährige Untersuchung des Phytoplanktons (Malicky 1979, 1980, 1981, 1982, 1984, 1985). Die Zusammensetzung des Planktons hatte sich im Projektzeitraum nicht geändert. Sie war weiterhin charakteristisch für oligotrophe Seen, verdeutlicht durch das Fehlen der Cyanoprokaryoten, die Vorherrschaft von Chrysophyceen und Diatomeen im Frühjahr, sowie die Bedeutung der Cryptophyceen (Malicky 1987). Eine Zusammenstellung der Biomassen des Phytoplanktons unter einem Quadratmeter in der Wassersäule der Jahre 1970 bis 1985 bietet Abb. 18 als Box-Whisker Darstellung (Pivoda 1975; Malicky 1979–1987; Ruttner-Kolisko & Malicky 1988). Die höchsten Mediane, größten Spannweiten und Boxen (50 % aller Daten) wurden 1970, 1971, 1974 und 1978 erreicht. Gleichzeitig zeigen die Einkerbungen (Notches) an, dass die Jahre 1970, 1971 und 1978 nicht signifikant voneinander verschieden waren. In den Jahren 1974 bis 1977 gingen die Biomassen deutlich zurück, die Spannweiten blieben aber noch hoch. Das Jahr 1978 verzeichnete wiederum höhere Biomassen. Danach gingen alle Parameter 1979 bis 1981 immer weiter zurück, um sich 1984 und 1985 auf einem annähernd konstant niedrigen Niveau einzupendeln. Gleichzeitig sind diese beiden Jahre auf Grund der 95 % Konfidenz-

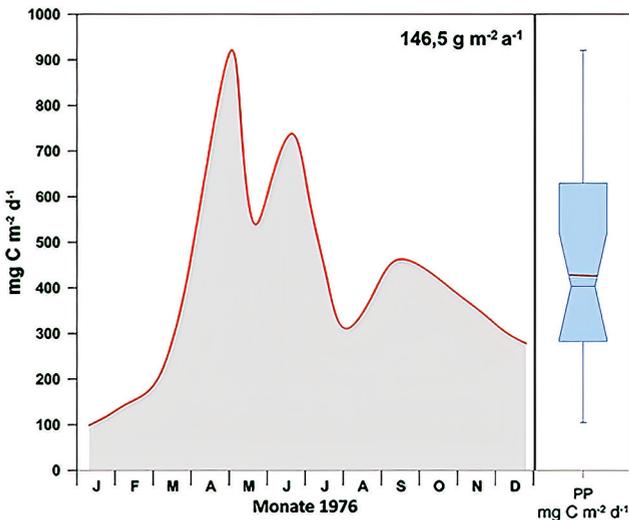


Abb. 19: Lunzer Untersee. Phytoplankton Primärproduktion in $\text{mg C m}^{-2} \text{d}^{-1}$ für das Jahr 1976. Die Jahresproduktion ist im Insert angegeben. Zusätzlich als Box-Whisker Graphik mit Median und Mittelwert (rot). Aus Ruttner-Kolisko (1978) umgezeichnet und modifiziert. – Fig. 19: Lunzer Untersee. Phytoplankton primary production in $\text{mg C m}^{-2} \text{d}^{-1}$ for the year 1976. The annual production is indicated in the insert. Additionally, as box-whisker graph with median and mean value (red). From Ruttner-Kolisko (1978) redrawn and modified.

Tab. 5: Rotatorienarten im Lunzer Untersee 1969 – 1977. Maximale und minimale Individuenzahlen pro dm^2 sowie maximale Biomassen in μg pro dm^2 . Aus Ruttner (1981), verändert. – Tab. 5: Rotifera species in Lunzer Untersee 1969 – 1977. Maximum and minimum numbers of individuals per dm^2 and maximum biomass in μg per dm^2 . From Ruttner (1981), modified.

Arten	Max, Ind, dm^{-2}	Min, Ind, dm^{-2}	Max, B, $\mu\text{g dm}^{-2}$
<i>Keratella cochlearis</i>	38,500	9,000	5,775
<i>Keratella hiemalis</i>	2,000	1,000	650
<i>Kellikottia longispina</i>	7,000	1,000	560
<i>Polyarthra vulgaris</i>	5,500	2,000	2,200
<i>Polyarthra maior</i>	4,000	1,000	2,600
<i>Synchaeta oblonga</i>	17,000	4,500	17,000
<i>Synchaeta pectinata</i>	2,000	1,000	5,000
<i>Filinia terminalis</i>	2,500	150	1,875
<i>Conochilus unicornis</i>	3,000	100	1,200
<i>Asplanchna priodonta</i>	1,300	400	10,140

grenzen auch signifikant verschieden von den 70er Jahren. Ergänzend dargestellt sind die Primärproduktionsmessungen aus dem Jahr 1976 (Abb. 19). Die Produktionsleistung in der Wassersäule pro Tag beginnt mit niedrigen Werten noch unter Eis, erreicht im Frühjahr einen Spitzenwert von 920 mg C pro Quadratmeter und Tag, sinkt danach durch den Ausschwemmeffekt während der Schneeschmelze ab und erreicht im Juni ein 2. Maximum. Der starke Rückgang im Sommer wurde auf den Fraßeffect des Zooplanktons zurückgeführt. Die durchschnittliche Tagesproduktion unter dem Quadratmeter betrug 431 mg C pro Tag (Median 400). Die Jahresproduktion 1976 errechnet sich durch Integration der Kurve in Abb. 19 zu 146,5 g m^{-2} . Ruttner-Kolisko (1978) gibt für den Durchschnitt der Jahresproduktion 30 g m^{-2} an.

Quantität, Verteilung und diverse Aspekte des Zooplanktons im LUS wurde mehrfach untersucht (Ruttner 1909, 1914 a u. b, 1930, 1938). Verteilung und Saisonalität der Rotatorien behandelten Ruttner-Kolisko (1977, 1981, 1985) Ruttner-Kolisko & Malicki (1988) und Kubasta (1973). Neun Filtrierer und ein Beutegreifer dominierten das Pelagial. Die höchste und niedrigste Individuenzahl unter der Flächeneinheit (Indiv. dm^{-2}) und die maximale Biomasse ($\mu\text{g dm}^{-2}$) für die Jahre 1969–1977 sind für alle zehn Arten tabellarisch dargestellt (Tabelle 5). Die Häufigkeit variierte stark, hingegen blieb die vertikale Verteilung und Sukzession der vier wichtigsten Arten konstant.

