

Umweltsbedingungen und Lebewelt in alpinen Speicherseen.

Roland Pechlaner

Vorauszuschicken ist, daß mit der Bezeichnung „alpin“ die Höhenstufe gekennzeichnet wird, in der die zu besprechenden Speicher liegen. Die ursprüngliche Bedeutung von „alpin“, nämlich „in den Alpen gelegen“, ist heute ersetzt durch einen Begriffsinhalt, der eine bestimmte, vor allem vom Botaniker festgelegte Höhenstufe angibt, das Hochgebirge. In seinem primären Sinn wird das Wort nur mehr selten verwendet (zum Beispiel bei *Sommani*, 1956), der Terminus wird nun als Höhenstufenbezeichnung vielfach auch für Regionen außerhalb der Alpen, zum Beispiel im Apennin oder in den Anden, angewendet (vgl. *Schröter*, 1926, p. II).

In der limnologischen Hochgebirgsliteratur wird das Hochgebirge als Region oberhalb der oberen Waldgrenze aufgefaßt (*Heller*, 1881, p. 106; *Pesta*, 1923, p. 386/387; 1929, p. 2; *Steinböck*, 1938, p. 480–502), doch ist festzuhalten, daß diese Grenzziehung nicht von allen Pflanzengeographen akzeptiert wird. *Schröter* selbst (1926, p. 41) tritt für die Baumgrenze als Untergrenze des Hochgebirges ein, nennt aber eine Reihe von Botanikern, die die alpine Höhenstufe mit der Waldgrenze beginnen lassen. *Gams* (1935, p. 164; 1936, p. 32; 1956, p. 16) hält sich bei der Zonierung an die Waldgrenze, schränkt aber die als Kriterien verwendeten Holzsorten ein: Größere Restbestände von *Legföhren* und *Alpen-erlen*, *Lärchen* und *Zirben* bilden die untere Grenze der alpinen Stufe; die Verbreitung zum Beispiel der *Fichte* ist für die Abgrenzung nicht maßgebend. Die klimatischen und edaphischen Differenzen, die die Höhenunterschiede zwischen Wald- und Baumgrenze bedingen, sind so gering, daß sie in Speicherseen kaum zum Ausdruck kommen, weshalb diese Frage in unserem Zusammenhang nicht näher diskutiert werden muß. Wir werden sogar einzelne Speicher besprechen, die etwas unterhalb der Waldgrenze liegen, die aber auf Grund ihrer unmittelbaren baumarmen Umgebung mit alpinen Speicherseen vergleichbar sind, doch werden wir auf ihre Zugehörigkeit zur subalpinen Stufe hinweisen.

Wie Lanser (1961, p. 9) ausdrücklich feststellt, kann von einem „Stauen“ eines Gewässers nur beim Einbau eines Abflußhindernisses die Rede sein, vor dem sich der Wasserspiegel zwar hebt, so daß die benetzten Querschnitte gegenüber dem ungestauten Fluß an Fläche zunehmen, aber doch nur so weit, daß eine merkliche Strömung noch aufrecht erhalten bleibt. Zu diesem einen Kennzeichen des Stausees (besser als „Flußstau“ zu bezeichnen), nämlich der zwar verminderten, aber doch stets vorhandenen Strömung, die in der Regel der Ausbildung einer Schichtung und der Entwicklung eines See-Planktons entgegenwirkt (Einsle, 1957, p.9 und 11), kommt als zweites Charakteristikum die Beschaffenheit seiner Wasseroberfläche: Während die Wasseroberfläche des Speichersees horizontal ist, beziehungsweise die leicht konvexe Krümmung der Erdoberfläche mitmacht, folgt die Oberfläche eines Flußstaues im Längsschnitt einer nach oben konkaven Kurve, der sogenannten Staukurve, deren Verlauf durch die Höhe des Stauspiegels über den ursprünglichen Wasserspiegel, durch das Gefälle des letzteren und durch die jeweilige Wasserführung bestimmt wird (Lanser, l.c.).

Auf unsere künstlichen alpinen Seen darf demnach meist nur der Terminus *Speicher* beziehungsweise *Speichersee* angewendet werden, und es wird dies im folgenden auch geschehen. (Die vom Zeitwort „stauen“ abgeleiteten Formen wie „gestaut“, „Aufstauung“ und die nicht sinnvoll ersetzbaren Ausdrücke „Stauauer“, „Stauhöhe“, „Stauziel“ müssen allerdings weiterhin beibehalten werden.) Wir sind mit Scheele (1959, p.98) der Meinung, daß bei fachlichen Erörterungen der Fachsprache der Vorrang gewährt werden muß, selbst wenn durch die Eintönigkeit dieser Sprache der Stil leidet.

Die Unterlagen für die vorliegende Darstellung der Limnologie alpiner Speicher wurden — soweit sie die Speicher in den Hohen Tauern betreffen — in insgesamt 5 mehrtägigen Exkursionen ins Kapruner Tal und ebensovielen Fahrten ins Stubachtal gewonnen. Wenn auch charakteristische Perioden im Jahresablauf für die Feldarbeit gewählt wurden (Kapruner Tal: 11.—21. VII. 58, 30. IX. — 9. X. 58, 12.—17. III. 59, 3.—16. VII. 59, 30. VIII. 59; Stubachtal: 23.—27. IX. 58, 6.—10. III. 59, 18. und 19. VII. 59, 6.—13. XI. 59, 7.—10. IV. 61), so ist doch festzustellen, daß die Untersuchungen nur als Stichproben zu werten sind, die Darstellung also durch weitgehende Extrapolation zu unsicheren Aussagen führen muß, ein Mangel, der für die Hochgebirgsforschung bisher allgemein gegolten hat. Die von Steinböck 1959 erbaute Limnologische Station Küh-

tai (2240 m) gibt nun die Möglichkeit, eine Reihe typischer natürlicher Hochgebirgsseen eingehender zu studieren. Über diese Untersuchungen wird demnächst an anderer Stelle berichtet werden. Hier soll nur von der Limnologie der Hochgebirgsspeicher die Rede sein.

Was mir an Literatur über alpine Speicher bekannt wurde, bezieht sich nur auf Gewässer, die im Gebirgszug der Alpen selbst liegen. Die Lage dieser künstlichen Seen geht aus der Skizze auf p. 238 hervor.

Linder (1928–1946) verdanken wir eine laufende limnologische Kontrolle (allerdings nur in den Sommermonaten!) des Lac de Barberine (Wallis, Schweiz), der seit 1926 als Speicher besteht und eine maximale Spiegelschwankung von 48 m aufweist. Wir werden auf die Verhältnisse in diesem See weiter unten zurückkommen, obwohl er, wie aus der von E. Schmid bearbeiteten Vegetationskarte der Schweiz 1:200.000 hervorgeht, noch nicht der alpinen Region angehört. Pignat (1941 und 1960) bespricht kurz die Entwicklung der fischereilichen Nutzung dieses Speichers.

Kurze Notizen liegen vor von 2 weiteren Speichern des Wallis, dem Lac de Fully (Linder, 1931) und dem Lac de la Dixence (Cosandey, Linder et Regamey, 1938). Vom Lac de Fully (2139 m, um 10 m höher gestauter natürlicher See, Nutzinhalt 3,2 Millionen m³, maximale Tiefe ca. 40 m) erfahren wir nur einiges über sein Plankton, vom Lac de la Dixence (2241 m, künstlicher Speicher mit 50 Millionen m³ Nutzinhalt, Tiefe mindestens 77 m) werden außerdem Transparenz- und Temperaturangaben gebracht.

Gams (1927) bringt ebenfalls Angaben, über das Plankton des Lac de Fully (synonym mit „Li d'array“!). Seine Angaben über die Morphometrie dieses Speichers sind ausführlicher: 1914 Stauziel 2137 m, ab 1917 2139 m, Spiegelschwankung 16 beziehungsweise 18 m, maximale Tiefe 52 m. Volumen ca. 3,2 Mio m³.

Dussart (1952) beschreibt den Lac du Mont-Cenis (32 Millionen m³, 12 m Spiegelschwankung, Areal 90–260 ha), der wegen seiner Lage am Alpenrand trotz seiner Seehöhe von 1921 m der alpinen Zone angehören dürfte.

Von den Alpen-Seen, deren Thermik und Biologie Sommani (1956) untersuchte, liegt nur einer (Lago di Toggia, 2190 m, Volumen 16,8 Millionen m³, Areal 0,55 km², maximale Tiefe 37 m) in der alpinen Höhenstufe. Doch sind auch die Verhältnisse im subalpinen, aber gletschergespeisten Lago di Morasco (1800 m, 18 Millionen m³, 57 m tief) in unserem Zusammenhang von Interesse.

Das reiche faunistische Material bei V. e L. Tonolli (1951) bezieht sich zum Teil auch auf alpine Speicher. Da die äußerst kurzen Bemerkungen über die Morphometrie der bei Tonolli (l. c.) genannten Seen nicht zur Charakterisierung des jeweiligen Lebensraumes ausreichen, werden in unserem Zusammenhang nur die Angaben über die Speicher Lago Toggia und Lago di Morasco diskutiert, über welche die oben erwähnte Publikation von Sommani genügend ausführlich unterrichtet.

Über die Limnologie der Speicher des Kapruner Tales und des Stubachtales liegt ein erster Bericht vor (Pechlaner, 1959), diese Veröffentlichung enthält bereits Hinweise auf Publikationen, die über die wasser- und energiewirtschaftlichen Belange dieser Speicher in den Hohen Tauern Auskunft geben.

Die Arbeit von W Steinböck (1960) enthält außer morphometrischen und hydrologischen Angaben über den Großen Mühlendorfer See (Reißbeckgruppe) auch in gedrängter Form die limnologischen Untersuchungsergebnisse, die O. Steinböck 1949 und 1950 am Großen Mühlendorfersee vor der Errichtung der Staumauer gewonnen hatte.

Über die technischen Belange des Lünnersees informiert eine Schrift der Vorarlberger Illwerke AG. (1960). Der Lünnersee ist von F. Berger und F. Ruttner (Biologische Station Lunz) 1953 (1935 bis 1955 Stauziel des Lünnersees 1943 m, Absenkziel 1935 m) bereits limnologisch untersucht worden; die Ergebnisse wurden leider noch nicht publiziert, doch hat mir Dr. Berger beziehungsweise die Vorarlberger Illwerke AG. entgegenkommenderweise die Daten zur Verfügung gestellt. Ziemlich umfangreiche limnologische Untersuchungen, die im Rahmen der Schlußexkursion des Zoologischen Institutes der Universität in der Zeit vom 13. bis 18. Juli 1961 am Lünnersee durchgeführt wurden, konnten für diese Publikation leider nicht mehr ausgewertet werden.

Eine Studie von Vivier (1960) enthält einige Daten über alpine Speicher in Frankreich.

Der Speichersee als Lebensraum

Die hochgelegenen Speicher der Alpen dienen primär alle der Energieerzeugung. Ihre Aufgabe besteht — um diese Aussage noch mehr einzuengen — vor allem darin, Wasserreserven für die Stromerzeugung im Winter zu sammeln. Sie erreichen daher durchwegs

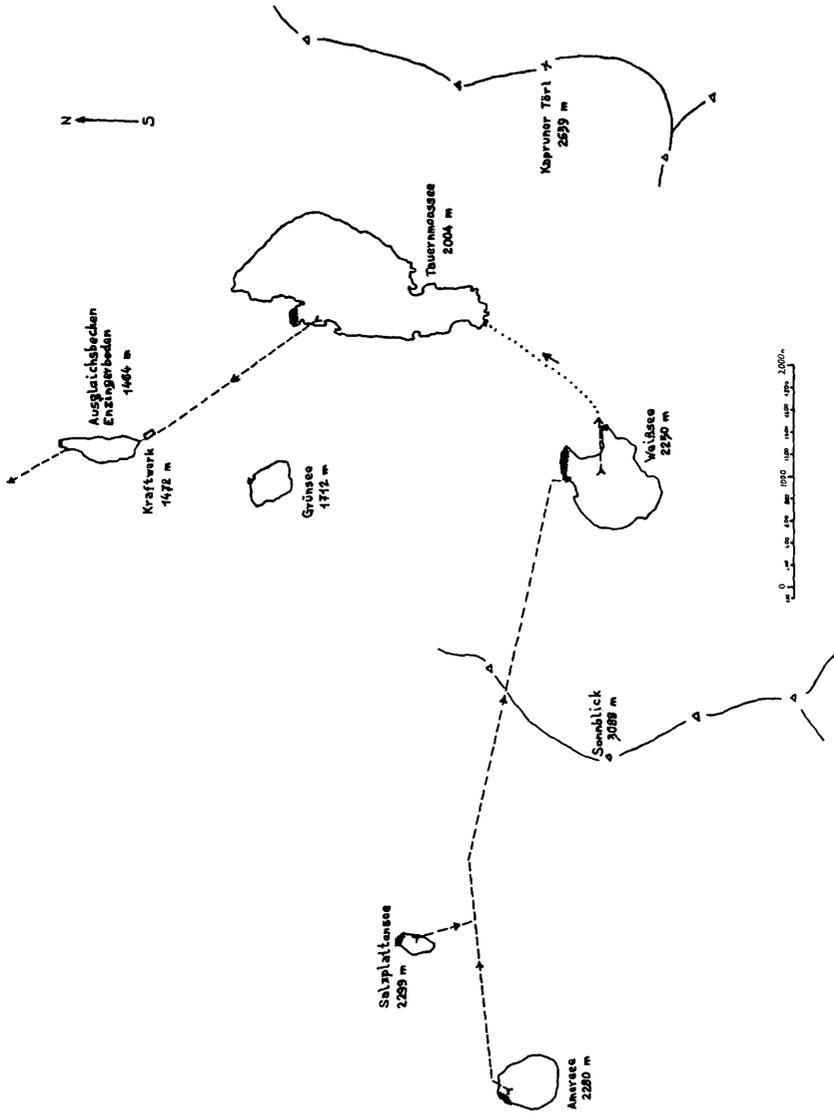


Abb. 1. Das Speichernetz des Stubaichwerkes (Österreich, Bundesland Salzburg)

im Spätsommer oder Herbst ihr Stauziel, werden im Spätherbst und Winter abgearbeitet und zeigen im Frühjahr, vor dem Eintreten der Schneeschmelze, ihre größte Absenkung. Die Abarbeitung im Sommer beschränkt sich meist auf jene Wassermenge des Einzugsgebietes, die der Speicher nicht fassen könnte, die also als Überlauf der Energienutzung verloren ginge. Nur selten ist es ein einziger See, der das Wasser für den Betrieb eines Speicher-Kraftwerkes liefert; in der Regel ist eine Gruppe von Seebecken zu einem Speichernetz zusammengefaßt.

Abbildung 1 und 2 zeigen die Art der Wasserkraftnutzung zweier Kraftwerksgruppen, die zwei grundverschiedene Typen der Abarbeitung darstellen: Die Speicher des Stubachwerkes unterscheiden sich in ihrem Wasser-Regime nicht so sehr vom natürlichen See, wie die rein künstlichen Pumpspeicherbecken des Kapruner Tales. Im Stubachtal (Abb. 1) erfolgt die Abarbeitung des Wassers vom Speicher Tauernmoossee (2004 m) aus, dem das Wasser 19,5 m unter dem Vollstauspiegel entnommen wird. Es gelangt durch einen Druckschacht in das Kraftwerk Enzingerboden (1472 m), wird nach dem Passieren der Turbinen in das Ausgleichsbecken Enzingerboden (Stauziel 1464 m) geleitet, von wo aus die weitere Abarbeitung in den Kraftwerken Schneiderau (1043 m) und Uttendorf (758 m) erfolgt. Mit dem Tauernmoossee in Verbindung stehen die Speicher Weißsee (2250 m), Amersee (2280 m) und Salzplattensee (2299 m), die praktisch die gesamte Abflußmenge ihrer Einzugsgebiete aufnehmen können. Im Spätherbst und Winter werden diese Wassermengen in einem 6 km langen Freispiegelstollen vom Amersee (Gravitationsentnahme 22 m, Pumpenentnahme 36 m unter Vollstauspiegel) und Salzplattensee (Entnahme in 37 m Tiefe) zum Weißsee (Gravitationsentnahme 53 m, Pumpenentnahme maximal 60 m unter Vollstauspiegel), und von dort zuerst in einem kurzen Überleitungsstollen, dann in freiem Gerinne zum Tauernmoossee geführt.

Etwas komplizierter ist die Wasserverwertung in der Kraftwerksgruppe Glockner—Kaprun (Abb. 2, vergleiche auch Pechlaner, 1959). Auch die dortigen Speicher sammeln zunächst das Wasser ihrer eigenen, zum Teil durch Stollen und Hangkanäle erweiterten Einzugsgebiete. Das Wasser der Margaritze (2000 m), die den Abfluß der Pasterze aufnimmt, wird dem Mooserboden (2036 m) durch einen 11,6 km langen Stollen zugeführt. Die Niveaudifferenz zwischen dem nordwestlichen Stollenende und dem jeweiligen Wasserspiegel des Mooserbodens wird durch ein Pumpwerk überwunden. Die Einleitung dieses Wassers in den Mooserboden erfolgt mit maxi-

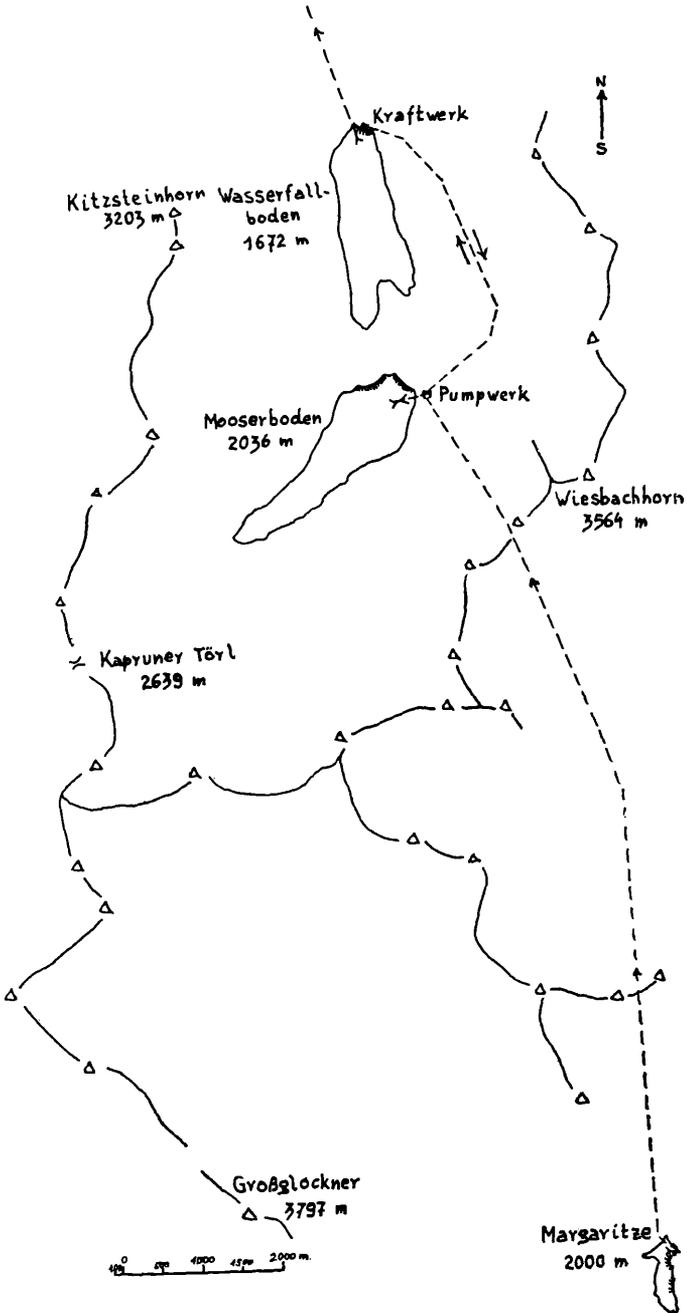


Abb. 2. Die Speicher der Kraftwerksgruppe Glockner-Kaprun (Österreich, Bundesland Salzburg)

mal 11–16 m³ pro Sekunde in einer Tiefe von 84 m unter dem Vollstauspiegel. In derselben Tiefe wird auch das Wasser entnommen, das über einen in den Berg geschlagenen Stollen im Krafthaus Oberstufe (1573 m, am Fuße der Staumauer des Speichers Wasserfallboden) abgearbeitet wird. Dasselbe Wasser soll zur weiteren Nutzung im Speicher Wasserfallboden (1672 m) gehortet werden, man nimmt darum einen geringen Energieverlust in Kauf und preßt dieses Wasser nach dem Passieren der unter Gegendruck arbeitenden Turbinen in den Stausee Wasserfallboden. Diese Einleitung erfolgt 86 m unter dem Stauziel. Noch ca. 6 m tiefer liegt in diesem Speicher das Einlaufbauwerk für die Wasserentnahme zur weiteren Abarbeitung in Kaprun (781 m). Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, Wasser aus dem Wasserfallboden in den fast 370 m höher gelegenen Mooserboden zu pumpen. Es geschieht dies, um in Stunden geringen Strombedarfs die Energie kontinuierlich laufender kalorischer Kraftwerke und Flußkraftwerke zu verwerten beziehungsweise in Form von hochgepumptem Wasser für spätere Verbrauchsspitzen bereitzuhalten. Es liegt auf der Hand, daß die Speicher Wasserfallboden und Mooserboden¹ durch die Art und das Ausmaß der Wasserverschiebung (genaue Zahlen siehe Pechlaner, 1959, p. 186 und 187) wesentlich stärker beeinflußt werden als die Speicher des Stubachtales.

