© Bundesamt für Wasserwirtschaft, download www.zobodat.at

Physikalisch-chemische Untersuchungen im Millstätter See

Karl Knie

Der Millstätter See ist unter den Kärntner Seen der zweitgrößte und tiefste. Das etwa 12 km lange Seebecken, das sich genau in der Ost-West-Richtung erstreckt, ist wenig gegliedert; es weist eine durchschnittliche Tiefe von 86 m auf und erreicht im Ostteil — ungefähr auf der Höhe von Dellach — ein Tiefenmaximum mit etwa 140 m. Der See wird von mehreren unbedeutenden, kleinen Bächen gespeist. Am östlichen Ende des Sees mündet als Hauptzubringer der Riegerbach ein, der aus dem Radentheiner Tal die Wässer mehrerer kleinerer Gebirgsbäche und des Feldsees heranbringt. Das Seebecken verengt sich im Westteil und wird an seinem westlichen Ende vom Seebach entwässert, welcher nach kurzem Lauf in die Lieser mündet.

Der Millstätter See war schon wiederholt Gegenstand von eingehenden Untersuchungen in limnologischer und fischereiwirtschaftlicher Hinsicht. Die physikalisch-chemischen Untersuchungsergebnisse sind insoferne sehr interessant, als sie von denen der anderen Alpenseen sich wesentlich unterscheiden. Der See wird nämlich durch die Abwässer der Österreichisch-Amerikanischen Magnesitgesellschaft in Radenthein, einer der bedeutendsten Industrien Österreichs, in mechanisch-anorganischer Hinsicht belastet. Die Abwässer des Werkes bestehen größtenteils aus Kühlwässern, welche die Abgänge der Magnesiterzeugung, das sind weiße, pulverige Zusammenballungen von Mineralstoffen, in den Riegerbach und durch diesen in den See abtransportieren. Die Bachwässer werden davon stark trüb und nehmen eine weißlich-graue Farbe an. Diese Schwebefracht setzt trotz der hohen Fließgeschwindigkeit ihre grobkörnigen Anteile verhältnismäßig leicht ab. Längs des 6 km langen Bachlaufes sind an den Ufern und insbesondere in ruhigen Buchten diese weißlich-grauen, vielfach glitzernden Sedimente zu sehen. Bewegt man sich im See mit einem Boot vor der Riegerbachmündung, so sieht man diese weißen Bänke aus der Tiefe heraufschimmern. Beim Versetzen mit Salzsäure reagieren diese Ablagerungen heftig unter Aufbrausen (Karbonate). In der salzsauren Lösung sind hauptsächlich Calcium und Magnesium neben wenig Eisen nachweisbar. Silikate bilden den salzsäureunlöslichen Rückstand. Die Abwässer des Werkes sind nicht von gleichmäßiger Beschaffenheit, sondern wechseln in ihrer Zusammensetzung, je nach Einsatz oder Ausfall verschiedener Stationen der Fabrikation.

© Bundesamt für Wasserwirtschaft, download www.zobodat.at

Um den derzeitigen Zustand des Sees kennen zu lernen, hat die Bundesanstalt für Wasserbiologie und Abwasserforschung in der Zeit vom 16. bis 24. Juli 1958 umfangreiche Untersuchungen vorgenommen. Über die physikalisch-chemischen Ergebnisse soll in diesem Aufsatz kurz berichtet werden. Bevor jedoch auf die Ergebnisse der Meßreihen im See selbst eingegangen wird, sollen zu ihrem besseren Verständnis analytische Daten angeführt werden, die bei den Untersuchungen der Abwässer des Riegerbaches gewonnen wurden.