Die Ciliaten bleiben bei Erhebungen der Zooplanktonbiomasse oft unberücksichtigt, obwohl sie eine bedeutende Rolle spielen können. Bereits in Ruttner (1930) finden sich Angaben zu den Ciliaten. Der Autor erwähnt eine nicht näher bestimmte *Lobea*-Art, die in 5 m Tiefe aufgetreten war. Weitere Arten waren etwa 20 μm große *Strombidien*, teilweise mit Zoochlorellen, vereinzelt *Halteria grandinella*, alle in sehr geringen Dichten, sodass eine Auswertung nicht möglich war. Ruttner (1937) stellte fest, dass Ciliaten in großen Mengen vorkommen können und daher nicht vernachlässigt werden sollten. Daher inkludierte er quantitative Tiefenprofile in seine Untersuchungen und konnte *Stokesia*, *Strombidium* und *Strobilidium* im Lunzer See nachweisen, aber auch im Erlaufsee, Leopoldsteinersee und anderen Ostalpenseen. Eine detailliertere Studie über die pelagischen Ciliaten des Lunzer Untersees 1980/81 (Schlott-Idl 1984) ergab eine bemerkenswerte Übereinstimmung der Quantität und Vertikalverteilung dieser Arten über einen Zeitraum von 50 Jahren.

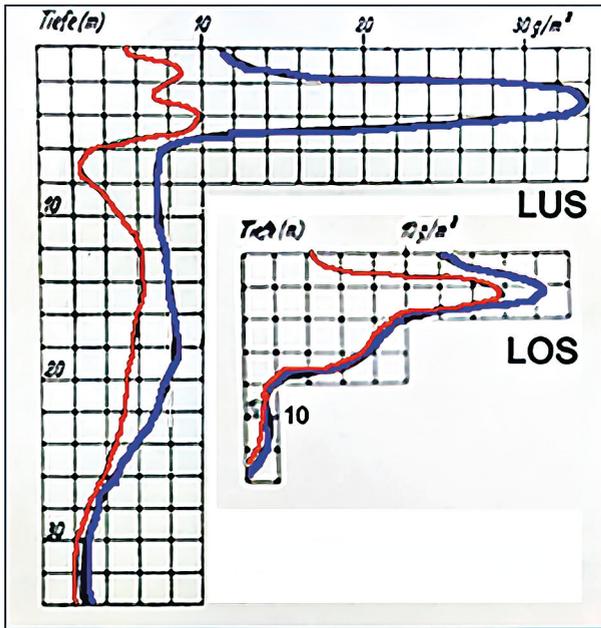


Abb. 20: Tiefenprofile der benthischen Fauna in g pro m² für den Lunzer Untersee (LUS) und den Lunzer Obersee (LOS). Originale aus Lundbeck (1936) elektronisch überarbeitet. – Fig. 20: Depth profiles of the benthic fauna in g per m² for the Lunzer Untersee (LUS) and the Lunzer Obersee (LOS). Original from Lundbeck (1936) electronically enhanced.

Die Tiefenverteilung der gesamten Bodentierwelt zeigte stärkste Besiedlung in wenigen Metern Tiefe (Abb. 20 nach Lundbeck 1936). Die freilebenden Nematoden der Lunzer Seen bearbeitete bereits Micoletzky (1913), wobei er neben den Arten auch auf Häufigkeit, Vorkommen und Biozönosen, sowie auf ihre Ökologie einging (Micoletzky 1914 a,b). Im Zusammenhang mit Nematoden sei auch erwähnt, dass Schiemer (1984) eine neue Nematoden-Art aus einem ganz anderen Biotop Prof. Berger gewidmet hat.

Wie Ober- und Mittersee, untersuchte Thienmann (1951) auch den Lunzer Untersee ausführlich. Die Ergebnisse vom oligotrophen LUS verglich er mit Daten vom eutrophen Großen Plöner See. Er kam zum Schluss, dass beide Seen in Bezug auf die Fauna der Chironomiden grundverschieden waren.

Die Ökologie des submersen Phytals im LUS, speziell der Nematoden und Chironomiden erforschte Schiemer (1967). Leider sind von der umfangreichen Bearbeitung nur die Chironomiden bruchstückhaft publiziert (Schiemer 1968). Untersucht wurden die *Elodea* Bestände in 1–6 m Tiefe, deren Konfiguration und Höhe starke Veränderungen im Jahresverlauf aufwiesen. Die Beläge an der Oberfläche der Pflanzen sind Substrat und Ernährung zahlreicher Arten. Sie bestanden im Wesentlichen aus biogen gefällttem Kalk, Algen und Detritus. Ihr durchschnittliches Trockengewicht betrug 200–400 mg. Der organische Anteil betrug 5–20 %. Temperatur und chemische Variable wiesen ein scharfes Vertikalgefälle in den Beständen auf. In Ergänzung zur Dynamik des Sauerstoffs im Bestand wurde sogar die Assimilationsleistung der *Elodea*-Sprosse untersucht. Die faunistischen Erhebungen konzentrierten sich auf die zahlenmäßig wichtigen Nematoden (32 Arten, 3 bedeutend), Chironomiden (etwa 20 Arten, *Trichocladius algarum* und *Paratanytarsus tenuis* mengenmäßig wichtig) und Oligochäten (11 Arten, überwiegend *Chaetogaster diatrophus*) der substrate gebundenen Fauna. Das jahreszeitliche Auftreten aller Tiergruppen, bis hin zu den Tardigraden wird in Abb. 21 wiedergegeben. Während der Vegetations-

