

Untersuchungen an Tauernseen I

Morphometrische, physikalische und Verlandungsuntersuchungen am Schwarzen-see, Bodensee und Riesachsee in den Schladminger Tauern sowie dem Oberen und Unteren Höhkarsee in der Ankogelgruppe (Hohe Tauern)

Von Hubert NAGL

Mit 14 Abbildungen

Eingelangt am 26. Jänner 1970

Die erstmaligen Auslotungen und Untersuchungen dieser Seen der Schladminger Tauern und der Ankogelgruppe, welche sich über die Jahre 1968—1970 erstreckten und in einem zweiten Teil weiter ausgedehnt werden (Hüttensee und Obersee im Seewigtal, Sonntagkarseen und Klafferkesselseen), waren nur durch finanzielle Unterstützungen seitens der Hochschuljubiläumsstiftung der Stadt Wien, des Österreichischen Alpenvereins und der Salzburger AG. für Elektrizitätswirtschaft (SAFE) möglich. Allen diesen Stellen und ihren Verantwortlichen sei dafür mein ergebenster Dank ausgesprochen.

Im besonderen gilt mein Dank meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Prof. Dr. Hans SPREIZER, welcher mich zu den Untersuchungen in den Niederen Tauern und deren Seen angeregt und mich in wertvollen Diskussionen beraten hat.

Weiters gilt mein Dank auch dem Naturwissenschaftlichen Verein für Steiermark, der diese Arbeit in seine „Mitteilungen“ aufgenommen hat, und dem Vorstand der „Ersten Österreichischen Sparcasse“ für die teilweise Übernahme der Klischeekosten der Kartenblätter.

Letztlich möchte ich hier auch meiner Frau Herta und den Studenten, die mir beim Transport der Geräte in oft unwegsamem Gelände und bei den Vermessungen geholfen haben, meinen herzlichen Dank sagen.

Die morphologische Gestaltung der Niederen und Hohen Tauern ist durch einen großen Reichtum an glazialen Abtragungs- und Aufschüttungsformen gekennzeichnet, unter denen die Kar- und Trogtalseen eine besondere Stellung einnehmen. Sie gehören nicht nur zu den geomorphologisch interessantesten, sondern auch zu den schönsten Erscheinungen des Landschaftsbildes. In der vorliegenden Arbeit werden Tiefen-, Temperatur- und Verlandungsuntersuchungen an drei Talseen der Schladminger Tauern und zwei Karseen der Ankogelgruppe beschrieben und die Ergebnisse verglichen. Im nächsten Jahr werden die Arbeiten im Raum des Klafferkessels sowie im Seewigtal abgeschlossen sein und ihre Ergebnisse in ähnlicher Weise an dieser Stelle publiziert werden.

Bei jedem See werden nach einer geologisch-morphologischen Übersicht folgende Punkte behandelt:

- a) Lage und geomorphologische Ursache des Sees
- b) Ergebnisse der Tiefenauslotung und morphometrische Angaben
- c) Temperaturgang und -schichtung im See
- d) Sedimentation, Bodenbeschaffenheit und Verlandung des Sees.

A) Schladminger Tauern

Im Kerngebiet der Gebirgsgruppe liegen die drei größten untersuchten Seen: der Schwarzensee im Obertal (Kleinsölk), der Bodensee im Seewigtal und der Riesachsee im Untertal (Schladming). Hier erheben sich die höchsten Gipfel der Schladminger Tauern, der H6chstein (2543 m), das Waldhorn (2700 m), die Hochwildstelle (2747 m) und der Hochgolling (2863 m). Schiefer- und vor allem Granitgneise sind die Ursache dafur, daB die eiszeitlichen Formen gut erhalten und besonders wild gestaltet sind; nur gegen die Schieferzone im Norden treten Hornblende- und Granatglimmerschiefer auf, die sanftere Formen aufweisen.

Alle Seen liegen in trogf6rmigen Hocht6lern, die gegen das Ennstal hin mehr und mehr durch Schluchten zerschnitten werden, sodaB an beiden Talseiten besiedelte Terrassenfluren auftreten, die f6r die Unterl6ufe der Fl6sse charakteristisch sind. Sind auch die Kerbt6ler in festen Fels geschnitten, so kann man doch auf den Terrassen eine oft m6chtige Mor6nen- und FluBschotterdecke (R6ckzugsschotter) finden, an die oft Eisrandterrassen der abschmelzenden W6rmvergletscherung anschlieBen (Schladminger Untertal, Kleins6lk-Obertal).

Der Schwarzensee¹⁾ liegt in 1150 m SH, nahe dem TalschluB im Kleins6lker-Obertal, umgeben von mehrfach gestuften Karen, die zum Kieseck (2678 m), zur Deichsel Spitze (2700 m) und zum Predigtstuhl (2545 m) aufsteigen. Die relativen H6hen erreichen hier auf 2—3 km fast 1600 m. Der See kann als Mor6nenstausee bezeichnet werden. A. PENCK rechnet die abschlieBende Mor6ne dem Gschnitzstadium zu, E. LICHTENBERGER dem Schlernstadium. Letzteres scheint der morphologisch bereits etwas verwischten Form und der notwendigen Schneegrenze eher zu entsprechen (heute als Steinach bezeichnet). Der See ist im W und E von grobem Hangschutt begrenzt, im N von der Mor6ne, im S von Verlandungs- und Verschuttungssedimenten und nur im NE tritt Fels (Rundh6cker) an den See heran. (Angaben 6ber Fl6che usw. siehe Morphometrie und Tabellen.)

Der Bodensee¹⁾ liegt am FuB des 300 m hohen Trogschlusses des kurzen Seewigtals s6dlich Aich in 1149 m H6he. Oberhalb der Stufe liegen in Treppenkarren 6bereinander der H6ttensee in 1503 m und der Obersee in 1672 m. Umrahmt wird das Seengebiet von H6chstein (2543 m) und Hochwildstelle (2747 m). Auch der Bodensee ist ein Abd6mmungssee am Talboden, aber nicht durch eine Mor6ne, sondern durch Bergsturzmaterial von Westen (SENARCLENS-GRANCY) und einen Murschuttkegel von Osten. Er ist allgemein seicht und nur eine lokale Vertiefung zeugt von ehemaliger Gletschert6tigkeit. W6hrend der Gschnitzzeit endete der Gletscher oberhalb des Sees in ca. 1200 m, im Steinachstadium war das Seegebiet noch unter Eis begraben.

Ein reiner Felsbeckensee, der durch die aussch6rfende T6tigkeit des Gletschers vom Sonntag- und L6mmerkar herab entstanden ist, ist der Riesachsee.¹⁾ Er liegt in einem 300 m hoch 6ber dem Schladminger Untertal ausstreichenden Hochtal in 1338 m. Der Charakter der Trogt6ler mit h6ngenden Seitentalm6ndungen ist hier am FuBe des h6chsten Berges der Niederen Tauern (Hochgolling 2863 m) besonders gut entwickelt. Der Riesachfall ist ein sch6nes Beispiel daf6r. Der See liegt knapp an der Talm6ndung und wird von einem Felsriegel gestaut, den der SeeabfluB langsam durchschneidet. Der steinachzeitliche Gletscher hat bis zum WH. TETTER gereicht und dort einen heute vollkommen verlandeten See aufgestaut, dessen Sand- und Moorschichten eine Tiefe von

¹⁾ An dieser Stelle sei den Besitzern der Seen f6r die Erlaubnis der Vermessung und Untersuchung gedankt — f6r den Schwarzensee der F6rstlich-COLOREDO-MANNSELDschen Forstverwaltung unter Direktor Dipl.-Ing. Constantin von POTT, f6r den Bodensee der Familie S. u. S. FINK und f6r den Riesachsee Herrn J. RETTENBACHER, Untertal.



Abb. 1: Der Schwarzensee gegen SW. Links der Putzentalbach, über die Stufe im Mittelgrund stürzt der Steinigbodenbach.

Aufn.: H. NAGL, VIII, 1969.



Abb. 2: Der Bodensee — verlandendes Südende. Man erkennt deutlich die unter Wasser wurzelnden Binsen-Schilf-Gesellschaften (dkl. grau) und die bereits von Rasen bewachsenen verlandeten Inseln und Landzungen (hellgrau). Die baumlosen Verlandungsgebiete sind noch sehr jung (30 bis 60 Jahre).

Aufn.: H. NAGL, VIII, 1969.

ca. 25 m anzeigen. Während nach LICHTENBERGER der Aufstau durch diese Endmoräne bewirkt wurde, meint SENARCLENS-GRANCY, daß es nur Bergsturzmaterial sei. M. E. liegt hier eine Bergsturzmoräne vor, ähnlich wie am Ausgang des Öztales in das Inntal. Gschnitz- und Daungletscher endeten bei der Kerschbaumer-Alm (1360 m) bzw. oberhalb der Kot-Alm (1414 m); allerdings sind keine deutlichen Endmoränen erhalten. Von der Kerschbaumer-Alm abwärts bis zum Riesachsee liegt ein verlandeter Seeteil vor, der heute durch versumpfte Wiesen in völliger Ebenheit auffällt.

Der Schwarzensee

Der größte untersuchte See ist der Schwarzensee, welcher eine deltoidförmige Gestalt hat. Seine größte Länge (L) beträgt 841 m, seine größte Breite (B) 547,8 m, die Fläche wurde mit 22,76 ha berechnet. Die L-Achse verläuft N 20 ° E, die B-Achse N 84 ° E, der Mittelpunkt des Sees besitzt folgende geographische Koordinaten: 13 ° 52' 24" ö. L. (Greenwich) und 47 ° 17' 35" n. Br. Der Zungenbeckensee wird vor allem im SW durch den Putzental- und Steinigbodenbach, im E durch den Neualmbach durch Deltaaufschüttungen eingengt (Abb. 1). Ein schmaler Bergsturz von der Trogwand des Kl. Gnasen (2237 m) herab führte am Westufer zur Entstehung einer kleinen Insel, die aus sehr großem (einige Meter Durchmesser) Blockwerk besteht.

Die maximale gelotete Tiefe des Sees liegt bei 15,7 m in der am weitesten nach Osten weisenden Bucht; der Seeboden ist allerdings sehr flach, die Zone unter 15 m Tiefe ist eine flache Mulde, deren Längsachse normal auf die Längsachse des Sees gerichtet ist. Nördlich wurde sie wohl durch die Schotter des Neualmbaches bereits verschüttet.