Wodurch sind nun diese Speicher gekennzeichnet, inwieweit unterscheiden sie sich vom natürlichen See der alpinen Region:

Das am meisten in die Augen springende Charakteristikum sind die enormen Wasserstandsschwankungen, die in den alpinen Winterspeichern allgemein auftreten. Tabelle 1 gibt darüber hinreichend Auskunft.

Hand in Hand mit diesen Spiegelschwankungen geht eine weitgehende Wassererneuerung. Diese Wassererneuerung ist im Speicher in der Regel größer als in einem natürlichen See, bevor er höhergestaut wurde, selbst wenn das ursprüngliche Einzugsgebiet nicht (zum Beispiel durch Hangkanäle) künstlich vergrößert wurde. Wir wissen heute durch zahlreiche Spezialuntersuchungen, daß bei stehenden Gewässern mit kontinuierlichem oberflächlichem Zu- und Abfluß oft große Partien des Sees vom Wasseraustausch nicht oder kaum erfaßt werden, daß starke Zuflüsse in mehr oder weniger

¹) Die Margaritze ist ein Tagesspeicher, der eine Dosierung der stark schwankenden Schmelzwassermengen der Pasterze erlaubt, sie ist darum als Stausee zu bezeichnen. Ihre Limnologie wird in unserem Zusammenhang nicht weiter berücksichtigt werden.

Tab. 1. Seehöhe, Spiegelschwankungen und

	Stauziel	Absenkziel	Maximale Spiegel- schwankung	Rest- Tiefe
	m	m	m	m
Salzplattensee	2299	2261	38	—
Amersee	2280	2247	33	31
Weißsee	2250	2190	60	23
Tauernmoossee	2004	1985	19	19
Mooserboden	2036	1960	76	14
Wasserfallboden	1672	1590	82	18
Großer Mühdorfersee	2319	2255	64	10
Lünersee (seit 1959)	1970	1867	103	35
Lac de Fully	2139	2121	18	34
Lac de Barberine	1880	1832	48	—
Davosersee	1562	1534	28	26
Wäggitalersee	901	854	47	20

Lebewelt in alpinen Speicherseen

199

Volumina von Speicherseen der Alpen

Natürliches Volumen Mio m ³	Volumen Vollstau Mio m ³	Nutzinhalt Mio m ³	Rest- Volumen Mio m ³	Vollstau- Volumen :	Rest- Volumen
0,53	—	1,1	—	—	—
2,00	—	4,3	—	—	—
—	—	15,7	—	—	—
—	—	21,5	—	—	—
± 0	87,4	85,4	2,0	43 : 1	
0	86,0	84,5	1,5	56 : 1	
1,83	8,32	7,8	0,52	15 : 1	
57,6	94,1	77,5	16,6	47 : 1	
—	3,2	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—
± 0	153,05	151,0	2,05	75 : 1	

eng begrenzter Bahn den See durchströmen, ohne sich mit dem Seewasser ganz zu vermischen (zum Beispiel Vollenweider, 1956, für Lago Maggiore, Auerbach und Ritzzi, 1937, für den Bodensee, Forel, 1895, und Dussart, 1948, zitiert bei Hutchinson, 1957, p. 296, für den Genfersee, Linder, 1942, für den Lac de Barberine). Beim Speicher, dessen stärkste Spiegelsenkung zu einer Zeit erfolgt, in der Zuflüsse fast fehlen, ist es sicher das see-eigene Wasser, das abgelassen wird. Tabelle 1 bringt Angaben, die über Volumschwankungen einiger alpiner und tiefer gelegener Speicher informieren. Die Zusammenstellung zeigt, daß die vollkommen künstlichen Speicher des Kapruner Tales, der Lac de Barberine und der Wäggitalsee², begründet durch die technischen Möglichkeiten bei der Errichtung solcher Speicher, im Verhältnis zu ihrer Gesamttiefe viel stärkere Niveauschwankungen aufweisen, sich vom normalen Wasserhaushalt eines Sees also mehr unterscheiden als angezapfte (Davosersee) oder höher gestaute (alle übrigen Speicher der Tabelle 1) natürliche Seen.

Auf diese beiden hydrographischen Gegebenheiten, die hohe Spiegelschwankung und den verstärkten Durchfluß — die auch den Speicher der Niederung kennzeichnen — lassen sich alle limnologischen Charakteristika des alpinen Speichers zurückführen. Allgemein kann gesagt werden, daß am Hochgebirgsspeicher viele der Eigenschaften, die schon den natürlichen See der alpinen Region von jenem der Niederung trennen, in verstärktem Maße vorhanden sind.

Physikalische Umweltfaktoren

Temperatur:

Alpine Seen sind gekennzeichnet durch niedrigere Wassertemperaturen. Die Temperatur der Seetiefe liegt meist bei oder wenig über 4° C, wie dies auch für viele Niederungsseen gilt. Als Ergebnis der Windarbeit können am Grunde alpiner Seen auch höhere Temperaturen auftreten, doch hat sich die Vermutung Steinböcks (1938, p. 505), daß die Tiefentemperatur im Hochgebirgssee 12° C nicht übersteigt, bestätigt (vgl. Steinböck, 1955). Die

²) In einem Schreiben vom 24. Juni 1961 teilte mir die Betriebsleitung der AG Kraftwerk Wäggitall allerdings mit, daß die tatsächlichen Spiegelschwankungen im Durchschnitt nur 26 m betragen, daß in den Jahren 1955—1960 im Mittel 76 Mio m³ Restwasser im Speicher blieben, daß das Verhältnis Vollstauvolumen Restvolumen also zum Beispiel für die letzten fünf Jahre zirka 2 : 1 betrug.

Oberflächentemperaturen überschreiten diesen Wert nur um wenige Grade, wie die Zusammenstellung bei Pesta (1929, p. 42) zeigt, sowie die Werte bei Hacker (1933, p. 97 und 98), Steinböck (1934a, Tabelle 1), Suchlandt und Schmassmann (1936, p. 29, 31 und 38) und Leutelt-Kipke (1934, Tabellen bei p. 288/289). Auch die Speicher bleiben — soweit Beobachtungen darüber vorliegen — in ihrer Erwärmung unter 12° C (ausgesprochene Uferbezirke ausgenommen!), mit Ausnahme der obersten dm, die höhere Temperaturen erreichen können. Eine echte Sprungschicht³, wie sie in natürlichen Hochgebirgsseen vielfach gefunden wurde (Steinböck, 1929, 1934a), ist bei alpinen Speichern nur für den Lünersee (Berger unveröffentlicht) nachgewiesen. Die thermische Stratifikation im Lac du Mont-Cenis (Dussart, 1952) wird durch eine starke Sulfat-Schichtung gestützt (vergleiche auch Vivier, 1960, p. 359 und 360), ist daher mit einer nur temperaturbedingten Sprungschicht nicht vergleichbar.

Offenbar ist es aber nicht der Speicherbetrieb als solcher, der die Ausbildung einer Sprungschicht verhindert — im subalpinen Speicher Wasserfallboden (Pechlaner, 1959, Abbildung 2, p. 189) und wahrscheinlich auch im Wäggitalersee (Minder, 1939, p. 153/154) ist trotz der Pumpspeicherung eine Sprungschicht entwickelt — sondern der Wind, der bei der Großflächigkeit der bisher untersuchten Speicher einen größeren Einfluß auf die Thermik ausüben kann als bei natürlichen Hochgebirgsseen. Weitere Untersuchungen werden zeigen, ob Speicher mit im Verhältnis zur Tiefe geringer Oberfläche (zum Beispiel Amersee und Salzplattensee) eine Sommerschichtung annehmen können. Wahrscheinlich ist dies nicht der Fall, da bei künstlichen Seen wegen der Staumauer der Wind mindestens von einer Seite ungehindert wirken kann, die Speicher also weitgehend mit natürlichen Joch- oder Paßseen zu vergleichen sind, denen — windbedingt — eine Sprungschicht fehlt (vergleiche hierzu Steinböck, 1934a, p. 407).

Erwähnung verdienen die Temperaturverhältnisse im Speicher Mooserboden im Juli 1959. Wie Abbildung 3 zeigt, herrschte im Mooserboden am 5. VII. um 9.45 Uhr annähernd Homothermie. Bei 50 m Tiefe wurden die Temperaturmessungen abgebrochen, da

³) Bezüglich des Begriffsinhaltes limnologischer Fachausdrücke sei auf einführnde Werke (zum Beispiel Ruttner F. „Grundriß der Limnologie“, 2. Aufl., Berlin 1952) verwiesen.

eng begrenzter Bahn den See durchströmen, ohne sich mit dem Seewasser ganz zu vermischen (zum Beispiel Vollenweider, 1956, für Lago Maggiore, Auerbach und Ritzzi, 1937, für den Bodensee, Forel, 1895, und Dussart, 1948, zitiert bei Hutchinson, 1957, p. 296, für den Genfersee, Linder, 1942, für den Lac de Barberine). Beim Speicher, dessen stärkste Spiegelsenkung zu einer Zeit erfolgt, in der Zuflüsse fast fehlen, ist es sicher das see-eigene Wasser, das abgelassen wird. Tabelle 1 bringt Angaben, die über Volumschwankungen einiger alpiner und tiefer gelegener Speicher informieren. Die Zusammenstellung zeigt, daß die vollkommen künstlichen Speicher des Kapruner Tales, der Lac de Barberine und der Wäggitalsee², begründet durch die technischen Möglichkeiten bei der Errichtung solcher Speicher, im Verhältnis zu ihrer Gesamttiefe viel stärkere Niveauschwankungen aufweisen, sich vom normalen Wasserhaushalt eines Sees also mehr unterscheiden als angezapfte (Davosersee) oder höher gestaute (alle übrigen Speicher der Tabelle 1) natürliche Seen.

Auf diese beiden hydrographischen Gegebenheiten, die hohe Spiegelschwankung und den verstärkten Durchfluß — die auch den Speicher der Niederung kennzeichnen — lassen sich alle limnologischen Charakteristika des alpinen Speichers zurückführen. Allgemein kann gesagt werden, daß am Hochgebirgsspeicher viele der Eigenschaften, die schon den natürlichen See der alpinen Region von jenem der Niederung trennen, in verstärktem Maße vorhanden sind.

Physikalische Umweltfaktoren

Temperatur:

Alpine Seen sind gekennzeichnet durch niedrigere Wassertemperaturen. Die Temperatur der Seetiefe liegt meist bei oder wenig über 4° C, wie dies auch für viele Niederungsseen gilt. Als Ergebnis der Windarbeit können am Grunde alpiner Seen auch höhere Temperaturen auftreten, doch hat sich die Vermutung Steinböcks (1938, p. 505), daß die Tiefentemperatur im Hochgebirgssee 12° C nicht übersteigt, bestätigt (vgl. Steinböck, 1955). Die

²) In einem Schreiben vom 24. Juni 1961 teilte mir die Betriebsleitung der AG Kraftwerk Wäggitall allerdings mit, daß die tatsächlichen Spiegelschwankungen im Durchschnitt nur 26 m betragen, daß in den Jahren 1955—1960 im Mittel 76 Mio m³ Restwasser im Speicher blieben, daß das Verhältnis Vollstauvolumen Restvolumen also zum Beispiel für die letzten fünf Jahre zirka 2 : 1 betrug.

Oberflächentemperaturen überschreiten diesen Wert nur um wenige Grade, wie die Zusammenstellung bei Pesta (1929, p. 42) zeigt, sowie die Werte bei Hacker (1933, p. 97 und 98), Steinböck (1934a, Tabelle 1), Suchlandt und Schmassmann (1936, p. 29, 31 und 38) und Leutelt-Kipke (1934, Tabellen bei p. 288/289). Auch die Speicher bleiben — soweit Beobachtungen darüber vorliegen — in ihrer Erwärmung unter 12° C (ausgesprochene Uferbezirke ausgenommen!), mit Ausnahme der obersten dm, die höhere Temperaturen erreichen können. Eine echte Sprungschicht³, wie sie in natürlichen Hochgebirgsseen vielfach gefunden wurde (Steinböck, 1929, 1934a), ist bei alpinen Speichern nur für den Lünensee (Berger unveröffentlicht) nachgewiesen. Die thermische Stratifikation im Lac du Mont-Cenis (Dussart, 1952) wird durch eine starke Sulfat-Schichtung gestützt (vergleiche auch Vivier, 1960, p. 359 und 360), ist daher mit einer nur temperaturbedingten Sprungschicht nicht vergleichbar.

Offenbar ist es aber nicht der Speicherbetrieb als solcher, der die Ausbildung einer Sprungschicht verhindert — im subalpinen Speicher Wasserfallboden (Pechlaner, 1959, Abbildung 2, p. 189) und wahrscheinlich auch im Wäggitalersee (Minder, 1939, p. 153/154) ist trotz der Pumpspeicherung eine Sprungschicht entwickelt — sondern der Wind, der bei der Großflächigkeit der bisher untersuchten Speicher einen größeren Einfluß auf die Thermik ausüben kann als bei natürlichen Hochgebirgsseen. Weitere Untersuchungen werden zeigen, ob Speicher mit im Verhältnis zur Tiefe geringer Oberfläche (zum Beispiel Amersee und Salzplattensee) eine Sommerschichtung annehmen können. Wahrscheinlich ist dies nicht der Fall, da bei künstlichen Seen wegen der Staumauer der Wind mindestens von einer Seite ungehindert wirken kann, die Speicher also weitgehend mit natürlichen Joch- oder Paßseen zu vergleichen sind, denen — windbedingt — eine Sprungschicht fehlt (vergleiche hierzu Steinböck, 1934a, p. 407).

Erwähnung verdienen die Temperaturverhältnisse im Speicher Mooserboden im Juli 1959. Wie Abbildung 3 zeigt, herrschte im Mooserboden am 5. VII. um 9.45 Uhr annähernd Homothermie. Bei 50 m Tiefe wurden die Temperaturmessungen abgebrochen, da

³) Bezüglich des Begriffsinhaltes limnologischer Fachausdrücke sei auf einführnde Werke (zum Beispiel Ruttner F. „Grundriß der Limnologie“, 2. Aufl., Berlin 1952) verwiesen.

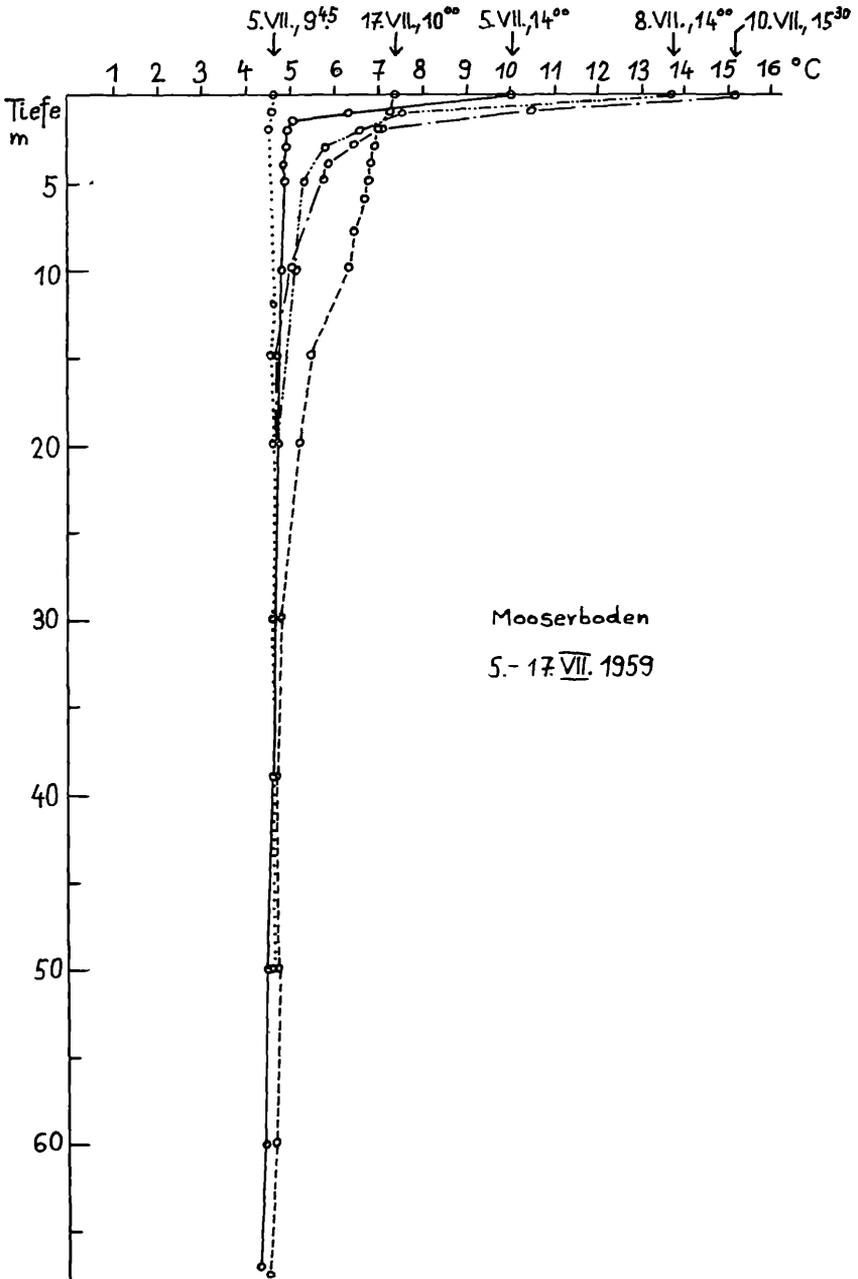
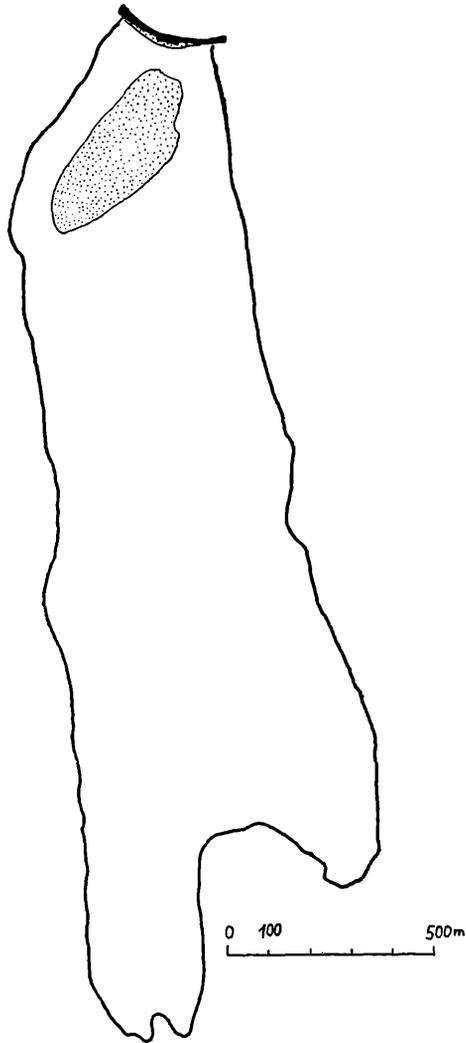


Abb. 3. Temperatur im Speicher Mooserboden am 5., 8., 10. und 17. Juli 1959

die Wasserbewegung, verursacht durch das Einpumpen von Wasser aus der Margaritze, so stark war, daß das Kabel des elektrischen Temperaturmeßgerätes (nach Knie und Gams, 1958) in größerer Tiefe bis 30 Winkelgrade aus der Lotrechten gedrängt wurde, obwohl die Messungen in zirka 400 m Entfernung vom Pumpeneinlauf durchgeführt wurden. Obwohl ständig weiter gepumpt wurde, hatte sich bis 14 Uhr desselben Tages eine scharfe Oberflächensprungschicht gebildet mit einem Temperaturabfall von 5°C innerhalb der obersten 150 cm. Die Oberflächentemperaturen erreichten am frühen Nachmittag des 8. und 10. VII. $13,7$ bzw. $15,2^{\circ}\text{C}$, doch beruht dieser Anstieg mit größter Wahrscheinlichkeit nicht auf einer Verstärkung der schon am 5. VII. beobachteten Oberflächensprungschicht. Es ist anzunehmen, daß das warme Oberflächenwasser nachts teils abgekühlt, teils in tiefere Schichten gearbeitet wurde und sich die Oberflächensprungschicht an jedem dieser Schönwettertage neu gebildet hat, was — da entsprechende Messungen fehlen — aus den vorliegenden Kurven nur indirekt geschlossen werden kann. Auf jeden Fall ist das Auftreten dieser Sprungschicht ein Beweis mehr für die Tatsache, daß durch Dichteunterschiede innerhalb einer Wassermasse eine Gleitfläche entsteht, die 2 Wasserkörper zu trennen vermag, welche sich sonst auf Grund ihrer Turbulenz in Kürze vermischen würden. Diese Turbulenzunterdrückung an Flächen mit steilem Temperaturgradienten ist ein häufig auftretendes Phänomen, das unter anderem die Voraussetzung bietet für das Zustandekommen interner stehender Wellen (Mortimer, 1953; Hutchinson, 1957, p. 834 ff).

