

Ber. nat.-med. Ver. Salzburg	Band 18	S. 45-72	Salzburg 2016
------------------------------	---------	----------	---------------

DER MEROMIKTISCHE KROTTENSEE BEI HÜTTENSTEIN (Land Salzburg)

Peter SCHABER und Mario LINDLBAUER

Zusammenfassung:

Der Krottensee zog seit der Entdeckung der Meromixie in den 1930er-Jahren das Interesse limnologischer Forschung auf sich. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse werden zusammengefasst und den rezenten Ergebnissen gegenübergestellt.

In einer dichterem Untersuchungsreihe des Gewässerschutzes des Landes Salzburg konnte Klarheit über die Durchmischungstiefe gewonnen werden. Dazu wurde über zwei Jahre der Temperaturverlauf im See über eine Messkette kontinuierlich aufgezeichnet. Daraus und aus den physikalischen sowie chemischen Ergebnissen ergab sich ein durchmischbarer Wasserkörper bis in 23 m Tiefe. Das darunter liegende Monimolimnion umfasst ein Drittel des Seevolumens.

Die Untersuchungen zeigen deutlich die stabile Meromixie des Sees. Entsprechend der Nährstoffe, der Artenzusammensetzung und Menge des Phytoplanktons entspricht das Mixolimnion einem oligotrophen See.

Schlüsselwörter:

Meromixie, Mixolimnion, Trophie, inverse Temperaturschichtung, Chemokline, Phytoplankton, Zooplankton

1. Einleitung

„Zu den Umgebungen von St. Wolfgang, welche kein Reisender unbesucht lassen sollte gehören noch zwei kleinere Seen ... nämlich der Krotten- und Schwarzsee. Von ihrer anmuthigen Lage urtheilt ein gefühlvoller Fremder also: Natur scheint in diesem kleinen Thale ihren Modellensaal aufgeschlagen zu haben und was sie draußen an Seen und Felsen im Großen gebildet, hier erst in niedlichen, kleinen Bildern geformt zu haben.“ So schreibt ADOLF VON SCHADEN 1833 in seinem Taschenbuch „für Reisende durch Südbayern, Tyrol und das Salzburgische über den Krottensee oder Hüttensteiner See.“



Abbildung 1: Der sommerliche Krotensee (Foto: Mario LINDLBAUER, 2011)

Neben den Reise- und Naturfreunden zog der See nach FINDENEKGS Erkenntnis (1933), dass es Seen ohne Volldurchmischung gibt, das limnologische Interesse durch seine strenge Meromixie auf sich. Über einen pollenanalytisch ausgewerteten Bohrkern aus dem See wurde die spät- bis mittelpostglaziale Vegetationsgeschichte der Region dargestellt (BOBEK & SCHMIDT 1975, 1976), woraus sich ableiten ließ, dass diese Meromixie vermutlich bereits seit dem Spätboreal, etwa ab 7000 v. Chr., besteht (LÖFFLER 1978).

Wegen des zu den „normalen“ Seen deutlich anderen Verhaltens lag das Schwergewicht des Interesses auf der Erforschung physikalischer und chemischer Parameter (RUTTNER 1933, MÜLLER 1934, RUTTNER 1938, EINSELE 1940, BERGER 1980). RUTTNER (1938) prägt den Ausdruck „pseudoeutropher See“. Es zeigte sich, dass das nicht durchmischende Monimolimnion extrem hohe Konzentrationen von Eisen, Mangan und Ammonium, aber kaum Schwefelwasserstoff aufwies. Zum besseren Verständnis der limnischen Eisen- und Mangankinetik bzw. um die theoretischen chemischen Abläufe zu verifizieren und das Verhalten des Sees durch Einmischung des Monimolimnions zu studieren, wurde 1962 eine künstliche Durchmischung durch Einpressen von Luft induziert (DANECKER 1971).

SAUBERER & RUTTNER (1941) sowie FINDENEK (1959, 1962) befassten sich mit den Lichtverhältnissen im See. Faunistische Aufnahmen des Phyto- und Zooplanktons erfolgten durch IMHOF (1885) und BREHM & ZEDERBAUER (1906, 1912). Quantitative Angaben - auch für das Zooplankton - finden sich bei RUTTNER

(1938). Über die Primärproduktion berichtet FINDENEGG (1964). Notizen zum Rotatorienplankton finden sich zudem bei RUTTNER (1937, 1938) und RUTTNER-KOLISKO (1948), zu den Crustaceen bei PESTA (1923), ISCHREYT (1939), NAUWERCK (1991), GAVIRIA (1998) und GAVIRIA-MELO et al. (2005). Über das Verhalten von pelagischen Crustaceen im Abfluss des Sees verfasste REGNAUER (1975) seine Dissertation. Wenig bekannt ist über die Mollusken. KLEMM (1950) weist aus der Familie der Planorbiden das Vorkommen von *Gyraulus rossmaessleri* nach, die jedoch später nicht mehr gefunden wurde (PATZNER 2006). Anlässlich der Untersuchungen über die Temperatur im See mittels Datalogger wurde *Dreissena polymorpha* durch den Gewässerschutz des Landes als Aufwuchs auf den Messfühlern nachgewiesen. Aus dem Krottenseebach, dem Seeabfluss, gibt es einen Nachweis für den Signalkrebs *Pacifastacus leniusculus* (PATZNER 1998).

„... gibt allerlei gemeine Fisch außer Saibling und Reinanken“ so die Hofkammer Hüttenstein 1608 (zit. FREUDLSPERGER 1936). In KOLLMANN'S Fischereikarte von 1898 werden Aitel, Hecht, Saibling (Schwarzreuter) und Seeforelle angegeben (JÄGER & SCHILLINGER 2003). Nach Angaben des Landesfischereiverbandes Salzburg werden vor allem Hecht und Seeforelle (*S. trutta* f. *lacustris*) gefangen (HINTENBERGER 1974).

Der vorliegende Artikel, der im Wesentlichen die Jahre 2006 bis 2008 behandelt, beruht auf vom Gewässerschutz des Landes Salzburg gewonnenen und zur Verfügung gestellten Daten, die tabellarisch in der Masterarbeit von LINDLBAUER (2014) angeführt sind.

2. Geographische und morphometrische Daten

Der kleine See liegt in 579 m Meereshöhe zwischen dem Mond- und Wolfgangsee, südlich unterhalb des Scharflingpasses (Abb. 1, 2 und 3). Geologisch ist er am nördlichen Rand der Kalkalpen am Übergang zum Flysch positioniert. Er liegt in einer primär tektonisch und gesteinsbedingten (Liasfleckenmergel) Senke (PLÖCHINGER 1973) und ist der Überrest einer schon vor der Eiszeit vorhanden gewesenen Vertiefung, die durch glaziale Schotter im Westen und Südosten abgedämmt wurde (PENCK 1882, FUGGER 1905, PENCK & BRÜCKNER 1909.). Nach WALLMANN (1868) handelt es sich um einen Muldensee.



Abb. 2: Geographische Lage des Krottensees (SAGIS)



Abb. 3: Orthofoto (SAGIS)

Die gesammelten geographischen und morphometrischen Daten sind in Tabelle 1, die Spiegelflächen der einzelnen Tiefen und die Volumina in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 1: Geographische und morphometrische Daten des Krottensees

Koordinaten im BMN	Rechtswert	m	454 600
	Hochwert	m	298 850
Geografische Länge Ost			13°23'
Geografische Breite Nord			47°47'
Höhenangabe		m ü. A.	579
Einzugsgebiet inkl. See	E	km ²	7,68 ¹⁾
Umgebungsfaktor	E/F	l	95
Seehöhe bei MW	h	m ü. A.	579
Seefläche bei MW	F	ha	8,10
Volumen bei MW	V	m ³	1.991.500
Länge	$l_{\max}$	m	380
Breite	$b_{\max}$	m	315
Tiefe	z_m	m	45,5
mittlere Tiefe	z_{mittl}	m	24,6
relative Tiefe	z_r	%	14,2
kritische Tiefe	z_{cr}	m	16,9 ²⁾ 23,1 ³⁾
Umfang	L	m	1140
Uferentwicklung	D_L	1	1,13
Zuflüsse:			
Kesselbach, Zeppezauer Bach			
Abfluss:			
Krottenseebach			

¹⁾ GIS, ²⁾ BERGER (1955), ³⁾ SLANINA (1981)

Tabelle 2: Spiegelflächen und Volumina des Krottensees (nach Tiefenkarte REGNAUER, 1975)

Wassertiefe	Spiegelfläche	Inhalt	
m	m ²	m ³	
		Schichten	Summen
0	81 000		
1	78 300	79 659	79 659
2	74 200	76 241	155 900
3	70 800	72 493	228 393
4	68 800	69 798	298 191
5	67 500	68 149	366 340
6	66 700	67 100	433 440
7	65 400	66 049	499 488
8	64 200	64 799	564 288
9	62 900	63 549	627 836
10	60 400	61 646	689 482
11	59 200	59 799	749 281
12	58 300	58 749	808 031
13	57 100	57 699	865 730
14	55 800	56 449	922 178
15	54 170	54 983	977 161
16	52 900	53 534	1 030 695
17	51 250	52 073	1 082 768
18	50 400	50 824	1 133 592
19	49 200	49 799	1 183 391
20	47 900	48 549	1 231 940
21	47 100	47 499	1 279 439
22	45 800	46 448	1 325 888
23	44 600	45 199	1 371 086
24	44 300	44 450	1 415 536
25	42 500	43 397	1 458 933
26	40 800	41 647	1 500 580
27	39 600	40 199	1 540 779
28	38 300	38 948	1 579 727
29	37 500	37 899	1 617 626
30	35 800	36 647	1 654 273
31	34 600	35 198	1 689 471
32	33 750	34 174	1 723 645
33	32 100	32 922	1 756 567
34	30 900	31 498	1 788 065
35	29 200	30 046	1 818 111
36	27 100	28 143	1 846 254
37	25 000	26 043	1 872 297
38	22 900	23 942	1 896 240
39	20 400	21 638	1 917 878
40	17 500	18 931	1 936 809
41	15 000	16 234	1 953 043
42	12 100	13 524	1 966 567
43	9 600	10 826	1 977 393
44	6 700	8 107	1 985 500
45	3 300	4 901	1 990 400
45,5	0	1 100	1 991 500