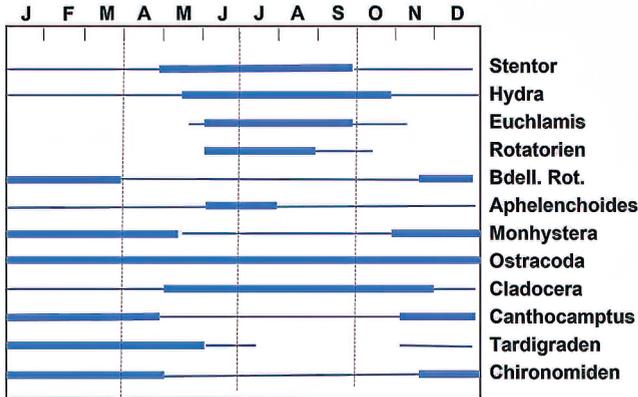


Abb. 21: Jahreszeitliche Periodizität der wichtigsten Arten und Artengruppen. Die dicken Balken bezeichnen die Perioden starker Populationsentwicklung. Original Abb. 6.1 aus Schiemer (1967) umgezeichnet. – Fig. 21: Seasonal periodicity of the most important species and species groups. The thick bars indicate the periods of strong population development. Original Fig. 6.1 from Schiemer (1967) redrawn.

periode dominierten freischwimmende Formen wie Cladoceren und Rotatorien, Bei den substratgebundenen überwogen Oligochäten und der Nematode *Aphelenchoides helophilus*. Vom Herbst bis ins späte Frühjahr herrschten *Monhystera filiformis*, Chronomidenlarven, bdelloide Rotatorien, Harpacticiden und Tradigraden vor.

Manche Gruppen, wie etwa die Mollusken, waren ungenügend bearbeitet (Brehm 1942). Zwar finden sich quantitative Angaben bei Lundbeck (1936) und Ravera (1966) aber ohne Aufgliederung der Arten. Einen Beitrag zu dieser Gruppe leistete Hadl (1972) durch die Bearbeitung der Pisidien 1967/68, bei denen sich vom Litoral bis ins Profundal drei Zonierungen mit der Tiefe unterscheiden ließen. In dieser Arbeit fand sich eine Jahrestemperaturkurve ohne Angabe des Jahres, möglicherweise 1967, welche von Dr. Berger zur Verfügung gestellt wurde.

Den taxonomischen Status quo der Fische des Seetales hielt Adamicka (1981) in einer Liste fest, wobei er sich auf eine Kartei von Prof. V. Brehm und Angaben verschiedener Personen stützte. Das Wachstum des Seesaibling, *Salvelinus alpinus* untersuchten Daim & Schneider (1995) im Unter- und Mittersee. Die geringere Größenzunahme im Mittersee führten sie, neben möglichen Unterschieden im Nahrungsangebot, vor allem auf die niedrige mittlere Temperatur von 7°C und deren geringe Amplitude im Jahresverlauf zurück.

Von den Untersuchungen nach dem Jahr 2010 sei nur eine angeführt, die die Insektenemergenz und ihre Bedeutung für den Export ungesättigter Fettsäuren an allen drei Seen betrachtet (Mathieu-Resuge et al. 2021).

Zum Schluss sei noch an ein spezielles Thema erinnert, welches zumindest in Europa weitestgehend seine Bedeutung verloren hat. Die mangelnde Abgasreinigung in Industrie und den Kraftfahrzeugen führte in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts zum Problem des sauren Niederschlags mit dem sich Berger (1983) auseinandersetze. Da er bereits 1937 zu diesem Thema Untersuchungen durchgeführt hatte, konnte er seine Ergebnisse der Jahre 1981/82 mit seinen früheren Messungen vergleichen. Alle Proben des Jahres 1937 hatten einen pH-Wert über 6, Ammonium und Phosphat waren vor allem zu Beginn des Niederschlags hoch. Nach einer längeren Regenperiode war der pH zu höherer Säurekonzentration verschoben (4,64 bis 4,88) und die Leitfähigkeit war angestiegen. Die Regen- und Schneedanalysen aus den 80er Jahren zeigten stark saure Reaktion im Schnee mit pH-Werten von 3,72 bis 4,38 und einer Zunahme von Nitrat. Der

Regen war hingegen mit pH 6,1 gar nicht sauer. In den 45 Jahren zwischen den beiden Untersuchungen hatte sich die Bandbreite des pH von 4,5 bis 6,5 nach unten bis 3,5 verbreitert. Die Niederschläge waren fallweise um eine Zehnerpotenz saurer als 45 Jahre zuvor. Dieser Vergleich zeigt einmal mehr, wie wichtig Fragestellungen und Langzeitvergleiche sein können.

Resümee

Die hier aus dem Nachlass Berger erstmals veröffentlichten Daten geben nur einen Teil der aufgefundenen Ergebnisse wieder. Ausgeklammert wurden viele als weniger wichtig eingestufte Messwerte, Angaben über Seen außerhalb von Lunz sowie alle Resultate an Fließgewässern. Zusammen mit bereits bekannten Ergebnissen und neu kombinierten beziehungsweise interpretierten Daten entstand so eine Zusammenschau über mehr als 100 Jahre Limnologie in Lunz am See. Vieles konnte nur in Auswahl oder verkürzt dargestellt werden, zeigt aber die große Breite und Vielfalt der Erhebungen an den Lunzer Seen, stellt Bergers Beiträge ins Zentrum und beweist gleichzeitig, dass auch historische Daten ihre Bedeutung haben können. Besonders in einer Zeit, in der lange Datenreihen immer wichtiger für die Interpretation langfristiger Veränderungen werden, wäre die Fortführung von Messreihen umso wichtiger, auch wenn sie derzeit nicht zum „Mainstream“ der Fachwissenschaft zählen

So wäre etwa eine Neubearbeitung der Mikroorganismen am Obersee und Mittersee mit aktuellen Methoden vermutlich aussichtsreich und könnte zu neuen Erkenntnissen der Zusammensetzung und Diversität dieser Gruppen führen. Weiters würden umfassende, erneute Erhebungen an den drei Seen mit den derzeit verfügbaren, verbesserten Techniken, im Vergleich mit den historischen Daten, Aufschlüsse über Veränderungen der Diversität und Quantität von Organismengruppen ermöglichen und so Rückschlüsse auf Auswirkungen von Umweltveränderungen erlauben.

Anhang der Abbildungen

Abb. S1: Originalkarten Götzingers:
 a. Tiefenkarte Lunzer Obersee (Original Berger Nachlass mit Probenpunkten);
 b. Tiefenkarte Lunzer Mittersee (aus Ruttner 1955);
 c. Tiefenkarte Lunzer Untersee (aus Ruttner 1930).
 – Fig. S1: Original maps from Götzingers:
 a. Depth contour map Lunzer Obersee (original from Berger's legacy with sampling points);
 b. Depth contour map Lunzer Mittersee (from Ruttner 1955);
 c. Depth contour map Lunzer Untersee (from Ruttner 1938).

