

Ber. nat.-med. Ver. Innsbruck

Band 56  
Festschr. Steinböck

S. 31—123

Innsbruck, Dez. 1968

## Physiographie und Zooplankton des Gossenkölleesees

(2.413 m, Kühtai, Österreich)

von

Thomas EPPACHER

(Aus dem Institut für Zoologie [Vorstand: Univ.-Prof. Dr. HEINZ JANETSCHKEI und der  
Alpinen Forschungsstelle Obergurgl] [Vorstand: Univ.-Prof. Dr. WERNER HEISSEL] der  
Universität Innsbruck)

### Physiography and Zooplankton of the Gossenkoellesee (2413 m a. s. l., Kühtai, Austria)

**Synopsis:** Physical and chemical conditions and zooplankton were studied on a year-round basis (69 days of field work) in this simply structured high-mountain lake of Tyrol. Gossenkoellesee is a moraine-dammed seepage lake with morphometric parameters (area 1,7 ha, max. depth 9,9 m, mean depth 4,7 m) typical for lakes above timber line. Radiation climate within the lake is determined in the open season by high energy income from sun (only 21% of astronomically possible sunshine is screened off by the horizon) and sky (intensified by reflections from surrounding snow covered slopes) and high transparency of the water (transmission > 80%/m between 370 and 600 nm). Winter cover (lasting  $\frac{3}{4}$  of the year, maximum of 233 cm in May) reduces entrance of short wave radiation considerably. The lake is dimictic, though stability does not surpass 20,4 g-cm. cm<sup>-2</sup> of the annual heat budget (13.300 cal. cm<sup>-2</sup>). Only 31% is summer heat income.

Size (20 ha) and geology (siliceous rocks) of the catchment area are reflected in the chemistry of Gossenkoellesee. Conductivity ranges between 18 and 26  $\mu$ mhos. cm<sup>-3</sup> at 25° C. 46% of the anions (mean for total ions: 0,19 meq/l) consist of bicarbonate, the rest is sulfate. Ca<sup>2+</sup> (0,14—2,0 mg/l) and Mg<sup>2+</sup> (0,0—0,49 mg/l) account for 42% of the cations. Free carbon dioxide varies between 0,6 and 29 mg/l, pH between 5,6 and 7,8. The water is saturated with oxygen in the icefree period, with a positive heterograde curve from icebreak (late June or July) till late November, turning into a clinograde curve in winter, with deficits up to 90%.

Of a mean of 58 zooplankters /l more than 99% belong to the copepod *Cyclops tetricus* (19%) and the rotifers *Polyarthra dolichoptera* (72%) and *Notholca squamula* (9%). All nauplius- and copepodid-stages and the sexes of the adults had been distinguished in the quantitative samples. The population dynamics of all three species are discussed in detail; information on the vertical and horizontal distribution of nauplii, copepodids and adults of *Cyclops* and the rotifers as well as on the vertical migration of the copepod and its larvae is included. A brief account of other metazoa present in the pelagial of the lake is given.

Papers on species distribution, biomass and production rate of the phytoplankton, and on *Salmo trutta f. fario* (the only fish of this alpine lake), covering the same period of observation, are prepared by NAUWERCK and PECHLANER respectively.

## Inhaltsverzeichnis

Einleitung . . . . .		33
<b>A. Physikalische Umweltfaktoren</b>		
1. Geologie und Geomorphologie der näheren Umgebung . . . . .		35
2. Hydrographie . . . . .		38
3. Morphometrie . . . . .		39
4. Die Strahlungsverhältnisse . . . . .		40
4.1. Die Horizontabschirmung des Sees . . . . .		40
4.2. Die Globalstrahlung . . . . .		41
4.3. Die spektrale Transmission des Wassers . . . . .		43
5. Die Thermik des Sees . . . . .		46
5.1. Jahresgang der Temperatur . . . . .		46
5.2. Die Stabilität der thermischen Schichtung . . . . .		50
5.3. Entwicklung und Abbau der Winterdecke . . . . .		51
5.4. Wärmeinhalt und Wärmebudget . . . . .		53
<b>B. Der Chemismus des Sees</b>		
1. Der Sauerstoffgehalt . . . . .		55
1.1. Allgemeine Vorbemerkungen . . . . .		55
1.2. Der Sauerstoffhaushalt in den eisfreien Sommermonaten . . . . .		55
1.3. Der Sauerstoffhaushalt während des Winters 1964/65 . . . . .		58
2. Der pH . . . . .		60
3. Der Kohlensäurehaushalt . . . . .		61
3.1. Die Bikarbonatkohlensäure ( $\text{HCO}_3^-$ ) . . . . .		61
3.2. Die freie Kohlensäure ( $\text{CO}_2$ ) . . . . .		62
4. Die elektrolytische Leitfähigkeit . . . . .		63
5. Alkalinität und Karbonathärte . . . . .		65
6. Karbonatleitfähigkeit und Leitfähigkeitsquotient . . . . .		66
7. Sulfat und die Summe der Salze starker Säuren . . . . .		67
8. Calcium und Magnesium . . . . .		69
8.1. Calcium . . . . .		69
8.2. Magnesium . . . . .		70
9. Gesamtionenkonzentration . . . . .		71
<b>C. Das Zooplankton des Gossenkölleesees</b>		
1. Methode . . . . .		72
2. Fehlerangabe . . . . .		73
3. Die qualitative Zusammensetzung des Zooplanktons . . . . .		73
4. Der quantitative Aspekt des Gesamtzooplanktons . . . . .		74
4.1. Der Jahresgang . . . . .		74
4.2. Die Vertikalverteilung des Gesamtzooplanktons zu den verschiedenen Jahreszeiten . . . . .		77
4.3. Die Horizontalverteilung des Zooplanktons im Winter . . . . .		78
5. <i>Cyclops tatricus</i> KOZMINSKI 1927 . . . . .		79
5.1. Allgemeine Vorbemerkungen . . . . .		79

5.2. Die Nauplien von <i>C. tatricus</i> KOZMINSKI . . . . .	80
5.2.1. Die Größenverhältnisse der einzelnen Naupliusstadien . . . . .	80
5.2.2. Der Jahresgang der Nauplien . . . . .	82
5.2.3. Die Entwicklung der einzelnen Naupliusstadien . . . . .	86
5.2.4. Die Vertikalverteilung der Nauplien . . . . .	88
5.2.5. Die tägliche Vertikalwanderung der Nauplien und Copepodide . . . . .	90
5.3. Die Copepodidstadien von <i>Cyclops tatricus</i> . . . . .	92
5.3.1. Jahresgang der Entwicklung der Copepodide . . . . .	94
5.3.2. Die Diapause der Copepodide . . . . .	96
5.3.3. Die Vertikalverteilung der Copepodide . . . . .	97
5.4. Die adulten Tiere von <i>Cyclops tatricus</i> . . . . .	98
5.4.1. Allgemeines . . . . .	98
5.4.2. Das Auftreten der adulten Tiere von <i>Cyclops tatricus</i> im Jahresablauf . . . . .	100
5.4.3. Die Vertikalverteilung . . . . .	102
5.4.4. Die tägliche Vertikalwanderung . . . . .	103
6. <i>Cyclops</i> sp. . . . .	104
7. <i>Chydorus sphaericus</i> O. F. MÜLLER . . . . .	104
8. <i>Alona affinis</i> LEYDIG . . . . .	105
9. <i>Polyarthra dolichoptera</i> IDELSON 1925 . . . . .	105
9.1. Vorkommen und systematische Stellung . . . . .	105
9.2. Die forma aptera von <i>Polyarthra dolichoptera</i> im Gossenköllesee . . . . .	106
9.3. Entwicklung im Jahresablauf . . . . .	107
9.4. Die Sexualperiode von <i>Polyarthra dolichoptera</i> im Gossenköllesee . . . . .	109
9.5. Die Vertikalverteilung im Jahresablauf . . . . .	110
10. <i>Notholca squamula</i> (O. F. MÜLLER) 1786 . . . . .	112
10.1. Allgemeine Bemerkungen . . . . .	112
10.2. Jahreszeitliche Entwicklung . . . . .	112
10.3. Vertikalverteilung . . . . .	113
11. <i>Synchaeta</i> cf. <i>tremula</i> (O.F. MÜLLER) 1786 . . . . .	114
12. <i>Lecane</i> sp. . . . .	115
13. <i>Trichocerca</i> sp. . . . .	115
14. <i>Trichotria</i> sp. . . . .	115
15. <i>Keratella</i> cf. <i>hiemalis</i> CARLIN 1943 . . . . .	115
16. Bdelloides Rädertier . . . . .	116
17. Larven von Dipteren . . . . .	116
18. Nematoden . . . . .	116
19. Zusammenfassung . . . . .	116
19.1. Physikalische Umweltfaktoren . . . . .	116
19.2. Chemismus . . . . .	117
19.3. Das Zooplankton des Gossenkölleeses . . . . .	118
20. Zitierte Literatur . . . . .	120

## Einleitung

Daten zur Limnologie des Gossenkölleesees wurden bereits von verschiedenen Autoren veröffentlicht: STEINBÖCK hatte schon 1929 und 1930 Temperaturmessungen und Untersuchungen der Bodenfauna an diesem See durchgeführt und seine Resultate in mehrere Publikationen eingearbeitet (1929, 1934, 1938, 1953, 1955 und 1958). LEUTELT-KIPKE (1934, 1935) hatte 1931, 1932 und 1934 in insgesamt 6 Exkursionen Thermik und Chemismus des Gossenkölleesees studiert. Am 7. und 8. September 1959 untersuchte RODHE das Phytoplankton und einige für dessen Produktionsrate wesentliche physikalische und chemische Milieufaktoren in diesem See. RODHE hat erst einen Teil seiner Ergebnisse publiziert (1962, 1964 und 1966). Das von ihm gesammelte Phytoplankton sowie die 1962 im Zuge meiner Zooplanktonstudien (EPPACHER, 1963) konservierten Phytoplanktonproben wurden von NAUWERCK bearbeitet (NAUWERCK 1966). BRINKHURST (1964) diskutiert 4 bei Bodenuntersuchungen von PECHLANER gesammelte Tubificiden-Species aus unserem See und PECHLANER (1966a) nimmt kurz auf seine sporadischen chemischen Analysen vom Gossenköllesee Bezug.

Die Basis der vorliegenden Publikation bildet das von mir 1962, 1964 und 1965 in insgesamt 69 Exkursionen gesammelte Material über zahlreiche physiographische Eigenschaften und das Zooplankton des Gossenköllesee. Es war von vornherein klar, daß der heuristische Wert einer derartigen Studie durch die Berücksichtigung weiterer wesentlicher Komponenten des Ökosystems, nämlich der planktischen Primärproduktion als präsumptive Nahrungslieferanten und der Fische als potentielle Konsumenten des Zooplanktons wesentlich gesteigert werden könnte. Es war mir nicht möglich, meine eigenen Untersuchungen derart zu erweitern, doch wurde eine weitgehende Abrundung des Bildes durch die gleichzeitige Entnahme des entsprechenden Materials gesichert: Parallel zu meinen Beobachtungen über die physikalischen und chemischen Verhältnisse im Gossenköllesee und sein Zooplankton wurden regelmäßig Phytoplanktonproben entnommen und — teils lebend, teils in konserviertem Zustand — Herrn Univ.-Doz. Dr. Arnold NAUWERCK (Limnologisches Institut der Universität Uppsala, Schweden) zur näheren Bearbeitung geschickt. Durch die Hilfe des Limnologischen Instituts der Universität Uppsala, für die ich Herrn Prof. Dr. Wilhelm RODHE und Fräulein Anna PANDERS sehr zu danken habe, war es außerdem möglich, mehrmals die Produktionsrate des pflanzlichen Planktons des Gossenköllesee mit der  $^{14}\text{C}$ -Methode zu messen. Schließlich wurden zu allen Zeiten des Jahres Fische (einzige Art im Gossenköllesee: *Salmo trutta t. fario*) gefangen und von Univ.-Doz. Dr. Roland PECHLANER (Institut für Zoologie der Universität Innsbruck) zur Untersuchung übernommen; erst ein Teil dieses Materials wurde bisher ausgewertet (PECHLANER, 1966b). Die ausführliche Darstellung von Artspektrum, Biomasse und Produktionsrate des Phytoplanktons unseres Beobachtungszeitraumes (NAUWERCK in Vorbereitung) sowie Informationen vor allem über den Anteil des Zooplanktons an der Nahrung des Fischbestandes des Gossenköllesee (PECHLANER in Vorbereitung) und die hier vorgelegten Daten werden sich gegenseitig ergänzen.

Diese im wesentlichen auf meiner 1966 abgeschlossenen Dissertation „Umweltfaktoren und Lebewelt im Pelagial des Gossenköllesee (Kühtai, Stubai Alpen, 2.413 m)“ beruhende Veröffentlichung geht der Kürze wegen ausschließlich auf die physiographischen Bedingungen und das Zooplankton des Sees ein und diskutiert die wesentlichen Resultate an Hand graphischer Darstellungen. In ausführlicher Form sind sämtliche Unterlagen in meiner Dissertation enthalten, die an der Österreichischen Nationalbibliothek in Wien, an der Universitätsbibliothek Innsbruck sowie am Institut für Zoologie der Universität Innsbruck zur Verfügung steht.

Ich darf auch hier meinen Dank an Herrn Univ.-Prof. Dr. Otto STEINBÖCK zum Ausdruck bringen, der mir die Liebe zur Limnologie vermittelte. In gleicher Weise gilt mein Dank seinem Nachfolger, dem jetzigen Vorstand des Zoologischen Instituts der Universität Innsbruck, Herrn Univ.-Prof. Dr. Heinz JANETSCHKEK. Er war es, der diese Untersuchungen durch sein Wohlwollen und durch Bereitstellung sämtlicher dazu notwendigen Arbeitsmöglichkeiten im Labor und bei der Feldarbeit förderte. Prof. JANETSCHKEK hat mir in seinem Assistenten, Univ.-Doz. Dr. Roland PECHLANER, einen unentbehrlichen Helfer und Berater beigegeben, der nie müde wurde,

mir bei allen auftauchenden Schwierigkeiten zu helfen. Auch Univ.-Doz. Dr. Roland PECHLANER gilt daher mein großer Dank.

Frl. Ilse MUSEK verdanke ich einen Teil der chemischen Analysen. Finanziell wurde meine Arbeit durch die Alpine Forschungsstelle der Universität Innsbruck in Obergurgl wesentlich gefördert. Schließlich will ich allen jenen Kolleginnen und Kollegen danken, die mir immer wieder in selbstloser Weise bei der Feldarbeit geholfen haben: K. REICHL, G. SCHIMITSCHECK, A. LANG und H.-J. KRAUS.

## A. Physikalische Umweltfaktoren

### 1. Geologie und Geomorphologie der näheren Umgebung

Das Kühtai Seengebiet liegt 36 km west-süd-westlich von Innsbruck in 47° 13' n. Br. und 11° 01' ö. L. im nördlichen Teil der Stubai Alpen. Der Kühtaiertalboden ist das gemeinsame Quellgebiet des nach Osten ziehenden Sellraintales und des westwärts entwässernden Needertales (Abb. 1). Während der Eiszeiten war dieses Gebiet vollkommen mit Eis bedeckt, doch ragten auch während der Hocheiszeit die Gipfel und Kämme, die den heutigen Wintersportort Kühtai umrahmen, über die Oberfläche des Inntal- und Ötztalgletschers empor. Nur der Längstalzug Needertal-Sellraintal wurde vom Ferneis überflutet (HEUBERGER, 1952, S. 225). Das Gebiet nördlich dieser Längstalfurche wurde inzwischen ganz eisfrei, während in den Tal-schlüssen südlich davon auch heute noch viele Gletscher zu finden sind.

Im Spätglazial haben sich durch glaziale Kolkwirkung am Fuß von Gefällssteilen oder hinter Endmoränen zahlreiche Seen gebildet, die zum Großteil im Laufe der Zeit wieder zugeschüttet wurden; nur ein Dutzend ist bis heute erhalten geblieben (Abb. 1).

Im Norden von Kühtai liegen die Stockacher Böden, eine weite Hochfläche, die durch eine steil nach Westen abfallende Geländestufe in zwei Teile geteilt wird (Abb. 2 und 3). Wir finden hier eine große Karmulde mit einer schönen, unversehrten Moränenlandschaft, die sich von 2.500 m bis an die Sohle des oberen Sellraintales hinabzieht. In dieser welligen Moränenlandschaft (Abb. 2), die am Ende der letzten Eiszeit entstanden ist (LADURNER, 1932, S. 338 und S. 402; HEUBERGER, 1952, S. 105 und S. 120), liegen 4 stehende Gewässer (Abb. 1), darunter auch der Gossenköllesee.

Das Grundgebirge, das wir hier finden, setzt sich in erster Linie aus kristallinen Schiefen mit gneisigem Charakter zusammen, hervorgegangen aus tonigen-sandigen Ablagerungen. Es sind Glimmerschiefer, Amphibolite und Granitgneise (HAMMER, 1929, S. 3f.). Der Gossenköllesee befindet sich auf einer in 2.400 m liegenden Terrasse. Er wird von einem mächtigen Moränenwall abgedämmt, der zum Teil sehr grobblockig ist und aus Amphibolit und Granitgneis besteht. Das Seebecken wird von drei Seiten von Bergen umrahmt, die es um 300—400 m überragen: Im Osten und Norden liegen

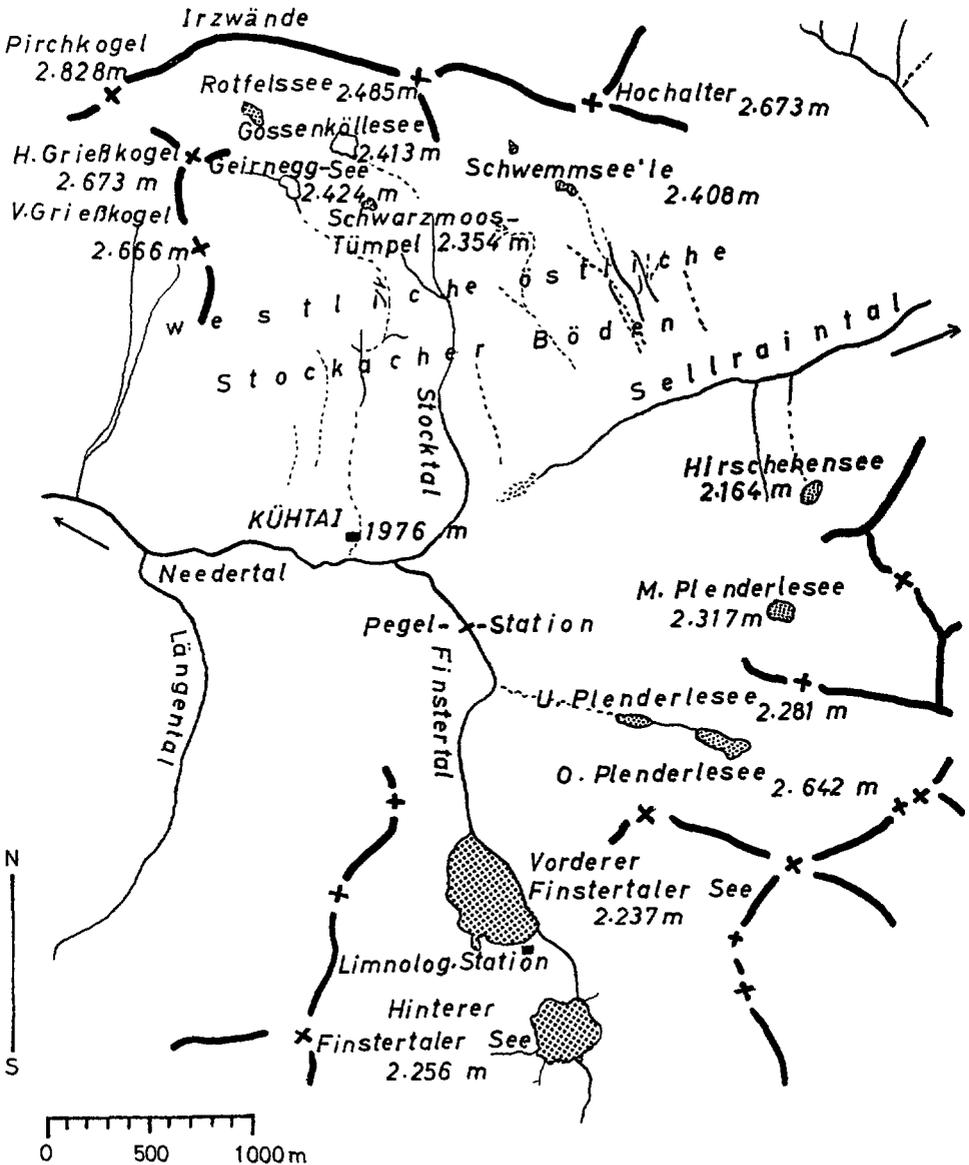


Abb. 1: Übersicht über das Küttaier Seengebiet.

die Irzwände (bis 2.700 m hoch, Hornblendeschiefer und Amphibolite), im WNW der Pirchkogel (2.828 m, zweiglimmerige Augen- und Flasergrneise) und im Westen der Hintere (2.673 m) und Vordere Griebkogel (2.666 m), beide mit der gleichen Gesteinszusammensetzung wie der Pirchkogel (OHNESORGE, 1905, S. 180) (Abb. 1, 2, 3).



Abb. 2: Blick vom Vorderen Finstertaler See gegen die Stockacher Böden, gegen Pirchkogel (links im Hintergrund) und gegen die Irzwände! Der Pfeil markiert die Lage des Gossenköllesees.  
Aufn.: Th. Eppacher



Abb. 3: Blick vom Pirchkogel auf den Gossenköllesee.

Aufn.: Th. Eppacher

## 2. Hydrographie

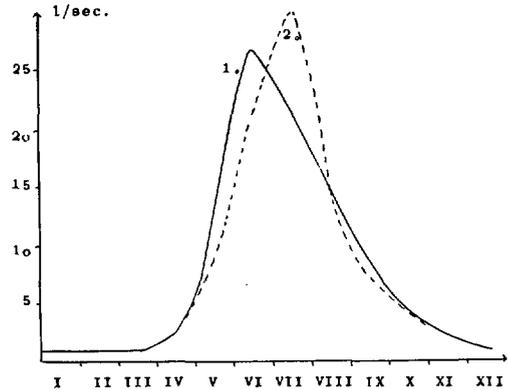
Das Einzugsgebiet des Gossenkölleseees beträgt mit 0,2 km<sup>2</sup> nur ca. das 11fache seines Oberflächenareals. Der See besitzt keinen ständigen oberirdischen Zu- und Abfluß. Er ist ein Sickerwassersee, der durch zahlreiche Rinnsale und einige unterirdische Quellen gespeist wird und über seine südostwärts gerichtete Moränenabdämmung Wasser verliert. Die Lage dieser Abflüsse, die in Abb. 4 durch Pfeile



Abb. 4: Gossenköllesee mit Blick gegen SE. Die Pfeile zeigen die Lage der Abflüsse durch den Moränenwall.  
Aufn.: Th. Eppacher

gekennzeichnet ist, wurde dadurch festgestellt, daß die Randpartien des Sees an seinem SE-Ufer mit Natrium-Fluorescein (Uranin,  $C_{20}H_{10}Na_2O_5$ ) gefärbt wurden. Es zeigte sich, daß das gesamte gefärbte Wasser innerhalb kurzer Zeit an mehreren Stellen des SE-Ufers abfloß und nach ca. 3 Stunden im sogenannten Schwarzmoos wieder zum Vorschein kam (Entfernung ca. 300 m, Höhenunterschied ca. 50 m). Eine exakte Messung der Abflußmenge war nicht möglich, weil das Wasser zwischen sehr großen Felsblöcken floß und sich bald mit anderen Quellen mischte. Dauernde Beobachtungen im Sommer 1965 erlaubte jedoch eine Schätzung der Abflußmengen, die in Abb. 5 als Kurve 2 eingetragen sind. Die Kurve 1 in Abb. 5 basiert auf Werten, die sich für den Jahresgang des Durchflusses durch den Gossenköllesee ergeben, wenn man die von der „Studiengesellschaft Westtirol Ges. m. b. H.“ an der Pegelstation

Abb. 5: Abflußmengen am Gossenköllesee nach Schätzungen für das Jahr 1965 (Kurve 2) und durchschnittliche Abflußmenge bei Pegel Kühtai von 1959—1964, bezogen auf ein Einzugsgebiet von 0,2 km<sup>2</sup> (Kurve 1).



am Finstertalbach bei Kühtai (vgl. Abb. 1) von 1959—1964 registrierten Abflußmengen auf ein Einzugsgebiet von 0,2 km<sup>2</sup> umrechnet. Aus Abb. 5 läßt sich entnehmen, daß

im Jahre 1965 ca. 240.000 m<sup>3</sup> Wasser durch den Gossenköllesee geflossen sind, was dem Dreifachen seines Volumens entspricht. Da der größte Teil dieses Durchflusses auf Schmelzwasser entfällt, das den eisbedeckten See in den obersten Zonen durchfließt, ohne sich mit dem übrigen Wasserkörper wesentlich zu mischen, ist der Koeffizient für die faktische jährliche Wassererneuerung kleiner als 1. Es wäre denkbar, daß der Wasserdurchfluß auch in der eisfreien Zeit den Gossenköllesee in einem relativ engen Bereich seines Querschnittes durchzieht. Mehrfache Versuche, derartige horizontale Strömungen mit Hilfe verschieden tief reichender Driftkörper nachzuweisen, blieben aber erfolglos.

Im Verlauf der eisfreien Zeit sinkt der Seespiegel um 30—40 cm und in der ersten Winterhälfte geht die Spiegelhöhe um weitere 35 cm zurück. Setzt aber die Schneeschmelze wieder ein, steigt auch der Spiegel des Sees wieder und erreicht bald den normalen Stand.

### 3. Morphometrie

In Abb. 6 sind Uferlinie und Isobathen des Gossenköllesees nach einer Vermessung wiedergegeben, die 1960 von H. VENERI in Zusammenarbeit mit Univ.-Doz. Dr. Helmut HEUBERGER (Geographisches Institut und Institut für Alpengeographie der Universität Innsbruck: Vorstand: Univ.-Prof. Dr. Hans KINZL) durchgeführt worden war. Die einzelnen Lotungspunkte sind in dieser Karte durch kurze, die Isobathen schneidende Striche oder durch Kreuze gekennzeichnet. Diese Profile lassen erkennen, daß der Verlauf der Isobathen im westlichsten Teil der Karte nicht so gut gesichert ist wie für den übrigen Bereich des Sees.

Die Morphometrie des Gossenköllesees ist nach dieser neueren Vermessung durch folgende Parameter gekennzeichnet (die von entsprechenden Angaben bei LEUTELT-KIPKE 1934 und STEINBÖCK 1955 abweichen):

Oberflächenareal: 16.690 m<sup>2</sup>

Volumen: 78.170 m<sup>3</sup>

Länge: 203 m

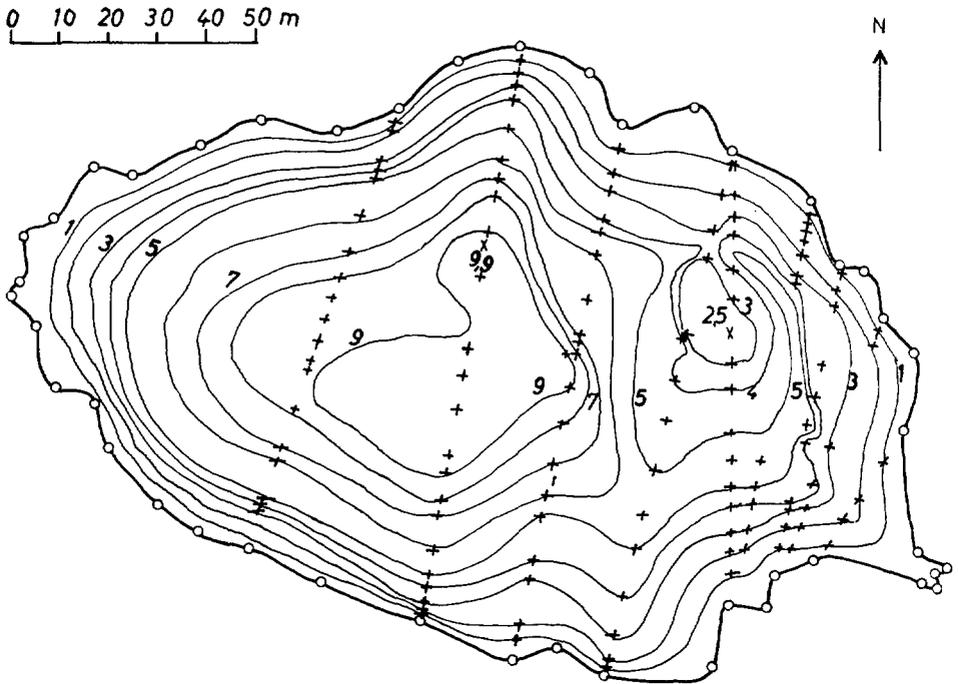


Abb. 6: Isobathenkarte des Gossenköllesee.