Erstmals wurde der See für den von PENCK und RICHTER 1895 herausgegebenen „Atlas der österreichischen Alpengseen“ von Friedrich SIMONY (1849, 1850, 1860, 1864, 1879) gelotet und eine Tiefenkarte erstellt (MÜLLNER & SIMONY, 1895). Sie

findet sich auf der Tafel mit dem Wolfgangsee (Abb. 4). Diese Karte im Atlas wurde

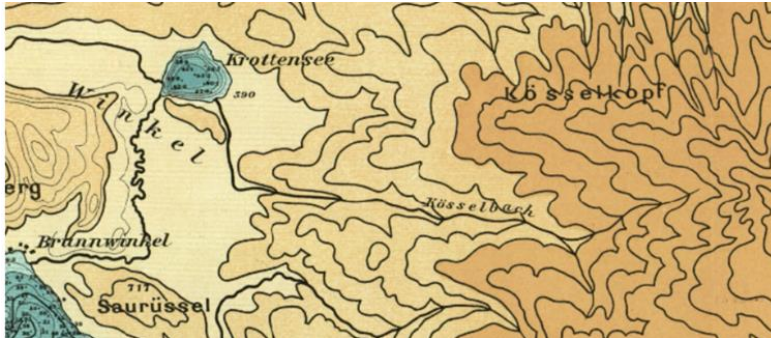


Abbildung 4: Der Krottensee im PENCK'schen Seenatlas 1895

von MÜLLNER (1896) kommentiert. Die unterschiedlichen Angaben der Maximalen Tiefe zwischen 43,6 und 45,5 m in SIMONYS Publikationen zwischen 1849 und 1879 veranlasste LORENZ (1899) zu kritischen Bemerkungen. FUGGER (1905) veröffentlicht eine Neuvermessung (Abb. 5). Die bislang letzte Tiefenkarte (Abb. 6), aus der morphometrischen Parameter entnommen bzw. berechnet (Tab. 1 und 2) wurden, stammt von REGNAUER (1975).

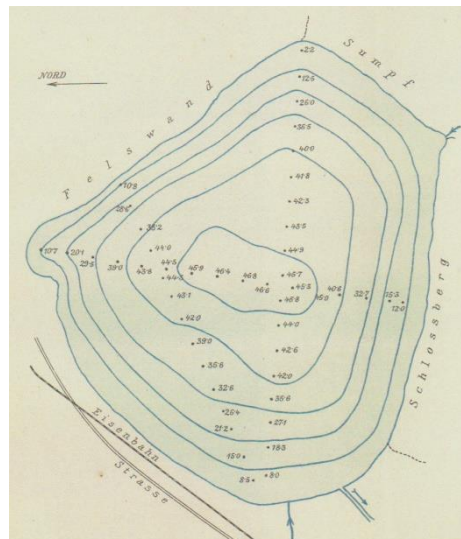


Abb 5: FUGGERS Tiefenkarte des Krottensees (FUGGER 1905)

Der See ist eine tiefe Wanne mit steilen Böschungen (Abb. 6). Die Querschnitte von Nord nach Süd und von Ost nach West sind maßstabsgetreu ohne Überhöhung dargestellt. Die mittlere Tiefe (z_{mittl}) von 24,6 m und die relative Tiefe (z_r) als prozentuelles Verhältnis der maximalen Tiefe des Sees zum mittleren Durchmesser der Seeoberfläche mit 14,2% sind sehr hoch. Sie charakterisieren einen See mit kleiner Oberfläche und großer Tiefe.

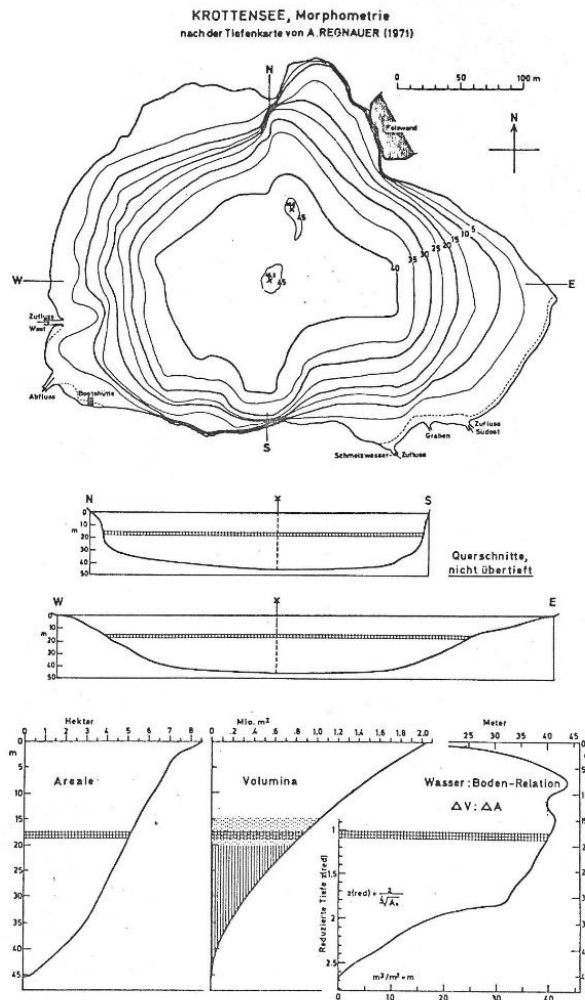


Abbildung 6: Tiefenkarte des Krottensees (REGNAUER, 1975)

Im meromiktischen See sind das Mixo- und das Monimolimnion als jeweils eigene Wasserkörper zu diskutieren. Anhand der kritischen Tiefe, die sich aus der 3,6ten (SLANINA, 1981) bzw. vierten Wurzel (BERGER, 1955) aus der Oberfläche recht gut abschätzen lässt, kann auch die Trennung der Wasserkörper vollzogen werden. Als kritische Tiefe (z_{cr}) bis zu der eine Vollzirkulation möglich ist ergeben sich demnach nach BERGER 17 m bzw. nach SLANINA rund 23 m.

3. Temperatur

Um die Durchmischungstiefe des Krottensees festzustellen, wurden von Juni 2006 bis Juni 2008 mittels Datalogger kontinuierliche Temperatureaufzeichnungen vorgenommen. Dabei wurde die Temperatur in Sechs-Stunden-Intervallen in sieben Wassertiefen aufgezeichnet, wovon sechs Tiefenstufen ausgewertet werden konnten. Trotz des defekten Sensors in 35 m ist der Informationsverlust vernachlässigbar, obwohl zwischen der vorletzten und letzten Messtiefe die Differenz von 17 Metern liegt. Die Temperaturschwankungen dürften hier unter Berücksichtigung der Variabilität in 25 m und in 42 m (Abb. 8) sehr gering sein und bei 0,2°C liegen.

Die Oberflächenschicht zeigt die erwarteten raschen Reaktionen auf wetterbedingte Erwärmungs- und Abkühlungsphasen. Auf das Ende Juli 2006 gemessene Maximum von 25°C erfolgt eine intensive Abkühlungsphase auf 13,5°C im ersten Augustdrittel, die das Wasser bis in 6 m Tiefe erfasst. Eine derartige Abkühlung wurde auch Ende August Anfang September des Folgejahres beobachtet. Ab Mitte September beginnt die kontinuierliche Abkühlung des Sees. Ende Dezember war der See bis in 20 m bei 5°C homotherm (Abb. 7). Über den Winter kühlt der See bis in zumindest 6 m Tiefe auf Temperaturen unter 4°C ab. Die winterlich inverse Temperaturschichtung des Mixolimnions ist 2006/07 deutlich kürzer als im Folgewinter. Die kurze Frühjahrsdurchmischung ist in beiden Jahren vermutlich nicht sehr tiefreichend. In 15 m ist jeweils nach der Herbstzirkulation ein kontinuierlicher Temperaturanstieg bis zur nächsten Herbstzirkulation ohne erkennbare Auswirkung einer Frühjahrsdurchmischung festzustellen.

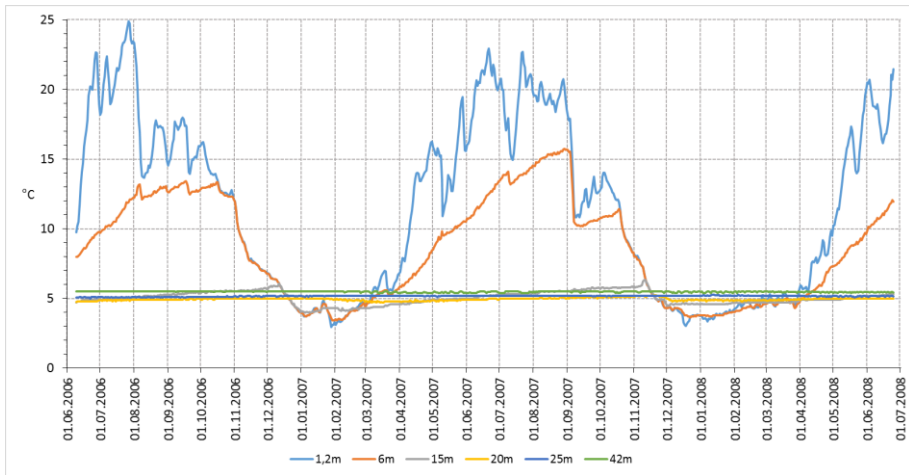


Abb. 7: Tagesmittelwerte der kontinuierlichen Temperaturmessung in sechs Tiefenstufen

Zur Verdeutlichung ist in Abbildung 8 der Temperaturverlauf ab 15 m in höherer Auflösung dargestellt. Die herbstliche Durchmischung erreicht 2006 im ersten Dezemberdrittel 15 m Tiefe und kühlt das Wasser, das sich während des Sommers auf 6,1°C erwärmt hat, innerhalb von etwa drei Wochen auf 4,0°C ab. Von diesem Zeitpunkt an erwärmt sich das Wasser wieder weitgehend kontinuierlich auf 6,4°C, bis die Herbstzirkulation 2007 am Ende des ersten Novemberdrittels diese Tiefe erreicht. Wie im Vorjahr tritt nach drei Wochen das Ende der Abkühlung ein. Mit 4,4°C ist die Temperatur um 0,4°C höher als im Vorjahr. Die anschließende Erwärmung läuft langsamer als im Vorjahr ab.