Die Beschaffenheit der Gesamtabwässer kann durch drei Punkte erschöpfend charakterisiert werden:

1. Sie sind ausnahmslos schwer alkalisch. Ihre pH-Werte betrugen im Minimum 9,29 und im Maximum 10,14.
2. Die Konzentration ihrer Elektrolyte ist verhältnismäßig gering. Ihre Leitfähigkeit ($EL_{18\,0}$) wurde um 240 gemessen.
3. Ihre mechanische Schwebefracht war dagegen außerordentlich groß und kann im Mittel mit etwa 900 mg/l angegeben werden.

Wie der Riegerbach, der zur Zeit der Untersuchungen eine Wasserführung von 2,5 m^3/sec (MW) aufwies, auf die Abwassereinleitung reagierte, zeigt am besten eine Gegenüberstellung der Untersuchungsergebnisse, die von Abnahmen oberhalb und unterhalb des Werkes gewonnen wurden.

		Unterhalb d. Werkes, unmittelbar v. Einmündung d. See	
Datum d. Entnahme	23.7.1958	23.7.1958	24.7.1958
t °C	10,1	10,4	11,1
pH	7,85	8,66	9,47
% Absorption (34,6 mm)	41	79	17
$EL_{18\,0}$	81	101	—
Abdampfrückstand (105 °)			
ursprüngliche Probe in mg/l	433	1247	251
abgesetzte Probe in mg/l	94	175	109
Schwebefracht daher mg/l	339	1072	142
SBV in mval	0,82	1,06	1,48
Ca in mg/l	10	10	12
Mg in mg/l	5	7	12
Ca Mg	1 0,5	1 0,7	1 1

Tab. 1. Ergebnisse vom Riegerbach

© Bundesamt für Wasserwirtschaft, download www.zobodat.at

Unterhalb des Werkes, unmittelbar vor Einmündung in den See

				1958			
Datum	16.7.	19.7.	20.7.	21.7.	22.7.	23.7.	24.7.
t °C	13,4	12,5	12,6	12,5	12,8	10,4	11,1
pH	9,30	7,70	8,10	9,49	10,10	9,47	9,35
% Abs.	59	4	3	48	57	86	17

Tab. 2. Ergebnisse vom Riegerbach

Die starken Schwankungen vorangeführter Werte finden ihre Erklärung darin, daß während der Zeit der Probenentnahmen einige Stationen der Fabrikation für kurze Zeit stillgelegt waren.

Aus der Gegenüberstellung der Befunde oberhalb und unterhalb des Werkes ist deutlich zu ersehen, wie die Wässer des Riegerbaches durch die Abwässer 1. mechanisch belastet, 2. stark alkalisiert und 3. geringfügig — hauptsächlich durch Lösung von Magnesiumsalzen — aufgehärtet werden. Dadurch verschiebt sich auch das Ca : Mg-Verhältnis etwas zu Gunsten des Magnesiums. Weiterhin ersieht man aus den geringen Werten für das SBV, daß die Pufferungskapazität der Bachwässer äußerst gering ist und daß daher jede pH-Änderung in voller Größe zur Auswirkung kommen muß.

Die Verhältnisse im Riegerbach sind in gewisser Hinsicht in den Ergebnissen der Seeuntersuchung wieder zu finden. Zur Entnahme der Proben wurden 4 Stellen im See ausgewählt, nämlich die Seemitte in der Höhe von Dellach und Millstatt. Ferner wurden noch in Döbriach als dem östlichen und in Seeboden als dem westlichen Seende Proben gezogen.

Zur Methodik der Untersuchungen sei folgendes gesagt: Die Temperaturmessungen wurden mit dem Temperaturlot, Modell Kaisermühlen TE, durchgeführt. Auch bei diesem Einsatz hat sich wieder gezeigt, daß der Hauptvorzug dieses Instrumentes nicht so sehr in seiner Genauigkeit ($\pm$ 0,05°) sondern in seiner raschen Einstellung liegt. Dadurch ist man imstande, eine große Serie von Messungen in so kurzer Zeit zu bewältigen, daß Meßfehler — wie sie ansonsten durch zu starke Abtrift des Arbeitsbootes entstehen — weitgehend vermieden werden können. Die übrigen physikalisch-chemischen Untersuchungen wurden kurze Zeit nach der Entnahme an Ort und Stelle ausgeführt. Die Bestimmung des SBV erfolgte durch Tritration mit n/10 Salzsäure gegen Methylorange, die Bestimmung des Ca und Mg mit n/10 K III-Lösung gegen Eriochromschwarz bzw. Murexid. Die $EL_{18\,0}$ wurde mit dem Normameter R und der pH-Wert mit einem Polymetron-Gerät gemessen.