Breite: 120 m

Maximale Tiefe: 9,9 m

Mittlere Tiefe: 4,7 m

Die Seehöhe des Gossenköllesee ( $h = 2.413$  m) wurde der Karte 1:25.000 des Österreichischen Alpenvereins (1950) entnommen. Auch die Schreibweise des Namens unseres Sees lehnt sich an die mit der Ausgabe dieser Karte angestrebten Vereinheitlichung der Ortsnamen an.

Der Grund des Gossenköllesee wird vorwiegend von grobem Blockwerk gebildet; lediglich in 8–9,9 m Tiefe herrscht feiner Schlamm vor.

#### 4. Die Strahlungsverhältnisse

##### 4.1. Die Horizontabschirmung des Sees

Über die Horizontabschirmung am Gossenköllesee geben die als Abb. 2 und 3 wiedergegebenen Fotografien eine gute Vorstellung. Der Grad der Überhöhung des Horizontes wurde mit dem „Horizontoskop“ der Fa. TONNE (Stuttgart) vom eisbedeckten See aus gemessen (je eine Ablesung pro  $10^\circ$ ) und in Abb. 7 graphisch dargestellt.

Der See weist die größte Horizontüberhöhung im NNW und NNE auf, was durch die Irzwände bedingt ist. Hier ist es vor allem die Himmelsstrahlung, die vom See abgehalten wird. Dieser scheinbare Nachteil für das Strahlungsklima wird größtenteils ausgeglichen durch die Reflexstrahlung von den Berghängen, die in diesem Falle 7–9 Monate des Jahres mit Schnee

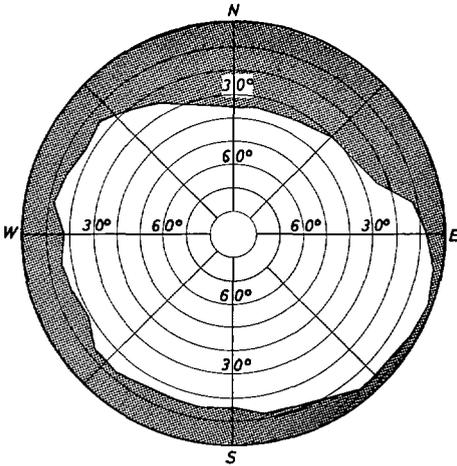


Abb. 7: Die Horizontabschirmung des Gossenköllesee.

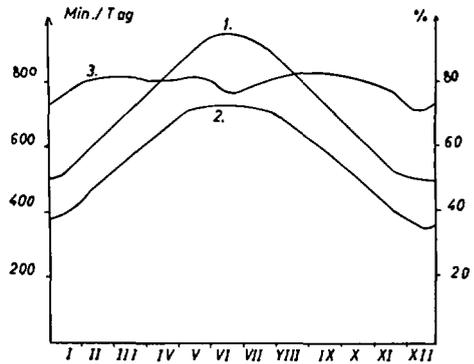


Abb. 8: 1. = Jahresgang der astronomisch möglichen Sonnenscheindauer.  
2. = Jahresgang der örtlich möglichen Sonnenscheindauer  
3. = %-Anteil der örtlich möglichen an der astronomisch möglichen Sonnenscheindauer.

bedeckt sind. Auch wird der See durch diese Bergumrahmung gegen die kalten Nordwinde abgeschirmt (vgl. DIRMHORN, 1964, S. 190–194).

Die Überhöhung im E und SSE ist so gering, daß hier dem See fast keine Strahlung verloren geht. Von SWW bis NWW ist zwar nach Abb. 7 nur eine kleine Horizontüberhöhung, sie verkürzt aber im Winter die Dauer der möglichen Sonnenbestrahlung des Sees ganz erheblich.

In Abb. 8 finden wir die Jahresgänge für die astronomisch mögliche und die örtlich mögliche Sonnenscheindauer sowie die Prozentanteile der örtlich möglichen an der astronomisch möglichen Sonnenscheindauer. Die einzelnen Daten wurden aus Abb. 7 und einer graphischen Darstellung der für Küttai gültigen Sonnengänge entnommen, die von Dr. Werner MAHRINGER (Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik in Wien) auf Grund entsprechender Berechnungen angefertigt worden war (der Ablesefehler beträgt in unserem Fall 1–2%).

Das Verhältnis zwischen der örtlich möglichen und der astronomisch möglichen Sonnenscheindauer am Gossenköllesee ist während des ganzen Jahres ziemlich gleichmäßig, nur in den Wintermonaten sowie im Juli sinkt der Anteil der örtl. möglichen an der astronomisch möglichen Sonnenscheindauer etwas ab. Im Sommer wird dem See durch die Horizontüberhöhung im E und NE am Morgen ein Teil der Strahlung entzogen, das Minimum im Dezember–Jänner hingegen wird vor allem durch die Horizontüberhöhung im SW verursacht. Im Jahresdurchschnitt kann der See 79% der astronomisch möglichen Sonnenscheindauer erhalten (Minimum von 70% im Dezember, Maximum von 83% im August).

#### 4.2. Die Globalstrahlung

Die auf den Gossenköllesee fallende kurzwellige Globalstrahlung (300–3.000 nm) konnte von Juni bis November 1965 mit einem ROBITZSCH-Aktinographen registriert

werden, der am SE-Ufer des Sees, 1 m über dem Dach der in Abb. 4 erkennbaren Hütte, montiert war. Ich will nicht versäumen, auch an dieser Stelle der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik in Wien zu danken, die das Gerät in geeichtem Zustand zur Verfügung stellte und die Auswertung der Registrierstreifen übernahm.

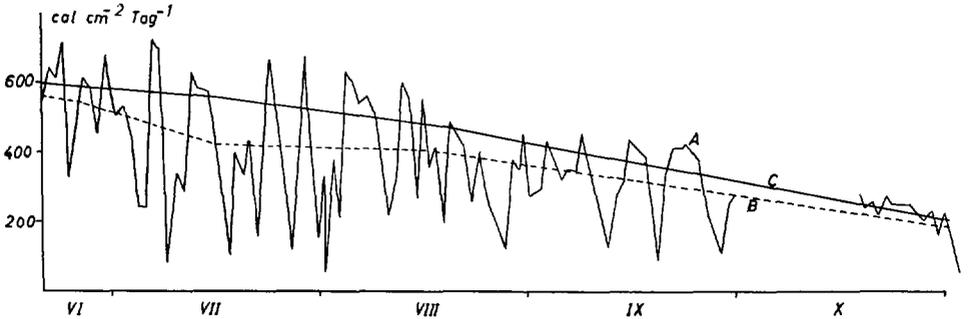
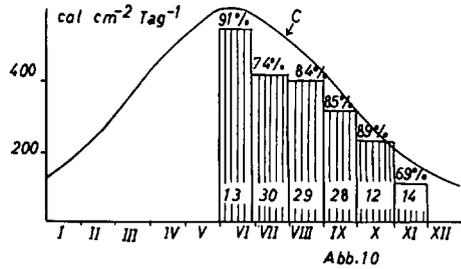


Abb. 9: Tagessummen der Globalstrahlung (Erklärung im Text, S. 42).

Die Resultate dieser Messungen sind Abb. 9 und 10 zu entnehmen: In Abb. 9 verbindet die Kurve A die registrierten Tagessummen. Die daraus errechneten Monatsmittel liegen an der strichlierten Kurve B. Zum Vergleich sind schließlich (Linie C) jene Mittelwerte für die Tagessummen der Globalstrahlung eingetragen, die nach SAUBERER und DIRMHORN (1958, S. 52) in einer Seehöhe von 2.400 m bei freiem Horizont und gleichmäßigem Auftreten aller Bewölkungsgrade zu erwarten wären in den einzelnen Monaten. Die Werte der Kurve B betragen 83 bis 84% von C; sie liegen 3–4% höher, als nach Berücksichtigung der Abschirmung von Sonnenstrahlung im Regeljahr einfallen sollte. Diese Diskrepanz überrascht vor allem deshalb, weil der Sommer 1965 verhältnismäßig kalt und niederschlagsreich war. Die Ursache der unerwarteten Höhe der Tagessummen dürfte wohl in der Tatsache zu suchen sein, daß die Hänge um den See im Juni-Juli noch vollkommen mit Schnee bedeckt waren, im August stellenweise noch Schnee trugen und im September für einige Tage Neuschnee gefallen war.

Die an wolkenlosen Tagen registrierten Summen machen im Juni 87%, im Juli 88%, im August 84% und im September 78% der bei freiem Horizont und 0/10 Bewölkung in 2.400 m zu erwartenden Werte aus. Die entsprechenden Prozentsätze der örtlich möglichen an der astronomisch möglichen Sonnenscheindauer lauten 76, 78, 83 und 82%, während der See mit einer durchschnittlichen Horizontüberhöhung von  $17^{\circ} 19'$  der Himmelsstrahlung verlieren sollte. Hier sieht man deutlich den Einfluß der schneebedeckten Hänge mit ihrer die Himmelsstrahlung verstärkenden Reflexwirkung. Dieser Effekt wird noch deutlicher, wenn wir die Werte an bedeckten Tagen vergleichen und wieder die Prozentanteile bestimmen. Diese

Abb. 10: Monatsmittel der Globalstrahlung  
(Erklärung im Text, S. 43).



lauten: Juni 97%, Juli 86%, August 86% und im September 82%. Nach der Horizontüberhöhung müßten alle Werte bei 81% liegen.

In Abb. 10 sind die gleichen Verhältnisse wie in Abb. 9 in einer Form dargestellt, die einen Vergleich mit der Situation an der nahen Limnologischen Station Kühtai (PECHLANER, 1966a, Abb. 15 auf S. 188) erleichtert. Die ausgezogene Linie C bedeutet wieder die berechneten Werte für 2.400 m, freien Horizont und das Mittel aller Bewölkungsgrade. Die Säulen bedeuten die Monatsmittelwerte, die am See gemessen wurden. Die Prozentsätze geben uns den Anteil der registrierten Werte an den berechneten Werten und die Ziffern am Fuß der Säulen bedeuten die Zahl der Meßtage. Es zeigt sich, daß das Strahlungsklima des Gossenkölleesees erheblich günstiger ist als das der Finstertaler Seen. Zu beachten ist allerdings, daß die Meßwerte der Sommermonate des Jahres 1965 nur mit großer Unsicherheit auf andere Jahre übertragbar sind.

### 4.3. Die spektrale Transmission des Wassers

Die Transmissionsverhältnisse im Gossenköllesee wurden mit Hilfe eines Unterwasserfotometers mit großem Filtersatz (SAUBERER, 1962) bestimmt (wie bei PECHLANER, 1966a, S. 190f. beschrieben, doch habe ich als Anzeigergerät für den Fotostrom das Zeiger-Amperemeter Nr. 130305 von Görz, Wien, verwendet). Spektralbereich und optischer Schwerpunkt bei Kombination eines Selenfotoelements der Fa. FALKENTHAL & PRESSER (Type UV) mit den verwendeten Glasfiltern des JENAER Glaswerkes SCHOTT und Gen., Mainz, sind in Tab. 1 enthalten. Für die Tatsache, daß sich der optische Schwerpunkt der Apparatur mit zunehmender Meßtiefe verschiebt, weil sich die darüberliegende Wasserschicht als zusätzliches Filter vor das Fotometer schaltet, wurde eine Korrektur angebracht; der Einfluß dieses Effekts war aber in unserem Fall nur für die Wellenlängen um 680 nm signifikant.

Bezüglich der hier verwendeten Terminologie sowie der mathematischen Grundlagen der in Tab. 1 angeführten prozentuellen Transmission und des „vertikalen Extinktionskoeffizienten“ sei auf SAUBERER und RUTTNER (1941, S. 47f.), VOLLENWEIDER (1955) und SAUBERER (1962) verwiesen.

Wie Tab. 1, noch besser aber die graphischen Darstellungen der optischen Eigenschaften des Gossenkölleesees in den Abb. 11–13 zeigen, ergaben sich an den drei Meßtagen nicht dieselben Resultate. Die Unterschiede dürften in erster Linie mit der Phytoplanktondichte zusammenhängen.

Filter	Fotoelement- Filter-Komb.	21. August 1964		12. August 1965		23. September 1965		
	Spektral- bereich (nm)	Optischer Schwer- punkt (nm)	Trans- mission (%)	Vertikaler Extink- tions- koeffizient	Trans- mission (%)	Vertikaler Extink- tions- koeffizient	Trans- mission (%)	Vertikaler Extink- tions- koeffizient
UG <sub>1</sub> +BG <sub>12</sub>	324-408	371	78	0,25	88	0,13	86	0,15
BG <sub>12</sub>	320-520	417	82	0,20	90	0,10	87	0,14
VC <sub>9</sub>	440-660	525	84	0,18	92	0,08	88	0,13
OG <sub>12</sub> +BG <sub>18</sub>	540-660	581	81	0,21	88	0,13	84	0,18
RG <sub>2</sub>	600-740	652	57	0,57	67	0,40	61	0,50
RG <sub>5</sub>	640-740	680	—	—	58	0,55	50	0,69

Tab. 1: Prozentuelle Transmission und „Vertikaler Extinktionskoeffizient“ pro 1 m Wasser des Gossenköllesee für 6 Spektralbereiche

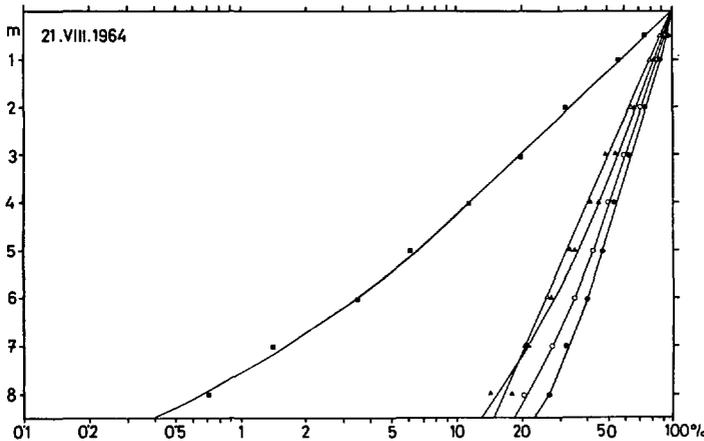


Abb. 11

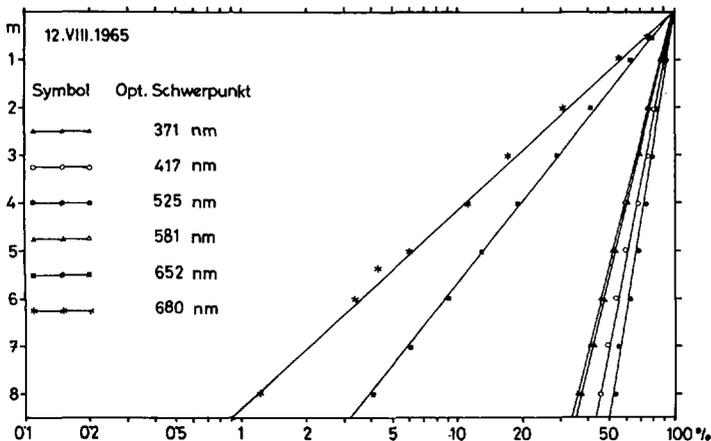


Abb. 12

Abb. 11 - 12:  
Spektrale Trans-  
mission in % auf  
die Oberfläche auf-  
fallenden Strahlung  
am 21. 8. 1964 und  
am 12. 8. 1965

Abb. 13

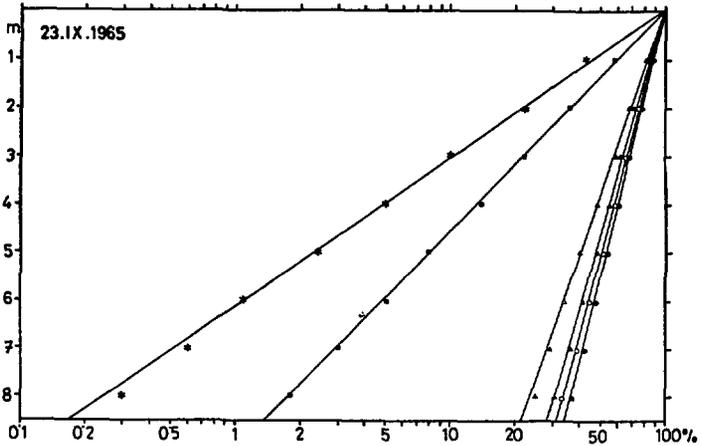


Abb. 13:  
Spektrale Transmission in % der auf die Oberfläche auffallenden Strahlung am 23. 9. 1965.

Am 12. August 1965, 2 Wochen nach dem Eisfreiwerden des Sees, ergab sich die größte Durchlässigkeit. Auch am 23. September 1965 ist die Transmission immer noch größer als am 21. August 1964, da der Sommer 1964 warm und schön war, so daß der See schon Mitte Juni eisfrei wurde und daher die Planktonentwicklung weiter fortgeschritten war, als es Ende September des darauffolgenden Jahres der Fall war. Interessant ist auch die Abnahme der Durchlässigkeit in den Schichten zwischen 7—8 m am 21. August 1964; sie läßt dort eine starke Phytoplanktonanhäufung erwarten.

Die Schwankungen des Transmissionskoeffizienten in den einzelnen Spektralbereichen beträgt im Jahresgang durchschnittlich nur 9%; auch in vertikaler Richtung sind die Unterschiede nicht sehr groß, mit Ausnahme des 21. Augusts 1964.

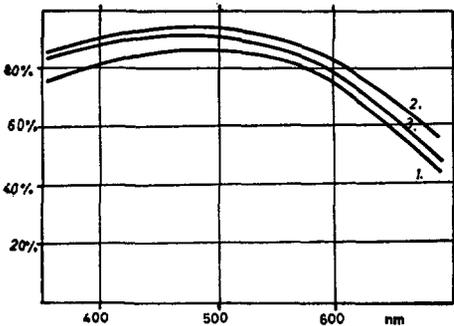


Abb. 14: Durchschnittliche Transmission pro m: Kurve 1 = 21. 8. 1964.  
Kurve 2 = 12. 8. 1965 und  
Kurve 3 = 23. 9. 1965.

In Abb. 14 ist die durchschnittliche prozentuelle Transmission an den 3 Meßtagen wiedergegeben. Nach diesen Kurven würde sich für die „optische Kennung“ des Gossenkölleesee die Zahl 998 ergeben. Die optische Kennsumme würde 26 lauten (für destilliertes Wasser 28).

Auch auf die Strahlungsdurchlässigkeit der Winterdecke sei noch hingewiesen. Zur Zeit der Eisbedeckung konnten an drei verschiedenen Tagen Strahlungs-

messungen vorgenommen werden. Dabei habe ich das Photometer mit Hilfe eines rechtwinkelig gebogenen Auslegers 2 m vom Bohrloch entfernt bis  $\frac{1}{2}$  m unter die Eisdecke gebracht. Das Bohrloch selbst wurde wieder abgedunkelt. Es herrschte bei den Messungen jeweils wolkenloses Wetter und die Arbeit wurde um die Mittagszeit ausgeführt (11—13 Uhr). Am 14. Jänner 1965 konnte bei einer Winterdecke von 108 cm (50 cm Schnee über Wasser, 7 cm Schneematsch, 33 cm Trübeis und 18 cm klares Primäreis) kein Ausschlag des Amperemeters festgestellt werden, weil dieses eine zu geringe Empfindlichkeit besaß.

Am 10. März 1965 wurde als Anzeigerät für den Photostrom ein Lichtstrahlgalvanometer verwendet. Es stellte sich heraus, daß trotz einer Winterdecke von 154 cm Mächtigkeit (53 cm Pulverschnee über Wasser, 34 cm Schneematsch in 3 Lagen, 54 cm Trübeis in 4 Schichten, 13 cm klares Primäreis) noch 0,01—0,04% der Oberflächenintensität der kurzwelligen Strahlung unter Eis vorhanden waren.

Am 3. April 1965 wurde mit demselben Lichtstrahlgalvanometer eine weitere Messung vorgenommen, doch ließ die Winterdecke dieses Tages (vgl. Abb. 19) bereits weniger Strahlung durchtreten, als mit unserem Gerät nachzuweisen gewesen wäre. Bezüglich der Strahlungsdurchlässigkeit des Vorderen Finstertaler Sees vgl. PECHLANER, 1966a, S. 192.

Die Sichttiefe (mit Hilfe einer weißen Secchischeibe von 25 cm Durchmesser bestimmt) reichte in den eisfreien Sommermonaten immer bis zum Grund. Zur Zeit der Eisbedeckung sank sie langsam ab, bis im März-April mit 5,8 m das Minimum erreicht wurde. Am 25. Juni 1965 (163 cm Winterdecke) erreichte die Sichttiefe wieder 9,9 m.

## 5. Die Thermik des Sees

Obwohl der Gossenköllesee der höchstgelegene der eingehender untersuchten Kühtaler Seen ist, erwärmt er sich doch stärker als die übrigen. Seine ausgesprochene Südlage und die für die Sonneneinstrahlung günstige Horizontüberhöhung gleichen den Einfluß der Meereshöhe aus. Die Temperaturmessungen wurden mit Hilfe eines Quecksilberthermometers mit Zehntelgraduierung vorgenommen. Dieses Thermometer war in einen Ruttnerschöpfer von 1,3 Liter Fassungsvermögen eingebaut. Auch die Proben für die chemischen Analysen wurden mit Hilfe des Ruttnerschöpfers entnommen. Die Temperatur wurde in jeder einzelnen Meterstufe gemessen, die Oberflächentemperatur wurde in 0,3 m eruiert. Zur Zeit der Eisbedeckung wurde die erste Messung direkt unter Eis vorgenommen.

### 5.1. Jahresgang der Temperatur

Der See wird je nach Witterung erst Mitte Juni (1964) bis Ende Juli (1965) eisfrei. Nach dem Eisfreiwerden befindet sich der See in kurzer Vollzirkulation. Bald darauf setzte sich im Jahre 1964 eine deutliche thermische Schichtung durch, die zunächst aus einem Epi- und Metalimnion bestand (Abb. 15—17). Mit fortschreitender

Erwärmung zeigte sich dann die typische Dreiteilung, die die Sommerstratifikation eines Sees charakterisiert: Epi-, Meta- und Hypolimnion; das Hypolimnion ist allerdings nicht sehr mächtig.

Die maximale Oberflächentemperatur betrug 1962  $14,4^{\circ}\text{C}$  (13. August), im Jahre 1964  $13,9^{\circ}\text{C}$  (7. August) und im Jahre 1965  $11,3^{\circ}\text{C}$  (21. August).

Die Abkühlung des Sees begann in den Jahren 1962 und 1965 erst im letzten Drittel des August, im Jahre 1964 bereits nach dem 7. August, weil in diesem Jahr zwischen dem 7. und 14. August ausgesprochen unfreundliches Wetter herrschte (Schneefälle bis unter 1.800 m).

Hingewiesen sei ausdrücklich auf die Tiefentemperaturen am 7. und 14. August 1964. Es zeigt sich an diesen Tagen eine deutliche Abkühlung des Hypolimnions um  $0,6^{\circ}\text{C}$ . Ihre Ursache ist wohl darin zu suchen, daß sich zufolge der Schneefälle in dieser

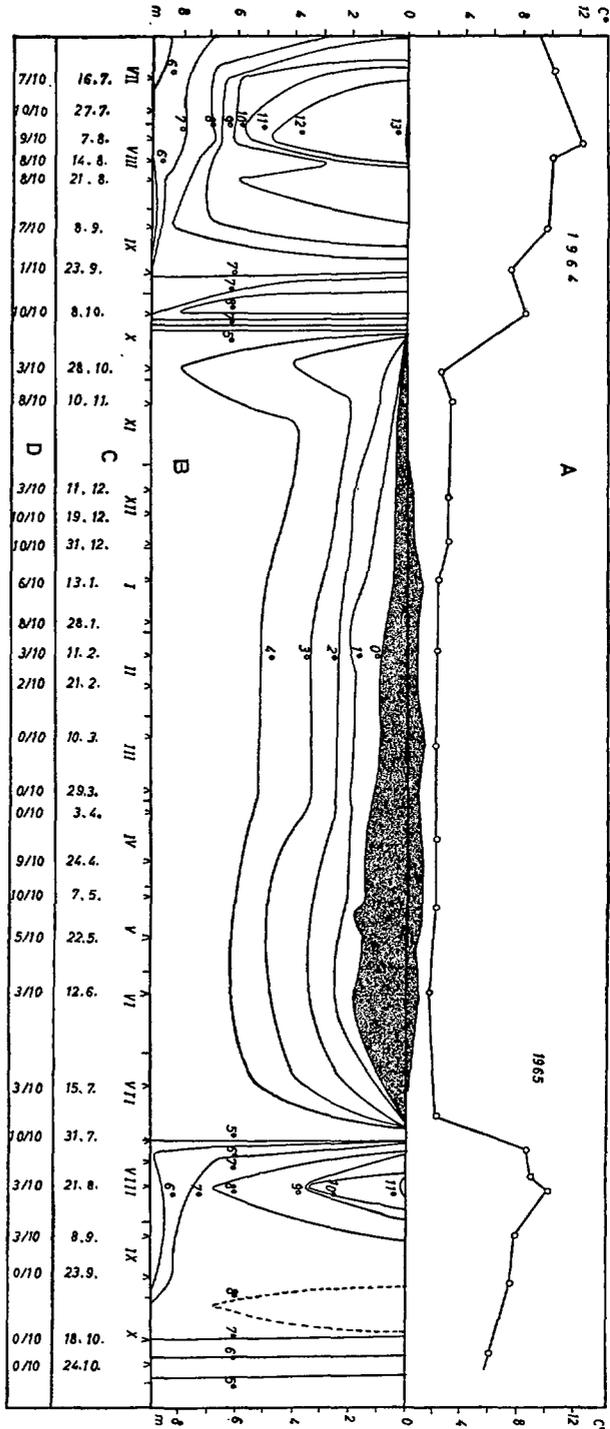


Abb. 15: Mittlere Temperatur (A), Isothermen (B) sowie Bewölkungsgrad (D) an 31 Meßtagen (C).

