©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Der Klopeiner See – Eigenschaften und Dynamik. Ein Beitrag zur Kenntnis dieses Sees.

Von Heinz MESSINER (unter Mitarbeit von Herbert WINDISCH)

Zusammenfassung:

Die beginnende Eutrophierung des Klopeiner Sees durch anthropogene Einflüsse in den 60er Jahren des vorigen Jahrhunderts war der Grund für eine eingehendere Untersuchung des Sees und seines Umfeldes. Im Laufe dieser Arbeiten haben sich immer weitere Fragen ergeben.

Um die Wasserbilanz des praktisch oberflächlich zu- und abflusslosen Sees zu ergründen, waren seine hydrogeologischen Gegebenheiten zu erfassen.

Zur Gesunderhaltung des Sees wurde eine Tiefenwasser-Ableitung installiert. Die dabei gewonnenen Erfahrungen und jene beim Betrieb der Leitung werden diskutiert.

Schlagworte

Hydrogeologie, Tiefenwasser-Ableitung, Klopeiner See, Kärnten

Keywords

Hydrogeology, hypolimnetic drainage, Lake Klopein, Carinthia

Abstract:

The investigations at the Lake Klopeiner See aimed at the identification of eutrophication matters and anthropogenic impacts of the lake. Where are the pollution sources? How do we interpret alarming results and which conclusions can be made?

Many years of investigations are the basis of several observations that raised many questions. To answer those questions it was necessary to include facts of the water household, the geology of the catchment area and the origin of the lake.

Finally a hypolimnetic withdrawal (Oszewski tube) was installed. The experiences made by the installation and use of the hypolimnetic withdrawal at the lake are reported at the end of this paper.

Einleitung

Diese Arbeit resultiert aus Untersuchungen in den Jahren 1964 – 1987. In dieser Zeit wurden an 69 Tagen Untersuchungen samt Probeentnahmen durchgeführt. Anfangs wurden in den Jahren 1964 – 1973 an bis zu 31 Uferstellen (Abb. 1) Proben entnommen und 1 – 2 Tiefenprofile in der Mitte des Sees untersucht. Dies erfolgte 4–5 mal im Jahr (siehe Seite 541 ff.). Die Proben wurden jeweils auf 15 Parameter untersucht.

Ab 1966 wurden bis zu 10 zufließende Wässer bei jeder Probenahme mit einbezogen. In späterer Folge wurden die Seeuntersuchungen auf aussagekräftige Probestellen und Parameter reduziert. Nach der Errichtung der Tiefenwasserableitung (TWA) 1975 konzentrierte sich die Untersuchungstätigkeit auf Seeprofil und Ablauf der TWA. Insgesamt wurden über 17.000 Untersuchungsdaten erfasst und zahlreiche Beobachtungen zusätzlich festgehalten und ausgewertet. Zur Vervollkommnung des Bildes sind daneben Arbeiten anderer Autoren (siehe Literaturverzeichnis) hier mit einbezogen worden. Es würde den

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

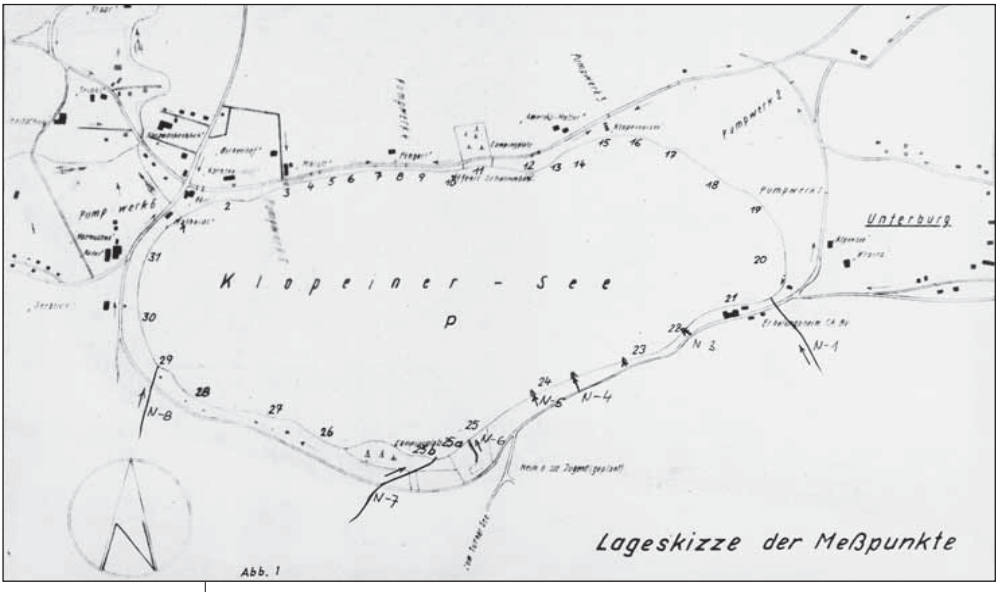


Abb. 1: Lageskizze der Messpunkte.

Rahmen übersteigen, alle Analysendaten hier anzuführen. Diese Daten wurden durchwegs der Gemeinde St. Kanzian, die Auftraggeber war, übermittelt.

Geographie der Umgebung des Klopeiner Sees

Karte (siehe Abb. 2) Österreich Karte 1:25.000)

Der Klopeiner See liegt in der Gemeinde St. Kanzian, Bezirk Völkermarkt, Kärnten.Er hat eine Oberfläche bei 446 m ü. Adria von 1.106 km², jedoch werden in der Literatur unterschiedliche Werte genannt (bei Czernin-Chudenitz 1954 1,13 km², Sampl 1974 1,13 km², Sampl 1978 1,106 km²). Seine Form ist annähernd eiförmig mit einer größten Breite in Nord-Süd-Richtung von 850 m und einer maximalen Länge in Ost-West-Richtung von 1.830 m. Er ist für seine Größe mit 46 m an der tiefsten Stelle und mit einer mittleren Tiefe von 22,6 m ein tiefer See. Die Seewanne ist nahezu ungegliedert und weist vom seichten Ostufer über das Nordufer bis zur Westbucht helle, schlammige Seekreidesedimente auf. Er ist im Norden, Westen und Süden von Höhenrücken gegen die Hauptwindrichtungen geschützt. Nur die Schmalseite im Osten ist für den Windzutritt offen. Der See wird daher in der Regel nur von schwachen lokalen Winden berührt, die oft mehrmals täglich die Richtung wechseln. Diese begünstigte Lage führt im Frühjahr zu einer raschen Erwärmung der Oberflächenschicht und macht den See zu einem der meistbesuchten Badeseen Kärntens. (Badewassertemperatur-Spitzen bis 26°C). Nur im Süden und Südosten fließen 4 kleine Bächlein, eher Rinnsale, in den See, von denen kaum eines 1l/sek. Wasser führt. Daneben gibt es noch am Südufer zwei Quellen und eine Dränage, die nicht immer Wasser führen. Das ganze bewaldete Südufer ist jedoch immer feucht. (Abb. 1: N-1, N-6, N-7, N-8 Bächlein; N-3, N-4, N-5 Quellen)

Für den See-Abfluss, der eher als Überlauf bezeichnet werden kann und im Hochsommer zeitweise mit dem Absinken des Seespiegels

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

trocken fällt, wurde eine durchschnittliche Wasserfracht – bei schwierigen Verhältnissen für eine erforderliche Messstrecke wegen fehlendem Gefälle – von 58,4 l/sek. ermittelt.

Der Seespiegel weist eine maximale Schwankung von 45 cm in langjähriger Beobachtung auf.

Im Westen des Klopeiner Sees liegt der Kleinsee hinter einer vernässten Bodenschwelle zwischen Kitzelsberg und Seerücken (im Norden des Klopeiner Sees). Dieser Kleinsee hat keine Verbindung zum Klopeiner See. Er hat bei einem Seespiegel auf 447 m ü. A. eine Oberfläche von 0.125 km² und eine maximale Tiefe von 9 m. Sein Volumen beträgt ca. 375.000 m³. Der Kleinsee hat einen Abfluss nach N-Osten mit geringer Abflussmenge (ca. 2-5 l/s). Die nasse Schwelle zwischen beiden Seen entwässert mit einem Bächlein nach Norden in den Kleinsee-Abfluss.

Die Ufer des Klopeiner Sees sind, bis auf eine Strecke von ca. 1 km auf dessen Südseite, mit Hotels, Campingplätzen und privaten Badeanlagen mit Seehäusern etc. besiedelt. Am Südufer fällt der Höhenrücken der Gratzarza (672 m hoch) steil zum See und in die Tiefe des Sees ab.

Da der Klopeiner See schon im Juni angenehme Badetemperaturen erreicht, hat er in der Badesaison einen starken Fremdenverkehr. Die Nächtigungsziffern haben bereits mehrfach eine Million überschritten. Im Winterhalbjahr weist die Gemeinde St. Kanzian ca. 3.300 Ew. auf.

Allerdings muss man bei den Nächtigungsziffern bedenken, dass in diesen auch jene für den Turnersee und Kleinsee enthalten sind. Diese beiden Seen sind jedoch bedeutend kleiner und es entfällt nur ein Bruchteil der Nächtigungen auf diese beiden.

Abb. 2: ÖK 1:25.000, Ausschnitt aus Blatt 2003/4 Grafenstein und Blatt 2004/3 Eberndorf (Profil von Rückersdorf im Süden bis Klopein im Norden).

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

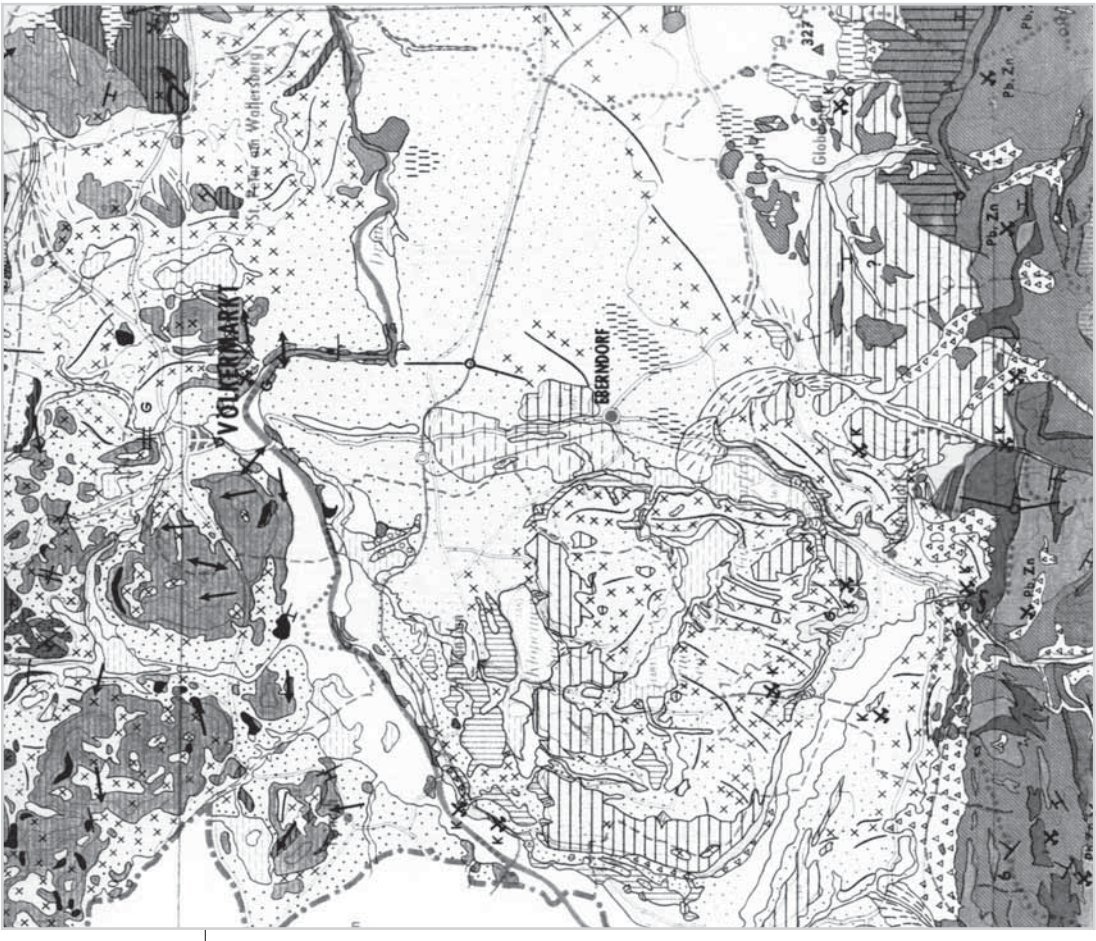


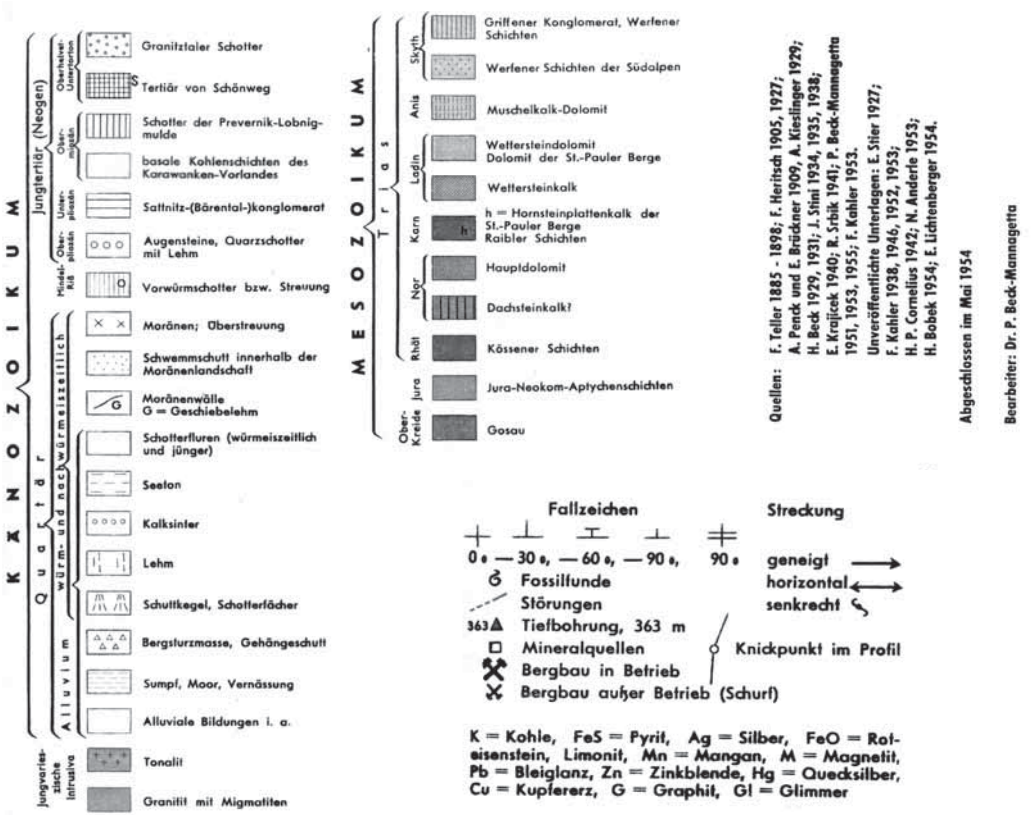
Abb. 3: Geologische Übersichtskarte, Bezirk Völkermarkt, Maßstab 1:100.000. (Zeichenerklärung Seite 505)

Der Klopeiner See friert um die Weihnachtszeit (etwa 20. Dez.) zu, bekommt im Laufe des Winters eine bis zu 30 cm dicke Eisdecke und taut mit Ende März – Anfang April auf. Zu dieser Zeit ist der stärkste Seeabfluss zu verzeichnen.

Der Klopeiner See liegt mitten in einem ausgedehnten Moränengebiet der Glazialzeiten.

Im Süden des Sees erhebt sich unmittelbar die Hochfläche von Rückersdorf. Sie liegt wie ein Stock mitten in der Moränenlandschaft, umkränzt von bewaldeten Höhen. Diese erreichen im Westen und Norden über 700 m Meereshöhe. Vom Nordosten bis Südwesten steigen sie jedoch nur von 520 m bis gegen 600 m an. Die inneren reich gegliederten Talmulden sind mit acht kleinen Ortschaften besiedelt, die alle auf ca. 500 m ü. A. liegen. Diese sogenannte Rückersdorfer Platte hat einen Durchmesser von etwa 5 km. Sie wird rundum von breiten Talschaften umgeben. Deren Niveau fällt von 480 m ü. A. im Südosten nahe Sittersdorf bis zur Vellachbach-Mündung in die Drau im Westen auf 400 m. Der Drau im Westen gegen Norden folgend bis zum Ort Saager und dann gegen Osten über Kleinsee und Klopeiner See (446 m) bis zum breiten, teilweise versumpften Tal des Gösselsdorfer Sees, das von Buchbrunn

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at



(449 m) gegen Süden wieder auf 478 m ansteigt und den Kreis um die Hochfläche bei Sittersdorf schließt. Den tiefsten Teil der Talmulden dieser Rückersdorfer Platte bilden die Sumpfwiesen rund um den Turnersee (ehem. Sablattnigsee) samt den Sablattnigwiesen mit 481 m ü. Adria. Diese Sumpfwiesen sind durch drei Engpässe voneinander getrennt und waren wahrscheinlich ehemals als Fischteiche genutzt. Heute ist nur mehr der tiefste Teil mit Wasser gefüllt und bildet den Turnersee.

Die Rückersdorfer Hochfläche überragt die umgebenden Täler bereits mit den inneren Talmulden um ca. 53 m. Die gesamten Höhenrücken weisen mit im Mittel 610 m eine Höhendifferenz von 152 m gegenüber dem Umland auf. Zum Klopeiner See besteht ein Höhenunterschied von 64 m gegenüber den Talmulden der Hochfläche.

Der Turnersee liegt mit 481 m Meereshöhe 35 m höher als der Klopeiner See (446 m).

Geologisches und die Entstehung des Sees

geol. Karte (Abb. 3)

Im Süden des Klopeiner Sees steigt direkt aus dem Seeufer die Rückersdorfer Platte mit der Gatscharza Höhe über 670 m ü. A. (auch Dreiseenblick), bestehend aus jungtertiären Sattnitz-Konglomeraten auf. Im Norden erhebt sich, wenn auch viel sanfter, ein Höhenrücken (Seerücken) aus der Riss-Eiszeit bis auf 480 m ü. A., bestehend aus Schottern und Streuung.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Die Höhen der Rückersdorfer Hochfläche in ihrer Gesamtheit bestehen z. T. aus Sattnitz-Konglomeraten des Jungtertiärs, zum anderen Teil sind es Moränen der Würmeiszeit. Die Talmulden sind ausgefüllt mit nacheiszeitlichem Schwemmschutt und Schotter. Im Bereich des Turnersees sind die ebenen Flächen vernässt bzw. versumpft. Sie sind mit eingeschwemmtem Feinmaterial und moorigen Ablagerungen nach unten sichtlich gut abgedichtet (ehem. Fischteiche). Im Südabfall der Rückersdorfer Platte gegen das Vellachtal treten tonige, kohleführende jungtertiäre Schichten bei ca. 500 m ü. A. aus. Diese bilden unter den Moränen der Rückersdorfer Hochfläche die Liegendschichten – von Prof. Dr. Kahler, dem ehemaligen Landesgeologen, Mischschichten genannt – den Grundwasserstauer des Gebietes.

STINY (1935) hat in einer grundlegenden Arbeit die Quellen am Rand der Hochflächen von Rückersdorf untersucht und führt u. a. folgende Quellen an (Tabelle 1):

Tabelle 1: Quellen in den See.