Der Seeboden ist nicht einheitlich geneigt, sondern weist eine Verflachung zwischen 9 und 10 m sowie eine kleine Mulde im südlichen Teil auf. Die 5 m-Isobathe schließt noch eine Fläche von 17,09 ha (= 74 %) ein, die 9 m-Isobathe 12,18 ha, die 10 m-Isobathe 10,06 ha (= 43 %). Der Seeboden wird von der 14 m- und 15 m-Isobathe gebildet. Erstere besitzt eine Fläche von 4,52 ha (= 20 %), die 15 m-Tiefenlinie 1,87 ha (= 8 %). Bis zu 10 m Tiefe ist der Büschungswinkel ungefähr gleich (im W und E 30 °, im S 10 °, im N bis 5 m 8 bis 10 °, bis 10 m ca. 5 °. Von 10 m bis zum Seeboden liegt die Hangneigung bei 6—8 °.

Das Seevolumen beträgt fast 2 Mill. m³ (1,998.499 m³), die mittlere Tiefe 8,78 m. Das Verhältnis Tiefe : Breite zeigt die relative Flachheit des Sees an; er ist fast 35mal breiter als tief. Die Uferentwicklung ist mit 1,57 mäÙig.

Der Temperaturgang und die durch Wärmeunterschiede bedingte Schichtung des Seewassers zeigt das Vorwalten lokaler Einflüsse und große Abhängigkeit von der herrschenden Witterung (geringe mittlere Tiefe). Die allgemein-gesetzlichen Erscheinungen treten hingegen etwas zurück. Die Isothermen der Seeoberfläche weisen Minima bei den größeren Zuflüssen und ein Maximum im NW der Seemitte auf. Die sommerliche Mittagstemperatur liegt bei 14 ° bis 16 ° C und erreicht lokal an seichten Stellen 20 ° (so in der Ausflußbucht und in einer kleinen Bucht im äußersten NW des Sees). Die Abnahme der Temperatur mit der Tiefe ist stark von den Wind- und Zuflußverhältnissen abhängig. Im extremsten Fall (mehrere Tage klares und ruhiges Wetter und geringe Zuflußmenge) konnten 8,1 ° C Wassertemperatur in 15 m Tiefe gemessen werden, doch liegt diese im Normalfall höher.

Die Zuflüsse weisen Temperaturen von 9 ° bis 10,6 ° auf; ihr Wasser ist bis zu 25 m weit in den See als kältere Zwischenschicht (Neualmbach) bzw. als Bodenschicht zu verfolgen (Putzental- und Steinigbodenbach).

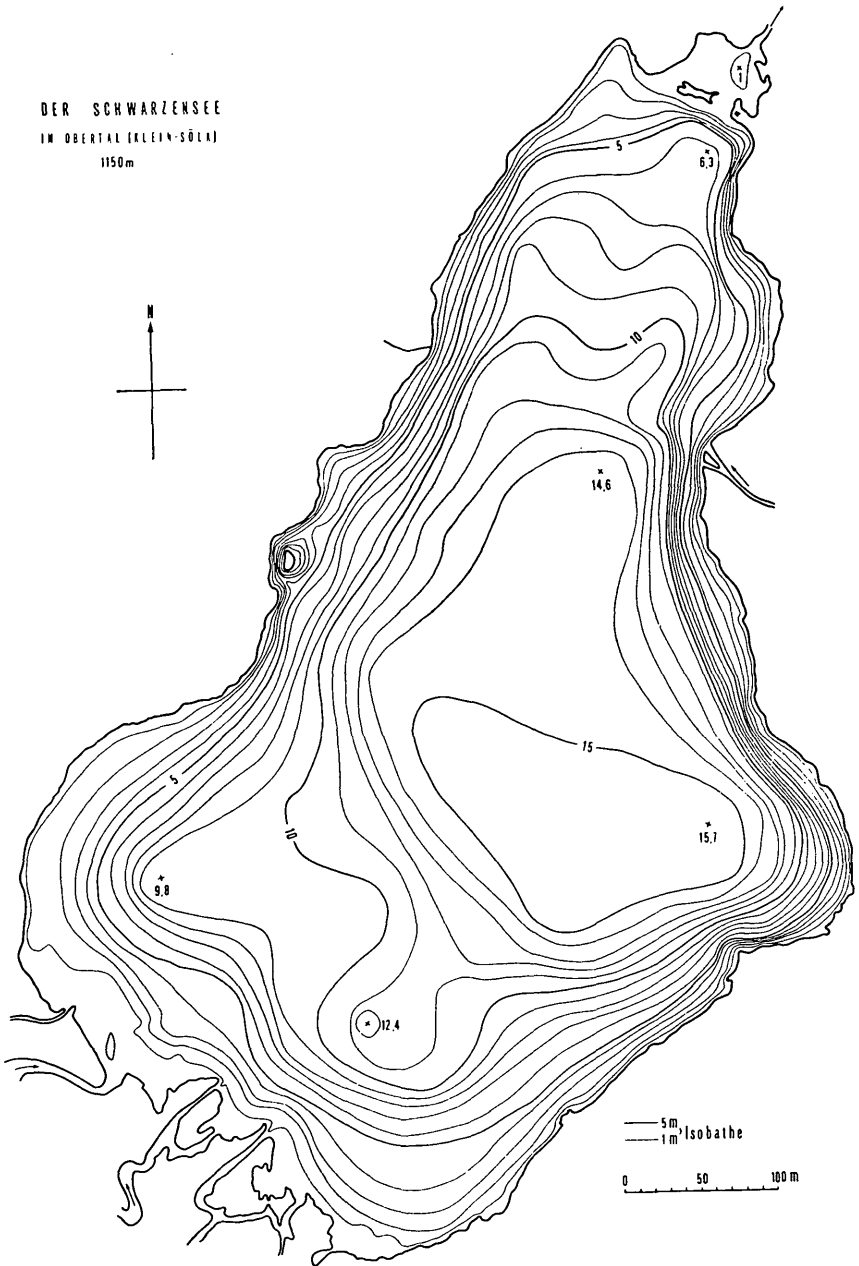


Abb. 3: Schwarzensee.

Im Herbst und Frühjahr ist eine Vollzirkulation anzunehmen. Der See hat daher eine geringe Wärmekapazität, wenn man die hohen Bodentemperaturen im Sommer betrachtet. Der Winter macht kaum einen Zufluß möglich, sodaß — vor allem wenn eine Eisdecke bereits ausgebildet ist — eine zunehmende Abkühlung bis in große Tiefen herabreicht. In manchen Jahren ist die Eisdecke so

fest, daß Holz-LKW den See überqueren können. Im Winter 1969/70 konnten an zwei witterungsmäßig sehr verschiedenen Tagen Messungen durchgeführt werden. Zuerst nach einer längeren Periode strengen Frostes und Schneefalls, später 15 Stunden nach einem kräftigen Föhneinbruch.

T a b. 1 : Temperaturschichtung des Schwarzensees 6. 8. 1969;
Temperaturen in Grad Celsius
Lufttemperatur 18 Grad C.

Tiefe in m	Entfernung von der Neualmbachmündung			tiefste Stelle
	1 m	10 m	30 m	
0	12,0	13,0	15,2	16,2
1	9,0	12,0	13,0	13,5
2	—	9,5	12,5	13,0
5	—	11,8	12,0	12,5
10	—	—	10,9	12,5
15	—	—	—	10,9

T a b. 2 : Wintermessungen im Schwarzensee, nördlicher Teil

Tiefe in m	am 2. 1. 1970	am 5. 1. 1970, Föhn
	Lufttemperatur $-7,5^{\circ}\text{C}$	Lufttemperatur $8,2^{\circ}\text{C}$
0	Eisdecke	Eisdecke
1	0,5	1,2
2	2,8	2,9
5	4,9	5,0
10	4,8	5,0

Bei einer Nachmessung am 6. 1. 1970 (Frostwetter) war zwar die Temperatur bis 2 m Tiefe wieder abgesunken ($2,5^{\circ}$), die tieferen Schichten zeigten jedoch Werte von 5° — 7°C .

Der Aufbau der Eisdecke zeigte während des Föhneinbruchs in ihrem unteren Teil eine merkliche Veränderung, während die oberste Schicht nahezu unverändert blieb (Schneedecke). Das wärmer gewordene Wasser (Temperaturerhöhung wohl durch Schmelzwasserzufluß) laugte die tiefste Schicht von unten her an, sodaß sich ihre Dicke ca. auf die Hälfte verminderte: war sie vor Föhneinbruch fast 6 cm mächtig (Gesamteisdicke 22 cm + 21 cm Schnee), so war sie 30 Stunden nachher nur mehr 3,5—4 cm dick (Gesamteisdicke 20—20,5 cm + 17—19 cm Schnee). Ein geringer Teil wurde demnach durch eine Aufeislage aus Schneeschmelzwasser wettgemacht, deren Dicke ca. 0,5 cm betrug.

Der See g r u n d ist von einer relativ geringmächtigen Schlammdecke überzogen, die im Norden eine Dicke von über 1 m erreicht. Vor allem ist der Anteil organischer Substanz gering. Bis 5 m Tiefe ist im W und E grobes Blockwerk zu finden, im S und bei der Neualmbachmündung herrscht Schotter vor, im SW überwiegen Sande als Ufersubstrat. Der nördlichste Teil ist durch eine teilweise künstliche Holzreue stark verlandet und nur mehr 0,5 m im Durchschnitt tief. In einem geschlossenen Gürtel von 1 m bis 9 m Tiefe sind die Seehalden mit Algen und Seegrass überzogen, die Artenzahl ist gering. Der See ist als o l i g o t r o p h zu bezeichnen.

Die Sichttiefe des schwarzgrünen Wassers (Namel) betrug 9,0—9,5 m, (mit der Secchischeibe); den Seegrund selbst konnte man maximal bis 4 m Tiefe erkennen. Die pH-Messungen zeigten saure Reaktion bei Werten von 5,5—6.

Die V e r l a n d u n g des Sees geht auf Verschüttung zurück und ist mäßig,

vergleicht man prozentuell den bereits verlandeten mit dem noch offenen Seeteil. Im N ist anthropogen verstärkt eine biologische Verlandung im Gang, sonst überwiegt stark die fluviale Zuschüttung. Der Neualmbach hat im E ein Delta von ca. 0,7 ha in den See vorgebaut. Im S befinden sich die Hauptzuflüsse, die ein Areal von 13,0 ha verschüttet haben. In der südlichsten Bucht kommt zu den Deltavorbauten in ruhigem Wasser ein Phragmition hinzu. Das Verhältnis von noch offener Wasserfläche zu den seit der Seebildung verlandeten Flächen beträgt demnach 52,4 : 47,6, das ist in Bezug auf die untersuchten Talseen der Schladminger Tauern ein mittleres Verhältnis.