Rund drei Wochen später wirkt sich diese Abkühlung in 20 m aus. Die Wassertemperatur nimmt von Ende Jänner bis Mitte März unregelmäßig aber kontinuierlich um 0,3°C von 5,0°C auf 4,7°C ab. Zehn Tage nach Erreichen der Höchsttemperatur in 15 m, wird am 21. November 2007 mit 5,3°C hier die jährliche Maximaltemperatur erreicht. Nach rund drei Wochen hat sich das Wasser um 0,6°C auf das Minimum 4,7°C abgekühlt und steigt anschließend an.

Geringe Temperaturänderungen sind auch in 25 m zu beobachten. Die von Juni bis Dezember 2006 zwischen 5,0°C und 5,2°C schwankende Temperatur stabilisiert sich anschließend bis Jänner 2008 bei 5,2°C. Mitte Jänner 2008 wird kurzfristig mit 5,3°C ein Maximum erreicht. Bis zum Ende der Untersuchung ergaben sich Schwankungen zwischen 5,0 und 5,2°C mit Tendenz zur Abkühlung.

In 42 m ist die Temperatur weitgehend stabil. Sie schwankt zwischen 5,4 und 5,5°C.

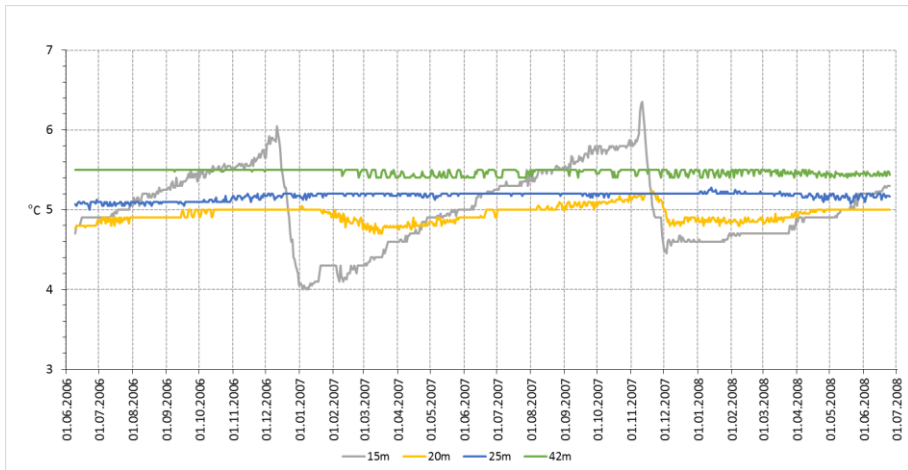


Abb. 8: Temperaturen der Tiefenstufen zwischen 15 m und 42 m

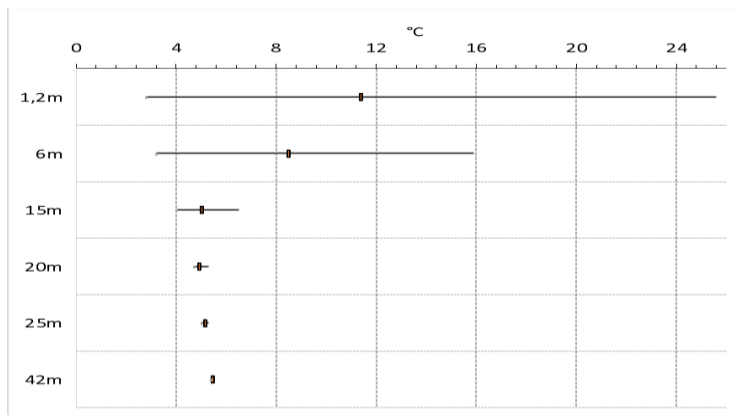


Abb. 9: Mittelwerte und Spannweiten der Temperatur von Juni 2006 bis Juni 2008

Die kontinuierliche Temperaturnaufnahme zeigt, dass die Zirkulation des Wasser bis in etwas mehr als 20 m erfasst. Deutliche chemische Austauschvorgänge treten allerdings nur bis in etwa 17 m, der nach BERGER berechneten kritischen Tiefe, auf. Die Sauerstoffanalysen lassen allerdings einen Wasseraustausch in größeren Tiefen erkennen. So wurden in 20 Metern Konzentrationen zwischen 0,3 und 1,4 mg/l gemessen. Im Jänner 2007 waren Spuren noch in 23 m nachweisbar, was der Berechnung der Durchmischungstiefe nach SLANINA (1981) entspricht. Unterhalb dieser Tiefe lag der Sauerstoffgehalt als Tracer für aerobe Vorgänge immer unterhalb der Nachweisgrenze. Das bis in 23 m reichende Mixolimnion

umfasst rund 1,4 Millionen Kubikmeter und kann als „normaler“ See betrachtet und bewertet werden. Mit 620.400 m³ hat das Monimolimnion einen Anteil von rund einem Drittel (31%) des Gesamtvolumens.

Der Krottensee bildet sowohl im Sommer als auch im Winter eine deutliche thermische Schichtung aus. Das Epilimnion reicht bis in etwa 6 m Tiefe. An der Oberfläche variiert die Temperatur zwischen 2,8°C bei nicht gefrorenem See und maximal 25,6°C (Abb. 9). Im Winter ist das Mixolimnion temperaturbedingt invers geschichtet.

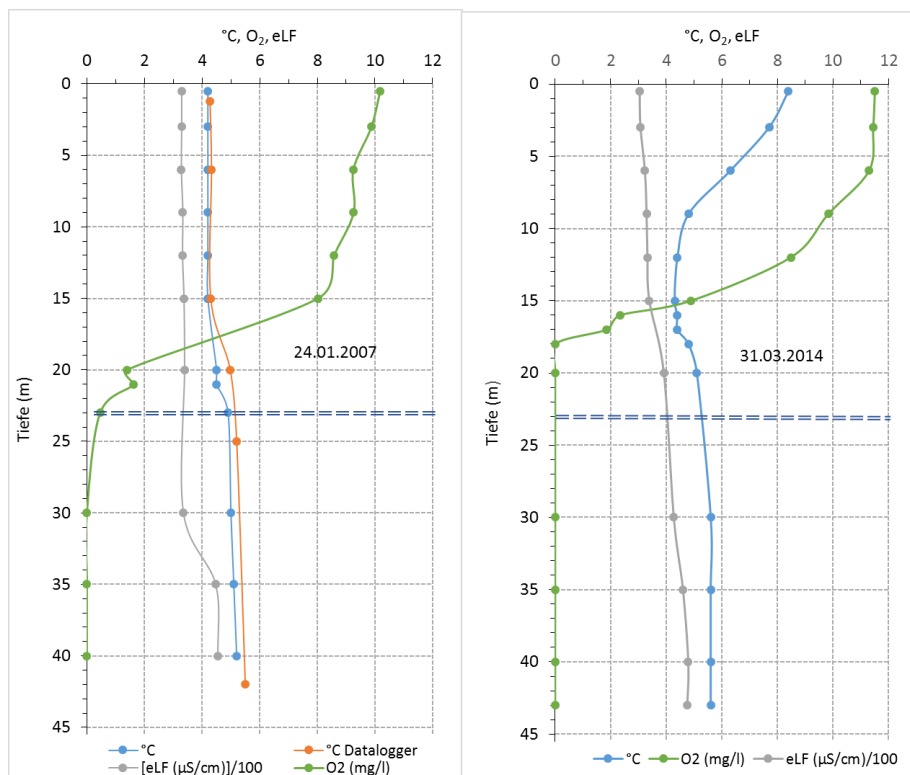


Abb. 10: Temperatur, Sauerstoffgehalt und elektrische Leitfähigkeit am 24.1.2007 und 31.3.2014. Strichlierte Linie markiert Grenze zwischen Mixo- und Monimolimnion

Das Monimolimnion ist ständig invers geschichtet (s. Abb. 9), wobei die Temperatur vom Minimum in der Wassersäule um 0,2°C bis 1,3° auf maximal 5,6°C ansteigt. Diese Situation ist in Abbildung 10 demonstrativ dargestellt, wobei das Jännerdatum die Wintersituation ohne Eisbedeckung des Sees darstellt. Die inverse

Temperaturschichtung beginnt unterhalb von 15 m mit einem deutlichen Sprung von 21 auf 23 m um 0,7°C auf 4,9°C. In 40 m betrug die Temperatur schließlich 5,2°C. Eine stärkere Zunahme der elektrischen Leitfähigkeit als Ausdruck der chemischen Beschwerung des Seewassers konnte erst ab 30 m beobachtet werden.

Der inverse, auf der Zunahme der gelösten Stoffe verursachte Temperaturanstieg, wird an einem Frühjahrstermin nochmals eindrucksvoll dargestellt (Abb. 10). Die Erwärmung des Mixolimnions reicht bereits bis in 12 m. In 15 m ist mit 4,3°C die Temperatur am niedrigsten. Anschließend steigt sie wieder auf 5,6°C an, die in 30 m erreicht und bis zum Grund beibehalten wird. Die Stabilität der Schichtung ist oberhalb von 15 m temperaturbedingt, unterhalb davon überwiegt der zunehmende Salzgehalt, was anhand des Anstiegs der elektrischen Leitfähigkeit bestätigt wird. Ausführlich sind die Abhängigkeiten der temperatur- und konzentrationsbedingten Stabilität im Krottensee von BERGER (1980) beschrieben.