Quellen von West nach Ost, nördlich des Klopeiner Sees

	Quellenaustritt bei Meehreshöhe ü.A.
1. Bei Saager: 3 große, 8 kleinere Quellen	441 m
2. An der Eisenbahnlinie nördlich Stein 9 kleinere Quellen	443 m
3. In St. Kanzian 1 große, 6 kleine Quellen	441 m
4. Zwischen Srejach, Peratschitzen und Wasserhofen 4 große Quellen	441 m
5. Kühnsdorf Ortsmitte 2 große, 3 kleine Quellen	438 m
6. Buchbrunn 1 große Quelle	449 m

Kleine Quelle < 1 l/s; große Quelle > 1 l/s

Somit zeigt sich, da alle Quellen in derselben Höhe liegen, dass diese jungtertiären Tone bzw. Mischschichten als Liegendes die gesamte Rückersdorfer Platte nach unten abdichten. Die Mächtigkeit dieser Schicht dürfte ziemlich groß sein, da der Klopeiner See mit seinen 46 m Tiefe bis auf 400 m ü. A. hinabreicht in diese Schicht. Im Norden unterhalb von St. Kanzian treten im Graben des Kanzianbaches bei 420 m ü. A. Bändertone aus der Würmeiszeit aus, die vermutlich beim Abschmelzen des Draugletschers aus dessen Feinmaterial durch Sedimentation gebildet wurden. Dieser auf dem Nordabhang des tertiären Seerückens bei 427 m ü. A. im Kanzianbach-Graben austretenden Bänderton war ehedem der Grund für die Vernässung der dortigen Flächen, die vor dem 2. Weltkrieg dräniert wurden; ein Stichgraben vom Kanzianbach gegen Süden zeugt noch dafür. Das vernässende Wasser sickert vom nördlichen Seeufer durch die Riss-Eiszeit- Moränenschotter am Nordufer des Klopeiner Sees weg und tritt am Nordabhang des Seerückens bei Klopein wieder zu Tage. Der Grundwasserspiegel am Nordufer des Klopeiner Sees muss somit tiefer als der Seespiegel liegen. Dies konnte wie folgt nachgewiesen werden:

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

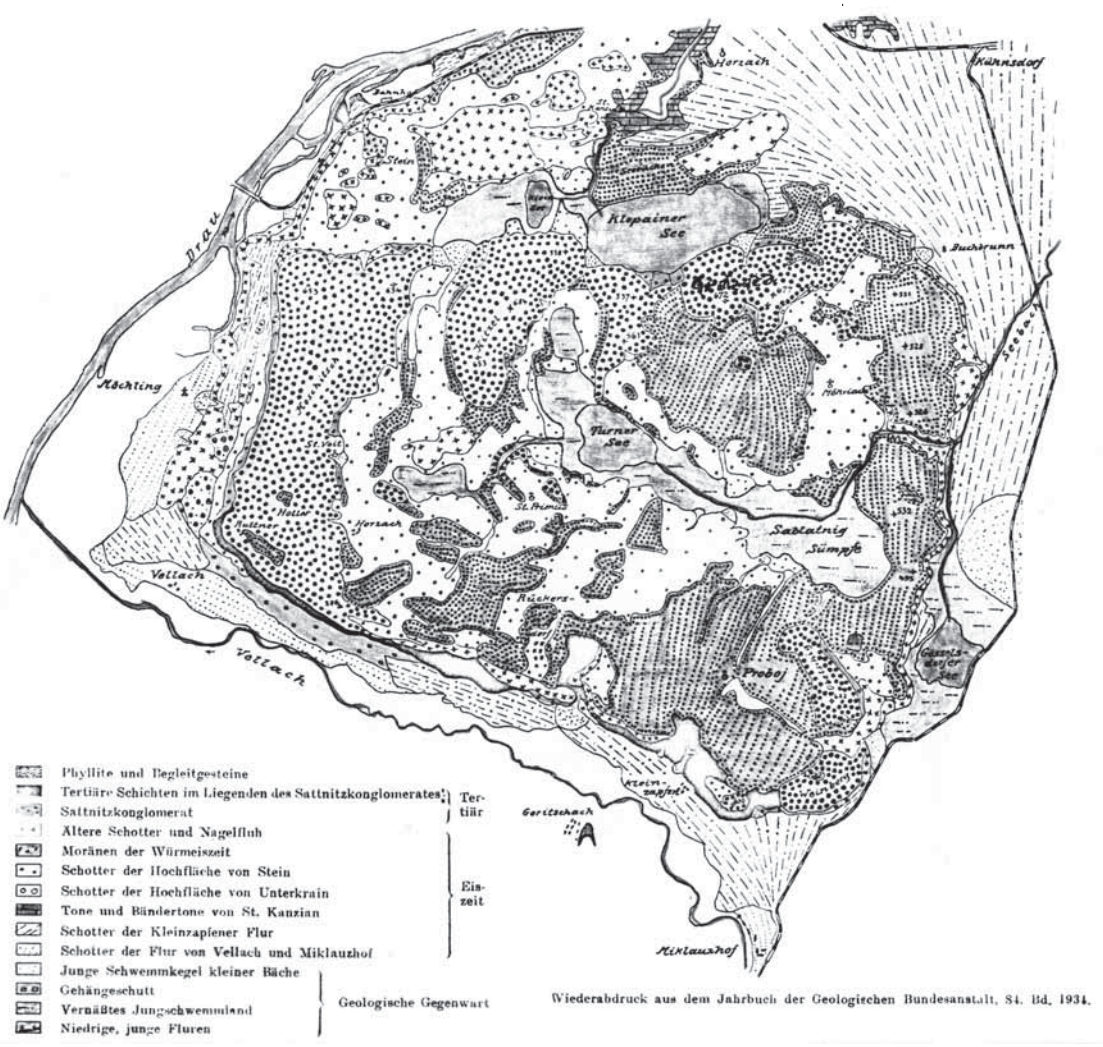


Abb. 4: Quellen der Hochfläche von Rückersdorf., Maßstab 1:50.000, nach Stiny.

1) 2 Brunnen des Hotels Amerika am Nordufer des Sees: Brunnen A 25 m vom Seeufer entfernt, Grundwasserspiegel 3 m unter Seespiegel; Brunnen B etwas weiter weg, ca. 13 m unter Seespiegel.

2) Campingplatz Gemeinde St. Kanzian: Brunnen ca. 6-8 m unter dem Seespiegel.

Das durchgesickerte Seewasser wird an der Oberseite der Bändertone, die an den Hängen des Seerückens gegen die Drau in der ausgehenden Würmeiszeit dort abgelagert wurden, am Versickern gehindert und wirkt vernässend an der Oberfläche des Geländes. Damit ergibt sich, dass vor dem Bau des kommunalen Abwasserkanals am Nordufer des Sees, dort möglicherweise versickertes Abwasser nicht zum See, sondern weg vom See, der Grundwasserströmung nach Norden folgend, zog. Dies beweisen auch die bakteriologischen Untersuchungen aus 1964 – 1968, wo vor

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Abb. 5: Quellkärtchen der Hochfläche von Rückersdorf, Maßstab 1:67.200, Skizze von Stiny.

dem dicht besiedelten Nordufer die besten Ergebnisse am See gefunden wurden (Siehe Kapite Limnologie). Im Osten wurde der seinerzeitige Kühnsdorfer-See vom alten Vellach-Mündungskegel während und nach der Würmeiszeit aufgefüllt. Zu dieser Zeit hat sich wahrscheinlich zwischen der Gatscharza (Dreiseenblick) und dem sog. Seerücken ein tiefliegender Eiskörper des Draugletschers befunden, so dass das ca. 50 m tiefe Loch (des heutigen Sees) vom Geschiebematerial der Vellach nicht verfüllt werden konnte. Daneben war der Zugang zum „Klopeiner See-Loch“ von Seetonmassen, die heute noch anstehen, vor dem Zuschütten mit Vellach-Geschiebe geschützt.

Aus dem Studium der geologischen Karte des Bezirkes Völkermarkt, bearbeitet von P. Beck-Mannagetta aus 1954 und aus persön-

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

lichen Informationen von F. Kahler 1965 sowie den wiederkehrenden „Anomalitäten“ in den Untersuchungsergebnissen und nicht zuletzt aus den Arbeiten von J. STINY (1935) ergab sich auch das Bild der möglichen Entstehung des Klopeiner Sees und seine heutige Hydraulik, die allerdings von klimatischen Faktoren überlagert ist:

Gegen Ende der Würm-Eiszeit, beim Abschmelzen des Draugletschers von ca. 12.000 Jahren blieb zwischen den jungtertiären Sattnitz-Konglomerat-Moränen der Rückersdorfer Platte und den Riss-Schottern des sog. Seerückens ein abgetrennter Eisblock liegen, der im Osten überschüttet und einsedimentiert worden sein dürfte. In weiterer Folge entstand beim Abschmelzen des Eiskörpers durch das Nachstürzen der Schuttabdeckung ein sogenanntes „Toteisloch“, gefüllt mit Wasser, das den See bildete. Die Tiefe des Sees ist bei seiner Größe charakteristisch für ein Toteisloch. Auch das Fehlen eines oberflächlichen Zuflusses und eines natürlichen Abflusses sprechen dafür. Der derzeitige Abfluß wurde sichtlich zur Vermeidung einer Versumpfung im Bereich der Straße entlang des See-Westufers künstlich geschaffen. Nach unten ist der See abgedichtet durch feinste Sedimente und die schon erwähnten jungtertiären Seetone (etwa vor 1,5 Mio. Jahren entstanden), die vor der Würmeiszeit bereits vorhanden waren. Auf ihnen sammeln sich die auf der Rückersdorfer Platte rasch einsickernden Niederschläge und gelangen als Grundwasserstrom tief unter dem Turnersee (tiefste Stelle 468 m ü. A.) auf ca. 430 m ü. A. durch die Klüfte im Sattnitzkonglomerat der Höhen an der Südseite des Klopeiner Sees in diesen, durchströmen ihn ganz langsam und gelangen nahe der Drau an die Oberfläche (vergl. Quellenkarte von Stiny).

Dieses Einströmen von Grundwasser zwischen 30 und 46 m Tiefe in den Klopeiner See (=416 bis 400 m ü. A.) konnte an der Verdünnung des Tiefenwassers (Hypolomnions) nachgewiesen werden, die sich an allen Tiefenprofilen gezeigt hat (siehe auch Kapitel „Wasserbilanz“ und „Dynamik des Seewassers“).

Hydrographisches und Wasserbilanz

Ein wesentliches Maß eines stehenden Gewässers ist neben seiner Oberfläche und Tiefe das Wasservolumen. Nach neuesten Messungen gibt SAMPL (1982) ein Volumen von 24,975 Mio. m³ an, eine Oberfläche von 1.106 km² (bei 446 m ü.A.) sowie eine max. Tiefe von 46 m und eine mittlere Tiefe von 22,6 m. Das aus den neuen Maßen ermittelte Inhaltsdiagramm ergibt folgendes:

Tiefe m	Horizontale Schichtfläche ha	Schicht m von – bis	Volumen der Schicht in Mio m³
0	110,6	----	----
5	87,5	0 – 5	5,639
10	76,5	5 – 10	4,761
15	69,2	10 – 15	3,599
20	61,9	15 – 20	3,201
25	55,9	20 – 25	2,271
30	47,5	25 – 30	1,929
35	37,2	30 – 35	1,625
40	26,9	35 – 40	1,175
Unter 40 m	-----	Unter 40	0,775
Restwanne bis 46 m		Summe	24,975

Tab. 2: Maße des Sees.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

1976 wurde im Schacht nach dem Verschlußschieber der Tiefenwasser-Ableitung (TWA) ein Pegel angebracht. Einzelheiten dazu in der folgenden Tabelle:

Tab. 3: Pegelstände.

Pegelstand Meereshöhe m	Pegelstand cm	Bemerkung	Abfluß l/sek.
444,823	0	Pegelnullpunkt	----
445,173	35	Niedrigster Seespiegel	----
445,373	55	Noch kein Abfluß	0
445,383	56	Beginn des Abflusses	6
445,623	80	Höchster Seespiegel in der Zeit von 2. 5. 1964 bis 16. 10. 1987	140

Die Spiegelschwankung des Klopeiner Sees beträgt somit maximal 45 cm. Eine Absenkung des Seespiegels um 10 cm bedeutet eine Wassermenge von 110.600 m³. Dafür sind bei einer durchschnittlichen Abflussmenge von 58,4 l/s ca. 22 Tage erforderlich. Die Seeabfluss-Aufzeichnungen von der Hydrographie des Landes in den Jahren 1975 – 1981 kommen im Mittel nur auf 55 l/sek. Dies deshalb, weil nur der Abfluss der Tiefenwasserableitung und nicht auch der gleichzeitig z. T. erfolgte Oberflächenabfluss mit erfasst wurde. Der Seeabfluss des Klopeiner Sees vereinigt sich 230 m nach dem Seeufer mit dem Abfluss des Kleinsees (ca. 2 – 5 l/s) zum Kanzianbach, der den Ort St. Kanzian durchfließt und ca. 500 m nach der Ortschaft den Stichgraben der Drainage am Nordabhang des Seerückens aufnimmt. Bereits im Jahr 1966 fiel bei den Untersuchungen des Klopeiner Sees auf:

1. dass in der Tiefe ab 30 m bei einigen Parametern des Seewassers immer wieder eine geringe Umkehr der Messtendenz über 30 m zu beobachten war

2. dass das steil einfallende Südufer des Klopeiner Sees z. T. vernässt ist und einzelne Drainagen für die Begehbarmachung des Uferweges bestehen. Auch treten dort mehrere Quellen, allerdings mit geringster Schüttung aus und drei in den See einfließende Bächlein, eher als Rinnsale zu bezeichnen, sind dort vorhanden.

3. wurden von mir in späteren Jahren mehrmals zur Herbstzeit im klaren Wasser am Südufer des Sees Watten von Eisenbakterien (Leptothrix) bis mehrere Meter Tiefe an der Halde festgestellt. Für deren Entwicklung ist das Eindringen von Wasser mit gelöstem, zweiwertigem Eisen aus dem Boden erforderlich. Die Reduktion des im Boden enthaltenen 3-wertigem Eisens hat sichtlich ihre Ursache im Auslaugen der abgestorbenen organischen Massen (Laub, Gras etc.). Die gelösten Kohlenstoffverbindungen dringen in den Boden mit den Niederschlägen ein und reduzieren das Eisen-III zum leichter löslichen Fe-II. Dieses transportiert dann das Hangwasser in Chelatbindung oder mit Hilfe organischer Schutzkolloide in den See. Dort übernehmen die Eisenbakterien dieses Fe-II und oxidieren es im sauerstoffhältigen Seewasser wieder zur 3-wertigen Stufe, wobei sie mittels der gewonnenen Energie die Bakterienwatten bilden.

Es war somit die Möglichkeit naheliegend, dass Wasser aus dem höhergelegenen Turnersee in den Klopeiner See durch das kluft- und porenreiche Sattnitzkonglomerat der Gatscharza-Höhe einsickert.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Analysen des Turnersee-Wassers und der auf dem Süduferhang (Gatscharza-Nordseite) austretenden Wässer konnten aber eindeutig zeigen, dass kein Turnersee-Wasser daran beteiligt ist: (siehe auch Analysen-Ergebnisse)

Relevante Parameter	**Turnersee 11 m Tiefe**	**Bach N 1**	**Quelle N 3**	**Quelle N 4**	**Drain N 5**
elektrische Leitfähigkeit µS	303	365	333	371	371
Na mg/l	2,0	1,11	1,04	0,37	0,37
K mg/l	0,91	0,83	n.n.	n.n.	0,25
Cl mg/l	2,15	0,60	0,65	0,20	0,40
$KMnO_4$ mg/l	11,69	7,27	5,37	8,22	6,32
Probenahme 28. Mai 1973					
Elektrische Leitfähigkeit µS	354	432	408	445	448
Ca mg/l	44,0	74,8	71,2	68,0	71,8
Na mg/l	1,86	1,34	0,59	0,52	0,70
K mg/l	0,75	1,49	0,33	0,42	0,42
Cl mg/l	2,90	0,60	n.n.	0,25	0,15
$KMnO_4$ mg/l	13,27	4,11	4,74	3,16	5,06

Tabelle 4: Probenahme 15. April 1973 In den Klopeiner See einfließende Wässer aus dem Hang an der See-Südseite (n.n. = nicht nachweisbar).

An diesen Analysenergebnissen ersieht man bereits aus der elektrischen Leitfähigkeit, dass die aus dem Hang am Südufer des Klopeiner Sees austretenden Wässer deutlich höhere Werte aufweisen, als im Turnersee gemessen wurden. Dies ist vor allem auf die höheren Wasserhärten der Quellwasser zurückzuführen, was besonders das Calcium beweist. Die kurze Durchtrittsstrecke im Sattnitz-Konglomerat erlaubt jedoch nicht einen derartigen Härteanstieg. Andererseits können die niedrigeren Werte für Natrium und Kalium in den Quellwässern gegenüber dem Turnerseewasser nicht ihre Ursache in der Absorption dieser Ionen im Boden haben, da nicht ausreichend Tonminerale für einen solchen Austausch in den Durchtrittsschichten vorhanden sind. Die deutlich niedrigeren Chlorid-Werte der Quellwässer gegenüber jenen des Turnersees sind der sicherste Nachweis, dass das am Fuße der Gatscharza gegen den Klopeiner See austretende Wasser nicht aus dem Turnersee stammt, da Chloride im Boden nicht festgehalten bzw. sorbiert werden können und es keinen anderen Grund für die Verminderung gibt. Beim KMn04-Verbrauch (= alter Maßstab für organische Stoffe im Wasser) ist eine derart große Verringerung der Werte nur durch eine Ultrafiltration im Kolloidmaßstab möglich. Es handelt sich daher um Wässer verschiedener Herkunft. Der Kleinsee seinerseits entwässert nach Norden und in der Sumpfschwelle zum Klopeiner See versickert das Wasser wie am Nordufer des Klopeiner Sees in den Schotterrücken und weiter Richtung Drau. Damit kann man das Einzugsgebiet des Klopeiner Sees begrenzen, wobei die orographische Wasserscheide im Norden und Osten des Klopeiner Sees dahingehend zu berichtigen ist, dass das Einzugsgebiet durch das nördliche und östliche Seeufer begrenzt ist. (Siehe Abb. 2): 1+2 orographisches Einzugsgebiet; 2 hydrographisch auszuscheidendes

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Gebiet; 3 orographisches Einzugsgebiet des Turnersees und Klopeiner Sees; 4 möglicherweise erweitertes Einzugsgebiet für den Klopeiner See. Somit muss das bisher angenommene orographische Einzugsgebiet von 4,024 km² um 1,296 km² vermindert werden und beträgt tatsächlich nur 2,728 km².

Wenn man nun die Wasserbilanz aufstellt, ergibt sich folgendes:

Jahresniederschlag (Mittel aus 1975 – 1981) 906,7 mm in Saager: STINY (1935) gibt noch 1939 in seiner Arbeit 1139 mm jährlich in Saager an.

Verdunstung nach Tafeln von RÖSSERT (1969) mit Berücksichtigung des Verhältnisses von Sommer:Winter-Niederschlägen von 1,8:1 und einer mittleren Jahrestemperatur von 8,75°C (Niederschläge Sommer: Winter 583:323,7 mm, insgesamt 906,7 mm). Dies ergibt eine Verdunstung im Sommer von 530 mm und im Winter von 65 mm, insgesamt 595 mm von 906,7 mm Jahresniederschlag. Somit verbleiben 311,7 mm im See bzw. im Grundwasser.

Wasserbilanz Klopeiner See (jährlich)

1. Niederschläge nach Verdunstung	
Verbleib im See 312 mm (=312 l/m²)	
Mal Seefläche 1.106 km² (1,106.000 m³)	+ 345.072 m³
2. Summe der Zuflüsse aus dem korrigierten	
Einzugsgebiet von 2.728 km² mal 312 mm	
(nach Verdunstung)	+ 851.136 m³
3. Summe oberirdischer Abfluss	
(Seeabfluss) 58,4 l/s	– 1,841.702 m³
Fehlmenge	– 645.494 m³

Zu dieser Fehlmenge kommt noch das unterirdische Wegsickern aus dem See nach Norden in Richtung Drau, das mengenmäßig kaum erfassbar ist. Es beträgt aber mindestens die Summe von Drainwasser im Graben unter St. Kanzian (geschätzt mit ca. 2 l/s), einer Quelle im Ort St.Kanzian (ca. 2 l/s), sowie 6 kleinen Quellen dort (insgesamt ca. 1,2 l/s). Somit sind es etwa 5,2 l/s, die vom Klopeiner See nach Norden unterirdisch aussickern. Es kann aber auch noch wesentlich mehr mit dem Grundwasserstrom unterirdisch aus dem See wegziehen.