© Bundesamt für Wasserwirtschaft, download www.zobodat.at

Bevor auf die Besprechung der Meßreihen eingegangen werden soll, seien diese in Form von Tabellen und einer graphischen Darstellung angeführt. Um zu einem Vergleich anzuregen, sind noch Analysendaten vom Ossiacher See angeführt.

Tiefe m	Döbriach etwa 30 m v. d. Riegerbach-Mündung t °C		
0	21,2	23,9	21,6
1	21,2	—	21,6
2	20,5	—	21,6
3	20,1	—	21,6
4	19,4	—	21,5
5	18,9	21,1	21,5
6	18,9	—	21,1
7	18,8	—	18,1
8	18,3	—	16,1
9	13,7	—	14,3
10	13,7	12,0	12,8
11	9,7	—	11,0
12	8,7	—	9,3
13	8,7	—	8,5
14	8,1	—	7,4
15	6,4	6,4	5,9
18	—	—	5,7
20	5,5	5,3	4,5
25	(21 m Grund)	4,8	—
60		4,4	4,1
96		—	4,1
98		—	4,1
100		—	4,1
101		—	4,1
135		4,1	(102 m Grund)
137		4,1	
		(137 m Grund)	

Tab. 3. Temperaturmessungen im Millstätter See

© Bundesamt für Wasserwirtschaft, download www.zobodat.at

Tiefe m								
0	23,9	9,32	163	1,72	15	14	1 : 0,93	9,1
5	21,1	9,32	163	1,76	16	15	1 0,94	10,1
6	18,3	9,45	164	1,76	16	16	1 : 1	10,5
10	12,0	9,43	164	1,80	16	15	1 0,94	14,0
15	6,4	9,25	169	1,82	17	14	1 : 0,82	12,4
20	5,3	9,06	171	1,88	17	14	1 : 0,82	10,0
25	4,8	9,06	170	1,88	17	15	1 0,88	9,5
60	4,4	9,02	172	1,88	17	15	1 : 0,88	9,3
100	4,1	9,02	172	1,88	18	14	1 0,78	9,1
135	4,1	9,02	175	1,94	18	15	1 0,83	6,8
137	4,1	8,90	186	2,00	18	16	1 0,89	5,1
137,5	Grund							

Tab. 4. Ergebnisse vom Millstätter See
Seemitte in der Höhe von Dellach
Profil: Waldbauer-Bucher
Tag der Entnahme: 18. Juli 1958

Tiefe m								O_2-Geh. mg/l
0	21,6	9,26	165	1,82	16	15	1 0,94	9,3
10	12,8	9,43	169	1,86	16	15	1 0,94	14,7
18	5,7	9,18	169	1,86	17	15	1 0,88	10,8
60	4,1	9,06	178	1,88	18	14	1 0,78	9,0
96	4,1	—	—	—	—	—	—	8,6
98	4,1	—	—	—	—	—	—	8,3
100	4,1	—	—	—	—	—	—	8,1
101	4,1	8,94	184	1,92	18	15	1 0,83	7,7
102	Grund							

Tab. 5. Ergebnisse vom Millstätter See
Seemitte gegenüber von Millstatt, Kärnten
Tag der Entnahme: 20. Juli 1958