Der Bodensee

Der Bodensee (Seewigtal) ist aus zwei genetisch verschiedenen Seeteilen zusammengesetzt: Einerseits dem nur seicht überstauten Talboden, andererseits dem „Trichter“ östlich der Insel, einer kolkartigen Tiefe, die wohl als Gletschermühle, vielleicht auch als Toteisloch gebildet worden ist. Der Stau wird durch einen Bergsturz (links) und einen postglazialen Schwemmkegel (rechts) verursacht. Das Südende zeigt sehr starke Verlandungsformen und ist weitgehend durch die aufgespaltenen Bacharme und Mündungsbuchten geprägt, denen flache semiterrestrische Inseln vorgelagert sind. Im SE, teilweise zwischen Fels und Schwemmland eine schmale Wasserzone freihaltend, finden sich kleine, 1—1,5 m tiefe Quelltrichter am Seeboden, aus denen kaltes Wasser hervorquillt, was durch ein „Brodeln“ des Sandes ersichtlich wird. Temperaturverhältnisse und sublakustre Vegetation unterscheiden sich hier stark von denen des übrigen Sees.

Der See hat eine größte Länge von 426,5 m und eine maximale Breite von 250 m. Seine Fläche nimmt 60.675 m² ein. Die Koordinaten des Mittelpunkts lauten 47 ° 22 ' 25 " n. Br. und 13 ° 49 ' 25 " östl. Grw.

So gewaltig das Panorama ist, in welches der See eingebettet liegt, und das auf eine größere Tiefe schließen läßt, so seicht ist der See tatsächlich. Die maximale Tiefe des Hauptteiles beträgt 2,9 m, die des randlichen Trichters 10,1 m. Bei einer durchschnittlichen Tiefe von nur 1,62 m beträgt sein Volumen bei mittlerem Wasserstand 98.489 m³. Das Verhältnis Tiefe : Breite liegt bei 1 : 24,8; zieht man die Vergleichslinie aber südlich durch den tiefsten Punkt des Hauptteiles (ohne Trichter), so kommt man auf 1 : 86,3. Dennoch fällt der See bis 1,5 m relativ steil ab, dann beginnt der flach-schüsselförmige Seeboden. Die Uferentwicklung ist mit 1,93 relativ groß; sie geht auf das buchtenreiche Südufer zurück.

Die 1 m-Isobathe umfaßt 43.406 m² (= 71,5 % der Gesamtfläche), die 2 m-Isobathe 24.419 m² (= 40,2 %). Der Seeboden steigt sanft gegen Süden an und wird in SW—NE-Richtung von einer S-förmig geschwungenen Tiefenmulde durchzogen, welche mit 2,9 m den tiefsten Punkt (außerhalb des Trichters) einnimmt. Die 2,5 m-Tiefenlinie nimmt nur noch 5.613 m², das sind 9,4 % der Seefläche, ein.

Der „Trichter“, als Einzelform betrachtet, hat folgende Ausmaße, rechnet man die Form von der 3 m-Isobathe an nach unten zu: Bei einer Hangneigung von 30 ° bis 45 ° und einer Fläche (3 m-Isobathe) von 1.625 m² beträgt das Volumen 4.589 m³. Der ursprüngliche Hohlraum muß etwas größer gewesen sein, denn von Osten zieht eine heute begrünte Grobblockhalde (Lawinenbahn) herab, die den Fels teilweise überdeckt. Eine weitere Erfüllung geht auf alte ertrunkene Baumstämme zurück, die beobachtet und erlotet werden konnten. Die maximale Tiefe von 10,1 m ist daher in diesem Fall nicht als absolut sicherer Wert anzunehmen, da möglicherweise ein Baum- und Astgeflecht, welches

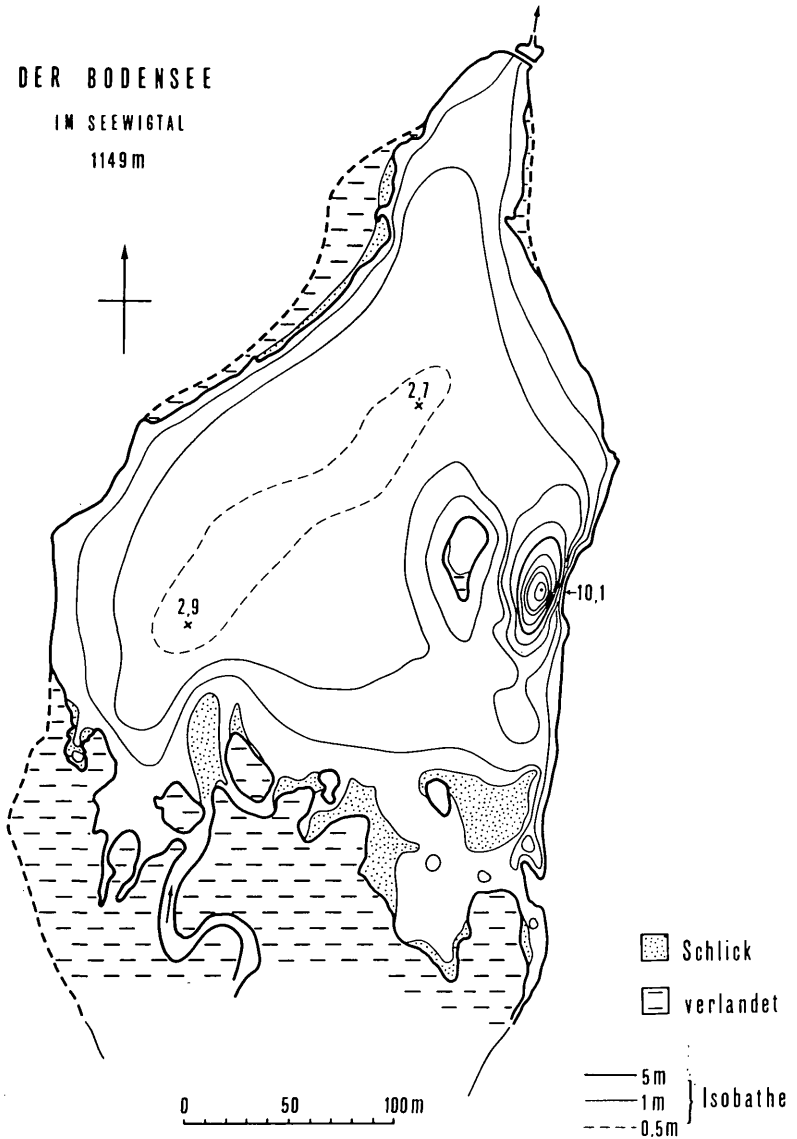


Abb. 4: Bodensee.

im Wasser schwebt oder an einer Enge verspreizt ist, das Erreichen des eigentlichen Grundes verhindert. Auf Grund der Hangneigung und der Feinsedimente im W (bis 8 m erfaßt) ist jedoch nicht mit einer wesentlich größeren Tiefe zu rechnen; der Besitzer gibt allerdings an, einmal ca. 20 m erlotet zu haben.

Die Temperaturverhältnisse im Bodensee sind stark von der Seichtheit bzw. der Untergrundform bestimmt. Im Sommer (Messungen am 10. 8. 1969) ist der seichte Abschnitt nahezu homotherm und nur im Trichter, wo eine stabile Schichtung morphographisch erzwungen wird, ist eine stärkere

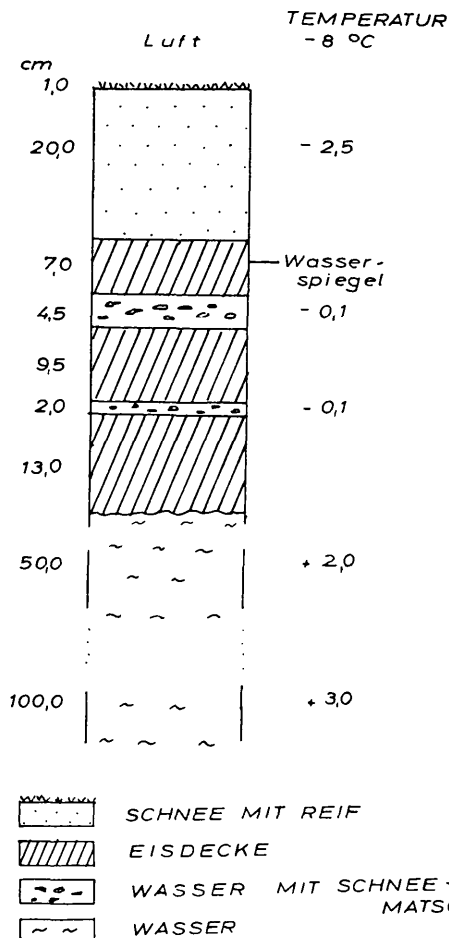


Abb. 5: Die Eisdecke am Bodensee am 2. 1. 1970.

Temperaturabnahme mit der Tiefe zu erkennen, wohl durch sublakustre Quellen, welche sehr kaltes Wasser zuführen und die Temperaturverhältnisse stärker beeinflussen. Im Winter führt die Seichtheit weithin dazu, daß die Wassertempera-

T a b. 3 : Die Temperaturverhältnisse im Bodensee/Seewigtal

Tiefe in m	Sommer 1969, Lufttemp. 15° C		Winter (2. 1. 70), Luft. -7° C		
	flacher Seeteil S	N Trichter	flacher Seeteil	Trichter	
0	10,2	14,0	14,0	Eisdecke	Eisd.
1	7,3	14,0	14,0	2,0	2,0
2	7,0	13,5	13,2	3,0	3,1
3	—	13,2*	12,0	3,5*	3,8
5	—	—	8,2	—	4,3
10	—	—	6,5	—	4,4

(* bei einer Tiefe von 2,5 m)

tur bis zum Seegrund kühler als 4° bleibt. Der See ist jedenfalls *polymik-
tisch*, abgesehen vom Trichter, der wohl nur einen dimiktischen Typ darstellt.

Die Eisdecke zeigte einen ähnlichen Aufbau wie am Schwarzensee und soll kurz beschrieben werden. Unter einer Schneeschicht von 20 cm fanden sich drei Eislagen, die durch Wasser und Schneematsch voneinander getrennt waren. Im aufgehackten Eisloch stand das Seewasser 3 cm unter der Eisoberkante.

Die Wärmekapazität des Sees ist sehr gering und die Vereisungsbereitschaft groß. Mitte Dezember ist meist schon eine geschlossene Eisdecke vorhanden, die bis Mitte April geschlossen bleibt und dann rasch zerfällt.