Allein diese angenommenen 5,2 l/s ergeben im Jahr 163.987 m³, die der obigen Fehlmenge zugerechnet werden müssten. Das sind dann insgesamt etwa 709.481 m³ Fehlmenge/Jahr.

Da der Klopeiner See nur eine geringe Spiegelschwankung aufweist, erhält er dieselbe Wassermenge vom Grundwasserstrom auf dem Liegenden (Grundwasserstauer) der Rückersdorfer Platte. Der See ist also vom Grundwasser durchströmt, das nicht aus dem Einzugsgebiet des Klopeiner Sees stammt, sondern aus dem theoretischen Einzugsgebiet des Tunersees. Da der Grundwasserstrom auf dem Liegenden der Rückersdorfer Platte von 500 m Meereshöhe im Süden bis ca. 390 m (Drau) im Norden absinkt, zieht er ca. 40 m unter der Sohle des Turnersees (468 m) durch (Abb. 6).

Es erhebt sich somit die Frage, inwieweit der Turnersee und der Klopeiner See aus dem Einzugsgebiet des Turnersees versorgt werden können.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

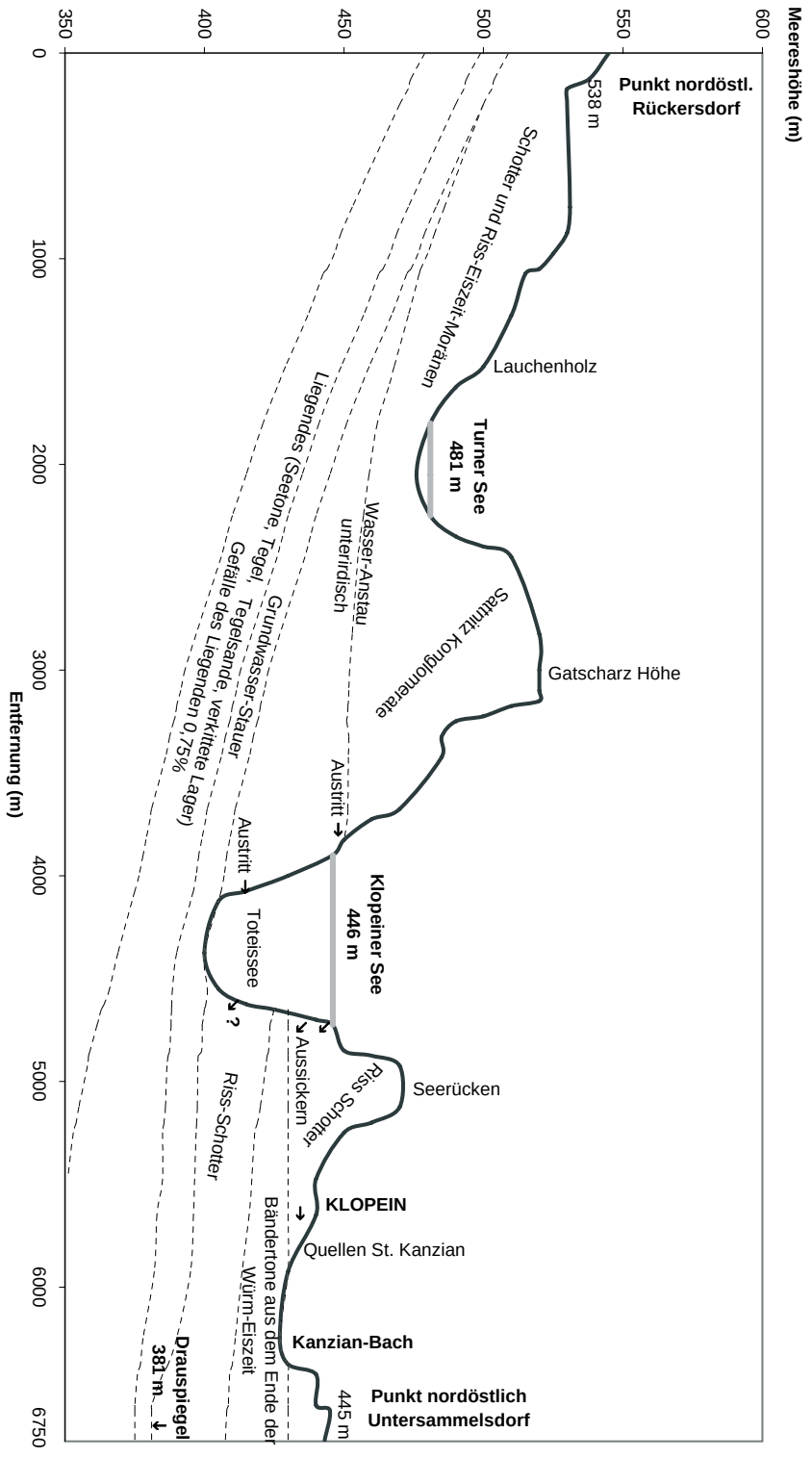


Abb. 6: Wasserregime im Bereich des Klopeiner Sees (Profil Abb. 2).

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Einzugsgebiet des Turnersees 9,40 km² mal	
312 mm Niederschlag/Jahr nach Verdunstung	+ 2,932.800 m³
Abfluss Turnersee lt. Pegel Pirouc	– 2,106.780 m³
Verbleibt ein Rest von	+ 826.020 m³
Fehlmenge Klopeiner See insgesamt	– 709.481 m³
Verfügbarer Spielraum	+ 16.539 m³

Da es sich um Schätzungen handelt, kann dies nur als Versuch zur Erstellung eines Wasserregimes gelten. Das Einzugsgebiet der beiden Seen kann auch geologisch größer, vor allem breiter sein, was nicht bekannt ist.

Zusammenfassend ergibt sich nun folgendes Bild (s. Abb. 6):

Im inneren Bereich der Rückersdorfer Platte sickert ein Teil der Niederschläge rasch in den Schotterboden ein und staut sich auf dem Liegenden des Jungtertiärs. Ein anderer Teil sammelt sich in den Sumpfwiesen des inneren Beckens und strebt dem Turnersee zu. Dieser hat seinen Abfluss über die Enge beim Pirouc nach Osten zum Gösselsdorfer-Seebach.

Die bis zum Grundwasser-Stauer (Liegendes, von F. Kahler auch Mischschichten genannt) abgesickerten Niederschläge ziehen abwärts bis zum Klopeiner See und stauen sich im Konglomerat der Gatscharza bis zur Höhe des Seespiegels auf. Erst wenn durch weiteres Aufstauen der Grundwasserspiegel den Seespiegel übersteigt, ist der hydrostatische Druck erreicht, dass Wasser in den Klopeiner See eindringen kann, was vor allem aus Klüften und Spalten des Sattnitzkonglomerats in einer Seetiefe von etwa 30 m und darunter erfolgt.

Dort wird das Klopeiner-Seewasser vom Grundwasser verdünnt, es wird Sauerstoff eingetragen, wodurch der Seegrund bis auf kleine Bereiche trotz sehr hohem Anteil organischer Substanz keinen Faulschlamm aufweist (2). Da die Einström-Geschwindigkeit gering ist (etwa 2 x 10^{-6} m /sek. Oder 7,2 mm/Std.(709.481 m³/a aus der Rückersdorfer Platte = 1944 m³/d auf 1125 m Seelänge bei 35 m Seetiefe d.s. bei 10 m Schicht 1944 m³/11250 m² = 0.1728 m/d = 7,2 mm/h = 2 x 10^{-6} m/sec) kommt es zu keiner Durchmischung der Seeschichtung.

Sinkt nun der Wasserspiegel aus welchem Grunde immer (Verdunstung, fehlende Niederschläge, Oberflächen- oder unterirdischer Abfluss), so entsteht ein hydrostatisches Gefälle zum aufgestauten Grundwasserspiegel und es fließt in der Gratscharza Wasser aus diesem „Reservoir“ in den See. Folgen Niederschläge, dann füllt sich der Grundwasserspeicher und der See wieder auf. Der oberirdische Abfluss steigt an und der Seespiegel beginnt zu sinken; dies wird aber gleich wieder aus dem Grundwasserspeicher aufgefüllt. So besteht in der Natur ein ausgleichendes System, das die Ursache für die geringen Seespiegel-Schwankungen ist. Es kann daher nur in sehr trockenen heißen Sommern dazu kommen, dass der oberirdische Abfluss trocken fällt, wenn auch der Grundwasserspiegel dieses niedrige Niveau erreicht hat. Aber nach mehreren Wochen Trockenheit folgen stets wieder Niederschläge, die das System wieder auffüllen. Es kann daher der Klopeiner See ohne weiteres als Quellsee bezeichnet werden, wie dies Stiny bereits in seiner Arbeit (1935) tat.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Limnologisches

Dynamik des Seewassers

Wie bereits eingangs (Seite 3) erwähnt, ist der See nur im Osten und deutlich schmäler im Westen für den Windzutritt offen, der häufig mehrmals am Tage die Richtung wechselt. Infolge der tiefen Seewanne im Vergleich zu deren Oberfläche kommt es kaum zu einer tiefer greifenden Durchmischung des Seewassers. Die rasche Erwärmung im Frühjahr lässt bald ein warmes Epilimnion (obere Wasserschicht) entstehen, das von der kalten, in der Tiefe liegenden Wassermasse (Hypolimnion) nur durch eine dünne Sprungschicht (Metalimnion) von 5-8 m getrennt wird (Abb. 7 und 8, Tab. 5).

Diese Schichtung bleibt auch im Herbst erhalten, weil die Abkühlung der oberen Wasserschichte auf die Temperatur des Hypolimnions erst im erst im Dezember erreicht wird und diese Zeit besonders windstill ist, so dass es zu einer tieferen Durchmischung praktisch nie kommt. Nur in dieser Zeit der Temperaturgleichheit im ganzen Seebecken wäre eine tiefergreifende Durchmischung wegen der dann durchgehend gleichen Dichte des Wassers möglich. Um die Weihnachtszeit friert dann der See zu und bildet eine 20-30 cm dicke Eisdecke. Dadurch ist der See jeder Windeinwirkung bis zum Auftauen der Eisdecke Mitte, ja Ende März entzogen. Diese Meromixis, die Teildurchmischung des Epilimnions, lässt im See eine Eigendynamik entstehen: Die in das Epilmnion gelangenden eutrophierenden Stoffe (Blütenstaub, Laub, Insekten, oberflächliche Gerinne, Badebetrieb) können vom geringen Abfluss des Sees, der in der Sommerzeit häufig infolge des absinkenden Wasserspiegels trocken fällt, nicht abtransportiert werden. Sie verbleiben somit im See und erzeugen nach teilweiser Mineralisierung ein vermehrtes Algenwachstum (hauptsächlich Anabaena, Microcystis, aber auch Planktothrix rubescens u.a.), das gleichzeitig eine Zunahme des Zooplanktons (u.a. Cyclops, Daphnia, verschiedene Flagellaten) zur Folge hat. Alle diese Organismen sterben

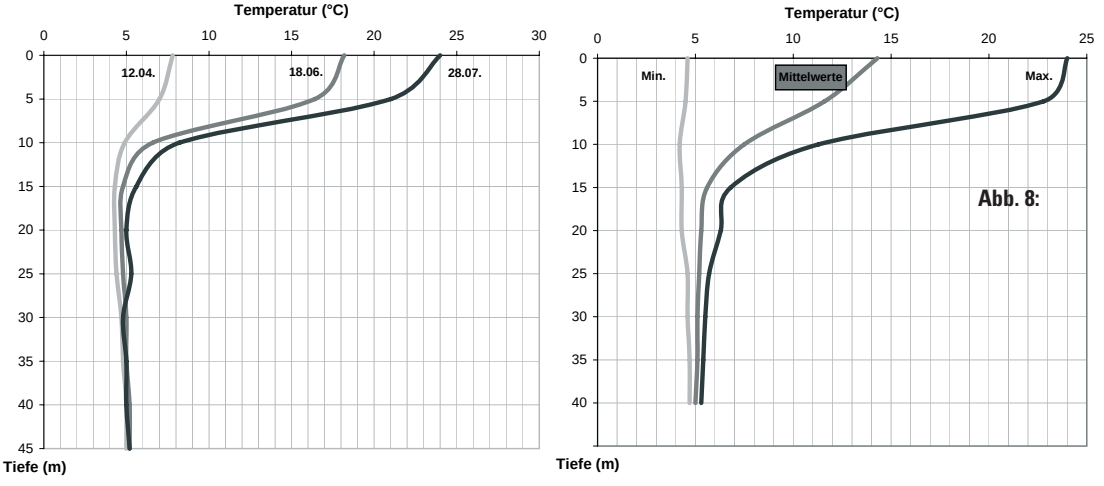
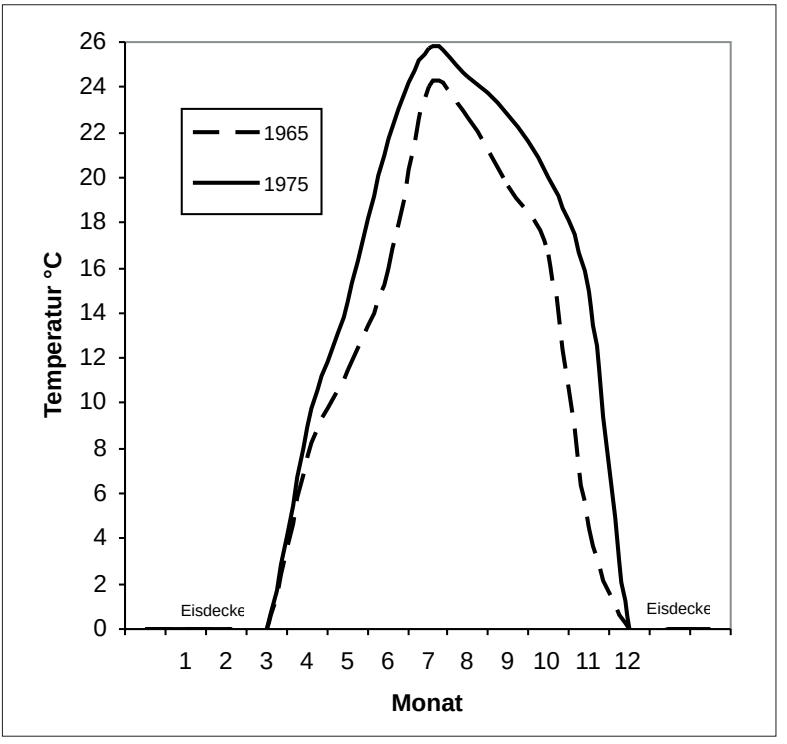


Abb. 7: Temperaturschichtung des Klopeiner Sees am Beispiel 1965 (links). Schwankungsbreite der Wassertemperatur in verschiedenen Tiefen (in °C)(rechts).

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Abb. 8: Temperaturentwicklung an der Oberfläche 1965 und 1975



Tab. 5: Profil Temperaturen in °C (Es gibt noch Profile mit 5 u. 2,5 m Abstand. 5 m Tiefe haben alle, aber nicht aussagekräftig).

Profil Datum	2.5. 1964	2.7. 1964	11./12.8. 1964	25.9. 1964	3.12. 1964	12.4. 1965	18./19.6. 1965	28.7. 1965	10.10. 1965	11.12. 1965	16.3. 1966	27.3. 1966	24.4. 1966	15.6. 1966
0 m	13.5	21.7	22.0	18.7	6.3	7.8	18.2	24.0	16.4	4.5	4.6	6.0	11.3	22.6
10	5.7	9.1	9.0	10.8	6.8	4.9	6.6	8.2	9.4	4.5	4.2	4.8	5.8	7.6
20	4.7	4.8	5.0	6.3	5.2	4.3	4.7	5.0	5.2	4.7	4.4	4.6	4.8	5.3
30	4.7	4.8	4.8	5.5	4.7	4.7	5.0	4.8	5.1	4.8	4.7	4.6	4.7	5.1
40	5.3	5.0	4.8	5.7	4.8	5.0	5.2	5.0	5.2	5.0	5.0	5.0	5.1	4.8

Profil Datum	25.7. 1966	4.9. 1966	20.12. 1966	28.3. 1968	14.8. 1968	4.4. 1969	7.5. 1970	20.8. 1970	13.3. 1973	15.4. 1973	28./29.5. 1973	25.7. 1973	13.9. 1973	3.11. 1973
0 m	22.8	19.6	4.6	8.6	21.5	5.1	11.8	23.4	1.4	6.2	19.5	22.0	21.6	9.9
10	9.8	10.2	4.6	5.2	11.3	4.8	5.0	9.8	4.2	5.4	5.8	8.6	9.8	9.4
20	5.8	5.6	4.7	4.8	5.0	4.5	4.8	5.2	4.6	4.6	5.0	5.0	5.2	5.2
30	5.0	4.8	4.8	4.8	5.2	5.0	5.2	5.1	4.9	4.6.	5.0	5.0	5.2	5.2
40	5.1	5.2	5.0	5.1	5.2	5.1	5.2	5.2	5.2	5.0	5.3	5.4	5.2	5.2
									Eisdecke				42 m : 5.3	

Profil Datum	29.3. 1974	31.5. 1974	3.7. 1974	29.7. 1974	26.10. 1974	17.12. 1974	13.3. 1975	3.5. 1975	21.5. 1975	6.6. 1975	13.6. 1975	9.6. 1976	8.9. 1980	16.10. 1987
0 m	11.2	19.1	20.7	21.3	11.0	4.7	5.8	14.2	19.1	18.0	19.0	19.6	21.0	15.4
10	5.0	8.6	9.1	11.6	10.8	4.8	4.5	6.8	7.0	7.1	7.6	6.0	10.0	12.5
20	4.5	5.2	5.3	5.3	4.0	4.9	4.7	5.2	5.5	5.3	5.5	4.5	5.6	5.0
30	5.2	5.1	5.2	5.0	5.1	5.1	5.0	5.2	5.2	5.2	5.3	4.5	5.3	5.2
40	5.2	5.4	5.4	5.5	5.4	5.2	35m/5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	4.6	5.4	5.8
			43 m: 5.6		5.6	5.2	seit 3 Tg. Eisfrei							

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

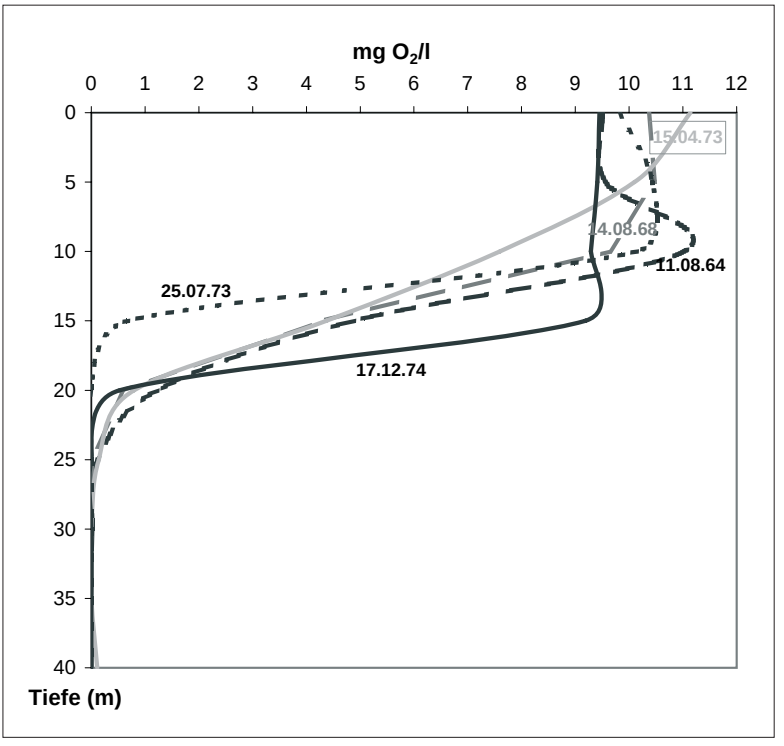


Abb. 9: Sauerstoffgehalt des Sees zu 4 Terminen vor der Inbetriebnahme der TWA (1975).