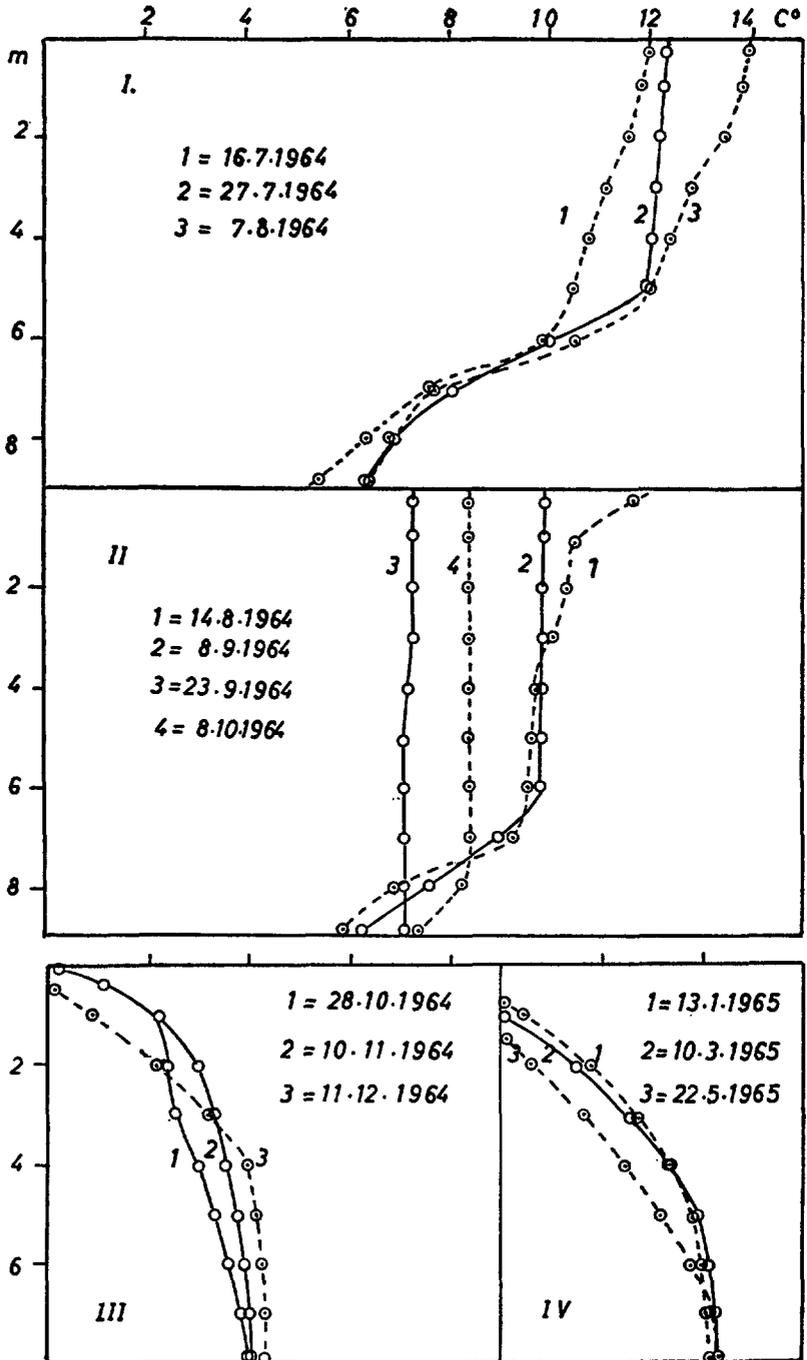


Abb. 16: Temperaturschichtung im Sommer und Herbst 1964 sowie im Winter 1964/65.

Zeit kaltes Schmelzwasser in den bodennahen Bereich eingeschichtet hatte. Ein solches Absinken der Tiefentemperaturen konnte auch in den Jahren 1962 und 1965 einige Male beobachtet werden.

Auch die Tatsache, daß die Herbstzirkulation im Gossenköllesee durch eine Periode neuerlicher direkter thermischer Schichtung unterbrochen wurde, verdient unsere Aufmerksamkeit. Am 24. September 1964 zeigte der See zwischen 0 und 9 m eine Temperaturdifferenz von  $0,2^{\circ}\text{C}$ ; dieser geringe Gradient befand sich zwischen 3 und 5 m. Die Zeit vorher war sehr kalt und mit Schneefällen verbunden; der See dürfte bereits homotherm gewesen sein, so daß in dieser Zeit die erste herbstliche Vollzirkulation stattgefunden hatte. Der kleine Temperaturunterschied zwischen 3—5 m zeigt bereits wieder den Beginn einer neuen Erwärmung an. Wie die Temperaturkurve vom 8. Oktober 1964 in Abb. 16 zeigt, hat sich der See in der Folgezeit tatsächlich noch um durchschnittlich  $1,1^{\circ}\text{C}$  erwärmt und es konnte sich nochmals eine deutliche Sprungschicht zwischen 8 und 9 m ausbilden. Auch im Herbst 1962 trat zwischen dem 25. September und 6. Oktober eine Erwärmung des Sees um  $1,1^{\circ}\text{C}$  ein. Eine solche Erwärmung wurde im Herbst 1965 zwar nicht mehr registriert, weil die Messungen frühzeitig abgebrochen wurden, aber es ist anzunehmen, daß auch im Herbst 1965 nochmals eine deutliche Erwärmung des Sees eintrat, da auch dieser Herbst sehr schönes Wetter zeigte. Die Strichlierung der  $8^{\circ}$ -Isotherme in Abb. 15 weist auf diesen Zusammenhang hin.

Die Vereisung des Sees beginnt Mitte Oktober bis Mitte November. Im Jahre 1964 setzte der Winter schon am 8. Oktober mit heftigen Schneestürmen ein. Am 28. Oktober 1964 besaß der See bereits eine Winterdecke von 11 cm, die ausschließlich aus klarem Primäreis bestand. Die Temperatur stieg nach Ausbildung der Eisdecke zunächst in allen Schichten an. Zwischen dem 28. Oktober und dem 11. November 1964 erhöhte sich die mittlere Temperatur des Gossenköllesee um  $0,6^{\circ}\text{C}$ . Die  $4^{\circ}$ -Isotherme stieg bis zum 11. Dezember 1964 von 8 m auf 4 m Tiefe empor. Die Ursache dieser Erwärmung ist einerseits in der Abgabe der im Bodengrund gespeicherten Sommerwärme zu suchen, andererseits bekommt der See durch die Sonneneinstrahlung weiterhin Wärme nachgeliefert (klares Eis hat fast dieselbe Durchlässigkeit für kurzweilige Strahlung wie Wasser). Wir finden dieses Ansteigen der Temperatur im Gossenköllesee nur so lange, als klares Primäreis allein die Winterdecke bildet. Sowie Ende November 1964 durch weitere Schneefälle eine Trübeisschicht mit darüberliegender Schneedecke hinzukam, hörte der Temperaturanstieg auf und es begann die winterliche Abkühlung.

In den oberen Schichten änderte sich im Verlauf des Winters an der Temperatur nicht mehr sehr viel. Die einzelnen Isothermen sanken mit zunehmender Mächtigkeit der Winterdecke auch entsprechend in die Tiefe. Ja, man könnte allein aus dem Bild der Isothermen auf die Ausbildung der Winterdecke schließen (vgl. Abb. 15 und 19).

Eine interessante Erscheinung im Gossenköllesee sind die winterlichen Tiefentemperaturen, die bald nach Ausbildung der Winterdecke auf  $4,2$ — $4,4^{\circ}\text{C}$  ansteigen. Schon LEUTEIT-KIPKE berichtet (1934, S. 302), daß die Tiefentemperaturen im

Februar 1932 um  $0,3^{\circ}$  höher waren als im Jänner desselben Jahres. Voraussetzung für die stabile Schichtung des sich über das Dichtemaximum erwärmenden Wassers ist die Erhöhung der Leitfähigkeit in den bodennahen Schichten. Der Dichteunterschied zwischen  $4$  und  $4,4^{\circ}$  C beträgt  $0,0000015$  mg. In den bodennahen Schichten konnte zur Zeit der Eisbedeckung ein durchschnittliches Ansteigen der Leitfähigkeit um  $2,5 \mu\text{S}$  festgestellt werden, was nach einer Tabelle von BERGER (unveröffentlicht) einer Dichtezunahme von  $0,0000023$  entspricht. Instabil würde die Schichtung bei dem angegebenen Salzgehalt erst bei einer Wassertemperatur von  $4,6^{\circ}$  C. Tatsächlich konnte am 12. Juni 1965 in einer Tiefe von  $9$  m noch eine Temperatur von  $4,5^{\circ}$  C gemessen werden.

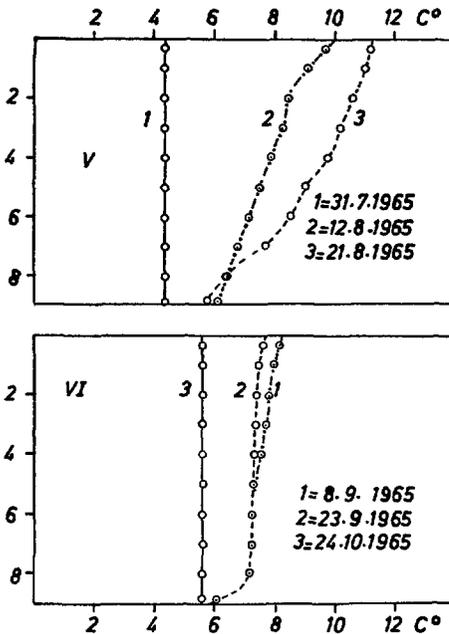


Abb. 17: Temperaturschichtung im Sommer 1965.

wurde das graphische Verfahren von ECKEL (1950) angewendet. Es zeigt sich, daß die Stabilität im Gossenköllesee sehr rasch ansteigt, nach

Abb. 17a: Wahre mittlere Temperatur in den Sommermonaten 1962, 1964 und 1965.

Infolge der schlechten Witterung wurde der See im Sommer 1965 erst am 30. Juli eisfrei. An diesem Tag zeigte der See eine Homothermie von  $4,4^{\circ}$  C. Bald setzte sich auch in diesem Sommer eine thermische Schichtung durch, die aber nicht so ausgeprägt war wie im Vorjahr (vgl. Abb. 17).

Nach der Einteilung von HUTCHINSON (1957, S. 440f.) würde der Gossenköllesee zur 2. Klasse der dimiktischen Seen gehören, und zwar zu den „subpolar dimiktischen“ Seen.

## 5.2. Die Stabilität der thermischen Schichtung

Für den Gossenköllesee waren die Temperaturen des Sommers 1964 eine geeignete Grundlage, die Änderung der Stabilität zu verfolgen (Tab. 2 und Abb. 18). Zur Berechnung

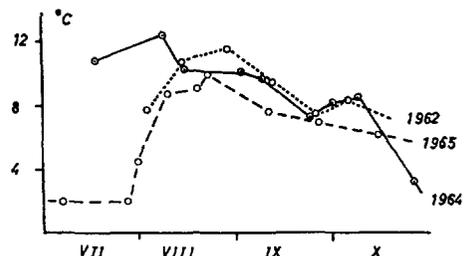
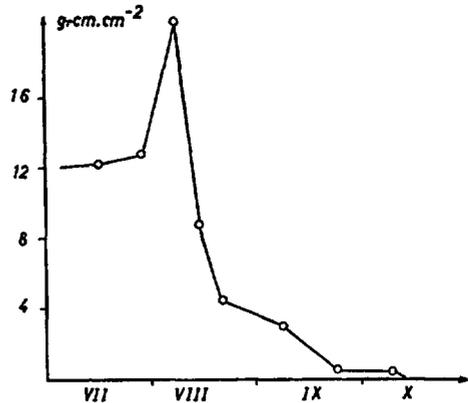


Abb. 18: Thermische Stabilität in den Sommermonaten 1964.



einem kurzen Höhepunkt aber ebenso rasch wieder abgebaut wird. Liegt jedoch das Clinolimnion schon sehr tief, geht der endgültige Abbau nur mehr sehr langsam vor sich.

16. 7.	27. 7.	7. 8.	14. 8.	21. 8.	8. 9.	23. 9.	8. 10. 1964
12,4	12,8	20,4	8,6	4,6	3,2	0,4	0,4 g-cm. cm <sup>-2</sup>
4. 8. 29.	4. 9. 30.	28. 7. 31.	13. 8. 62.	7. 8. 64.	21. 8. 1965		
11,7	11,4	9,5	20,1	20,4	10,5		10,5 g-cm. cm <sup>-2</sup>

Tab. 2: Werte für die Stabilität der thermischen Schichtung in den Sommermonaten 1967 (oben) und maximale Stabilitätswerte für verschiedene Jahre (unten), (Werte für 1929-1931 aus LEUTELT-KIPKE 1934, S. 288)

### 5.3. Entwicklung und Abbau der Winterdecke

Zu diesem Thema sei verwiesen auf das Werk von HUTCHINSON (1957, S. 528 ff.) und ganz besonders auf die Arbeit von PECHLANER (1966a, S. 179 ff.), die speziell die Verhältnisse an Hochgebirgsseen berücksichtigt.

Um das Werden, die innere Struktur und den Abbau der Winterdecke am Gossenköllesee näher studieren zu können, wurde die Winterdecke im Jahre 1964/65 insgesamt 21mal genau untersucht. Die Ergebnisse sind in Abb. 19 dargestellt. Darin bedeuten die senkrecht gestrichelten Linien die Besuchsstage, an denen die Struktur der Winterdecke genau untersucht wurde. Daß sich die Verhältnisse bei neuen Schneefällen sehr schnell ändern können und auch horizontale Unterschiede zu erwarten sind, ist bei der Wertung der Interpolation zu beachten.

Im Herbst 1964 fand ich am 28. Oktober eine Primäreisschicht von 11 cm Stärke, die aus klarem, durchsichtigen Eis bestand. Bis zum 11. November wuchs diese Primäreisdecke noch ein wenig an, und zwar auf 13 cm, dann aber wurde das Dickenwachstum dieser Klareisschicht stark eingeschränkt und hörte bald ganz auf. Sie blieb während des ganzen Winters in der Stärke von 13—16 cm erhalten.

Über der Klareisschicht bildete sich bereits bis zum 11. November eine Trübeissschicht, hervorgegangen aus durchfeuchtetem Schnee, der dann gefror. Diese Schicht wuchs bis Ende Dezember auf eine Mächtigkeit von 36 cm an, dann aber war die darüberliegende Schneedecke schon so mächtig, daß die Sekundäreisschicht bis zum Juli 1965 mit 36—45 cm konstant blieb.

Wenn durch neue Schneefälle die Winterdecke in die Tiefe gedrückt wird, dann werden die unteren Schneeschichten durchfeuchtet. Der Schneematsch friert von

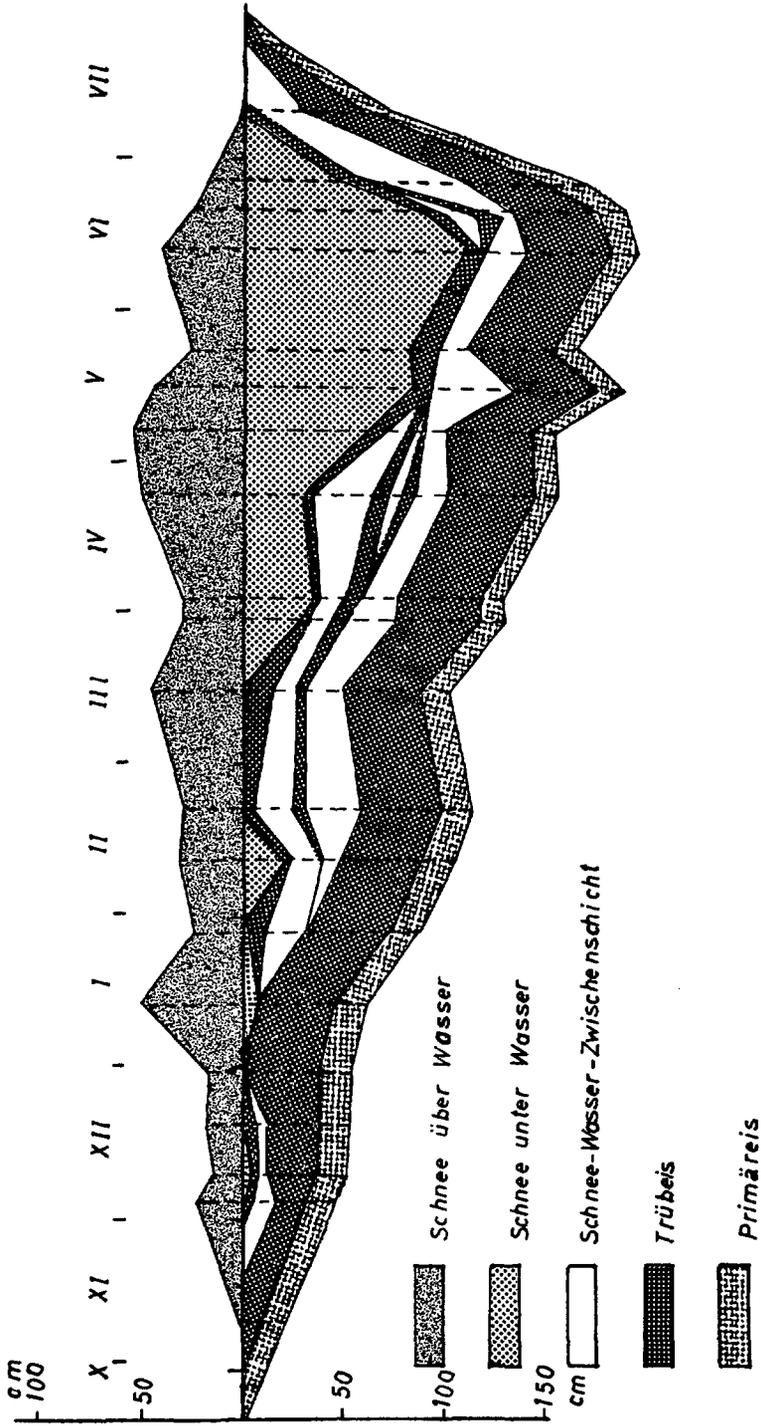


Abb. 19: Entwicklung und Abbau der Winterdecke am See im Winter 1964/65.

oben her zu Trübeis. Wenn aber die Isolation nach außen zu groß ist, daß ein vollkommenes Durchfrieren nicht mehr möglich ist, kommt es zur Bildung von Schnee-Wasser-Zwischenschichten mit mehr oder weniger dünner darüberliegender Trübeis-schicht. Dies wiederholt sich bei jedem neuen Schneefall. So konnten am 24. April 1965 gleich drei solcher Schnee-Wasser-Zwischenschichten mit 30,8 und 19 cm Mächtigkeit mit drei dazwischenliegenden Trübeisschichten von 2,8 und 6 cm Mächtigkeit festgestellt werden. Betrachtet man Abb. 19 unter dieser Rücksicht, so sieht man genau, wie diese Schichten sich zunächst aus der neuen Schneelage bilden und dann durch weitere Schneefälle in die Tiefe gedrückt werden. Es muß vorläufig offen bleiben, ob es dabei zu einem Auspressen des Wassers der Schneematschschicht und damit zu einer nachträglichen Vereinigung dünner Trübeislagen kommen kann oder ob derartige Vorgänge in Abb. 19 (z. B. im April — Mai) nur durch horizontale Unterschiede in der Eisdecke vorgetäuscht werden.

Gegen Ende des Hochgebirgswinters wird der größte Teil der Winterdecke von Schnee gebildet, der unter Wasser ist. Am 12. Juni 1965 betrug dieser Anteil 110 cm.

Der Schnee über Wasser ist trocken und bietet einen guten Wärmeschutz. Er dämmt die Wärmeabgabe des Sees ein, bzw. verhindert sie bei entsprechender Mächtigkeit ganz. Schnee ist der wichtigste Baustoff der Winterdecke eines Hochgebirgsses. Nur die Primäreisschicht und der Großteil des den Schnee durchfeuchtenden Wassers stammt aus dem See.

Die größte Mächtigkeit erreicht die Winterdecke am Gossenköllesee im April-Mai, weil zu dieser Jahreszeit in dieser Seehöhe sämtliche Niederschläge noch als Schnee fallen können. So konnte am 14. Mai und am 12. Juni 1965 jeweils noch eine Gesamtmächtigkeit von 233 cm beobachtet werden. Auch am 27. Mai 1962 betrug die Winterdecke 205 cm. Der Abbau der Winterdecke geschieht fast zur Gänze von oben her; nur 3—4 cm der Primäreisschicht wurden durch Schmelzwasser von unten her abgebaut. Dabei wurden zuerst die Ufer an der Süd- und Westseite des Sees frei. Im letzten Drittel des Juli 1965 bestand der Rest der Winterdecke aus Primäreis, die in 7—10 cm lange Prismen zerfielen, wie dies auch NAUWERCK (1963, S. 17) im schwedischen See Erken feststellen konnte. Daß der Abbau der Winterdecke nicht immer auf diese Art und Weise vor sich gehen muß, betont PECHLANER (1966a, S. 182f.). Im Jahre 1962 wurde der See um den 20. Juli eisfrei, im Jahre 1964 Mitte Juni und im Jahre 1965 am 30. Juli.

#### 5.4. Wärmeinhalt und Wärmebudget

Der maximale sommerliche Wärmeinhalt (Erwärmung über 4° C, vgl. HUTCHINSON, 1957, S. 498ff. und PECHLANER, 1966a, S. 184) des Sees schwankt zwischen 7,4 und 9,4. 10<sup>8</sup> kg cal. Das jährliche Wärmebudget ist aus Abb. 20 abzulesen. Die Nulllinie dieser Graphik bedeutet Homothermie des Sees bei 4° C. Die Säulen darüber zeigen an, wie viele cal pro cm<sup>2</sup> der See über die 4°-Grenze aufgenommen hat, wogegen die Säulen darunter aussagen, wie viele cal pro cm<sup>2</sup> dem See noch fehlen, um auf eine Tempe-

ratur von  $4^{\circ}\text{C}$  zu kommen. Die Werte oberhalb der Nulllinie werden als sommerlicher Wärmegewinn ( $\Theta_{bs}$ ) bezeichnet, die Säulen darunter beschreiben den winterlichen Wärmeverlust, bzw. -gewinn ( $\Theta_{bw}$ ).  $\Theta_{bs} + \Theta_{bw}$  bilden das Wärmebudget des Jahres ( $\Theta_{ba}$ ).

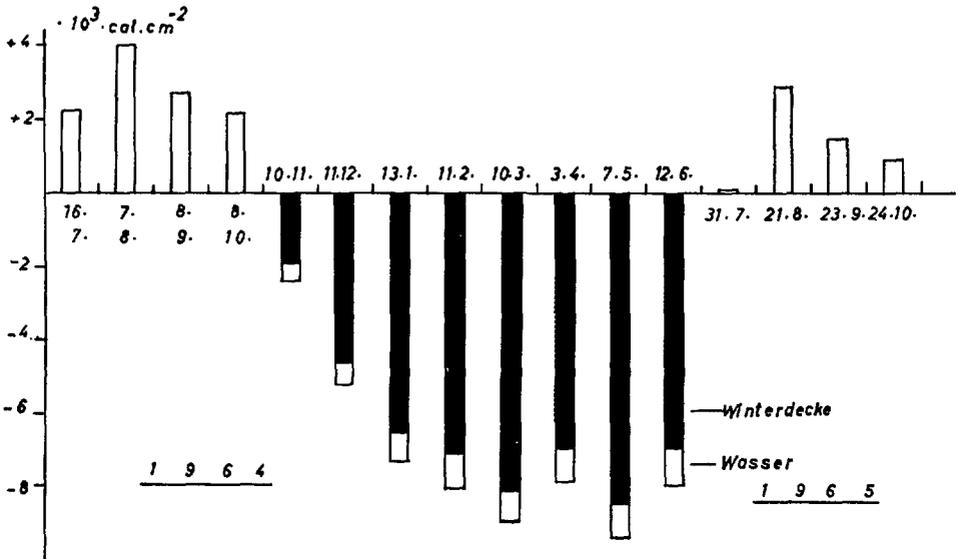


Abb. 20: Wärmebudget des Gossenköllesees in den Jahren 1964 und 1965 in  $\text{cal. cm}^{-2}$ .

Aus der Abbildung ist zu ersehen, daß der sommerliche Wärmegewinn des Gossenköllesees nur 31% von  $\Theta_{ba}$  ausmacht. Den größten Teil seines Wärmezuwachses bekommt der See im Juni-Juli; dieser aber wird verbraucht, um die winterliche Wärmeschuld des Sees abzutragen und die mächtige Winterdecke zu schmelzen. Der Jahreswärmegewinn des Sees betrug im Untersuchungsjaar 1964/65  $13.300 \text{ cal. cm}^{-2}$ ; davon entfallen  $9.300 \text{ cal}$  auf den winterlichen und  $4.000 \text{ cal}$  auf den sommerlichen Wärmegewinn. Es ist dies fast dieselbe Wärmemenge, die der Lunzer Unterseeerhält (HUTCHINSON, 1957, S. 498), allerdings mit dem Unterschied, daß dieser Niederrungssee von seinem gesamten Jahreswärmegewinn ( $13.700 \text{ cal. cm}^{-2}$ ) fast 90% im Sommer aufnimmt. Nach PECHLANER (1966a, S. 185) betrug das Wärmebudget des Vorderen Finstertaler Sees in den Jahren 1960 und 1961  $13.520$  und  $15.660 \text{ cal. cm}^{-2}$  (im Winter  $7.830$  und  $8.920$ , im Sommer  $5.690$  und  $6.740 \text{ cal. cm}^{-2}$ ); das sind bis zu  $2.360 \text{ cal. cm}^{-2}$  mehr als am Gossenköllesee, obwohl der Vorderer Finstertaler See mit  $2.240 \text{ m}$  Meereshöhe um nur  $173 \text{ m}$  tiefer liegt und 41% der astronomisch möglichen Sonnenscheindauer durch Horizontüberhöhung verliert. Der Unterschied ist vor allem im sommerlichen Wärmegewinn spürbar. Der Witterungscharakter der einzelnen Jahre, Areal und Tiefenverhältnisse der Seen, Windexposition sowie Wärmegewinn durch Zu- und Abflüsse kommen als mögliche Ursachen für die Unterschiede in Betracht.

## B. Der Chemismus des Sees

### 1. Der Sauerstoffgehalt

#### 1.1. Allgemeine Vorbemerkungen

Für die Bestimmung des Sauerstoffgehaltes kam die unmodifizierte WINKLER-Methode zur Anwendung, wie von PECHLANER (1966 a, S. 201) beschrieben. Bei der Berechnung des Sättigungsgrades jeder Probe wurde jedoch dem Umstand Rechnung getragen, daß sich in den letzten Jahren die von TRUESDALE und DOWNING ermittelten Sättigungskonzentrationen für Sauerstoff, welche dem „O<sub>2</sub>-Calculator“ nach BURKHARD (1956) zugrunde liegen, als erheblich zu niedrig erwiesen. Der Sättigungskoeffizient für alle im Gossenköllesee gemessenen Sauerstoffkonzentrationen mußte daher für diese Arbeit gegenüber der Dissertationsfassung meiner Arbeit neu berechnet werden, wobei auf die Werte von FOX (nach Nomogramm und Tabelle bei SCHMASSMANN, 1949) bezogen wurde (vgl. PECHLANER, 1968).

Die einzelnen Proben wurden in 14tägigen Abständen in der Mitte des Sees von einem Schlauchboot aus folgenden Tiefen entnommen: 0,3 m, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 und 9 m; der Erhöhung der Genauigkeit dienten Parallelproben aus 0,3 m, 5 und 9 m. Besaß der See eine Winterdecke, wurde die erste Probe immer direkt unter Eis genommen.

Von den 28 Sauerstoffserien, die ich innerhalb von 14 Monaten in den Jahren 1964 und 1965 analysiert habe, wurden die wichtigsten in den Abb. 21 und 22 dargestellt. Die Primärkonstante (ALSTERBERG, 1929, S. 362; HUTCHINSON, 1957, S. 592) bedeutet in Abb. 21 und 22 jenen O<sub>2</sub>-Gehalt, den der See bei einer Temperatur von 4° C in dieser Meereshöhe bei einer 100%igen Sättigung haben müßte, nämlich 9,78 mg/l. Die feinstrichlierte Linie gibt uns den Sauerstoffgehalt an, den das Wasser bei der jeweils aktuellen Temperatur haben müßte, um einen Sättigungswert von 100% aufzuweisen.

#### 1.2. Der Sauerstoffhaushalt in den eisfreien Sommermonaten:

Zunächst sei hier auf die Sauerstoffverhältnisse vom 15. Juli 1965 in Abb. 22 verwiesen. An diesem Tag besaß der See noch eine Winterdecke von 48 cm (12 cm Klar- eis, 36 cm Trübeis mit etwas Schneematsch obenauf). Die Uferpartien waren bereits eisfrei und die Schneeschmelze hatte ihren Höhepunkt erreicht. Die Winterdecke war an der Oberfläche mit vielen Algen bedeckt (vor allem *Chlamydomonas*). Hat sich inzwischen an der Temperatur im See noch nicht viel geändert, so ist doch bereits ein deutliches Ansteigen des Sauerstoffgehalts in den oberen Schichten feststellbar, was wir auf die nun verstärkt einsetzende Assimilation der Phytoplankter zurückführen können. Interessant ist auch das leichte Ansteigen des Sauerstoffgehalts in 9 m Tiefe, was auf die Zufuhr von Grundwasser schließen läßt (vgl. auch die Werte vom 12. Juni 1965 in Abb. 22).