4. Sichttiefe

Aus der Sichttiefe (Abb. 11) kann auf die Produktivität eines Sees geschlossen werden. Die bislang vom Gewässerschutz gemessenen Werte zwischen 4,1 m und 9 m dokumentieren den oligotropen Zustand des Mixolimnions. Die euphotische Zone umfasst den Bereich zwischen 10 m und 15 m bei Anwendung der Berechnung nach TILZER (1988) bzw. 23 m nach der Faustformel Sichttiefe mal 2,5.

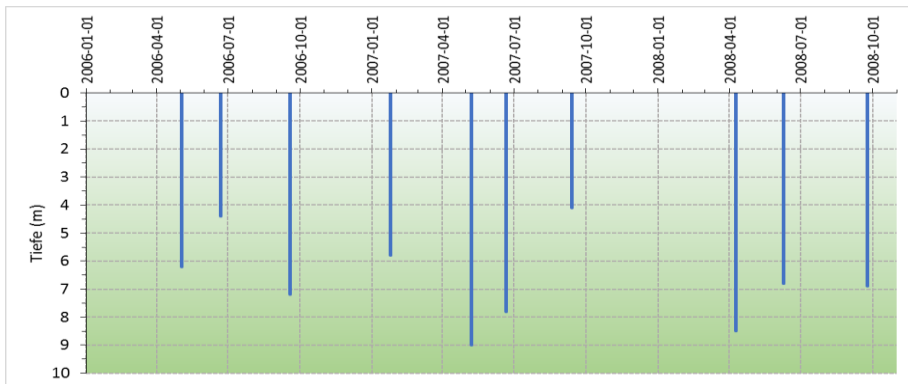


Abb 11: Sichttiefe (m) im Krottensee

5. pH-Wert

Der mit der Tiefe abnehmende pH-Wert liegt generell im basischen Bereich. Im Jänner 2007 wurde in 45 m mit pH 6,64 der niedrigste und im sauren Bereich liegende Wert gemessen. In der euphotischen Zone wird der pH-Wert von der photosynthetischen Aktivität des Phytoplanktons gesteuert, was auch an der Verteilung des gelösten Sauerstoffs (Abb. 16) ersichtlich wird. Maximal wurde in dieser Wasserschicht ein Anstieg auf pH 8,67 registriert. In Abbildung 12 ist die statistische Tiefenverteilung der gemessenen Werte dargestellt.

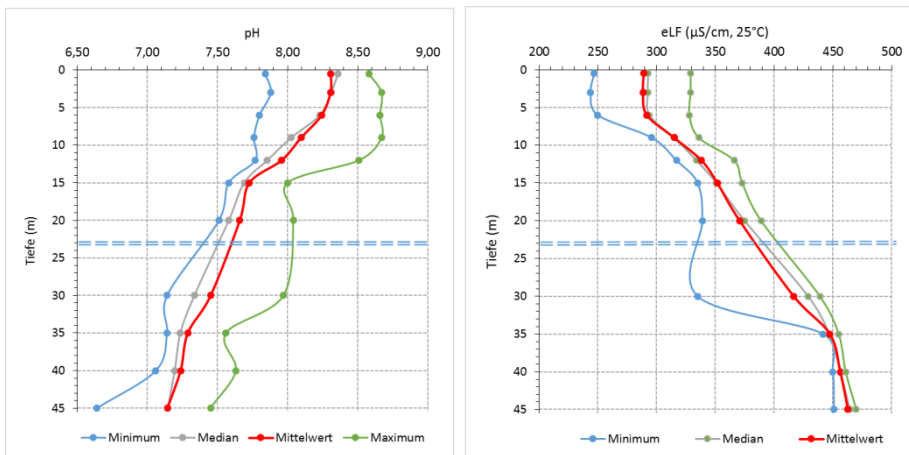


Abb 12: Statistische Tiefenverteilung von pH-Wert (links) und elektrischer Leitfähigkeit ($\mu\text{S}/\text{cm}$, 25°C ; rechts); Strichlierte Linie markiert Grenze zwischen Mixo- und Monimolimnion

6. Elektrische Leitfähigkeit

Die elektrische Leitfähigkeit als Maß für die Summe der gelösten ionenbildenden Stoffe reicht im gesamten See von 247 bis 470 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Der Durchschnitt liegt bei 365 $\mu\text{S}/\text{cm}$, was um 35 $\mu\text{S}/\text{cm}$ höher als im Wallersee und 115 $\mu\text{S}/\text{cm}$ höher als im Mattsee ist (SCHABER 2015).

Produktionsbedingt ist sie in der oberflächennahen Wasserschicht bis 6 m recht einheitlich. Unterhalb davon nimmt sie bis zum Grund kontinuierlich zu (Abb. 12). Der Bikarbonat-Anteil an der Leitfähigkeit liegt im Mittel bei 62% und schwankt zwischen 59 und 66%. Die dem Anteil der Salze starker Säuren entsprechende Restleitfähigkeit entspricht praktisch dem Sulfatgehalt, da Nitrate und Chloride äquivalentmäßig im See unbedeutend sind (BERGER 1980)

7. Alkalinität, Kalzium, Magnesium

Die Alkalinität steigt entsprechend dem Kalk-Kohlensäure Gleichgewicht zum Grund hin an. Die Schwankungsbreite liegt zwischen 2,40 und 4,78 mval/l (Abb. 13). Die niedrigen Werte im Epilimnion sind der Ausdruck der planktischen Fotosynthese, wobei Kalzium biogen gefällt wird und sedimentiert. Auf dem Weg in die Tiefe lösen sich die Kalzitkristalle pH-bedingt wieder auf und erhöhen damit das Säurebindungsvermögen des Wassers.

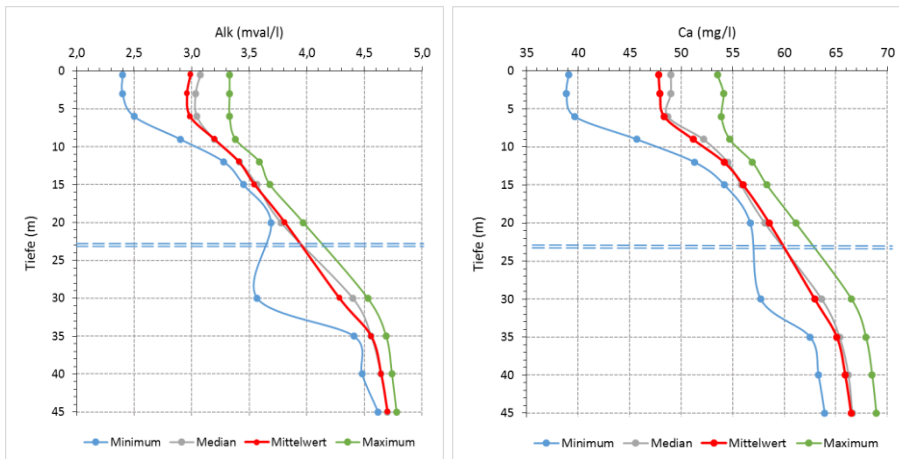


Abb. 13: Statistische Tiefenverteilung von Alkalinität (mval/l; links) und Kalzium (mg/l; rechts); Strichlierte Linie markiert Grenze zwischen Mixo- und Monimolimnion

Die von oben nach unten zunehmenden Kalzium-Konzentrationen (Abb. 13) schwanken zwischen 39 und 69 mg/l, der Mittelwert wurde mit 57 mg/l berechnet. Das gleiche Verhalten zeigt das Magnesium mit Konzentrationen von knapp 7 bis etwas mehr als 13 mg/l. Das durchschnittliche Verhältnis von Kalzium zu Magnesium liegt bei 5,5 zu 1.

8. Sulfat, Chlorid

Sulfat ist ein wichtiger Nährstoff für alle Organismen. Da es bei aeroben Bedingungen in ausreichender Menge vorhanden ist, kommt es durch die Bioaktivität zu keinen merkbaren Konzentrationsänderungen. Beim anaeroben Abbau organischer Substanzen dient Sulfat als Elektronenakzeptor von Schwefel reduzierenden

Bakterien. Dabei wird letztlich der Schwefel als Schwefelwasserstoff wieder abgespalten. Dieser Vorgang spielt im Krottensee eine wesentliche Rolle.

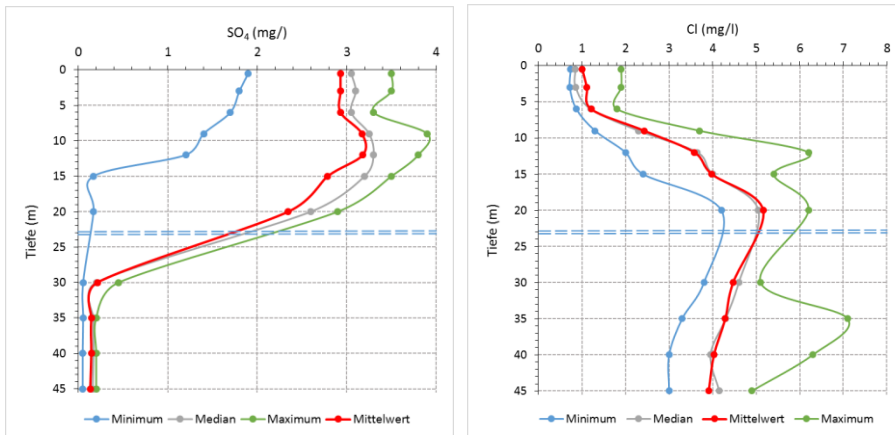


Abb. 14: Statistische Tiefenverteilung von Sulfat (mg/l; links) und Chlorid (mg/l; rechts); Strichlierte Linie markiert Grenze zwischen Mixo- und Monimolimnion

Mit durchschnittlich 2,9 mg/l ist der Sulfatgehalt im Mixolimnion deutlich niedriger, als im benachbarten Wolfgangsee, dessen mittlere Konzentration bei 4,5 mg/l liegt. Die Einzelwerte variieren von 3,9 mg/l und minimal 0,2 mg/l. Das Minimum deutet schon auf die Sulfatzehrung im Jahresverlauf und in der vertikalen Verteilung (Abb. 14 links) hin.