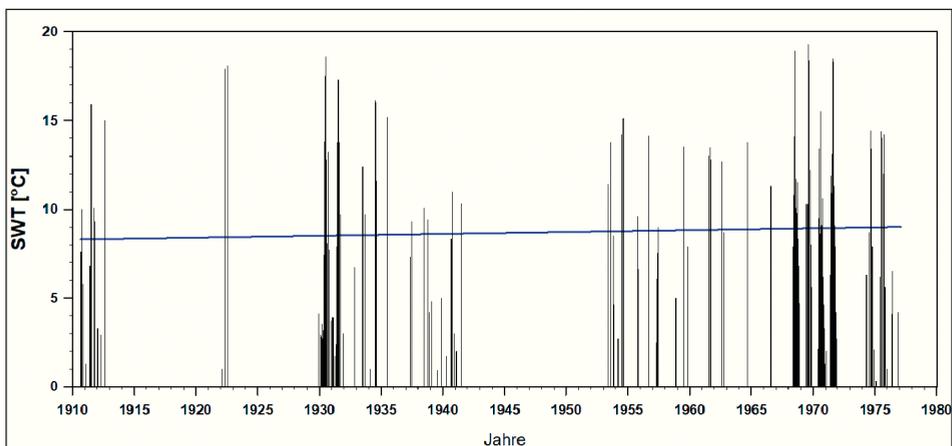
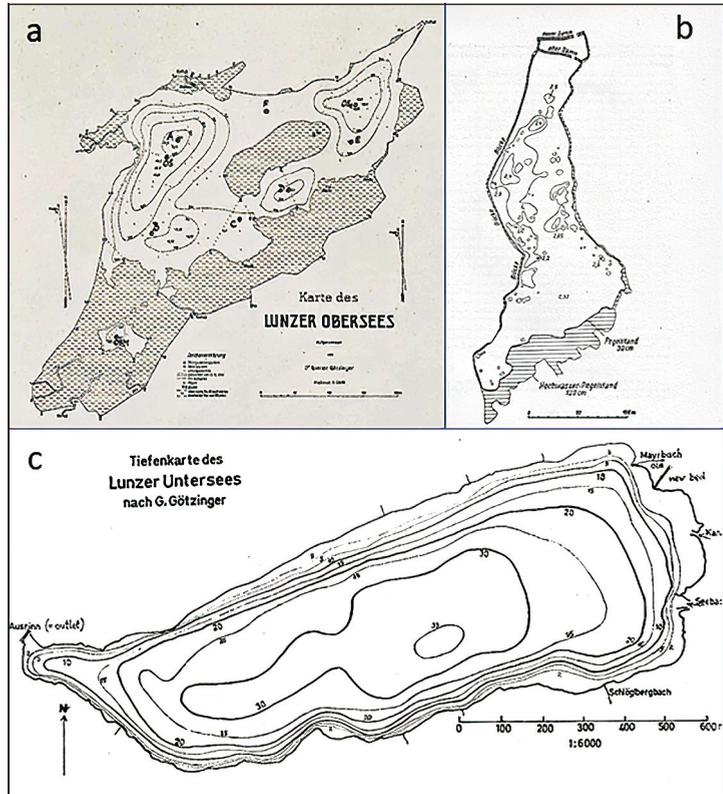


Abb. S2: Alle verfügbaren Oberflächen-Wassertemperaturen (SWT) des Lunzer Obersees zusammengestellt aus den Notizen im Nachlass Berger. – Fig. S2: All available surface water temperatures (SWT from Lunzer Obersee assembled from the notebooks of Berger's legacy).