Die Farbe des Seewassers ist olivgrün bis bräunlich, die Sichttiefe beträgt mit der Secchischeibe nur 4,5—4,7 m, der Seegrund, der vollkommen mit Vegetation überzogen ist, kann nur stellenweise bis maximal 2 m Tiefe wahrgenommen werden. Der pH-Wert betrug an der Oberfläche 5,2—5,5 und stieg am Seegrund auf 5,8—6,0.

Während das Ostufer von Blockwerk gebildet wird, herrschen sonst Schlamm- bzw. an Flußmündungen Sandabsätze vor. Die Sedimentation organischen Detritus' überwiegt am eigentlichen Seeboden, die Gyttemächtigkeit beträgt zumindest stellenweise über 2 m (2 Messungen).

Die *Verlandung* des Bodensees ist, durch seine Seichtheit bedingt, stark durch biogene Vorgänge bestimmt, die zwischen den schmalen Sandbänken entlang der Flußmündungen zu einem raschen Verwachsen der Buchten führen. Da der ganze Seeboden mit einem Unterwasserrasen bedeckt ist und randlich ein *Scirpo-Phragmitetum* weit verbreitet ist, ist der Anfall an organischem Detritus sehr groß, wenn auch das angelandete Gebiet nur 2,5 ha ausmacht, was ein Verhältnis von offener Wasserfläche : verlandetem Seegebiet von 70,8 : 29,2 ergibt. Allerdings muß angenommen werden, daß der See jünger als die glazialen Seen ist, da er von holozänen bis rezenten Formen (Bergsturz und Schwemmkegel) aufgestaut wird (Abb. 2).

DER „TRICHTER“

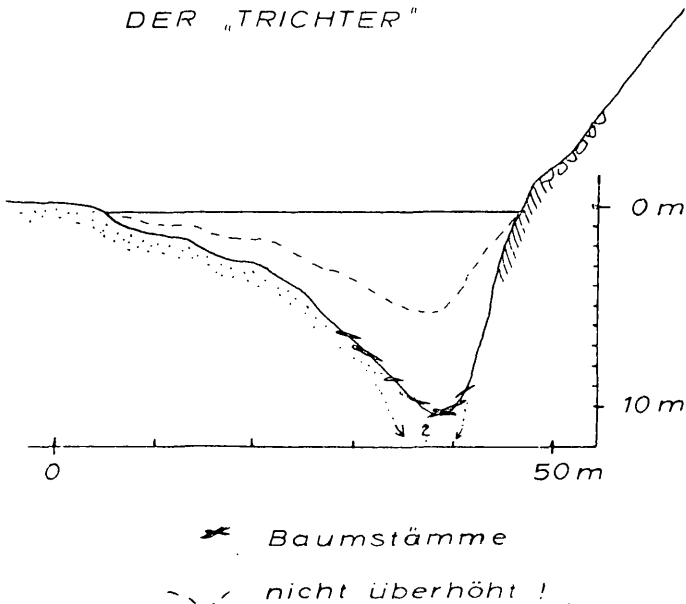


Abb. 6: Der „Trichter“ im Bodensee zwischen der Insel und dem Ostufer.

Im zweiten Teil der Veröffentlichung (1971) wird die Verlandungssukzession in mechanischer und biologischer Hinsicht genauer beschrieben werden.

Der „Trichter“ kann — wie eingangs erwähnt — nicht mit Sicherheit in seiner Genese geklärt werden, da nicht festgestellt werden kann, ob die Form in festem Fels oder in Lockermaterial eingetieft ist. Im W herrschen Feinsedimente vor, welche die Insel aufbauen und sich bis zum südlichen Ufer des Sees dahinziehen. Im E mündet eine Lawinenbahn aus, deren Boden von grobem Moränen- und Hangschutt aufgebaut ist; nur in der Wasserspiegelnähe tritt tw. fester Fels auf. Der Trichtergrund ist mit Baumwerk erfüllt und daher nicht erreichbar. Es kann sich daher sowohl um eine Gletschermühle als auch um ein Toteisloch handeln. Ein fluviatiler Kolk oder eine Lösungshohlform (Doline) scheiden hier aus, ersteres wegen der Größe, letzteres wegen des Fehlens karbonatischen Gesteins (Abb. 6).

Der Riesachsee

Bei einer viel geringeren Fläche als der Schwarzensee (170.908,6 m²) besitzt der Riesachsee doch nahezu die gleiche Wassermenge, nämlich 1,921.169 m³. Seine mittlere Tiefe beträgt 11,24 m, seine maximale 19,2 m. Die Neigung der N- und S-Seite der Seewanne ist sehr groß (40°—75°), auch gegen den Ausfluß erhebt sich der Seegrund unvermittelt von 15—18 m auf 3—5 m. Die 5 m-Isobathe schließt eine Fläche von 132.882,7 m² (= 77,7 %) ein, die 10 m-Isobathe noch 103.602,5 m² (= 60,6 %), die 15 m-Isobathe nimmt noch über ⅓ der Seefläche und die 17 m-Tiefenlinie nicht ganz ¼ der Seeoberfläche ein. Ab 15 m Tiefe kann man vom Seeboden sprechen. Der Seemittelpunkt liegt 47° 19' 47" n. Br. und 13° 46' 47" östl. Grw.

Der See erfüllt derzeit einen 816,2 m langen und 285,6 m breiten Teil des Taltroges an dessen unterem Ende, wo an der Ausmündung zum Untertal eine ca. 40 m hohe Felschwelle einen Abschluß bildet. Der Abfluß hat sich bereits zur Hälfte eingetieft, bevor er zwischen 1100 m und 1200 m die Riesachfälle bildend, das Haupttal erreicht. Das Verhältnis von Tiefe : Breite liegt immer noch bei 1 : 18,6; die Uferentwicklung beträgt 1,37, ein Wert, der nur durch die Länge des fast parallelogrammförmigen Sees und nicht durch eine spezielle Ufergliederung erreicht wird.

Die Seewanne wird durch einen Felsriegel in zwei Becken geteilt, die im N durch die 19 m-Tiefenfurche miteinander verbunden sind. Infolge der Einengung hat hier wohl die verstärkte Eiserosion auch die tiefste Mulde ausgegraben (—19,2 m). Sobald der Eisstrom den Hauptgletscher erreicht hatte, erlahmte die Erosionskraft, sodaß die Felschwelle erhalten blieb. Daraus errechnet sich eine (würmzeitliche) Glazialerosion von 40—50 m.

Das Trogtal aufwärts ist der See auf 1,3 km Länge bereits verlandet. Während die seitlichen Zuflüsse nur steile Schwemmkegel in den See gebaut haben, ähnlich wie es rezent talab noch geschieht, hat der Riesachbach vorwiegend durch Feinsedimente zu einer Verschüttung geführt, die relativ rasch fortschreitet. Der verlandete Raum ist durch im Frühjahr wasserführende Mulden und feuchte Wiesen geprägt (s. u.).

Die Temperaturverhältnisse im Sommer zeigen oberflächlich eine Zunahme der Temperatur vom Riesachbachzufluß (9,5°) gegen die Seemitte (auf 13°). Die Tiefentemperaturen zeigen an zwei Stellen (50 m vom Zufluß und Seemitte) folgende Veränderungen:²⁾

2) Die Temperaturlotungen ergaben eine gute Übereinstimmung mit den Meßwerten von MERZ 1909.

T a b. 4 : Temperaturschichtung im Riesachsee

50 m Zufluß am 19. 8. 1969	Seemitte am 19. 8. 1969	Seemitte am 3. 1. 1970	50 m vom Zufl. am 7. 4. 1969
0 m	12,0 Grad	13,0 Grad	Eisdecke
1 m	12,0 Grad	13,0 Grad	0,5 Grad bzw. Eis
2 m	11,7 Grad	12,5 Grad	1,5 Grad
3 m	11,5 Grad	12,0 Grad	2,7 Grad
5 m	11,2 Grad	11,5 Grad	3,5 Grad
10 m	11,0 Grad	8,0 Grad	4,2 Grad
15 m	—	7,0 Grad	4,4 Grad
19 m	—	6,1 Grad	—

Der Riesachsee hat für seine Seehöhe von 1338 m ein noch relativ großes Einzugsgebiet von 18,9 km², welches vornehmlich vom Sonntagkarseenabfluß und vom Abfluß des Klaffersees und Kapuzinersees entwässert wird. Beide Bäche überwinden einen Höhenunterschied von ca. 1000 m und durchfließen auf weiten Strecken Moränen und Gehängeschutt, sodaß sie, besonders bei Hochwasser, eine große Transportleistung durchführen. Aber auch die kleinen Wildbäche aus dem Gebiet Hochwildstelle (2747 m) — Pulverturm (2463 m) — HÖchstein (2543 m) kommen aus schuttreichen Karen und besitzen starkes Gefälle (durchschnittlich 30 °); sie haben grobe Schwemmkegel aufgebaut.

Auf Grund des langen Weges überwiegt beim Riesachbach letztlich der Anteil der Kies- und Sandkomponente am Transportmaterial, welches aber fast ständig akkumuliert wird, während grobere Geröllanteile nur bei höherem Wasserstand mitgeführt und am Beginn von Flachstrecken abgelagert werden. Der Riesachsee ist daher trotz seiner relativ großen Tiefe der am stärksten verschüttete See; 23,6 ha treten heute als Wiesen entgegen. Das Verhältnis offene Seefläche : verlandetem Gebiet beträgt hier ca. 42 : 58, sodaß mehr als die ursprüngliche Wasserfläche trockengefallen ist. Der Riesachbach hat in diesem durch nasse Wiesen genutzten Raum ein sehr geringes Gefälle (nur 1 ° 10'), transportiert aber ununterbrochen Sand mit, was besonders deutlich an der Einmündung in den See zu sehen ist. Aus den Aufschüttungen der letzten Jahrzehnte kommt man zu einem Akkumulationswert von ca. 200 m²/10 Jahre, wobei Jahre stärkerer Zuschüttung mit solchen geringerer wechseln (siehe auch Schlußkapitel). Bei gleicher Verlandungsgeschwindigkeit würde der See in 7000 bis 8000 Jahren verlandet sein, nimmt man talauf eine ähnliche Tiefe wie heute an. (Abb. 7 Luftbild).

B) Ankogelgruppe

Die beiden Höhkarseen liegen nördlich des Alpenhauptkammes in einem flachen Hochtal, welches oberhalb Böckstein mit einer mehrere 100 m hohen Stufe, über welcher der Höhkarfall herabstürzt, in das Anlaufstal mündet

Abb. 7: Luftbild des Riesachsees. Im Bild rechts der große vollkommen zugefüllte Seeteil. Die in den See vorgebauten Schwemmkegel der Nordseite haben dagegen geringere Bedeutung. Die abschließende Felschwelle am Westende ist gut zu erkennen, ebenso die litorale Region, die fast geradlinig gegen Osten abbricht.