Die anaeroben Verhältnisse im Monimolimnion zeigen die Sulfatzehrung durch die bakterielle Aktivität. Die Konzentrationen liegen zwischen 0,5 mg/l und „nicht nachweisbar“. Der zu erwartende typische Geruch nach Schwefelwasserstoff war, wenn überhaupt, nur selten zu bemerken, da der Schwefelwasserstoff durch das „reichlich vorhandene Eisen abgefangen wird“ (BERGER 1980).

Chlorid als konservatives Element spielt im biologischen Kreislauf eine geringe Rolle, ist aber für die Ionenbilanz wichtig. Die Konzentrationen werden durch das hydrographische Regime der Seen durch Ein- und Austrag reguliert. Die Quelle ist vor allem die winterliche Straßensalzung, wobei das gelöste Natriumchlorid über die Schmelzwässer in die Seen gelangt. Bemerkenswert ist, dass in den 1930er-Jahren im Gegensatz zum ebenfalls meriomiktischen Toplitzsee im Krottensee keinerlei Chloride festgestellt werden konnten (RUTTNER 1938)

Die Konzentration nimmt von der Oberfläche bis zum Maximum, das stets in 20 m gemessen wurde, zu (Abb. 14 rechts). Der deutliche Rückgang im Monimolimnion

ist schwer erklärbar, da Chlorid nicht in den biologischen Kreislauf eingeht und der Austrag von Seewasser mit den hohen Chloridwerten aus dieser Tiefe ebenfalls auszuschließen ist. Die Einzelwerte liegen zwischen 0,7 und 7 mg/l

9. Natrium, Kalium

Die gleiche Tiefenverteilung (Abb. 15 links) wie das Chlorid zeigt das Natrium, das ebenfalls als konservatives Element höchstens geringfügig in den Biozyklus Eingang findet. Es soll allerdings für Cyanobakterien essentiell sein (SCHWOERBEL & BRENDENBERGER 2005). Die Konzentrationen bewegen sich zwischen 0,6 und 4,0 mg/l. Der Mittelwert der Einzeldaten liegt bei 2,1 mg/l und liegt damit etwas höher als im Wolfgangsee, wo er 1,8 mg/l erreicht.

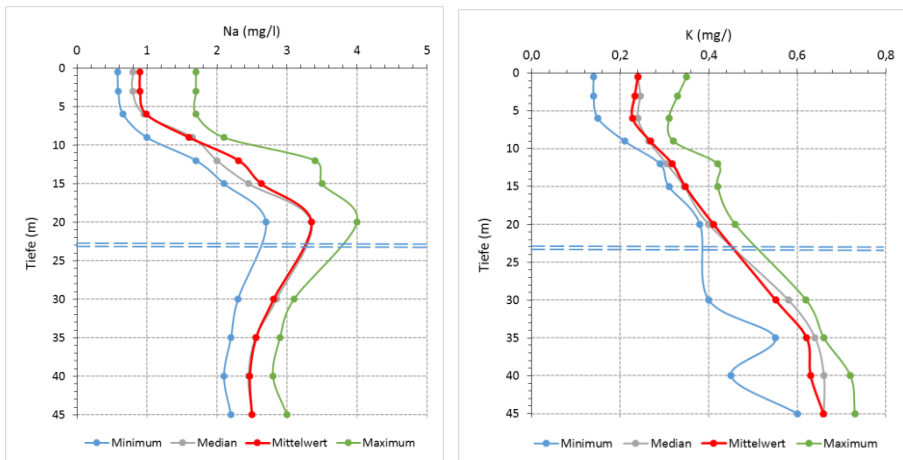


Abb. 15: Statistische Tiefenverteilung von Natrium (mg/l; links) und Kalium (mg/l; rechts); Strichlierte Linie markiert Grenze zwischen Mixo- und Monimolimnion

Das sich konservativ verhaltende Kalium nimmt bei Konzentrationen von 0,1 bis 0,7 mg/l von oben nach unten zu (Abb. 15 rechts). Die niedrigen Konzentrationen schließen den Eintrag landwirtschaftlicher Abwässer aus, wofür dieses Element als Tracer gilt. Der Mittelwert von 0,41 mg/l entspricht ungefähr jenem des Wolfgangsees mit 0,45 mg/l. Die im landwirtschaftlich intensiver genutzten Einzugsgebiet gelegenen Salzburger Vorlandseen erreichen mittlere Konzentrationen von 1,3 bis 1,7 mg/l auf (SCHABER 2015).

10. Sauerstoff

Trotz der geringen Nährstoffkonzentrationen und dementsprechend niedriger Algenentwicklung zeigt die klinograde Sauerstoffverteilung (Abb. 16) das Bild eines „pseudoeutrophen Sees“ (RUTTNER 1938) mit produktionsbedingter bis zu 50%iger Übersättigung des Epilimnions im Sommer und der mit dem Metalimnion beginnenden Zehrung bis zur Sauerstofflosigkeit. Unterhalb von etwa 23 m lag der Sauerstoffgehalt immer unter der Nachweisgrenze. Die für Salmoniden nötige Sauerstoffkonzentration von 4 mg/l liegt bei etwa 12 m. Damit sind rund 60% des Mixolimnions für Fische als Lebensraum ganzjährig geeignet.

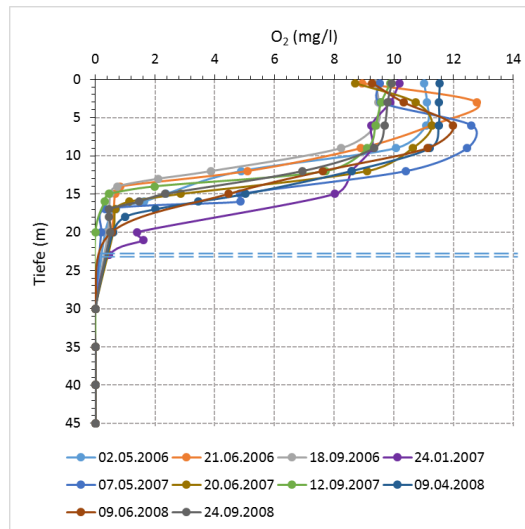


Abb. 16: Statistische Tiefenverteilungen des gelösten Sauerstoffs (mg/l); Strichlierte Linie markiert Grenze zwischen Mixo- und Monimolimnion

11. Phosphor

Die Phosphorkonzentrationen im Mixolimnion liegen weitgehend im Bereich der Oligotrophie. Die Einzelwerte schwanken zwischen 0,0043 und 0,0240 mg/l, die volumsgewichteten Mittel zwischen 0,0077 und 0,0113 mg/l. Der Mittelwert lag mit rund 0,01 mg/l im oligotrophen Bereich. Die Tiefenverteilung ist bis 20 m, dem von der Zirkulation wirksam betroffenen Bereich, recht einheitlich (Abb. 17).

Im Monimolimnion steigen die Gesamtphosphorwerte konstant an. Maximal wurden bis zu 1,1 mg/l über Grund gemessen. Dieser Wert ist in Abb. 18, die den Zeitraum 2006 bis 2008 umfasst, nicht dargestellt. Mit dem 20- bis 75fachen ist das Verhältnis

der gewichteten Gesamtposphorkonzentrationen zwischen Monimo- und Mixolimnion entsprechend hoch.

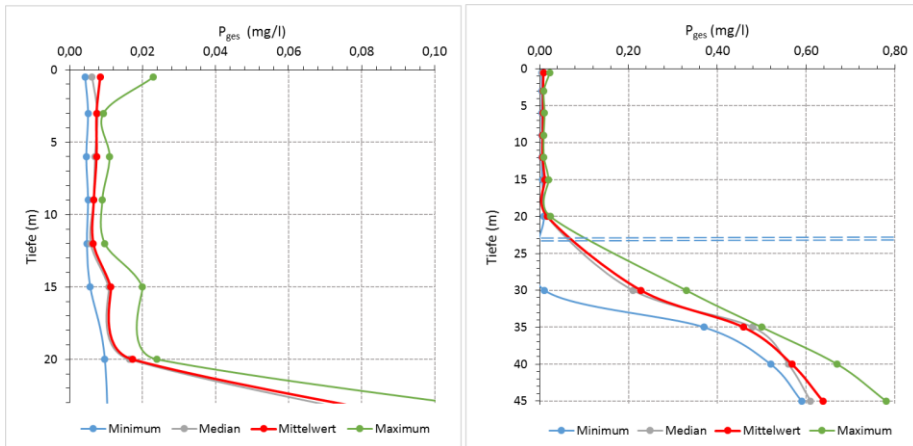


Abb. 17.: Statistische Tiefenverteilung des Gesamtposphors (mg/l) im Mixolimnion (links) und im Gesamtsee (rechts). Strichlierte Linie markiert Grenze zwischen Mixo- und Monolimnion

Deutlich unterschiedlich ist der Anteil des gelösten Gesamtposphors im Mixo- und Monolimnion. Im durchmischbaren Seevolumen ist er mit durchschnittlich 45%, bei der Variabilität von 32 bis 55% und Einzelwerten zwischen 15 und 96%, erheblich niedriger als im Monolimnion. Auf Grund der Stöchiometrie kann die gelöste Fraktion bei niedrigen Sauerstoffkonzentrationen bzw. bei gänzlichem Fehlen nicht ausgefällt werden. Es liegen hier durchschnittlich rund 80% des Gesamtposphors in gelöster Form vor. Der Mittelwert bewegt sich zwischen 70 und 85%. Die Einzelwerte differieren zwischen 30 bis 98%.