Die winterliche Eis- und Schneebedeckung alpiner Speicher entspricht in der Regel der natürlicher Hochgebirgsseen (diese ist ausführlich diskutiert bei O. Steinböck, 1959, p. 116—123). Abweichend liegen die Verhältnisse in den Kapruner Speichern (und wahrscheinlich auch in anderen Pumpspeichern mit künstlicher Wasserzirkulation im Winter), die im März 1959 bereits teilweise eisfrei waren, zu einer Zeit also, in der das Eis des um zirka 900 m tiefer liegenden Zeller Sees noch ohne weiteres begehbar war. Die eisfreie Fläche war besonders groß am Wasserfallboden, (Abbildung 4; zirka 50.000 m^2), in den das Einschieben großer Wassermassen bei der winterlichen Energieerzeugung (vom 1. X. 1958 bis 14. III. 1959 $93,7$ Millionen m^3 , das sind durchschnittlich $0,57$ Millionen m^3 pro Tag) offenbar unter Eis zeitweise Vollzirkulation im Speicher hervorruft, wodurch das Eis im Bereiche der Staumauer beziehungsweise des Turbinenauslaufes vorzeitig zur Gänze geschmolzen oder



*Abb. 4. Speicher Wasserfallboden (Kapruner Tal), Areal am
15. März 1959. Punktierte Fläche = eisfrei*

seine Entstehung verhindert werden kann. Am Mooserboden führte die Pumpspeicherung (vom 1. X. 1958 bis 14. III. 1959 46,6 Millionen m³, im Durchschnitt 0,28 Millionen m³ pro Tag) bis 14. März nur zu einer eisfreien Fläche von zirka 5000 m², über der sich sofort die Eisdecke wieder schloß, als nach diesem Zeitpunkt wegen einer Reparatur im Druckstollen für einige Tage kein Wasser mehr in den Mooserboden gepumpt wurde.

Die Dicke der vom sinkenden Wasserspiegel der Kapruner Speicher am Ufer zurückgelassenen Eisschollen überstieg in Sperrrennähe in keinem Fall 24 cm, sie war aber auch — soweit sich dies von der Ferne feststellen ließ — in der sperrenfernen Partie dieser Speicher nicht größer. Vom wasserwirtschaftlichen Standpunkt aus ist diese Nebenwirkung der Pumpspeicherung beziehungsweise der Abarbeitungsweise, die zur Winterdurchmischung des Wasserfallboden führt, ein großer Vorteil, da starkes Eis beim Absinken Schäden an der Staumauer und anderen Bauwerken verursachen kann (W. Steinböck, 1959, p. 62 und 63), außerdem aber bei der Entleerung des Sees erhebliche Wassermengen als Eis unverwertbar am Ufer zurückbleiben. Nimmt man eine Eisdecke von 80 cm als Durchschnitt der in den einzelnen Winterabschnitten vorhandenen Eisdicken an, so blieben im Mooserboden an dem bei der Absenkung trockenfallenden Areal 0,93 Millionen m³ Wasser zurück, am Wasserfallboden sogar 1,02 Millionen m³, ein Verlust an wertvoller Winterenergie, der an vielen alpinen Speichern in Kauf genommen werden muß, im Kapruner Tal aber durch die besonderen Verhältnisse etwa um eine Zehnerpotenz verringert ist.

Wie mir Dipl.-Ing. Wegscheider, der Betriebsleiter des Winterspeicherwerkes Reißbeck-Kreuzeck freundlicherweise brieflich mitteilte, zeigte der Große Mühlendorfersee, ein Pumpspeicher in über 2300 m Meereshöhe (Stauziel 2319 m) in den Wintermonaten 1959/60 und 1960/61 eine Eisdicke von 1—1,2 m. Dieser See verhält sich also in Bezug auf die Eisbildung nicht anders als Seen ohne Pumpspeicherbetrieb. Der Grund liegt darin, daß in den Großen Mühlendorfersee im Winter nur sehr wenig Wasser gepumpt wird (Oktober 1959 bis März 1960 1,5 Millionen m³, Oktober 1960 bis März 1961 1,4 Millionen m³, Speichervolumen bei Vollstau = 7,8 Millionen m³), außerdem hat das Pumpwasser, das von Bächen des Einzugsgebietes der Laufwerkstufe Reißbeck aus einer Bachfassungshöhe von 1285 m stammt, in den Wintermonaten nur eine Temperatur von + 1 bis

+ 20 C. Das Pumpwasser läuft dabei durch frei verlegte Druckrohrleitungen und durch Rohrstollen⁴.

Strahlung:

Im folgenden wird nur auf die als Licht beziehungsweise assimilatorisch verwertbare Energie wirkende Strahlung eingegangen. Für eine Erörterung der Wärmestrahlung in Hochgebirgsspeichern fehlt jede Grundlage. Über die Thermik unserer Gewässer als relativ leicht erfaßbares Ergebnis dieses Strahlungsanteil wurde oben bereits gesprochen.

Über die Lichtverhältnisse in alpinen Speichern wissen wir noch sehr wenig. Viel mehr als in der Niederung wird im Hochgebirge die Strahlung in stehenden Gewässern modifiziert durch Horizontabschirmung, Winterdecke und minerogene Wassertrübung. Die Horizontabschirmung, die nur teilweise und sehr verschieden stark durch Reflexion von den kahlen, begrünten oder schneebedeckten Berghängen kompensiert wird (Dirnhirn, 1957; Sauberer und Eckel, 1938, p. 281; Sauberer und Ruttner, 1941, p. 40, p. 127), ist methodisch nicht leicht zu erfassen. Strahlungsmessungen an der Seeoberfläche mit registrierenden oder über bestimmte Zeiträume integrierenden Meßgeräten liegen von alpinen Seen bis jetzt nicht vor, und damit fehlt noch die Grundlage zur exakten Erfassung des Strahlungsklimas der Hochgebirgsseen. Die über jedem See herrschende Strahlung wird geschwächt durch Reflexion an der Wasseroberfläche, Rückstreuung aus dem Wasser, sowie durch Extinktion im Wasser. Die Reflexion der Globalstrahlung wird als Funktion der Sonnenhöhe und des Bewölkungsgrades von der Horizontabschirmung mit beeinflußt. Die Horizontabschirmung wird bewirken, daß von der Globalstrahlung, die die Seeoberfläche trifft, alpinen Seen weniger verlorengeht als dem Niederungssee (sofern er nicht trotz seiner geringen Meereshöhe von hohen Bergen umgeben ist!), da ihm die stark reflektierte horizontnahe Sonnen- und Himmelsstrahlung fehlt. Die Reflexion an der mäßig bewegten Wasseroberfläche alpiner Seen und Speicher wird darum etwas unter den von Dirnhirn (1953, Tabelle 4) publi-

⁴ Dipl.-Ing. Hämmerle von den Vorarlberger Illwerke A.-G. teilte mir mit, daß am Lünensee in Sperrennähe zwar keine größeren eisfreien Flächen im Winter zu beobachten seien, daß der Pumpspeicherbetrieb aber dazu führe, daß das Eis im Bereich des Pumpenauslaufes nur wenige cm erreiche, während in größerer Entfernung von der Staumauer normale Eisdicken von 1 m und mehr zustande kämen.

zierten Werten liegen, sie dürfte je nach Bewölkungsgrad 5—15 % betragen. Dasselbe gilt für die Reflexion durch Schnee und Eis. Die Rückstreuung und Extinktion (vergleiche Sauberer, 1939 b; Sauberer und Ruttner, 1941, p. 38 ff.) der Strahlung im Wasser wird beherrscht durch die meist starke minerogene Trübung der Hochgebirgsseen und -speicher, die — entsprechend der Sedimentführung der Zuflüsse — im Frühling und Frühsommer besonders hoch ist, gegen den Herbst und Winter zu aber meist stark abnimmt. Die Rückstreuung aus dem Wasser betrug im Leopoldsteiner See (619 m, 2,8 m Sichttiefe) bis 8 % der einfallenden Strahlung (Sauberer, 1939, p. 43); ihr Anteil wird im Hochgebirgsspeicher noch höher anzusetzen sein.

Über den Trübungsgrad eines Gewässers und die damit verbundene Extinktion des Lichtes vermag die Sichttiefenbestimmung nur sehr wenig auszusagen, da — abgesehen von anderen häufig genannten Mängeln — im stark sedimentgetrübten See wesentlich die Lichtstreuung bestimmt, in welcher Tiefe die Sichtscheibe nicht mehr zu erkennen ist. Welcher Anteil des Oberflächenlichtes tatsächlich in den einzelnen Tiefen zur Verfügung steht, ist damit nicht erfaßbar. Bessere Auskunft über die Lichtdurchlässigkeit des Wassers geben Durchsichtigkeitsmessungen, wie sie sich mit dem von Pettersson entwickelten und von Sauberer verbesserten Gerät durchführen lassen (vergleiche Sauberer, 1938; Ruttner und Sauberer, 1938; Sauberer und Ruttner, 1941; Sauberer, 1958). Ergebnisse solcher Messungen liegen auch von Speichern bereits vor (Pechlamer, 1959, p. 188). Sie geben Aufschluß über den Trübungsgrad dieser Gewässer (geringste bisher gemessene Durchsichtigkeit im Speicher Mooserboden am 9. X. 58 an der Oberfläche 3,25 %, in 40 m Tiefe 0,75 % der Luftdurchsichtigkeit) und über die Vertikal- und Horizontalschichtung der trübenden Stoffe (\pm gleichmäßige Verteilung in den stark durchmischten Speichern Mooserboden (9. X. 58) und Wasserfallboden (14. III. 59), starke Zunahme der Trübung nach der Tiefe in dem zu diesem Zeitpunkt (16. III. 59) wenig turbulenten Mooserboden), eine ausreichende Grundlage für die Ermittlung der in verschiedenen Tiefen tatsächlich herrschenden Lichtintensität bilden sie aber auch nicht. Weiter führen uns da spektrale Lichtmessungen aus den einzelnen Tiefenzonen unserer Seen. Sie erlauben die Ermittlung der vertikalen Extinktionskoeffizienten des Lichtes der gemessenen Spektralbereiche und damit die Errechnung der in der Tiefe verfügbaren absoluten Menge photosynthetisch verwertbarer oder als Lichtreiz wirkender

Energie aus der an der Wasseroberfläche gemessenen oder für diesen Ort berechneten Globalstrahlung. Über die spektrale Extinktion des Lichtes in alpinen Speichern liegen aber noch keine Untersuchungen vor. Von den Ergebnissen spektraler Lichtmessungen die mir aus natürlichen Hochgebirgsseen bekannt wurden (Suchlandt und Schmassmann, 1936; Lauscher, 1941; Gutmann, 1954; Rodhe, 1959), lassen sich nur die Daten Lauscher's vom Weißsee — der fast 20 Jahre später zum Speicher wurde — zur Charakterisierung der vertikalen Extinktion in Hochgebirgsspeichern heranziehen. Suchlandt und Schmassmann standen bei ihrer Pionierarbeit im Hochgebirge noch keine photoelektrischen Apparate zur Verfügung, die Reproduzierbarkeit der wenigen Ergebnisse (die verwendete Methode war äußerst umständlich und zeitraubend) ist darum sehr unsicher. Gutmann und Rodhe hingegen arbeiteten an Seen, deren hohe Transparenz von der unserer Speicher stark verschieden ist. Auf Strahlungsmessungen am subalpinen Speicher Davosersee (Dorno, Suchlandt und Schmassmann, 1959) sei hier verwiesen, wenn auch diese Ergebnisse mit den Verhältnissen in alpinen Speichern nicht vergleichbar sind.

Nach Lauscher (1941) besitzt der Weißsee die größte Durchlässigkeit im Grün (730 nm), eine auffallend hohe im Blau (435 nm) und eine sehr hohe Lichtextinktion im roten Spektralbereich (730 nm). Die Durchlässigkeit bei den gemessenen Wellenlängen schwankt zwischen 33 und 46% pro m, das heißt, die Tiefe mit 1% des Oberflächenlichtes, die von Pflanzenphysiologen vielfach vereinfachend als Untergrenze photosynthetischer Aktivität angenommen wird, liegt für die einzelnen Spektralbereiche zwischen 4 und 6 m.

Es bleibt festzustellen, daß die Strahlungsverhältnisse in alpinen Speichern — trotz der angeführten Untersuchungsansätze — noch so gut wie unerforscht sind, daß unsere Kenntnis nur so weit reicht, als sich Befunde aus besser untersuchten Niederungsseen auf das Hochgebirge übertragen lassen.

Von hohem Interesse ist die Frage, ob im eis- und schneebedeckten Hochgebirgssee Dunkelheit herrscht oder ob unter der Winterdecke noch Strahlungsenergie vorhanden ist, die der Pflanzenwelt des Hochgebirgssees beziehungsweise -speichers die Assimilation und den Tieren das optische Erkennen der Nahrung ermöglicht.

Das winterliche Lichtklima hängt natürlich in weitem Maße von den terrestrischen Strahlungsverhältnissen und der Struktur der Win-

terdecke des betreffenden Sees ab, was eine Verallgemeinerung einzelner Meßergebnisse, in Anbetracht des großen Schwankungsbereiches der maßgebenden Faktoren innerhalb der Seen und am selben See in Abhängigkeit von den meteorologischen Bedingungen, sehr unsicher macht. Von verschiedenen Autoren wurden Reflexions- und Extinktionsmessungen an Schnee und Eis publiziert (Kalitin, 1936; Croxton, Thurmann und Shiffer, 1937; Sauberer, 1938; Sauberer und Ruttner, 1941; Sauberer, 1950; Ambach, 1959; in den genannten Veröffentlichungen zum Teil weitere Literatur), die es erlauben, die Lichtschwächung beliebiger Winterdecken größenordnungsgemäß anzugeben. Verlässlicher sind als Grundlage für derartige Berechnungen Messungen, die an Seen der alpinen Region in situ durchgeführt wurden. Solche Daten liegen vor vom Mölsersee (Gutmann, 1954, publiziert auch bei Steinböck, 1955), vom Kuoblatjakkojaure in Schwedisch-Lappland (Rodhe und Pechlaner unpubliziert) sowie vom Tauernmoossee im Stubachtal.

Der Tauernmoossee hatte am 8. IV 61, zur Zeit der Lichtmessung, eine Eisdecke von 66 cm Stärke, über der 26 cm Schnee lagen. Nur die untersten 3 cm der Eisdecke bestanden aus klarem Eis, der Rest wurde gebildet von Trübeis, das zum Großteil noch die körnelige Struktur gefrorenen Schnees aufwies, sowie aus (11 cm) ungefrorenem Schnee. Die Schneedecke über dem Eise war vollständig mit Wasser getränkt. Die Lichtmessungen ergaben für diese Winterdecke eine maximale Durchlässigkeit von 1,3% (bezogen auf die Strahlungsintensität in 5 cm Wassertiefe) im Blau (435 nm, Filter BG12⁵) und ein Durchlässigkeitsminimum von 0,03% im Rot (700 nm, RG 5). Die Lichtdurchlässigkeit im Grün (525 nm, VG 9) lag bei 1%. Die Extinktion des Wassers war wegen der geringen Lichtintensitäten unter Eis kaum meßbar. Sie betrug bei 525 nm etwa 30%, bei 435 nm 45% pro m. Gutmann (1954) gibt für seine einzelnen Lichtmessungen leider nur in einem Fall die Struktur der Winterdecke an. Die Lichtintensität betrug am 18. IV 53 bei einer Winterdecke von 131 cm unter dem Eise 0,54 Lux (= 0,0006% der Außenhelligkeit) sie lag aber am 10. und 15. I. sowie am 16. III. 53 zwischen 495 und 570 Lux (= 0,9–1,6% der Außenhelligkeit). Der starke Lichtverlust am 18. IV ist offenbar zurückzuführen auf die Lichtreflexion und -extinktion durch 35 cm trocknen Neuschnee, die an jenem Tage das Eis bedeckten.

⁵) Lichtmeßgerät und Filtersatz wurden mir freundlicherweise von Frau Doktor Dirmhirn (Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik Wien, Abteilung für Bioklimatologie) leihweise zur Verfügung gestellt.

In derselben Größenordnung bewegen sich die Ergebnisse vom Kuoblatjakkajaure in Lappland, dessen Winterdecke von 133 cm (Eisdecke 117 cm; davon die untersten 70 cm Klareis, der Rest Trübeis sowie gefrorener und ungefrorener Schnee) 2,3% des blauen (445 nm, BG 5), 2,5% des grünen (525 nm, VG 9) und 0,8% des roten Lichtes (> 590 nm, RG 1) durchließ. Die ausführliche Publikation dieser Messungen, die auch produktionsbiologische Untersuchungen (mit radioaktivem Kohlenstoff) am eisbedeckten See umfaßten, wird von Rodhe vorbereitet. Nach unseren Erfahrungen an natürlichen und künstlichen Hochgebirgsseen der Zentralalpen stellen aber Schneelagen von mehr als 2 dm Mächtigkeit über der winterlichen Eisdecke eher zu den Ausnahmen. Die oben angeführten „in situ“-Messungen legen daher die Annahme nahe, daß die Dunkelheit unter dem Eise bei weitem nicht immer so bedeutend ist, wie dies Gessner (1955, p. 34) annimmt.

Lichtmessungen am Weißsee schlugen fehl, da das Galvanometer nicht mehr ausschlug. Doch läßt sich daraus immerhin die Feststellung ableiten, daß in diesem Speicher die Lichtintensität unmittelbar unter der Winterdecke (Eisdecke 54 cm trübes Eis, darüber 107 cm Schnee!) weniger als 0,03% der Außenhelligkeit betrug.