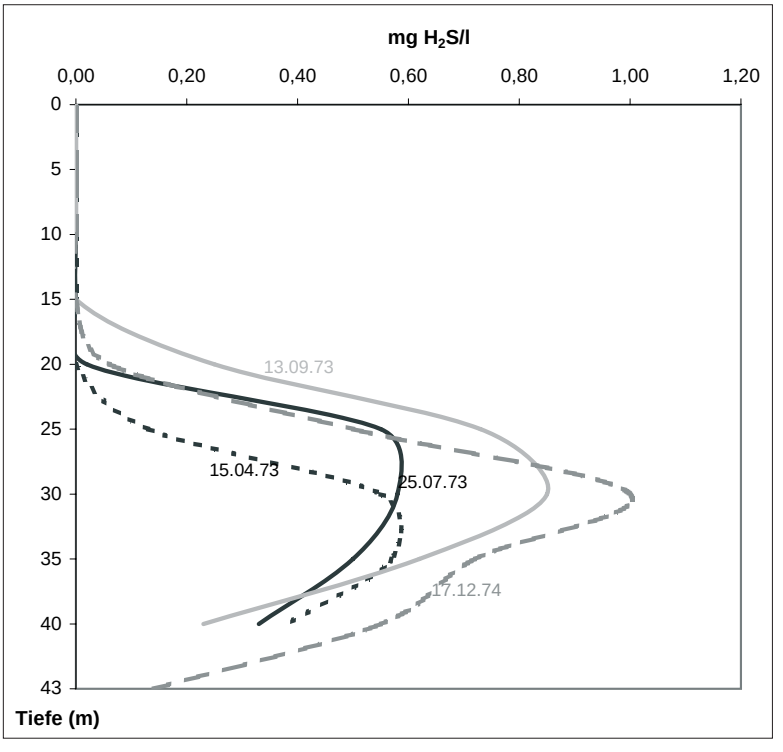


Abb. 10: Schwefelwasserstoffbildung in der Tiefe zu 4 Terminen vor der Inbetriebnahme der TWA (1975).

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

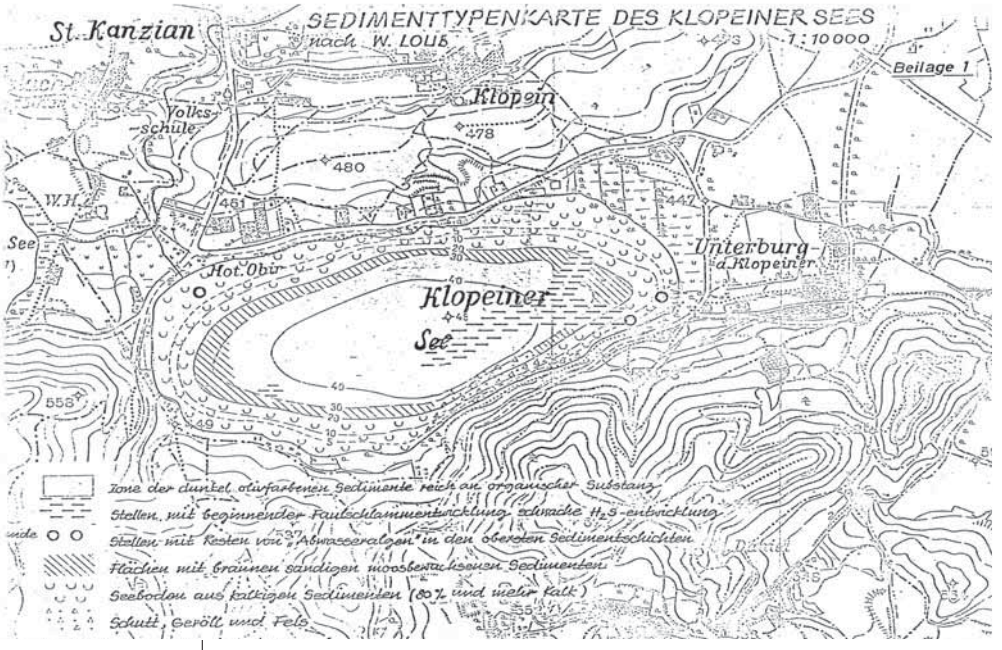


Abb. 11: Sedimenttypenkarte des Klopeiner Sees, Maßstab 1:10.000 (nach W. Loub, 1967).

einmal ab und sinken zu Boden. Sie werden im Sinken von Bakterien unter Sauerstoffverbrauch zersetzt. Dabei werden vor allem Phosphate und Stickstoffverbindungen freigesetzt. Letztere werden in den 0_2-hältigen oberen Schichten von Bakterien (Nitrosomonas u. Nitrobacter) zu Nitrat ($N0_3$) oxidiert. Im Absinken in der 0_2-freien Zone wird das $N0_3$ zu $N0_2$ reduziert und aus dem noch vorhandenen Eiweiß der absinkenden Algen etc. wird Ammonium (NH_4) gebildet. Ist der Sauerstoff im Wasser vollständig aufgezehrt, übernehmen fakultativ anaerobe Bakterien im weiteren Absinken die Zersetzung der organischen Stoffe und es kommt zur Fäulnis. Dabei wird Schwefelwasserstoff (H_2S) gebildet, der sich im Wasser aufgrund des erhöhten Druckes (20-35 m Tiefe) auflöst. (Abb. 10). In weiterer Folge des Absinkens gelangt in Seegrundnähe aus den Grundwasserquellen, wie bereits beschrieben, von der Südseite des Sees her sauerstoffhältiges Wasser dazu (siehe Kapitel Hydrographie) und der gebildete Schwefelwasserstoff wird allmählich nach Maßgabe des zugeführten Sauerstoffs wieder z.T. von Schwefelbakterien, z. T. chemisch oxydiert. Zur Verringerung des gelösten Schwefelwasserstoffes trägt aber auch das ab 25 m Tiefe nachgewiesene gelöste Eisen bei, das als schwarzes Eisensulfid ausfällt und sich am Seegrund ablagert. Da dort aber unmittelbar daneben das 0_2-hältige Grundwasser in den See gelangt, wird das Eisensulfid wieder rasch zum Eisen-Sesquioxid aufoxidiert, wobei dem eindringenden Quellwasser (Grundwasserstrom) entsprechend Sauerstoff entzogen wird.

Die von Loub (1967) festgestellten schwarzen Faulschlamm-Ablagerungen in Y-Form am Seegrund im Osten des Sees dürften einerseits durch ehemalige Abwassereinleitungen, andererseits aber dort infolge fehlender Einsickerung von sauerstoffhältigem Grundwasser entstanden sein.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Tab. 6.1. Phosphat P04 µg/l
Profil Seemitte bzw. Profil Ost (Seetiefe 32 m).

Profil Datum	2.5. 1964	2.7. 1964	11./12.8. 1964	25.9. 1964	3.12. 1964	12.4. 1965	Mitte 19.6.1965	Ost 19.6.1965	Mitte 28.7.1965	Ost 28.7.1965	18.9. 1965	10.10. 1965
0	0	0	0	5,8	0	0	0	---------	0	0	0	0
5	0	0	0	2,9	21,0	0	0	---------	0	---------	0	0
10	0	0	0,8	1,5	0	0,8	0	1,2	0	0,7	0,5	0
20	0	0	0,8	4,3	0	0	0	0,5	0	1,4	0,8	0
30	2,0	1,8	2,3	17,6	1,8	0,8	0	13,2	2,1	1,0	4,2	10,3
40 m	42,0	21,0	41,7	68,5	43,6	8,2	0,8	---------	6,3	---------	35,0	65,5
		Temp.!										

Profil Datum	11.12. 1965	16.3. 1966	27.3. 1966	24.4. 1966	15.6. 1966	25.7 1966	4.9. 1966	20.12. 1966	28.3. 1968	14.8. 1968	4.4. 1969	7.5. 1970
0	1,8	0	0	0	0,3	0	0	12,0	0	0	0	0
5	1,8	34,0	0	0	0,8	0	10,0	12,0	0	0	0	0
10	2.3	4,5	0	0	1,3	0	0	0	0	0	0	0
20	8,3	0	0	0	3,9	0	5,0	62,0	0	70	0	5
30	41,7	68,5	102,5	1,2	33,0	11.0	18,0	10,5	107	100 35m>340	118	95
40 m	365,0	350,0	197,5	96,5	117,0	168,0	330,0	425,0	358	200	818	600
	2 Tg. Eisfrei									43 m 265		

Profil Datum	20.8. 1970	Eisdecke 13.3.73	15.4. 1973	28./29.5 1973	25.7. 1973	13.9. 1973	3.11. 1973	29.3. 1974	31.5. 1974	29.8. 1974	26.10. 1974	17.12. 1974
0	67,0	7,0	5,0	0	0	0	187	0	0	10	0	0,3
5	0	25,0	12,0	28	0	0	258	0	0	7	0	0,3
10	0	29,0	8,0	118	0	170	190	35	33	0	0	4,0
20	0	110,0	77,0	33	0	0	18	23	188	18	0	2,3
30	100,0	217,0	188,0	173	264	161	180	137	382	235	11	37,0
40 m	413,0	871,0	655,0	325	640	593	635	620	1007	675	184	94,6
43 m		560,0								850	280	112,0

Auch beim Phosphat ist mit zunehmender Tiefe ein Anstieg zu verzeichnen (Tabellen 6/1 und 6/2). Dieser hängt vor allem von der Menge des abgestorbenen Planktons ab, das von den Bakterien im Absinken zunehmend zersetzt wird und sich so anreichert.. Aber auch die Entwicklung der Wassertemperatur spielt bei diesen Abbauvorgängen eine gewisse Rolle in den oberen Schichten. Ab 20 m Tiefe fällt dieser Faktor aber weg, da dort die Temperatur fast immer bei ca. 5°C liegt.

Tab. 6.2. Phosphat P04 µg/l
Profil beim Floß der Tiefenwasserableitung, TWA in Betrieb.

Profil Datum	13.3. 1975	3.5 1975	21.5. 1975	27.5. 1975	13.6. 1975	b. Floß 20.6.75	100 m südöstl.	200 m südöstl.	31.7. 1975	15.9. 1975	b. Floß 6.11.75	13.12. 1975
0	12	1,2	5,8	4,5	0,6	0,8	-----	-----	2,9	0	0,3	29,0
5	0	8,0	5,0	3,3	0,8	0	-----	-----	2,3	0	0,3	4,0
10	4	8,6	9,0	4,5	5,0	2,0	-----	-----	5,8	0,8	0,8	36,0
20	61	32,5	20,0	19,0	2,3	3,3	2,3	5,0	11,9	1,2	4,5	6,3
30	153	210,0	344,0	345,0	210,0	265,0	320,0	220,0	217,0	280,0	233,0	250,0
40 m	242	35m 457	307,0	485,0	375,0	398,0	645,0	-----	400,0	690	485,0	460,0

Eis 12–14 cm /eisfrei seit 24. 3.

Fortsetzung Tab. 6.2 auf Seite 520

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Profil Datum	30.1. 1976	6.4. 1976	9.6. 1976	13.9. 1976	4.11. 1976	14.4. 1977	2.6. 1977	7.10. 1977	26.4. 1978	19.9. 1978	6.7. 1979	26.11. 1979
0	2,3	1,8	31,0	1,8	25,0	0	5,0	5,0	5,0	1,0	2	0
5	2,3	5,0	0,8	1,2	0	0,8	1,8	21,0	6,0	1,0	3	16
10	5,8	1,0	0	0,9	0	1,6	1,2	0,4	17,0	1,0	2	3
20	39,2	34,0	18,5	3,3	3,0	7,0	2,4	9,0	8,0	6,0	10	12
30	289,0	242,0	285,0	130,0	225,0	280,0	290,0	173,0	168,0	215,0	178	190
35 m	326,0	450,0	695,0	495,0	452,0	455,0	630,0	378,0	278,0	490,0	465	448
							TWA 36,0?			415		415

Profil Datum	8. 9. 1980	2.6. 1981	13.10. 1981	29.5. 1982	18.10. 1982	7.10. 1983	15.9. 1985	14.9. 1986	16.10. 1987
0	2	11	2	2	0	0,7	0	0	0
5	8	0	4	1	1	5,0	0	0	0
10	16	0	0	3	1	11,0	0	0	0
20	8	4	11	10	4	11,0	0	0	64
30	65	205	116	106	76	144,0	160	154	240
35 m	295	358	228	448	345	388,0	233	239	293
TWA-Ablauf	265	355	237	384	292	---	100	274	48

Dasselbe gilt für den Stickstoff, der in der 0_2-freien Tiefe als NH_4-Stickstoff vorliegt (s. Tab. 7). Eine Anreicherung von Nitrat-Stickstoff ($N0_3$-N) neben H_2S (Schwefelwasserstoff) ist jedoch biochemisch nicht möglich, wie bereits weiter oben dargelegt.

Datum / Tiefe	11.12. 1965	15.6. 1966	25.7. 1966	4.9. 1966	24.4. 1966	25.7. 1966	4.9. 1966	14.8. 1968	4.4. 1969	7.5. 1970	25.7. 1973	3.7. 1974
20 m	0,15	1,4	0	0,00	0	0	0	0	0	0	0,20	0,70
25	0,28	6,0	0	0,06	0	0	0,05	0,55	0,30	0,25	0,87	0,95
30	0,90	13,5	1,03	1,11	0,10	0,80	0,86	1,25	1,75	1,10	1,37	1,90
35	1,67	24,3	2,60	2,24	0,15	2,60	1,74	1,55	2,65	1,63	1,90	2,85
40	2,82	27,2	3,50	3,19	1,20	3,50	2,47	0,92	3,15	2,77	2,78	3,45
43	–	–	–	–	–	–	–	2,35	–	–	–	3,45

Tab. 7: Profil See Mitte: NH_4 mg/l.

Der beschriebene Quellwasserzutritt im Hypolimnion ist auch die Ursache, dass von Probenahme zu Probenahme die Werte des aus der Planktonzersetzung frei gewordenen Phosphats in der Tiefe stark schwanken (Abb. 5 und 6). Allerdings dürfte es sich nicht allein um eine Verdünnung infolge Quellwasserzutritts in der Tiefe handeln, denn die freien Phosphatmengen müssten sich dann durch die dabei entstehenden Feinströmungen in den darüber liegenden Wasserkörper einmischen, was aber nicht der Fall ist. Vielmehr liegt die Vermutung nahe, dass stärkerer Quellandrang in der Tiefe auch ein erhöhtes Aussickern von Seewasser in der Tiefe nach Norden bedingt. Da von dem aussickernden Tiefenwasser durch die überwiegend aus Kalkmaterial bestehende Riss-Moräne des nördl. Seerückens das gelöste Phosphat gebunden wird, ist am austretenden Grundwasser nördlich des Seerückens eine Phosphatanalyse sinnlos und wurde deshalb auch nicht ausgeführt.

Dieses Absinken der Phosphatwerte in 35–40 m Tiefe scheint mit den Niederschlägen bzw. Schmelzwässern zusammen zu hängen, da dies schubweise erfolgt. Da der Grundwasserstrom im Bodenkörper eine zeitliche Verzögerung erfährt, kann man die gefallenen Niederschläge zeitlich nicht direkt im Bezug zu dieser Erscheinung setzen. Trotz allem verbleibt noch immer ein Teil des Phosphats im See, und zwar das in der noch schwebenden organischen Substanz aus den oberen Schichten des Sees. Daraus erklärt sich der erneute Anstieg der Phosphatwerte in der Tiefe, der nach einiger Zeit dort wieder erfolgt aus der Mineralisierung der schweben-

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

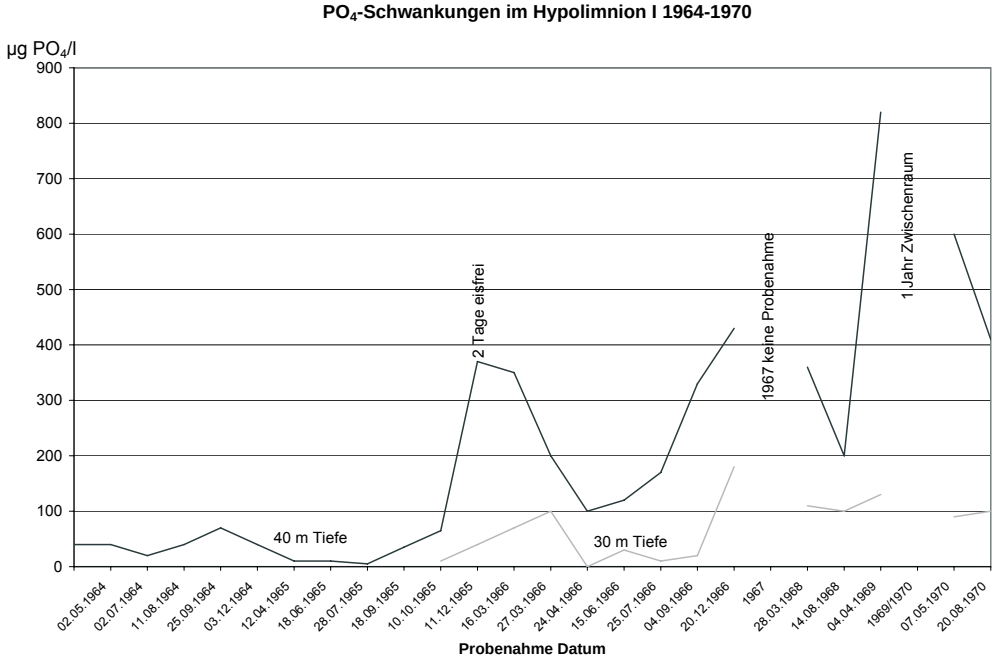


Abb. 12:
Phosphat-Schwankungen im Hypolimnion I von 1964-1970.

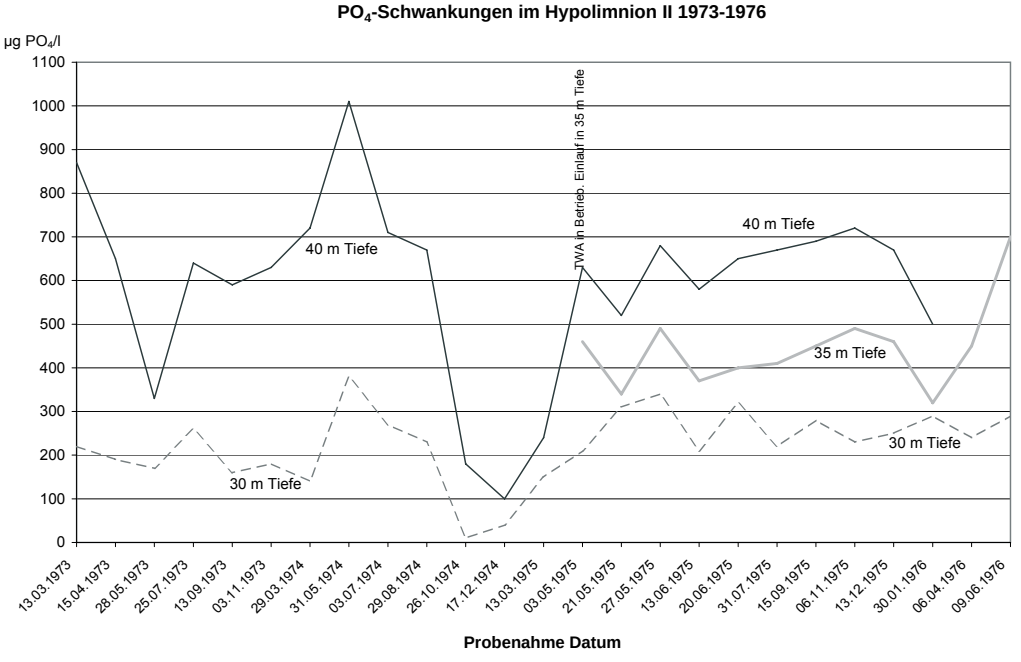


Abb. 13:
Phosphat-Schwankungen im Hypolimnion II von 1973-1976.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

den organischen Substanz. In diesem Zusammenhang sei hier darauf hingewiesen, dass die bakteriologische Untersuchung fast immer zwischen 10 m und 25 m eine deutlich erhöhte Zahl von psychrophilen Keimen ergab.