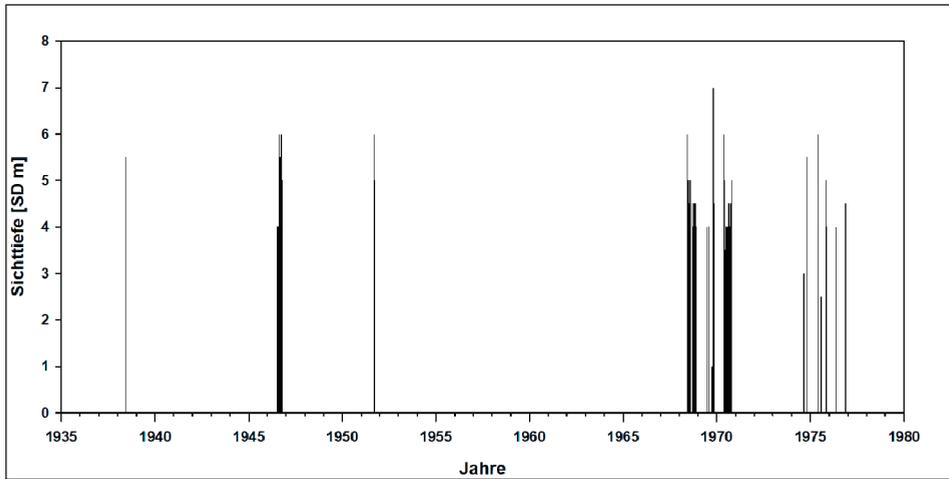
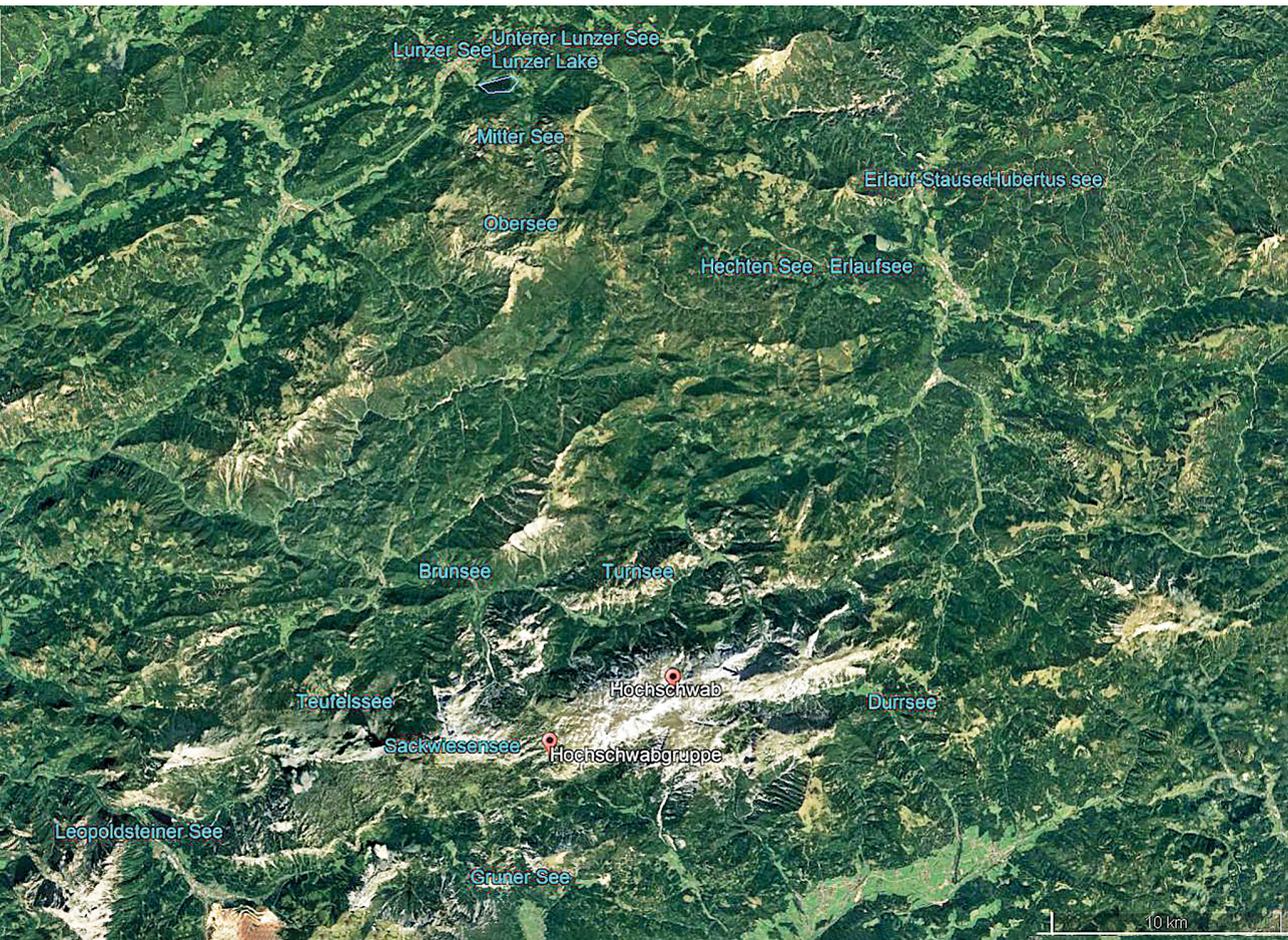


Abb. S3: Alle verfügbaren Messungen der Sichttiefe im Lunzer Obersee zusammengestellt aus den Notizen im Nachlass Berger. – Fig. S3: All available Secchi-depth readings from Lunzer Obersee assembled from the notebooks of Berger's legacy.

Abb. S4: Orthophoto der Umgebung des Hochschwabs mit Lunzer Region im Norden und den Seen des Gebietes (© Google Earth). – Fig. S4: Orthophoto of the surroundings of the Hochschwab mountain with the Lunz region in the north and the lakes of the area (© Google Earth).



Literatur

- Adamicka P (1981) Die Fische des Lunzer Seetales. Jahresbericht der Biologischen Station Lunz 5, 139–141. https://www.zobodat.at/publikation_series.php
- Albrecht O (1924) Die Chironomidenlarven des Mittersees bei Lunz (Niederösterreich). Verhandlungen der Internationalen Vereinigung Limnologie 2, 183–209. <https://doi.org/10.1080/03680770.1924.11898306>
- Berger F (1938) Zur Methodik der Gesamtphosphor- und Phosphatbestimmung. Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie 37, 420–424. <https://doi.org/10.1002/iroh.19380370409>
- Berger F (1948) Über den pH und seine Bestimmung. Mikrokosmos 38, 1–6
- Berger F (1955) Die Dichte natürlicher Gewässer und die Konzentrations-Stabilität in Seen. Archiv für Hydrobiologie Supplement 22, 286–294
- Berger F (1971) Zur Morphometrie der Seebecken. Carinthia II, Sonderheft 31, 29–39
- Berger F (1983) Wie „sauer“ sind eigentlich Regen und Schnee? Jahresbericht der Biologischen Station Lunz 6, 211–232
- Berger F (1987) Natürliche Sehenswürdigkeiten des Lunzer Seetales – Ein Exkursionsführer. Jahresbericht der Biologischen Station Lunz 10, 30–38
- Berger F, Lanzenberger E (1978) Schichtung und Umschichtung in Alpenseen, ein Beitrag zum Problem der Meromixie. Jahresbericht der Biologischen Station Lunz 1, 88–96
- Berger F, Lanzenberger E (1987) Beiträge der Biologischen Station Lunz zum IHP 1975–1980. Archiv Lagerstättenforschung, Geol.B._A. 8, 61–67. ISBN 3-900312-57-5
- Brehm V (1907) Über das Vorkommen des *Diaptomus tatricus* in den Ostalpen und über *D. kugelwieseri*. Zoologischer Anzeiger 31, 319–328
- Brehm V (1910) Charakteristik der Fauna des Lunzer Mittersees. Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie 2, 741–748
- Brehm V (1930) Einführung in die Limnologie. Berlin, Springer-Verlag, Berlin 261p
- Brehm V (1942) Nochmals die Biocoenosen der Lunzer Gewässer. Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie 42, 289–316
- Brehm V, Ruttner F (1926) Die Biocönosen der Lunzer Gewässer. Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie 16, 281–391. <https://doi.org/10.1002/iroh.19260160503>
- Bretschko G (1963) Zur Hydrobiologie des Grünen See bei Tragöß (Stmk.). Diss., Univ. Graz 102p
- Bretschko G (1966) Der Grüne See bei Tragöß, Steiermark. Ein Beitrag zur Karstlimnologie. Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie 51, 699–726. <https://doi.org/10.1002/iroh.19660510503>
- Bryce D (1926) Report on Material from the Biological Station at Lunz. Archiv für Hydrobiologie 16, 513–516
- Czurda V (1940) Zur Kenntnis der bakteriellen Sulfatreduktion I, Archiv Mikrobiologie 11, 187–204. <https://doi.org/10.1007/BF00407320>
- Daim T J, Schneider A (1995) Vergleichende Wachstumsuntersuchungen an zwei Populationen des Seesaiblings (*Salvelinus alpinus* L.) am Beispiel des Lunzer Seengebietes. Jahresbericht der Biologischen Station Lunz 15, 89–95
- Dirmhirn I (1951) Neuere Strahlungsmessungen in den Lunzer Seen. Wetter und Leben 3, 258–260
- Eckel O (1950) Über die numerische und graphische Ermittlung der Stabilität von Gewässern nach W. Schmidt. Schweizerische Zeitschrift Hydrologie 12, 38–46. <https://doi.org/10.1007/BF02486023>
- Eckel O (1955) Statistisches zur Vereisung der Ostalpen. Wetter und Leben 7, 49–57