Vervielfältigt mit Genehmigung des Bundesamts für Eich- und Vermessungswesen (Landesaufnahme) in Wien: G. Z. L 62.645/69 (Nr. 2107/66, Ausschnitt).



Abb. 7: Riesachsee (Text nebenstehend).

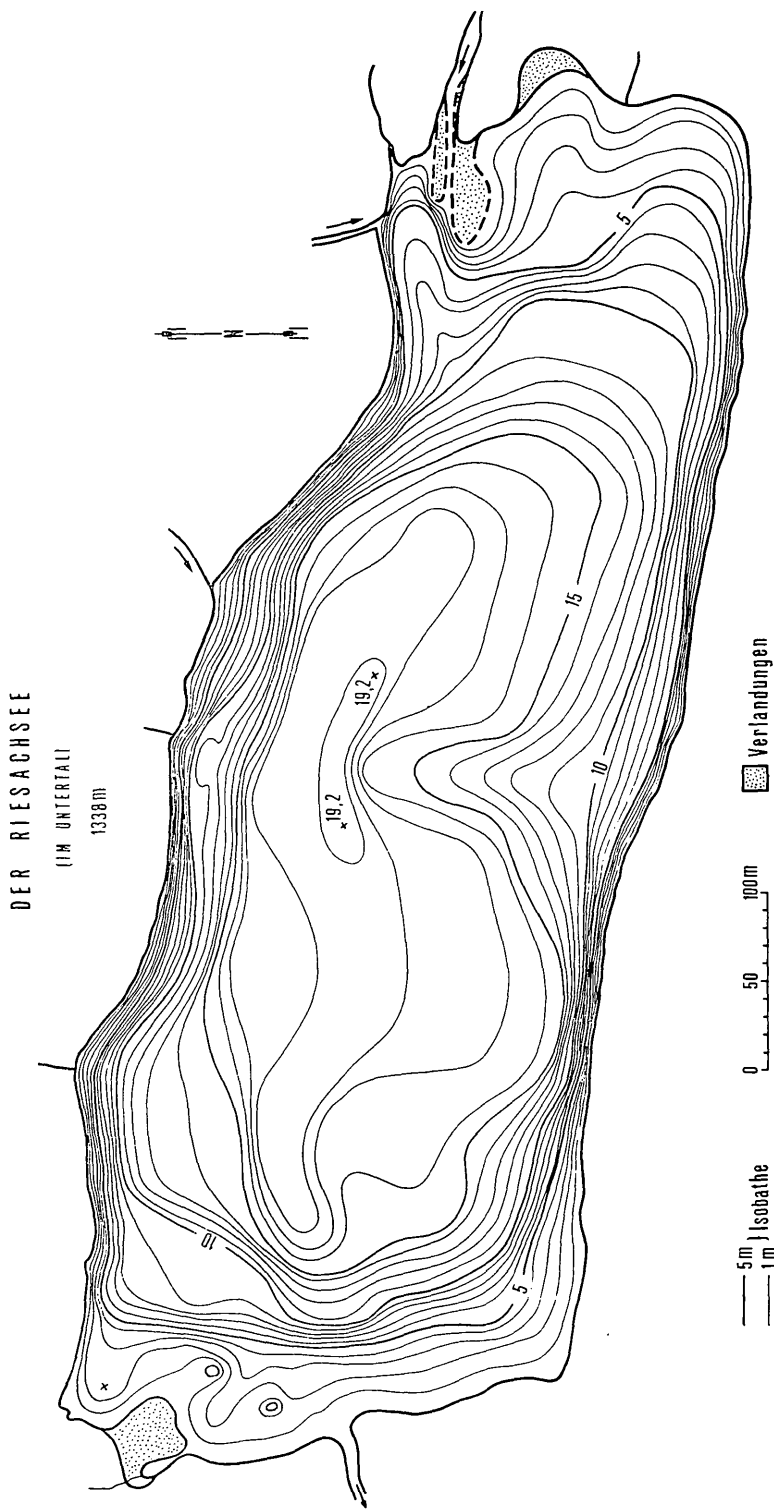




Abb. 9: Der Untere Höhkarsee gegen den Tauernhauptkamm (i. B. links). Gegen SE (links hinten) zieht der Trog zum Oberen Höhkarsee. Im Vordergrund von einem Seitenmoränenwall aus der Blick auf die fast vollkommen verlandeten Seen westlich des Unt. Höhkarsees; dazwischen Rundhöcker und Moränenhügel. Aufn.: H. NAGL, VIII. 1969.



Abb. 10: Der Obere Höhkarsee. Blick vom Eingang in den Kessel nach NW zum Seeausfluß (Endmoräne). Aufn.: H. NAGL, VIII. 1969.

(Patschgen-Alm 1800 m, Anlauffal 1200 m). Das Hochtalkar ist mehrgegliedert: Bis an die Stufe reicht eine flache, mit Moränen und Terrassenschottern erfüllte Akkumulationslandschaft (1800—1850 m, Patschgenalm); südlich (talauf) schließt das Gebiet des Unteren Höhkarsees (1900 m) an, welches durch mehrere, heute verlandete Seewannen und dazwischenliegende Rundhöcker und Mittelmoränenwälle ausgezeichnet ist; nach einem weiteren Anstieg ist in 2027 m der durch einen Moränenwall abgeschlossene Obere Höhkarsee ausgebildet. Der Kamm erreicht 2749 m (Göttinger Spitze) — 2832 m (Gamskarlspitze) im Alpenhauptkamm, die Nebenkämme gipfeln um 2500 m.

Geologisch liegt der Raum im Zentralgneisgebiet des Pennins. Granitgneise im W und S, Forellengneise im E bauen das unmittelbare Seegelände auf, weiter im W treten als Kambbildner Granosyenit- und Siglitzgneise auf; dazwischen ist ein schmales Band der zentralen Schieferserie eingeschaltet.

E. SEEFELDNER rechnet das Höhkar zu dem Hochtalkarsystem und damit zum Gotzenniveau (III). Das Flachkar- (= Tennen-) Niveau ist hier, so nahe am tief eingeschnittenen Anlauffal, der Erosion bis auf kleine Reste zum Opfer gefallen (nur östl. des Ob. Höhkarsees ist in ca. 2300 m eine schmale Karterrasse ausgebildet). Die Reliefenergie erreicht hier auf knapp 4 km Horizontalabstand immerhin 1600 m.

Verschieden alte Moränenablagerungen erfüllen das Kar. So kann man in 1900 m—2100 m Seitenmoränenwälle, in 2000 m—2030 m Endmoränen erkennen. Erstere gehören wohl einem Gletscher an, der noch — als gewaltiger Hängegletscher — in das untere Höhkarbachtal gereicht hat und gsnitzzeitliches Alter hatte. Die Endmoränen in 2000 m (Ob. Höhkarsee) sind sehr grobblockig und noch als gut ausgebildete Wälle erhalten; sie sind ihrer Schneegrenze und Ausbildung nach als daunzeitlich zu bezeichnen (Schneegrenze nach HÖFER'scher Methode in 2330 m, das sind 400 m unter der von 1850).

Liegen die beiden Seen auch im gleichen Kar, im selben Gestein und höhenmäßig nahe beieinander (Höhenunterschied nur 127 m), so liegt in ihren biologischen Verhältnissen sowie in ihrer Verlandungsgeschwindigkeit ein bedeutender Unterschied. Das ist darauf zurückzuführen, daß das Ob. Höhkar bis auf dürftige alpine Rasen vegetationslos ist und in extremster Staulage am Alpenhauptkamm liegt. Die Folge ist eine vermehrte Niederschlagsmenge (bes. Schneefall), starke Windwirkung, kürzere Sonnenscheindauer infolge längerer Nebel- und Wolkendecke und geringe Temperaturen; im August 1969 konnten an sonnigen Tagen Temperaturunterschiede von 4—6 ° gemessen werden (12. 8. 1969; 14 Uhr : 10,2 ° C—4,5 ° C).

Die beiden Höhkarseen liegen 47 ° 3 ' 8 " n. Br. (Unterer HS) bzw. 47 ° 2 42 " n. Br., und 13 ° 7 ' 45 " bzw. 13 ° 8 ' 35 " östl. Grw.

Der Untere Höhkarsee

Die Rundhöcker- und Moränenlandschaft in 1800 m—1900 m war einst von etlichen Seen durchsetzt, von denen nur mehr ein größerer, der Untere Höhkarsee, erhalten ist (Abb. 9). Seine Fläche beträgt dzt. 34.695,7 m², seine größte Tiefe 4,7 m. Nach 1 m—2 m steilen Abfällen beginnt bereits die flache Mulde des Seebodens, die mittlere Tiefe liegt bei nur 2,19 m. Das Volumen wurde mit 75.915 m³ Wasser berechnet. Mit 1900 m Höhe liegt der See an der Grenze des Krummholzgürtels im Bereich alpiner Matten, den unmittelbaren Hintergrund bildet der Radhausbergkamm, sodaß verschiedene ökologische Elemente nahe an den See herantreten und seine Landschaft bestimmen.