Am 30. Juli 1965 wurde der See eisfrei und am 31. Juli war von oben bis unten eine einheitliche Temperatur von 4,4° C feststellbar. Bezüglich des Sauerstoffgehalts waren zwei Dinge interessant: Zunächst einmal die Tatsache, daß der See in allen Schichten eine leichte Übersättigung aufwies, obwohl der Abbau des winterlichen O<sub>2</sub>-Defizits bei der Frühjahrsvollzirkulation normalerweise nicht so schnell vor sich geht (HUTCHINSON, 1957, S. 524). Die Ursache dieser Übersättigung kann nur darin liegen, daß der Sauerstoffgehalt in den letzten Wochen so weit aufgefüllt wurde (Schmelzwasser, zunehmende Photosynthese), daß das Wasser bei einer Temperatur von unter 4° C bereits mit Sauerstoff gesättigt war; bei der plötzlichen Erwärmung auf 4,4° C kam es nun zu dieser aktuellen und gleichzeitig absoluten Übersättigung,

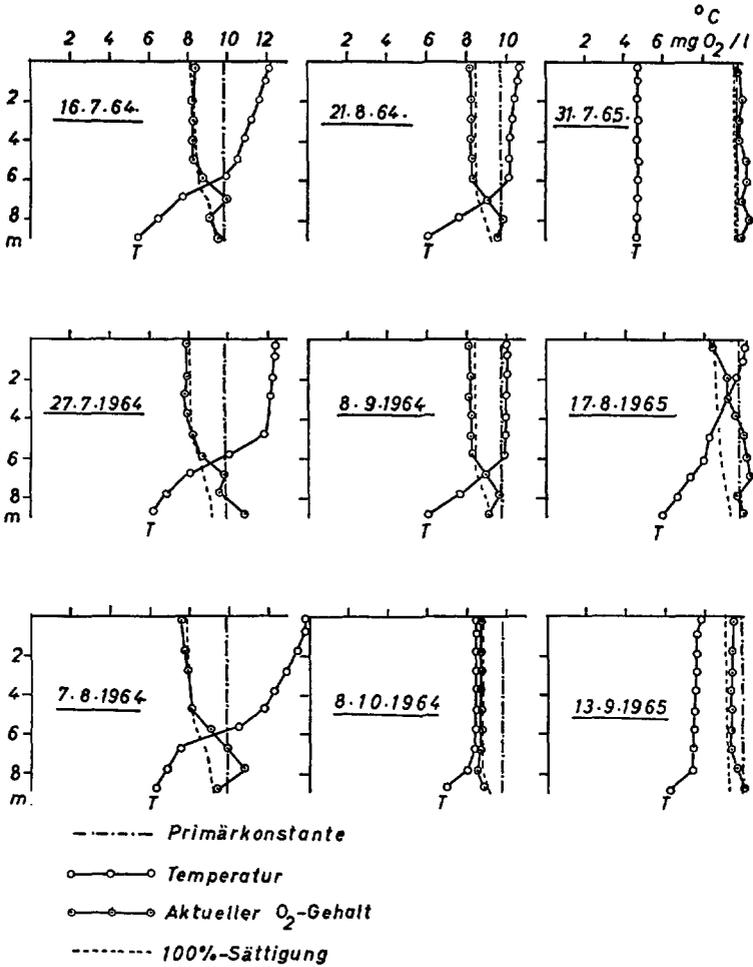


Abb. 21: Sauerstoffverhältnisse in den eisfreien Sommermonaten.

da die Gasabgabe der Erwärmung ja nachhinkt. Eine weitere Erklärung für diese Übersättigung könnte auch in den Ende Juli 1965 herrschenden Luftdruckverhältnissen gefunden werden; denn die Sättigungsprozente werden immer nur für einen mittleren Luftdruck in einer bestimmten Seehöhe angegeben; der aktuelle Luftdruck aber kann über kürzere oder längere Zeit vom mittleren Luftdruck mehr oder weniger stark abweichen (ALSTERBERG, 1929, S. 365; SCHMASSMANN, 1949).

Auf eine zweite Tatsache sei an diesem 31. Juli hingewiesen: Der Sauerstoff war trotz Vollzirkulation nicht gleichmäßig verteilt. Die Unterschiede betragen  $\pm 0,52$  mg/l. Diese können nicht durch einen Analysenfehler erklärt werden. Sie weisen darauf hin, daß Homothermie nicht Voldurchmischung und Abbau jeglicher Gradienten des Sauerstoffgehalts bedeuten muß.

Erhöhung der Temperatur, Abweichung des aktuellen vom mittleren Luftdruck und der zunehmende Wasserdruck mit der Tiefe genügen auch, um die Sauerstoffverhältnisse am 17. August 1965 zu erklären. Vor allem kann die schnell einsetzende Erwärmung des Sees eine starke aktuelle Übersättigung des Wassers bis zu einer Tiefe von 7 m bedingt haben. Die verhältnismäßig starke absolute Übersättigung („absolut“ im Sinne ALSTERBERGS, 1929, S. 1930) in den Tiefen zwischen 4 und 7 m an diesem Tag, die über die Primärkonstante hinausging, könnte zur Folgerung verleiten, daß diese Übersättigung biogen verursacht sein könnte; wohl mögen biogene Faktoren eine Rolle spielen, doch könnten auch physikalische Faktoren allein diese Übersättigung hervorgerufen haben, wie ein Vergleich mit dem 31. Juli 1965 zeigt.

Die Sauerstoffkurven vom Sommer 1964 zeigen meist ein kleines Defizit in den oberen Schichten, jedoch eine deutliche Übersättigung in der tieferen Hälfte des Sees. Die Sauerstoffkurve ist eindeutig „positiv heterograd“ (ÅBERG und RODHE, 1940; zit. b. HUTCHINSON 1957, S. 604). Vom kleinen Defizit des Epilimnions braucht hier nicht weiter gesprochen werden, weil es physikalisch bedingt oder doch entscheidend geprägt ist (ALSTERBERG, 1929, S. 356). Im Meta- und Hypolimnion liegen dagegen kompliziertere Verhältnisse vor. Man ist zunächst versucht, das Sauerstoffmaximum, das sich zuerst in 7 m Tiefe befindet und später auf 8 m absinkt, als einzig biogen anzusehen, zumal die Werte über die Primärkonstante hinausgehen (vgl. ALSTERBERG, 1929, S. 362); doch muß bedacht werden, daß in der Tiefe verschiedene Faktoren den Sauerstoffgehalt beeinflussen und diese zum Teil einander entgegengerichtet sein können: Photosynthese, Respiration, Oxydationsprozesse, Grundwasserdurchfluß, Zufluß von kühlerem, aber  $O_2$ -reicherem Schmelzwasser. Daher können wir nicht sicher behaupten, daß das Sauerstoffmaximum in 7 m Tiefe am 16. und 27. Juli 1964 nur biogen bedingt gewesen sei, obwohl der  $O_2$ -Gehalt über die Primärkonstante hinausgegangen war. Für diese Auffassung sprechen zwei Gründe:

Erstens zeigen die Sauerstoffverhältnisse vom 31. Juli und 17. August 1965, daß ein Tiefenmaximum der Rest einer Sauerstoffkonzentration sein könnte, die sich zur Zeit der Frühjahrsvollzirkulation eingestellt hat und rein physikalische Gründe haben kann. Der zweite Grund ist der, daß dieses Maximum im weiteren Sommerablauf zunächst vollkommen konstant blieb, obwohl die thermischen Bedingungen und die Strahlungsverhältnisse einem biogenen Anwachsen günstig gewesen wären, und in dieser Zeit in 8 m Tiefe wirklich eine Sauerstoffzunahme verzeichnet werden konnte. Doch muß auch gesagt werden, daß die Sauerstoffwerte vom 16. und 27. Juli 1964 in 8 m Tiefe die gerade Fortsetzung der epilimnischen Sauerstoffkurven darstellen. Dieser Aspekt spricht für eine Sauerstoffproduktion durch Algen in 7 m Tiefe.

Die Sauerstoffkonzentration erfährt in 8 m Tiefe laufend eine Erhöhung, bis am 7. August 1964 der höchste Wert für diese Zone erreicht ist. Dieses Maximum blieb dann bis zur herbsthlichen Vollzirkulation erhalten. Dieses langsame, ständige Anwachsen und das lange Anhalten bis in den Herbst hinein sprechen dafür, daß es sich um photosynthetisch erzeugten Sauerstoff handelt.

### 1.3. Der Sauerstoffhaushalt während des Winters 1964/65

Wie aus den Werten vom 8. Oktober 1964 zu ersehen ist, dürfte der See vollkommen mit  $O_2$  gesättigt in den Winter gegangen sein. Zwar befand sich der See an diesem Tag noch nicht in Vollzirkulation, da sich zwischen 8 und 9 m noch eine schwache Sprungschicht mit einer Temperaturdifferenz von  $1,30^\circ C$  befand, aber das Wasser war von oben bis unten mit Sauerstoff gesättigt. Als sich bald darauf die Winterdecke in Form von klaren Primäreis bildete, wurde der Einfluß der Atmosphäre auf den  $O_2$ -Gehalt des Sees ausgeschlossen; wirksam blieb aber die Strahlung, welche die Photosynthese aufrecht erhielt und durch Erwärmung der Wassermassen vertikale Austauschströme hervorrief.

Beim Übergang in den festen Aggregatzustand gibt das Wasser seinen gesamten Sauerstoff an das darunterliegende Wasser ab (ALSTERBERG, 1930, S. 299). Daher

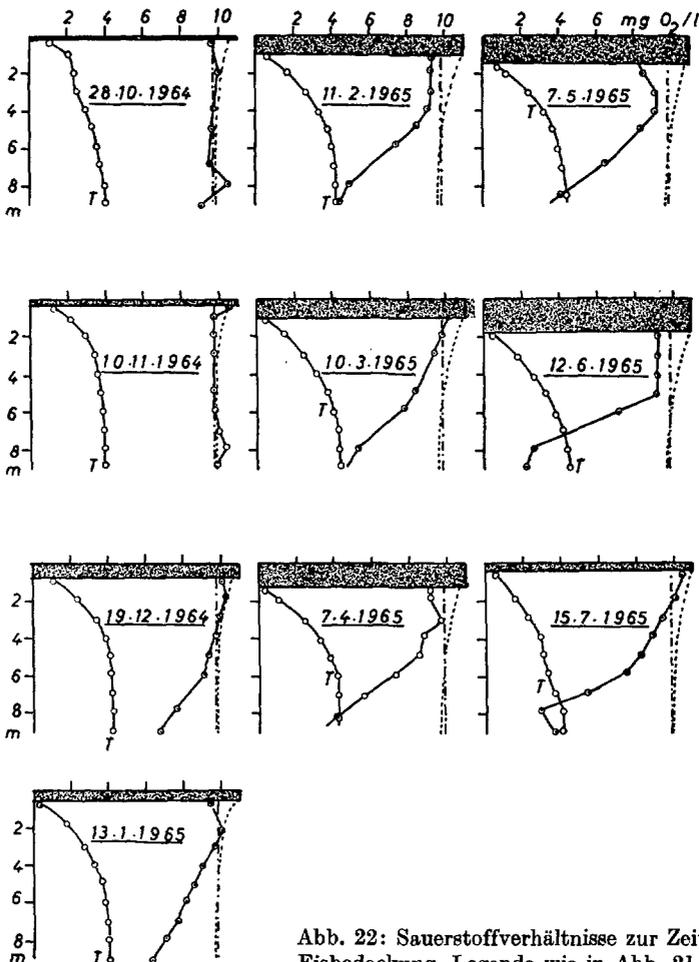


Abb. 22: Sauerstoffverhältnisse zur Zeit der Eisbedeckung. Legende wie in Abb. 21.

müßte knapp unter der Eisdecke ein Sauerstoffüberschuß auftreten, solange das Primäreis am Unterrande der Winterdecke wächst. Ein solcher Sauerstoffüberschuß konnte wirklich am 10. November 1964 festgestellt werden, sonst aber waren die Sauerstoffverhältnisse direkt unter der Eisdecke wechselhaft. Das eine Mal ist der Sauerstoffgehalt unmittelbar unter Eis niedriger als in 2—3 m Tiefe, ein anderes Mal sind die Verhältnisse bis in 2—3 m Tiefe gleichbleibend und sinken erst dann gegen die Tiefe hin ab. Verantwortlich für diese Ungleichheiten der Sauerstoffwerte in den oberen Zonen sind nach meiner Meinung folgende Faktoren: Witterungscharakter der Vortage (nach Schönwetterperioden waren die Werte höher), Störung der Wasserschichten beim Durchstoßen der Winterdecke, allochthone, organische Substanzen, die unmittelbar unter Eis vermehrt anzutreffen waren, vermehrte Ansammlung der Plankter in den oberen Zonen. Eine Kompensation dieses Sauerstoffverbrauches der Heterotrophen durch planktische Primärproduzenten scheint nur nach längeren Schönwetterperioden gegeben zu sein. Der Ausnützung der photosynthetisch verwertbaren Strahlung, die unmittelbar unter Eis am günstigsten wäre, steht die sehr niedrige Temperatur dieser Schicht entgegen. Das winterliche Phytoplanktonmaximum dürfte darum einige Meter unterhalb der Winterdecke liegen (vgl. PECHLANER, 1967, S. 154).

Allgemein kann von den Sauerstoffverhältnissen während des Winters gesagt werden, daß die Werte zunächst bei Schönwetter und klarem Primäreis in allen Schichten etwas ansteigen, dann aber abzusinken beginnen. Die Sauerstoffzehrung erfaßt in erster Linie die tiefen Zonen und steigt dann immer höher. Die geringste Zehrung finden wir in 2 bis 4 m Tiefe, obwohl auch dort eine langsame, aber ständige Abnahme des Sauerstoffgehalts zu verzeichnen ist; die Werte sinken dort jedoch nie unter 87%.

Interessant sind die beiden Sauerstoffkurven vom 28. Oktober und 10. November 1964. Wir finden nämlich in 8 m Tiefe wieder jenes  $O_2$ -Maximum, das wir schon vom Sommer her in dieser Tiefe kennen, das aber durch die Herbstvollzirkulation sicher zerstört worden war. Dies ist ein Zeichen, daß nach Beginn der Eisbedeckung die planktische Primärproduktion zunächst noch bevorzugt in Grundnähe erfolgt.

Ab Dezember treffen wir im Gossenköllesee eine typisch klinograde Sauerstoffkurve. Der Sauerstoffgehalt geht bis zum Frühjahr in Grundnähe zwar sehr stark zurück, aber ein völliger Sauerstoffschwund konnte nicht festgestellt werden. Der niedrigste Wert wurde am 22. Mai 1955 mit 1,4 mg/l in 8,5 m gemessen.

Wegen der ungewöhnlich langen Dauer der Winterstagnation der Hochgebirgsseen können die unter Eis auftretenden Sauerstoffkonzentrationen und ihre Vertikalverteilung nicht ohne weiteres mit denen von Niederungsseen verglichen und einer einheitlichen Typisierung zugrunde gelegt werden. Zudem verbietet es die große Unsicherheit in der Frage, inwieweit der Zufluß von sauerstoffarmen Wasser den  $O_2$ -Rückgang im See mitbedingt, bzw. ob allochthone  $O_2$ -Zufuhr auch während des Winters erfolgte, die Sauerstoffverhältnisse als Indikatoren für das Sauerstoffwechselgeschehen im Gossenköllesee auszuwerten (PECHLANER, 1966a, S. 209f.).

## 2. Der pH

Die pH-Verhältnisse sind in Abb. 23 festgehalten. Über die Methode, die ich bei der pH-Messung angewendet habe sowie über alle anderen Methoden zur Bestimmung des Chemismus des Sees kann bei PECHLANER (1966a) nachgelesen werden.

Die Werte folgen im allgemeinen den Sauerstoffkurven und sind — wie zu erwarten — der Kohlensäurekonzentration entgegengerichtet. Wir finden im Sommer das Maximum jeweils in 8 m Tiefe (Höchstwert am 21. August 1964 mit 7,81). Die Werte steigen während des Sommers in allen Tiefen leicht an, bis am 23. September das durchschnittliche Maximum einen Wert von 7,20 erreicht. Die Kurve ist also während des Sommers alkalisch-heterograd und reicht vom schwach sauren in das leicht alkalische Gebiet.

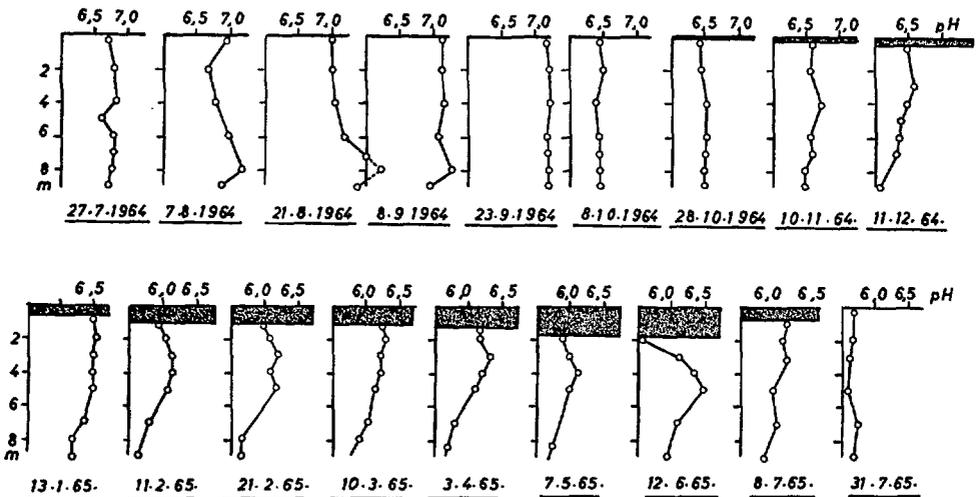


Abb. 23: pH-Verhältnisse während der Untersuchungsperiode 1964/65.

Mit Beginn der herbstillischen Vollzirkulation konnte sich der See wieder mit  $\text{CO}_2$  sättigen und daher sanken die pH-Werte bis zum 8. Oktober 1964 auf 6,40—6,50 ab. Diese orthograde Kurve war auch noch am 28. Oktober 1964 vorhanden, obwohl die Werte infolge der Assimilation wieder etwas angestiegen waren. Von diesem Zeitpunkt an zeigte sich während des ganzen Winters die Kurve heterograd, mit einem schwachen Minimum unter der Eisdecke, mit einem Maximum in 2—4 m Tiefe und schließlich mit einem großen Minimum in 9 m Tiefe. Das schwache Minimum direkt unter der Eisdecke hat verschiedene Ursachen: Ausfrieren der Gase, Maximum der Plankter, Schmelzwasserdurchfluß etc. (PECHLANER, 1966a, S. 200). Das winterliche Maximum in 2—4 m hängt mit der dort weiter andauernden Photosynthese zusammen, während das große Minimum in den bodennahen Schichten mit der

in dieser Zone überwiegenden Respiration, die sich auch in der  $O_2$ -Zehrung äußert, in Verbindung steht. Am ersten eisfreien Tag (31. 7. 1965.) zeigte der See einen durchschnittlichen pH-Wert von 5,70.

### 3. Der Kohlensäurehaushalt

In den Abb. 24—25 zeigt die strichlierte Linie die freie Kohlensäure ( $CO_2$ ) an, während die Bikarbonatkohlensäure ( $HCO_3^-$ ) durch die ausgezogene Linie begrenzt wird. Die Addition beider Abstände auf der Abszisse würde für die betreffende Tiefe die Gesamtkohlensäure in mg/l ergeben.

#### 3.1. Die Bikarbonatkohlensäure

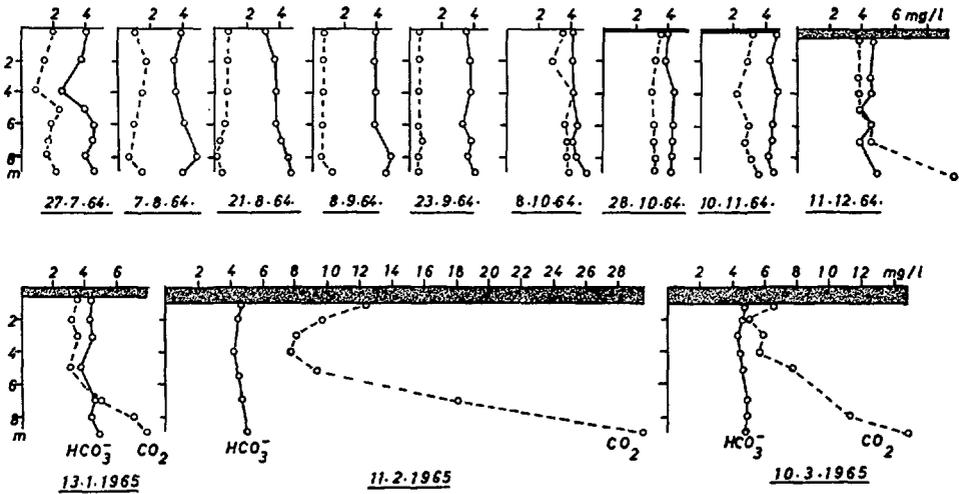


Abb. 24: Kohlensäurehaushalt (27. 7. 1964 — 10. 3. 1965): Gestrichelte Linie = freies  $CO_2$ , ausgezogene Linie = Bikarbonatkohlensäure ( $HCO_3^-$ ).

Wenn wir einen kurzen Blick auf die Abb. 24—25 werfen, so wird ersichtlich, daß die  $HCO_3^-$ -Konzentration sich in Raum und Zeit nur wenig ändert; lediglich ein leichtes Ansteigen gegen die Tiefe hin ist zu bemerken; ebenso haben wir steigende Tendenz während des Sommers und bis in den Hochwinter hinein (März-April), dann sinken die Werte bis zum Eisbruch wieder ab. Die Durchschnittskonzentrationen pendeln um einen Mittelwert von 4,00 mg/l und entfernen sich von diesem im allgemeinen nur wenig. Der Mindestwert von 0,88 mg/l trat am 12. Juni 1965 in 2 m Tiefe auf, das Maximum von 5,41 mg/l habe ich am 21. Februar 1965 in 8 m Tiefe gefunden.

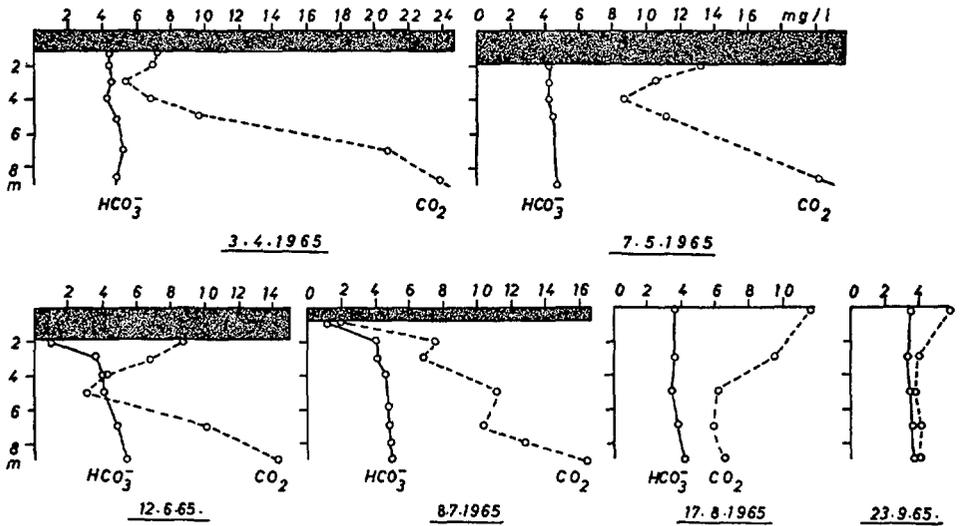
3.2. Die freie Kohlensäure ( $\text{CO}_2$ )

Abb. 25: Kohlensäurehaushalt (3. 4.—23. 9. 1965): Legende wie für Abb. 24.

Vom Beginn des Hochwinters bis unmittelbar nach Eisbruch zeigt das Wasser des Gossenköllesee eine starke Übersättigung an freier Kohlensäure. Wegen der geringen Alkalinität muß man diese freie Kohlensäure zur Gänze als aggressive ansprechen. Sie nimmt während des Sommers ständig ab und sie erreicht gegen Ende der Sommerstagnation den Wert von 0,60—0,70 mg/l. Ein Teil des freien  $\text{CO}_2$  wird von den Primärproduzenten aufgenommen, ein anderer Teil wird an die Atmosphäre abgegeben. Daher finden wir im Herbst nur mehr eine leichte Übersättigung an freier Kohlensäure (im Gleichgewicht mit der Atmosphäre wären bei 15° C 0,6 mg/l lösbar, bei 4° C ca. 0,9 mg/l). Hinweisen möchte ich noch auf das während des Sommers ständig wiederkehrende Minimum in 8 m Tiefe, dem ein Sauerstoffmaximum in derselben Zone entspricht. Auf die daraus ableitbaren Vorgänge wurde bereits bei der Besprechung der Sauerstoffsichtung (S. 57) hingewiesen.

Nach Bildung der Eisdecke ging die Assimilation zunächst ungestört weiter. So war es nicht verwunderlich, daß die Werte für die freie Kohlensäure, die bei der herbstlichen Durchmischung auf einen Wert von fast 4,0 mg/l angestiegen waren, nun wieder abzusinken begannen. Dieser Rückgang hielt in den oberen Schichten bis zum 13. Jänner 1965 an, während in den tieferen Zonen schon anfangs Dezember wieder ein Ansteigen zu bemerken war.

Bemerkenswert ist die Tatsache, daß die Werte der freien Kohlensäure zwischen dem 13. Jänner und 11. Februar 1965 in allen Schichten des Sees sehr stark ansteigen, während sie zwischen dem 21. Februar und dem 10. März 1965 wieder leicht absinken. Die Sauerstoffwerte in Abb. 22 und die pH-Werte in Abb. 23 bestätigen, daß es sich

hier nicht um einen Analysenfehler handeln kann. Berücksichtigen wir, daß zwischen dem 13. Jänner und dem 11. Februar kaum ein einziger sonniger Tag war, daß wir zu dieser Zeit sehr niedrige Sonnenhöhen haben und daß in diesem Monat der niedrigste Prozentsatz der örtlich möglichen an der astronomisch möglichen Sonnenscheindauer erreicht ist, dann verstehen wir, daß die Abbauvorgänge die Primärproduktion besonders stark überwiegen mußten. Weiters ist zu bedenken, daß die Winterdecke in dieser Zeit durch die vielen Schneefälle ständig angewachsen ist.

#### 4. Die elektrolytische Leitfähigkeit

Die folgenden Analysen wurden von Frl. I. MUSEK, technische Assistentin am Institut für Zoologie der Universität Innsbruck, durchgeführt, wofür ich ihr hier aufrichtig danken möchte.

Die elektrolytische Leitfähigkeit hängt von den verschiedensten Faktoren ab, die auf den Transport der Elektrolyte im See und ihre Verteilung, bzw. Veränderungen im jeweiligen Gewässer in vielfältiger Weise Einfluß nehmen (SPITTA und PLEISSNER, 1909, S. 468; BERGER, 1954, S. 1; GORHAM, 1957 c, S. 153; HUTCHINSON, 1957, S. 552f.). In Gebieten mit schwer verwitterbaren Gesteinen, wie dies in unserem Falle gilt, ist das Wasser oft elektrolytarm und in seiner chemischen Zusammensetzung von der des Regenwassers nur wenig verschieden. Besonders groß ist diese Abhängigkeit vom Chemismus des atmosphärischen Niederschlages bei kleinem Einzugsgebiet (GORHAM, 1957 b, S. 24; LIVINGSTONE, 1963 b, S. 23).