Chemische Umweltfaktoren

Einige Daten zum Chemismus alpiner Speicher sind bei Pechlaner (1959, p. 190/191) und W. Steinböck (1959, p. 66) zu finden. Mit Ausnahme der abnormen Sauerstoffverhältnisse der Kapruner Speicher, die unten kurz herausgestellt werden sollen, zeigen aber die bisher vorliegenden chemischen Befunde keine Tatsachen die als Spezifikum des alpinen Speichers zu werten wären. Es sei darum hier auf größere Publikationen über den Chemismus natürlicher Hochgebirgsseen verwiesen (Pesta, 1929; Leutelt-Kipke, 1934; Turnowsky, 1946).

Eine deutliche Beeinflussung des chemischen Milieus durch den Speicherbetrieb ist nur an den Kapruner Speichern zu beobachten, wo (vergleiche Pechlaner, 1959, p. 190) im Sommer und Herbst in der Tiefe Sauerstoffübersättigung auftritt, verursacht durch Luft, die aus technischen Gründen in das Triebwasser der Turbinen gepreßt wird. (Die Belüftung des Turbinenriebwassers geschieht zur Verhütung von Kavitationserscheinungen an den Turbinen, die zu befürchten sind, wenn der Wasserfallboden stark abgesenkt ist, die Turbinen also unter geringem Gegendruck arbeiten.) Diese Belüftung

des Turbinenriebwassers wird angewendet, wenn die Stauhöhe nur ein Drittel oder weniger der normalen ausmacht, also im Spätwinter und im Frühjahr. Unter dem enormen Druck im Turbinengehäuse geht aus der eingepreßten Luft neben anderen Gasen mehr Sauerstoff in Lösung als dem Luftdruck über dem Speicher entspricht, und der Sauerstoff bleibt in der Tiefe des Sees auf Grund des hohen hydrostatischen Druckes auch gelöst. Da bei der Berechnung der relativen O_2 -Sättigung (Burkard, 1956; Mortimer, 1956) nur der mittlere Luftdruck an der Seeoberfläche als Berechnungsgrundlage herangezogen wird, ist das Tiefenwasser des Wasserfallbodens übersättigt. Diese relative Übersättigung müßte sich gegen die Seeoberfläche hin verlieren, da hier wirklich nur mehr Luftdruck und Temperatur die Gaslöslichkeit des Wassers beeinflussen. Das ist auch tatsächlich der Fall, doch geht dieser O_2 -Austausch an der Seeoberfläche langsam vor sich (vgl. Thieme, 1928, p. 18 und 19) und wird im Juli, zur Zeit der Seerwärmung, überlagert durch eine temperaturbedingte Sauerstoffübersättigung an der Oberfläche. In Abbildung 5 sind die entsprechenden Sauer-

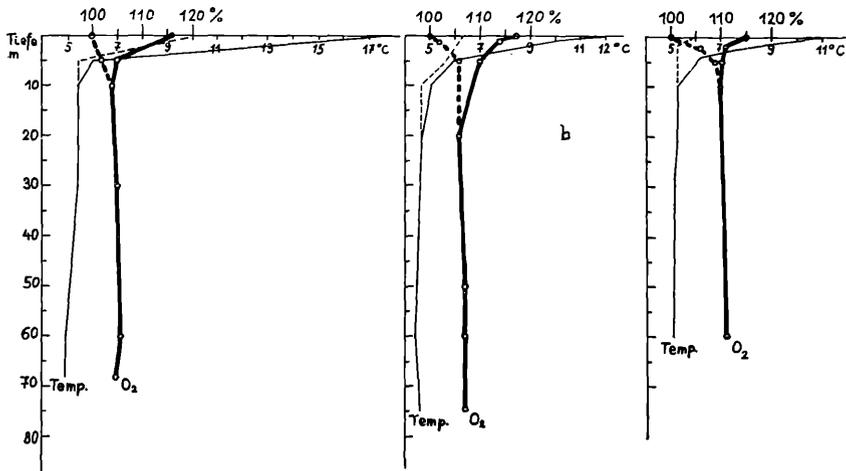


Abb. 5. Temperatur und relative Sauerstoffsättigung.
Die unterbrochene Linie bezieht sich auf die Sauerstoffsättigung bei
— hypothetischer — tieferer Temperatur

a: Wasserfallboden 13. Juli 1959 b: Mooserboden 3. und 9. Juli 1959
c: Mooserboden 11. Juli 1958

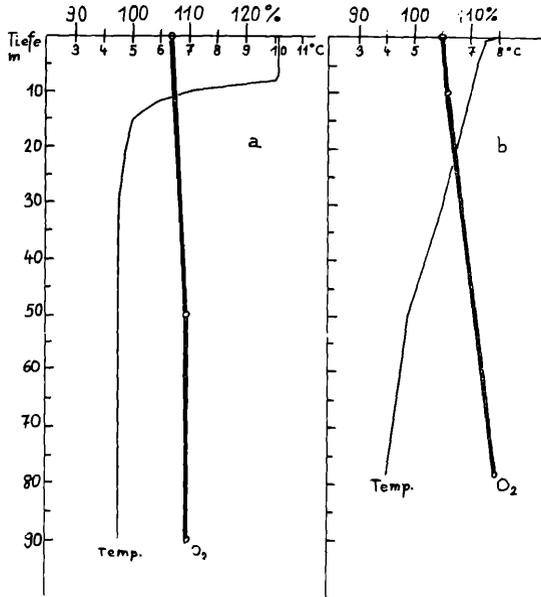


Abb. 6. Temperatur und relative Sauerstoffsättigung
 a: Wasserfallboden 4. Oktober 1958
 b: Mooserboden 3. Oktober 1958

stoffsättigungs- und Temperaturkurven dargestellt; in unterbrochenen Linien ist in dieser Abbildung eingetragen, unter welchen Temperaturverhältnissen die Sättigung an der Oberfläche tatsächlich 100% betragen würde. Daß das Gleichgewicht mit der Luft auch in Perioden mit gleichbleibender Oberflächentemperatur nur langsam erreicht wird, zeigen die Kurven in Abbildung 6. Die epilimnische Übersättigung im Wasserfallboden dürfte zumindest zum Teil durch biogene O_2 -Produktion verstärkt sein (nachgewiesen wurden nur 120.000 Individuen von *Dinobryon sociale* pro m^3 , nach Nanmoplankton war damals noch nicht gesucht worden), während im ungeschichteten Mooserboden O_2 -Nachlieferung aus der relativ übersättigten Tiefe in Frage kommt. Daß die im Hypolimnion des Wasserfallbodens hervorgerufene relative Übersättigung auch in der Tiefe des Speichers Mooserboden auftritt, ist eine Folge der regen

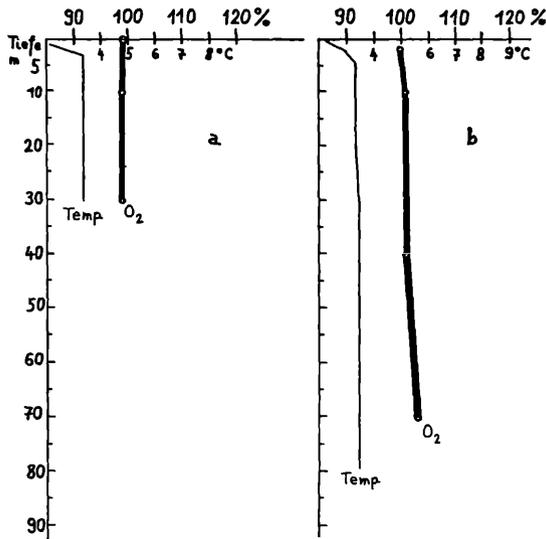


Abb. 7 Temperatur und relative Sauerstoffsättigung
 a: Wasserfallboden 17 März 1959
 b: Mooserboden 12. März 1959

Kommunikation beider Wasserkörper, die durch den Pumpspeicherbetrieb bedingt wird.

Im Laufe des Spätherbstes und Winters verschwand die Übersättigung in beiden Speichern bis auf einen kleinen Rest in der Tiefe des Mooserbodens (Abb. 7; der Wasserfallboden war im März 1959 zwar noch 78 m tief, er konnte aber nur von der Staumauer aus bis 30 m Tiefe untersucht werden).

Die O_2 -Verhältnisse der Speicher des Stubachtals entsprechen denen natürlicher Hochgebirgsseen (Steinböck, 1955, p. 326–330), mit vollständiger relativer Sättigung bis zum Grunde während der eisfreien Zeit, und mehr oder weniger starker O_2 -Zehrung im Winter und Frühjahr (Weißsee 7. April 1961 $3,33 \text{ mg } O_2/L = 34\%$; Amersee 11. April 1961 $4,19 \text{ mg } O_2/L = 43\%$; Tauernmoossee dagegen 1959 und 1961 90 bzw. 89%). Im wahrscheinlich meromiktischen Lac du Mont-Cenis (Dussart, 1952, p. 92) war das Tiefenwasser im Oktober 1950 sauerstofffrei.

Die Lebensgemeinschaften alpiner Speicher

Zwei große Lebensräume lassen sich an einem See unterscheiden: Das freie Wasser (Pelagial) mit frei schwebenden pflanzlichen und tierischen Organismen (Plankton), denen die — aktiv schwimmenden — Fische als „Nekton“ an die Seite gestellt werden, und der Seeboden (Benthal), der sich grob in die Uferbank (Litoral) und den Bereich der Seetiefe (Profundal) gliedern läßt.

1. Benthole Lebensgemeinschaften

Vom Staubetrieb am stärksten beeinflusst wird das Litoral, das bei den häufigen Spiegelschwankungen zwischen verschiedenen hoher Überflutung und vollständiger Trockenheit wechselt. An Speicherseen der Niederung ließ sich feststellen (Hynes, 1961), daß der Artenreichtum der Litoralfauna durch den Speicherbetrieb stark reduziert wird. Selbst gut bewegliche Tiere, die dem sinkenden Wasser aktiv folgen könnten, verschwinden, möglicherweise deshalb, weil ihnen die Untergrundbeschaffenheit des ehemals uferfennen Bereiches nicht zusagt. Im Hochgebirge ändert sich der Charakter der Seeböschung (Fels, Geröll, grober Sand) an vielen Stellen auch in größerer Entfernung vom Ufer nicht, trotzdem bleibt im alpinen Speicher die Litoralregion fast unbesiedelt. Die Abgrenzung des Litorals gegen das Profundal der Hochgebirgsseen ist bei Steinböck (1959, p. 135—142) diskutiert. Was Steinböck für die natürlichen Seen des Hochgebirges feststellt, nämlich daß der Übergang vom Litoral zum Profundal durch einen Facieswechsel gekennzeichnet ist (Litoral: Dominanz von Stein verschiedenster Größe bis herab zum Sand; Profundal: Vorherrschen von Feinschlamm), gilt ohne Zweifel auch für den Speicher (eine Ausnahme bilden überstaute Humusflächen, die sich jahrelang halten können und stellenweise den edaphischen Charakter des Litorals bestimmen), während Steinböcks übrige Kriterien bei der Zonierung des Benthals künstlicher Seen nicht anwendbar sind, da Temperatur, Sichttiefe und Fauna zu sehr vom abnormen Wasserregime modifiziert werden.

An der Uferhalde der Kapruner Speicher findet sich lediglich im Bereich der Bachmündungen eine litorale Lebensgemeinschaft — hauptsächlich Insektenlarven und der Strudelwurm *Planaria alpina* — da sich hier Spiegelschwankungen nicht so stark auswirken. Leider

habe ich es bisher versäumt, die Litoralzone der Speicher des Stubachwerkes zu untersuchen. Daten aus der Literatur (Gams, 1927, p. 196; verstreute Angaben bei Linder) deuten auf das Vorkommen einer Litoralfauna an Speicherseen im Wallis (Schweiz).

Höhere Pflanzen sind im Litoral alpiner Seen selten, an Hochgebirgsspeichern wurden sie noch nie gefunden, was leicht verständlich ist. Dussart (1952, p. 90 und 94) meldet *Chara*-Teppiche von weiten Flächen des Lac du Mont-Cenis. Daß in den alpinen Speichern an Ufersteinen Diatomeen (Kieselalgen) wachsen, ist anzunehmen. Bisher wurde noch nicht nach Aufwuchsalgen gesucht, doch wurden ins Pelagial verschwemmte litorale Diatomeen („Tycho-plankton“) nachgewiesen (Gams, 1927, p. 196; Pechlaner, 1959, p. 192).

Die Profundalzone der alpinen Speicher unterscheidet sich nicht wesentlich von der natürlicher Hochgebirgsseen, zumindest was die makroskopisch nachweisbaren Tierformen anbelangt, die bisher allein berücksichtigt werden konnten. Der wechselnd hohe Wasserstand über diesem Lebensbereich scheint dessen tierische Besiedlung nicht zu beeinflussen. Wie im natürlichen Hochgebirgssee (Angaben über die Profundalfauna des natürlichen Hochgebirgssees finden sich vor allem bei Zschokke, 1900; Schmassmann, 1920; Steinböck, 1955) besteht die mit Ekman-Bodengreifer und Schlammsieb erfassbare Bodenfauna im alpinen Speicher aus Oligochaeten, vor allem Tubificiden (Schlammwürmer), Larven der Chironomiden (Zuckmücken), sowie Pisidien (Erbsenmuscheln) und *Planaria alpina*. An Tubificiden fand Linder (1934) in 40 m Tiefe des Lac de Barberine *Tubifex tubifex* Müll. (det. Pignet), 1941 (Linder, 1942) außerdem noch *Stylodrilus heringianus* Clap. (Lumbriculida). Dieselben Oligochaeten⁶ finden sich auch in den Speichern des Stubachwerkes sowie im subalpinen Speicher Wasserfallboden im Kapruner Tal:

- Amersee: *Tubifex tubifex*; 11. April 1961, 63 m unter Vollstau (30,5 m Tiefe am Entnahmetag).
- Weißsee: *Tubifex tubifex*; 27. September 1958, 65 m unter Vollstau (64 m);
9. März 1959, 71 m unter Vollstau (19,2 m).
Lumbriculiden; 27. September 1958.

⁶ Die Determination der von mir gesammelten Oligochaeten übernahm freundlicherweise R. O. Brinkhurst (Univ. of Liverpool).

- Tauernmoossee: *Tubifex tubifex* (? , immat.); 25. September 1958, 22–30 m unter Vollstau;
Stylodrilus heringianus; 10. April 1961, 23 m unter Vollstau (11,2 m);
Lumbriculiden; 25. September 1958, 8. September 1959, 7. und 9. November 1959, 22–30 m unter Vollstau;
Enchytraeiden; 10. April 1961, 23 m unter Vollstau (11,2 m).
- Wasserfallboden: *Tubifex tubifex*.
Stylodrilus heringianus
Lumbricide; sämtliche am 13. Juli 1959, 90–100 m unter Vollstau (60–70 m aktuelle Tiefe).

Bezüglich der Tubificiden natürlicher Hochgebirgsseen vergleiche Zschokke (1900 und 1911), Schmassmann (1920), Steinböck (1949).

Die geschlechtliche Fortpflanzung der Tubificiden fällt in den alpinen Speichern der Hohen Tauern offenbar in den Winter (Kokons in Weißsee und Tauernmoossee im April, junge Tiere in diesen beiden Speichern im September, adulte im Weißsee im März, in Amersee und Tauernmoossee im April). Die Verhältnisse im Lac de Barberine scheinen ähnlich zu liegen: Linder (l. c.) fand dort im September *Stylodrilus heringianus* und *Tubifex tubifex* juvenil an. Im subalpinen Wasserfallboden waren die Tubificiden im Juli 1959 (bisher einziger Fund!) bereits geschlechtsreif.

Die *Chironomiden*-Larven treten in alpinen Speichern auffallenderweise stark zurück. Sie waren bisher nur für den Speicher Mooserboden nachzuweisen, sind aber auch dort sehr selten (bisher nur zwei winzige Larven mit dem Planktonnetz und drei größere Individuen mit dem Schleppnetz erbeutet; Probenentnahmen mit dem Ekman-Bodengreifer stets negativ). Nach Beobachtungen an natürlichen Hochgebirgsseen im Kühntal (E. Gottwald, unveröff.; R. Pechlaner, unveröff.) schlüpft dort das Gros der Chironomiden im späten Frühjahr, zur Zeit des Eisbruches. Es ist darum nicht anzunehmen, daß das Fehlen der Chironomiden in den Speichern des Stubachwerkes nur dadurch vorgetäuscht wird, daß die Probenentnahmen in Perioden erfolgten, in denen die Chironomiden bereits geschlüpft oder als mit dem Schlammsieb (0,5 mm Maschenweite) noch nicht erfassbare Larven (vgl. Jonasson, 1955) vorhanden waren.

Pisidien (*Pisidium* [*Neopisidium*] *conventus* Clessin)⁷ hingegen kommen nur im Tauernmoossee vor. Während für das beschränkte Vorkommen der ausbreitungsökologisch günstig gestellten Chironomiden nur Umweltfaktoren im Speichersee selbst verantwortlich sein dürften — welche Faktoren hierbei entscheidend sind, ist noch nicht bekannt —, kommt für die Pisidien als Besiedlungsschwierigkeit hinzu, daß ihre Übertragung in neue Gewässer nicht über flugfähige Tiere oder Dauerstadien erfolgen kann. Pisidien zeigen Brutpflege, sie erzeugen nur wenige Junge, sind aber offenbar gegen Austrocknung sehr resistent (Wesenberg-Lund, 1939, p. 650) und können als geschlechtsreife Tiere passiv in neue Lebensräume gelangen. Darüber hinaus aber ist das seltene Auftreten von Mollusken in den Speichern der Hohen Tauern sicher dadurch mitbedingt, daß durch die Kalkarmut dieser Gewässer die chemischen Verhältnisse für Schalenbildner sehr ungünstig sind. Es wird wenige Arten geben, die wie *Pisidium conventus* mit diesem ungünstigen Milieu fertig werden: Das Wasser der bodennahen Schichten des Tauernmoossees enthält nur 12 bis 17 mg Ca CO₃ im Liter (Alkalinität 0,23 bis 0,33 mval Bikarbonate pro Liter = 0,07 bis 0,09 Deutsche Härtegrade). Es ist durchaus möglich, daß auch diese anspruchslöse Pisidienart im Amersee (Alk. 0,13 mval/L, entspricht 6,5 mg CaCO₃/L) und Weißsee (Alk. 0,06 bis 0,11 = 3,0 bis 5,5 mg Kalk/L) nicht mehr leben kann. Pisidien aus ähnlich kalkarmen natürlichen Hochgebirgsgewässern, wie dem Hirschebensee (= „Unterster Plenderlesee“, Tümpel in 2164 m, Alk. 0,07; Steinböck, 1951, p. 137) und dem Vorderen Finstertalersee (2240 m, Alk. 0,12; Pechlaner, unveröff.) sind noch nicht determiniert, so daß auf diese Frage hier noch nicht näher eingegangen werden kann.

2. Plankton

Das pflanzliche Plankton (Phytoplankton) der Hochgebirgsseen wurde von Huber-Pestalozzi (1926) eingehend behandelt. Darüber hinaus liegen Phytoplankton-Beobachtungen vor von Suchlandt und Schmassmann (1936, p. 153—159), Turnowsky (1946, 1954), Steinböck (1949, p. 129), Gams (1949, p. 145), Gutmann (1955, p. 111), Rodhe (1959), Pechlaner (1959). Die Ergebnisse dieser Autoren weichen teilweise stark voneinander ab, was zum Teil sicher den Tatsachen entspricht und seine Ur-

⁷ det J. G. J. Kuiper, Paris (vgl. Pechlaner, 1959, p. 193).

sache darin hat, daß das Vorhandensein oder Fehlen einer Phytoplanktongesellschaft von zahlreichen biotischen und abiotischen Faktoren abhängt und damit von See zu See schwankt und sich innerhalb eines Sees auch mit der Jahreszeit oder in größeren Perioden ändert. In vielen Fällen aber wurde Phytoplankton sicherlich nur deshalb nicht gefunden, weil es einer Reihe von Kautelen bedarf, diese zum Teil sehr zarten Organismen gut zu fixieren oder gar lebend zu transportieren. Die neueren Ergebnisse sprechen dafür, daß im Phytoplankton alpiner Seen das Nannoplankton (bezüglich der Terminologie vgl. Huber-Pestalozzi, 1926, p. 870, und Rodhe, Vollenweider und Nauwerck, 1958, p. 306/307) eine viel größere Rolle spielt, als frühere Befunde erwarten ließen. Die großen methodischen Schwierigkeiten beim qualitativen und quantitativen Studium des Nannoplanktons brachten es mit sich, daß seine Zusammensetzung und seine Bedeutung für die Produktion im Hochgebirge noch wenig bekannt sind. Auf den quantitativen Aspekt des Phytoplanktons in alpinen Speichern wird weiter unten (p. 227) eingegangen werden, soweit dies unsere dürftigen Kenntnisse erlauben, hier seien kurz die Arten vermerkt, die als Komponenten des Phytoplanktons bekannt wurden:

Wir erwähnen dabei nur die von den diversen Autoren tatsächlich bis zur Art determinierten Phytoplankter.