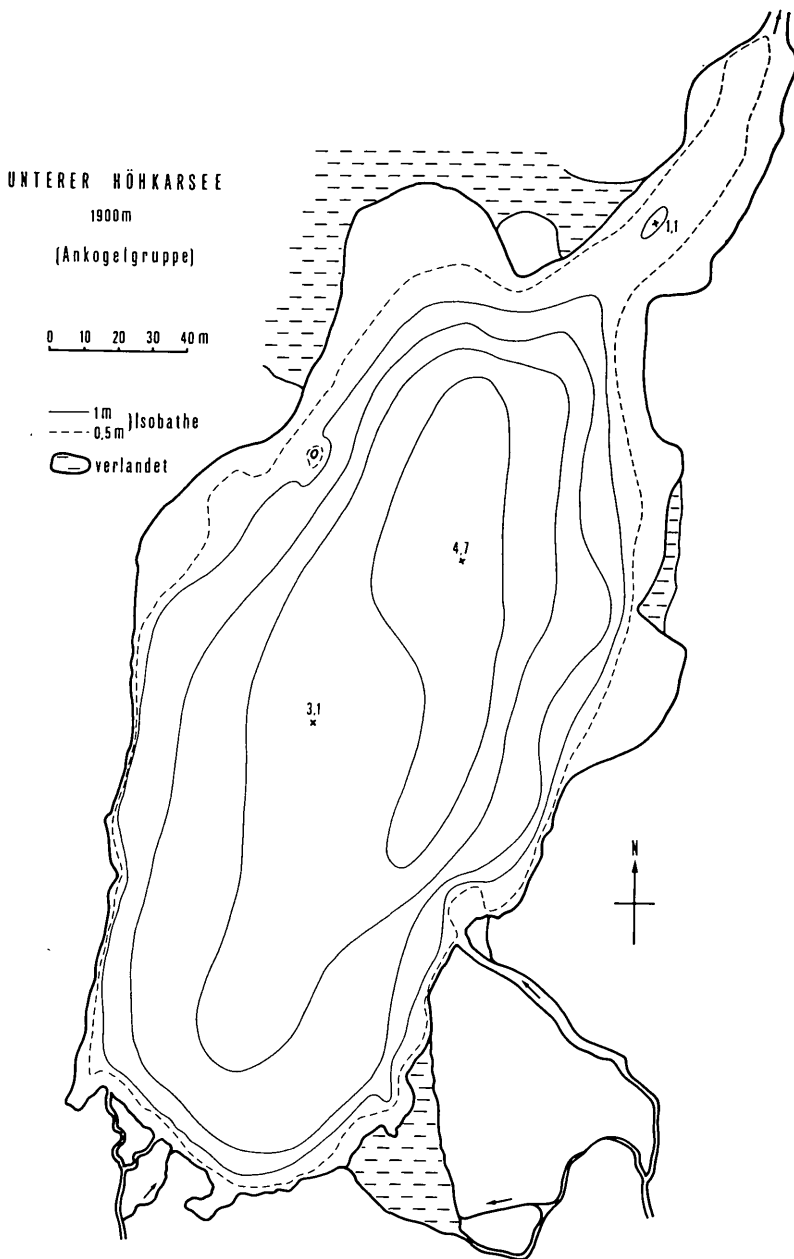


Abb. 11: Unterer Höhkarsee.

Der Temperaturgang zeigt nur geringe Werte während des ganzen Jahres; ca. ein halbes Jahr ist der See gefroren. Am 13. 8. 1969 konnten nach einer längeren Schönwetterperiode, die nur durch Wärmegewitter unterbrochen war, folgende Temperaturwerte gemessen werden: $8,5^{\circ}\text{C}$ — 2 m Tiefe: $8,2^{\circ}$, —

4 m Tiefe; $8,0^{\circ}$. Eine Schichtung ist daher kaum ausgebildet, es findet infolge der nächtlichen Abkühlung sehr oft eine Vollzirkulation statt. Während die Lufttemperatur zur Meßzeit (13. 8. 69, 13 Uhr) $11,2^{\circ}$ betrug und in der Nacht auf $6,5^{\circ}$ sank, blieb die Seetemperatur mit $8,3^{\circ}$ nahezu konstant. Der See kann im Sommer wohl als isotherm bezeichnet werden.

Einer offenen Wasserfläche von insgesamt 4 ha (mit den kleinen Nebenseen) steht eine verlandete Fläche von nahezu 7 ha gegenüber. Besonders die seichte Wanne westlich des Unt. Höhkarsees in 1918 m ist vollkommen mit sumpfigen Wiesen erfüllt. Abb. 14 (Seite 133) zeigt die verlandeten Gebiete, besonders in Hinsicht auf die letzten 40—50 Jahre, in denen die Verlandung rascher fortschreitet als vorher. Dies gilt vor allem auch für Gebiete mit organischer Sedimentation, wie sie der Unt. Höhkarsee im Gegensatz zum Oberen Höhkarsee deutlich zeigt. Neben biologischen Vorgängen ist es die Ablagerung von ausgewaschenen Feinsanden aus den Moränen, welche in dieser Region bis über 1,5 m ergraben wurde.

Alpine Wasserpflanzengesellschaften, die nicht näher bestimmt wurden, und Algen bedecken den klaren See bis zum tiefsten Punkt. Die Sichttiefe mit der Secchischeibe reicht bis zum Grund, allerdings ist im Oberen Höhkarsee, wo biologische Sedimentation nahezu völlig fehlt, in gleicher Tiefe die Sichtbarkeit der Secchischeibe doppelt so gut und der Grund selbst zu erkennen.

Der Obere Höhkarsee

Der Obere Höhkarsee ist mit 51.252 m^2 bedeutend größer; es ist ein echter Karsee, der von einer Moräne abgeschlossen wird. Seine Höhe in 2027 m unmittelbar nördlich des Tauernhauptkamms bestimmt seine Verlandungsformen und sein Leben.

Die maximale Tiefe beträgt 7,6 m, die mittlere 3,48 m. Der Wasserinhalt macht 178.495 m^3 aus. Der Zufluß erfolgt bis auf kleine Gerinne unterirdisch, der Abfluß ist mengenmäßig unbedeutend (im Sommer durchschnittlich $0,3 \text{ m}^3/\text{sek.}$). Perennierende Firnflcken am Süden sind teilw. jahrealte Schneereste, die nur langsam abschmelzen bzw. auch eisschollenartig abbrechen.

Auffällig ist eine Gliederung in den eigentlichen See ($F = 48.248,2 \text{ m}^2$, $T = 7,6 \text{ m}$, $V = 170.165 \text{ m}^3$) und in den „Kessel“, eine durch eine Enge (ca. 11 m breit, 2,2 m tief) getrennte langgezogene Bucht ($F = 3.003 \text{ m}^2$, $T = 6,3 \text{ m}$, $V = 8.330 \text{ m}^3$). Diese entstand dadurch, daß eine alte Moräne als Schuttstrom bis in den See gelangte und dessen südöstlichen Teil stark verschüttete; heute ist der Schuttstrom als stabile Form zu bezeichnen. Der Kessel schließt im S an anstehenden Fels, der teilw. fast senkrecht in den See abbricht und über welchen ein Wasserfall herabkommt. Sonst werden die Ufer ringsherum von Hangschutt bzw. Moränenmaterial gebildet, welches besonders mächtig im S und N an den See herantritt (Abb. 10).

Das große Seebecken zeigt ebenfalls eine sublakustre Zweigliederung in ovale Mulden, die durch eine Schwelle ($-4,5 \text{ m}$, Moränenwall), voneinander getrennt werden. Die nördliche ist größer und bis 7,6 m tief, die südliche schmaler und bis 6,8 m tief. Die 5 m-Isobathe schließt eine Fläche von 17.591 m^2 ein, das sind 36,7 % der Gesamtfläche. Der Seeboden ist auch hier in den beiden Mulden sehr flach (ab 6 m bzw. 7 m).

Eindrucksvoll ist die Klarheit des Sees, besonders im Kessel. Hier kann man an der tiefsten Stelle (6,3 m) das grobe Blockwerk des Grundes und den dazwischenbefindlichen Sand und Schluff deutlich durch das grünliche Wasser erkennen. Aber auch der Hauptteil ist sehr klar, sodaß die Secchischeibe sehr deut-

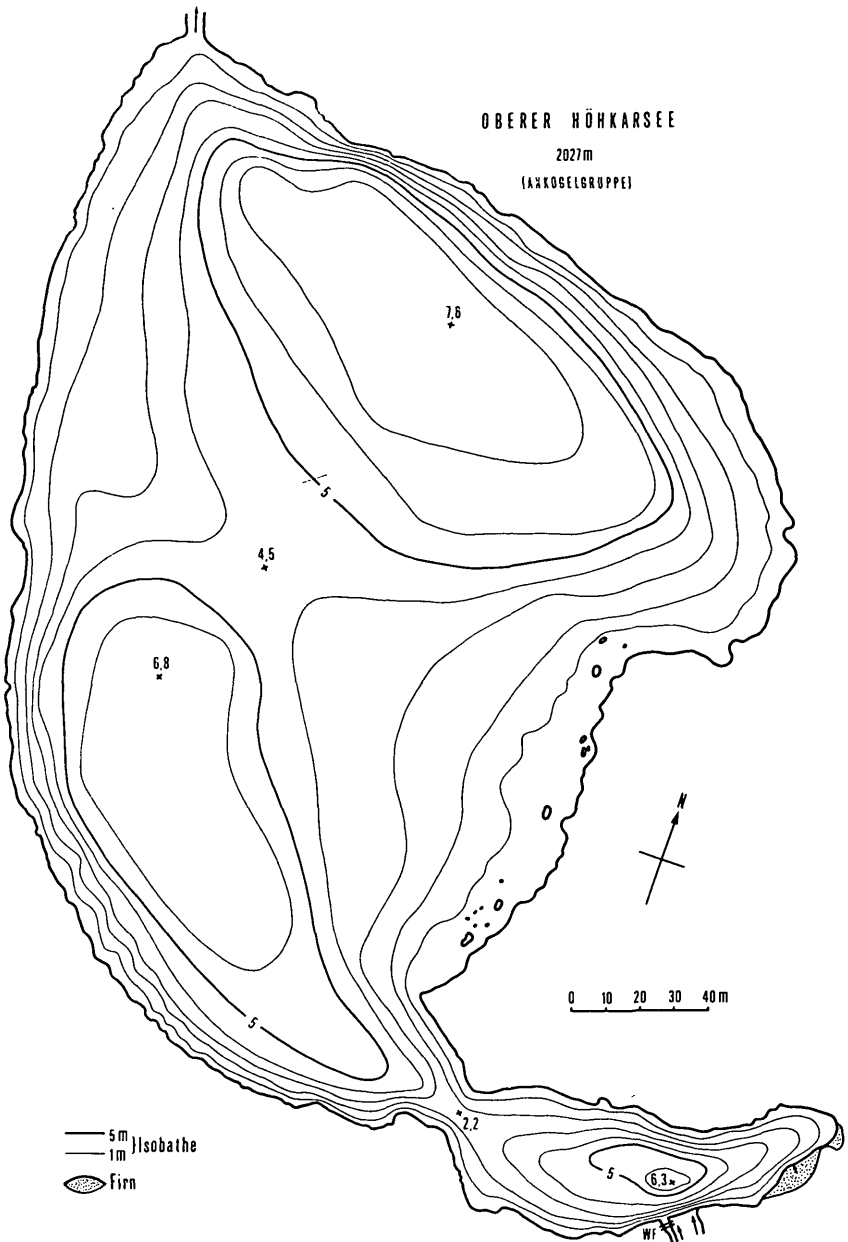


Abb. 12: Oberer Höhkarsee.

lich auch in größter Tiefe zu finden ist, der Grund selbst kann aber nur bis ca. 5 m erkannt werden, wohl auch deshalb, weil er von einheitlichen Feinsedimenten überdeckt ist.

Die Verlandung des Oberen Höhkarsees geht heute sehr langsam vor sich,

da die Zuflüsse den Sand gróßtenteils bei ihrem unterirdischen Lauf im Blockwerk ablagern; die Blockhalden werden aber heute nicht mehr bewegt, sieht man von seltenen Abgängen ab.