- Fitzinger L (1879) Bericht über die gepflogenen Erhebungen bezüglich der in den beiden Seen Nieder-Österreichs, dem Erlaph- und dem Lunzer-See vorkommenden Fischarten. Sitzungsberichte Akademie d. Wissenschaften Wien, math.-nat. Klasse 78, 596–602
- Forsthuber H, Sary D (2021) Makrophytenkarte vom Lunzer Obersee 2021. Wasser Cluster Lunz, Newsletter 21, 6
- Fuchsig H (1924) Die im Wasser wachsenden Moose des Lunzer Seengebietes. Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie 12, 175–208
- Götzinger G (1908a) Der Lunzer Mittersee, ein Grundwassersee in den niederösterreichischen Kalkalpen. Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie 1, 153–176
- Götzinger G (1908b) Der Lunzer Mittersee, ein Grundwassersee in den niederösterreichischen Kalkalpen. 2. Teil: Thermik und Vereisung. Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie 1, 324–350
- Götzinger G (1909) Studien über das Eis des Lunzer Unter- und Obersees. Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie 2, 386–396 + 4 Tafeln
- Götzinger G (1912) Geomorphologie der Lunzer Seen und ihres Gebietes. (Die Lunzer Seen, I. Teil; Physik.) Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie, Supplement. 1 u. 2, (1912) ohne SZ
- Götzinger G (1914) Bericht über die physikalisch-geographischen Untersuchungen an den Lunzer Seen. Vortrag, gehalten vor der 85. Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte zu Wien, 23. September 1913. Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie 6, 538–547
- Götzinger G (1917) Die Eisverhältnisse der Lunzer Seen. Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie, Supplement 5, 1–159
- Gruber V (2012) Die Familie Kupelwieser und Lunz am See. Wien, Dipl. Univ. Wien 116p
- Hadl G (1972) Zur Ökologie und Biologie der Pisidien (Bivalvia: Sphaeriidae) im Lunzer Untersee. Sitzungsberichte Akademie der Wissenschaften Wien, math.-nat. Klasse 180, 317–338
- Hansgirg A (1905) Grundzüge der Algenflora von Niederösterreich. Botanisches Centralblatt 18, 417–522
- Hustedt F (1922) Die Bacillariaceen-Vegetation des Lunzer Seengebietes (Nieder-Österreich). Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie 10, 39–112 (<https://doi.org/10.1002/iroh.19220100106>)
- Kainz MJ, Ptacnik R, Rasconi S, Hager HH (2017) Irregular changes in lake surface water temperature and ice cover in subalpine Lake Lunz, Austria. Inland Waters 7, 27–33 <https://doi.org/10.1080/20442041.2017.1294332>
- Kann E (1978) Systematik und Ökologie der Algen österreichischer Bergbäche. Archiv für Hydrobiologie, Supplement 53 (Monographische Beiträge) 4, 405–643
- Keissler C (1900) Das Plankton des (unteren) Lunzer Sees in Niederösterreich. Verhandlungen der Zoologisch-Botanischen Gesellschaft in Wien 50, 541–552
- Klausener C (1908) Die Blutseen der Hochalpen. Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie 1, 359–424
- Klein G, Steiner M (1929) Bakteriologisch-chemische Untersuchungen am Lunzer Untersee I. Die bakteriellen Grundlagen des Stickstoff- und Schwefelumsatzes im See. Österreichische Botanische Zeitschrift 78, 289–324. <https://www.jstor.org/stable/43335707>
- Kosswig K (1964) Der Sackwiesensee im Hochschwabgebiet: (zur Limnologie eines dystrophen Gipsgewässers), Graz, Univ, Diss, 99 S. + III Graphiken. <http://data.onb.ac.at/rec/AC01066060>
- Kosswig K (1967) Der Sackwiesensee in den Ostalpen (Hochschwabgebiet). Zur Limnologie eines dystrophen Gipsgewässers. Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie 52, 321–359 <https://doi.org/10.1002/iroh.19670520303>
- Kubasta J (1973) Die Planktonrotatorien des Lunzer Untersees in den Jahren 1969–1971: Taxonomie, Abundanz und Vertikalverteilung. Diss. Univ. Wien 163p