12. Stickstoff

Einerseits nimmt im Mixolimnion der Nitrat-Stickstoff räumlich mit zunehmender Tiefe durch Ammonifizierung (Abb.18 links), zeitlich im Jahreszyklus durch den Verbrauch durch das Phytoplankton ab. Die volumsgewichteten Mittelwerte variieren von 0,3 mg bis rund 1 mg Nitrat-Stickstoff pro Liter.

Durch die Abbauvorgänge der im See vorhandenen organischen Stoffe wird diese sauerstoffreiche Verbindung als Sauerstoffdonator für den Abbau verwendet. Durch das mit zunehmender Tiefe anoxische Milieu wird das Nitrat über Nitrit als Zwischenstufe in reduziertes Ammonium umgewandelt.

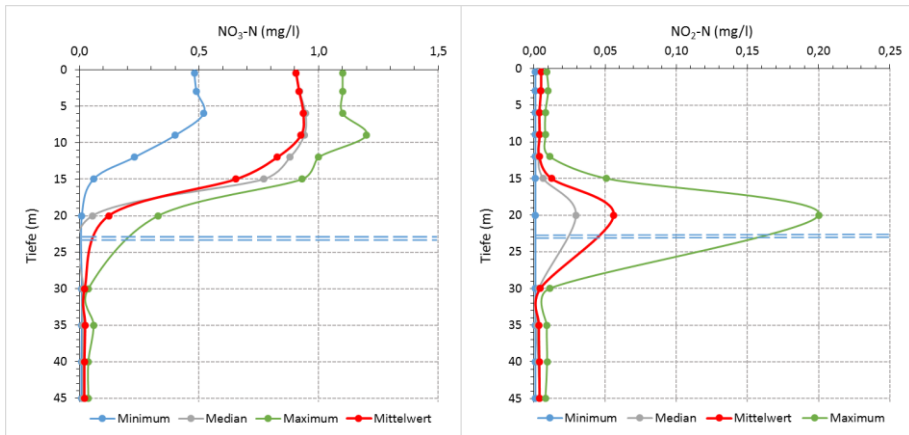


Abb. 18: Statistische Tiefenverteilung des Nitrat- und Nitrit-Stickstoffs (mg/l); Strichlierte Linie markiert Grenze zwischen Mixo- und Monimolimnion

Nitrit ist in den Seen ohne Sauerstoffschwund meist nur in geringen Konzentrationen nachweisbar. Im Krotensee ist die Reduktion des Nitrats über das Nitrit zu Ammonium bei abnehmenden Sauerstoffkonzentrationen in der Schicht von 15 bis etwa 25 m deutlich ausgeprägt (Abb. 18 rechts). Als höchste Konzentration wurden 0,2 mg/l Nitrit-Stickstoff gemessen. Dieser Konzentrationsverlauf wurde auch in den 1930er-Jahren dokumentiert und „macht es wahrscheinlich, dass die Erscheinungen in allen Seen mit Sauerstoffschwund erwartet werden können“ (MÜLLER 1934).

In Abbildung 19 ist die statistische Tiefenverteilung des Ammonium-Stickstoffs dargestellt. Erwartungsgemäß gering sind die Konzentrationen im Mixolimnion (Abb. 19 links). Im Monimolimnion wurden Werte bis 5,8 mg/l gemessen. Schon RUTTNER (1933) bezeichnete die von ihm seinerzeit gemessenen Konzentrationen als „die höchsten in temperierten Seen größerer Tiefe beobachteten“ und verglich sie mit den in tropischen Seen gefundenen Maximalwerten.

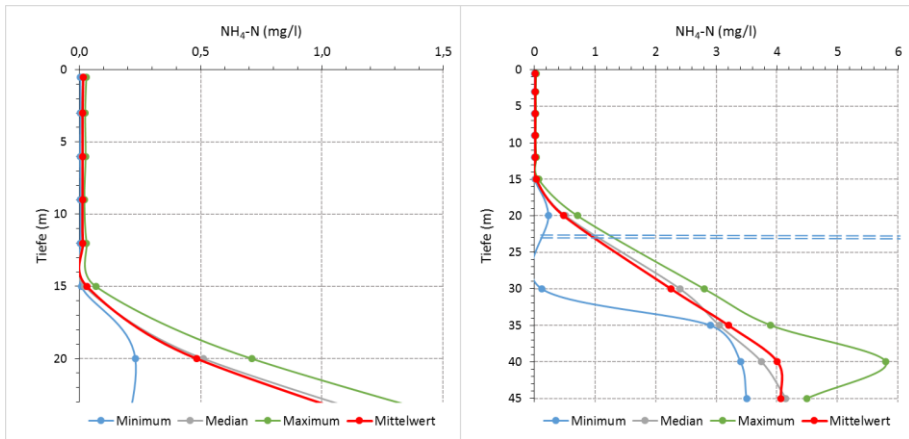


Abb. 19: Statistische Tiefenverteilung des Ammonium-Stickstoffs (mg/l) im Mixolimnion (links) und im Gesamtsee (rechts); Strichlierte Linie markiert Grenze zwischen Mixo- und Monimolimnion

13. Gelöster organischer Kohlenstoff (DOC)

Die Quellen des gelösten organischen Kohlenstoffs sind die Exkretion durch lebenden Organismen, die Autolyse und der mikrobielle Abbau abgestorbener Organismen, sowie der allochthone Eintrag.

Im Krottensee schwanken die Einzelkonzentrationen des gelösten organischen Kohlenstoffs von 1,9 bis 5 mg/l (Abb. 20). Der volumsgewichtete Mittelwert im Gesamtsee lag bei 2,9 mg/l. Im Mixolimnion war er mit 2,4 mg/l nicht sehr viel niedriger. Damit rangiert der Krottensee am unteren Ende des Bereichs von 2 bis 25 mg/l, der für klare humusarme Gewässer angegeben wird (LAMPERT & SOMMER 1993). Im Bundesland Salzburg liegen die durchschnittlichen Konzentrationen in 31 von 62 Seen, in denen der DOC gemessen wurde, unter 2 mg/l (Land Salzburg - Gewässerschutz, unpubl. Daten).

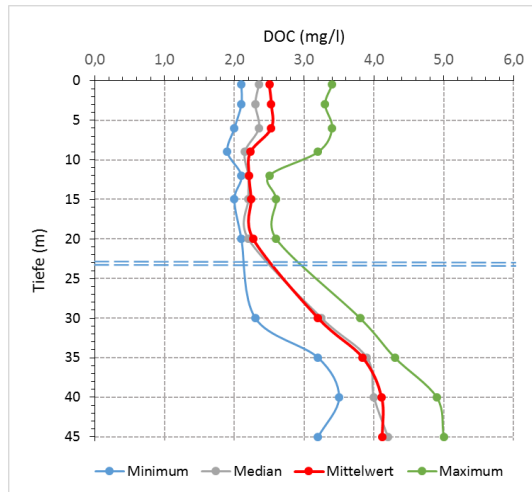


Abb. 20: Statistische Tiefenverteilung des DOC (mg/l) der Jahre 2006 bis 2008

In den beiden Untersuchungsjahren steigt die Konzentration im Epilimnion bis zur beginnenden Herbstzirkulation an. Räumlich nimmt der DOC-Gehalt unterhalb der durchmischbaren Wasserschicht, in der außer an den Herbstterminen die Werte recht einheitlich sind, bis zum Grund auf die Maximalwerte zu.

14. Bakterioplankton

Das Bakterioplankton stellt im Seenökosystem einen wesentlichen Faktor dar. Im Krottensee sind von der Übergangszone des Mixolimnions an mit zunehmender Tiefe Schwefel- und Eisenbakterien nachweisbar. Menge und Verteilung im See von Schwefelpurpurbakterien (*Chromatium weissei*, *Chromatium* sp., *Lamprocystis roseo-persicina*), dem farblosen Schwefelbakterium *Achromatium mobile* sowie dem Eisenbakterium *Ochrobium tectum* mit der Häufung in 20 bis 22,5 m wurde von RUTTNER (1938) beschrieben. In dieser Zone traten Bakterien-Biomassen bis 0,56 mg/l auf. FINDENEGG (1964) spricht von einer Biozönose von *Chromatium*, *Achromatium*, *Macromonas* und *Sideroderma* in 15 bis 20 m Tiefe. Diese Organismen wurden rezent nicht berücksichtigt.

15. Phytoplankton

Erste floristische Angaben stammen bereits vom Ende des 19. Jahrhunderts von IMHOF in seinen „Faunistischen Studien in achtzehn kleineren und größeren österreichischen Süßwasserbecken“ von 1893. Dabei führt er mit *Dinobryon*

sertularia und *D. divergens* zwei Chrysophyceen, mit *Peridium cinctum* und *Ceratium hirundinella* zwei Dinophyceen an. Es sind das typische große Vertreter aus seinen Zooplanktonnetzügen. Von BREHM und ZEDERBAUER (1906, 1912) wurden *Asterionella gracillima*, *Synedra delicatissima* und *Dinobryon divergens* nachgewiesen.

Tabelle 3: Bisher nachgewiesene Arten des Phytoplanktons; ¹⁾ IMHOF 1885, ²⁾ BREHM & ZEDERBAUER 1906, 1912, ³⁾ RUTTNER 1938 (Index kursiv: Nachweis nur von jeweiligen Autoren)

Cyanobacteria -

Anabaena flos-aquae
Planktothrix rubescens

Chlorophyceae

Botryococcus braunii
Chloroflagellata indet.
Chlamydomonas sp. ³⁾
Koliella cf. longiseta
Oocystis sp.
Tetraedon minimum

Conjugatophyceae

Cosmarium cf. depressum

Euglenophyta

Phacus tortus

Chrysophyceae

Dinobryon divergens ^{1) 2) 3)}
D. sertularia 1)
D. sociale ³⁾
Kephyrion sp.
Mallomonas akrokomos
M. caudata
M. cf. elongata
M. kl. sp.
M. sp.
Uroglena sp.