Gams (1927, p. 195) fand im Li d'array *Cyclotella Schröteri* Lemm., *Sphaerocystis Schröteri* Chod., *Bryococcus Braunii* Kütz und epiphytisch auf *Cyclops Colacium vesiculosum* Ehrb.

Im Lac de Barberine wurden nachgewiesen (Linder, 1931, p. 51; 1942, p. 114; 1946, p. 138; 1947, p. 85; Cosandey, Linder und Regamey, 1938, p. 31): *Ceratium hirundinella* O.F.M., *Dinobryon stipitatum* Stein, *Coccomyxa lacustris* (Chodat) Pascher, *Fragilaria crotonensis*, *Tabellaria fenestrata* var. *asterionelloides*, *Tab. flocculosa*, *Microneis minutissima*, *Cymbella ventricosa* var. *lunula*, *Odontidium hiemale*, *Ceratoneis arcus* var. *genuina*, *Achnanthisidium lanceolatum*.

Eine reichhaltige Phytoplankton-Liste präsentiert Cosandey (Cosandey, Linder und Regamey, 1938) aus dem Speicher Lac de la Dixence: *Melosira islandica* var. *helvetica* O. M., *Cyclotella operculata* Ktz., *Cyclotella lemanensis* Lemm., *Cyclotella comensis* var. *alpestris* Meister., *C. bodanica* Eul., *Cyclotella comta* var. *radiosa* Grun., *Diatoma hiemale* var. *mesodon* Grun., *Tabellaria fenestrata* var. *lacustris* Meister., *Tabellaria flocculosa*, *Ceratoneis arcus* var. *genuina* Holmboe, *Diploneis elliptica* var. *genuina* Meister,

Microneis minutissima Cl., *Fragilaria virescens* Ralfs., *Fragilaria crotonensis* var. *prolongata* Grun., *Cymbella ventricosa* var. *lunula* Meister, *Achnanthydium lanceolatum* Breb., *Synedra gracilis* Ktz., *Cocconeis placentula* Ehrenb., *Nitzschia linearis* Ag. et W. Sm., *Hantzschia amphioxys* Grun., *Meridion circulare* var. *geminum* Kirchn., *Odontidium hiemale* Lyngb. et Ktz.

Dussart (1952) fand *Ceratium hirundinella* (häufig!) sowie *Dinobryon divergens*, Somman: (1956) im Lago di Toggia *Ceratium hirundinella*, *Eudorina elegans*, *Sphaerocystis Schröteri* und *Fragilaria intermedia*.

Aus den Phytoplankton-Proben, die Berger Ende Oktober 1953 dem Lünensee entnahm, wies Ruttner nach: *Dinobryon sociale* var. *americanum*, *Kephyrion doliolum*, *Cosmarium aspaeosp.*, *Rhodomonas lacustris*, *Cryptomonas erosa*, *Gymnodinium helveticum*, *Cyclotella glomerata* und *Synedra acus*.

In den Speichern Mooserboden und Wasserfallboden lebte im Herbst 1958 ebenfalls *Dinobryon sociale* var. *americanum* (Pechlaner, 1959, p. 192).

Das Phytoplankton der Speicher des Stubachwerkes wurde noch nicht von einem Spezialisten bearbeitet, bei der quantitativen Auswertung ergab sich jedoch, daß die vorliegenden Proben (Salzplattensee 3. Dezember 1959, Amersee 3. Dezember 1959 und 11. April 1961, Weißsee 13. November 1959 und 7. April 1961, Tauernmoossee 8. April 1961) ausschließlich Nannoplankton enthielten.

Das tierische Plankton (Zooplankton) alpiner Speicher (über das Zooplankton natürlicher Hochgebirgsseen existiert eine sehr reiche Literatur. Hier kann nur auf Pesta, 1929; Pelosse, 1937, und das Literaturverzeichnis bei Steinböck, 1959, hingewiesen werden) besteht aus Rädertieren (*Rotatoria*) und Planktonkrebse (*Copepoda* und *Cladocera*). Die Gruppe der *Rotatoria* (Nomenklatur nach Voigt, 1957) ist in alpinen Speichern regelmäßig vertreten durch *Polyarthra dolichoptera* Idelson 1925. Darüber hinaus finden sich folgende Rädertiere im Speicher des Hochgebirges:

Lac de Barberine: *Notholca striata* O. F. Müller 1786, *Kellicottia longispina* (Kellicott) 1879, *Keratella quadrata* f. *klementi* Voigt 1957, *K. cochlearis* (Gosse) 1851, *Synchaeta pectinata* Ehrb. 1832, *Trichocerca longiseta*, *T. carinata*.

Lac du Mont-Oenis: *Keratella quadrata* (O. F. Müll.) 1786, *K. cochlearis*.

Lac de Fully: *Kellicottia longispina*, *Notholca striata*.

Lac de la Dixance: September 1937 ausschließlich *Keratella quadrata* f. *klementi*.

Lago di Toggia: *Keratella quadrata*, *Euchlanis dilatata* Ehrb. 1832.

Lünersee: *Kellicottia longispina*, *Ascomorpha ecaudis* Perty 1850.

Mooserboden und Wasserfallboden: *Keratella quadrata* (vielleicht *Keratella testudo* (Müller)!).

Salzplattensee, Amersee, Weißsee: *Keratella testudo*.

Tauernmoossee: *Keratella testudo*, *Kellicottia longispina*.

Die Copepoden- und Cladocerenbesiedlung der alpinen Speicher ist sehr verschieden:

Im Lac de Barberine wurden gefunden an Copepoden (Nomenklatur nach Kiefer, 1960) *Eucyclops serrulatus* (Fischer 1851), *Paracyclops fimbriatus* (Fischer 1853), „*Cyclops strenuus* Fischer“, *Acanthocyclops vernalis* (Fischer 1853) und *Arctodiaptomus* (*Rhabdodiaptomus*) *bacillifer* (Koelbel 1885) sowie die Cladoceren *Daphnia longispina* Gans 1927, *Daphnia pulex* De Geer, *Chydorus sphaericus* Müll. (Tychoplankter!) und *Bosmina longirostris* O. F. Müll. Im Lac de Fully: *Arctodiaptomus bacillifer*, *Cyclops tatricus* Kozminski 1927, *Eucyclops serrulatus*, *Cyclops strenuus*, *Daphnia longispina* var. *affinis* Leydig, *Alona quadrangularis* O. F. M. und *Chydorus sphaericus*. Aus dem Lac de la Dixence werden ebenfalls *Cyclops strenuus* und *Eucyclops serrulatus* gemeldet. Vom Lac du Mont-Cenis sind nur *Cyclops strenuus* und *Acanthodiaptomus denticornis* (Wierz. 1887) sicher nachgewiesen. Der Lago di Morasco enthält *Cyclops strenuus*, der Lago di Toggia außerdem *Eucyclops serrulatus*, *Arctodiaptomus bacillifer*, *Diaptomus castor* (Jurine 1820) und *Heterocope saliens* (Lilljeborg 1863), sowie die planktische Cladocere *Daphnia longispina* und die Tychoplankter *Alona affinis*, *Acroperus harpae* Baird und *Simocephalus vetulus* O. F. Müller. *Cyclops strenuus* fand Ruttner 1953 im Lünersee. In beiden Speichern des Kapruner Tales kamen bis 1959 *Acanthocyclops vernalis* und *Acanthodiaptomus denticornis* vor, im Wasserfallboden darüber hinaus *Eucyclops serrulatus* und vielleicht *Cyclops tatricus*. *Cyclops tatricus* besiedelt als einziger Copepode den Amersee, Weißsee und Tauernmoossee des Stubachwerkes, in den Speichern Amersee und Weißsee gibt es außerdem *Daphnia pulex*.

Wir sahen, daß die litorale Lebensgemeinschaft im Speicher durch die starken Spiegelschwankungen einschneidend betroffen wird. Wir konnten keinen Einfluß des Speicherbetriebes auf die Besied-

lung des Profundals feststellen, müssen aber betonen, daß es zu einer verlässlichen Beurteilung dieser Frage eines reicheren Materiales bedürfte als bisher vorliegt. Vielleicht ist zum Beispiel das Zurücktreten der Chironomiden durch charakteristische Eigenschaften des Hochgebirgsspeichers bedingt. Unbeantwortet muß vorläufig auch die Frage bleiben, inwieweit die Zusammensetzung der planktischen Lebensgemeinschaft und die Bionomie ihrer Vertreter durch das spezifische Milieu des Speichers geprägt beziehungsweise mit der Zeit modifiziert werden. Wir müssen uns derzeit noch mit Vermutungen begnügen. V und L. Tonolli (1951) fanden an ihrem Material bei drei Zooplanktern eine Bevorzugung von Speichern als Lebensraum (p. 103), eine Feststellung, die sich aber bis jetzt noch nicht durch Angaben aus anderen Seen mit periodischer Entleerung stützen und darum noch nicht verallgemeinern läßt. Dieselben Autoren weisen auch auf die Beobachtung hin (p. 113), daß *Acanthodiaptomus denticornis* aus drei alpinen Seen verschwand und durch *Acanthodiaptomus bacillifer* ersetzt wurde. Da diese drei Gewässer in der Zwischenzeit durch Höherstauung zu Speichern geworden waren, ist ein Zusammenhang des Faunenwechsels mit den eingetretenen Milieuänderungen anzunehmen.

Hier verdient auch die Tatsache Erwähnung, daß Pesta (1924, p. 399 und 534/535; 1933, p. 233) im Weißsee vor dessen Höherstauung drei Arten von Copepoden fand, nämlich *Acanthocyclops vernalis* (Fischer), *Eucyclops serrulatus* (Fischer) und „*Cyclops strenuus* s. str.“ (der nach Kozminski, 1936, p. 217 und 218, mit *Cyclops tatricus* Kozminski identisch sein dürfte), während der Winterspeicher Weißsee nun an Copepoden nur noch *Cyclops taticus* beherbergt, dafür aber außerdem noch die Cladocere *Daphnia pulex* De Gær. Die auffallende Zooplankton-Armut, die Pesta für den naturbelassenen Weißsee feststellte, könnte durch die Entnahmehmethode dieses Autors (Netzfang vom Ufer aus) vorgetäuscht sein; daß Copepoden in diesem See heute in großer Zahl vorkommen (vgl. p. 226), muß darum nicht unbedingt einen Gegensatz zu den früher herrschenden Verhältnissen darstellen. Zwar läßt sich nicht von der Hand weisen, daß das Zooplankton von Weißsee und Amersee seine reiche Ausbildung dem Nahrungszustrom aus der überstauten Pflanzendecke verdankt, wie dies von zahlreichen Stauseen und Speichern der Niederung aus den ersten Jahren ihres Bestandes bekannt ist, doch spricht dagegen, daß der Tauernmoossee, der nun schon mehr als 30 Jahre als Speicher besteht, im Sommer auch heute durchaus nicht planktonarm ist (vgl. p. 226).

Die Vertikalschichtung des Zooplanktons (Steinböck, 1955, p. 330/331; Suchlandt und Schmassmann, 1935, p. 176/177), die im ungestörten See wesentlich mitbewirkt wird durch die aktive Wanderung der planktischen Crustaceen, dürfte im Pumpspeicher durch passive Verfrachtung der Plankter bestimmt werden. Ebenso ist anzunehmen, daß die starke Dezimierung des Planktonbestandes durch die winterliche Absenkung nicht nur dessen Artspektrum bestimmt (zum Beispiel Bevorzugung von Arten, die ihre Entwicklung vor Beginn der Winterabsenkung abschließen), sondern auch eine Modifikation des Fortpflanzungsgeschehens erzwingen kann, in quantitativer Hinsicht (eine Spekulation, die im Augenblick nur durch die Befunde von Ravera und Tonolli, 1956, gestützt wird) oder qualitativ, indem etwa ein primär langer Entwicklungsgang beschleunigt wird, so daß die Geschlechtsstiere erst nach der Eiablage mit dem abgearbeiteten Wasser aus dem Speicher verschwinden. *Acanthodiptomus* (*Rhabdodiptomus*) *bacillifer* Koelb, überdauert den Winter als Dauerei (Ravera und Tonolli, 1956, p. 118) könnte sich also aus diesem Grunde im Winterspeicher gut behaupten, doch ist aus den bisherigen faunistischen Angaben seine Dominanz in diesem Gewässertyp nicht erkennbar. Die Stauseen des Stubachwerkes sind mit *Cyclops tatricus* besiedelt, der erst im Laufe des Winters beziehungsweise Frühjahres geschlechtsreif wird, durch die energiewirtschaftliche Nutzung dieser Seen darum stark dezimiert wird, und so nur zu einem geringen Teil zur Fortpflanzung kommt. Ob die Population dieser Speicher oder anderer Becken, besonders solcher mit ungünstigeren Verhältnissen zwischen Speicherinhalt bei Vollstau und Restvolumen, ihr Verhalten ändern, ist eine interessante Frage, deren Beantwortung noch langer Beobachtungen bedarf.

Der mit dem Wasserabfluß verbundene Planktonverlust ist im Speicher empfindlicher als im natürlichen See, da erstens die Erneuerung des gespeicherten Wassers viel gründlicher erfolgt (vgl. p. 197), außerdem aber bei der raschen künstlichen Wasserentnahme (Entnahmegeschwindigkeiten von fast stets mehr als 1 m/sec., Entnahmemengen 3 bis 15 m³/sec.) alle Planktonorganismen mitgerissen werden, während im natürlichen See wenigstens ein Teil der Zooplankter den oberflächlichen Abfluß aktiv schwimmend meiden kann. Diese dem Speicher Jahr für Jahr verlorengelungene Planktonmenge interessiert nicht nur im Zusammenhang mit zum Beispiel der oben berührten Fragestellung, sie kann als mittelbare oder unmittelbare Fischnahrung auch wirtschaftliche Bedeutung erlangen,

soll darum in Verbindung mit den nun folgenden fischereilichen Erörterungen näher behandelt werden.

3. Die Fische alpiner Speicherseen

Vorauszuschicken ist eine kurze Orientierung über die Nahrungsquellen, auf die eine fischerliche Nutzung alpiner Speicher aufbauen kann. Wir finden in diesen Gewässern weitgehend dieselben Bedingungen für Fische vor, die wir vor allem seit den eingehenden Untersuchungen Steinböcks aus zahlreichen natürlichen Hochgebirgsseen der Ostalpen kennen. Es ist nicht möglich, diese Ergebnisse hier auch nur in ihren Hauptzügen wiederzugeben, wir können nur auf die Originalarbeiten hinweisen (Steinböck, 1929, 1934, 1938, 1949, 1949 a, 1949 b, 1950, 1950 a, 1951 a, 1953, 1955, 1959, 1959 a), wo auch alle weitere Literatur zu diesem Thema angeführt ist, mit Ausnahme einer noch nicht publizierten Dissertation von Steinböcks Schülerin W. Attlmayr-Jacobi, in der die Wuchsformen des Saiblings in Hochgebirgsseen und ihre Abhängigkeit von der Art der Nahrung behandelt werden.

Zwei Gruppen von Nahrungsquellen für Fische alpiner Speicher sind zu unterscheiden: Von außen kommende (allochthone) und im See aufgebaute (autochthone) Nahrung. Die allochthone Nahrung wird von den Zuflüssen in den Speicher gebracht, oder sie fällt — vor allem bei Wind — aus der Luft als sogenannter „Anflug“ auf den See. An autochthoner Nahrung kommen im Hochgebirge Bodenfauna und Zooplankton in Betracht.

Der Reichtum der Bachfauna und ihr Anteil an der Fischnahrung sind quantitativ sehr schwer abzuschätzen. Sicher ist, daß die in den Bachmündungen lebenden und von dort und auch aus entfernteren Partien der Zuflüsse in den See eingeschwemmten Insektenlarven eine wesentliche Futterquelle für die Fische darstellen. So kennen am Tauernmoossee die Sportfischer die Mündungen der Bäche an der Ostflanke dieses Speichers als günstigsten Ort für den Saiblingsfang, und eben begonnene Untersuchungen des Magen- und Darminhaltes von Saiblingen aus dem Tauernmoossee ergaben auch das absolute Überwiegen von bachbewohnenden Insektenlarven (fast ausschließlich Plecopteren-Larven) als Futter dieser Fische. Lindner (l. c.) wies am Lac de Barbarine bei 25 % der von ihm untersuchten Fische eingeschwemmte Nahrung nach. Natürlichen Seen kann ein oberirdischer Zufluß fehlen, an Speicherseen ist dies wohl nie der Fall, an diesen Gewässern mit ihrem meist künstlich vergrößerten Ein-

zugsgebiet gewinnen die Bäche als Nahrungsbringer für die Fische an Bedeutung.

Als Nahrung ähnlich wichtig, ist der Anflug, dessen Reichtum in erster Linie von der Vegetation der Umgebung und ihrer tierischen Besiedlung abhängt. Der hohe Anteil dieser „Luftnahrung“ geht zahlenmäßig am besten aus Beobachtungen von Linder (l. c.) hervor, der bei der überwiegenden Mehrheit der von ihm geprüften Fische Landinsekten im Verdauungstrakt fand, sowie aus den Untersuchungen von Attlmayr-Jacobi, doch soll den Ergebnissen dieser Autorin hier nicht vorgegriffen werden.

Die Bodenfauna tritt gegenüber diesen Futterquellen als Nahrungslieferant in den Hintergrund. Unter den Bodentieren, die wir als Bewohner des Profundals alpiner Speicher bereits genannt haben, herrschen die *Tubificiden* (Schlammwürmer) vor. Sie fehlen nur dem Mooserboden und wohl sicher auch der Margaritze. Ihr Frischgewicht schwankt in den untersuchten Stauseen zwischen 422 und 3260 mg/m². Die geringste Menge (422 mg/m²) wurde im Tauernmoossee beobachtet, der als einziger der Speicherseen außer Schlammwürmern und Zuckmücken auch Erbsenmuscheln (über 2000 Indiv./m²) beherbergt. Nimmt man als Maß für die Flächenausdehnung des Profundals das Oberflächenareal der Speicher zur Zeit ihrer maximalen Absenkung, was durchaus zulässig erscheint, so lebten im Amersee im April 1961 310 kg *Tubificiden*, im Weißsee im Jahresdurchschnitt 430 kg, im Tauernmoossee 290 kg, im Wasserfallboden nach den Beobachtungen vom Juli 1959 180 kg. So interessant und verblüffend diese kg-Werte für den Hochgebirgssee sind — sie liegen in der Größenordnung der Bodenbesiedlung mitteltiefer Niederungsseen (Einsele, 1960, p. 29, gibt zum Beispiel für den Mondsee 3000 bis 5000 mg/m² an) —, so sagen sie doch nichts darüber aus, wieviel an Bodennahrung den Fischen tatsächlich zur Verfügung stünde beziehungsweise steht. Zum Unterschied von den Zuckmückenlarven, die relativ leicht eine Beute der Fische werden, die aber in alpinen Speichern bisher wenig gefunden wurden, ist es fraglich, ob die Schlammwürmer den Fischen überhaupt greifbar sind, da sie sich bei Gefahr rasch in den lehmigen, ziemlich harten Boden des alpinen Speichers zurückziehen können. Diese Frage läßt sich heute noch nicht entscheiden. Nahrungsuntersuchungen an Salmoniden (Linder; Dussart, 1952) sprechen aber dafür, daß diese Raubfische Bodennahrung aufnehmen und dabei auch *Tubificiden* erbeuten.