- Kusel-Fetzmann E (1978) Moore in Niederösterreich. Wissenschaftliche Schriftenreihe Niederösterreich 37, NÖ Pressehaus, St. Pölten 37p (ISBN 3 85326 525 1)
- Lenzenweger R (1993) Beitrag zur Kenntnis der Desmidiaceenflora des Lunzer Obersees. Linzer biologische Beiträge 25, 283–320
- Löffler H (1984) Professor Dr. Franz Berger – 80 Jahre. Archiv für Hydrobiologie 101, 3–7
- Lundbeck J (1936) Untersuchungen über die Mengenverteilung der Bodentiere in den Lunzer Seen. Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie 33, 50–72
- Malicky G (1979) Das Phytoplankton des Lunzer Untersees im Jahr 1978. Jahresbericht der Biologischen Station Lunz 2, 95–97
- Malicky G (1980) Das Phytoplankton des Lunzer Untersees im Jahr 1979. Jahresbericht der Biologischen Station Lunz 3, 137–139
- Malicky G (1981) Das Phytoplankton des Lunzer Untersees im Jahr 1980. Jahresbericht der Biologischen Station Lunz 4, 159–162
- Malicky G (1982) Das Phytoplankton des Lunzer Untersees im Jahr 1981. Jahresbericht der Biologischen Station Lunz 5, 125–127
- Malicky G (1984) Das Phytoplankton des Lunzer Untersees im Jahre 1983. Jahresbericht der Biologischen Station Lunz 7, 171–173
- Malicky G (1985) Das Phytoplankton des Lunzer Untersees im Jahr 1984. Jahresbericht der Biologischen Station Lunz 8, 86–88
- Malicky G (1987) Die limnologische Entwicklung des Lunzer Untersees in den Jahren 1978–1985. Jahresbericht der Biologischen Station Lunz 10, 158–174
- Manlik M (1988) Qualitative und quantitative Untersuchungen über das Phytoplankton des Lunzer Obersees. Diss. Univ. Wien 219p
- Mathieu-Resuge M, Martin-Creuzburg M, Twining CW, Parmar TP, Hager HH, Kainz MJ (2021) Taxonomic composition and lake bathymetry influence fatty acid export via emergent insects. Freshwater Biology 66, 2199–2209. <https://doi.org/10.1111/fwb.13819>
- Metz H (1966) Limnologische Untersuchungen am Leopoldsteinersee. Diss. Univ. Graz 132p
- Micoletzky H (1913) Freilebende Süßwasser-Nematoden der Ostalpen. 1. Teil der vorläufigen Mitteilung: Die freilebenden Süßwassernematoden des Lunzer Seengebietes. Akademie der Wissenschaften Wien, math.-nat. Klasse 122, 111–122
- Micoletzky H (1914a) Die freilebenden Süßwassernematoden der Ostalpen. 2. Teil der vorläufigen Mitteilung. Zoologische Jahrbücher. Abt. für Systematik, Geographie und Biologie der Tiere 36, 331–546
- Micoletzky H (1914b) Freilebende Süßwasser-Nematoden der Ost-Alpen mit besonderer Berücksichtigung des Lunzer Seengebietes. Zoologisches Jahrbuch, Abt. Systematik 36, 31–546
- Mikschi E (1989) Rotifer distribution in relation to temperature and oxygen content. Hydrobiologia 186, 209–214 (<https://doi.org/10.1007/BF00048914>)
- Mikschi E (1990) Taxonomie und Ökologie des Zooplanktons des Lunzer Obersees. Diss. Univ. Wien 148p
- Müller H (1934) Über das Auftreten von Nitrit in einigen Seen der österreichischen Alpen. Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie 30, 428–437
- Müller H (1937) Über die Auswirkungen des Schneedruckes auf die Schwinggrasen und die biochemische Schichtung des Lunzer Obersees. Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie 35, 654–678
- Müller H (1938) Beiträge zur Frage der biochemischen Schichtung im Lunzer Ober- und Untersee. Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie 36, 433–500

- Müllner J (1924) Zur Vereisung der Seen der Ostalpen. *Geografiska Annaler* 6, 131–179. <https://doi.org/10.2307/519617>
- Mulley G (1914) 2. Analysen des Schlammes der Lunzer Seen. In Mulley G, Wittmann J, Ruttner F (1914) Die Lunzer Seen. Bericht über die Ergebnisse der naturwissenschaftlichen Aufnahmen im Arbeitsgebiet der Biologischen Station Lunz, I. Teil: Physik, C. Chemie des Wassers und des Schlammes, *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie, Hydrographisches Supplement* 6(S1), 12–16
- Mulley G, Wittmann J (1914) 1. Analysen des Wassers der Lunzer Seen. In Mulley G, Wittmann J, Ruttner F (1914) Die Lunzer Seen. Bericht über die Ergebnisse der naturwissenschaftlichen Aufnahmen im Arbeitsgebiet der Biologischen Station Lunz, I. Teil: Physik, C. Chemie des Wassers und des Schlammes, *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie, Hydrographisches Supplement* 6(S1), 1–11
- Nägler K (1911) Studien über Protozoen aus einem Almtümpel. I. *Amoeba hartmanni* n. sp. *Archiv für Protistenkunde* 22, 56–70
- Pascher A, Jahoda R (1928) Neue Polyblepharidinen und Chlamydomonadinen aus den Almtümpeln bei Lunz. *Archiv für Protistenkunde* 61, 239–281
- Pivoda B (1975) Qualitative und quantitative Untersuchungen über das Phytoplankton des Lunzer Untersees im Vergleich zu früheren Untersuchungen. Diss. Univ.Wien 116p + 145 Abb
- Pötsch I S (1856) Beitrag zur Mooskunde Niederösterreichs. *Verhandlungen Zoo.-Bot. Gesellschaft Wien* 6, 355–362
- Pötsch S I (1857) Beitrag zur Lebermooskunde Niederösterreichs. *Verhandlungen Zoo.-Bot. Gesellschaft Wien* 7, 101–104
- Rauch A, Schagerl M (2003) Ein Beitrag zur Algenflora des Schwingrasens am Lunzer Obersee (Österreich). *Verhandlungen Zoologisch-Botanische Gesellschaft Wien* 140, 67–92
- Rauch A, Fesl C, Schagerl M (2006) Influence of environmental variables on algal associations from a floating vegetation mat (Schwingmoor Lake Lunzer Obersee, Austria). *Aquatic Botany* 84, 129–136. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2005.08.004>
- Ravera O (1966) Stability and pattern of distribution of the benthos in different habitats of an alpine oligotrophic lake: Lunzer Untersee. *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Limnologie* 16(1), 233–244. <https://doi.org/10.1080/03680770.1965.11895689>
- Redinger K (1931) *Siderocapsa coronata* Redinger eine neue Eisenbakterie aus dem Lunzer Obersee. *Archiv für Hydrobiologie* 22, 410–414
- Redinger K (1934) Studien zur Ökologie der Moorschlenken. Beihefte Botanisches. Centralblatt. 52, Abt B, 231–309
- Ruttner F (1909) Tägliche Tiefenwanderungen von Planktontieren unter dem Eise. *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie* 2, 397–423
- Ruttner F (1914 a) 3. Das elektrolytische Leitvermögen des Wassers der Lunzer Seen. *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie* 6(S1), 17–39. <https://doi.org/10.1002/iroh.19150060702>
- Ruttner F (1914 b) Bericht über die Planktonuntersuchungen in den Lunzer Seen. Vortrag, gehalten vor der 85. Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte in Wien *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie* 6, 518–527. <https://doi.org/10.1002/iroh.19140060603>
- Ruttner F (1930) Das Plankton des Lunzer Untersees; seine Verteilung in Raum und Zeit der Jahre 1908–1913. *Internationale Revue d. gesamten Hydrobiologie* 23, 1–287. <https://doi.org/10.1002/iroh.19300230303>
- Ruttner F (1937) Limnologische Studien an einigen Seen der Ostalpen. *Archiv für Hydrobiologie* 32, 167–319
- Ruttner F (1942) Eisenlösung und Eisenfällung in Binnengewässern. *Archiv. für Lagerstättenforschung* 75, 16–28