Cryptophyceae

Cryptomonadina sp. e.
Cryptomonas erosa
C. marsonii
C. cf. rostratiformis
C. sp. kl. ³⁾
C. sp. gr. ³⁾
Mallomonas alpina ³⁾
Rhodomonas minuta

Dinophyceae

Ceratium hirundinella ^{1) 3)}
Dinophyceae indet.
Gymnodinium helveticum ³⁾
G. uberrimum
G. sp. kl.
Peridinium cf. umbonatum
P. privum ¹⁾
P. willei ³⁾
P. sp. kl.
P. sp. gr. ²⁾
P. sp.

Bacillariophyceae

Asterionella formosa ³⁾
A. gracillima ²⁾
Cyclotella bodanica
C. comensis 3)
C. cf. comensis
C. comta ³⁾
C. radiosa
C. sp.
Cymatopleura elliptica
Fragilaria crotonensis
F. ulna
F. ulna v. acus
F. ulna v. angustissima
F. sp.
Stephanodiscus alpinus ³⁾
S. sp.
Synedra delicatissima ^{1) 3)}
S. sp.

Die vertikale Verteilung und die Quantität von 14 Algenarten wurden von RUTTNER (1938) beschrieben. Er stellt außerdem fest, dass es im Krottensee im Gegensatz zum benachbarten Wolfgangsee „an Cyanobakterien mangelt“. Auch rezent waren diese nicht häufig. Die quantitative Erfassung des Phytoplanktons ergab im Durchschnitt 0,143 mg/l Phytoplankton Frischmasse, im Mixolimnion 0,280 mg/l. Ähnliche Werte fand FINDENEGG (1964) mit 0,100 bis 0,275 mg/l in der trophogenen Schicht. Die Assimilation der Algengesellschaft wurde in vier Tagesserien mit 48 bis 63 mg/m² gemessen, wobei in der Novemberserie zwei Produktionsmaxima nachweisbar waren. Das erste bis 8 m betrifft die Photosynthese des Phytoplanktons, der Anstieg unterhalb bis zur Grenze des Mixolimnions in 20 m wird auf bakterielle Tätigkeit zurückgeführt.

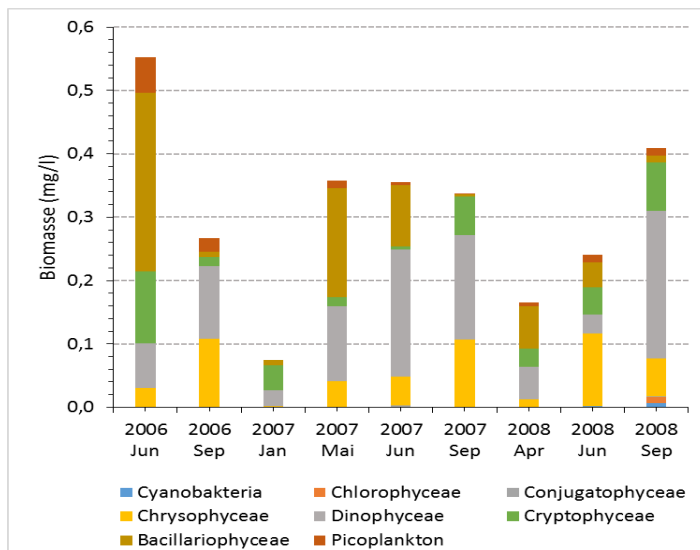


Abb. 21: Menge und Zusammensetzung der Phytoplanktonbiomasse (mg/m³)

Im Krottensee wurden 57 Algenarten bzw. Gattungen nachgewiesen (Tab. 3). Kieselalgen sind mit 18 Arten am häufigsten, gefolgt von den Dinophyceen mit 11 und Chrysophyceen mit 10 Arten. Die Biomasse der Aufnahmen durch den Salzburger Gewässerschutz von Juni 2006 bis September 2008 variierte zwischen 0,07 mg/l und 0,31 mg/l (Abb. 21), was im Bereich der Ergebnisse Findeneggs liegt. Das Plankton der euphotischen Zone entspricht arten- und mengenmäßig dem eines oligotrophen Sees.

16. Zooplankton

Rezente Untersuchungen des Zooplanktons liegen nicht vor. Erste faunistische Studien stammen von IMHOF (1885). Am rezentesten ist die Erwähnung des Auftretens von *Bosmina longirostris* in der Arbeit von NAUWERCK (1991).

Tabelle 4: Bisher nachgewiesene Zooplanktonarten und Gattungen

	IMHOF O. E. (1885)	STEUER A. (1897)	BREHM & ZEDERBAUER (1906)	PESTA O. (1923)	RUTTNER F. (1937 a, b)	ISCHREY G. (1939)	RUTTNER-KOLISKO A. (1948)	NAUWERCK A. (1991)
Rotifera								
<i>Keratella quadrata</i>					x		x	
<i>K. hiemalis</i>					x		x	
<i>K. cochlearis</i>			x		x			
<i>Kellicottia longispina</i>	x		x		x			
<i>Gastropus stylifer</i>					x			
<i>Asplanchna priodonta</i>	x							
<i>Polyarthra dolichoptera</i>					x			
<i>Filinia longiseta</i>			x					
<i>Conochilus unicornis</i>					x			
Crustacea								
<i>Leptodora kindti</i>	x	x		x				
<i>Diaphnosoma brachyurum</i>	x							
<i>Daphnia hyalina</i>			x					
<i>D. longispina</i>	x				x			
<i>D. cucullata</i>	x							
<i>D. sp.</i>								
<i>Ceriodaphnia pulchella</i>					x			
<i>C. laticaudata</i>				x				
<i>C. reticulata</i>				x				
<i>Bosmina longirostris</i>								x
<i>B. longispina</i>					x			
<i>B. sp.</i>	x							
<i>Bythotrephes longimanus</i>	x			x		x		
<i>Cyclops strenuus</i>					x			
<i>Cyclops sp.</i>	x							
<i>Eudiaptomus gracilis</i>			x	x	x			
<i>Diaptomus sp.</i>	x							

In Tabelle 4 sind die bisher von den verschiedenen Autoren nachgewiesenen Gattungen und Arten gelistet. Die Artnamen wurden auf die derzeit gültige Nomenklatur geändert. Fraglich ist der Nachweis des systematisch schwierigen *Cyclops strenuus*, bei dem es sich eher um *C. abyssorum* handeln dürfte, der den benachbarten Wolfgangsee bewohnt (JERSABEK mdl.).

Sehr ausführlich ist die Studie von RUTTNER (1938), in der auch die räumliche und mengenmäßige Verteilung des Planktons behandelt wird. Unter anderem wird unterhalb von 20 m neben der Bakterienflora die begleitende Ciliatenfauna berücksichtigt. Es wurden dabei die Arten *Loxocephalus cf. lucidus*, *Coleps hirtus*, *Metopus fuscus* und *Caenomorpha medusula* nachgewiesen. Zudem werden die Gattungen *Strombidium*, *Strobilidium*, *Halteria* und *Askenasia* erwähnt.

Die Zooplankton-Biomasse des Untersuchungstages lag zwischen 1,59 und 0,03 mg/l, wobei sich das Maximum in der Schicht bis 10 m befand. Im Gesamten setzte sich die durchschnittliche Biomasse dieses Oktobertermins von 0,952 mg/l zu 15% aus dem Phytoplankton, 65% Zoo- und 20% Bakterioplankton zusammen.

17. Literatur

Im Literaturverzeichnis werden auch Arbeiten angeführt, in denen der Krottensee lediglich u. a. erwähnt wird und die im Text nicht gesondert berücksichtigt wurden.

- BERGER F. (1955) Die Dichte natürlicher Wässer und die Konzentrationsstabilität in Seen. - Arch. Hydrobiol. 22: 286 - 294
- BERGER F. (1980): Der Krottensee im Salzkammergut. Ergänzungen zur Morphometrie und Hydrochemie eines extrem meromiktischen Alpensees. - Jber. Biol. Stat. Lunz, 3: 163 - 170
- BOBEK M., SCHMIDT R. (1975): Pollenanalytische Untersuchung von Seebohrkernen des nordwestlichen Salzkammergutes und Alpenvorlandes. - Linzer biol. Beitr., 7: 5-34
- BOBEK M., SCHMIDT R. (1975): Zur spät-bis mittelpostglazialen Vegetationsgeschichte des nordwestlichen Salzkammergutes und Alpenvorlandes (Österreich) mit Berücksichtigung der Pinus-Arten. - Linzer biol. Beitr., 8: 95-133
- BREHM V., ZEDERBAUER E. (1906): Beiträge zur Planktonuntersuchung alpiner Seen. IV. Teil. - Verh. zool. bot. Ges. Wien, 56: 19-32
- BREHM V., ZEDERBAUER E. (1912): Beobachtungen über das Plankton in den Seen der Ostalpen. - Arch. Hydrobiol., 1: 469-495
- DANECKER Elisabeth (1971): Die künstliche Durchmischung des Krottensees. - Carinthia II, Sonderh., 31: 41-62
- EINSELE W. (1940): Versuch einer Theorie der Dynamik der Mangan- und Eisenschichtung im eutrophen See. - Naturwiss., 28: 257 - 285
- EINSELE W. (1944): Der Zeller See, ein lehrreicher Fall extremer limnologischer Verhältnisse. - Z. Fischerei Hilfswiss., 42: 151-168