Zu dem Anflug, der durch die Bäche eingeschwemmten Nahrung

und der Bodentierwelt kommt nun noch das tierische Plankton als Futterquelle. Wie steht es damit mengenmäßig in alpinen Speichern:

Die Kapruner Speicher wurden 1959 das letzte Mal untersucht. Damals war das tierische Plankton noch sehr arm, besonders die als Fischnahrung interessierenden *Copepoden* waren nur selten zu finden, *Cladoceren* fehlten vollständig. Da die Kapruner Speicher erst wenige Jahre bestehen (erster Vollstau Wasserfallboden 1951, Mooserboden 1955) und nicht auf natürliche Seen zurückgehen, ist es nicht verwunderlich, daß die Besiedlung langsam vor sich geht, vor allem, da stehende Gewässer oberhalb dieser Speicher fehlen, daher nur Wind und eventuell Wasservögel sowie der Mensch als Zubringer von Dauerstadien der Plankter in Frage kommen. Auf Grund der Erfahrungen im Stubachtal (siehe weiter unten!) ist anzunehmen, daß sich das Plankton der Kapruner Speicher in der Zwischenzeit wesentlich verdichtet hat.

Die exakte Feststellung der Planktondichte im Speicher ist mit dem Planktonnetz nicht möglich. Eine ausreichende sichere Berechnung der Individuenzahlen pro Volumseinheit des Wassers gestatten dagegen Probenentnahmen mit der Planktonpumpe oder mit einem großen Wasserschöpfer, zum Beispiel dem Fallschöpfer nach Herbst (1957). Derartige verlässliche Daten liegen von den Speichern des Stubachwerkes fast nur vom April 1961 vor, aber gerade diese Zahlen über das Spätwinterplankton sind besonders aufschlußreich, da sie eine Berechnung des jährlichen Planktonverlustes ermöglichen, somit aussagen, wieviel der Speicher jährlich mindestens produzieren und nach außen abgeben kann. Der Planktonaspekt vom April kann nicht den Jahresdurchschnitt repräsentieren, und gut vergleichbare Vertikalfänge mit dem Planktonnetz aus verschiedenen Jahreszeiten zeigen, daß dies tatsächlich nicht der Fall ist, für uns aber ist, wie bereits gesagt, die Planktondichte von besonderem Interesse, die der Speicher im Zeitpunkt seiner Entleerung aufweist. Voraussetzung für die folgenden Berechnungen ist allerdings die Annahme, daß die vertikale und horizontale Verteilung des Planktons im Speicher homogen ist. Wir wissen, daß sich das Zooplankton in eisfreien natürlichen Seen des Hochgebirges zumindest unter Tags nahe dem Grunde konzentriert, selbst wenn diese Seen, wie zum Beispiel der Vordere Finstertaler See (Kühtal, 2240 m), fast 30 m tief sind (vgl. auch Steinböck, 1955, p. 330/331). Aber: Bei Eisbedeckung ist die Vertikalverteilung tiefer Seen nach bisherigen Beobachtungen weitgehend homogen, die Hauptwasserentnahmen an unseren Speichern aber beginnen erst, nachdem der See zugefroren ist. Die Abflußöffnungen

der untersuchten Speicherseen des Stubachwerkes liegen in 20, 30 und 60 m Tiefe, was der Hälfte bis zwei Drittel der maximalen Tiefe dieser Becken entspricht. In Anbetracht des Lichtmangels über dem Grunde dieser Speicher ist eher eine Bevorzugung der Schichten oberhalb der Entnahmebauwerke anzunehmen als eine Planktonanreicherung in Grundnähe. Signifikante Unterschiede in der Horizontalverteilung des Planktons ließen sich, soweit die wenigen Parallellproben eine Aussage erlauben, bisher nicht feststellen. Das Plankton des Restwassers kann daher als für den gesamten eisbedeckten See repräsentativ angesehen werden. Der Anspruch auf Genauigkeit kann allerdings nicht sehr hoch sein, was in unserem Zusammenhang aber nicht erforderlich ist. Für die Berechnung der Biomasse wurden darum auch keine eigenen Trockengewichtsbestimmungen gemacht, sondern die Angaben verwendet, die andere Autoren bereits für Copepoden vergleichbarer Größe eruiert hatten (Tab. 7, p. 281, bei Richman, 1958; Nauwerck in litt.). Entsprechend den Angaben bei Sverdrup, Johnson a. Fleming (1946) wurde angenommen, daß das Trockengewicht 10 Prozent des Frischgewichtes beträgt.

Das Spätwinter-Zooplankton des Amersees ergab im Durchschnitt 320 mg Frischgewicht pro m^3 , das des Weißsees sogar 1,6 Gramm. Der Tauernmoossee enthielt im April 1961 mit $8 \text{ mg}/m^3$ viel weniger Zooplankton als zum Beispiel im November 1959 ($100 \text{ mg}/m^3$).

Multipliziert man diese m^3 -Gehalte mit dem Nutzinhalt der Speicherseen, so erfährt man, daß aus dem Amersee im Winter 1400 kg Plankton bei der Energiegewinnung dem See entnommen werden, der Weißsee verliert 25.000 kg, der Tauernmoossee nur 180 kg.

Mit der Feststellung dieser unerwartet hohen Zooplanktonmengen erhebt sich die Frage: Wovon ernährt sich das Zooplankton? Die Zooplankter der Speicherseen sind, soweit ihre Ernährungsweise bekannt ist, fast ausschließlich Pflanzenfresser. Angaben und Literaturhinweise finden sich zum Beispiel bei Pejler (1957) und Pourriot (1957) bezüglich *Rotatoria*, bei Nauwerck (1959) und Kiefer (1960) über *Crustacea*. Die Pflanzennahrung kann aus lebenden Algen des jeweiligen Lebensraumes bestehen, doch nehmen Herbivore auch die verschiedensten autochthonen oder allochthonen organischen Partikel an, die im Wasser schweben. Dieser organische Detritus wird oft als einzige oder hauptsächlichste Nahrungsquelle herbivorer Zooplankter genannt, wenn sich Phytoplankton, vor allem Nannoplankton, nicht oder nicht in ausreichender Menge nachweisen ließ (zum Beispiel Suchlandt und Schmass-

mann, 1935, p. 153; Bachmann, cit. bei Linder, 1933).

Das Phytoplankton der Speicher des Stubachtales war zur Zeit der oben besprochenen Zooplanktonentnahmen tatsächlich sehr arm. Die Nannoplankter (durchwegs Algen zwischen 1 und 40 Mikra Durchmesser) ergaben im Amersee ein Durchschnittsvolumen von $26 \text{ mm}^3/\text{m}^3$ oder ein Gewicht von $26 \text{ mg}/\text{m}^3$, wenn man das spezifische Gewicht der Algen mit 1 annimmt. Im Weißsee war das durchschnittliche Frischgewicht pro m^3 36 mg , im Tauernmoossee 91 mg . Leider liegen vom Sommer keine einwandfrei fixierten Phytoplanktonproben vor, und vom Herbst und Winter nur wenige: Wasser aus dem eben zugefrorenen Weißsee enthielt am 13. November 1959 in 2 m Tiefe 1600 mg Phytoplankton pro m^3 , und Proben, die mir Ing. Karl Herceg bei der Überleitung des Amersee- und Salzplattenseewassers am 3. Dezember 1959 freundlicherweise abfüllte, enthielten 247 mg (Amersee, = 22 m Tiefe) und 136 mg (Salzplattensee, = 37 m Tiefe) planktischer Algen pro m^3 . Diese wenigen Daten weisen darauf hin, daß in unseren Speichern Maxima von Phytoplankton und Zooplankton sich in einer Sukzession ablösen, wie dies zum Beispiel Ruttner (1938, p. 307 ff.) an subalpinen Seen der Ostalpen fand. Das sommerliche Maximum des Nannoplanktons (das es erst nachzuweisen gilt!) würde also mit fortschreitender Jahreszeit durch Zooplanktonfraß reduziert, das Heranwachsen der Zooplanktonpopulation führt zum beobachteten Winterminimum der planktischen Algen, das mit dem Eisbruch von starker Phytoplanktonvermehrung abgelöst werden kann, da sich einerseits die abiotischen Umweltfaktoren bessern (der wichtigste Faktor dürfte das Licht sein; vgl. Pechlaner in Vorbereitung), andererseits der „grazing effect“, der noch sehr jungen Crustaceen-Population wenig ins Gewicht fällt. Erwähnung verdient in diesem Zusammenhang die Feststellung Ruttners (1953 unpubl.), daß der Lünensee am 21. Oktober 1953 zwar ein sehr ärmliches Zooplankton, aber viel Phytoplankton enthielt. Es dominierte *Synedra acus* (bei der „es sich keineswegs um eine ganz kleine Art handelte“), die in den obersten 20 m eine Dichte von über 2000 Individuen pro cm^3 (ca. $1,5 \text{ g}/\text{m}^3$) erreichte.

Die Erklärung für die auffallend niederen Zooplanktonmengen im zugefrorenen Tauernmoossee liegt mit großer Wahrscheinlichkeit im Fischreichtum dieses Sees. In den Tauernmoossee wurden 1930, unmittelbar nach seiner Aufstauung, 2000 Saiblinge (*Salvelinus alpinus* [L.]) vom Attersee eingesetzt (briefliche Mitteilung der Forstverwaltung Mittersill).

Heute ist der Tauernmoossee ein gutes Saiblingsgewässer. Die Fische zeigen nicht selten Normalwuchs, erreichen nach eigenen Beobachtungen 23 bis 25 cm, doch wird auch von größeren Exemplaren aus diesem See berichtet, die aber nur selten erbeutet werden.

Wie schon p. 223 erwähnt, lassen sich die Saiblinge an den Bachmündungen in großen Mengen angeln (am 24. Juli 1959 fingen zwei Sportfischer innerhalb von zwei Stunden 26 Saiblinge zwischen 14,5 und 20 cm Länge, Durchschnittslänge 17 cm; am 28. Juli 1959 in einer Stunde sieben Saiblinge zwischen 18 und 21 cm Länge, Durchschnitt 19 cm). Noch fehlen Altersbestimmungen an diesen Tieren, doch ist mit Sicherheit anzunehmen, daß in diesem Speicher eine natürliche Vermehrung stattfindet.

Es ist anzunehmen, daß die Tauernmoos-Saiblinge sich im Sommer vor allem mit Insektenlarven aus den Zuflüssen sowie mit Anflug nähren, im Winter aber Zooplankton fressen, womit sich der Rückgang des Zooplanktons dieses Speichers im Winter erklären ließe.

Von bestem Erfolg begleitet war der Einsatz von 845 Sömmerlingen des Kanada-Saiblings *Salvelinus namaycush* Walbaum⁸ in den Speicher Lac de Fully im Wallis, Schweiz (Vouga, 1926). Dieser relativ kleine See enthielt 1922, als die Fische eingesetzt wurden, in reicher Menge Daphnien, Flohkrebse, Ruderwanzen, Insektenlarven usw. 1925 wurden 70 Fische gefangen. Sie hatten bereits eine Länge von 39 bis 45 cm und ein Gewicht von 800 bis 1100 g erreicht. Die Untersuchung des Verdauungstraktes zeigte, daß die Tiere alles angenommen hatten, was an Nahrung vorhanden war, daß sie Organismen aus dem Profundal, Litoral und Pelagial gefressen hatten. Vouga stellte fest, daß die Fische zwischen dem 10. und 25. Juli 1925, also zwischen ihrem 3. und 4. Lebensjahr, gelaicht hatten. Der Namaycush zeigte damit unter den günstigen Verhältnissen im Lac de Fully annähernd gleiches Verhalten wie in seiner Heimat in Nordamerika. Es ist allerdings fraglich, ob dieser reiche Fischertag auch in späteren Jahren zu verzeichnen war; mir sind darüber keine Angaben bekannt. Die biologischen Beobachtungen von Linder (1931, p. 84—87) zeigten 1929, sieben Jahre nach dem Einsatz der Kanada-Saiblinge, ein stark reduziertes Plankton, in dem vor allem die

⁸ Bezüglich der Nomenklatur dieses Fisches vergleiche W. M. Morton and R. R. Miller, 1954, „Systematic Position of the Lake Trout, *Salvelinus namaycush*“ in *Copeia* (USA), 1954, Nr. 2, p. 116—128.

Daphnien stark zurückgegangen waren. Auch Gammariden, die sonst leicht ins Planktonnetz geraten, wurden nicht mehr gemeldet. Auf die Frage des Überbesatzes solcher Seen werden wir weiter unten zurückkommen.

Über die Fischerei im Lac de Barberine geben uns die Publikationen von Linder (l. c.) und Pignat (1960) Aufschluß. In diesen Speichern wurden beim ersten Vollstau 1926 Sömmerlinge (1626 Stück) des Kanada-Saiblings eingesetzt. Als der See 10 Jahre später zum Fischfang freigegeben wurde, brachte das „Angler-Fest“ am ersten Tag gut 100 Namaycush, mit einem Durchschnittsgewicht von 300 g. Kanada-Saiblinge waren zum Nachbesatz nur in den Jahren 1949 und 1955 zu erhalten (Aufzucht aus Eiern aus Kanada in Schweizer Fischzuchtanstalten), in den übrigen Jahren wurden zuerst Regenbogenforellen (*Salmo irideus* G:bb.) eingesetzt, da diese aber keinen Erfolg brachten, ging man in der Folge auf die Bachforelle (*Salmo Trutta fario* L.) über, die sich gut hielt. Vom Schicksal der 1000 Sömmerlinge des Seesaiblings, die 1945 eingesetzt wurden, wird nichts berichtet. Der See wurde von Juni bis September, mit in den einzelnen Jahren stark wechselnden Erfolg, sportlich befischt. Linder wies in zahlreichen Magen- und Darmuntersuchungen an diesen Fischen nach, daß die Hauptnahrung der Salmoniden im Lac de Barberine in den Sommermonaten der Anflug bildet. Aus Bächen eingeschwemmte Nahrung war weniger wichtig, und der Anteil von Planktoncrustaceen und Bodenfauna (*Tubificiden*) war sehr gering. 1938 waren Ellritzen (*Phoxinus phoxinus* L.) als Futterfische für Salmoniden eingesetzt worden, doch findet sich bei Linder kein Hinweis, daß diese Fischen, oder Jungfische der übrigen Arten, als Futter nachzuweisen gewesen wären. In diesem Zusammenhang verdient eine Feststellung in der Schwedischen Fischereizeitung Aufmerksamkeit, in der — wie mir Dr. Lassleben freundlich mitteilte — berichtet wird, daß Ellritzen offenbar durch Abgabe eines Schreckstoffes in der Lage seien, sich vor ihren Feinden unter den Fischen zu retten, daß sich die Pfrille darum nicht so sehr als Futterfisch eigne, wie bisher angenommen wurde. Andererseits ist dieser Fisch als Köder in der Sportfischerei sehr beliebt und mit Erfolg anwendbar und als Futterfisch mehrfach nachgewiesen (z. B. Nikolski, 1957, p. 256), was wiederum gegen eine signifikante Abwehrwirkung dieses Schreckstoffes spricht.

Pignat macht — wenn ich seine diesbezüglichen Äußerungen richtig verstehe — die sehr bemerkenswerte Feststellung, daß der

Kanada-Saibling auch im Lac de Barberine laiche und die Entwicklung der Eier durch den Speicherbetrieb nicht gefährdet werde, da der Namaycush dort am Winteranfang zur Paarung schreite und seinen Laich in einiger Tiefe ablege. Die Nachkommenschaft der Forelle hingegen geht regelmäßig zugrunde, da dieser Fisch im Seichten laicht, die Eier darum bald trocken fallen. Die Laichzeit, die Vouga (1926, p. 33) für die Namaycush-Population im Lac de Fully angibt (Mitte Juli), wäre allerdings für das Aufkommen der Fische im Speichersee noch günstiger.

Im Gegensatz zum Lac de Barberine bestehen 90 Prozent des Fischertrages aus dem Lac du Mont-Cenis (Dussart, 1952, p. 94) aus Regenbogenforellen, daneben wurden dort „gewöhnliche Forellen“ (*S. (Trutta) fario* L.? *S. (Trutta) lacustris* L.? Steinböck hält Bach- und Seeforellen für Standortmodifikationen einer einzigen Art!) aus dem Gardasee eingesetzt. In diesem Speicher ist — mit einer Ausnahme — nur Angelfischerei gestattet; nur Fische mit mehr als 30 cm Länge dürfen entnommen werden. Nach der Statistik der „Sportfischergruppe Mont-Cenis“ werden jährlich 6 t Fische gefangen. Dussart selbst sah Regenbogenforellen bis zu 3 kg Gewicht und eine Seeforelle von 78 cm und 4,5 kg Gewicht. Nur bei einer Regenbogenforelle (von 800 g Gewicht) wurde der Verdauungstrakt untersucht. Das Tier hatte überhaupt keinen Anflug gefressen, sondern seine Nahrung vom Speichergrund geholt. Außer verschiedenen Algen und anderen Pflanzenteilen enthielt der Darm *Gammariden* (Flohkrebse), *Chironomidenlarven*, *Ostrakoden* (Muschelkrebse), *Pisidien* und *Daphnien*-Ephippien, vorwiegend Organismen, die sich bei der kurzen biologischen Untersuchungen nicht hatten nachweisen lassen.

Sommani (1956, p. 21) nennt „Forellen“ als Bewohner des Lago di Toggia und des Lago di Morasco, bringt aber keine gesicherten Angaben zur Biologie dieser Fische.

Der Lünensee enthält nach Angaben von Schurig (Janetschek, 1961, p. 208) nur kümmerformen des Seesaiblings. Ob die Koppe (*Cottus gobio* L.) auch im höher gestauten See noch lebt (Schmassmann, 1919), ist ungewiß. Auch von den Bach- und Regenbogenforellen, die nach Schmassmann (l. c.) 1887 eingesetzt wurden, ist heute nicht mehr die Rede.

Von keinem der genannten Speicher wird berichtet, daß es für notwendig befunden wurde, die Fische durch irgendwelche Schutzeinrichtungen (zum Beispiel elektrische Scheuchgeräte) vor dem Abwandern in die Turbinenauslässe zu bewahren. Wenn auch die Säl-

moniden selbst auf lange Strecken gegen die Strömung von 2 m/sec. schwimmen können (Einsele mündl.), die aus technischen Gründen bei der Wasserentnahme aus Speichern kaum je überschritten wird, so ist doch damit zu rechnen, daß auf diesem Wege Fische verlorengehen, die aus irgendeinem Grund der Strömung folgen. Es ist überflüssig, hinzuweisen, daß Fische zwar unter Umständen Kaplan- und Francisturbinen lebend passieren können (Hemsen, 1960), daß aber bei Peltonrädern keinerlei Chance hierfür besteht.

Eine Beeinträchtigung der Fischwelt durch die Trübungstoffe der Speicher war nie zu beobachten, auch Liepolt (1961, p. 000) weist darauf hin, daß die abnorm hohen Mengen von Gletscherschluff, die zeitweise in der Möll aufgeschwemmt sind und von ähnlicher Größenordnung sind wie die mineralogenen Partikel, die die Trübung alpiner Speicher verursachen, die Fische nicht primär (etwa durch Verletzung der Kiemen) schädigen. Beeinträchtigt werden Fische höchstens durch grobe, scharfkantige Sandkörner, die aber nur in der obersten Region des Gletscherbaches vom Wasser ständig mitgeschleppt werden (Steinböck, 1934, 1938), sowie durch spitze Schlackenkörner, wie sie aus Hochöfen in Fließgewässer kommen (Bandt, 1959).

Für die fischereiliche Nutzung alpiner Speicher kommen, wie wir sahen, vor allem die Salmoniden Bachforelle, Regenbogenforelle, Seesaibling und Kanada-Saibling in Betracht. Der Bachsaibling (*Salvelinus fontinalis* Mitchell) — wie Regenbogenforelle und Kanada-Saibling ein Fisch aus Nordamerika — wird offenbar kaum noch in Hochgebirgsseen eingesetzt. Janetschek (1961) nennt diesen Fisch als Bewohner zweier Hochgebirgsseen in Vorarlberg (Kapellersee, 2058 m, und Tilisunasee, 2102 m), weitere Vorkommen sind mir nicht bekannt.