Die visuelle Untersuchung zeigte bereits makroskopisch im Bereich von 10 – 15 m ein deutliches Vorkommen feinster Fadenalgen, die mikroskopisch als *Planktothrix rubescens* (Synonym: *Oscillatoria rubescens*) identifiziert werden konnten. Diese *Planktothrix* -Horizonte enthielten auch erhöhte Bakterienzahlen. Das Absinken dieser Algenschichten und deren Abbau ließen sich an der Keimzahlbestimmung (aerobe Keime) gut verfolgen bis in über 30 m Tiefe. Darunter waren die Keimzahlen immer sehr niedrig (Tabelle 8). Die Ursache hiefür ist einerseits der fehlende Sauerstoff im Tiefenwasser, andererseits die Verdünnung durch das eindringende Grundwasser.

Datum / Tiefe	08.07. 1964	03.12. 1964	12.04. 1965	28.07. 1965	10.10. 1965	16.03. 1966	25.07. 1966	04.09. 1966	20.12. 1966
0	4	39	7	1	51	47	6	108	900
5	2	27	9	57	112	12	87	288	800
10	45	21	<8000	17	75	26	101	45	600
20	30	12	8000	5	23	93	32	133	44
30	14	1	27	1	28	477	12	95	2
40	15	0	9	2	12	5	2	12	6

Bebrütungstemperatur 25 °C, Kulturmedium Fleisch-Agar
Untersuchung an Ort und Stelle unmittelbar nach der Probenahme

Tab. 8: Keimzahlen je ml Profil Mitte.

Tab. 9: Profil Seemitte: Karbonat- und Gesamthärte, repräsentative Angaben in Graden deutscher Härte(°dH), Auswahl aus 21 Probenahmen 1964-1974.

Die Wasserhärte (s. Tabelle 9) des Klopeiner Sees liegt zwischen 6,60 (Oberfläche) und 12,0°dH (40 m Tiefe als Gesamthärte ausgewiesen).

Datum der Probenahme	2.5. Karb.Härte	1964 Ges. Härte	2.7. Karb. Härte	1964 Ges. Härte	3.12.64 Ges. Härte	18.6.65 Ges. Härte	15.6.66 Ges. Härte	4.9.66 Ges. Härte	20.12.66 Ges. Härte
0 m	6,86	7,75	6,30	6,72	8,68	8,23	8,51	7,62	8,84
5	7,28	7,84	6,58	7,56	7,95	----	8,01	7,29	8,79
10	7,42	8,29	7,42	7,94	7,28	8,23	8,29	8,85	8,90
20	7,76	8,82	7,84	8,12	8,12	8,96	8,68	9,63	9,80
30	7,84	9,01	8,26	8,40	8,34	8,96	9,13	9,18	10,08
40	9,38	9,92	8,58	9,13	8,79	11,48	9,54	9,64	11,70

Datum d. Probenahme	15.4. Karb. Härte	1973 Ges. Härte	25.7. Karb. Härte	1973 Ges. Härte	3.11.73 Ges. Härte	31.5.74 Ges. Härte	3.7.74 Ges. Härte	29.8.74 Ges. Härte	26.10.74 Karb. Härte	26.10.74 Ges. Härte
0 m	7,56	8,68	6,72	7,84	8,85	7,78	7,78	6,60	6,58	6,86
5	7,56	8,18	6,72	7,84	9,18	7,84	7,70	6,63	6,67	6,92
10	7,56	9,02	7,56	7,84	8,57	7,90	7,90	7,60	6,85	7,02
20	8,12	9,24	8,40	8,68	9,63	8,18	8,40	8,61	8,33	8,49
30	9,24	11,48	9,24	9,30	10,25	9,16	8,85	9,07	8,65	8,81
40	10,36	12,04	10,08	10,08	10,42	10,53	9,86	9,69	9,30	9,80

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Die permanente Härte macht davon 2 % bis maximal 12 % aus und bleibt auch mit zunehmender Tiefe kaum verändert. Die Karbonathärte macht 97 – 99,5 % der Gesamthärte aus. Die Karbonathärte und damit auch die Gesamthärte nehmen der Tiefe nach zu. Die Zunahme der Karbonathärte ist auf die ständige Assimilation der Algen in den oberen vom Licht durchdrungenen Schichten des Sees zurückzuführen. Dabei wird dem Wasser gelöstes $C0_2$ (bzw. $HC0_3$-) entzogen und es kommt zur Ausfällung von Calcium (und Magnesium) als feste Karbonate. Diese sinken mit den abgestorbenen Organismen in die Tiefe.

Im Zuge der bakteriellen Zersetzung der absinkenden toten organischen Masse (Algen, Zooplankton, etc.) entsteht $C0_2$, das im Wasser gelöst bleibt. Mit zunehmender Tiefe und dem damit steigenden Druck sowie sinkender Temperatur steigt die $C0_2$-Konzentration. Die gelöste Kohlensäure löst das in den oberen Schichten des Sees ausgefällte Calcium- und Magnesium-Karbonat bevor es den Seegrund erreicht wieder zunehmend auf und damit steigen die Werte für das gelöste Calcium und Magnesium wieder an. Hierdurch erfolgt gleichzeitig eine Erhöhung der Karbonathärte. Das Magnesium ist stets ca. ein Drittel von Ca-Gewicht. Die Karbonathärte macht 97 – 99,5 % der Gesamthärte aus. Diese Dynamik der Kohlensäure wirkt sich auch auf den pH-Wert aus, der z. B. an der Oberfläche 8,23 und in 40 m Tiefe nur mehr 7,15 beträgt. Die Ursache ist, dass mit zunehmender Karbonathärte die sogenannte zugehörige Kohlensäure überproportional steigen muss, um das $Ca(HC0_3)_2$ in Lösung halten zu können. Im engen Zusammenhang damit steht auch die elektrische Leitfähigkeit des Seewassers, die mit der Konzentration der dissoziierten Ionen (hier überwiegend H+, Ca++, Mg++ und $HC0_3$) zusammenhängt. (s. Tabelle 10).

Elektr. Leitfähigk. µS/cm² Probenahme-Datum	0 m	40 m
02.05.1964	184	205
16.03.1966	173	240
15.06.1966	232	297
25.07.1966	223	300
04.09.1966	196	281
20.12.1966	181	237

Tab. 10: elektrische Leitfähigkeit des Seewassers.

Wenn nun durch die $C0_2$-Assimilation des Algenplanktons die oberen Seeschichten entkalkt werden, dann müsste im Laufe der Zeit dort die Karbonathärte laufend abnehmen, da in diese nur weiches Niederschlagswasser gelangt. Der überwiegende Zufluss zum See erfolgt jedoch in der Tiefe durch Quellwasser wie bereits beschrieben. Wie die zahlreichen Untersuchungen innerhalb der einzelnen Jahre zeigten, blieb die Karbonathärte im Epilimnion stets fast gleich. (s. Tabelle 9). Die Ursache dürfte z. T. wohl an der Verdunstung liegen, wodurch es an der Oberfläche zu einer Aufkonzentrierung der gelösten Stoffe kommt. Dies geht sich aber rein rechnerisch nicht aus. Setzt man jedoch den Ca-Gehalt der kleinen oberirdischen Seezuflüsse in die aus dem unmittelbaren Einzugsgebiet zufließende Wassermenge (siehe Wasserbilanz: 851.136 m³) ein, so errechnet sich eine Zufuhr von 15g/m³ und Jahr für die

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

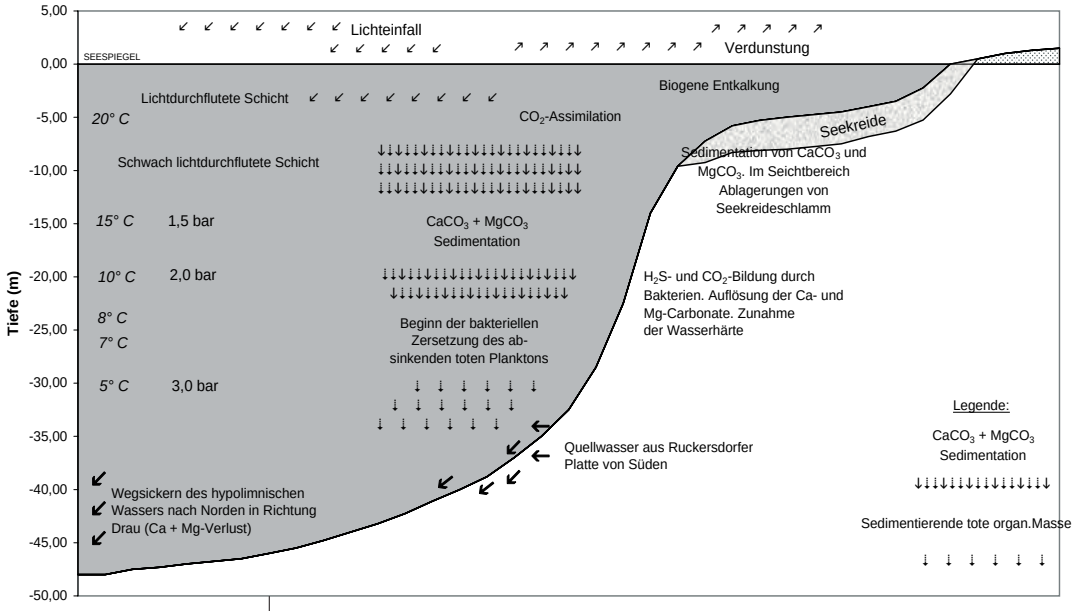


Abb. 14: Schematische Darstellung der Dynamik des Klopeiner Sees.

oberste Wasserschicht von 0-5 m Tiefe. Diese Menge wäre ausreichend, um die Calciumverluste infolge Assimilation des Algenplanktons auszugleichen. Außerdem gelangt aus der Luft (Pollen, Samen, Laub) und durch Badende sowie aus den Seekreidebänken des seichten Uferbereiches genügend Ca und Mg in das Epilimnion.

Da der See keine Volldurchmischung kennt, jedoch ein ständiger Ca-Strom von oben nach unten, ausgelöst durch die $C0_2$-Assimilation im Epilimnion, besteht, kommt es mit zunehmender Tiefe zum Ansteigen der Karbonathärte (s. Tabelle 9, Abb. 14)

Diese Karbonathärte müsste nun im Hypolimnion infolge des Ca-Stromes nach unten ständig weiter ansteigen. Die höheren Wasserhärtegrade bleiben jedoch in 40 m Tiefe innerhalb eines gewissen Rahmens bestehen. Infolge der Durchströmung des Klopeiner Sees über dem Seegrund durch von Süden eindringendes Grundwasser mitgeringerer Härte und im Norden wegsickerndes härteres hypolimnisches Wasser hat sich dort bei der Karbonathärte ein Gleichgewicht eingependelt. Somit ist klargestellt, warum trotz Zunahme der Ca- und Mg-Gehalte in der Vertikalen von oben nach unten diese sowohl an der Oberfläche und am Grunde des Sees ziemlich konstant bleiben. Die kalkreichen lockeren Sedimente in den bis ca. 20 m tiefen Uferbereichen des Sees, sogen. Seekreidebänke (mit bis zu 80 % $CaC0_3$), die im noch sauerstoffhaltigen Wasserbereich liegen, nehmen eine Gesamtfläche von ca. 45 ha, d.s. 40 % des Seegrundes, ein. Diese Seekreidebänke sind, wie bereits beschrieben, infolge der $C0_2$-Assimilation des Algenplanktons in den obersten durchlichteten Wasserschichten entstanden. Durch den Entzug von im Wasser gelöstem zugehörigem $C0_2$, das zum in Lösung halten der Ca- und Mg-Hydrogenkarbonate erforderlich ist, kommt es zur Ausfällung von ungelöstem $CaC0_3$ (samt $MgC0_3$). Diese sinken zusammen mit dem abgestorbenen Plankton (Phyto- und Zooplankton) langsam in die Tiefe. Daraus haben sich im Uferbereich bis ca. 20 m Tiefe im Laufe von

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Jahrtausenden feinste, lockere Kalksedimente, die sogenannten Seekreidebänke mit bis zu 80% $CaC0_3$, gebildet.

Obschon diese Seekreidebänke noch im Bereich der sauerstoffhältigen Wasserschichten sich befinden, ist bereits 10-20 cm unter deren Oberfläche, die noch hell-grüngrau ist, ein schwarzer übelriechender Schlamm. Dies kommt daher, dass die im Sediment befindliche organische Masse des abgestorbenen Planktons infolge bakterieller Zersetzung unter der Kalküberdeckung anaerobe Verhältnisse schafft und zu faulen beginnt. Sobald jedoch Sauerstoff Zutritt findet, verschwindet binnen weniger Minuten die schwarze Farbe und der Faulschlammgeruch ist verschwunden. Dies ermöglicht dem dort angewachsenen lockeren Schilfbestand (Phragmites) infolge dessen Belüftung der Wurzelzone bis zu einer Wassertiefe von ca. 1,5 m zu wachsen. (Dasselbe gilt auch für Seerosen, Laichkraut, *Myriophyllum* etc.).

Diese Bestände sind heute nur mehr in kleinen Resten verblieben.

Die Schwarzfärbung des Schlammes entsteht infolge Bildung von schwarzem Eisensulfid (FeS). Dieses Eisen (Fe) stammt aus dem Abbau der organischen Biomasse des abgestorbenen Planktons, aber auch von in den See eingefallenen Stoffen (Insekten, Staub etc.) Bei Hinzutritt von Sauerstoff wird schwarzes FeS über $Fe(0H)_3$ und der Schwefel zu elementarem Schwefel, weiter über Schwefelbakterien zu Sulfat oxidiert.

In der Sedimenttypenkarte von W. Loub (1967) folgen in der Tiefe von 20-30 m diesen lockeren Kalksedimenten „Flächen mit braunen sandigen moosbewachsenen (Fontinalis) Sedimenten“ am Seegrund. (Siehe Abb. 11)

Aus den 65 Profiluntersuchungen, die vom Verfasser gemacht wurden und z.T. mehrere Stellen des Sees betreffen, ist in der Tiefe von 20-30 m der Sauerstoff infolge der mikrobiellen Zersetzung des absinkenden abgestorbenen Planktons verbraucht und es kommt, so wie im Faulschlamm der Seekreidebänke in weiterer Folge etwa ab 25 m Tiefe zu H_2S-Bildung (s. Abb.4).

Moosbewachsene Sedimente sind nur in Gegenwart von Sauerstoff möglich. Da aber in der Sedimenttypenkarte von Loub diese Zone genau im 0_2-freien, H_2S-hältigen Teil liegt, dürfte hier ein Schichtfehler vorliegen. Am steilen Südufer wäre jedoch durch das Eindringen von Quellwasser ein Moosbewuchs möglich, was in der Hauptwassermasse besonders im Norduferbereich nicht sein kann (Aussickern gegen Nord).

Da aber einerseits dort durch das Wegsickern des Hypolimnions nach Norden ständig Ca und Mg abtransportiert wird, bleibt in der Tiefe des Sees trotz laufender Zufuhr von Ca und Mg von oben die Wasserhärte konstant. Der Wasserverlust durch das Wegsickern nach Norden wird mit dem Zufluß des Grundwassers aus der im Süden gelegenen Rückersdorfer Platte ausgeglichen. Somit ist die Zunahme der Ca- und Mg-Konzentration nur von oben nach unten feststellbar. Sowohl im Epilimnion als auch im Hypolimnion bleiben die beiden unterschiedlichen Konzentrationen von Ca. und Mg fast konstant. Dies gilt somit auch für die damit zusammen-hängenden Werte für die Karbonathärte und die elektrische Leitfähigkeit.

Zusammenfassend ergibt sich folgendes: Der Klopeiner See ist ein Quellensee mit nur geringen Spiegelschwankungen. Er weist auf Grund seiner geographischen und klimatischen Lage nur in den oberflächen-

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

nahen Wasserschichten eine Durchmischung durch Winde auf. Er ist daher meromiktisch (d.h. teildurchmischt). Die Plankton ernährenden Mineralstoffe gelangen überwiegend durch kleine Gerinne, aus der Luft und besonders durch den sommerlichen Badebetrieb in den See. Die Schichtung des Wasserkörpers ist thermisch je nach Jahreszeit unterschiedlich.

Der See trägt jedes Jahr ca. 3 Monate eine Eisdecke. Sommerliche Höchsttemperatur: ca. +26°C. Das Plankton besteht überwiegend aus Grün-, Blau- u. Kieselalgen; dazwischen leben Kleintierkrebse (*Cyclops*, *Daphnia*) und diverse Protozoen. Die Fischerei beschränkt sich auf Angelsport. Im Frühjahr und Herbst konnten Algenblüten von *Anabaena*, *Microcystis* und im Winter zeitweise von *Planktothrix rubescens* festgestellt werden.

Die rasche Erwärmung des Klopeiner Sees in der Sommerperiode machen ihn zu einem beliebten Badesee mit extrem hoher Badefrequenz.

Eutrophierung

Unter Eutrophierung versteht man die Zunahme von Nährstoffen, sowohl mineralischen als auch organischen, in einem Gewässer, wodurch eine unerwünschte Vermehrung von Algen und anderen Mikroorganismen –vor allem sauerstoffzehrenden Bakterien (*Sphaerotilus natans* u.a.) hervorgerufen wird und durch Sauerstoffmangel sowohl die Fischbestände als auch die höheren grünen Wasserpflanzen geschädigt werden. In einem Badesee kann die Badequalität durch derartige Einflüsse stark gemindert werden, ja sogar verloren gehen. Dies erfolgt durch eine Massenentwicklung von planktischen einzelligen Algen, die eine sogenannte Algenblüte hervorrufen und durch daraus entstandene Schleime, Algenwatten, Trübung und Verfärbung des Badewassers, üblen Geruch etc. die Badequalität erheblich beeinträchtigen.

Um dem entgegenwirken zu können, wurde am Klopeiner See bereits in den Jahren 1964 und 1965 eine umfassende Untersuchung vom Autor durchgeführt. An 31 Stellen (s. Abb.1) wurden Wasserproben ca. 10 m vom Ufer entfernt entnommen. In der Mitte des Sees wurde zur selben Zeit ein Tiefenprofil bemustert in Abständen von 5 bzw. 10 m Tiefenabstand bis 40 m, teilweise bis 43 m. Die Probenahmen fanden zu folgenden Zeitpunkten statt:

1964: 02. 5., 02. 7., 12. 8., 29. 9., 03. 12.

1965: 12. 4., 19. 6., 28. 7., 18. 9., 10. 10.

Gleichzeitig wurden die in den See einmündenden Oberflächenwässer, sofern sie Wasser führten, erfasst. Die Proben wurden auf 20 Parameter und Werte untersucht. Daneben wurden alle sonstigen Beobachtungen festgehalten. Die wesentlichsten Ergebnisse brachten die bakteriologischen Untersuchungen.