© Bundesamt für Wasserwirtschaft, download www.zobodat.at

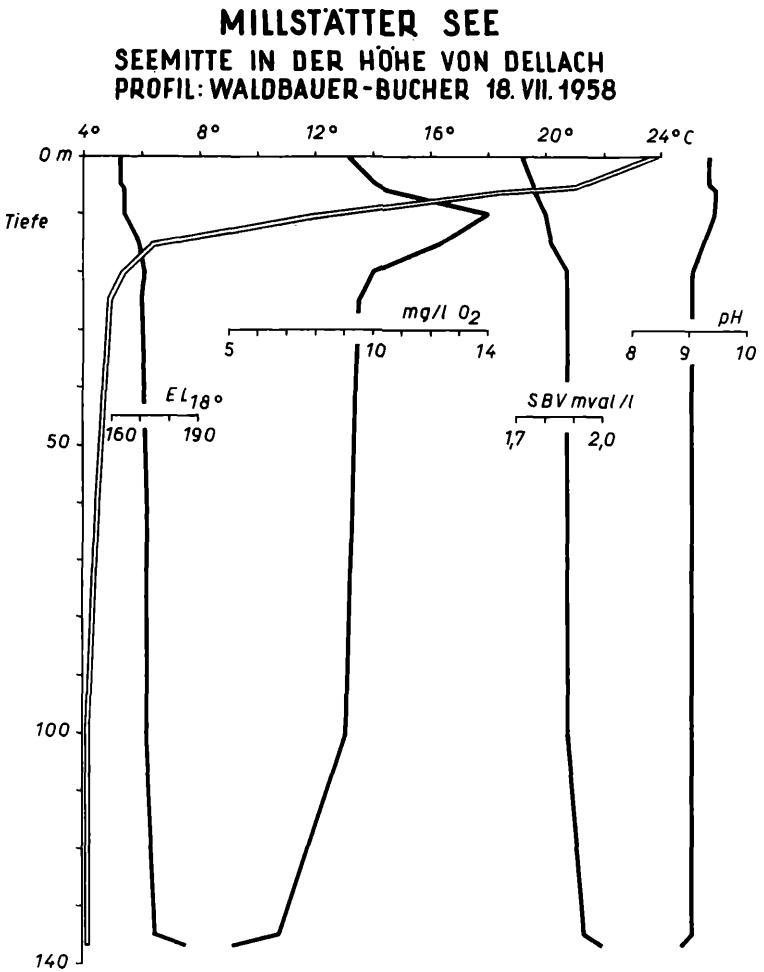

Abb. 1

© Bundesamt für Wasserwirtschaft, download www.zobodat.at

	Döbriach 30 m v. d. Riegerbachmündung aus 9 m Tiefe 23.7.1958	Seeboden Beim Seeabfluß a. d. Oberfläche 23.7.1958
t °C	13,7	20,0
pH	9,25	9,24
$EL_{18°}$	157	159
SBV in mval	1,64	1,78
Ca in mg/l	14	15
$Mg^{\cdot\cdot}$ in mg/l	13	15
Ca Mg	1 : 0,93	1 1
O_2-Gehalt in mg/l	10,5	10,9

Tab. 6. Ergebnisse vom Millstätter See

Tiefe m		t °C
0		23,6
1		23,6
2		23,2
3		23,1
4		23,3
5		20,4
6		18,1
7		14,5
8		12,6
9		11,4
10		10,9
11		10,4
11,2	Schlamm	10,1

Tab. 7 Temperaturmessungen im Ossiacher See
Bodensdorf, Seemitte
Gemessen am 21. Juli 1958

© Bundesamt für Wasserwirtschaft, download www.zobodat.at

Tiefe m		pH		SBV mval	Ca mg/l		Ca	Mg	O_2-Geh. mg/l
0	23,6	8,93	165	1,58	20	8	1	0,4	11,4
10	10,9	7,35	233	2,32	35	9	1	0,26	
11	Grund								