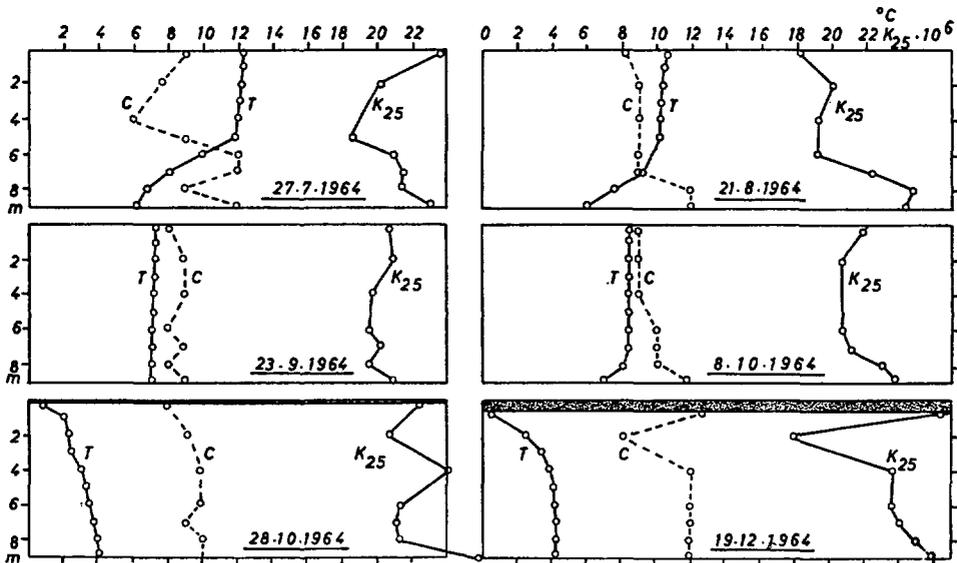


Abb. 26: Gesamtleitfähigkeit ( $K_{25}$ ), Karbonatleitfähigkeit (C) und Temperatur für das Jahr 1964.

Die Leitfähigkeit des Gossenköllesee, die in ihren jahreszeitlichen Veränderungen in den Abb. 26, 27, 29, 30 und 31 dargestellt ist, zeigte im Jahre 1964 in den eisfreien Sommermonaten in den oberen Schichten etwas höhere Werte. Sie lagen bei 21-22

$K_{25} \cdot 10^6$ . Sie sanken gegen das Clinolimnion auf  $19 K_{25} \cdot 10^6$  ab; innerhalb des Clinolimnion steigen die Leitfähigkeitswerte wieder etwas an und erreichen in Sedimentnähe die Werte 23-25  $K_{25} \cdot 10^6$ . Ein solches Ansteigen der Leitfähigkeit konnten auch ÅBERG und RODHE (1942, S. 164) in den drei südschwedischen Seen Fiolen, Stråken und Skårshultsjön zur Zeit der Sommerstagnation feststellen. Wie in den südschwedischen Seen verstärkte sich der Anstieg der Leitfähigkeit gegen die Tiefe hin bis zum Ende der Sommerstagnation. Die durchschnittliche Leitfähigkeit im Gossenköllesee betrug in den Sommermonaten  $21 K_{25} \cdot 10^6$ ; sie änderte sich nur wenig.

Mit Beginn der herbstlichen Vollzirkulation wurden die vertikalen Unterschiede weitgehend ausgeglichen. Daher sind die Werte der Leitfähigkeit am 23. September und am 8. Oktober 1964 mit 20, bzw.  $21 K_{25} \cdot 10^6$  von oben bis unten fast gleich.

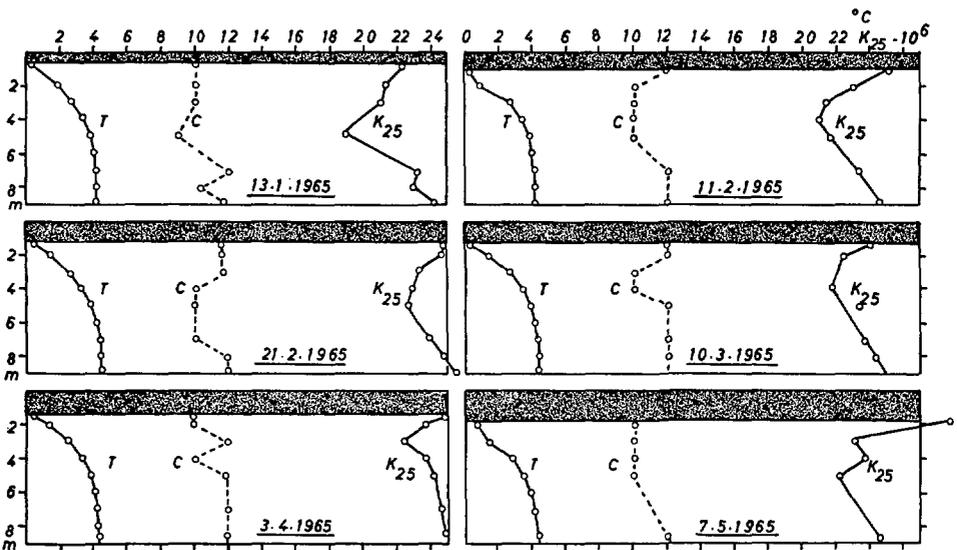


Abb. 27: Gesamtleitfähigkeit ( $K_{25}$ ), Karbonatleitfähigkeit (C) und Temperatur (T) für das Jahr 1965.

Als der See Mitte Oktober seine erste Eisdecke bekam, stellte sich dasselbe Schichtungsbild wie im Sommer ein, doch ist es im Winter stärker ausgeprägt und zum Teil durch andere Faktoren bedingt. Ich konnte ein durchschnittliches Ansteigen der Leitfähigkeit in allen Schichten um 3 Micro. Siemens feststellen. So sind die Werte in den oberen Schichten inzwischen von durchschnittlich  $21 K_{25} \cdot 10^6$  in den Sommermonaten auf durchschnittlich 22 im Frühwinter, auf 25 im Hochwinter und auf 29 im Spätwinter angestiegen, wofür zum Teil das Ausfrieren der Elektrolyte verantwortlich gemacht werden muß (LIVINGSTONE, 1963 b, S. 9). In den mittleren Zonen des Sees lagen die Werte im Sommer bei 19, im Winter aber bei 21–23  $K_{25} \cdot 10^6$  und in Sedimentnähe stieg die elektrolytische Leitfähigkeit von 23–25 auf 25–26

$K_{25} \cdot 10^6$ . Sind die durchschnittlichen Werte eines Vertikalprofils während des Sommers fast gleich geblieben, so erhöhten sie sich mit der herbstlichen Durchmischung um eine Einheit. Nach Eisbildung stiegen die Werte weiter an bis Dezember 1964. Im Jänner und Februar 1965 blieben sie fast gleich oder fielen etwas ab. Das Maximum der elektrolytischen Leitfähigkeit wurde im April und Mai mit durchschnittlich  $25 K_{25} \cdot 10^6$  erreicht. Vom Beginn der Schneeschmelze bis zur Vollzirkulation Ende Juli-Anfang August sinken sie ständig ab. Im Jahresdurchschnitt liegt die elektrolytische Leitfähigkeit des Gossenköllesee bei  $22-23 K_{25} \cdot 10^6$  ( $= 19-20 K_{18} \cdot 10^6$ ).

Wie elektrolytarm der Gossenköllesee ist, können wir daraus ersehen, daß die elektrolytische Leitfähigkeit der Seen allgemein  $200-600 K_{18} \cdot 10^6$  beträgt (GESSNER, 1959, S. 31). Die Leitfähigkeit der beiden Finstertaler Seen, die in unmittelbarer Nähe liegen, ist hingegen der des Gossenköllesee sehr ähnlich ( $20-25 K_{25} \cdot 10^6$ ) (PECHLANER, 1966 a, S. 195).

Über den Anteil der im Gossenköllesee nachgewiesenen Anionen und Kationen sowie über ihren Einfluß auf seine elektrolytische Leitfähigkeit wird in den folgenden Abschnitten geschrieben werden.

### 5. Alkalinität und Karbonathärte

Da der Bikarbonatgehalt eines Sees vom Karbonatgehalt des Einzugsgebietes und dem Kohlesäuregehalt des Wassers abhängt (RUTTNER, 1962, S. 78), so sind damit bereits die Gründe genannt, warum im Gossenköllesee entsprechend der geologischen Zusammensetzung und der geringen Größe des Einzugsgebietes nur eine sehr niedrige Alkalinität zu erwarten ist. Schon die Werte der Bikarbonatkohlensäure und

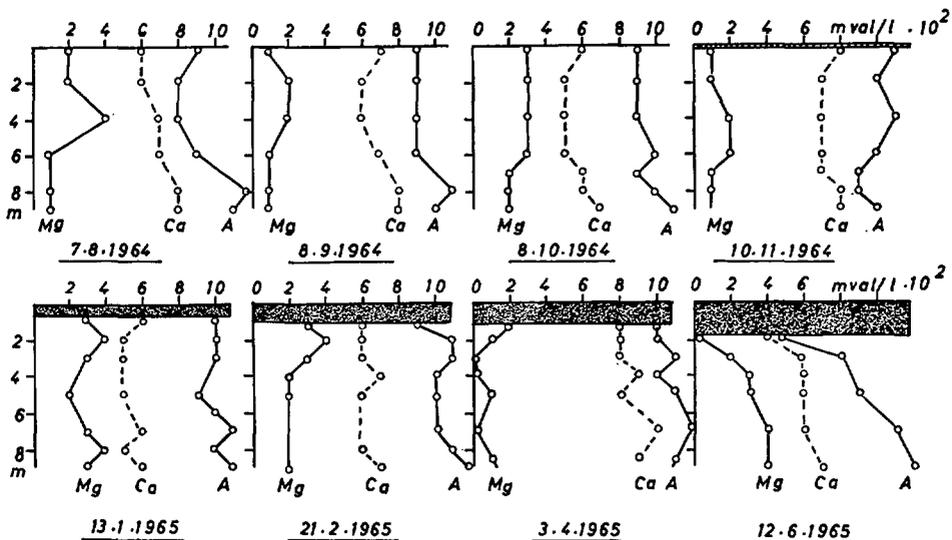


Abb. 28: Alkalinität (A), Calcium (Ca) und Magnesium (Mg) in  $10^{-3}$  mval/l.

die elektrolytische Leitfähigkeit haben uns einen Hinweis auf die zu erwartende niedrige Alkalinität gegeben. Die Kalkarmut ist hier nicht sekundär, sondern primär bedingt (OHLE, 1934, S. 460).

Über den Jahresgang und die Vertikalverteilung der Alkalinität (vgl. die Abb. 28, 29, 30 und 31) im Gossenköllesee gilt, was bereits über die Bikarbonatkohlensäure gesagt wurde, weil diese aus der Alkalinität errechnet wurde. Der Gossenköllesee zeigt ein durchschnittliches Säurebindungsvermögen von 0,095 mval/l. Der Wert 0,02 mval/l wurde nur ein einziges Mal, zur Zeit der Schneeschmelze (12. Juni 1965) direkt unter Eis, gefunden. Konzentrationen von 0,12 mval/l konnten vom Februar bis Eisbruch in Sedimentnähe mehrmals angetroffen werden. In Härtegraden ausgedrückt liegen die Extremwerte zwischen 0,06 und 0,34 d. H<sup>0</sup> und der Mittelwert bei 0,27 d. H<sup>0</sup>.

Allgemein stieg die Alkalinität gegen die Tiefe hin ein wenig an; auch mit Beginn der Vereisung erhöhten sich die Durchschnittswerte etwas (um 0,01 mval/l), sie blieben dann aber die erste Winterhälfte fast gleich; erst vom Jänner bis April war wieder ein Ansteigen um 0,01 mval/l zu bemerken, dem dann mit dem Einsetzen der Schneeschmelze wieder ein leichtes Absinken folgte. Auch während des Sommers war eine kleine Abnahme der Alkalinität festzustellen, wie die Kurve A in Abb. 31 zeigt.

Die Alkalinität im Gossenköllesee ist zwar sehr niedrig, sie liegt aber dennoch um einige Hundertstel mval/l höher als die der Finstertaler Seen (PECHLANER, 1966a, S. 195). Die wegen der niedrigen Alkalinität fast völlig fehlende Pufferung des Kalk-Kohlensäure-Systems erklärt auch die verhältnismäßig großen Schwankungen des pH's im Gossenköllesee (pH 5,70—7,81).

## 6. Karbonatleitfähigkeit und Leitfähigkeitsquotient

Die Karbonatleitfähigkeit wurde aus der Alkalinität nach einer Tabelle von BERGER (1954, S. 10) für eine Ca-Mg-Bikarbonatlösung im Äquivalentverhältnis 4:1 bestimmt. Da dieser Bestimmung die Alkalinität als Grundlage diene, gilt für den Jahresgang und für die Vertikalverteilung das, was bereits über die Bikarbonatkohlensäure und die Alkalinität gesagt worden war. Die Werte für die Karbonatleitfähigkeit im Gossenköllesee finden sich in den Abb. 26—27.

In unserem Zusammenhang ist vor allem der Leitfähigkeitsquotient (LQ) wichtig. Mit OHLE (1940, S. 343) verstehen wir darunter den Quotient  $\frac{\text{Bikarbonatleitfähigkeit}}{\text{Gesamtleitfähigkeit}}$ .

Er gibt uns einen guten Einblick in die chemische Zusammensetzung eines Sees; sind nämlich neben Bikarbonaten noch andere Salze in Lösung, dann muß LQ kleiner als 1 sein; sind aber nur Bikarbonate in Lösung, dann ist LQ genau 1.

In Tab. 3 sind für die einzelnen Monate die jeweiligen LQ-Werte zusammengestellt. Multiplizieren wir sie mit 100, dann bekommen wir den Prozentanteil der Karbonatleitfähigkeit an der Gesamtleitfähigkeit, anders ausgedrückt: Wir bekommen damit

den Prozentanteil der Karbonate an der Gesamtionenkonzentration. Aus Tab. 3 ist zu erkennen, daß der Prozentanteil der Karbonate am Gesamtsalzgehalt im Gossenköllesee zwischen 35 und 57% schwankt; die meisten Werte liegen zwischen 40 und 50%, das Mittel beträgt 46%. Es müssen also in hoher Proportion noch andere Salze in Lösung sein, die keine Bikarbonate sind. Wir werden im kommenden Abschnitt berichten, daß vor allem Sulfate die Restleitfähigkeit ausmachen.

Der Bikarbonatanteil an den Elektrolyten des Gossenköllesees stimmt gut mit dem des Hirschebensees (Kühtai) überein (28—50%). Er ist aber doppelt so hoch wie die Werte für den Vorderen (16—25%) und den Hinteren Finstertaler See (13—23%) (PECHLANER, 1966 a, S. 197). Auch stimmen meine Werte mit denen, die OHLE (1940, S. 342) in kalkarmen Seen Schwedisch-Lapplands gefunden hat, gut überein. Dort stellte OHLE einen Bikarbonatanteil von 50% fest. BIRGE und JUDAY (1933, Tab. X, zit. b. ÅBERG und RODHE, 1942, S. 162) haben in 530 Seen das Gesamtleitvermögen und die Menge der Bikarbonate tabellarisch erfaßt. Dabei haben sie gefunden, daß bei einer Gesamtleitfähigkeit von  $5\text{--}29 \text{ K}_{18}\cdot 10^6$  der Karbonatanteil 30% beträgt.

	1964					1965					
m	27. 7.	21. 8.	23. 9.	28. 10.	19. 12.	13. 1.	11. 2.	10. 3.	3. 4.	7. 5.	22. 6.
0,3	0,37	0,44	0,38	0,36	—	—	—	—	—	—	—
1	—	—	—	—	0,46	0,45	0,48	0,50	0,35	—	—
2	0,40	0,45	0,43	0,43	0,44	0,47	0,43	0,54	0,43	0,35	—
3	—	—	—	—	—	0,47	0,47	0,45	0,54	0,45	0,43
4	0,50	0,47	0,45	0,42	0,50	—	0,47	0,45	0,42	0,42	0,38
5	0,47	—	—	—	—	0,47	0,45	0,52	0,50	0,45	0,50
6	0,57	0,47	0,40	0,47	0,50	—	—	—	—	—	—
7	0,54	0,41	0,45	0,43	0,50	0,52	0,52	0,50	0,48	—	0,47
8	0,43	0,48	0,40	0,47	0,48	0,43	—	0,50	0,48	0,48	—
9	0,52	0,52	0,43	0,38	0,46	0,50	0,48	—	—	—	0,46

Tab. 3: Leitfähigkeitsquotienten für die einzelnen Monate

## 7. Sulfat und die Summe der Salze starker Säuren

Bei der jeweiligen Bestimmung des Sulfatgehaltes und der starken Säuren zeigte es sich, daß die Werte für Sulfat im Durchschnitt um 0,01 mval/l höher waren als die der starken Säuren. Wenn dieser kleine Unterschied auch auf die methodische Unsicherheit bei der Bestimmung der extrem niedrigen Konzentrationen hinweist, so spricht er doch sehr dafür, daß außer Sulfat keine weiteren Salze starker Säuren vorhanden sein werden.

Über den Sulfatgehalt im Gossenköllesee geben die Abb. 29, 30 und 31 Auskunft. Die Diagramme zeigen — wie schon Alkalinität und elektrolytische Leitfähigkeit — geringe Konzentrationen, niedere Vertikalgradienten und wenig Änderung im Ablauf des Jahres. Gegen das Sediment hin finden wir ein leichtes Ansteigen der Werte um durchschnittlich 0,01 mval/l durch das Emporwandern der Elektrolyte aus dem

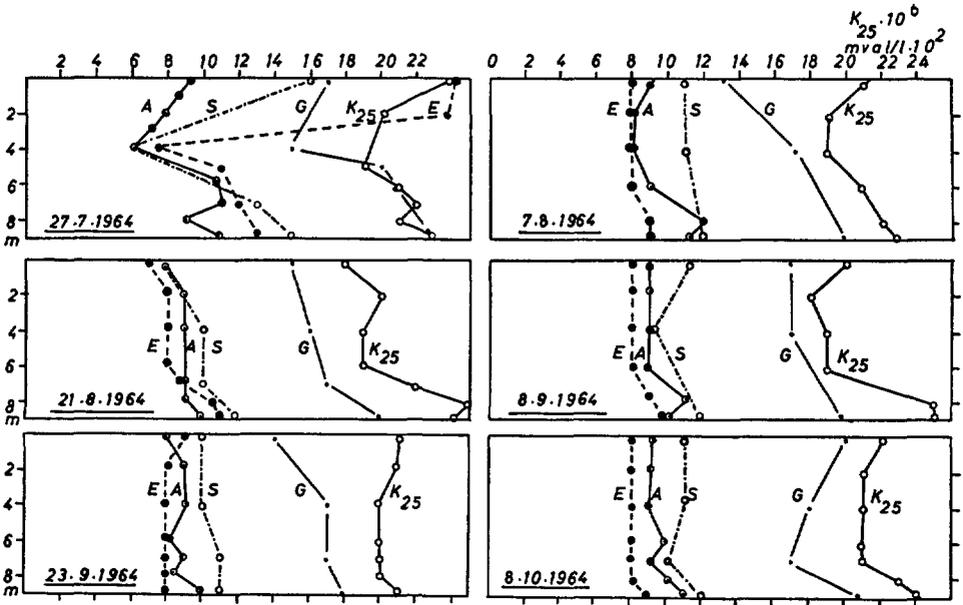


Abb. 29: Leitfähigkeit ( $K_{25}$ ), Gesamtionen (G), Sulfat (S), Alkalinität (A) und Erdalkalien ( $E = Ca^{2+} + Mg^{2+}$ ).

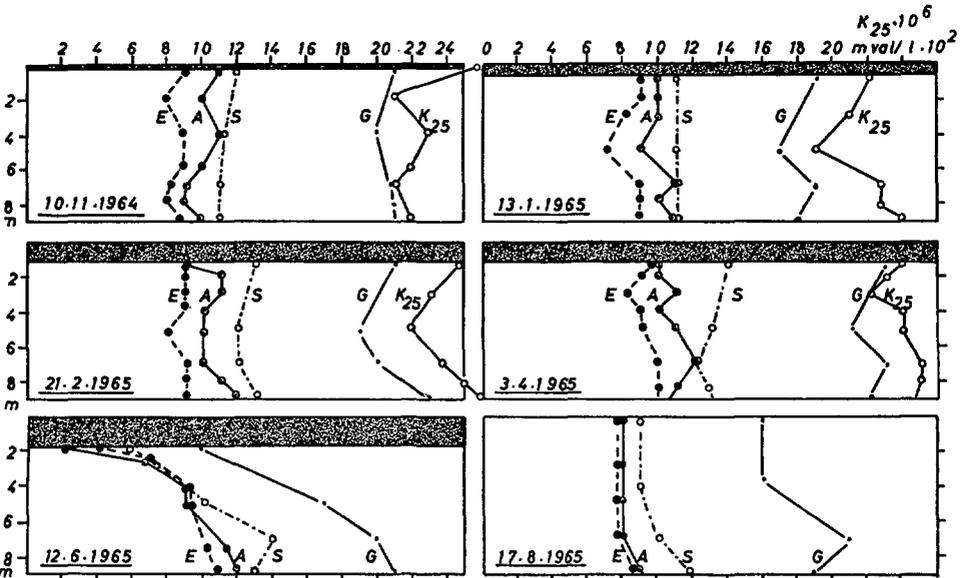


Abb. 30: Leitfähigkeit, Gesamtionen, Sulfat, Alkalinität und Erdalkalien (Legende wie für Abb. 29).

Sediment (HUTCHINSON, 1957, S. 766). Auch sind die Werte zur Zeit der Eisbedeckung in den obersten Zonen sowie die Durchschnittswerte um 0,01–0,02 mval/l höher.

Die im Gossenköllesee bestimmten Sulfatkonzentrationen liegen innerhalb der Grenzen von 0,06 und 0,15 mval/l (2,90–7,25 mg/l); der Durchschnittswert beträgt 0,115 mval/l, das sind 5,31 mg  $\text{SO}_4^{2-}$ /l oder 57% der gesamten Ionenkonzentration. Dieser Anteil dürfte etwas zu hoch sein, da ja die Bikarbonate schon 46% ausmachen. Die Werte für die Summe der Salze starker Säuren würden, zur Gänze als Sulfat gerechnet, einen Mittelwert von 0,105 mval/l oder 4,83 mg/l betragen. Das wären genau jene 54% der Elektrolyte des Sees, die sich mit dem Bikarbonatanteil auf die Gesamtleitfähigkeit ergänzen ließen.

Nach RODHES Standardzusammensetzung (1949, S. 377) sollte der Wert für  $\text{HCO}_3^-$  74% und der für  $\text{SO}_4^{2-}$  nur 16% der Anionen sein. OHLE (1940, S. 340) wies darauf hin, daß in kalkarmen Gewässern ein verhältnismäßig großer Teil der Erdalkalien an starke Säuren (Chloride, Sulfate) gebunden ist. Der durchschnittliche Wert für den Sulfatgehalt der Seen der Welt beträgt nach GORHAM (1957b, S. 23) 0,37 mval/l (17,88 mg/l). OHLE (1940, S. 340) fand bei seinen Untersuchungen der norddeutschen Seen einen Sulfatgehalt von 1,4 bis 14,9 mg/l (durchschnittlich 7,6 mg/l). In den Seen des nordöstlichen Wisconsin zeigte sich nach BIRGE, JUDAY und MELOCHE (zit. b. HUTCHINSON, 1957, S. 765) ein Sulfatgehalt von 0,75 bis 7,86 mg/l (Durchschnitt 4,0 mg/l); dies sind Werte, die denen im Gossenköllesee sehr nahe kommen.

Bei der Herkunft des Sulfatgehalts im Gossenköllesee dürfen wir als wichtigste Quelle den atmosphärischen Niederschlag annehmen (GORHAM, 1957c, S. 152; HUTCHINSON, 1957, S. 754).

## 8. Calcium und Magnesium

### 8.1. Calcium

Der Calciumgehalt (Abb. 28) ist während des ganzen Jahres niedrig und zeigt in Raum und Zeit nur geringe Änderungen. Der durchschnittliche Ca-Gehalt betrug während des Sommers 1964 0,07 mval/l, die Werte sanken im Verlauf des Sommers um 0,01 mval/l. Im Sommer 1965 hingegen konnte ich zunächst einen Wert von 0,05 mval/l (Durchschnitt) feststellen. Dieser Wert stieg dann bis zum Ende der Sommerstagnation um 0,01 mval an. Mit Beginn der Eisbedeckung stiegen die Werte von 0,06 auf 0,07 mval/l an. Doch vom November 1964 bis 1965 sank die Konzentration dieses Kations um 0,01 mval/l und blieb dann bis März gleich. Im März war eine leichte und im April eine starke Zunahme des Ca-Gehalts festzustellen. Am 3. April 1965 war das Maximum mit einem durchschnittlichen Wert von fast 0,09 mval/l beobachtet worden. Mit Beginn der Schneeschmelze sanken die Werte wieder ab, bis am 17. August 1965, 14 Tage nach dem Eisfreiwerden des Sees, das Minimum mit einem Durchschnittswert von 0,045 mval/l erreicht war.

Am 8. Juli 1965 zeigte das Minimum direkt unter Eis nur 0,02 mval/l. Das Maximum fand ich am 3. 4. 1965 mit 0,10 mval/l in 7 m Tiefe. Die meisten Werte aber liegen bei 0,06—0,07 mval/l. In mg/l ausgedrückt liegen die beiden Extreme bei 0,40 und 2,00 mg/l mit einem Mittelwert von 1,30 mg/l.

OHLE (1934, S. 443) teilt die kalkhaltigen Gewässer in drei Gruppen ein: a) Kalkarme Seen mit 0—10 mg Ca/l, b) mäßig kalkhaltige Gewässer mit 10—26 mg Ca/l und c) kalkreiche Seen mit mehr als 26 mg Ca/l. Nach dieser Einteilung OHLES gehört der Gossenköllesee zu den extrem kalkarmen Gewässern. Seine Kalkarmut wird noch augenscheinlicher, wenn wir beachten, daß nach GORHAM (1957b, S. 23) der Weltdurchschnitt bei 29,86 mg Ca/l liegt.

Obwohl die Alkalinität des Gossenkölleeses größer ist als die der beiden benachbarten Finstertaler Seen und die elektrolytische Leitfähigkeit der drei Seen sich nicht wesentlich unterscheidet, so ist der Ca-Gehalt des Gossenkölleeses um ca. die Hälfte kleiner als der der beiden Finstertaler Seen, in denen PECHLANER (1966a, S. 199) 2,0—3,7 mg Ca/l feststellte.

Da  $\text{Ca}^{2+}$  — dasselbe gilt auch für das folgende Kation  $\text{Mg}^{2+}$  — sich stets auch im Regenwasser gelöst findet und die nächsten Gipfel der Nordtiroler Kalkalpen nur ca. 13—14 km entfernt sind, scheint die Annahme berechtigt, daß ein Teil des Ca-Gehaltes allochthon (kalkhaltige Staubteilchen in der Luft) ist (HUTCHINSON, 1957, S. 550). Doch muß auch die autochthone Komponente in Betracht gezogen werden, da die Gesteine des Einzugsgebietes vor allem aus Ca-Silikaten, Ca-Doppelsilikaten und aus Ca-Mg-Silikaten zusammengesetzt sind (HOLLEMAN-WIBERG, 1958, S. 407).

## 8.2. Magnesium

Abb. 28 enthält neben Tautochronen für Ca und Bikarbonat auch jene für Magnesium. Die Werte für Mg sind wie die der anderen Elektrolyte sehr niedrig. Betreffs Jahresgang und Vertikalschichtung gilt dasselbe, was ich bereits bei den vorher beschriebenen Elektrolyten gesagt habe. Die Mg-Werte halten sich in den Grenzen von 0,00—0,04 mval/l mit einem Durchschnitt von 0,02 mval/l (= 0,00—0,49 mit einem Mittelwert von 0,24 mg/l). Der um durchschnittlich 0,01 mval/l höhere Wert in den Wintermonaten ist wohl auf das Ausfrieren der Elektrolyte zurückzuführen (BOYD, zit. b. LIVINGSTONE, 1963b, S. 9).

Der Hinweis auf den Mg-Gehalt anderer Seen möge uns wieder eine Vergleichsmöglichkeit bieten. So haben die beiden Finstertaler Seen, die sich zum Vergleich deshalb anbieten, weil sie in unmittelbarer Nähe liegen und ähnliche geologische und klimatische Bedingungen aufzuweisen haben, einen Mg-Gehalt von 0,10—0,80 mg/l (PECHLANER, 1966a, S. 199). In 7 englischen Flachlandseen fand GORHAM (1957b, S. 23) Konzentrationen von durchschnittlich 14,52 mg/l. An der gleichen Stelle erwähnt GORHAM, daß der Weltdurchschnitt bei 5,10 mg/l liegt.