Aus dieser Darstellung ist das Ansteigen der Keimzahlen in Ufernähe während der Badesaison an den beiden Sommermaxima ersichtlich. Das Dezembermaximum 1964 ist auf herbstliche Niederschläge und den Laubfall (Auslaugung) zurückzuführen. Es fiel besonders auf, dass die Keimzahlen am bewaldeten Seeufer eher höher lagen als am mit Badeanlagen und Hotels dicht besiedelten Nordufer. Bei der Probenahme am 2. Juli1964 wurden an der Uferprobestelle 21 extrem hohe Keimzahlen, die völlig aus dem Rahmen fielen, festgestellt. Bei der folgenden Probe-

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

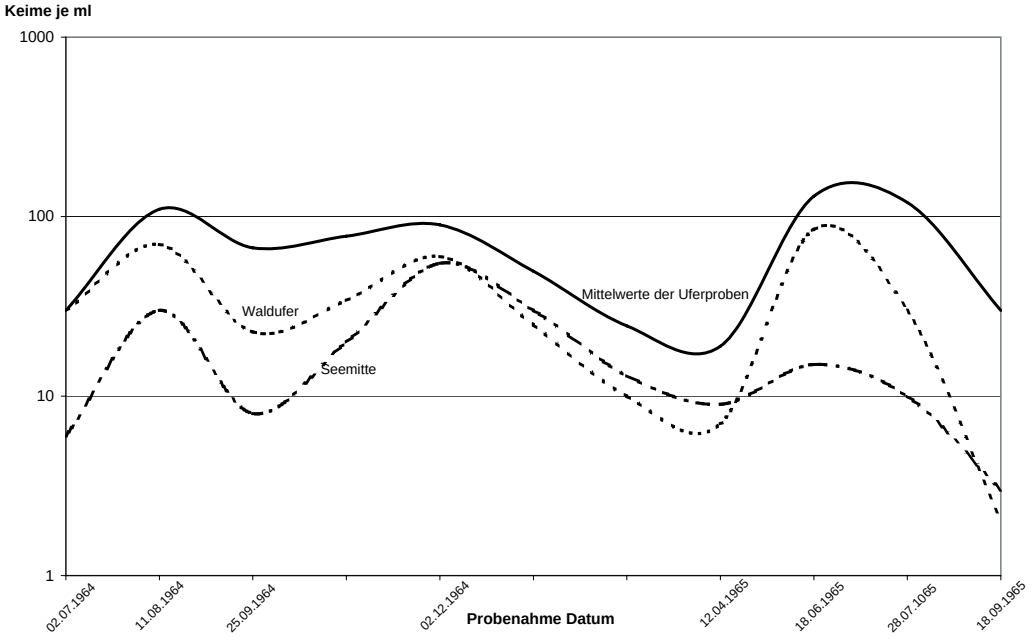
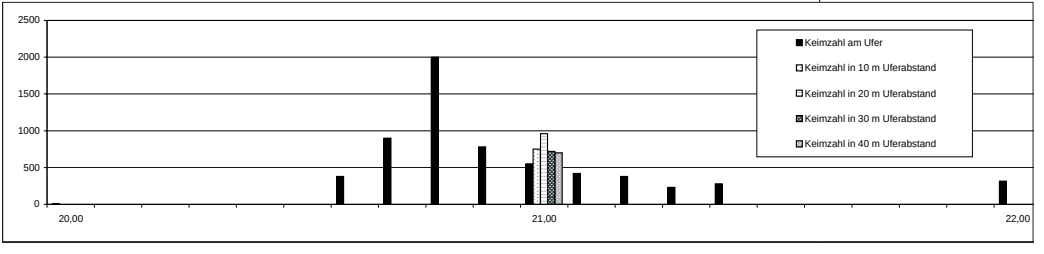


Abb. 15: Bakteriologische Untersuchungen aus den Jahren 1964 und 1965.

nahme am 11./12. August war die Keimzahl immer noch deutlich über dem allgemeinen Niveau. Da die Keimzahlbestimmung im Kulturverfahren direkt am See in Räumen des Campingplatzes der Gemeinde St. Kanzian mit eigener Ausrüstung erfolgte, konnte sofort an der fraglichen Stelle eine spezielle Suchprobenahme durchgeführt werden. Im Abstand von 10 m beiderseits der aufgefallenen Probestelle Nr. 21 wurden Proben nahe am Ufer entnommen. Ebenso wurden Proben im rechten Winkel zum Ufer bis 60 m in den See hinaus gezogen. Das Ergebnis zeigt Abb. 9.

Auf diese Weise konnte die verdeckte Einmündung eines Kanals festgestellt werden, der als Überlauf aus der Wäscherei eines Beherbergungsbetriebes identifiziert werden konnte. Die fallweise eingeleitete Abwassermenge betrug max. 1000 –1500 l an einem Waschtag. Die weitere Einleitung des Überlaufes konnte sofort abgestellt werden. Das eingeleitete Abwasser war ein Spülwasser mit 113 mg/l $KMn0_4$-Verbrauch, also relativ dünn. Zum Vergleich lagen die übrigen Uferproben im Mittel bei 2.1 mg $KMn0_4$/l. Kommunales Rohabwasser erreicht vergleichsweise Werte über1000 mg $KMn0_4$/l (Der $KMn0_4$-Verbrauch war in den 1960er Jahren die übliche Angabe für die organische Verschmutzung eines

Abb. 16: Festellen eines Einleiters.



©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

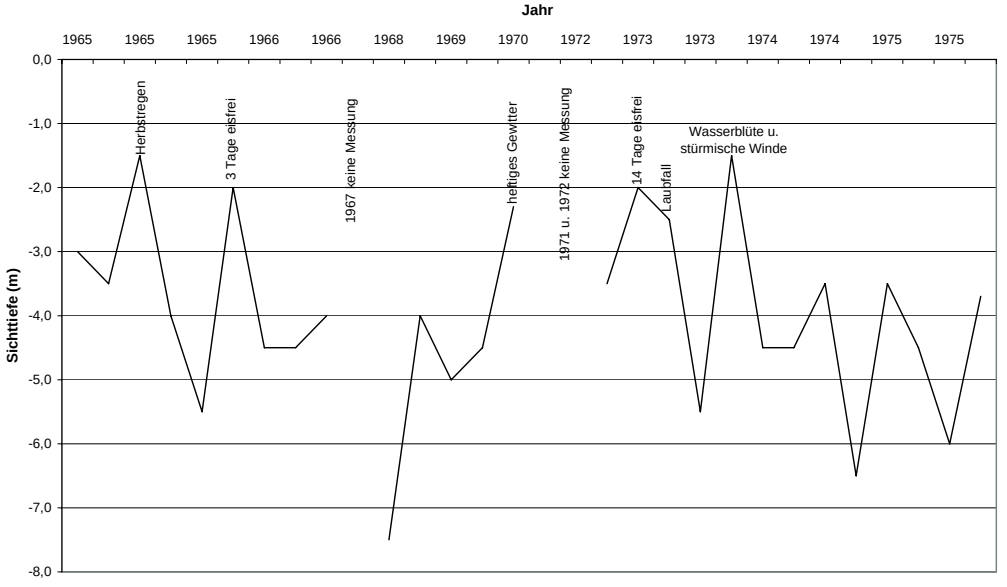
Wassers). Dieses Beispiel der raschen Ortungsmöglichkeit einer Abwassereinleitung, zeigt, dass jede andere Einleitung, ob über oder unter dem Seespiegel sofort erfasst worden wäre.

Die bakteriologischen Untersuchungen wurden bis in das Jahr 1975 durchgeführt, in den letzten Jahren allerdings immer wieder modifiziert und den Verhältnissen angepasst. Es wurde nie mehr eine Abwassereinleitung festgestellt.

Neben der Bestimmung der Zahl der psychropilen Keime wurden auch die coliformen Keime und die fäkalen Streptokokken (Enterokokken) festgestellt. Dabei fiel immer wieder auf, dass die Proben an der bewaldeten Südseite des Sees höhere Keimzahlen aufwiesen, als an der dicht besiedelten West- und Nordseite. Damit ist ein weiterer Beweis geliefert, dass an der Nordseite des Klopeiner Sees aus dem Seebecken Wasser gegen Norden wegsickert und deshalb dort keine Abwässer in den See gelangen können.

Vielfach wird die Sichttiefe als Maßstab für die Eutrophierung eines Sees herangezogen. Deshalb wurde die Sichttiefe an jedem Tag der Probenahme gemessen. Ich habe versucht, die 59 gemessenen Sichttiefen zu ordnen nach Jahreszeit, Witterung und dabei die Einflüsse auszuschalten, die die Messung verändern können. Leider vergeblich. Es blieb eine systemlose sehr große Streuung. Die Messung wird von vielerlei Gegebenheiten beeinflusst: Lichtverhältnisse (sonnig, trübe etc.), Bewegung des Seespiegels durch Wellen, starke Regenfälle vor der Messung, Eisdecke, Schneelage auf dem Eis, Verschmutzung des Wassers nach der Eisschmelze durch plötzliches Einsinken der durch Monate angesammelten Feststoffe auf der Eisdecke, damit stoßartige Trübungszunahme der Oberflächenschichten des Seewassers. Schwankungen dichter Algenschichten (z. B. *Planktothrix rubescens*) in ihrer Tiefenlage. So genügt bereits ein lockerer Teppich in 2 m Tiefe, um die Messung deutlich zu verändern. Vor allem spielt die Feinverteilung trübender Stoffe eine

Abb. 17: Sichttiefen vor der Installierung der TWA.



©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

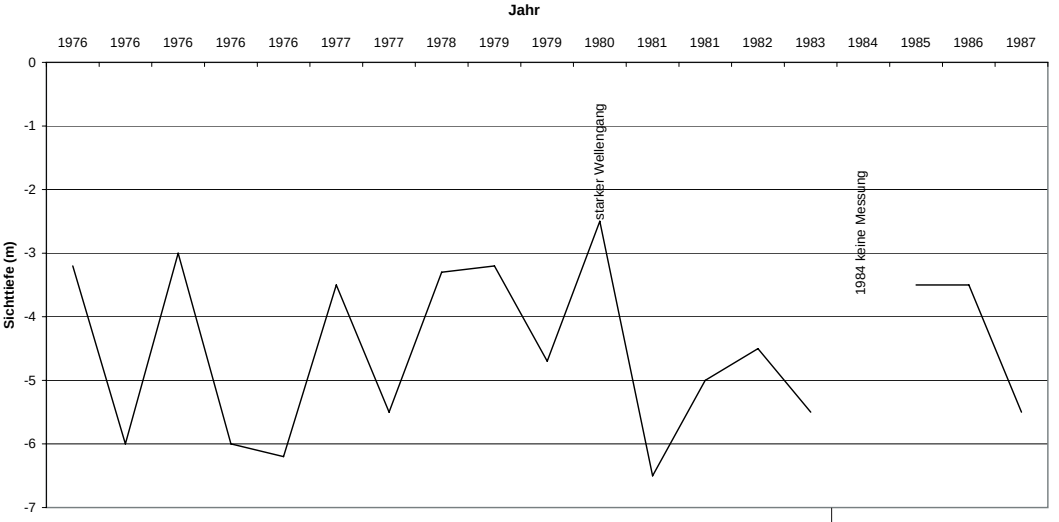


Abb. 18: Sichttiefen nach der Installierung der TWA.

große Rolle. Es kann z. B. eine Algenblüte im Endstadium beim Zusammenballen der Zellen zu makroskopischen Aggregaten mit dazwischen klarem Wasser die Sichttiefe kaum zu beeinflussen.

In den Abbildungen 17 und 18 sind die gemessenen Sichttiefen dargestellt. Dabei fällt auf, dass alle Sichttiefen, die weniger als 3 m betrugen, durch augenblickliche natürliche Einflüsse entstanden sind und nicht auf Eutrophierung zurückzuführen waren. Die zeitliche Dichte der Messungen ist zu gering und es können noch viele Ausreißer nach oben gewesen sein. Daher sind sporadische Messungen von 1–2 Mal im Jahr und auch mehrerer Jahre nur für den Augenblick relevant, aber keinesfalls systemtypisch. Ich habe versucht, die 59 mir vorliegenden Sichttiefen (1965 – 1987) mit der Fehlerausgleichsrechnung zu verarbeiten und kam zu dem Ergebnis, dass der mittlere Fehler des Mittels für die Zeit 1965 – 1975 vor der Tiefenwasserableitung und 1976 – 1986 nach dem Einsatz der TWA in beiden Fällen auffallend groß ist und keinerlei Aussage zulässt:

Jahr	Anzahl der Messungen	Mittelwert in Meter	Streuung %
1965 – 1975	33	4,45 ± 1.337	30,0 %
1976 – 1987	19	4,44 ±1.480	33,3 %
Bei einer Differenz der Mittelwerte von 0,01 m fast volle Übereinstimmung ohne jede Aussage.			

Tab. 11: Sichttiefen

Jedenfalls kann die Sichttiefe nur dann etwas aussagen, wenn kontinuierliche Messungen in kurzen Abständen von 2-3 Tagen an demselben Ort gemacht werden mit den dazu nötigen Bemerkungen. Alles andere entbehrt des wissenschaftlichen Charakters. (Die Abb.17 zeigt die verschiedenen Einflüsse auf die Sichttiefe). Ein deutlicher Hinweis auf eine Eutrophierung ist die Bildung und das Ansteigen der 0_2-freien Schichte gegen die Durchmischungsgrenze im Epilimnion. Diese liegt, bedingt durch Windeinwirkung und Sonneneinstrahlung unter der Sprungschicht

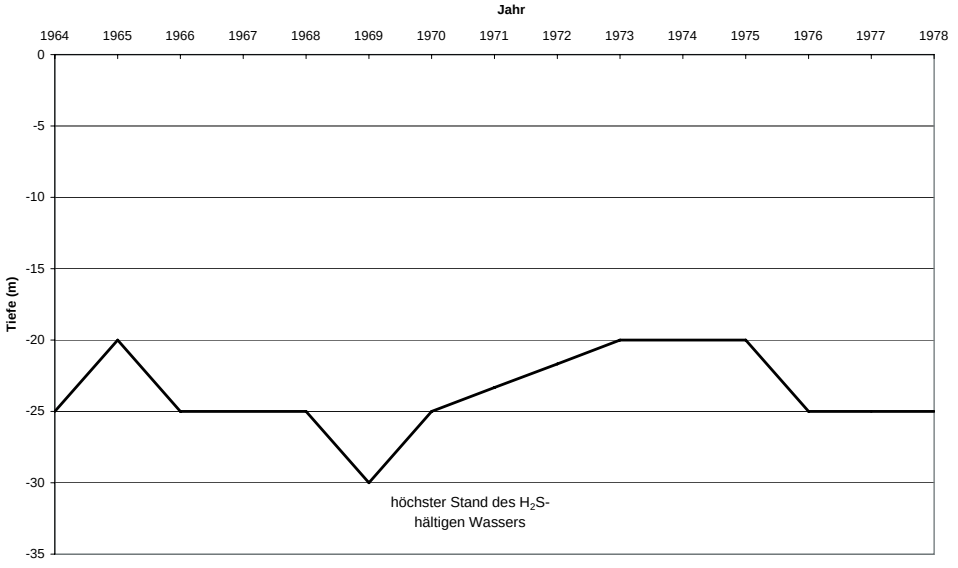
©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Abb. 19: Vertikale Sauerstoffverteilung von 1964–1976.

in ca. 8-10 m Tiefe (Abb.18). Es pendelt die Obergrenze der 0_2-freien Zone stets etwas auf und ab, je nach den zeitlich wechselnden Witterungsverhältnissen während der Jahreszeiten.

Die Entstehung der 0_2-freien Schichte ist der Sauerstoffzehrung bei der bakteriellen Zersetzung der abgestorbenen Algenmassen im Zuge der Sedimentation zuzurechnen. Je mehr kurzlebiges Algenplankton sich entwickeln kann, um so mehr stirbt auch ab und zehrt beim bakteriellen Abbau den im Wasser gelösten Sauerstoff auf. Dasselbe gilt auch für die im Zuge des weiteren Absinkens dieser organischen Massen im anaeroben Milieu ablaufende Fäulnis mit Schwefelwasserstoff (H_2S)-Produktion aus Eiweiß (Desulfurikation) und Sulfaten infolge Reduktion.

Abb. 20: Vertikale Verteilung des Schwefelwasserstoffs von 1964–1978.



©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Die Algenproduktion hängt primär von den im Epilimnion zur Verfügung gestellten Nährstoffmengen, vor allem von Phosphor und Stickstoff ab. Aber auch die Temperaturen, Lichtintensitäten, Windstärken (Einmischung auch von Nährstoffen aus der Tiefe) haben einen Einfluss auf die Algenvermehrung (Zellteilung).

Die Eutrophierung benötigt allerdings eine erhöhte Zufuhr von Nährstoffen in den See, vor allem in das Epilimnion, die oberste durchlichtete, sich im Sommer erwärmende Schichte des Seewassers. Hier war nun zu untersuchen, worauf diese Nährstoffzunahme im Klopeiner See zurück zuführen ist. Dieser Nährstoffeintrag kann in der Hauptsache auf fünferlei Weise erfolgen:

1. Durch einfallende Pflanzenabfälle (Blütenstaub, Samen, Laub) aber auch Insekten und mineralischen Staub.
2. Durch oberirdische Zuflüsse
3. Durch eingeleitete Abwässer
4. Durch Eintrag aus landwirtschaftlich genutzten Flächen (Erdstaub, Abschwemmung von gedüngten Flächen)
5. Durch den Badebetrieb

Zu 1.: Laub, Blütenstaub, Samen, Insekten sind schon immer seit Jahrtausenden in den See gefallen, ohne eine merkbare Eutrophierung hervorzurufen.

Zu 2.: Die oberirdischen 4 Bächlein bringen zwar etwas Stickstoff und Phosphor in den See; deren Wasserführung ist aber so gering, dass dadurch eine merkbare Eutrophierung nicht entstehen kann. Im Winter sind diese Bächlein mindestens 2 Monate eingefroren (60 Tage Eis), im Sommer zeitweise trocken oder fast trocken (s. Tab. 12)

Bach Nr. Siehe Lage-plan 1	l/sek.	m^3/a 305 Tg 60 Tg. Eis	PO_4 µg/l	P g/a	NO_3 mg/l	N g/a	mg P/a	mg N/a
N 1	1,25	32.940	105,0	1129	2,0	14.889	0,110	1,40
N 6	0,60	15.811	29,0	149	5,4	19.296	0,010	1,80
N 7	0,20	5.270	9,8	17	5,9	7.027	0,002	0,66
N 8	0,05	13.176	60,0	258	0,6	1.787	0,024	0,17
					Summen		0,146	4,03

Bach Nr. nach dem Verzeichnis d. Zuflüsse v. 31.7.75 Untersuchungsdaten siehe auch Seite 3 Plan 1

Bei einem Schichtvolumen von 0 bis 10 m Tiefe = 10,570.000 m²

entsprechend 0,146 µg P/l im Epilimnion pro Jahr
4,03 µg N/l im Epilimnion pro Jahr

Die errechneten Werte sind maximale Größen, da die Wasserfrachten und Belastungen meist geringer sind. Die Nährstoffzufuhr durch diese Bächlein ist daher vernachlässigbar.

Tab. 12: In den Klopeiner See einmündende Bächlein mit messbaren Wasserfrachten.

Zu 3.: Dass in den See keine häuslichen Abwässer gelangen, haben die bakteriologische Untersuchungen im Seeuferbereich und das Wegsickern des Grundwassers nach Norden vom See weg, bewiesen. (s. o.)

Zu 4.: Da im Einzugsbereich des Epilimnions des Sees keine landwirtschaftlich genutzten Flächen existieren, ist auch von dieser Seite kein Nährstoffeintrag möglich.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Die immer wieder vorgebrachte Eutrophierung des Klopeiner Sees durch landwirtschaftliche Düngung (SAMPL 1976: Seen der Tallagen) und durch häusliche Abwässer (Gutachten FINDENEGG 1965) muss als Fehlannahme ohne Beweis bezeichnet werden.

Zu 5.: Es verbleibt schließlich nur der Badebetrieb, der im Sommer täglich tausende Besucher aufzuweisen hat.

Durch den Badebetrieb gelangen pro Tag und Badegast mit Harn, Schweiß und Kosmetika durchschnittlich 65 mg Phosphor (P) und 700 mg Stickstoff (N) in das Badewasser (SAMPL 1973).

Die Entwicklung des Fremdenverkehrs im Raum der Gemeinde St. Kanzian / Klopeiner See ist aus nebenstehender Grafik zu entnehmen. Ebenso zeigen die monatlichen Nächtigungsziffern den typischen Badesee, der alleine das Ziel der Urlauber ist und daher maximal 100 Tage im Jahr von Mitte Juni bis Mitte September frequentiert wird. Dieser komprimierte Fremdenverkehr wirkte sich auch auf den Klopeiner See durch den Badebetrieb aus, wodurch infolge des Eintrages von Nährstoffen eine deutliche Eutrophierung erfolgte. Setzt man zwei Drittel aller Nächtigungen als Badegasttage ein und rechnet mit den zitierten Zahlen von 65 mg P und 700 mg N je Badegasttag, dann ergibt sich folgendes:

Jahr	Badegasttage	Eingebrachte Nährstoffe	Eutrophierung je m³ Seeschicht 0–10 m Tiefe
1965	390.000	25,3 kg P & 273 kg N	2,3 mg P & 25,8 mg N
1972	569.000	36,6 kg P & 395 kg N	2,7 mg P & 37,3 mg N
1975 im Frühjahr Bau der TWA			
1979	582.000	37,8 kg P & 407 kg N	3,6 mg P & 38,5 mg N
1988	745.000	48,4 kg P & 521 kg N	4,6 mg P & 49,2 mg N

Tab. 13: Nährstoffeintrag durch Badegäste vor und nach der Errichtung der TWA.