Tab. 8. Ergebnisse vom Ossiacher See

Physikalisch-chemische Untersuchungen

Der Temperaturlotung in der Höhe von Dellach und Millstatt ist zu entnehmen, daß die Wassertemperatur im See von 0—6 m eine gewisse Gleichförmigkeit zeigt, von 6—10 m schnell und weiter bis 20 m langsam absinkt, worauf der Abfall bis in die größte Tiefe nur mehr als sehr gering bezeichnet werden kann. Der See zeigte daher zur Zeit der Probenentnahme, der sommerlichen Jahreszeit entsprechend, eine 9 m mächtige Sprungschichte. Wiederholt wurde bei den Entnahmen die Frage gestellt, in welcher Tiefe sich der Riegerbach einschichten möge. Bekanntlich hängt die Einschichtung von Zuflüssen in einen See von den spezifischen Gewichten ihrer Wässer ab, die letzten Endes durch ihre Temperatur und ihren Salzgehalt bestimmt sind. Der Riegerbach wies im Mittel eine Temperatur von 12,2° auf. Seine Wässer sind daher wesentlich niedriger temperiert als die Seeoberfläche. Die homotherme Schichte im See war am Tage der Untersuchung 30 m vor der Riegerbachmündung (Achsverlängerung) in einer Tiefe von 10—11 m anzutreffen. Andererseits wurde die $EL_{18\,0}$ des Riegerbaches mit 101 gemessen, während die $EL_{18\,0}$ im See 30 m vor der Mündung in 9 m Tiefe mit 157 bestimmt wurde. Das Seewasser ist also höher konzentriert als das Bachwasser. Die Ursache dafür ist in der Verdunstung zu suchen.

Die Temperaturmeßreihe von Döbriach weicht gegenüber denen von Dellach und Millstatt etwas ab und weist auf eine Wasserdurchwirbelung hin, wie sie aufzutreten pflegt, wenn Zuflüsse mit größerer Fließgeschwindigkeit in einen See einströmen. Es wurde weiterhin versucht, gegenüber der Riegerbachmündung die Entnahmepositionen in Form von konzentrischen Kreisen mit verschiedenen Durchmessern zu legen, um die Einschichtung des Riegerbaches hinsichtlich einiger Werte verfolgen zu können, doch scheiterte das Beginnen an der Wasserturbulenz. Sie rief ein derartiges Schwanken der Meßwerte hervor, daß eigentlich kein Wert angabefähig war.

Die Reaktion des Seewassers war von der Oberfläche bis zur größten Tiefe stark alkalisch. Die höchsten Werte wurden zwischen 6 m und 10 m unter der Seeoberfläche mit einem pH-Wert von 9,43 gemessen. Es ist dies vermutlich ein Hinweis, daß sich die stark alkalischen Wässer des Rieger-

© Bundesamt für Wasserwirtschaft, download www.zobodat.at

baches in diesen Tiefen einschichten. Am auffallendsten ist, daß diese hohen Werte selbst über Grund anzutreffen sind, dort, wo in anderen Alpenseen infolge Kohlensäureproduktion durch Zersetzung organischer Substanz die Reaktion schon im schwach sauren Bereich zu liegen pflegt (Zellersee: 68 m Tiefe — über Grund: pH-Wert 6,60). Der Einfluß der Schlammablagerungen auf den pH-Wert ist zwar auch am Seegrund vom Millstätter See in einer geringfügigen Senkung des pH-Wertes auf 8,90 zu erkennen, doch ist er noch immer als sehr hoch zu bezeichnen. Die gleichen Ergebnisse zeigten auch die Messungen in Döbriach und Seeboden, das heißt, die ganze Wassermasse des Sees war zur Zeit der Untersuchungen von ungewöhnlich hoher Alkalität. Dieser Umstand zeigt an, daß die freie Kohlensäure völlig fehlte und neben Bicarbonat schon viel Monocarbonat vorhanden ist. Zieht man die Tabelle von W. Einsele zu Rate, so wären bei einem pH-WZert von 9,40 neben 45% Bicarbonat schon 55% Monocarbonat in Lösung.