- EINSELE W., HEMSEN J. (1959): Über die Gewässer des Salzkammergutes, insbesondere über einige Seen. - Österr. Fischerei, 12 (= Schr. Österr. Fischereiverb., 2): 9-31
- FINDENEGG I. (1933): Alpengseen ohne Vollzirkulation. - Int. Rev. ges. Hydrobiol., 28: 295-311
- FINDENEGG I. (1959): Die Gewässer Österreichs. Ein limnologischer Überblick.- Biol. Station Lunz, 36-68
- FINDENEGG I. (1962): Über Änderungen der optischen Eigenschaften einiger Ostalpengseen. - Wetter und Leben, 14: 47-56
- FINDENEGG I. (1964): Produktionsbiologische Planktonuntersuchungen an Ostalpengseen. - Int. Revue ges. Hydrobiol., 49: 381-416
- FINDENEGG I. (1966): Die österreichischen Alpenrandseen. - Föderation Europäischer Gewässerschutz, Informationsblatt 14: 11-17
- FINDENEGG I. (1967): Die Verschmutzung österreichischer Alpengseen aus biologisch-chemischer Sicht. - Ber. Raumforsch. u. Raumpl., 11: 3-12
- FREUDLSPERGER H. (1936): Kurze Fischereigeschichte des Erzstiftes Salzburg. - Mitt. Ges. Salzburger Landeskunde, 76: 81-128
- FUGGER E. (1905): Salzburgs Seen VII. - Mitt. Ges. Salzburger Landeskunde, 45: 129-141
- GAVIRIA, S. (1998): Checklist and distribution of the free-living copepods (Arthropoda: Crustacea) from Austria. - Ann. Naturhist. Mus. Wien, 100 B: 539-594
- GAVIRIA-MELO S., FORRÓ L., JERSABEK C. D., SCHABETSBERGER R., (2005): Checklist and distribution of cladocerans and leptodorans (Crustacea: Branchiopoda) from Austria. - Ann. Naturhist. Mus. Wien, 106 B: 145-216
- GEOLOGISCHE BUNDESANSTALT (1987): Das österreichische IHP Programm (IHP) 1975 – 1980 (Redaktion F. STEINHAUSER) - Arch. f. Lagerst.forsch. Geol. B.-A., 8: 1-74
- HINTENBERGER Christine (1974): Die Fischerträge in den Salzkammergutseen. - Hausarbeit, Univ. Wien, 1-64
- IMHOF O. E. (1885): Faunistische Studie in achtzehn kleineren und größeren österreichischen Süßwasserbecken. - Sitzber. Akad. Wiss., math.-naturw. Kl., 91: 203-226
- ISCHREYT G. (1939): Über den *Bythotrephes* subalpiner Seen. - Arch. Hydrobiol., 34: 105-129
- JÄGER P., SCHILLINGER Ingrid (2003): "Kollmanns Fischereikarte von Salzburg, Fische in Salzburgs Gewässern, Stand 1898". Digitale Aufbereitung des Kartenthemas. - Kartensammlung Gewässerschutz, Thema 1: 1-55, 10 Sectionen, 1 Gesamtblatt; Land Salzburg, Gewässerschutz
- KLEMM W. (1950): Beitrag zur Kenntnis der Molluskenfauna Salzburgs. Die Gehäuse-schnecken und Muscheln des Wallersees, seines Einzugsgebietes und seines Abflusses (Fischachtal). - Mitt. Nat. Arbeitsgem. Haus der Natur Salzburg, Zool. Abt., Jg. 1: 45-54
- LINDLBAUER M. (2014): Limnologie ausgewählter Kleinseen in Salzburg. – Masterarbeit Univ. Salzburg, 1-343
- LÖFFLER H. (1975): The onset of meromictic conditions in Alpine lakes. - in: SAGGATE R. P., CRESSWELL M. M. (Eds.): Quaternary Studies, The Royal Soc., New Zealand, Wellington, 211-214
- LORENZ J. R. (1899): Ältere und neuere Lotungen im Hallstätter See. - Sonderausgabe Abh. k.k. Geogr. Ges. Wien: 5-48
- MÜLLER Guido (1974): Salzburgs Seen XII. Zur Verkehrsgeographie der Seen Salzburgs und seiner Nachbargebiete. - Mitt. Ges. Salzburger Landeskunde, 112/113: 575-588
- MÜLLER H. (1934): Über das Auftreten von Nitrit in einigen Seen der österreichischen Alpen. - Internat. Rev. ges. Hydrobiol., 30: 428-439

- MÜLLNER J. (1896): Die Seen des Salzkammergutes und die österreichische Traun (Erläuterungen zur ersten Lieferung des Österreichischen Seenatlas). - Geogr. Abh., 6: 1-114
- MÜLLNER J., SIMONY F. (1895): Die Seen des Salzkammergutes. - In: PENCK, A., RICHTER E. (Hrsg.): Atlas der Österreichischen Alpenseen (Hölzel), Wien
- NAUWERCK A. (1991): The history of the genus *Eusbosmina* in Lake Mondsee (Upper Austria). - Hydrobiologia, 225: 87-103
- PATZNER R. A. (1998): Flusskrebse im Bundesland Salzburg. - Stapfia 137: 67-76
- PATZNER R. A. (2006): Wasserschnecken und Muscheln im Bundesland Salzburg. Arten, Verbreitung und Rote Liste-Status. - Mitt. Haus der Natur, 17: 64-75
- PENCK A. (1882): Die Vergletscherung der deutschen Alpen, ihre Ursache, periodische Wiederkehr und ihr Einfluss auf die Bodengestaltung. - 1 - 458, Barth, Leipzig
- PENCK A., BRÜCKNER E. (1909): Die Alpen im Eiszeitalter. 1. Band: Die Eiszeiten in den nördlichen Ostalpen. - XVI + 393 pp, Leipzig
- PENCK A., RICHTER E. (1895, Hrsg.) : Atlas der österreichischen Alpenseen. - Geogr. Abhandl., 6, Hölzel, Wien
- PESTA O. (1923): Hydrobiologische Studien über Ostalpenseen. - Arch. Hydrobiol., Suppl., 3: 385-595
- PLÖCHINGER, B. (1973): Erläuterungen zur Geologischen Karte des Wolfgangseegebietes (Salzburg, Oberösterreich) 1 : 25 000. -Geol. B.-A. Wien
- REGNAUER A. (1975): Untersuchungen zum Verhalten pelagischer Crustaceen im Seeausfluß. - Diss. Univ. München
- RUTTNER A. (1959): Führer für die Alpenexkursionen. SIL-Kongress 1959. Lunz am See –
- RUTTNER F. (1933): Untersuchungen über die biochemische Schichtung in einigen Seen der Ostalpen. - Geogr. Jber. Österreich, 16: 73-87
- RUTTNER F. (1937): Ökotypen mit verschiedener Vertikalverteilung im Plankton der Alpenseen. - Internat. Revue Hydrobiol., 35:7-34
- RUTTNER F. (1938): Limnologische Studien an einigen Seen der Ostalpen. - Arch. Hydrobiol., 32: 167-319
- RUTTNER F. (1949): Die Randseen der Österreichischen Alpen. - Verh. Int. Ver. Limnol., 10: 387-399
- RUTTNER-KOLISKO Agnes (1948): Zum Formwechsel und Artproblem von *Anuraea aculeata* (*Keratella quadrata*). - Hydrobiologia, 1: 425-468
- SAUBERER F., RUTTNER F. (1941): Die Strahlungsverhältnisse der Binnengewässer. - Akad.-Verl. Ges. Leipzig, 1-240
- SCHABER P. (2015): Die Reoligotrophierung der Salzburger Vorlandseen Mattsee, Obertrumer See, Grabensee und Wallersee. - Land Salzburg, Reihe Gewässerschutz, 17/1
- SCHADEN A. VON (1833): Taschenbuch für Reisende durch Südbayern, Tyrol und das Salzburgerische. - Lidauer'sche Buchhandlung, München, 1-182
- SCHWOERBEL J., BRENDENBERGER H. (2005): Einführung in die Limnologie. - Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg, 1-340
- SLANINA K. (1981): Zeller See. Limnologische Entwicklung. Ergebnisse der Basisuntersuchung 1979. - WWK, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft (Hrsg.), Wien, 1-69
- SIMONY F. (1849): Messungen der Seen Oberösterreichs Haid. Ber., 2, Wien
- SIMONY F. (1850): Die Seen des Salzkammergutes. - Sitz. Ber. Akad. Wiss, Wien: 543-566
- SIMONY F. (1860): Die Seen der Alpen. - Österr. Volks- u. Wirtsch.-Kalender, 42
- SIMONY F. (1864): Die Seen der Alpen. - Österr. Rev., 202:

- SIMONY F. (1879): Über Alpengseen. - Schr. Ver. Verbr. nat. wiss. Kenntnisse, Wien, 19: 527-565
- STEUER A. (1897): Ein Beitrag zur Kenntnis der Cladoceren- und Copepodenfauna Kärntens. – Verh. Zool.-bot. Ges. Wien, 47: 1-49
- STÜBER E. (1967): Salzburger Naturführer. - MM-Verlag, Salzburg, 1-325
- TILZER M. M. (1988): Secchi disc – chlorophyll relationships in a lake with highly variable phytoplankton biomass. – Hydrobiologia, 162: 163-171
- WALLMANN H. (1868): Die Seen der Alpen. - Z. DÖAV, 4: 1-117

Anschrift der Verfasser:

Dr. Peter Schaber
Josef-Kainz-Straße 4
5026 Salzburg
e-mail: p.schaber@aon.at

Mario Lindlbauer, MSc
Hagenastraße 12a
5020 Salzburg
e-mail: mario.lindlbauer@stud.sbg.ac.at

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Berichte der Naturwissenschaftlich-Medizinischen Vereinigung in Salzburg](#)

Jahr/Year: 2016

Band/Volume: [18](#)

Autor(en)/Author(s): Schaber Peter, Lindbauer Mario

Artikel/Article: [Der meromiktische Krottensee bei Hüttenstein \(Land Salzburg\) 45-72](#)