Daraus erhellt, dass die Belastung des Sees in Richtung Eutrophierung durch den Badebetrieb ein Vielfaches aller möglichen anderer Einflüsse ist.

Es ist auffallend, dass im freien Wasser die Phosphor- und Stickstoffgehalte (Nitrate) mit der Einbringung durch die Badenden in den Wasseranalysen nicht oder kaum nachweisbar sind. Dies kommt daher, dass die Wasserproben nur Stichproben sind. Der Nährstoffzufluss durch die Badenden verteilt sich nicht nur auf die etwa 7-8 Std. Badezeit, sondern auch auf die gesamte Badesaison. Die frei werdenden Nährstoffe werden jedoch sofort von den Algen aufgenommen und führen so zu erhöhter Algenproduktion, die nachweisbar ist. Diese Algenmassen beginnen jedoch bald zu Boden abzusinken und ziehen die oben beschriebene Entwicklung in der Tiefe nach sich.

Der kleine See mit nur 1.106 km² Fläche ist zur Badesaison übersät mit kleinen Booten aller Art, aufblasbaren Schwimmgeräten und Schwimmern, so dass nicht nur die Uferzonen belastet werden. Lt. Sampl (1973) sind für den Klopeiner See etwa 5000 Badegäste à 200m² pro Tag als Belastungsgrenze anzusehen. Die wurde bereits 1970 erreicht und später ständig überschritten.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

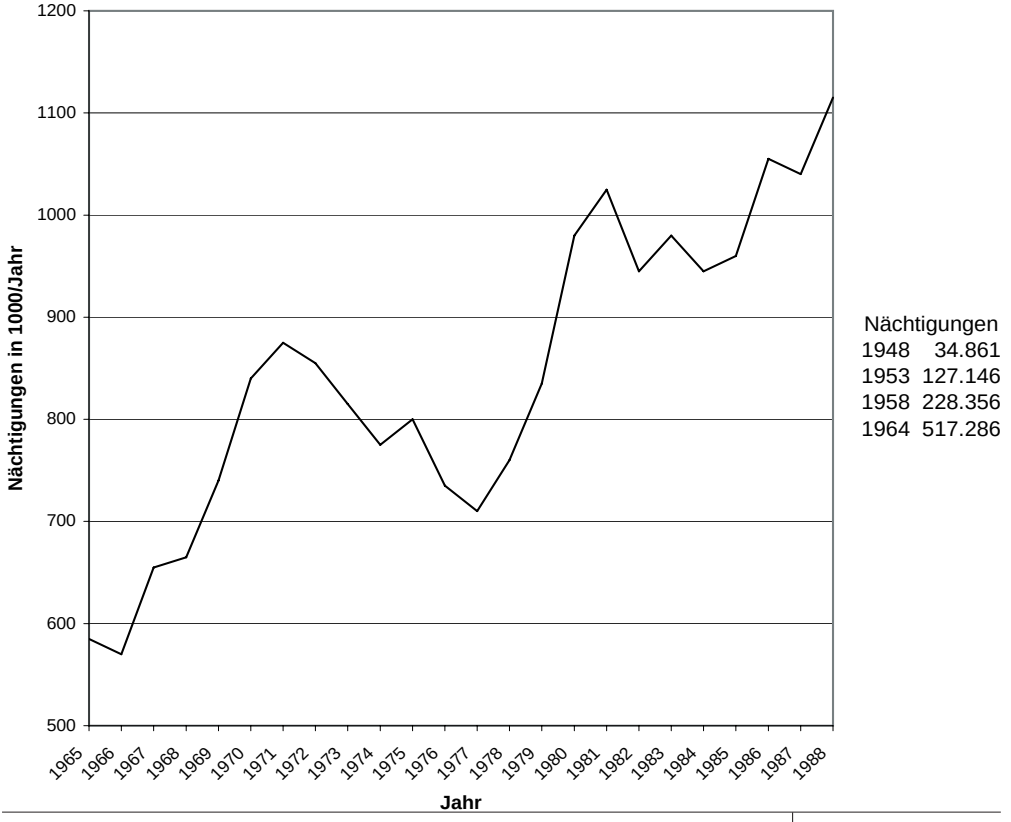


Abb. 21: Entwicklung des Fremdenverkehrs an Hand der Nächtigungszahlen zwischen 1965 und 1987

Deutliche Anzeichen einer Eutrophierung des Klopeiner Sees traten bereits Mitte der 1970er Jahre auf:

3. November 1973: Starke Algenblüte von *Anbaena* und *Microcystis* an der Wasseroberfläche, darunter klares Wasser. Ost- und Westbucht vom Wind freigetrieben.

29. März 1974: Oberfläche schleimig trübe, sehr beständige Blasen beim Rudern. Starker Algenwuchs am Grund des Seichtteiles; überall fädige Algenbärte (*Dactylis glomerata*). Seit 12. Februar See eisfrei, starke Winde, besonders Mitte März (stürmisch). Wegen Homothermie tiefe Seezirkulation

31. Mai 1974: In 10 bis 15 m Tiefe starke Algenentwicklung (Planktothrix rubescens). Wasser opalescent mit sehr vielen Kleinkrebsen (*Cyclops* u.a.)

3. Juli 1974: Massenhaft *Dinobryon sertularia* (Goldalgen). *Daphnia* u. *Cyclops* häufig. In 20 m Tiefe deutliche Trübung durch abgestorbene Algen ohne Struktur.

29. August 1974: Schwarze fettige Oberflächenhaut und dunkle Schlammflocken aus der Zersetzung von Algen *(Anabaena, Microcystis)*; Schlupf von Mückenlarven.

26. Oktober 1974: Algenblüte von *Anabaena*

17. Dezember 1974: Starkes Algenwachstum. See dunkelgrün. In den kleinen Mulden des flachen Seeteiles Ansammlung von grünen Algenmassen.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

14. Feber 1975: Noch Eisdecke. Weiße, Sputum ähnliche Flocken im Wasser bzw. steigen auf. Am ganzen See dasselbe. Flocken bestehen überwiegend aus *Planktothrix rubescens*, einige *Anabaena*-Zellen, viele *Microcystis*-Zellen im *Planktothrix*-Geflecht. Kieselalgen fehlen. *Paramaecium bursaria* selten. Flagellaten vereinzelt.

13. März 1975: dasselbe Bild wie am 14. Feber 1975.

Bereits seit Ende der 1960er Jahre waren in einer Tiefe zwischen 5 und 15 m wechselnd in den Proben fast immer mit freiem Auge die feinen Fädchen der *Planktothrix rubescens* in unterschiedlicher Dichte feststellbar. In dieser Algenschicht konnten immer wieder Kleinkrebse (*Cyclops*, *Daphnia* u.a.) festgestellt werden. Alle diese Anzeichen und Hinweise auf eine zunehmende Eutrophierung ließen den Entschluss zu Gegenmaßnahmen reifen.

Tiefenwasser-Ableitung

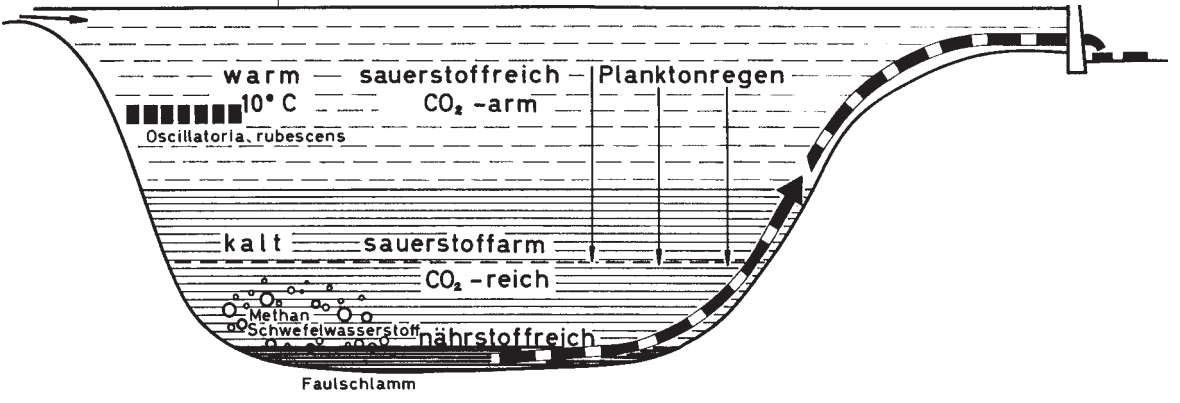
Man kann wohl Abwässer aber nicht Badegäste vom See fernhalten. Auf dieser Erkenntnis und darauf basierend, dass der Hauptverursacher der Eutrophierung des Klopeiner Sees der Badebetrieb ist, wurde von Messiner und Kopf 1973 eine „Studie zur Gesunderhaltung des Klopeiner Sees“ erstellt. Es blieb nur der Weg, die durch den Badebetrieb in den See gelangenden Nährstoffe wieder aus diesem herauszuholen. Dafür bot sich die von Messiner 1964 vorgeschlagene Methode zur Ableitung des mit Nährstoffen angereicherten Tiefenwassers aus dem Hypolimnion des Sees an (Messiner 1964).

Das Prinzip ist die pumpenlose Ableitung des Tiefenwassers, indem der Wasserablauf tiefer als der Seespiegel erfolgt und von diesem See-Abfluss ein Rohr bis in die Tiefe mit den meisten Nährstoffen gelegt wird, wo sich das Rohrmundstück befindet. Das oben offene Rohr füllt sich somit mit dem Tiefenwasser am Rohrmundstück. Dieses Wasser fließt zwangsweise ab, da der Rohrablauf tiefer liegt als der Seespiegel. Die Druckdifferenz zwischen Seespiegel und dem tiefer liegenden Auslauf wird dabei, ohne zusätzlicher Pumpenenergie, ausgenützt.

Nach Erstellung einer Wasserbilanz des Klopeiner Sees und Ermittlung des erforderlichen Rohrquerschnittes wurde ein Projekt erstellt. Der Rohrdurchmesser aus der maximal abzuführenden Wassermenge von 140 l/s ist bei Seepegel-Höchststand von 80 cm.

Die Fließgeschwindigkeit sollte im Rohr dann bei 1 m/s liegen.

Abb. 22: Schematische Darstellung des Tiefenwasser-Abflusses.



©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Pegel cm	Abfluss-Menge l/s	Fließgeschwindigkeit im Rohr 400 mm	Eintrittsgeschwindigkeit in Pilz-Mundstück
55 cm	noch kein Abfluss	–	–
56 cm	6,0 l/s	0,048 m/s	0,002 m/s
65 cm	58,4 l/s	0,465 m/s	0,023 m/s
80 cm	140,0 l/s	1,115 m/s	0,056 m/s

Tab. 14: Pegel, Abflussmenge.

Damit war die abzuführende Wassermenge (=See-Abfluss) garantiert. Für extreme Hochwässer war am gesperrten Oberflächenabfluss eine Überlaufschwelle in der Pegelhöhe von 80 cm vorgesehen (Pegelnullpunkt 444.823 m. ü. A.)

Das Rohrmundstück soll auf 35 m Tiefe liegen, um die größte Nährstoffkonzentration zu erfassen. Außerdem soll das Rohrmundstück in der Tiefe je nach Bedarf eingestellt werden können. Die Leitung soll bis zum derzeit natürlichen See-Abfluss am Grunde des Sees verlegt werden und dann landseits ca. 120 m vom Ufer weg See-Abfluss abwärts in den bestehenden See-Abfluss einmünden.

Das Rohrmundstück im See sollte in einem Aufwärtskrümmer enden; auf diesen aufgesetzt war eine horizontale Einlaufscheibe von 4 m Durchmesser gedacht, um einen Einsaugwirbel zu vermeiden. Diese Einlaufscheibe war mit zentral zulaufenden Leitlamellen in 2 Ebenen übereinander vorgesehen. Die Oberseite dieses „Einlaufpilzes“ sollte ein kegelförmiges Dach bilden, um im See versinkende Gegenstände abrutschen zu lassen und nicht als ebene Auffangtasse zu dienen, die letztlich das Mundstück einseitig belasten und schiefstellen würden. Mit dieser Einlaufkonstruktion als Mundstück käme es im Ansaugbereich nur zu ganz geringen horizontalen Strömungen ohne Sogwirkung und Wirbelbildung, die dann in Kanalform das Wasser aus gut definierbaren Schichten von allen Richtungen ansaugen könnten (Abb. 23).

Die Verankerung am Seegrund sollte durch einen Betonklotz erfolgen, von dem ein starkes Kunststoffseil durch den Aufwärtskrümmer und die erforderliche Anzahl von Rohren mit Haltestegen an den Enden der Teilrohre gezogen ist. Zuletzt ist der sogenannte Einlaufpilz aufgesetzt. Das Halteseil führt in der Mitte durch alle Teilrohrstücke und den Einlaufpilz durch und wird am Seespiegel von einer Schwimmboje stramm gehalten. Um die Einlauftiefe zu verstellen, können Rohrteile über das Halteseil zusätzlich aufgezogen oder abgenommen werden, wozu ein entsprechendes Boot erforderlich wäre.

Der Aufwärtskrümmer am Rohrende soll vermeiden, dass beim Absenken des Rohres das offene Rohrmundstück in den Bodenschlamm einsinkt und von oben leichter die Rohrteile eingesetzt werden können.

Der Auslauf der Tiefenwasserableitung wurde als Betonbecken mit einer breiten Ablaufschwelle vorgesehen, in das ein Abwärtskrümmer mündet, der unter den Wasserspiegel im Betonbecken eintaucht. Das Rohr der TWA ist dort mit einem Absperrschieber versehen. Zweck dieses Beckens ist, das Tiefenwasser ruhig in den alten See-Abfluss eingleiten zu lassen, um möglichst eine Entgasung des auch im Sommer kalten Wassers zu vermeiden.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

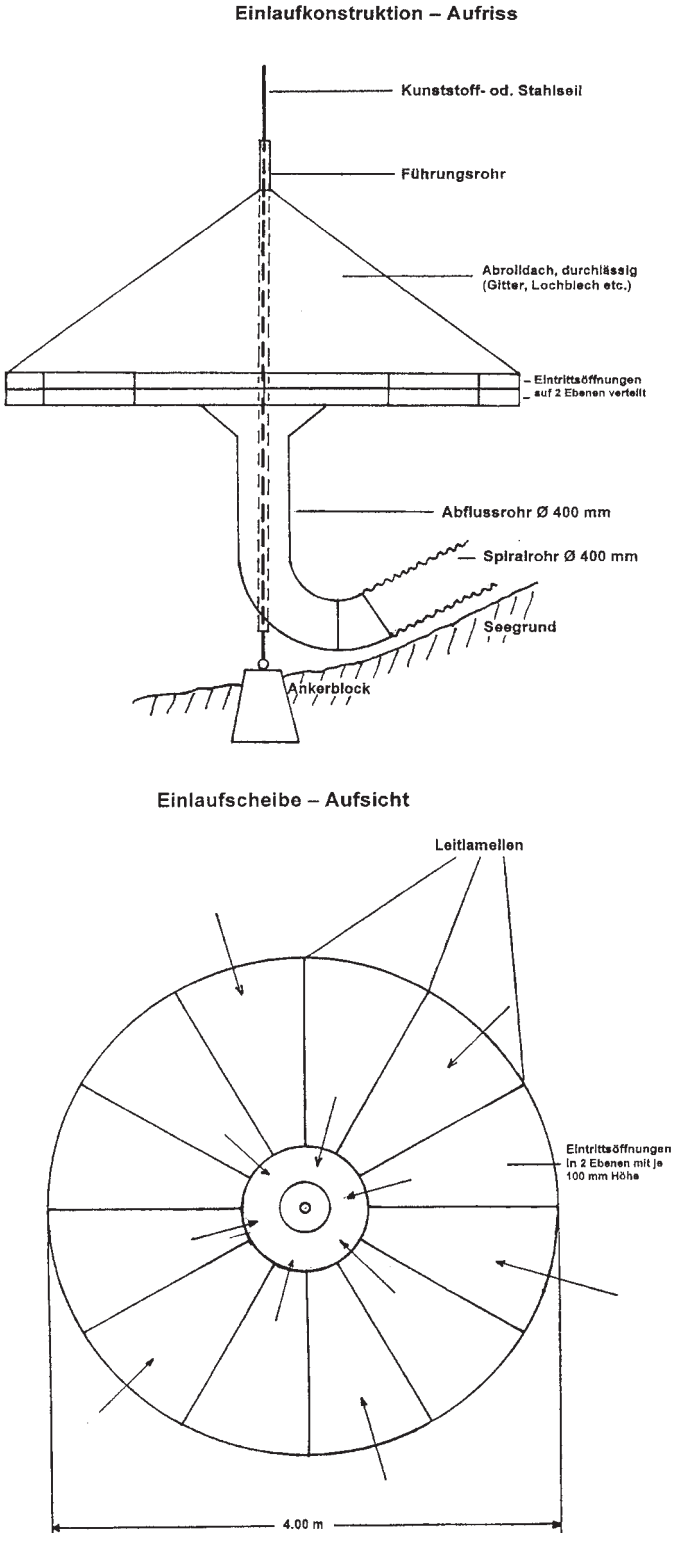


Abb. 23: Konstruktion der Tiefenwasser-Ableitung

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Dieses Projekt wurde aber dann aus Kostengründen behördlicherseits abgeändert. Das Rohrmundstück im See war dann nur mehr das offene Ende des im See liegenden Rohres, das von einem schweren Floß aus mit einer Aufhängevorrichtung für einen Flaschenzug in seiner Tiefeneinstellung verändert werden könnte. Dabei wird das Mundloch des Rohres aus der horizontalen Einströmachse immer mehr gegen die Senkrechte nach oben gezogen. Die Wirbelbildung ist somit für das Tiefenwasser, in welcher Stellung immer das Einlaufloch sich befindet, vorprogrammiert.

Das Floß wird mit einem 6 Tonnen schweren Betonklotz am Seegrund und mittels einer 3 Tonnen schweren Kette verankert. Dies ist wegen der zu erwartenden Eisstöße, die das Floß wegschieben könnten, erforderlich. Diese Variante war letztlich teurer als die erste mit dem Pilzmundstück und weniger effektiv.

Gleichzeitig mit der Tiefenwasserableitung sollte ein Absperrwehr im bisherigen See-Abfluss errichtet werden, damit möglichst das gesamte abfließende Wasser aus der Tiefe des Sees kommt. Leider wurde diese wichtige, den Effekt erhöhende Maßnahme, erst Jahre später geschaffen.

Die Tiefenwasser-Ableitungsrohre bestehen wasserseits ab ca. 2 m Tiefe aus PVC NW 400 auf einer Länge von 300 m und erreichen eine maximale Tiefe von 35 m unter dem Seespiegel. Im Land und landnahen Teil (bis 2 m Wassertiefe, Länge 215 m) wurden AZ Rohre N 400 innenbeschichtet eingesetzt, in einer 1,5 m tiefen Künette verlegt und mit AZ Halbschalen NW 500 abgedeckt. Die Sicherung der Rohrleitung bereits im Wasser des landnahen Teiles (bis 2 m unter Seespiegel) war erforderlich, weil die Rohrleitung im Seichtteil eines Seebades verlegt werden musste.

Die PVC Rohre wurden an Land mittels Heizplatte zusammengeschweißt und bei verschlossenem Mundloch im Vorschubverfahren in den See eingeschwommen. Alle 4 m wurden Belastungsgewichte an der PVC Rohrleitung angebracht, bestehend aus jeweils 2 Betonhälften in der Form einer Baukastenbrücke, die zusammengeschraubt die 400 mm NW Rohre umschließen (Abb. 23). Sie sollen ein Aufschwimmen der Rohrleitung bei Ansammlung von Gasen im Rohr verhindern.