Um Vergleiche anstellen zu können, wurden zur selben Zeit (21. Juli 1958) auch Messungen in anderen Seen durchgeführt und folgende pH-Werte gefunden:

Feldsee, Oberfläche	8,40
Afritzer See, Oberfläche	8,62
Ossiacher See, Oberfläche	8,93
Ossiacher See, 10 m Tiefe — über Grund	7,35

Ein Maß für den Gehalt an Elektrolyten in einem Wasser ist seine elektrische Leitfähigkeit ($EL_{18\,0}$), welche in verdünnten Lösungen, wie sie unsere Oberflächenwässer sind, proportional dem Salzgehalt zu- und abnimmt. Nach einer groben Faustregel ist der Salzgehalt eines Wassers daraus durch Multiplikation mit dem Faktor 0,75 zu errechnen. Die Werte für die $EL_{18\,0}$ wurden im Millstätter See an der Oberfläche mit 161—165 bestimmt. Sie hielten sich bis ungefähr auf 10 m Tiefe konstant, nahmen dann allmählich zu und erreichten über Grund einen Wert von 184 bis 186. Der Salzgehalt errechnet sich demnach an der Oberfläche zu 122 mg/l und in der Tiefe zu 139 mg/l. Diese geringfügige Zunahme gegen die Tiefe spiegelt sich auch in den Werten des sogenannten Säurebindungsvermögens (SBV) wieder, einer Bestimmung, bei welcher die gesamte Alkalität erfaßt wird. Im vorliegenden Falle sind es die Carbonat- und Bicarbonat-Anionen, welche sich mit der Salzsäure umsetzen. Das SBV wurde an der Oberfläche zu 1,72—1,82 mval und in der Seetiefe zu 1,92—2,00 mval gefunden. Am Seeanfang (Döbriach) und See-Ende (Seeboden) waren die Werte etwas niedriger (1,57 mval). Ent-

© Bundesamt für Wasserwirtschaft, download www.zobodat.at

sprechend dem niederen Salzgehalt des Wassers waren auch die Werte für Calcium und Magnesium gering. Ungewöhnlich und daher sehr bemerkenswert ist das Verhältnis Ca Mg, welches in den Wässern des Millstätter Sees fast zu 1 1 gefunden wurde. Als grobe Faustregel kann für österreichische Seen ein Verhältnis von 1 0,2 bis 1 : 0,4 aufgestellt werden. In Österreich sind nur ganz wenige Gewässer bekannt, bei welchen das Verhältnis zu Gunsten von Mg verschoben ist. Als Beispiele seien der Neusiedler See und die Zicklacken im Seewinkel aufgezählt.

Die Ursache dieser Verschiebung sind die an Magnesium reichen Abwässer des Radentheiner Werkes.

Aufschlußreich waren auch die Werte für den im Wasser gelösten Sauerstoff. Bis in die größten Tiefen wurden hohe Sauerstoffwerte gefunden, und selbst über Grund waren noch 5.1 mg/l bzw. 7,7 mg/l nachweisbar. Die Sauerstoff-Maxima mit Übersättigung von über 140 % traten in den Tiefen zwischen 10 m und 15 m auf. An der freien Seeoberfläche war weniger Sauerstoff vorhanden. Vermutlich hängt dies mit einer Verarmung an Phytoplankton in den oberen Wasserschichten zusammen.