Beachten wir  $\text{Ca}^{2+}$  und  $\text{Mg}^{2+}$  nicht für sich allein, sondern im Verhältnis zu den anderen Elektrolyten, so wird ersichtlich, daß  $\text{Ca}^{2+}$  und  $\text{Mg}^{2+}$  zusammen durch-

schnittlich 42% der Kationen ausmachen. Sie reichen kaum aus, den Bedarf an Kationen für die Bikarbonate zu decken. Betrachten wir in den Abb. 29—31 die beiden Kurven der Erdalkalien und die der Alkalinität, so sieht man, daß die beiden Kurven fast immer parallel verlaufen. Daraus könnte der Schluß abgeleitet werden, daß ein Großteil der untersuchten Kationen an Bikarbonat gebunden ist.

Nach weiteren Kationen wurde nicht geforscht. Fe, Mn und Ammonium können bei den Sauerstoffkonzentrationen, wie wir sie vorgefunden haben, nur in Spuren vorhanden sein. Sie vermögen daher den Fehlbetrag an Kationen nicht zu decken. Es kämen vor allem  $K^+$  und  $Na^+$  in Betracht. Um diese Frage zu klären, sind für die nächste Zukunft weitere chemische Untersuchungen geplant.

Wie bereits gesagt, machen  $Ca^{2+}$  und  $Mg^{2+}$  42% der gesamten Kationen aus. Davon entfallen im Durchschnitt 34% auf  $Ca^{2+}$  und 8% auf  $Mg^{2+}$ , so daß auch im Gossenköllesee das Verhältnis  $Ca: Mg = 4:1$  beträgt; doch erreichen die beiden Kationen nicht jene Prozentsätze, wie sie ROHDE (1949, S. 377) für seine Standardzusammensetzung angibt, nach der Ca 64% und Mg 17% der gesamten Kationen ausmachen sollten. In den beiden Finstertaler Seen bilden Ca und Mg 75—90% der Kationen und entsprechen etwa dem Standardtypus ROHDES (PECHLANER, 1966a, S. 199).

### 9. Gesamtionenkonzentration

Vgl. dazu die Abb. 29, 30 und 31. Die Kurven für die elektrolytische Leitfähigkeit und für die Gesamtionenkonzentrationen verlaufen meist parallel. Manche Unterschiede lassen sich dadurch erklären, daß die Gesamtionenkonzentration meist nur

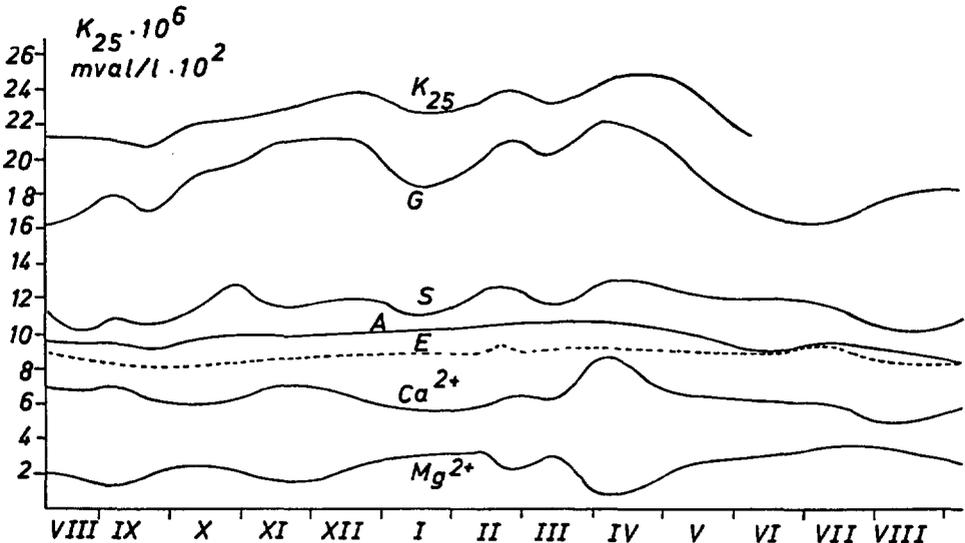


Abb. 31: Jahresgang der täglichen Mittelwerte für Leitfähigkeit ( $K_{25}$ ), Gesamtionen (G), Sulfat (S), Alkalinität (A), Erdalkalien ( $E = Ca^{2+} + Mg^{2+}$ ), Calcium ( $Ca^{2+}$ ) und Magnesium ( $Mg^{2+}$ ).

für 3—4, die elektrolytische Leitfähigkeit jedoch für 6—7 Tiefenstufen bestimmt wurde.

Die niedrigsten Werte waren wie bei der el. Leitfähigkeit im Juni und Juli 1965 (Schneeschnmelze). Da sich die Schneeschnmelze in erster Linie in den oberen Zonen auswirkt, sanken dort die Werte in dieser Zeit auf 0,06 mval/l, während sich die Gesamtionenkonzentration in Sedimentnähe zur gleichen Zeit gegenüber den Wintermonaten kaum änderte; sie lag dort um 0,21 bis 0,22 mval/l (Durchschnitt 0,16—0,17 mval/l). Die Sommerwerte des Jahres 1964 schwankten zwischen 0,16 und 0,18 mval, die Werte des Sommers 1965 blieben dagegen bei 0,18 mval/l konstant. Wie die Kurve G in Abb. 31 zeigt, stieg die Gesamtionenkonzentration nach Eisbruch im Juli 1965 um 0,02 mval/l an. Ein weiteres Anwachsen um 0,01 mval/l (auf 19) trat bei der herbstlichen Vollzirkulation im Jahre 1964 ein und mit der Bildung der Eisdecke sowie mit deren weiteren Wachstum setzte sich dieser Anstieg im Winter 1964/65 ständig fort. Das Maximum in den Durchschnittswerten der Gesamtionenkonzentration wurde mit 0,22 mval/l im April-Mai erreicht.

Den größten Einfluß auf die Kurve G in Abb. 31 hat die Sulfatkurve. Als durchschnittlicher Wert kann für die Gesamtionenkonzentration 0,19 mval/l angenommen werden. Bei der Ionenzusammensetzung des Wassers im Gossenköllesee entsprechen etwa  $118 K_{25} \cdot 10^6$  einer Gesamtionenkonzentration von 1 mval/l.

Zur Vervollständigung des Gesamtbildes des Chemismus sei noch auf LEUTELT-KIPKE (1934, S. 288 und S. 304) hingewiesen, wo sich Hinweise auf den Gehalt des Wassers an Eisen, Ammoniakstickstoff, Phosphor, Chlorid und Silikat finden.

## C. Das Zooplankton des Gossenkölleeses

### 1. Methode

EICHHORN (1957), ELSTER (1958) und FLEMINGER und CLUTTER (1965) haben zum Problem der quantitativen Planktonforschung grundsätzliche Hinweise gegeben. Bei der Untersuchung des Zooplanktons habe ich diese Hinweise berücksichtigt. Ich ging so vor, daß ich 14tägig im Winter von einem Eisloch aus, zur eisfreien Zeit mit einem Schlauchboot langsam über den See fahrend, mit einer Flügelpumpe (Fa. ALLWEILER, Radolfzell, Nr. 2) 10 Liter Wasser aus jeder Meterstufe in 10 bereitgestellte Plastikkübel pumpt. So dauerte die Entnahme nur 10—15 Minuten. Die erste Probe wurde immer direkt aus 0 m geschöpft. Zur Zeit der Eisbedeckung entnahm ich diese erste Probe direkt aus dem Bohrloch, solange die Winterdecke weniger als 50 cm dick war. Später habe ich mit Hilfe eines rechtwinkelig abbiegbaren Auslegers das Schlauchende, 2 m vom Bohrloch entfernt, direkt unter die Eisschicht gebracht. Während des Pumpens wurde das Schlauchende, das einen Trichteransatz von 12 cm Durchmesser besaß, ständig 30—40 cm gehoben und gesenkt, um wirkliche Durchschnittswerte zu erhalten. Die Deckel der Plastikkübel waren mit einem Filteransatz versehen. Ein eigenes Luftrohr sorgte für die beim Filtrieren notwendige Luftzufuhr. Filtriert wurde durch ein dreifaches Filter (12 cm<sup>2</sup> Siebfläche) mit 0,227, 0,092 und mit 0,038 mm Maschenweite. Der Filtrerrückstand wurde dann mit Hilfe einer Spritzflasche quantitativ in 100 ml-Flaschen gespült. Noch an Ort und Stelle wurden die Plankter mit einigen Tropfen 40%igen Formol abgetötet; erst einige Stunden später wurde zur Dauerkonservierung die Formolkonzentration der Proben auf 4% erhöht.

Vor der Untersuchung wurden die Proben mit einigen Tropfen Lougol'scher Lösung versetzt, in Verbundkammern nach UTERMÖHL sedimentiert und unter einem gestürzten Mikroskop der Fa. REICHERT, Wien (Universal-Kamera-Mikroskop „Me F“), vollständig ausgezählt. Nur bei *Polyarthra* wurde zur Zeit des maximalen Auftretens jeweils lediglich die Hälfte der in 10 Liter vorkommenden Individuen ausgezählt.

Parallel zur Zooplanktonentnahme für die quantitative Untersuchung erfolgte jedesmal noch ein Vertikalzug mit einem Planktonnetz aus Müllergaze „Nybolt“-Nylongaze Nr. 20 TL mit 100 Fäden/cm, 30% freie Siebfläche und 0,067 mm Maschenweite. Die einzelnen Netzzüge dienten nur der qualitativen Kontrolle. Bei der graphischen Darstellung der Ergebnisse wurde auch der Anteil der Winterdecke eingezeichnet, der sich unter dem Wasserspiegel befand.

## 2. Fehlerangabe

Bei der Auswertung der Ergebnisse müssen folgende Faktoren berücksichtigt werden: 1. Eine subjektive Fehlerquelle, die beim Auszählen unter dem Mikroskop gegeben ist; 2. der Fehler, der je nach der Zahl der abfiltrierten Individuen durch die Zufallsverteilung bedingt ist; 3. ungleichmäßige Horizontalverteilung auf engem Raum durch Schwarmbildung und 4. großräumige horizontale Unterschiede in der Planktondichte (verschiedene Planktonentwicklung in verschiedenen Teilen des Sees, besonders bei starker Zerbuchtung) (vgl. NAUWERCK, 1963, S. 17).

Die subjektive Fehlerquelle durch das Auszählen unter dem Mikroskop dürfte die kleinste Rolle spielen. Für *Polyarthra*, die manches Mal nur in aliquoten Teilen gezählt wurde, ergaben Kontrollzählungen, daß der Fehler unter  $\pm 10\%$  lag; nach allen anderen Planktern wurde jeweils die gesamte Probe durchsucht; der Fehler durch Übersehen oder durch doppeltes Zählen, weil sie am Rande des Zählstreifens lagen, dürfte 1–2% nicht übersteigen.

Unabhängig von der Gleichmäßigkeit der Verteilung der Zooplankter im See bewirkt die Auszählung einer Stichprobe einen Fehler, der umso größer wird, je niedriger die Zahl der mit der Probe erfaßten Individuen ist; dieser Fehler beträgt  $\pm 100\%$ , wenn ein Zooplankter nur in 4 Individuen innerhalb einer Probe vertreten ist, er sinkt auf  $\pm 40\%$  bei 25 Individuen, auf  $\pm 25\%$  bei 100 und auf  $\pm 10\%$  bei 400 erfaßten Individuen. In Hinblick auf das Volumen unserer Stichproben (10 Liter) sind die in den Graphiken als Individuen/l aufscheinenden Werte durch 10mal höhere Zählraten gesichert (mit Ausnahme hoher Individuenzahlen für *Polyarthra*, die auf der Durchsicht lediglich einer Fraktion beruhen).

Am größten ist ohne Zweifel der durch die unregelmäßige Verteilung des Planktons im See bedingte Fehler. Wie im Abschnitt über die Horizontalverteilung gezeigt werden wird, ergaben sich im Winter Unterschiede bis zu 200% und mehr. Die Methode der Zooplanktonentnahme zur eisfreien Zeit vermied derartige Störungen der Resultate.

## 3. Die qualitative Zusammensetzung des Zooplanktons

Das Zooplankton des Gossenköllesee zeigt die für die Lebewelt von Hochgebirgsseen ganz allgemein geltende Artenarmut. Tab. 4 gibt eine Liste sämtlicher Metazoenspecies, die ich bei meinen Untersuchungen im Pelagial des Sees gefunden habe.

Die Zahlen in Klammer bedeuten dabei den Prozentanteil den die betreffenden Arten am Gesamtzooplankton, d. h. an der Summe aller in der Zeit vom 31. Juli 1964 bis zum 31. Juli 1965 in den Zooplanktonproben enthaltenen Individuen ausmachen. Ist keine Zahl in Klammer angegeben, so liegt der Prozentanteil dieser Art unter 1%.

---

<b>Copepoden:</b>	<i>Cyclops tetricus</i> KOZMINSKI 1927 (19%) <i>Cyclops</i> sp.
<b>Cladoceren:</b>	<i>Chydorus sphaericus</i> O. F. MÜLLER <i>Alona affinis</i> LEYDIG
<b>Rotatorien:</b>	<i>Polyarthra dolichoptera</i> IDELSON 1925 (73%) <i>Notholca squamula</i> (O. F. MÜLLER 1786) (9%) <i>Synchaeta cf. tremula</i> (O. F. MÜLLER) 1786 <i>Synchaeta</i> sp. <i>Lecane</i> sp. <i>Trichocerca</i> sp. <i>Trichotria</i> sp. <i>Keratella cf. hiemalis</i> CARLIN Bdelloides Rotator

---

Tab. 4: Artenliste der im See vertretenen Zooplankter

## 4. Der quantitative Aspekt des Gesamtzooplanktons

### 4.1. Der Jahresgang

Über die Quantität des Zooplanktons in Hochgebirgsseen kann man bis heute in der Literatur nur sehr spärliche Angaben finden. Sie beschränken sich gewöhnlich auf Formulierungen wie „reichlich“, „spärlich“, „wenig“, „gering“, „dürftig“, „in Mengen“. So beschreibt STEINBÖCK (1949, S. 130) das Zooplankton des Schwarzsees ob Sölden (Ötztal, Österreich) als außerordentlich dürftig. STEINBÖCK führt die Individuenarmut des Crustaceenplanktons auf die in diesem See vorhandenen Saiblinge zurück und betont, daß der gletscherwassergespeiste Untere Wildgerlossee, 2.319 m, Zillertaler Alpen (Österreich), ein außerordentlich individuenreiches Zooplankton aufweist, aber keine Fische, „während die günstiger gelegenen Kühtaier Seen ungemein planktonarm sind, aber Salmoniden beherbergen“ (STEINBÖCK, 1949, S. 130). Schon 1938 (S. 487) hatte STEINBÖCK betont, daß das Plankton in den Kühtaier Seen eine untergeordnete Rolle spiele. BREHM und ZEDERBAUER (1904) hatten im Oberen Plenderlesee überhaupt kein Plankton festgestellt.

Weitere Hinweise über die Quantität des Zooplanktons in Hochgebirgsseen finden sich bei ZSCHOKKE (1900), NAUMANN (1924), PESTA (1929), STEINBÖCK (1949, S. 143) und TURNOWSKY (1946, 1954 a und 1954 b).

Die Ergebnisse der einzelnen Autoren weichen oft stark voneinander ab, was mit den verschiedenen biotischen und abiotischen Faktoren in den einzelnen Biotopen zusammenhängen, aber auch methodische Gründe haben kann. Niemand wird bezweifeln, daß sich frühere Autoren bemüht haben, entsprechend ihren Möglichkeiten richtige Erkenntnisse zu sammeln. Sie waren es ja, die oft in mühsamer Kleinarbeit

die ersten limnologischen Erkenntnisse unter schwierigsten Bedingungen gewonnen haben, und ohne diese Pioniere der Hochgebirgslimnologie könnten wir heute unsere Arbeiten nicht so weit führen. Eines möchte ich hier aber betonen: Ein einmaliger Besuch an einem See wird kaum einen für das ganze Jahr gültigen Aufschluß über die Quantität und die qualitative Zusammensetzung seines Planktons geben.

Nach einem einmaligen Besuch würde der Gossenköllesee als sehr zooplanktonarm, eventuell als von Netzplankton gänzlich unbewohnt bezeichnet. Wie wenig dieser Aspekt die durchschnittlichen Verhältnisse charakterisiert, wird auf folgenden Seiten gezeigt werden.

Aus Abb. 32 sind die starken Schwankungen der Individuenzahlen des Gesamtzooplanktons zu entnehmen. Im Durchschnitt waren 58.000 Zooplankter pro m<sup>3</sup> vorhanden. Vom Mai bis Oktober 1962 betrug die Durchschnittszahl nur 27.000 pro m<sup>3</sup>. Daraus wird ersichtlich, daß im Gossenköllesee das Zooplankton nicht in den eisfreien Sommermonaten, sondern zur Zeit der Eisbedeckung sein maximales Vorkommen hat. Für den Vorderen Finstertaler See scheint ähnliches zu gelten: PECHLANER (mündliche Mitteilung) fand, daß dort die Individuenzahlen der Rädertiere vom Juli bis Dezember laufend ansteigen und daß *Cyclops tatricus* KOZMINSKI erst im Spätwinter sein Fortpflanzungsstadium erreicht.

Vom September bis Februar ist die Kurve des gesamten Zooplanktons des Gossenköllees durch die Entwicklung der Rotatorien bestimmt, insbesondere durch *Polyarthra dolichoptera*. Die Rädertiere haben vor allem durch *Notholca squamula*

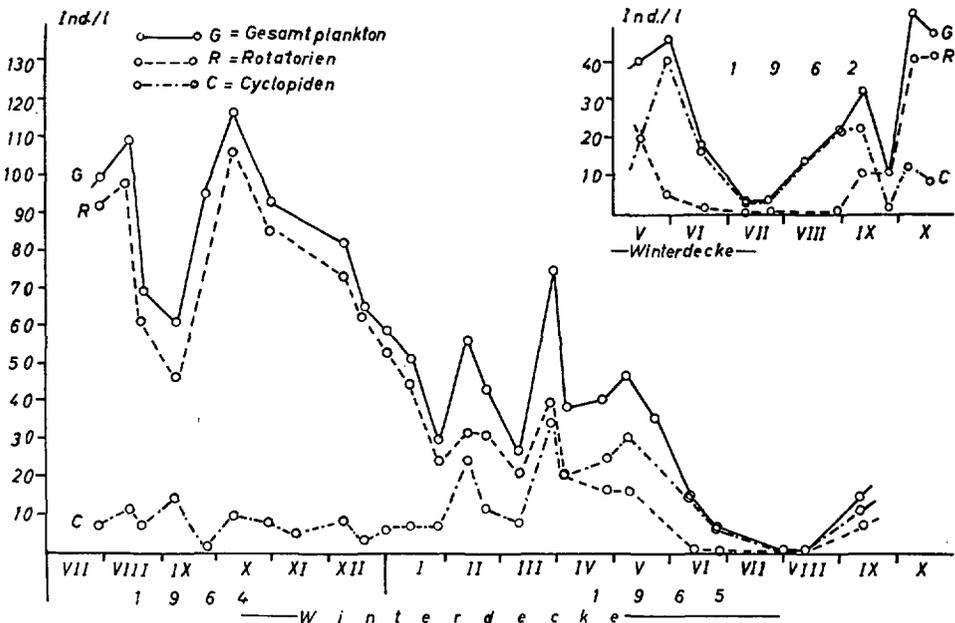


Abb. 32: Entfaltung des Gesamtplanktons im Jahresablauf 1964/65 (rechts oben für 1962).

zwar auch vom Februar bis April noch einen bedeutenden Anteil an den Individuenzahlen, doch läßt ihr Anteil am Gesamtzooplankton bereits merklich nach und hört mit Ende April fast vollkommen auf. Von Februar bis Ende August wird das Zooplankton zunehmend von den Copepoden, insbesondere von den Nauplien beherrscht.

Das große Minimum des Zooplanktons innerhalb des Jahresablaufes ist im Gossenköllesee einige Wochen nach Eisbruch. Die ungünstigen Lebensbedingungen unter einer Winterdecke von mehr als 200 cm Mächtigkeit lassen das Zooplankton in diesem See fast vollkommen verschwinden. Die Rädertiere bilden Dauerstadien, die Nauplien sterben zum Großteil ab und die adulten Copepoden werden durch die im See vorhandenen Forellen mehr und mehr dezimiert. Auch die Wassererneuerung durch die im Mai eintretende Schneeschmelze wird den starken Rückgang der pelagischen Population mitbedingen. Dieses tiefe Minimum war sowohl im Sommer 1962 als auch im Sommer 1965 anzutreffen.

Nach Eisbruch steigt zunächst die Zahl der Nauplien an, dann die der Copepodide und schließlich auch noch die von *Polyarthra dolichoptera*, so daß die Kurve bald einem Höhepunkt zusteuert. Am 14. August 1964 war ein ausgesprochenes Maximum (109 Individuen pro Liter); davon entfielen 98 Individuen auf *Polyarthra dolichoptera* und 9 waren Copepodide von *Cyclops tatricus*. Diesem Maximum folgte Ende August und Anfang September 1964 ein zweites Minimum, bedingt durch ein starkes Absinken der Individuenzahlen von *Polyarthra dolichoptera*. Auch im September 1962 war nach einem ersten Maximum dieses Absinken zu bemerken. Eine Erklärung hierfür läßt sich vorläufig nicht geben. Interessant ist, daß jedes Mal kurz vorher in der Höhe des Sees Schneefälle zu verzeichnen waren und am Untersuchungstag schönes Wetter mit sehr großer Strahlungsintensität herrschte.

Am 8. Oktober 1964 wurde die bisher höchste Individuenzahl pro Liter beobachtet: Von 117 Zooplanktern pro Liter entfielen 107 auf *Polyarthra* und 10 auf Copepoden (2 Nauplien, 7 Copepodide und 1 adulter *Cyclops tatricus*).

Mit Beginn der Eisbedeckung Mitte Oktober 1964 sank die Zahl der Individuen pro Liter schnell ab; diese Abnahme ist vor allem durch eine Verminderung der Individuenzahlen von *Polyarthra dolichoptera* bedingt und sie dauerte bis Ende Jänner 1965 an. Erst als Ende Jänner *Notholca squamula* zunahm und die Nauplienproduktion begann, war das Winterminimum überwunden. Ich zählte Ende Jänner, zur Zeit minimaler Zooplanktondichte, immerhin noch 29 Individuen pro Liter (4 Nauplien, 1 Copepodid, 2 *Cyclops* adult, 18 *Polyarthra* und 4 *Notholca*).

Ab Februar stieg die Zooplanktonkurve wieder an (die niederen Werte vom 10. März dürften, wie eine Stichprobe vom 15. März 1965 erwies, auf unregelmäßige Horizontalverteilung zurückzuführen sein). Ende März erreichen die Nauplien Zahlen ihren Höhepunkt, ebenso *Notholca squamula*. So haben wir im März-April die zweite große Zooplanktonentfaltung in diesem See mit einer Individuenzahl von 75 pro Liter am 29. März 1965 (32 Nauplien, 31 *Notholca*, 10 *Polyarthra* sowie 2 adulte *Cyclops*). Von nun an sinkt die Planktonkurve bis zum Eisbruch ständig ab. Die Abnahme der Rotatorien wird zwar noch gebremst durch den Gipfel im Auftreten

von *Synchaeta tremula*, doch hat diese Art keinen großen Einfluß auf die Zooplanktonzahlen. Auch die Abnahme der Copepoden wird noch aufgewogen durch neue Nauplienproduktion, aber auch hier kann der große Rückgang nicht mehr aufgehoben werden. So finden wir in den Monaten Juni bis August das große bereits besprochene Minimum des Zooplanktons im Gossenköllesee, das einen sommerlichen Besucher verleiten könnte, den See als sehr planktonarm zu bezeichnen.

#### 4.2. Die Vertikalverteilung des Gesamtzooplanktons zu den verschiedenen Jahreszeiten

Für Abb. 33 wurden charakteristische Vertikalverteilungen des Zooplanktons ausgewählt. Es konnten im Gossenköllesee 4 verschiedene Schichtungstypen im Jahresablauf beobachtet werden, die durch Übergänge miteinander verbunden sind.

Der 1. Schichtungstypus ist 6—8 Wochen lang nach dem Eisfreiwerden des Sees zu beobachten. Er läßt sich durch ein Maximum der Plankter in Sedimentnähe charakterisieren. In dieser Zeit sind es vor allem die Nauplien und die ersten Stadien der Copepodide, die dieses Bild hervorrufen. Wie die Untersuchungen der täglichen Vertikalwanderungen und die Proben von bedeckten Tagen annehmen lassen, dürfte in erster Linie die hohe Strahlungsintensität die Zooplankter veranlassen, sich in tieferen Schichten aufzuhalten; denn an bedeckten Tagen lag das Maximum meist höher und in der Nacht bewohnten die Copepoden alle Schichten. Dieser Schichtungstypus der Copepoden wird auch in der ersten Winterhälfte beibehalten. Erst im Februar steigen die Nauplien höher und haben dann bis zum Eisbruch knapp unter der Eisdecke ihr Maximum.

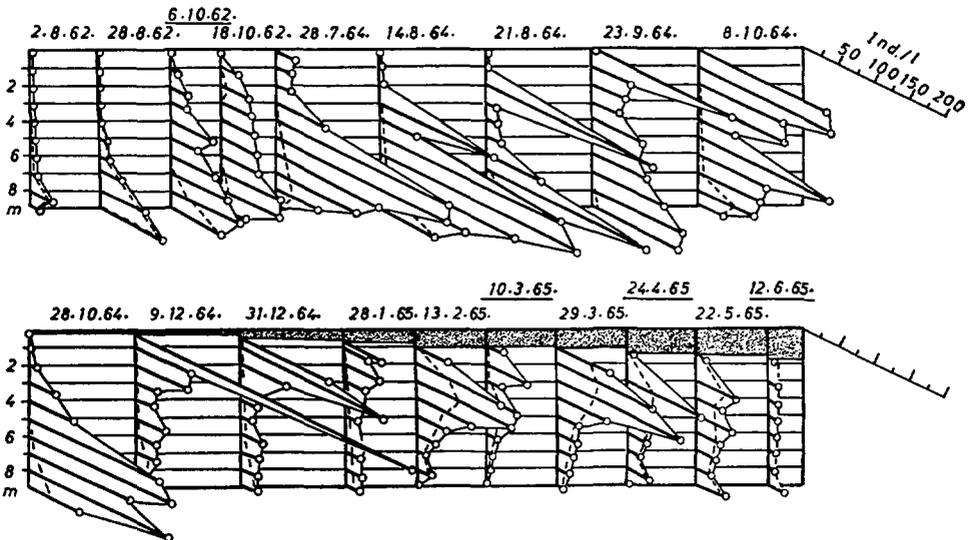


Abb. 33: Vertikalverteilung des Gesamtzooplanktons. (Die durch eine strichlierte Linie begrenzte Fläche gibt den Anteil der Copepoden an.)

Den zweiten Schichtungstypus finden wir in den Herbstmonaten September und Oktober, zum Teil — wenn der See schon sehr früh eisfrei wird — auch schon im August. Er wird geprägt durch *Polyarthra dolichoptera*. Dieses Rädertier bewohnt zwar mehr oder weniger alle Schichten, es meidet aber die oberflächennahen und die sedimentnahen Zonen. Es hält sich vorwiegend in den Schichten zwischen 3 und 6 m Tiefe auf. Dabei kann es vorkommen, daß zwei ausgeprägte Maxima durch ein Minimum getrennt werden.

Ein dritter Schichtungstypus, gekennzeichnet durch ein eng begrenztes Maximum direkt unter Eis, wurde im Dezember und Jänner festgestellt. Auch zu dieser Jahreszeit herrscht *Polyarthra dolichoptera* vor, die sich in diesen Monaten unmittelbar unter Eis aufhielt.