- Ruttner F (1954) „Invasionen“ und vorübergehende Änderungen des Planktonbestandes in dem Lunzer See. *Wetter und Leben* 6, 10–12
- Ruttner F (1955 a) Über die Entstehung meromiktischer Zustände in einem kaum drei Meter tiefen Quellsee. *Memorie dell'Istituto Italiano di Idrobiologia Supplement* 8, 265–280.
- Ruttner F (1955 b) Der Lunzer Mittersee, ein Quellsee mit zeitweise meromiktischer Schichtung. *Archiv für Hydrobiologie* 22, 480–487
- Ruttner F, Sauberer F (1938) Durchsichtigkeit des Wassers und Planktonschichtung. Einige Beobachtungen in den Lunzer Seen. *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie* 37, 405–419. <https://doi.org/10.1002/iroh.19380370408>
- Ruttner-Kolisko A (1975) The vertical distribution of planktonic rotifers in a small alpine lake with a sharp oxygen depletion (Lunzer Obersee). *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung Limnologie* 19, 1286–1294. <https://doi.org/10.1080/03680770.1974.11896182>
- Ruttner-Kolisko A (1977) Population dynamics of rotifers as related to climatic conditions in Lunzer Obersee and Untersee. *Archiv für Hydrobiologie, Beiheft Ergebnisse der Limnologie* 8, 71–76
- Ruttner-Kolisko A (1978) Durchflutung und Produktion im Lunzer Untersee. *Jahresbericht der Biologischen Station Lunz* 1, 98–115
- Ruttner-Kolisko A (1981) Abundanz und Sukzession der dominanten Rotatorien-Arten im Pelagial des Lunzer Untersees. *Jahresbericht der Biologischen Station Lunz* 4, 189–194
- Ruttner-Kolisko A (1985) Distribution of Rotifers in a transect across the Lunz Untersee. *Jahresbericht der Biologischen Station Lunz* 8, 99–103
- Ruttner-Kolisko A, Malicky G (1988) Succession and abundance of Rotifers in Lunzer Untersee as determined by biological interactions and abiotic events. *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung Limnologie* 23, 510–515
- Ruzicka K, Schagerl M (2004) Hydrochemie und Phytoplanktongemeinschaften des Lunzer Obersees (Niederösterreich). *Linzer biologische Beiträge* 36, 1317–1337
- Sampl H (1964) *Limnologische Untersuchungen am Erlaufsee*. Diss. Univ. Graz 160p
- Sampl H (1971) Die planktischen Rotatorien des Erlaufsees. *Mitteilungen des Naturwissenschaftlichen Vereins Steiermark* 100, 407–412
- Sampl H (1976 a) Vergleichende limnologische Untersuchungen an zwei benachbarten Ostalpenseen, dem Erlaufsee und dem Lunzer Untersee. *Archiv für Hydrobiologie* 63, 533–556
- Sampl H (1976b) Beitrag zur Kenntnis der benthalen und Ichtyofauna des Erlaufsees. *Mitteilungen des Naturwissenschaftlichen Vereins Steiermark* 97, 52–66
- Sauberer F (1939) Beiträge zur Kenntnis des Lichtklimas einiger Alpenseen. *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie* 39, 20–55. <https://doi.org/10.1002/iroh.19390390103>
- Sauberer F, Eckel O (1938) Zur Methodik der Strahlungsmessungen unter Wasser. *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie* 37(4), 257–289. <https://doi.org/10.1002/iroh.19380370401>
- Schiemer F (1967) Ein Beitrag zur Ökologie des submersen Phytals eines oligotrophen Sees unter besonderer Berücksichtigung der Nematoden und Chironomiden. Diss. Univ. Wien 197p
- Schiemer F (1968) Die Generationsentwicklung einiger Chironomiden im Litoral des Lunzer Untersees. *Annales Zoologica Fennica* 5, 126
- Schiemer F (1984) *Theristus franzbergeri* n. sp., a groundwater nematode of marine origin from the Danube, *Archiv für Hydrobiologie* 101, 259–263
- Schiemer F (2014) Eine kurze Geschichte der Limnologie in Österreich. *Denisia* 33, 33–59
- Schlott-Idl K (1984) Die räumliche und zeitliche Verteilung der pelagischen Ciliaten im Lunzer Untersee 1981/82. *Archiv für Hydrobiologie* 101, 279–287

- Steemann-Nielsen E (1959) Untersuchungen über die Primärproduktion des Planktons in einigen Alpengseen Österreichs. *Oikos* 10, 24–37. <https://doi.org/10.2307/3564904>
- Thienemann A (1951) Lunzer Chironomiden. Ergebnisse von Untersuchungen der stehenden Gewässer des Lunzer Seengebietes (Niederösterreich). *Archiv für Hydrobiologie* 18, 1–202
- Woltereck R (1906) Mitteilungen aus der Biologischen Station Lunz. *Biologisches. Centralblatt* 26, 463–480
- Zibuschka F (1981) Benthische Bakterien. Jahresbericht der Biologischen Station Lunz 4, 105–108
- Zih A, Ruttner F (1932) Beiträge zur Bakteriologie der Lunzer Seen. *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie* 26, 431–443. <https://doi.org/10.1002/iroh.19320260506>

Eingelangt: 2022 04 01

Anschrift:

Martin Dokulil, E-Mail: martin.dokulil@univie.ac.at, ORCID 0000-0002-6369-1457
Eisenaustraße 20, 5310 Mondsee. Senior Sci., i.R., Research Department for Limnology,
Mondsee, Univ. Innsbruck.