Nach den Erfahrungen in Finnland (Järnefelt mündl.) kämen auch Coregonen als Besatzfische für die alpine Region in Betracht. Sie wären als Planktonfresser vor allem in planktonreichen Hochgebirgsseen am Platze; es bedarf allerdings einer eigenen Technik, diese Fische mit der Angel zu fangen. Die Möglichkeit, Coregonen in Hochgebirgsseen zu halten, wird in allernächster Zukunft durch einen Probeinsatz in einen hierfür geeignet erscheinenden See im Arbeitsbereich der Limnologischen Station Kühltai (2240 m) erprobt werden.

Wie aber läßt sich sonst das Zooplankton für die Fischerei nutzen?

Die Zooplanktonzahlen aus dem Tauernmoossee machen es wahrscheinlich, daß der Seesaibling im Winter Copepoden frißt. Daß

die Helligkeit unter der Schnee- und Eisedecke meist zur Nahrungssuche ausreichen dürfte, macht unter anderen die Beobachtung Einseles (mündl.) wahrscheinlich, daß Coregonen auch bei 0,005 Lux Beleuchtungsstärke (normale Außenhelligkeit 30.000 Lux!) grobe Stellnetze erkennen können. Trotzdem ist anzunehmen, daß Plankton für den Saibling und alle Raubsalmoniden eine Notnahrung bleibt. Steinböck ist der Ansicht, daß auch Anflug, Bachfauna und Bodenfauna nicht ausreichen, Salmoniden zu stattlicher Größe heranwachsen zu lassen, daß große Fische, wie sie jeder Sportfischer ersehnt, kleinere Fische als Nahrung brauchen. Diese Beutefische können nun Jungtiere oder Kleinformen der eigenen Art oder anderer Salmoniden sein, die von Plankton oder anderen Kleintieren leben. Diese Futterquelle fällt aber weg oder wird sehr unrationell, wenn — was für einen Teil der alpinen Speicher gelten dürfte — die Spiegelschwankungen eine natürliche Vermehrung des Bestandes unmöglich machen. Es wäre zu prüfen, ob in Speicherseen nicht die Elritze als Futterfisch eine Ertragssteigerung brächte. Eine natürliche Vermehrung dieses früh-sommerlichen Uferlaichers wäre vielleicht auch im Speicher möglich. Das Zooplankton könnte so über die Elritze als Zwischenkonsument den Salmoniden erschlossen werden. Daß im Lac de Barberine bisher noch nicht nachzuweisen war, daß Elritzen von Salmoniden gefressen werden, hat als Argument gegen einen Futterfischbesatz wenig Gewicht. Linder konnte im Vergleich zur Fischernte dieses Speichers zu wenig Tiere auf ihren Magen- und Darminhalt untersuchen. Soll ein abgerundetes Bild von den Nahrungsansprüchen unserer Edelfische zustande kommen, bedarf es eines viel umfangreicheren Untersuchungsmateriales. Alle Sportfischer und Fischereiiinteressenten sind darum aufgerufen, den Biologen bei dieser Aufgabe zu helfen. Ich möchte bei dieser Gelegenheit Herrn Ludwig Zemla und seinen Kameraden, die eifrig am Tauernmoossee fischen, für ihre bisherige Hilfe herzlich danken. Das Material, das sie mir zur Verfügung stellten (genaue Längenmaße, konservierte Fischdärme und -schuppen) und das derzeit in Bearbeitung steht, soll noch ergänzt werden durch Stellnetzfänge am offenen und zugefrorenen See und wird dann eine sichere Aussage über die Ernährung dieser Fischpopulation ermöglichen. Es wäre höchst wünschenswert, wenn derartige Beobachtungen auch an anderen Seen angestellt und veröffentlicht würden.

Bei dem Besetzen alpiner Speicher mit Salmoniden und Futterfischen ist zu achten, daß die eingebrachten Fische zum Nahrungsangebot des Sees im richtigen Verhältnis stehen. Überbesatz ist un-

bedingt zu vermeiden. Er gefährdet vor allem die autochthonen Futterquellen, die — es gibt hiefür schon genügend Beispiele — gänzlich versiegen können, wenn die Vernichtung der Beutetiere deren Vermehrungsrate überwiegt. Die kritische Periode ist in dieser Hinsicht für den Speichersee der Winter, in dem einerseits die allochthonen Nahrungsquellen wegfallen, daher von den Fischen mehr nach Plankton und Bodentieren gejagt wird, andererseits aber mit der Wasserableitung der Zooplanktonstock reduziert wird, der für die Neubesiedlung des Sees während dessen Wiederauffüllung sorgen sollte.

Andererseits kann gerade durch wasserwirtschaftliche Gegebenheiten eine Planktonerneuerung erzielt werden, die über das hinausgeht, was von hintereinander geschalteten natürlichen Seen bekannt ist (Tonolli, 1955). Im Stubachtal wäre zum Beispiel die günstige Möglichkeit, die durch die Seilbahn erschlossenen Speicher Tauernmoosensee und Weißsee intensiv zu besetzen, die schwerer zugänglichen Speicher Amersee und Salzplattensee aber als ständige Planktonreserve fischfrei zu lassen. Das Plankton wird bei der Überleitung vom Amersee und Salzplattensee zum Weißsee über den 6 km langen Freispiegelstollen sicherlich nicht geschädigt, konnte doch Tonolli (1955, p. 417—419; 1956, p. 37/38) feststellen, daß Zooplankton, das im Zuge der Pumpspeicherung aus dem Gardasee in den ca. 600 m höher gelegenen Ledrosee gepumpt wurde, dort zu 90 Prozent lebend ankam. Noch mehr überrascht die Beobachtung, daß Zooplankter, die im Stubachtal kurz nach dem Passieren der Freistrahlturbinen des Kraftwerkes Enzingerboden abfiltriert worden waren, unmittelbar nach dem Fang mit freiem Auge zwar keine Lebensäußerungen erkennen ließen, aber äußerlich vollkommen unbeschädigt waren, wie die mikroskopische Prüfung am fixierten Material ergab. Rädertiere (*Keratella*) hatten zum Teil nicht einmal ihre an den Panzer gehefteten Dauereier verloren.

Dank

Zum Abschluß sei es mir gestattet, auch an dieser Stelle allen jenen zu danken, die mir durch ihre Hilfe die Durchführung meiner Untersuchungen ermöglichten. Mein wärmster Dank gilt dem vereinigten Univ.-Prof. Dr. Franz Ruttner, der mich zum Studium der Kapruner Speicher anregte, der Österreichischen Akademie der Wissenschaften und dem österreichischen Alpenverein für die gewährte finanzielle Unterstützung, dem Vorstand des Zoologischen Institutes der Universität Innsbruck, Herrn Univ.-Prof. Dr. Otto Steinböck, für sein stetes Interesse und die großzügige Förderung meiner

Arbeiten, dem Vorstand des Anatomischen Institutes der Universität Innsbruck, Herrn Univ.-Prof. Mag. Dr. Dr. Gustav Sauser, der mir mit größtem Entgegenkommen die Verwendung seines „gestürzten Mikroskopes“ (REICHERT MeF) gestattete und so eine exakte quantitative Auswertung der Planktonproben ermöglichte, sowie dem Direktor der Bundesanstalt für Wasserbiologie und Abwasserforschung in Wien-Kaisermühlen, Herrn Dozent Dipl.-Ing. Dr. Reinhard Liepolt, der mich als Leiter des Fortbildungskurses „Zur Limnologie der Speicherseen und Flußstau“ zu dieser zusammenfassenden Darstellung anregte.

Der Direktion der Tauernkraftwerke A.-G. (Kraftwerksgruppe Glockner-Kaprun) und der Generaldirektion der Österreichischen Bundesbahnen (Stubachwerk) sei für ihre Aufgeschlossenheit für limnologische Fragestellungen und das gezeigte Entgegenkommen ebenfalls herzlich gedankt. Es ist mir nicht möglich, alle die Personen zu nennen, die meine Frau (ohne deren Hilfe diese Ergebnisse heute nicht vorlägen) und mich bei unserer Feldarbeit und bei der Auswertung der Daten bereitwilligst mit Rat und Tat unterstützten. Doch möchte ich hier dankend feststellen, daß die Hilfe, die ich von verschiedenster Seite empfangen habe, wesentlich zum Gelingen dieser Arbeit beitrug.

Z u s a m m e n f a s s u n g

In der vorliegenden Publikation wird versucht, an Hand eigener Untersuchungsergebnisse und unter Berücksichtigung von Angaben aus der Literatur unsere Kenntnisse von den spezifischen physikalischen und chemischen Umweltfaktoren und der pflanzlichen und tierischen Besiedlung der Hochgebirgsspeicher darzulegen.

Der Lebensraum des alpinen Speichers („alpin“ wird hier — im Sinne Schröters — als Höhenstufenbezeichnung verwendet!) wird geprägt durch starke Wasserstandsschwankungen (Vollstau im September/Oktober, tiefster Wasserspiegelstand im April/Mai) und eine damit im Zusammenhang stehende weitgehende Wassererneuerung innerhalb eines Wasserwirtschaftsjahres. (p. 190—200, Tab. 1)

In Bezug auf die Thermik sind die Hochgebirgsspeicher in der Regel durch das ständige Fehlen einer Schichtung gekennzeichnet, doch kommt es häufig zur Ausbildung einer diurnen Oberflächensprungschicht (Abb. 3). Die Eisbedeckung alpiner Speicher entspricht in ihrer Dicke und Struktur der natürlicher Hochgebirgsseen, nur an Pumpspeichern mit starker künstlicher Wasserzirkulation im

Winter ist die Eisdecke zumindest in der Nähe des Pumpeneinlaufes wesentlich schwächer (bzw. nicht vorhanden). Auf die Bedeutung dieser Reduktion der Eisdecke für die Wasserkraftnutzung wird hingewiesen. (p. 200—206)

Das Strahlungsklima wird im Hochgebirgsspeicher vor allem beeinflusst durch Horizontabschirmung, Schnee- und Eisdecke sowie minerogene Trübung. Die Meßergebnisse sprechen dafür, daß bei Eisdicken bis etwa 1 m noch 1 bis 2% der Außenhelligkeit durchtreten, selbst wenn 50% der Eisdecke aus Trübeis bestehen. Eine starke Schneebedeckung (mehr als 10—20 cm) kann allerdings auch bei geringer Eisstärke zu praktisch vollständiger Dunkelheit im See führen. Minerogene Schwebstoffe führten in einem Hochgebirgsspeicher mittlerer Trübung zu einer Reduktion der Durchsichtigkeit des Wassers auf 1—3% der Luftdurchlässigkeit. Einige wenige Daten über die spektrale Durchlässigkeit gestauter Hochgebirgswässer werden genannt. (p. 206—210)

Auf die Limnochemie alpiner Speicher wird wenig eingegangen, da die vorliegenden chemischen Befunde keine Tatsachen zeigen, die als Spezifikum des Hochgebirgsspeichers zu werten wären. Lediglich die in einem Pumpspeicher beobachtete hypolimnische Sauerstoffübersättigung wird diskutiert. (p. 210—213)

Nach einer kurzen Übersicht über die am Speichergrund (Litoral und Profundal) und im freien Wasser (Pelagial) alpiner Speicher registrierten pflanzlichen und tierischen Organismen (p. 214—220) werden teils beobachtete, teils zu erwartende Einflüsse des modifizierten Wasserhaushaltes auf die Lebewelt des Speichers diskutiert. (p. 220—223)

Eine fischereiliche Nutzung der Hochgebirgsspeicher ist — nach vorheriger Prüfung des jeweiligen Nahrungsangebotes für Fische — durchaus möglich und aussichtsreich. Die Verfügbarkeit von Anflugs- und Anflugnahrung hängt wie im natürlichen Hochgebirgssee in erster Linie ab von der Vegetation und tierischen Besiedlung der unmittelbaren Umgebung des Wasserbeckens. Die Bäche gewinnen als Zubringer von Anflugs- und Anflugnahrung und von im Fließwasser lebenden Insektenlarven bei Speicherseen (deren Einzugsgebiet meist künstlich vergrößert ist) an Bedeutung für die Fischernahrung.

Von der im Hochgebirgsspeicher selbst produzierten Fischnahrung fällt die Profundalfauna (in nicht zu jungen Speichern 10 bis 30 kg pro ha) wahrscheinlich wenig ins Gewicht, da den untersuchten Speichern Chironomiden fast durchwegs fehlen, die Greifbarkeit der vor-

handenen Tubificiden und Pisidien aber sehr fraglich ist. Mehr Interesse verdient in dieser Hinsicht die Sekundärproduktion durch das tierische Plankton. Mit adäquater Methode an zwei nicht mit Fischen besetzten Speichern des Stubachtales durchgeführte Untersuchungen ergaben, daß das Spätwinterplankton 0,3 bis 1,6 g Frischgewicht pro m³ erreichte, daß diese hochgelegenen Seen mit der winterlichen Energienutzung also 1400 bzw. 25000 kg Zooplankton verlieren. Die Primärproduktion wurde an alpinen Speichern noch nicht bestimmt, doch ist nach Erfahrungen an natürlichen Hochgebirgsseen in den Sommermonaten eine hohe Phytoplanktonproduktion anzunehmen. Die beobachteten mäßigen Phytoplanktondichten im Spätherbst und die sehr niederen Werte für den Spätwinter sind durch Zooplanktonfraß zu erklären (p. 223—227).

Für die fischereiliche Nutzung kommen nur Sportfische in Frage, in erster Linie die Salmoniden Seesaibling (*Salvelinus alpinus* [L.]), Kanadasaibling (*Salvelinus namaycush* [Walb.]), Bachforelle (*Salmo [Trutta] fario* L.) und Regenbogenforelle (*Salmo irideus* Gibb.). Zur besseren Verwertung des Zooplanktons ist der Besatz mit Futterfischen (Ellritze, *Phoxinus phoxinus* [L.]) zu empfehlen. Die mit den genannten Edelfischen an alpinen Speichern gewonnenen Erfahrungen werden diskutiert (p. 227—233).

SUMMARY

In this paper an attempt is made to summarize our knowledge of the specific physical and chemical environmental factors of alpine artificial water-basins and their colonisation by plants and animals, using both personal observations and data from the literature.

The environmental conditions of alpine water-basins („alpine“ in the sense of Schröter, meaning a particular horizon) are characterized by huge fluctuations of the water-level (highest level in September/October, lowest level in April/May), with the additional effect of the almost complete exchange of the water during the year. (p. 190—200, Tab. 1.)

As a rule, alpine water-reservoirs have no thermal stratification in summer, but a thermocline of short (diurnal) duration often develops just underneath the water surface (Abb. 3). The ice-cover of alpine reservoirs is comparable with that of natural alpine lakes in thickness and structure. Only at power stations, where the water pumped into the basin causes a strong water circulation in winter, is the ice-cover above the mouth of the pumping-channel reduced

(or completely melted). The advantages of this reduces ice-cover for engineering are emphasized (p. 200—206).

The amount of radiant energy in alpine water-reservoirs is mainly influenced by the screening effect of the sky line, by snow and ice cover and by glacial turbidity. The results indicate, that ice-covers of a thickness up to 1 m still allow 1 or 2% of the external light intensity to penetrate, even if 50% of the cover consists of turbid ice. However a snow-cover of more than 20 cm can cause absolute darkness. In an alpine water-reservoir of average turbidity, suspended mineral particles caused a reduction of beam transmittance to 1—3 % of the transparency of the air (p. 206—210).

As the chemical conditions of hydroelectric water basins show no features, which are not equally valid for natural lakes, no discussion of these environmental factors is needed. Only the relative oxygen-supersaturation in the hypolimnion of two reservoirs is discussed. (p. 210—213, Abb. 5—7)

A short survey of the plants, and animals found in the littoral, profundal and pelagic zone of alpine water-reservoirs is given (p. 214—220). The observed and presumed influences of the modifications of the environment in hydroelectric water-basins are discussed. (p. 220—223)

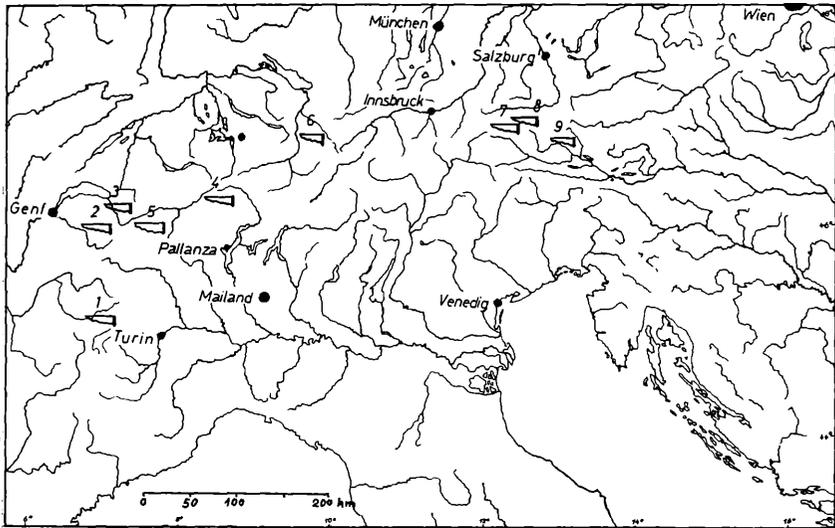
Fishery is possible and can give good yield in alpine water-reservoirs, but the possibilities determined by the food-supply for fishes must be examined in every single case. The presence of terrestrial insects, blown on the water surface, is mainly dependent on the vegetation and animal life in the surroundings of the basin. Tributaries, which transport terrestrial insects as well as aquatic larvae of insects are of greater importance for fish nutrition in water-reservoirs than in natural lakes, because the drainage area of hydroelectric water-basins is often artificially enlarged.

In an alpine water-reservoir the profundal fauna which amounts to (10—30 kg/ha, or 0.1—0.31 lbs per acre, if the artificial basin is not too young) has probably not much importance as autochthonous fish-food, because Chironomid-larvae were absent in most of these lakes and the extent, to which the Oligochaetes and Pisidia present can be utilized by fish is unknown.

Of greater interest in this respect is the secondary production of Zooplankton. The analysis, carried out with adequate methods at two alpine water-basins (without fishes) showed, that Zooplankton may reach 0.3—1.6 g freshweight per m³ in late winter. This

means, that by withdrawing the water for electric energy these lakes loose 1400 or 25000 kg Zooplankton respectively in winter. Measurements of primary production in alpine water-reservoirs have not been carried out, but from findings on natural alpine lakes we can expect a high Phytoplankton production during summer. The rather small standing crops of Phytoplankton observed in late autumn and and the very small quantities found in late winter are to be explained by grazing of Zooplankton. (p. 223—227)

Only sport-fishery can be considered for alpine water-reservoirs. For this purpose the salmonids *Salvelinus alpinus* (L.), *Salvelinus namaycush* (Walb.), *Salmo (Trutta) fario* L. and *Salmo irideus* Gibb. are suitable. For a better utilization of Zooplankton *Phoxinus phoxinus* (L.) should also be introduced into these lakes. Experiences gained with these fishes in alpine hydroelectric water-basins are discussed. (p. 227—233)



Die geographische Lage der besprochenen Speicherseen.

1: Lac du Mont-Cenis; 2: Lac de Barberine; 3: Lac de Filly; 4: Lago di Coggia. Lago di Morasco; 5: Lac de la Dixence; 6: Lünersee; 7: Speicherseen des Stubachwerkes; 8: Kapruner Speicherseen; 9: Großer Mühladorfer See.