Das vierte und letzte Vertikalbild des Zooplanktons im Gossenköllesee wurde vom Februar bis Eisbruch gefunden. Es ist durch ein scharf begrenztes Maximum in 3 oder 2 m Tiefe charakterisiert. Wohl hält sich *Polyarthra dolichoptera* auch in dieser Jahreszeit vorzugsweise direkt unter Eis auf, aber ihre ständig abnehmende Individuenzahl hat nur mehr wenig Einfluß auf das Gesamtbild. Wichtiger sind in dieser Jahreszeit die Nauplien und *Notholca squamula*, die einen Aufenthalt in 2—3 m Tiefe bevorzugen. Dies ist auch die Tiefe, in der die größte Sauerstoffkonzentration gefunden wurde; es sind daher schon vor der Auswertung meiner Phytoplanktonproben und Primärproduktionsmessungen Anhaltspunkte dafür vorhanden, daß die Vertikalverteilung des Zooplanktons mit der des Phytoplanktons übereinstimmt (vgl. PECHLANER, 1964, S. 377).

### 4.3. Die Horizontalverteilung des Zooplanktons im Winter

Daß die Verteilung der Zooplankter im Gossenköllesee zur Winterszeit nicht homogen ist, zeigte eine Untersuchung am 25. Februar 1965: Es wurden dabei in Kreuzform in S-N- und in E-W-Richtung insgesamt 15 Löcher mit 13 cm Durchmesser durch die 140 cm mächtige Winterdecke gebohrt (vgl. Lageskizze in Abb. 34). Um eventuelle durch den punktförmigen Lichteinfall angeregte Vertikal- und Horizontalwanderungen der Zooplankter auszuschalten, bohrte ich zunächst alle Löcher und deckte sie sofort lichtdicht ab; denn das Bohren der Löcher dauerte an die 4 Stunden. Erst dann wurde aus jedem Loch mit Hilfe eines Planktonnetzes von 12 cm Durchmesser aus 3 m je ein Vertikalzug gemacht, den ich unter dem Mikroskop vollständig auszählte. Abb. 34 zeigt die Ergebnisse dieser Untersuchung.

Betrachten wir Abb. 34, so fällt uns sofort die große Einheitlichkeit in der winterlichen Zooplanktonverteilung auf. Nur einige wenige Proben fallen aus der Reihe. Es würde zu weit führen, wollte ich auf alle Einzelheiten eingehen. Es sei nur angedeutet, daß auch Abweichungen bis zu 250%, bei einzelnen Arten sogar bis zu 500% vorkommen.

Daß diese Tatsache bei der Beurteilung der einzelnen Ergebnisse beachtet werden muß, ist klar; besonders im Winter ist auf diese Art so manches Maximum, bzw.

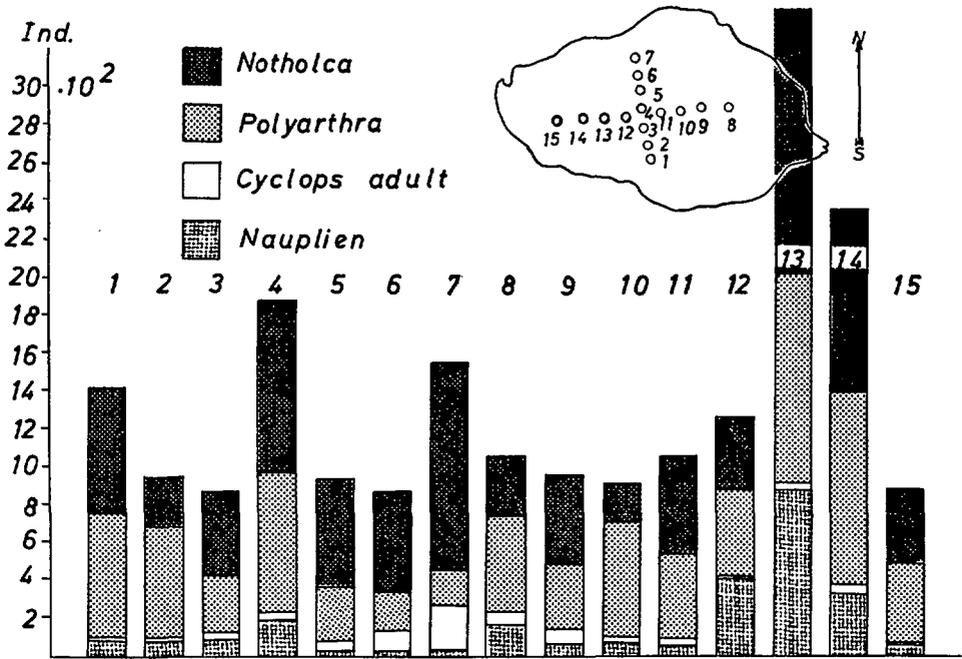


Abb. 34: Horizontalverteilung des Zooplanktons am 25. 2. 1965 (Individuenzahlen pro Netzung an 15 Entnahmestellen).

Minimum zustande gekommen, weil die Entnahme an ein enges Bohrloch gebunden war. Im Sommer hatte dies weniger Bedeutung, weil bei der Entnahme des Zooplanktons langsam über den See gefahren wurde. Wenn auch die einzelnen Resultate daher mit gewisser Vorsicht zu betrachten sind, so lassen sich doch aus den vielen Einzelergebnissen gute Durchschnittswerte ableiten.

## 5. *Cyclops tatricus* KOZMINSKI 1927

### 5. 1. Allgemeine Vorbemerkungen

*C. tatricus* stellt im Ablauf des Jahres 19% der Individuenzahlen des Gesamtzooplanktons. Zwar machen die adulten Tiere nur etwas mehr als 2% aus, doch die Copepodide ergeben bereits mehr als 4% und die Nauplien etwas über 12% der planktischen Tierwelt im Gossenköllesee. LINDBERGS Bestimmungstabelle (vgl. KIEFER, 1960, S. 78) enthält insgesamt 15 verschiedene Arten. Davon sind bis jetzt noch 7 Arten ohne Unterarten, bei den anderen 8 hingegen werden nicht weniger als 40 Unterarten gezählt.

*C. tatricus* unterscheidet sich von den anderen Arten vor allem dadurch, daß die Vorderkörpersegmente stark entwickelte Ecken in Form von dicken, hinten abgerun-

deten Blättern besitzen. Diese Blätter sind etwas gegen die Bauchseite hin gebogen. Sie umschließen das zweite und zum Teil auch das dritte Segment. Beim dritten und vierten Segment jedoch fehlen sie vollkommen. Die Ecken des 5. Segments sind schwach ausgezogen und zugespitzt. Das Genitalsegment ist vorne deutlich verbreitert und verzüngt sich nach rückwärts allmählich. Der Vorderkörper zeigt im Verhältnis zum Hinterkörper eine sehr starke Verlängerung. Die Furka ist ziemlich lang und deutlich divergierend, ebenso die Furkalborsten. Die Anzahl der Glieder an der 1. Antenne beträgt beim Weibchen 17 (vgl. RYLOW, 1935, S. 204).

*Cyclops tatricus* gehört zur „*Cyclops strenuus*-Gruppe“, bei der auf Grund rein morphologischer Merkmale bereits 50 Arten und Unterarten beschrieben wurden. In neuerer Zeit ist EINSLE (1962 b und mündliche Mitteilung) bemüht, unter Berücksichtigung der Chromosomendiminution eine natürliche Gruppierung der Formen von *Cyclops strenuus* zu finden. EINSLE konnte auf Grund cytologischer Untersuchungen, die durch morphometrische Analysen sowie durch ökologische Beobachtungen und Kreuzungsversuche gestützt werden, zwei Rassenkreise (*Cyclops strenuus* s. restr. und *Cyclops abyssorum*) aufstellen.

Dem „*abyssorum*“-Rassenkreis, der zur Zeit die schwierigste Gruppe in dieser Hinsicht darstellt, gehören auch die meisten Euplankter der größeren Voralpenseen an. KIEFER und EINSLE (EINSLE, 1962 b, S. 236) konnten nachweisen, daß die Unterschiede zwischen *C. tatricus* und *C. abyssorum* umso undeutlicher werden, je mehr Populationen man untersucht. Neben den Indizes für die äußeren Merkmale unterliegt auch das mehr qualitative Kennzeichen des *C. tatricus*, die Ausbildung der Lobi am 2. Thorakalsegment, bedeutenden Schwankungen. Vor allem findet man Populationen von *C. abyssorum praealpinus* (KIEFER, 1939), die ebenfalls ein kräftig entwickeltes Thorakalsegment aufweisen, ohne daß man dabei prinzipielle Unterschiede zwischen den beiden Arten feststellen könnte. So kam EINSLE zur Auffassung, daß *C. tatricus* nur ein bestimmter Ökotyp von *C. abyssorum praealpinus* (KIEFER, 1939) ist, eben die „forma“ der Hochgebirgsseen. KIEFER und EINSLE (1962, S. 48) schlugen daher vor, daß man Einzelfunde als *C. tatricus* s. lat. bezeichnen sollte, solange wir über die genaue Stellung dieser Formen in der Copepodensystematik im allgemeinen und innerhalb der *abyssorum*-Gruppe im besonderen noch so wenig wissen.

## 5.2. Die Nauplien von *Cyclops tatricus* KOZMINSKI

### 5.2.1. Die Größenverhältnisse der einzelnen Naupliusstadien

Ein Nauplius sieht vollkommen anders aus als ein adultes Tier. Er ist im Umriß länglich-oval und besitzt nur drei Paar Gliedmaßen, die den Vorder- und Hinterantennen sowie den Mandibeln der adulten Tiere entsprechen. Das erste Paar ist einreihig, die beiden anderen zeigen deutlich Spaltfußcharakter. Alle drei Paare dienen der Fortbewegung, die in raschen, durch Ruhepausen unterbrochenen Sprüngen besteht. Die zweiten Antennen und die Mandibeln dienen außerdem dem Nahrungs-

erwerb. Es gibt insgesamt 6 Naupliusstadien, die durch 5 Häutungen voneinander getrennt sind (vgl. KIEFER, 1960, S. 73ff.). Jedes Stadium ist durch spezifische morphologische Merkmale erkennbar (ZIEGELMAYER, 1925, S. 506—515).

Für das Studium der Populationsdynamik von *Cyclops tatricus* im Gossenköllesee war es notwendig, alle Nauplien der qualitativen und quantitativen Proben ihrem Entwicklungsstadium zuzuordnen. Ist dies schon bei lebenden Tieren nicht immer ganz leicht, so wird diese Arbeit bei fixierten Tieren noch bedeutend erschwert, zum Teil sogar unmöglich, wenn die Tiere mit Lougol'scher Lösung gefärbt wurden. Man hätte jeden einzelnen Nauplius für sich allein unter das Mikroskop nehmen müssen, um ihn genau zu untersuchen. Bei einer quantitativen Auswertung ist dies unmöglich, weil ja die Lage der Tiere in der Zählkammer nicht verändert werden kann. So habe ich in meinem Fall folgenden Weg beschritten: Es wurden zunächst etwas mehr als 20 Tiere eines jeden Stadiums genau bestimmt und in frisch fixiertem Zustand genau bezüglich ihrer Länge und Breite gemessen. Wie Abb. 35 zeigt, unter-

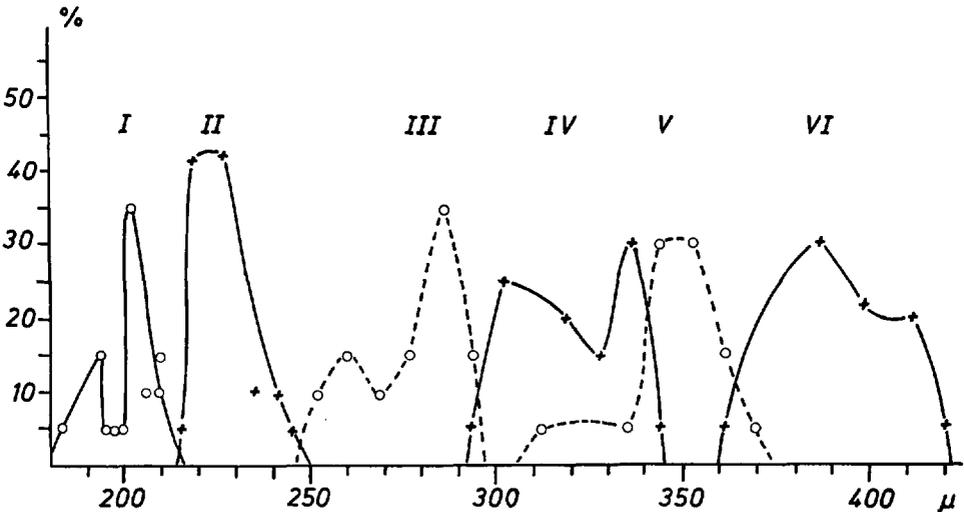


Abb. 35: Körperlänge der 6 Nauplienstadien von *C. tatricus*.

scheiden sich die einzelnen Stadien in ihrer Körperlänge recht deutlich. Dabei fällt auf, daß die Kurven nicht einer einfachen GAUSS'schen Verteilung entsprechen: Die einzelnen Stadien weisen in ihrer Länge zum Teil zwei deutliche Maxima auf. Besonders auffallend ist die Zweigipfligkeit in den Kurven für das 1., 3. und 4. Stadium. Beim 1. Orthonauplius kann sie dadurch erklärt werden, daß frischgeschlüpfte Nauplien zunächst etwas kürzer sind und erst nach einer gewissen Zeit, in der sie sich strecken, ihre volle Länge erreicht haben. Beim 1. und 2. Metanauplius kann dieses doppelte Maximum in der Körperlänge nur dadurch erklärt werden, daß sich bereits in diesen Jugendstadien die Größenunterschiede der Geschlechter zeigen, die später

bei den Copepodidstadien und schließlich bei den adulten Tieren noch viel deutlicher werden. Beim 2. Orthonauplius ist kein deutlicher Unterschied zu sehen, wohl deswegen, weil hier die Variationsbreite sehr klein ist und die beiden Maxima sehr eng beisammenliegen. Beim 3. und 4. Metanauplius ist die Zweigipfligkeit der Kurven nur schwach angedeutet und dies dürfte auf die geringe Anzahl der gemessenen Tiere zurückzuführen sein.

Die Variationsbreite der Länge bei den ersten vier Naupliusstadien ergibt kaum nennenswerte Überschneidungen; dasselbe gilt für das 5. und 6. Stadium. Nur zwischen dem 4. und 5. Stadium (2. und 3. Metanauplius) ist die Überschneidung ziemlich stark, so daß hier größere Fehler entstehen können, wenn — wie im Falle unserer Studie — die Nauplien nur auf Grund ihrer Länge ihrem Stadium zugeordnet werden. Auch die Körperbreite überschneidet sich in diesen Stadien am meisten.

Die Minima und Maxima sowie die durchschnittlichen Werte der Körpermaße für die einzelnen Naupliusstadien sind in Tab. 5 wiedergegeben.

	Körperlänge ( $\mu$ )		Körperbreite ( $\mu$ )	
	Schwankungs- bereich	Durchschnitt	Schwankungs- bereich	Durchschnitt
1. Stadium	184—210	200	105—130	123
2. Stadium	216—252	228	134—151	139
3. Stadium	252—294	277	143—168	157
4. Stadium	294—344	322	160—193	177
5. Stadium	312—370	350	160—210	183
6. Stadium	361—420	397	185—218	206

Tab. 5: Körperlänge und -breite der Naupliusstadien im Gossenköllesee (Durchschnittszahlen aus 20 Messungen) in  $\mu$

Der Längenzuwachs bei den verschiedenen Stadien schwankt erheblich. Er ist am kleinsten (0,027 mm) bei der 1. Häutung, aber bei der 4. Häutung, in der aus dem 2. Metanauplius der 3. Metanauplius hervorgeht, mit 0,029 mm nur wenig größer. Bei der zweiten Häutung beträgt der Längenzuwachs 0,049 mm, bei der 3. Häutung 0,044 mm und bei der 5. Häutung 0,046 mm.

Aus dem bisher Gesagten ergibt sich, daß Fehlbestimmungen auf Grund der Längenmessung vor allem zwischen dem 4. und dem 5. Naupliusstadium vorkommen. Daher sind die Angaben über diese Stadien mit einem gewissen Vorbehalt zu werten. Eine weitere Fehlerquelle bei meiner „Altersbestimmung“ lag darin, daß die Tiere in der Zählkammer nicht immer genau gemessen werden konnten, weil sie verkrümmt waren oder eine schiefe Lage einnahmen. Der Fehler bei der Einordnung der Stadien dürfte aber  $\pm 10\%$  nicht übersteigen.

### 5.2.2. Der Jahresgang der Nauplien

Die Nauplien von *C. taticus* stellen im Durchschnitt 12% der Individuen des gesamten Zooplanktons im Gossenköllesee. In Abb. 36 ist die jahreszeitliche Ent-

wicklung der Nauplien dargestellt. Die Kurven  $G_1$  und  $G_2$  verbinden die durchschnittlichen Individuenzahlen pro Liter der Summe aller Nauplienstadien für die beiden Beobachtungsperioden, während die übrigen Kurven (1., 2. und 3.) den Anteil des 1., 2. und 3. Naupliusstadiums an den Zahlen für Jänner bis einschließlich Juli 1965 wiedergeben.

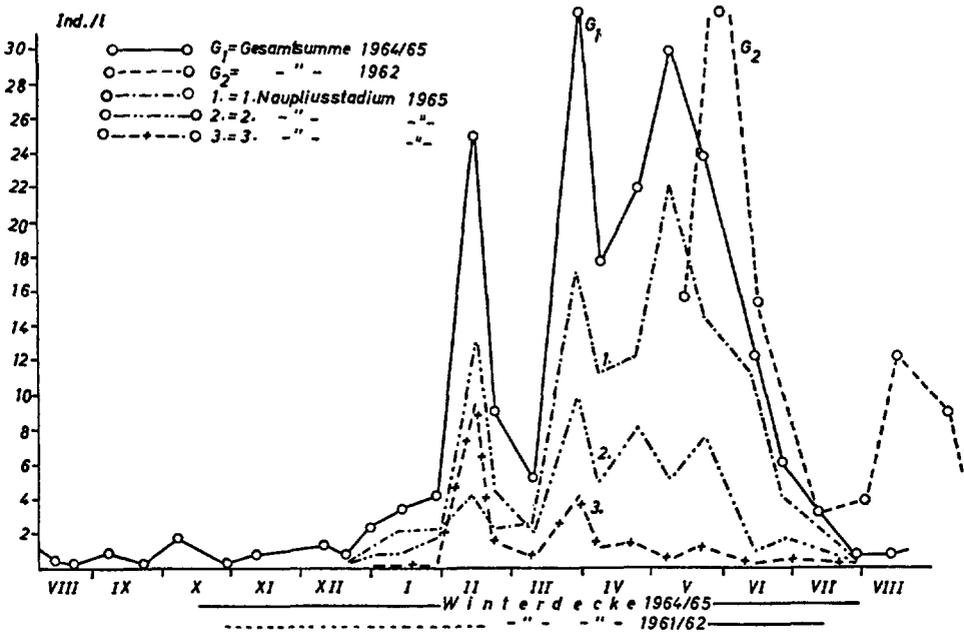


Abb. 36: Die Nauplien von *C. taticus* im Jahresgang.

Der Beginn der Nauplienentwicklung war im Winter 1964/65 schon Ende Dezember, im Winter 1965/66 hingegen erst 4 Monate später, eine Folge des Umstandes, daß im Sommer 1965 der See um 6 Wochen später eisfrei wurde als 1964. So waren am 6. März 1966 erst 10% der vorhandenen Cyclopiden adulte Tiere, 70% standen im letzten und 20% im vorletzten Copepodidstadium. Der Beginn der Nauplienproduktion hängt insofern vom Datum des Eisbruches ab, als sich — mit wenigen Ausnahmen — die Nauplien der vorhergehenden Generation erst nach dem Eisfreiwerden des Sees über das Orthonaupliusstadium hinaus weiterentwickeln (siehe unten).

Die Zahl der Nauplien stieg von Anfang Jänner bis Ende April 1965 erheblich an. Inwieweit Schwankungen der Individuenzahlen innerhalb dieser Periode real sind oder durch horizontale Inhomogenität vorgetäuscht werden, ist nicht zu entscheiden. Im Laufe des Mai, Juni und Juli sinken die Nauplienzahlen aber wieder ab und erreichen bei Eisbruch ein Minimum. Nach dem Eisfreiwerden des Sees vermehren sich die Nauplien nochmals ein wenig, was besonders im Sommer 1962 deutlich zu sehen

war. Die Nauplienproduktion dauerte im Jahre 1964 bis in den Dezember hinein an, wenn auch ihre Zahl im Herbst nur mehr sehr klein war. Vom November 1965 bis März 1966 wurden keine Nauplien mehr beobachtet.

Ein gewisser Prozentsatz der im Jänner schlüpfenden Nauplien erreicht ein höheres Entwicklungsstadium, ja manche wachsen sogar noch zu adulten Tieren heran. Doch der größte Teil der Nauplien stirbt bereits nach dem 2. Stadium ab. Je länger der Winter dauert und je mächtiger die Winterdecke wird, desto ungünstiger sind die Lebensbedingungen für die jungen Larven und desto weniger Nauplien haben die Chance, ein höheres Stadium zu erreichen. So waren am 12. Februar 1965 noch 23% der Nauplien vom 3. Stadium, während die Stadien 4—6 nur mehr 7% ausmachten; am 22. Februar 1965 lauteten die entsprechenden Zahlen 20 und 3,5%; am 10. März 1965 waren 12 und 3,8% von den genannten Stadien; am 24. April 1965 waren schließlich nur noch 7% vom 3. Stadium und 1% vom 4.—6. Stadium. Das 6. Stadium wurde am 24. April 1965 zum letzten Mal angetroffen vor Eisbruch, und zwar mit nur einem einzigen Exemplar. Das 4. und 5. Naupliusstadium sowie Copepodide waren vereinzelt im Mai und Juni anzutreffen. Dies weist darauf hin, daß es nur sehr wenigen frisch geschlüpfen Tieren gelingt, zur Zeit der Eisbedeckung die höheren Naupliusstadien zu erreichen. Noch weniger Tiere bringen es bis zum Copepodidstadium. Von diesen Tieren dürften jene jungen Nauplien stammen, die im Spätsommer und Herbst zu finden sind, zu einer Zeit also, da der Nauplienschub, dessen Entwicklung unmittelbar nach dem Auftauen des Sees rasche Fortschritte machte, viel spätere Häutungsstadien erreicht hat. Die im Gossenköllesee monozyklische Entwicklung von *Cyclops tatricus* wird also durch die mit dem Eisbruch gekoppelten einschneidenden Milieüänderungen synchronisiert, aber nur für den Großteil der Population.

Bei der Betrachtung von Abb. 36 taucht die Frage auf: Leben die im Jänner bis März geborenen Nauplien bis zum Beginn der Schneeschmelze und werden sie dann vom durchfließenden Schmelzwasser aus dem See gespült oder sterben die meisten Tiere schon früher ab und werden durch später schlüpfende ersetzt? Im ersteren Fall müßte ihre Entwicklung nach der ersten Häutung vorläufig zum Stillstand kommen.

Um diese Frage zu klären, machte ich folgenden Versuch: Ich beschaffte mir unterschiedlich gebaute Glasröhren (gerade, gebogene, ausgebuchtete) von 5—12 cm Länge und 2 cm Durchmesser. In diese gab ich zum Teil Eigelege, zum Teil Nauplien der verschiedenen Stadien. Die beiden offenen Röhrenseiten wurden mit Müllergaze von 0,067 mm Maschenweite verschlossen. Nun hängte ich die Versuchsröhren am 14. Mai 1965 in 3 m Seetiefe, also in jene Tiefe, in der stets die meisten Nauplien zu dieser Zeit angetroffen wurden. In diesen „in situ“-Käfigen waren die Eier und Nauplien stets mit Frischwasser versorgt, aber vor Räubern und einer Ausschwemmung durch Schmelzwasser geschützt. Das Experiment sollte die Frage klären, wie lange die Tiere zu dieser Zeit im See leben können.

Als ich am 22. Mai 1965 die ersten beiden Versuchsröhren herausnahm, waren bereits sämtliche Tiere abgestorben. Nur mehr die zum Teil verwesenen Reste der

Nauplien waren zu sehen. Das gleiche Ergebnis fand ich, als ich Woche für Woche die restlichen Käfige kontrollierte. Von den ca. 1.000 Nauplien, die in diesen Röhren eingesperrt waren, konnte ich bis zum 25. Juni 1965 nur einen 2. Orthonauplius und einen Copepodid des 4. Stadiums lebend entdecken. Dieser Versuch zeigt, daß der allergrößte Teil der Nauplien im Hoch- und Spätwinter infolge von ungünstigen Lebensbedingungen (wahrscheinlich aus Nahrungsmangel?) im See zugrunde geht, und daß es unter Eis nur einem verschwindend kleinen Prozentsatz gelingt, ein höheres Stadium zu erreichen. Freilich muß betont werden, daß in den Röhren mit mangelnder Wassererneuerung assoziierte Faktoren für die Mortalität der Copepodenlarven eine Rolle gespielt haben können.

Der Nahrungsfaktor dürfte der Hauptgrund sein, daß im Mai die Zahl der Nauplien so stark zurückgeht. Zu dieser Zeit ist die Winterdecke mehr als 200 cm mächtig und reduziert das Eindringen photosynthetisch verwertbarer Energie derart, daß selbst ein an sehr schwache Lichtquellen adaptiertes Phytoplankton (vgl. PECHLANER, 1967, S. 173ff.) mit seiner Primärproduktion den Nahrungsbedarf der larvalen Copepoden nicht zu decken vermag. Wenn selbst in dieser Zeit die meisten Nauplien bis zum 2. Stadium gelangen, so ist dies damit erklärbar, daß der 1. Orthonauplius sehr viele Dotterkugeln als Nahrungsreserve mitbekommt.

Ein Teil der Nauplien wird sicher auch den adulten Tieren zum Opfer fallen: Wenn man in ein Blockschälchen ein bis zwei adulte Tiere und einige Nauplien gibt, dann wird man schon nach ein bis zwei Stunden keine Nauplien mehr finden. Dasselbe ist der Fall, wenn man ein *Cyclops*-Weibchen mit Eiern in ein Gefäß gibt und wartet, bis die Embryonen schlüpfen. Entfernt man das Muttertier nach dem Schlüpfen der Jungen nicht sofort, dann werden die Nauplien von ihm gefressen.

Der Verlust der Nauplien durch die im See vorhandenen Forellen (*Salmo trutta m. fario*) dürfte sehr gering sein. Im Mageninhalt einer am 7. April 1965 gefangenen Forelle entfiel auf 330 adulte Copepoden 1 Nauplius, was bei dem zu dieser Zeit gegebenen Verhältnis adulter Copepoden: Nauplien = 1:15 auf eine selektive Ausklammerung von Nauplien als Nahrung der Forellen schließen läßt.

Mit Eisbruch treten einige interessante Tatsachen auf:

1. Die Nauplienzahl ist auf ein Minimum herabgedrückt. Dies hat seine Ursache vor allem darin, daß ein Großteil der unter der Winterdecke geschlüpfen Tiere abgestorben ist und nun nur mehr relativ wenige Larven schlüpfen. Ein weiterer Grund für dieses Minimum ist aber darin zu sehen, daß die Tiere vor der großen Strahlungsintensität, der sie jetzt ausgesetzt sind, in die Tiefe flüchten. Sie halten sich bei Tag knapp über oder sogar im Sediment auf. Sie können daher nicht mehr quantitativ erfaßt werden. Nachtfänge haben gezeigt, daß die Zahl der Nauplien im Sommer nachts um 50-60% höher ist als bei Tag (vgl. Vertikalwanderung der Nauplien).

2. Erwähnenswert ist ferner die Tatsache der zunehmenden Rotfärbung der Nauplien nach Eisbruch. Waren sie bisher nur mehr oder weniger schwach rötlich, so ist jetzt eine intensive Rotfärbung festzustellen (vgl. BREHM, 1938).

3. Nach Eisbruch steigt die Zahl der Nauplien wieder etwas an. Besonders deutlich war dies im Jahre 1962 zu beobachten. Diese Erscheinung dürfte nicht von einer vermehrten Nauplienproduktion herrühren oder allein auf ein Zurückkehren der Nauplien aus dem Sediment zurückzuführen sein, sondern auf die Tatsache, daß sich jetzt die Lebensbedingungen gebessert haben und die Tiere zu einem höheren Prozentsatz am Leben bleiben. Es kommt also infolge der geringeren Mortalität trotz der nun verringerten Eiablage zum Ansteigen der Individuenzahlen (vgl. NAUWERCK, 1963, S. 69f.).