Die Tiefenwasserableitung wurde im Frühjahr 1975 gebaut und ist mit Anfang Juni in Betrieb gegangen.

Beim Bau der TWA wurde das Rohr wasserseits bereits vor dem Versenken des Betonankers für das Floß im See geflutet und damit versenkt und örtlich fixiert. Zum Setzen des Ankers wurde die Endstelle der Rohrleitung mit einer Boje im See gekennzeichnet. Beim Versenken des Betonankers, der von einem schweren Heerestransport-Hubschrauber erfolgte, passierte allerdings, dass der Betonanker (ein länglicher Betonklotz in Form eines Quaders mit 6 t) nur eingetaucht und sofort ausgeklinkt wurde und nicht solange am Absenkseil belassen wurde, bis der Anker am Seegrund aufgelegt war. Dadurch kam der Anker beim Absinken ins Taumeln und erreichte ungeführt den Seegrund ca. 15 m seitlich des Rohrmundstückes, so dass die Kettenlänge zur Höhenregulierung des Rohrmundstückes zu kurz wurde und bei der Einstellung von 35 m Tiefe, das Rohrmundstück dann nur mehr inklusive der seitlichen Verziehung sich in 25 m Tiefe befindet.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Es soll daher darauf hingewiesen werden, dass bei einer solchen Anlage zuerst der Bodenanker gesetzt und das Schwimmfloß daran befestigt werden soll. Erst dann kann die noch schwimmende Seeleitung auf der Seeoberfläche zum Floß eingerichtet angehängt und geflutet sowie langsam an der Regulierkette versenkt werden.

Dieser Fehler, der bei der Installation der TWA gemacht wurde, zeigte sich später bei den Analysen des Ablaufes aus derselben. Es entstand wie zu erwarten ein Ablaufwirbel, der anfangs, infolge der zu wenig tiefen Einstellung des Mundstückes, Wasser aus einer Tiefe zwischen 22 m und 29 m lieferte. Im Herbst 1975 wurde das Rohrmundstück tiefer hinabgelassen und dann brachte die TWA ein Wasser aus unter 30 m Tiefe, wodurch das dort mehr oder weniger homogene Wasser kaum Analysenunterschiede infolge des Wirbels aufwies (s. Tab. 15)

Datum Uhrzeit	O_2 mg/l	H_2S mg/l	SBV Je 100 ml	PO_4 µg/l	NH mg/l	PO_4 µg	NH_4 mg/l
						entspricht m Profil-Tiefe	
20. 6. 1975							
7.50	0	0,26	2,98	7,7	0,52	240,0	25,0
8.00	0	0,28	3,00	16,4	0,50	27,5	25,0
8.30	0	0,26	2,96	5,0	0,38	22,0	22,5
13.00	0	0,63	3,10	105,0	1,00	27,0	27,0
14.00	0	0,54	3,08	105,0	1,05	24,0	25,0
5. 5. 1978							
10.00	0	0,83	3,27	296	2,25	37,0	37,0
11.30	0	1,18	3,40	414	2,30	>37,0	37,0
12.45	0	0,84	-----	298	2,30	37,0	37,0
13.30	0	0,94	3,28	282	2,15	37,0	37,0

Tabelle 15: Zwei ausgewählte Beispiele aus 33 Analysenreihen verteilt auf 28 Analysentage. TWA-Ausläufe.

Eine wesentliche Beobachtung beim Betrieb der Tiefenwasserableitung war, dass die Temperatur-Schichtung des Sees vollkommen erhalten blieb; auch in unmittelbarer Nähe des Rohrmundstücks blieb die Temperaturschichtung der Jahreszeit angepasst erhalten. Die Sprungschicht begann immer, auch nach Jahren in den Sommermonaten bei ca. 10 m Tiefe. Das abfließende Wasser war stets sauerstofffrei und enthielt in wechselnden Mengen Schwefelwasserstoff gelöst. Dieser bildete sich aus dem absinkenden Plankton etwa ab 20 m Tiefe und die Konzentration stieg bis etwa 35 m Tiefe an. Da das abgeleitete Tiefenwasser aus 25 – 35 m Tiefe stammte, verursachte die Druckentlastung beim Austritt aus der TWA das Ausgasen des übelriechenden Schwefelwasserstoffgases. Da die Austrittstelle im besiedelten Gebiet des Zentrums Seelach mit Hotels, Restaurants, Geschäften etc. liegt, beeinträchtigt die Geruchsbelästigung den Fremdenverkehr sehr. Eine weitere Beeinträchtigung bildet sich im offenen See-Abfluss durch die Bildung von weißen Schwefelbakterienrasen am Boden und allen Festkörpern im Bachbett. Außerdem wurden dadurch alle Fische vertrieben, da außer Sauerstoffmangel auch giftiger Schwefelwasserstoff im Bachwasser enthalten war. Erst nach der Einmündung des Kleinsee-Abflusses war wieder genügend Sauerstoff im Bach vorhanden.

Das abfließende Wasser enthielt stets deutliche Mengen an Phosphaten und NH_4-Stickstoff, jedoch keine erhöhten Mengen organischer

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Substanzen. Die Calciumgehalte entsprachen den Entnahmetiefen. Die Temperatur des Ablaufes war praktisch gleich dem Hypolimnion mit 4,9 bis 5,3 °C. Eine Erwärmung während der Fließzeit im warmen Oberflächenwasser fand nicht statt.

Die Messung der Abflussmengen verursachte wegen des zu geringen Gefälles auf den ersten 150 m nach dem Austritt des Tiefenwassers größere Probleme. Somit konnte weder die Abflussmenge noch die damit abtransportierte Nährstoffmenge exakt ermittelt werden. Legt man den See-Abfluss aus der Wasserbilanz zugrunde, so werden bei einer Abflussmenge von 1,841.700 m³ etwa 180 kg Phosphor (P) im Jahr aus dem See durch die Tiefenwasserableitung entfernt. Das bedeutet, dass im Jahr mehr als das Dreifache der durch Badende eingebrachten Phosphormenge aus dem See entfernt werden. Beim Stickstoff ist es etwa das Sechsfache (3.315 kg N) der durch den Badebetrieb in den See gelangenden Stickstoffmenge bei zugrunde gelegten 745.000 Badegasttagen entsprechend etwa 1 Mio. Nächtigungen.

Geruchsfreimachung des Tiefenwassers durch Oxidation

Schon 1973 wurde vom Verfasser darauf hingewiesen, dass im Abfluss der TWA Schwefelwasserstoff vorhanden sein wird, der zu Geruchsbelästigungen führen kann. Auch die tiefe Temperatur (5°C) und der fehlende Sauerstoff im Wasser wird die Fauna im Kanzian-Bach (Abfluss des Klopeiner Sees) stark beeinträchtigen. Infolge der sich ansiedelnden Schwefelbakterien wird alles weiß überzogen sein und das Bachwasser eine leichte Trübung aufweisen. Erst nach der Einmündung des wärmeren Kleinsee-Abflusses werden sich wieder normale Verhältnisse einstellen.

Um dem zu begegnen, wird man vor allem wegen der Ausmündung der TWA im Zentrum des Sommerfremdenverkehrs am See das abfließende Tiefenwasser oxidativ behandeln müssen. Hiezu wurden vor allem EisenIII-Salze und Chlorlauge in Erwägung gezogen. Das elegantere Wasserstoffperoxid (H_20_2) kam damals wegen des hohen Preises nicht in Frage. Dies änderte sich bereits1976 schlagartig durch den neuen günstigen Preis von H_20_2.

Die vom Mitarbeiter des Verfassers am Chemisch-biologischen Institut Villach probeweise 1975 durchgeführten Versuche mit Wasserstoffperoxid (Putz 1975) hatten die Machbarkeit bereits bewiesen. Es wurde daher 1982 zur Beseitigung des übelriechenden Schwefelwasserstoffes (H_2S) allein Wasserstoffperoxid für die Oxidation zugrunde gelegt, mit dessen Ausarbeitung der Verfasser beauftragt wurde.

Die erforderliche Amtsverhandlung fand am 8. Feber 1983 statt und damit war der Weg für die Durchführung amtlich genehmigt.

Die Tiefenwasserableitung quert das Seebad des „Hotels zur Sonne“ landseits in etwa 2 m unter der Bodenoberfläche. Dabei wird auch der westliche Teil des Kabinentraktes unterquert. In diesem wurde der Lagerraum für das H_20_2 und die Dosierpumpe installiert. Von dieser Dosierpumpe wird 35 %iges H_20_2 direkt in die darunter befindliche gefüllte Tiefenwassereinleitung eingebracht. Auf der noch 75 m langen Fließstrecke in der TWA vermischt sich das H_20_2 mit dem H_2S-hältigen Wasser vollkommen, so dass beim Austritt des Tiefenwassers in den Aus-

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

laufschacht bereits das gesamte H_2S oxidiert und keine Geruchsentwicklung mehr gegeben ist, vorausgesetzt jedoch die richtige Dosierung.

Die chemische Reaktion der Geruchsbeseitigung erfolgt durch das starke Oxidationsmittel H_20_2, wobei der Schwefelwasserstoff zu feinst verteiltem elementaren geruchlosen Schwefel und zur Bildung von Wasser aus dem Wasserstoffperoxid aufgespaltet wird:

$$H_2S + H_20_2 \rightarrow S + 2\ H_20$$

Dieser elementare Schwefel wird allmählich von Bakterien des Wassers zu Sulfat ($S0_4$-) aufoxidiert, das in jedem natürlichen Wasser vorkommt.

Wird dem Tiefenwasser mehr H_20_2 zugegeben als zur Oxidation des H_2S erforderlich ist, dann wird das überschüssige H_20_2 von im Tiefenwasser vorhandenen organischen Stoffen oder die im Wasser enthaltene Katalase aus den Mikroorganismen und durch andere Reaktionen verbraucht bzw. aufgespalten.

$$2\ H_20_2 + \text{organ. Substanz / Katalase} \rightarrow 2\ H_20 + C0_2 \text{ / oder } 0_2$$

Der dabei frei werdende Sauerstoff (0_2) bleibt im Wasser gelöst, was für das praktisch sauerstoff-freie Tiefenwasser nur von Vorteil ist.

Durch diese Maßnahme ist es gelungen, die Geruchsbelästigungen vollkommen zu beseitigen. Der See-Abfluss ist wieder von Fischen besiedelt. Da das Wasserstoffperoxid auch preislich vertretbar ist, kann die ganze Badesaison ohne Absperren der Tiefenwasserableitung betrieben werden. Dies ist besonders vorteilhaft, weil gerade in der warmen Jahreszeit die höchsten H_2S-Werte, aber auch die höchsten Nährstoffwerte im Tiefenwasser erreicht werden.

Schlusswort

Alles in allem kann somit gesagt werden, dass dieser beliebte warme Badesee durch die gesetzten Maßnahmen zu den reinsten Seen gehört. Bereits 1982 schreibt Sampl (Sampl 1982), dass durch die Installation der Tiefenwasserableitung die Biomasse der Alge *Planktothrix rubescens* (etwa in 10 m Tiefe) zurückgegangen ist.

Nachdem die Tiefenwasserableitung 1975 installiert wurde und die Anlage zur Geruchsfreimachung mittels H_20_2 1983 errichtet wurde, wäre jetzt eine grundlegende Untersuchung des Klopeiner Sees für Vergleichszwecke zu begrüßen.

Anhang

1. Chronologische Aufstellung aller Probenahme- und Untersuchungstage am Klopeiner See

Alle chemischen Analysen wurden nach den vom Österreichischen Normungsinstitut verlautbarten Vorschriften durchgeführt (ÖNORM, CEN, INTERNORM).

Die bakteriologischen Untersuchungen erfolgten an Ort und Stelle in einem Behelfslabor sofort nach der Probenahme in einem Brutkasten mit Temperaturregelung.

Keimzahlbestimmung auf Fleischagar bei 22°C. Coliforme und Enterokokken mittels Membranfilter auf speziellen Agar-Nährböden, später auf Nährkartonscheinen bei 36± 1°C.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Erklärung der Bemerkungskürzel:

U = Uferproben
Bakt. = bakteriologische Untersuchung
Z = Zubringer
A = See-Abfluss
T = Tiefenwasserableitung Austrittsschacht
PF = Profil beim Floß der TWA
TA = Tiefenwasserablauf im Seeablauf
TOX = Tiefenwasser mit H_20_2 behandelt

Jahr	Tag	Bemerkung	Jahr	Tag	Bemerkung
1964	02.5.	P, U	**1965**	12.4.	P, U, bakt.
	02.7.	P, U		18.6.	P, U, bakt.
	11.8.	P, U, bakt.		28.7.	P, U, bakt., Z
	25.9.	P, U, bakt.		18.9.	P, U, bakt.
	3.12.	P, U, bakt.		10.10	P, U, bakt.
				11.12.	P, U, bakt.
1966	16.3.	P, U, bakt., ab 14.3. eisfrei	**1967**		Keine Untersuchung
	27.3.	P			
	24.4.	P			
	15.6.	P, U, bakt.			
	25.7.	P, U, bakt.			
	04.9.	P, U, Z, A			
	20.12.	P, U, Z, A			
1968	28.3.	P, Z, ab 22.3. eisfrei	**1969**	4.4.	P Z
	14.8.	P, Z			
1970	07.5.	P Z	**1971**		keine Untersuchung
	20.8	P			
1972		keine Untersuchung	**1973**	13.3	P, 32 cm Eisdecke
				15.4.	P, Z, U
				28.5.	P, Z, U
				25.7.	P, Z, U, bakt.
				13.9.	P, Z, U, bakt.
				3.11.	P, Z, U
				Dez.	Studie (Messiner & Kopf)
1974	29.3.	P, U, bakt., ab 12.2. eisfrei	**1975**	13.3.	P, Z, U, bakt.
	31.5.	P, Z, U, bakt.		25.4.	Inbetriebnahme TWA
	3.7.	P, Z, U, bakt.		3.5.	P, Z, U, bakt.
	29.8.	P, Z, U, bakt.		21.5.	PF, TA
	26.10.	P, Z, U		27.5.	T, TA
	17.12.	P		6.6.	PF, T, TOX
				13.6.	P,PF, T, TA, TOX
				20.6.	P, PF, T, TA
				31.7.	PF, T, TA, Z, U, bakt.
				15.9.	PF, P, Z, U, T, TA, bakt.
				1.11.	PF, U, T, TA, bakt.
				12./13.12.	PF, T, TA
1976	30.1.	P, PF, T, TA	**1977**	22.1.	T, Floß nicht betretbar
	6.4.	PF, T, TA		14.4.	PF, T, TA
	9.6.	P, PF, U, bakt.		2.6.	PF, T
	13.9.	PF, U, bakt.		7.10.	PF, T
	4.11.	PF, T			
1978	26.4.	PF, T	**1979**	6.7.	PF, T
	5.5.	T		26.11.	PF, T
	27.7.	T			
	19.9.	PF, T			
1980	8.9.	PF, T	**1981**	2.6.	PF, T
				13.10.	PF, T
1982	29.5.	PF, T	**1983**	7.10.	PF, T
	18.10.	PF, T			
1984	ab 3.12.	Geruchfreimachung mit H_20_2 in Betrieb	**1985**	15.9.	PF, T
1986	14.9.	PF, T	**1987**	16.10.	PF, T

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

2. Weiterführende Unterlagen (Archiv Gem. St. Kanzian)

- „Der Klopeiner See“. Bericht über die Ergebnisse aus den Untersuchungsjahren 1964 und 1965
- Untersuchungsdaten vom Klopeiner See aus den Jahren 1964 – 1966 (16 Probe-nahmetage)
- Untersuchungsdaten aus den Jahren 1968 – 1970 (5 Probenahmetage)
- Untersuchungsdaten aus den Jahren 1973 – 1978
- Seeuntersuchung 1973 – 1976
- Tiefenwasserableitung Klopeiner See Bericht 1978 – 1981
- Bericht 1982 – 1985
- Studie zur Gesunderhaltung des Klopeiner Sees v. Messiner und Kopf 1973 (unveröffentlicht)
- Detailprojekt Tiefenwasserableitung Klopeiner See Juli 1974 Kopf-Mossek (unveröffentlicht)
- Projekt Tiefenwasserableitung Klopeiner See, Geruchsbeseitigung mit Wasserstoffperoxid, September 1982, Messiner, (unveröffentlicht)

3. Verwendete Karten

- Lageskizze der Messpunkte 1:10.000
- Österreichkarte 1:25.000 (BA. f. Eich- u. Vermessungswesen) Ausgabe 1957
- Amt der Kärntner Landesregierung, Abt. Landesplanung und Raumforschung

Geologische Übersichtskarte des Bezirkes Völkermarkt, Mai 1954
F. Kahler, N. Anderle, H. Bobek, E. Lichtenberger. Maßstab 1:100.000

- Stiny, Hochfläche von Rückersdorf 1:50.000
- Quellen der Hochflächen Skizze von Stiny
- Planskizze von Loub 1967 1:10.000 Sedimenttypenkarte

LITERATUR

Czernin-Chudenitz, C.(1954): Ökologische Untersuchungen über das Phytoplankton des Klopeinersees in Kärnten. Arch. Hydrobiologie 54.

Loub, Walter (1967): Kurzbericht über die Untersuchung am Klopeinersee, Kärntner Naturschutzblätter 6.Jg.Heft 1.

Messiner, H. (1964): Probleme des Wörthersees, Kärntner Museumsschriften H. XXXII.

Olszewski, P. (1961): Versuch einer Ableitung des hypolimnischen Wassers aus einem See. Verh. Internat. Verein. Limnologie XIV, 855 ff. Stuttgart.

Putz, M. (1976): Geruchsfreihaltung von Tiefenwasser durch Wasserstoffperoxid. Österr. Abwasser-Rundschau 3/76, 39.

Reiter, J. (1991): Geologie und Geomorphologie des westlichen Innviertels. Mitt. d. Österr. Bodenkundl. Gesellschaft H. 43, 21-33.

Rössert, R. (1969): Grundlagen der Wasserwirtschaft u. Gewässerkunde. Oldenbourg-Verlag München-Wien.

Sampl, H. (1972/73): Maßnahmen zur Seensanierung in Kärnten. Zeitschr. Wasser und Abwasser.

Sampl, H. (1973): Zur Frage der Belastbarkeit von Seen und deren Umland durch Uferverbauung und Bäder. Ktn. Naturschutzbl. 12:55-57.

Sampl, H. (1974): Wege zur Regenerierung der Kärntner Seen. – Kärntner Museumsschriften. Festschrift Franz Koschier, 116.

Sampl, H. (1976): Die Seen der Tallagen. Zs. Die Natur Kärntens, Bd. 2, 165 – 221, Klagenfurt.

Sampl, H. (1978): Das Kärntner Institut für Seenforschung, Österr. Wasserwirtschaft, 78-85

Sampl, H. (1982): Seenreinhaltung in Österreich – Herausgeber BM f. Land- und Forstwirtschaft Wien, 95 ff. Schriftenreihe Wasserwirtschaft.

Schulz, L. (1981): Nährstoffeintrag in Seen durch Badegäste – Zentralbl. Bakt. Hyg. I. Abt. Orig. B. 173, 528-548.

Stiny J. (1935): Die Quellen der Hochfläche von Rückersdorf. Richard Canaval Festschrift III Sonderheft Carinthia II, Klagenfurt.

Anschrift der Verfasser:

Dipl.-Ing.
Dr. Heinz Messiner,
Ingenieurkonsulent
für landw. und
techn. Chemie,
9500 Villach,
Oberer Heidenweg 3.

Dipl.Ing.
Herbert Windisch,
5061 Elsbethen,
Franz-Fischer-
Straße 18.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Carinthia II

Jahr/Year: 2008

Band/Volume: 198_118

Autor(en)/Author(s): Windisch Herbert, Messiner Heinz

Artikel/Article: Der Klopeiner See - Eigenschaften und Dynamik. Ein Beitrag zur Kenntnis dieses Sees. 501-542