Die nordwestliche Seehälfte, welche von stadialen Moränen umschlossen wird, erfährt durch Zufuhr organischer Substanz (Sickerwässer) eine Trübung und Anreicherung organischer Sedimente, der südöstliche Teil liegt in subrezenten bis rezenten Schutthalden, die nur in den tiefgelegenen immerfeuchten Mulden spärlichen Graswuchs zeigen. Der pH-Wert des Seewassers beträgt 5,8 bis 6,1.

Die Temperaturverhältnisse sind auch hier sehr typisch für die hohe Lage. Die Oberflächentemperatur ist im Sommer mit 7,1 ° (Hauptteil) und 5,5 ° (Kessel) nahezu konstant. Tab. 5 zeigt die Temperaturabnahme mit der Tiefe: (12. 8. 1969) Lufttemperatur 4,5 °.

T a b. 5 : Temperaturschichtung im Ob. Höhkarsee (° C)

Tiefe in m	Hauptteil	Kessel
0	7,1	5,5
1	6,9	5,0
2	6,5	4,5
3	6,2	3,6
4	6,1	2,9
5	6,0	3,4
6	5,7	4,1
7	5,7	—

Die niedrigen Temperaturen im Kessel sind wohl auf den abschmelzenden Firn (Wassertemperatur um 2 ° C) und die relative Abgeschlossenheit durch die Schwelle (keine Mischung mit dem Hauptteil) zurückzuführen.

Die beiden Höhkarseen zeigen somit deutlich die Bedeutung des Lokalklimas und ökologischer Faktoren für die Wasserklarheit und die Verlandungsgeschwindigkeit bzw. -faktoren.

Ein graphischer Vergleich möge die Temperaturverhältnisse der Seen veranschaulichen (Abb. 13).

Abschließend seien noch kurz einige Niederschlagswerte angeführt, welche für den Wasserhaushalt der Seen von Bedeutung sind. Die Wasserspiegelschwankungen sind bei allen Seen relativ gering und liegen im Normaljahr unter 0,5 m (im Untersuchungsjahr zwischen Sommer 1969 und Winter 1969/70 nur 2 dm). Nach den Heften des Hydrographischen Dienstes stellen sich die Mittelwerte für Niederschlag und Schneemächtigkeit von 1901—1950 wie Tabelle 6 zeigt.

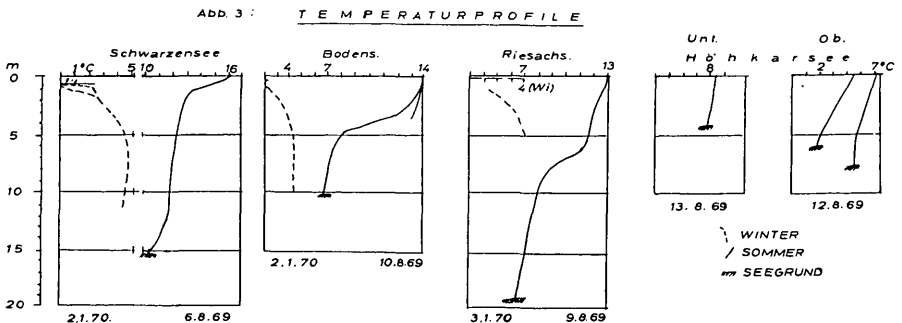


Abb. 13: Temperaturprofile.

T a b. 6 : Niederschlagswerte.

Gebiet	Niederschlag in mm	Summe der Neuschneehöhen in cm	maximale Schneehöhe in cm
Sölkatal 1150 m	1195	durchschn. 385 max. 628	durchschn. 85 max. 148
Untertal 1040 m	1046	durchschn. 227 max. 451	durchschn. 61 max. 94
Radhaus 2117° (Gastein)	1853	durchschn. 463 max. 1386	durchschn. 138 max. 305

° Nur 1901—1910

Die Tabelle 7 faßt vergleichend hydrologische und morphometrische Werte zusammen. Die drei Seen der Schladminger Tauern liegen unter der Waldgrenze, die beiden Höhkarseen sind typische Hochgebirgsseen.

T a b. 7 : Morphometrische und hydrologische Angaben über die Seen.

See	See-H. m	Einzugsgeb. km ²	Abfluß m ³	Fläche m ²	Uferentw. Uferentw. m	max. Tiefe m
Schwarzensee	1150	26,5	1,52	227.594,2	1,57	15,7
Bodensee	1149	10,3	0,25	60.675,0	1,93	10,1
Riesachsee	1338	21,9	0,89	170.908,6	1,37	19,2
U. Höhkarsee	1900	ca. 5,0	ca. 1,0	34.695,7	1,58	4,7
O. Höhkarsee	2027	ca. 2,0	ca. 0,6	51.252,0	1,55	7,6

See	mittl. Tiefe m	Volumen m ³	T : B	Max. Lg. u. Br. m	pH
Schwarzensee	8,78	1.998.499	1 : 34,9	841,0 × 547,8	5,5—6,0
Bodensee	1,62	98.469	1 : 24,8	426,5 × 250,0	5,2—6,2
Riesachsee	11,24	1.921.169	1 : 18,6	816,2 × 285,6	5,2—5,5
U. Höhkarsee	2,19	75.915	1 : 34,4	380,8 × 164,2	5,6
O. Höhkarsee	3,48	178.495	1 : 33,2	446,3 × 255,9	6,0

Zusammenfassende Bemerkungen und Schlußfolgerungen

Die speziellen Kapitel haben über Größe und Tiefe der Seen, ihre Temperaturverhältnisse und ihre Verlandung Aussagen gemacht. Abschließend sollen allgemein gültige Ergebnisse der Untersuchung angeführt werden.

Aus der Übertiefung der Seen gegenüber dem umgebenden Felsgelände kann ein Wert der glazialen Tiefenerosion gewonnen werden. Letzterer wird von einzelnen Autoren eine verschiedene Bedeutung zugemessen, läßt sich aber gerade an Seen, wo die Flußerosion ausfällt, gut nachweisen. Besonders das nur durch Eiserosion entstandene Felsbecken des Riesachsees bietet sich hier an. Bei der Mündungsstufe (Gföller-Alm) liegt das präwürme Riesachtal mindestens 1375 m hoch (heutige Höhe), der tiefste Punkt des Sees in 1318 m, wovon noch die Sedimentdecke abzuziehen wäre. Die Differenz und damit der glaziale Tiefenschurf betragen mindestens 60 m. Ähnliche Werte erhält man im Höhkarseegebiet, wo der Höhenunterschied zwischen Rundhöckern und Seewannen 30 bis 50 m ausmacht. In den Haupttälern sind die Ausraumwerte noch größer. Gelten obige Werte für die Würmeiszeit, so sind ca. 200 m—250 m in den Niederen Tauern, 300 m—400 m in den Hohen Tauern als Übertiefungswert für das Pleistozän (Eis- und Flußerosion) anzunehmen. Die Trogtäler sind dementsprechend klar ausgebildet.

Das thermische Verhalten der tieferen Seen zeigt eine deutliche Sprungschicht, die beim Schwarensee nahe der Oberfläche liegt, beim Bodensee in 3—4 m und im Riesachsee in 6—8 m Tiefe vorzufinden ist. Die starke Temperaturabnahme in den obersten Schichten des Schwarzensees deutet auf die leichte Erwärmbarkeit der höchsten Zone im tageszeitlichen Temperaturlauf. Eine gute Übereinstimmung ergibt ein Vergleich der Tiefentemperaturen und der Temperaturen der Zuflüsse. Die stabilste Schichtung und eine deutliche Trennung zwischen Epi- und Hypolimnion ist im Riesachsee zu erkennen; bei Nacht wird diese Schichtung fast gänzlich abgebaut, sodaß eine Zirkulation möglich wird.

Die Vereisungsdauer entspricht sehr gut den statistischen Angaben O. ECKELS (1955). Der Vereisungsbeginn ergibt sich danach aus der Formel $T_1 = 28. I. - 3,9 H$ (Hektometer), das Ende der Vereisung aus $T_2 = 11. II. + 6,8 H$. Für den Bodensee und Schwarensee kann damit der Beginn und das Ende der Vereisungsperiode mit 13. XII. bzw. 10. IV. angegeben werden, für den Riesachsee mit 7. XII. bzw. 13. V. Bei den Höhkarseen liegen die Daten um den 12. XI. und den 27. VI. Alle diese Werte entsprechen durchaus den Beobachtungen.

In Bezug auf den Nährstoffhaushalt können der Schwarensee und der Riesachsee als kalkarme oligotrophe Klarwasserseen der Waldregion bezeichnet werden, der Bodensee geht infolge zunehmender Verlandung in den eutrophen holomiktischen Waldsee über. Nur der „Trichter“ zeigt eine sommerliche Sprungschicht (Abb. 13) und besitzt ein Hypolimnion, welches im übrigen Teil des Sees vollkommen fehlt. Die Höhkarseen sind oligotrophe, holomiktische Hochgebirgsseen zwischen der Wald- und Schneegrenze. Die Produktion organischer Sedimente ist im Oberen Höhkarsee fast Null, im Unteren sehr gering; die Verlandung erfolgt durch allochthone Sedimente, auf denen sich Sumpfrasen entwickeln, welche die Verlandungssukzession abschließen.

Der Schwarensee ist von den untersuchten Seen der Schladminger Tauern in der Waldregion der nährstoffärmste. Es fehlen auch Schwimmpflanzen- und bodenwurzelnde Schwimmblattgesellschaften völlig. Im wesentlichen wird die litorale Zone von einem Unterwasserrasen (Litorellion) eingenommen.

Der Bodensee, der durch eingeschwemmten Humus (besonders auch Sickerwasser) seine gelbbraune Farbe erhält, die nur im Trichter olivgrün wird, zeigt hingegen den größten Nährstoffreichtum. Unterwasserrasen und Potamogeton nehmen den litoralen Seeboden ein (ausgenommen den profundalen Trichter), ein Scirpo-Phragmitetum (Teichbinsen-Schilfröhricht-Gesellschaft) bedeckt die weiten verschlickten und nur 0,5—1,0 m tiefen südlichen Teile. Der bereits verlandete Teil ist von einem Caricetum sp. überzogen, zwischen dem die Zuflüsse mäandrieren (Abb. 2). In den sublakustren Quelltrichtern, die sehr kaltes Wasser zuführen (ca. 7 ° C), finden sich Grünalgen, um die Zuflußröhre „brodelte“ der Sand. Ganz im SE zieht sich ein schmaler Streifen noch nicht verlandeten Sees zwischen dem anstehenden Ufer und dem verlandeten Boden dahin, der wohl durch die sublakustren Zuflüsse offen gehalten wird. Die starke Erwärmung des durchfließenden Wassers geht aus folgendem Vergleich hervor: Lufttemperatur 15,3 Grad C, Zufluß 12 Grad, See und Ausfluß 14 Grad, trotz der kalten unterirdischen Zuflüsse!