Die Ergebnisse der Untersuchungen zusammenfassend, kann gesagt werden:

1. Die gewaltigen Wassermassen des Millstätter Sees waren zur Zeit der Untersuchung (Juli 1958) bis in die größten Tiefen, ja sogar unmittelbar über Grund, schwer alkalisch (pH: 8,9—9,4). Im Wasser kann daher freie Kohlensäure nicht mehr vorhanden gewesen sein, in welchem Zustand auch der integrierende Bestandteil jedes Wassers, nämlich das Bicarbonat-Ion, schon weitgehend durch das Monocarbonat-Ion ersetzt gewesen sein muß. Die geringe Pufferkapazität des Wassers setzt einer pH-Änderung keinen großen Widerstand entgegen; die Einleitung schwer alkalischer Wässer in den See wirkt sich daher in ihrer vollen Stärke aus.

Wenn man sich vor Augen hält, daß die Reaktion eines Wassers einer der bestimmenden, wenn nicht der wichtigste Faktor in einem Biotop ist und wenn man weiter in Betracht zieht, daß den Makro- und Mikrolebewesen hinsichtlich ihres optimalen Gedeihens gerade in Bezug auf diesen Faktor sehr enge Grenzen gezogen sind, so läßt sich mit Sicherheit sagen, daß die Lebewesen durch die hohe Alkalität des Wassers beeinflußt werden.

2. Die Abwässer des Werkes in Radenthein sind reich an Magnesiumsalzen. Durch den Riegerbach werden so große Mengen davon herangebracht, daß im See das Ca Mg-Verhältnis grundlegend zu Gunsten

© Bundesamt für Wasserwirtschaft, download www.zobodat.at

des Mg verändert wird und einen Wert von fast 1 1 erhält. Ansonsten weisen die natürlichen Wässer mit wenigen Ausnahmen (Neusiedler See) ein Verhältnis von 0,2 bis 0,4 auf.

3. Bemerkenswert sind die hohen Werte für Sauerstoff, wie sie in den Tiefen des Sees, ja sogar unmittelbar über Grund gemessen wurden. Die Werte sind von einer Höhe, wie man sie um diese Jahreszeit in anderen eutrophierten Wässern nicht anzutreffen pflegt. Erklärungen wurden dafür schon viele gegeben; letzten Endes stellen sie jedoch alle Zirkulationsströmungen in den Vordergrund, wie sie durch Windeinwirkung hervorgerufen werden. Dabei scheint jedoch die Tatsache eine mitbestimmende Rolle zu spielen, daß durch die starke Alkalität des Seewassers die Lebenstätigkeit der Mikroorganismen gehemmt ist. Infolge einer dadurch bedingten Verminderung der Sauerstoffzehrung bleiben die hohen Sauerstoffwerte erhalten.

Wenn man die ganzen Untersuchungsergebnisse überblickt, so liegt — um mit den Worten von W. Einsele zu sprechen — ein lehrreiches Beispiel extremer limnologischer Verhältnisse vor.

Literatur

1. Findenegg Ingo: „Beobachtungen an den Kärntner Seen". Klagenfurt 1932.

2. Findenegg Ingo: „Beiträge zur Kenntnis des Ossiacher Sees". Carinthia II, Mitteilungen des Vereines Naturkundliches Landesmuseum für Kärnten. Klagenfurt 1934.

3. Findenegg Ingo: „Umschichtungsvorgänge im Millstätter- und Weißensee in Kärnten". Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie. Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig 1934.

4. Neresheimer E. und Ruttner F.: „Der Einfluß des Magnesitwerkes in Radenthein auf den Chemismus, die Biologie und die Fischerei des Millstätter Sees in Kärnten". Zeitschrift für Fischerei, 46. Jg. Verlag J. Neumann, Neudamm und Berlin 1929.

5. Einsele W.: „Der Zeller See, ein lehrreicher Fall extremer limnologischer Verhältnisse". Zeitschrift für Fischerei und deren Hilfswissenschaften. Verlag J. Neumann, Neudamm und Berlin 1944.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Wasser und Abwasser

Jahr/Year: 1958

Band/Volume: 1958

Autor(en)/Author(s): Knie Karl

Artikel/Article: Physikalisch-chemische Untersuchungen im Millstätter See 125-135