Literatur

1. Ambach W. (1959): „Ein Beitrag zur Kenntnis der Lichtstreuung im Letschereis“ Arch. Met. Geoph. Biokl. B, Bd. 9, H. 3/4, p. 441—463.
2. Auerbach M. und Ritzi M. (1937): „Die Oberflächen- und Tiefenströme des Bodensees. IV. Der Lauf des Rheinwassers durch den Bodensee in den Sommermonaten“ Archiv f. Hydrobiologie, Bd. 32, H. 3, p. 409—433.
3. Bandt H.-J. (1959): „Wassertrübungen und Fische“ Deutsche Fischereizeitung, Jg. 1959, H. 11, p. 321—322.
4. Berger F. (1953): „Zur Limnologie des Lünensees“ Unveröff. Bericht an die Vorarlberger Illwerke AG.
5. Burkard R. (1956): „Zur Ermittlung der relativen Sauerstoffsättigung von Wasser“ Mitt. a. d. Gebiet d. Lebensmitteluntersuchung und Hygiene, Bd. 47, H. 5, p. 409—414.
6. Cosandey F., Linder Ch. et Regamey J. (1938): „Première contribution à la biologie du Lac de la Dixence“ Bull. Murith., Fasc. LV, p. 24—31.
7. Croxton W. C., Thurmann W. B. and Shiffer Th. (1937): „The penetration of light through snow and ice cover“ Minn. Acad. of Sci., 5, p. 50—53.
8. Dirmhirn I. (1953): „Einiges über die Reflexion der Sonnen- und Himmelsstrahlung an verschiedenen Oberflächen (Albedo)“ Wetter und Leben 5, p. 86.
9. Dirmhirn I. (1957): „Zur spektralen Verteilung der Reflexion türlicher Medien“ Wetter und Leben 9, p. 41.
10. Dorno C. †, Suchlandt O. † und Schmassmann W. (1959): „Strahlungsverhältnisse im Davosersee“ Tätigkeitsbericht d. Naturf. Ges. Basel-land, Bd. 21, 1955—1957, p. 93—146.
11. Dussart B. (1952): „Contribution à l'étude des lacs de Savoie. Le Lac du Mont-Cenis“ Bull. Franç. Piscicult., Bd. 24, Nr. 164, p. 89—96.
12. Einsele W. (1957): „Flußbiologie, Kraftwerke und Fischerei“ Österreichs Fischerei, 10. Jg., H. 8/9, p. 1—63.
13. Einsele W. (1960): „Die Strömungsgeschwindigkeit als beherrschender Faktor bei der limnologischen Gestaltung der Gewässer“ Österreichs Fischerei, Supplementband 1, H. 2, p. 1—40.
14. Gams H. (1927): „Von den Follatères zur Dent de Morcles“ Vegetationsmonographie aus dem Wallis. Beiträge zur geobotanischen Landesaufnahme 15, Bern; Herausgeg. v. d. Pflanzengeogr. Komm. d. Schweiz. Naturf. Ges., p. 1—760.
15. Gams H. (1935): „Das Pflanzenleben des Großglocknergebietes“ Zeitd. d. D. u. Ö. Alpenvereins 1935, p. 157—176.
16. Gams H. (1936): „Die Vegetation des Großglocknergebietes“ Abhandl. d. Zoolog. Bot. Ges. Wien, Bd. XVI, 2, p. 1—79.
17. Gams H. (1949): Kurze Angaben über Phytoplankton aus dem Schwarzsee ob Sölden. Publ. bei: Steinböck O. (1949a): „Der Schwarzsee ob Sölden im Ötztal“, p. 145.
18. Gams H. (1956): „I. Introductio generalis, Allgemeine Einführung“ In: Exkursionsführer für die XI. internationale pflanzengeographische Exkursion durch die Ostalpen 1956, p. 7—23.
19. Gessner F. (1955): „Hydrobotanik“ Bd. 1, 517 pp. Deutscher Verl. d. Wissensch., Berlin.
20. Gutmann P. (1955): „Der Mölsersee, eine hydrobiologische Studie“

Dissertation Univ. Innsbruck, Maschinschrift, 161 pp. Erscheint in gekürzter Form in Z. Museum Ferdinandum, Bd. 41, 1962.

21. Hacker W. (1933): „Sichttiefe, Wärmegang und Durchlüftung Hochgebirgsseen“ Geogr. Jahresber. aus Österr. 16 (Wien), p. 88—105.

22. Heller C. (1881): „Über die Verbreitung der Thierwelt im Tiroler Hochgebirge“ Sitzungsber. d. Akad. Wiss. Wien, Abt. I, Bd. 83.

23. Hemsen J. (1960): „Fische und Turbinen“ Österr. Fischerei 13, 10, p. 113—122.

24. Herbst H. V. (1957): „Der Fallschöpfer, ein Gerät zum quantitativen Zooplankton-Fang“. Arch. f. Hydrobiol., Bd. 53, H. 4, p. 598—603.

25. Huber-Pestalozzi G. (1926): „Die Schwebeflora (das Phytoplankton) der alpinen und nivalen Stufe“ In: Schroeter, „Das Pflanzenleben der Alpen“, p. 845—942.

26. Hutchinson G. E. (1957): „A Treatise on Limnology“ Vol. I, New York, John Wiley & Sons, Inc., London: Chapman & Hall, Ltd. 1015 pp.

27. Hynes H. B. N. (1961): „The effect of water-level fluctuations on littoral fauna“ Verh. int. Ver. Limnol. XIV, p. 652—656.

28. Janetschek H. (1961): „Das Tierreich“ In: Landes- und Volkskunde, Geschichte, Wirtschaft und Kunst Vorarlbergs, Bd. 1: Die Natur, p. 179 bis 246.

29. Jonasson P. M. (1955): „The efficiency of sieving techniques for sampling freshwater bottom fauna“ Oikos (Copenh.) 6, p. 183—207.

30. Kalitin N. N. (1936): „Sur la transparence de la glace pour la radiation ultraviolette du soleil“. Trans. Arctic. Inst., Leningrad, Vol. 39, 55.

31. Kiefer F. (1960): „Ruderfuß-Krebse (Copepoda)“. Franck'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 97 pp.

32. Knie K. and Gams Heinz (1958): „Temperaturmeßgerät. Modell Kaiserlmühlen TE“ Österr. Wasserwirtschaft, Jg. 10, H. 10, p. 233—236.

33. Kozminski Z. (1936): „Morphometrische und ökologische Untersuchungen an Cyclopiden der strenuus-Gruppe“ Int. Rev. Hydrobiol., Bd. 33, p. 161—240.

34. Lanser O. (1962): „Gliederung und Morphologie der Stau- und Speicherseen“ Wasser und Abwasser, Bd. 1961, p. 9.

35. Lauscher F. (1941): „Lichtmessungen in einigen Hochgebirgsgewässern“. Arch. f. Hydrobiol., Bd. 37, H. 4, p. 583—597.

36. Leutelt-Kipke S. (1934): „Ein Beitrag zur Kenntnis der hydrographischen und hydrochemischen Verhältnisse einiger Tiroler Hoch- und Mittelgebirgsseen. Arch. f. Hydrobiol., Bd. 27, H. 2, p. 286—352.

37. Liepolt R. (1962): „Biologische Auswirkungen der Entschlammung eines Hochgebirgsstausees im Vorfluter. Wasser und Abwasser, Bd. 1961, p. 110.

38. Linder Ch. (1928—1947): „Contribution à la limnologie du lac de Barberine (Valais)“. Bull. Murith., mir zugänglich die Beiträge in folgenden Bänden: Fasc. 45, 46, 48—59, 63 und 64.

39. Linder Ch. (1931): „Note sur le plancton (faune pélagique) du lac de Fully (Valais)“. Bull. Murith., Fasc. 48, p. 84—87.

40. Minder L. (1939): „Der Wäggitalersee; allgemeines und Chemismus“ Z. f. Hydrologie, Bd. VIII, p. 143—186.

41. Mortimer C. H. (1953): „The resonant response of stratified lakes to wind“ Schweiz. Z. Hydrologie, XV, 1, p. 94—151.

42. Mortimer C. H. (1956): „The oxygen content of air-saturated fresh

waters, and aids in calculating percentage saturation“ Mitt. d. Int. Ver. Limn., Nr. 6, p. 1—20.

43. Nauwerck A. (1959): „Zur Bestimmung der Filtrierrate limnischer Planktontiere“ Arch. f. Hydrobiol., Suppl.-Bd. XXV (= Falkau-Schr. IV), 1, p. 83—101.

44. Nikolski G. W. (1957): „Spezielle Fischkunde“ Deutscher Verl. d. Wissensch., Berlin, 632 pp.

45. Pechlaner R. (1959): „Zur Limnologie der Stauseen des Kapruner Tales und des Stubachtales“ Österr. Wasserwirtschaft, Jg. 11, H. 7/8, p. 185—194.

46. Pejler B. (1957): „Taxonomical and ecological studies on planktonic rotatoria from northern swedish Lapland“ Kungl. svenska vetenskap. handl. fjärde serien“, Bd. 6, Nr. 5, p. 1—68.

47. Pelosio M. J. (1937): „Le Zooplancton des eaux alpines“ Verh. I. V. L., Bd. VIII/II, p. 43—52.

48. Pesta O. (1924): „Hydrobiologische Studien über Ostalpenseen“ Arch. f. Hydrobiol., Suppl.-Bd. III, p. 385—596.

49. Pesta O. (1929): „Der Hochgebirgssee der Alpen“ Die Binnengewässer, Bd. VIII, Stuttgart. 156 pp.

50. Pesta O. (1933): „Das Leben in Seen und Tümpeln des Großglocknergebietes“ Zeitschr. d. D. u. Ö. Alpenvereins, Bd. 64, p. 230—239.

51. Pignat U. (1941): „Rapport concernant la pêche dans le lac de Barberine en 1940“ Bull. Murith. LVIII, p. 25—26.

52. Pignat U. (1960): „Le lac de Barberine réservoir d'énergie et bassin de pêche“ Bull. Murith LXXVII, p. 25—29.

53. Pourriot R. (1957): „Sur la nutrition des Rotifères à partir des Algues d'eau douce“ Hydrobiologia 9, p. 50—59.

54. Ravera O. and Tonolli V. (1956): „Body size and number of eggs in Diptomids, as related to water renewal in mountain lakes“ Limnol. a. Oceanogr., Vol. 1, Nr. 2, p. 118—122.

55. Richman S. (1958): „The transformation of energy by *Daphnia pulex*“ Ecolog. Monogr., Vol. 28, 3, p. 273—291.

56. Rodhe W. (1955): „Can plankton production proceed during winter darkness in subarctic lakes?“ Verh. int. Ver. Limnol., Bd. XII, p. 117—122.

57. Rodhe W. (1959): Noch unveröffentlichte Ergebnisse produktionsbiologischer Untersuchungen an 3 Tiroler Hochgebirgsseen (Gossenköllesee, 2485 m, Schwarzsee ob Sölden, 2782 m, Drachensee, 1880 m) vom 8. bis 12. September 1959.

58. Rodhe W., Voltenweider R. und Nauwerck A. (1958): „The primary production and standing crop of phytoplankton“ In: Perspectives in Marine Biology. Ed. by A. A. Buzatti-Traverso, p. 299—322.

59. Ruttner F. (1938): „Limnologische Studien an einigen Seen der Ostalpen“ Arch. Hydrobiol. 32, p. 167—319.

60. Ruttner F. und Sauberer F. (1938): „Durchsichtigkeit des Wassers und Planktonschichtung“ Int. Rev. ges. Hydrobiol. u. Hydrogr. Vol. 37, p. 405, bis 419.

61. Sauberer F. (1938): „Versuche über spektrale Messungen der Strahlungseigenschaften von Schnee und Eis“ Meteorol. Z., Bd. 55, p. 250—255.

62. Sauberer F. (1939): „Beiträge zur Kenntnis des Lichtklimas einiger Alpenseen“ Int. Rev. Hydrobiol., Bd. 39, p. 20—55.

63. Sauberer F. (1950): „Die spektrale Strahlungsdurchlässigkeit des Eises“ Wetter und Leben, Jg. 2, H. 9/10, p. 193—197.

64. Sauberer F. (1958): „Zur Durchsichtigkeitsmessung in Gewässern“ *Wetter und Leben*, Jg. 10, H. 3/4, p. 67—69.
65. Sauberer F. und Eckel O. (1938): „Zur Methodik der Strahlungsmessungen unter Wasser“ *Internat. Rev. d. Hydrobiol.* 37, p. 257—289.
66. Sauberer F. und Ruttner F. (1941): „Die Strahlungsverhältnisse der Binnengewässer“. Akad. Verlagsges., Leipzig, 240 pp.
67. Scheele M. (1959): „Die Lochkartenverfahren in Forschung und Dokumentation“ Schweizerbart, Stuttgart, 2. Aufl., 256 pp.
68. Schmassmann W. (1919): „Zur Besetzung alpiner Seen“. *Schweiz. Fischereizeit.*, 27. Jg., Nr. 3, p. 36—38.
69. Schmassmann W. (1920): „Die Bodenfauna hochalpiner Seen“ *Arch. f. Hydrobiol., Suppl.* 3, p. 1—106.
70. Schmid E.: „Vegetationskarte der Schweiz 1:200.000“ Hg. von der Pflanzengeogr. Kommission d. Schweizerischen naturforsch. Gesellsch., Hans Huber Verlag, Bern.
71. Schroeter C. (1926): „Das Pflanzenleben der Alpen“. 2. Aufl., Albert Raustein, Zürich, 1288 pp.
72. Shadin W. I. (1958): „Probleme der Bildung des biologischen Regims und der Typologie in künstlichen Seen (Stauseen)“ *Verh. Internat. Verlimnol.* XIII, p. 446—454.
73. Sommani E. (1956): „Limnologia dei laghi artificiali. IV. I laghi artificiali alpini“ *Boll. Pesca, Piscicult. Idrobiol.* Vol. XII (n. s.), p. 5—31.
74. Steinböck O. (1929): „Hydrobiologische Forschungen in den Ostalpen“. *Forsch. Fortschr.* 5.
75. Steinböck O. (1934): „Die Tierwelt der Gletschergewässer“. *Zeitschr. d. D. u. Ö. Alpenvereins*, 65, p. 263—275.
76. Steinböck O. (1934a): „Zur Frage der Sprungschicht in Hochgebirgsseen“ *Arch. f. Hydrobiol.*, Bd. 27, H. 3, p. 397—415.
77. Steinböck O. (1938): „Arbeiten über die Limnologie der Hochgebirgsgewässer“ *Int. Rev. Hydrob.* 37, p. 467—509.
78. Steinböck O. (1949): „Der Schwarzsee ob Sölden im Ötztal. Eine hydrobiol. Studie“ *Veröff. Mus. Ferd. Innsbruck*, Bd. 26/29, p. 117—146.
79. Steinböck O. (1949a): „Über den Einsatz in Hochgebirgsseen“ *Schweiz. Fischereizeitung*, 57. Jg., Heft 6, Pfäffikon-Zürich, p. 151—153.
80. Steinböck O. (1950): „Probleme der Ernährung und des Wachstums bei Salmoniden“ *Schweiz. Fischereizeitung*, Nr. 3 u. 4, p. 1—7.
81. Steinböck O. (1950a): „Richtlinien für den Einsatz in Hochgebirgsseen“ *Österr. Fischerei*, 3. Jg., H. 4, p. 73—79.
82. Steinböck O. (1951): „Die Fische der Hochgebirgsseen“ *Alpenvereinsjahrbuch* 1951, p. 134—144.
83. Steinböck O. (1953): „Ein neuer Seentyp: Der kryoeutrophe See“ *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.*, 7, p. 153—163.
84. Steinböck O. (1955): „Über die Verhältnisse in der Tiefe der Hochgebirgsseen“ *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.*, Suppl. 8, p. 311—343.
85. Steinböck O. (1958): „Grundsätzliches zum ‚kryoeutrophen‘ See“ *Verh. Internat. Ver. Limnol.* 8, p. 181—190.
86. Steinböck O. (1959): „Fragmenta limnologica alpina“ *De natura Tirolensi Schlern-Schr.* (Innsbruck) 188, p. 113—144.
87. Steinböck O. (1959a): „Limnologische Hochgebirgsforschung in Österreich“ *Österr. Wasserwirtsch.*, Jg. 11, H. 7/8, p. 167—170.
88. Steinböck W. (1959): „Die Staumauer am Großen Mühlendorfersee“

Die Talsperren Österreichs, H. 10, Selbstverl. d. ÖWWV., 70 pp.

89. Suchlandt O. und Schmassmann W. (1929): „Über das Plankton des Davoser Sees während seiner Umgestaltung zum Stausee“ Festschr. 110. Jahresvers. d. Schweiz. Naturf. Ges. Davos., p. 119—127.

90. Suchlandt O. und Schmassmann W. (1936): „Limnologische Beobachtungen an acht Hochgebirgsseen der Landschaft Davos“ Z. f. Hydrologie, Bd. VII, H. 1 und 2, p. 1—201.

91. Sverdrup H. U., Johnson M. W. and Fleming R. H. (1946): „The oceans, their physics, chemistry and general biology“ New York, Prentice-Hall, Inc., 1087 pp.

92. Thienemann A. (1928): „Der Sauerstoff im eutrophen und oligotrophen See“ Binnengewässer, Bd. 4, Stuttgart, 175 pp.

93. Tonolli V. (1955): „The migration currents of zooplankton organisms carried on by lacustrine outflow water“ Proc. Int. Assoc. Limnol. 12, 412—420.

94. Tonolli V. (1956): „Il Lago di Ledro nelle sue vicende di lago naturale, lago-serbatoio e lago rifornato“ Mem. Ist. Ital. Idrobiol. Marco De Marchi 9, 25—48.

95. Tonolli V. Le. (1951): „Osservazioni sulla biologia ed ecologia di 170 popolamenti zooplanctonici di laghi italiani di alta quota“ Mem. Ist. Ital. Idrob. Marco de Marchi 6, p. 53—136.

96. Turnowsky F. (1946): „Die Seen der Schobergruppe in den Hohen Tauern“ VIII. Sonderheft d. Carinthia II, p. 1—78.

97. Turnowsky F. (1954): „Der Obstanser See in der Karnischen Hauptkette“ Carinthia II, Jg. 64, p. 124—132.

98. Vivier P. (1960): „Température et oxygène dissous en profondeur dans les lacs de barrage artificiel français. Schw. Z. Hydrologie, Bd. XXII, 1, p. 350—364.

99. Voigt M. (1957): „Die Rädertiere Mitteleuropas“ I. Textband, II. Tafelband. Borntreager, Berlin-Nikolasee, 508 pp.

100. Vollenweider R. A. (1956): „L'influenza della torbidità provocata dalle acque di piena nel bacino di Pallanza (Lago Maggiore)“ Mem. Ist. Ital. Idrobiol. Marco De Marchi 9, p. 85—111.

101. Vorarlberger Illwerke AG. (1960): „Kraftwerk Lünensee“ Österr. Kraftwerke in Einzeldarstellungen, Folge 30, Bundesministerium f. Verkehr und Elektr.-Wirtschaft, Wien, 78 pp.

102. Vouga M. (1926): „Le Cristivomer ou Truite du lac de l'Amérique du Nord et son acclimatation dans les eaux valaisannes“ Bull. Murith. 43, p. 30—35.

103. Vouga M. (1927): „La pisciculture dans le canton du Valais“ Bull. Murith. 44, p. 19—33.

104. Wesenberg-Lund C. (1939): „Biologie der Süßwassertiere. Wirbellose Tiere“ Dtsche Ausgabe v. O. Storch. Springer, Wien, 817 pp.

105. Zschokke F. (1900): „Die Tierwelt der Hochgebirgsseen“ Denkschriften der Schweiz. naturf. Ges., Bd. 37, p. 1—400.

106. Zschokke F. (1911): „Die Tiefseefauna der Seen Mitteleuropas“ Eine geogr.-faunistische Studie. Leipzig, 246 pp.

DISKUSSION

Rudolf

Nach einer deutschen Arbeit („Zur Frage von Beschädigung von Fischen durch Turbinen“, in der Zeitschrift „Die Wasserwirtschaft“, 47. Jahrgang,

Heft 4, Jänner 1957, von Dr. Kurt von Raben, Hannover) ist es möglich, daß Fische durch eine Turbine durchgehen, ohne Schaden zu erleiden und zwar unter ganz bestimmten Voraussetzungen. Hiefür gibt es sogar eine Formel, die nach Länge der Fische, Fallhöhe, Turbinenkonstruktion usw. aufgestellt wurde.

V o g l e r :

Bezüglich Fischbesatz im Hochgebirge wurde ich auf die Ochridasee-Forellen aufmerksam gemacht, die sehr widerstandsfähig sind. In einen Speichersee in 1200 m Höhe wurden diese Forellen gleichzeitig mit Elritzen eingesetzt.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Wasser und Abwasser](#)

Jahr/Year: 1961

Band/Volume: [1961](#)

Autor(en)/Author(s): Pechlaner Roland

Artikel/Article: [Umweltsbedingungen und Lebewelt in alpinen Speicherseen. 190-244](#)