Am Ostufer des Riesachsees hat sich ein schmales, die seichten Buchten bezeugendes Strandbinsenröhricht entwickelt, das zur Verlandung durch autochthones organisches Material führt. Die eigentliche Füllung des Sees erfolgt jedoch durch allochthones mineralogenes Schwemmmaterial, welches auch die weite Zuschüttung bewirkt hat.

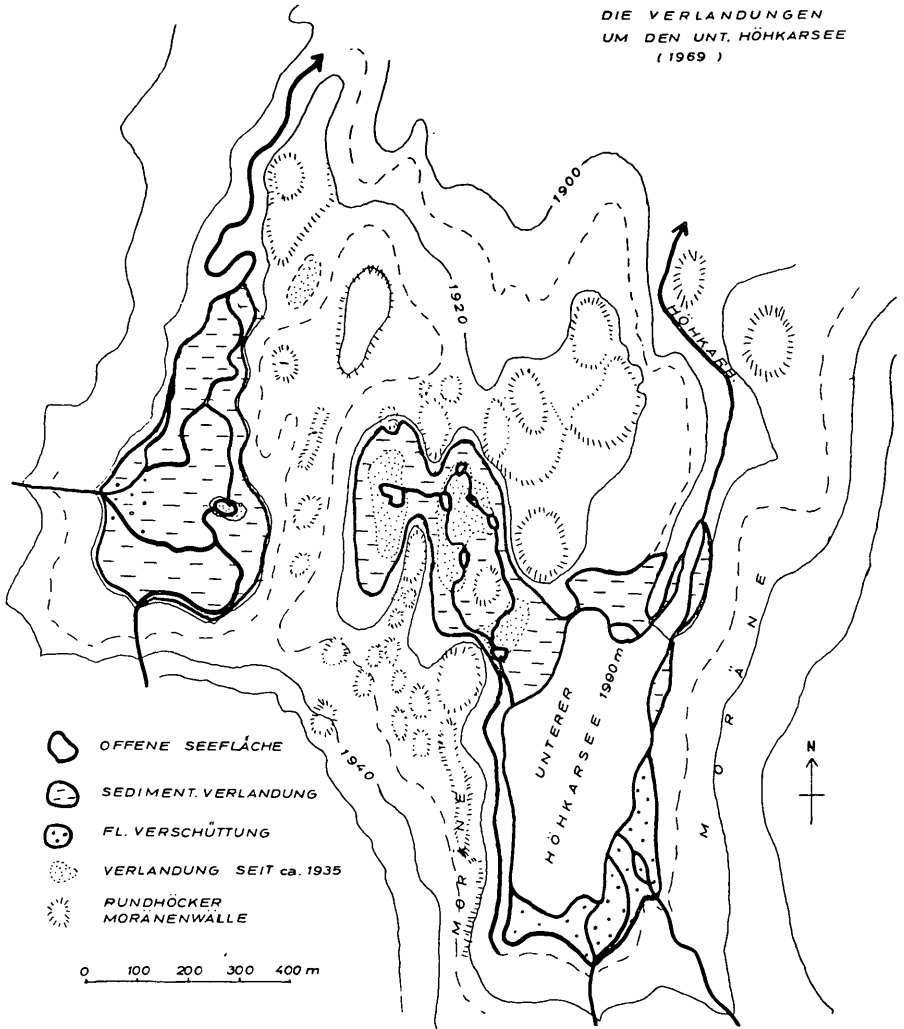


Abb. 14: Das Verlandungsgebiet des Unt. Höhkarsees (Isohypsenführung nach der Österr. Karte 1 : 25.000, Vergrößerung auf 1 : 10.000 — Die Uferlinie stimmt mit den Vermessungen von H. NAGL nicht genau überein!).

Eine nicht unwesentliche klimatologische Aussage scheint sich aus den Verlandungsprozessen zu ergeben, wie vor allem aus den Untersuchungen des Bodensees, Riesachsees und Unt. Höhkarsees hervorgeht. Überwog lange Zeit hindurch die Ablagerung von feinen Sedimenten, die sich über das ganze Seebecken hin verfolgen läßt (Schlammschichten) und nur eine langsame flächige Verlandung zur Folge hatte, so kann man in den letzten Jahrzehnten eine verstärkte Schüttung mittleren und groben Materials (Sand und Kies) erkennen, welches zu einer raschen, auf das Mündungsgebiet beschränkten Verlandung führt. Diese Feststellung geht aus Grabungen hervor, die im Bodensee- und

Riesachseegebiet durchgeführt wurden und eine Zunahme der Korngröße gegen die heute noch offene Wasserfläche ergaben. Zugleich läßt sich aus der Vegetationsdecke eine größere Zunahme von Neuland durch einen deutlichen Bruch in der Sukzession vom altverlandeten Raum zum See hin erkennen, sodaß der Schluß naheliegt, daß die Verlandung seit einer bestimmten Zeit rascher vor sich geht und sich daher andere, an diese Verhältnisse angepaßte Pflanzengesellschaften einstellen. Diese Frage wird im kommenden Jahr genauer untersucht werden.

Im Gebiet des Unteren Höhkarsees sind ähnliche Veränderungen festzustellen. Der größte verlandete See westlich des Unt. Höhkarsees scheint schon seit vielen Jahrzehnten nur mehr zur Zeit der Schneeschmelze überflutet worden zu sein. Eine kleine, vor 100 Jahren noch ständig offene Seefläche wird heute nur mehr periodisch inundiert. Eine deutlich beschleunigte Verlandung zeigen hingegen die ehemaligen stark gelappten Seegebiete, welche nordwestlich des Sees liegen (Abb. 14). Noch die Österr. Karte 1 : 25.000 aus den Jahren 1935/36 zeigt drei Seen mit einer Gesamtfläche von ca. 35.000 m², die in einem bereits verlandeten Raum von 120.000 m² liegen. Derzeit beträgt die offene Wasserfläche nur mehr 1.500 m², verteilt auf 7 kleine Lacken, die nur bis 0,7 m tief werden. Damit entfallen rund 30 % der gesamten Verlandung auf die letzten 35 Jahre! Als Kurve auf einem logarithmischen Koordinatensystem würde das Verhältnis Zeit : Verlandungsfläche nahezu eine Gerade ergeben.

So bieten sich hier in einer regionalen Untersuchung Möglichkeiten der Erkenntnis allgemeiner Gesetzmäßigkeiten an, die im besonderen Fall auf eine Zunahme der Kontinentalität schließen lassen, zu der parallel eine vermehrte Niederschlagstätigkeit kommt. Erhöhte Niederschläge nach intensiverer Trockenheit führen zu verstärkter Tiefenerosion, zu vermehrter Transportkraft und damit zu häufigerer Akkumulation in den See. Ein Vergleich mit den Ergebnissen der Klimauntersuchungen EISENHARDTS, welche Klimaschwankungen seit 1880 im Rhein-Maingebiet betreffen, ergeben eine gute Übereinstimmung, sodaß sich vielleicht daraus für ganz Mitteleuropa zutreffende Klimaschwankungen erkennen bzw. bestätigen lassen.

Literatur

- BURDECKI F. 1956. Vereisung, Meereshöhe und Wärmespeicherung von Gebirgsseen. *Wetter und Leben*, 8:27-28.
- ECKEL O. 1955. Statistisches zur Vereisung der Ostalpenseen. *Wetter und Leben*, 7:49-57.
- 1955. Temperaturprobleme der Alpenseen. *Wetter und Leben*, 7:253-256.
- 1967. Über die vertikale Temperaturverteilung im Traunsee. Arb. Zentralanstalt H 1, ZA-Publikation Nr. 184.
- EISENHARDT Th. 1968. Klimaschwankungen im Rhein-Main-Gebiet seit 1880. *Forsch. deutsch. Landeskunde*, 165.
- ELLENBERG H. 1963. Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen. In: Einführung in die Phytologie von H. WALTER, IV/2.
- HACKER W. 1933. Sichttiefe, Wärmegang und Durchlüftung von Hochgebirgsseen. *Geogr. Jber. Österr.*, 16:88-105.
- HERITSCH F. 1922. Geologie der Steiermark. *Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark*, 57:1-224.
- KÜPPER K. 1956. Beiträge zur Geologie der Schladminger Tauern zwischen Sattental und Untertal. *Jb. geol. Bundesanstalt*, 99:201-223.

- LICHTENBERGER E. 1956. Stadiale Gletscherstände in den Schladminger Tauern (Steiermark). Z. Gletscherkunde u. Glazialgeol., 3:235-244.
- LUCERNA R. 1924. Der Klafferkessel in den Schladminger Tauern. Z. Deutsch. u. Österr. Alpenvereins, 55:54-78.
- MERZ A. 1909. Seenstudien aus den Niederen Tauern. Mitt. Österr. geogr. Ges., 52:539-557.
- RUTTNER F. 1933. Untersuchungen über die biochemische Schichtung in einigen Seen der Ostalpen. Geogr. Jahresber., 16:73-87.
- SCHUMANN W. 1965. Physikalische Untersuchungen am Eibsee bei Garmisch-Partenkirchen (Oberbayern). Mitt. geogr. Ges. München, 50:77-108.
- SCHWINNER R. 1924. Geologisches über die Niederen Tauern. Z. Deutsch. u. Österr. Alpenvereins, 55:24-53.
- SENARCLENS-GRANCY W. 1962. Beiträge zur Eingliederung der Moränen der Schladminger Tauern, der Mitterrennstaler Moore und der Ramsau- oder Ennstalterrassen bei Schladming in das alpine Jungquartär. Jb. geol. Bundesanstalt, 105:65-128.
- SÖLCH J. 1928. Die Landformung der Steiermark.
- TURNOWSKY F. 1946. Die Seen der Schobergruppe in den Hohen Tauern. Carinthia II, 8. Sonderheft.
- WÖBER E. 1968. Geomorphologie des Talgebietes der Großen Sölk und seiner Gebirgsgruppen in den Niederen Tauern mit besonderer Berücksichtigung der Hochgebirgsseen. Diss. phil., Wien, 1968.

Anschrift des Verfassers: Dr. Hubert NAGL, Assistent am Geographischen Institut der Universität Wien, Universitätsplatz 7/V,
A-1010 W i e n.