4. Mit Eisbruch setzt schlagartig eine rasche Weiterentwicklung der Nauplien ein. Bald treten in vermehrter Anzahl auch Nauplien der höheren Stadien auf und nach 3—4 Wochen stellen bereits die Copepodide (1. und 2. Stadium) die meisten Vertreter. Auf diese Entwicklung der Nauplien nach Eisbruch soll im folgenden Abschnitt noch genauer eingegangen werden.

Mit dem Ansteigen der Copepodidstadien sinkt die Zahl der Nauplien sehr schnell ab, weil jeder Copepodid aus einem Metanauplius hervorgegangen ist und weil die Nauplien durch die Copepodide stark dezimiert werden (NAUWERCK, 1963, S. 70). Auch sind einige Wochen nach dem Eisfreiwerden des Sees nur mehr wenige adulte Weibchen vorhanden.

### 5.2.3. Die Entwicklung der einzelnen Naupliusstadien

Wie aus Abb. 36 zu ersehen ist, stellen die Nauplien des 1. Stadiums zur Zeit der Vereisung den größten Prozentsatz, und ihr Anteil steigt, je länger die Eisbedeckung dauert. So war der 1. Orthonauplius am 10. März 1965 nur mit 38% vertreten, am 7. April 1965 betrug der Prozentsatz bereits 58% aller Nauplien, am 7. Mai 1965 72% und am 12. Juni 1965 sogar 84%. Von Ende Juni an sank dann im Jahre 1965 der Prozentanteil des 1. Stadiums erheblich ab, weil nun auch das 2. und später auch das 3. Stadium wieder vermehrt auftraten. Am 25. Juni betrug der Prozentsatz des 1. Stadiums nur mehr 65%, und Mitte Juli waren bereits die Nauplien des 2. Stadiums in der Überzahl; noch aber sind auch zu dieser Zeit die Nauplien des 3. Stadiums nur sehr spärlich vertreten und die höheren Stadien fehlen fast vollständig.

Mit dem Eisfreiwerden des Sees treten auch bald die höheren Naupliusstadien auf (Abb. 37). Am 31. Juli 1965 konnte bereits das Maximum des 1. Metanauplius beobachtet werden; auch waren schon viele Tiere des nächstfolgenden Stadiums im Pelagial des Sees. Es dauerte dann noch 12 Tage, bis der 2. Metanauplius sein Maximum erreichte (12. August). Die nächsten Häutungen folgten in kürzeren Abständen. 5 Tage nach dem Maximum des 2. Metanaupliusstadiums wurde schon das Maximum des 3. Metanauplius angetroffen (17. August); bis zum Maximum des 4. Metanauplius dauerte es ebenfalls nur 4—5 Tage, und nach weiteren 5—6 Tagen hatten die Copepodide des 1. Stadiums schon ihr Maximum. Die weitere Entwicklung verlief wieder langsamer (vgl. Abschnitt über die Entwicklung der Copepodide).

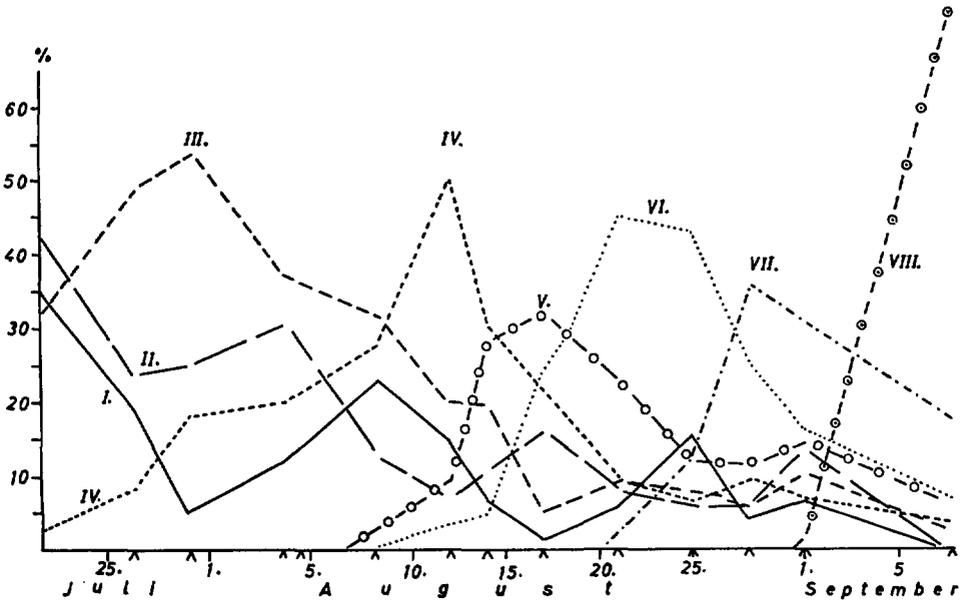


Abb. 37: Entwicklung der Naupliusstadien (I.—VI.) und der ersten zwei Copepodidstadien (VII.—VIII.) von *C. tataricus* in den ersten 5 Wochen nach dem Eisbruch des Jahres 1965.

Vergleicht man die Nauplienentwicklung im Jahre 1962 mit der des Jahres 1964/65, so ergeben sich gute Übereinstimmungen: Im Mai 1962 war noch ein Maximum im Gesamtbestand der Nauplien vorhanden. Von diesem Monat an ging die Zahl der Nauplien stark zurück und erreichte zur Zeit des Eisbruches ein Minimum (ca. 20. Juli). Auch damals stieg mit beginnender Erwärmung des Sees die Zahl der Nauplien zunächst noch an, und zwar etwas stärker als im Jahre 1965, bald aber sank sie ständig ab und erreichte im Oktober 1962 fast den Wert Null. Ähnlich ist auch die Abfolge der Nauplienstadien: Im Jahre 1962 waren in den Monaten Mai und Juni fast nur Orthonauplien vorhanden, nur einige kamen auch zum Stadium des 1. Metanauplius. Die Vertreter des 2. und 3. Metanaupliusstadiums waren sehr selten und das 4. Metanaupliusstadium war vor Eisbruch überhaupt nicht vertreten.

Wie im Sommer 1965, so begann auch im Jahre 1962 mit dem Verschwinden der Winterdecke die Weiterentwicklung der Nauplien. Im Sommer 1962 wurde der See ca. am 20. Juli eisfrei und am 28. August hatte bereits das 2. Copepodidstadium sein Maximum erreicht. Im Sommer 1965 dauerte dies vom 30. Juli bis ca. 10. September. Die Zeitdauer war also in beiden Jahren fast gleich. Aus dieser Tatsache ergibt sich für die Entwicklungsdauer eines Nauplius bis zum 1. Copepodidstadium eine Zeitspanne von ca. 30 bis 36 Tagen. So dürften zwischen den einzelnen Häutungen durchschnittlich 5 Tage liegen.

Bei der Entwicklung der Nauplien spielen verschiedene Faktoren eine Rolle. Der Temperatur kommt dabei eine entscheidende Bedeutung zu. Schon die Embryonalentwicklung hängt stark von der Temperatur ab, wie NAUWERCK (1963, S. 113f.) für *Eudiaptomus graciloides* aus dem See Erken (Schweden) zeigen konnte. Weiters wies NAUWERCK (mündliche Mitteilung) nach, daß die Entwicklung der Nauplien so gut wie stehen bleibt, wenn die Wassertemperatur unter 2° C sinkt.

EINSLE (1964 b, S. 345) glaubte in größeren Versuchsreihen nachweisen zu können, daß zumindest für *Cyclops* s. str. die Photoperiodik nicht nur die Diapause des 4. oder 5. Copepodidstadiums auslöst, sondern auch die Entwicklungsgeschwindigkeit der Nauplien und der jüngeren Copepodidstadien in verstärktem Maße regelt. Nach EINSLE liegen zwei verschiedene Prozesse vor: Während bei einer Tageslänge von 2, bzw. 18 Stunden die Naupliuentwicklung in der gleichen Weise verläuft, wird sie durch eine Lichtphase von 6 Stunden (in 24 Stunden) sichtlich gefördert, bei einer Tageslänge von 12 Stunden dagegen deutlich gehemmt.

DUSSART (mündliche Mitteilung beim Internationalen Limnologen-Kongreß 1965 in Polen) hat ebenfalls Versuche mit Copepoden-Larven angestellt. Er züchtete Nauplien bei verschiedener Helligkeit, bzw. verschiedener Photoperiodik und unter verschiedenen Temperaturbedingungen, um die Abhängigkeit der Entwicklungsgeschwindigkeit von diesen Faktoren zu studieren. Dabei konnte er feststellen, daß die Entwicklung der Nauplien durch das Licht beschleunigt wird. DUSSART vertritt die Ansicht, daß die sichtbare Strahlung für die Tiere eine Energiequelle darstellt, die den Stoffwechsel erleichtert, wenn die Temperatur niedrig ist. Licht ist nach DUSSART eine bessere Energieform als Wärme.

Ähnliche Verhältnisse fand COMITA (1956, S. 576—591) in einem Biotop Alaskas, wo die Entwicklung von *Limnocalanus iohanseni* und *Calanus finmarchus* bei Eisbruch fast auf dieselbe Art und Weise vor sich ging wie im Gossenköllesee bei *Cyclops taticus*.

#### 5. 2. 4. Die Vertikalverteilung der Nauplien

Wenn die letzten Eisschollen im Hochsommer schmelzen, dann ziehen sich die Nauplien in die Tiefe zurück und bewohnen die Schichten knapp über dem Grund und zum Teil das Sediment selbst (vgl. Abb. 38). Nur an trüben Tagen lag das Maximum der Nauplienpopulation um 1—2 m höher.

Das sommerliche Verteilungsbild blieb auch während der Eisbedeckung zunächst noch erhalten. Im Jänner jedoch bevölkerten die Nauplien mehr die mittleren Zonen, und ab Februar war das Maximum regelmäßig in 1—2 m Tiefe zu finden. Vom Jänner bis April hielten sich auch sehr viele Tiere direkt unter der Eisdecke auf. Das Minimum fand ich in diesen Monaten stets in Sedimentnähe. Ab dem 24. April 1965 änderte sich das Verteilungsbild wieder ein wenig: Wohl hielt sich auch jetzt noch das Maximum in 2—3 m Tiefe auf, aber direkt unter der Eisdecke war die Populationsdichte minimal, der Durchstrom von Schmelzwasser könnte ein Grund dafür sein, aber wohl nicht der einzige, weil auch am 24. April und am 7. Mai 1965 unter Eis sehr wenig

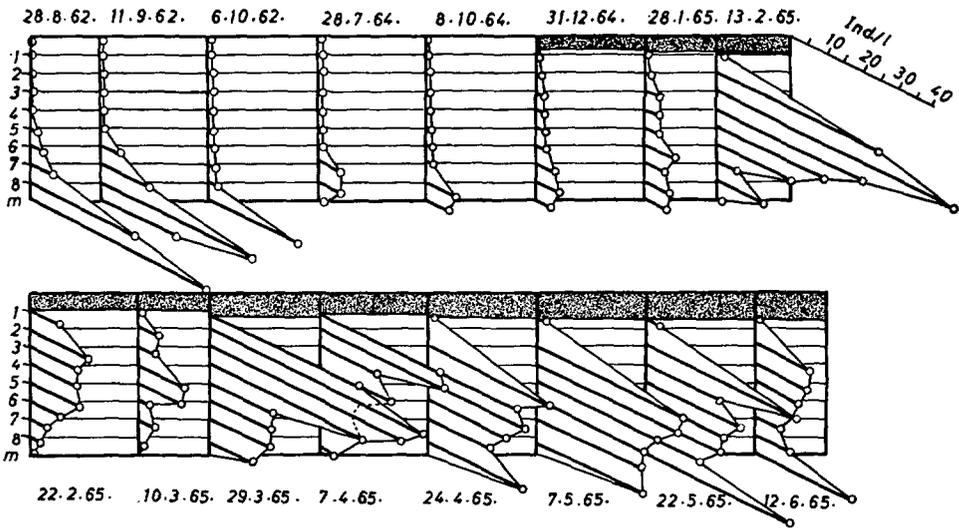


Abb. 38: Vertikalverteilung der Nauplien von *C. tatricus*.

Nauplien waren, obwohl es an diesen beiden Tagen infolge der kühlen Witterung sicher nur wenig Schmelzwasser gab.

Von Ende April bis Mitte Juni, also zu dem Zeitabschnitt, da der Hochgebirgs-winter seinem Ende entgegen ging, und die Winterdecke mit 233 cm ihre größte Mächtigkeit erreicht hatte, fand ich über dem Sediment ein zweites Maximum an Nauplien. In dieser Zone war vorher immer ein Minimum. NAUWERCK (1963, S. 67ff.) berichtet von *Erdiaptomus graciloides* (LILLJEBORG), der allerdings zum Unterschied vom *Cyclops tatricus* des Gossenkölleesee nicht monozyklisch ist, sondern dessen Jahresablauf im See Erken aus einer langen Wintergeneration und mehreren Sommergenerationen besteht, daß die Zahl der Nauplien während des Winters sehr gering ist. Metanauplien treten erst im April und Copepodide nicht vor Ende Mai auf. Von März bis Mitte April ist dicht über dem Sediment ein großes Maximum (bis 500 Individuen pro Liter) kleiner Nauplien, die zu 99% Orthonauplien sind. Dies legt den Verdacht nahe, daß ein Teil der Eier im Herbst abgelegt wird und im Schlamm überwintert. Die jungen Nauplien schlüpfen erst im Frühjahr aus, und daher liegt dieses Maximum dicht über dem Sediment; denn im See Erken reicht die Individuenzahl der Winterpopulation für einen so zahlreichen Nachwuchs nicht aus, zumal die niedere Temperatur die Entwicklungsgeschwindigkeit hemmt. Doch auch im See Erken verschwindet diese Nauplienpopulation, ohne daß je Metanauplien oder gar spätere Stadien in nur annähernd ähnlicher Anzahl aufgetreten wären. Vielleicht, so schließt NAUWERCK, werden sie von der *Cyclops*-Population vertilgt, die zu dieser Zeit aus dem Schlamm steigt.

Ich konnte bei meinen Untersuchungen des Schlammes des Gossenköllesee im Jänner und Februar 1965 nie *Cyclops*-Eier finden, was neben anderen Beobachtungen dagegen spricht, daß bei unserer Art die Eier längere Zeit ruhen und aus successiv abgelegten Eiern ein großer Nauplienschub simultan schlüpft.

### 5.2.5. Die tägliche Vertikalwanderung der Nauplien und Copepodide

Über die tägliche Vertikalwanderung des Planktons ist in den letzten Jahren eine Reihe von bedeutenden Publikationen erschienen, die sowohl die physiologischen Voraussetzungen als auch das Spektrum der äußeren Einflüsse zu erfassen suchten (EINSLE, 1964 c; NAUWERCK, 1963; SCHRÖDER, 1959; SIEBECK, 1960 b). So wissen wir heute, daß die Art und die Amplitude der täglichen Vertikalmigration von der Art des Gewässers und von der systematischen Stellung abhängt (EINSLE, 1964 c, S. 175; RUTTNER, 1962, S. 165 ff.)! SCHRÖDER (1959) hat diesbezüglich das Verhalten der Planktonkrebse der Seen des Schwarzwaldes studiert. Nach ihm hängt die Tiefe des Volksdichtemaximums u. a. auch von der Transmission des Gewässers ab. Durch Laborversuche wies er nach, daß neben Phototropismus auch der Geotropismus eine Rolle spielt. SIEBECK (1960 b) konnte durch seine Arbeit an den Lunzer Seen aufzeigen, daß bei der Wanderung der Plankter die Intensitätsunterschiede des Lichtes maßgeblich beteiligt sind und nicht so sehr eine bestimmte Beleuchtungsstärke; dabei ist die Frage, ob diese Intensitätsschwankung bei hoher oder niedriger Strahlungsintensität erfolgt, nicht so wichtig, wie die „Vorgeschichte“ der Beleuchtung.

Die Untersuchungen über die Vertikalwanderungen innerhalb von 24 Stunden wurden im Gossenköllesee an drei verschiedenen Tagen vorgenommen: 10. 3. 1965 (154 cm Winterdecke), 13. 8. 1962 und 8. 9. 1965. An allen drei genannten Tagen war das Wetter heiter bis wolkenlos; die Nacht war in der ersten Hälfte jeweils mondhell (ca. Vollmond), nach Mitternacht aber verschwand der Mond hinter den umliegenden Bergen. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in den Abb. 39 und 40 dargestellt. Um die Verhältnisse möglichst übersichtlich zu gestalten, wurde die Darstellungsweise wie bei NAUWERCK (1963, S. 83 f.) gewählt. Es sind die Isoplethen für den jeweiligen Schwerpunkt der Population angegeben, d. h. jene Tiefe, oberhalb und unterhalb deren sich je die Hälfte der Population befindet. Zur besseren Anschauung sind ferner die Isoplethen für 10% und 30%, je von oben und von unten gerechnet, eingetragen.

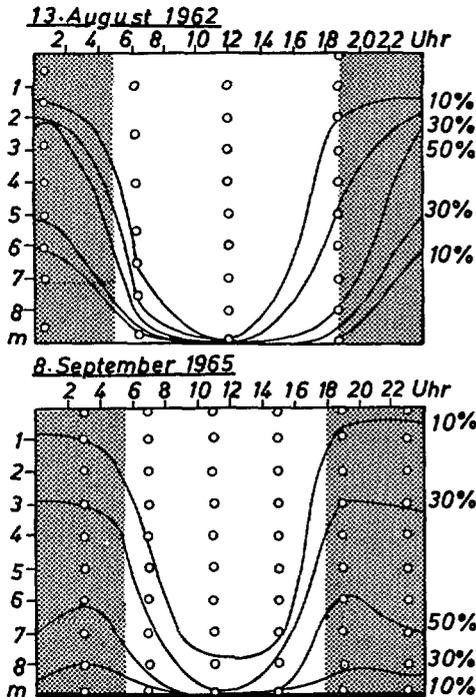
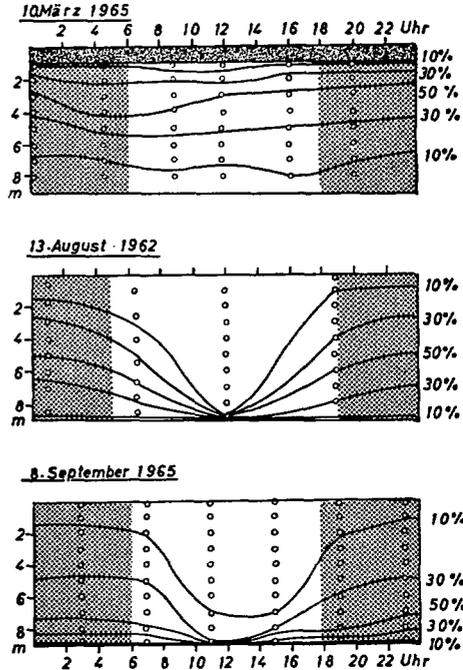
Aus meinen Untersuchungen vom 10. März 1965 ging klar hervor, daß die Nauplien zur Zeit der Eisbedeckung im Gossenköllesee keine großen Wanderungen in vertikaler Richtung durchführen. Dieses Resultat stimmt mit den Verhältnissen überein, wie sie NAUWERCK (1963, S. 86) im schwedischen See Erken während des Winters angetroffen hatte.

Die Ergebnisse vom 13. August 1962 zeigen im wesentlichen das gleiche Verteilungsbild im Tagesablauf, wie ich es am 8. September 1965 angetroffen habe: Die Nauplien hielten sich zur Mittagszeit knapp über dem Sediment auf, stiegen dann in den

Abb. 39: Tägliche Vertikalwanderung der Nauplien von *C. tatricus* (Legende siehe S. 90).

späten Nachmittagsstunden höher und bevölkerten zur Dämmerungszeit mehr oder weniger alle Zonen des Sees. Während der Nacht ändert sich das Verteilungsbild nur wenig, und mit Sonnenaufgang beginnt wieder die Abwärtswanderung der Tiere. Dabei blieb in der Nacht das Maximum der Tiere in den tieferen Schichten, nur um 2–4 m höher als bei Tag.

Betrachten wir Abb. 40, so können wir über die tägliche Vertikalmigration der Copepodide dasselbe wie bei den Nauplien sagen, nur scheinen die Copepodide nach Einbruch der Dunkelheit etwas (1 m) abzusinken.



Die Vertikalwanderung der Nauplien im Gossenköllesee zeigt innerhalb von 24 Stunden eine ziemlich große Amplitude; sie ist größer, als SCHRÖDER (1959) bei seinen Untersuchungen in den Schwarzwaldseen für die Nauplien von *Cyclops* cf. *tatricus* feststellen konnte. SCHRÖDER kam zur Überzeugung, daß die Eigenbeweglichkeit der Nauplien sehr klein ist. Wenn diese Tiere überhaupt wandern, dann sei eine Strecke von 2 m schon sehr viel und man müßte daher, um die Amplitude genau zu bestimmen, die Fangstufen enger legen.

Abb. 40: Tägliche Vertikalwanderung der Copepodide von *C. tatricus* (Legende siehe S. 90).

SCHRÖDER (1959, S. 12) kam auf Grund seiner Untersuchungen über die Vertikalwanderungen der Copepodide von *Cyclops cf. tatricus* KIEFER zur Überzeugung, daß die bevorzugte Wohntiefe der Copepodide im Feldsee (Schwarzwald) in 4 m Tiefe und im Titisee in 6 m Tiefe lag. Im Bodensee überwinden die Copepodide von *Cyclops abyssorum praealpinus* (KIEFER, 1939) bei ihren täglichen Vertikalwanderungen im Sommer täglich eine Strecke von 20–30 m und eine Temperaturdifferenz von 12 bis 14° C. Sie halten sich während des Tages vor allem zwischen 20 und 40 m Tiefe auf, in der Nacht hingegen zwischen 5 und 15 m, wobei die tagsüber bewohnten Schichten fast völlig verlassen werden. Auch das 1. und 2. Copepodidstadium machen diese Wanderungen im vollen Ausmaße mit (EINSLE, 1964 c, S. 177).

Bei meinen Untersuchungen waren nachts durchwegs mehr Tiere in den Proben als bei Tag. Der Unterschied betrug 40–60%, was zeigt, daß bei Tag die Tiere oft so dicht über dem Boden sich befinden, daß sie mit der Pumpe nicht mehr erfaßt werden können, weil sonst Schlamm mitgepumpt würde. Die im Pelagial nachgewiesenen Copepoden stellen also im Sommer Minimalzahlen dar.

### 5.3. Die Copepodidstadien von *Cyclops tatricus*

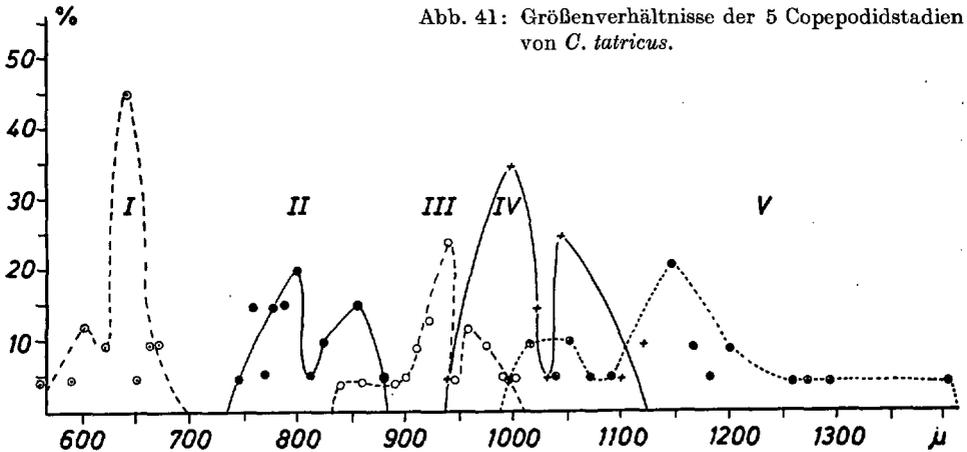
Nach dem 6. Naupliusstadium kommt es zu einer tiefgreifenden Veränderung in den Copepodenlarven. Das Tier, das aus der 6. Häutung hervorgeht, ist kein Nauplius mehr, sondern eine Jugendform, die dem adulten Tier schon sehr ähnlich ist. Sie wird Copepodid genannt. Dieser Übergang vom Nauplius- zum Copepodidstadium stellt im Leben des Tieres einen kritischen Augenblick dar und ein Großteil der Larven geht dabei zugrunde. Einem Copepodid fehlen noch einige wesentliche Merkmale des erwachsenen Tieres; z. B. geht ihm noch die volle Segmentzahl ab und auch die Ruderfüße sind zunächst noch nicht voll ausgebildet. Erst im Zuge der 5 Häutungen, die ein Copepodid mitmachen muß, ehe er zum adulten Tier wird, werden die fehlenden Merkmale nach und nach ergänzt (KIEFER, 1960, S. 73 ff.).

Zur Unterscheidung der 5 Copepodidstadien lassen sich die Zahl der Körpersegmente, die Gliederzahl an der 1. Antenne sowie die Länge und Breite des Körpers heranziehen. Die in Tab. 6 jeweils für die Länge und Breite des Körpers der einzelnen Stadien angegebenen Maße gelten nur für die Copepodide der im Gossenköllesee vorkommenden Art. Sie weichen von den Größenangaben, die ZIEGELMAYER (1925) für die verschiedenen Stadien der von ihm untersuchten Arten angibt, zum Teil sehr wesentlich ab. Die Größenangaben der Copepodide des *Cyclops tatricus* im

Cop.- Stadium	Körper- segmente	Glieder d. 1. Ant.	Länge	Mittlere Länge	Breite	Mittlere Breite
1.	5	6	0,56–0,68	0,74	0,22–0,26	0,24
2.	6	7	0,74–0,88	0,80	0,26–0,30	0,28
3.	7	9	0,84–1,00	0,94	0,28–0,36	0,32
4.	8	10	0,94–1,12	1,03	0,30–0,38	0,33
5.	9	11	0,97–1,50	1,16	0,32–0,47	0,35

Tab. 6: Die wichtigsten Merkmale und Größenangaben (in mm) der 5 Copepodidstadien im Gossenköllesee

Gossenköllesee gewann ich (mit Ausnahme des 5. Stadiums, das in frisch fixiertem Zustand gemessen wurde) durch Messungen an lebenden Tieren. Die Maße beziehen sich auf die Länge des Tieres von der Kopfspitze bis zum Hinterrand der Furka, aber ohne Furkalborsten. Die Stadien I–IV stammen vom September 1962. Das 5. Stadium wurde im März 1966 gemessen. Da auch Temporalvariationen vorkommen (EINSLE, 1964 c, S. 157f.), muß dieser zeitliche Unterschied beachtet werden. Gemessen wurden jeweils 20–30 Exemplare. Obwohl nur schön ausgebreitete Tiere verwendet wurden, wird ein Teil der Größenunterschiede dadurch zu erklären sein, daß die Tiere unterschiedlich gestreckt waren. Hingewiesen sei auf das doppelte Maximum der Längenhäufigkeit innerhalb jeder Altersgruppe, das sich bereits deutlich bei den Naupliusstadien gezeigt hat (vgl. S. 81) und bei den adulten Tieren besonders auffallend ist (vgl. S. 99).



Tab. 6 faßt außer den Körpermaßen auch die wichtigsten Merkmale der einzelnen Stadien kurz zusammen. Wie aus Abb. 41 und Tab. 6 zu sehen ist, werden die Größenunterschiede zwischen Männchen und Weibchen mit fortschreitender Entwicklung immer deutlicher, aber auch die Überschneidungen in den Körperlängen werden häufiger. Das 1. und 2. Copepodidstadium sind größtmäßig leicht voneinander zu trennen; zwischen dem 2. und 3. Stadium kommen schon Überschneidungen vor, noch mehr ist dies zwischen dem 3. und 4. wie auch zwischen dem 4. und 5. Stadium der Fall. Bereits im vierten, noch mehr aber im 5. Stadium erreichen manche Tiere schon jene Körperlänge, die wir dann bei den adulten Tieren finden werden. Für die Feststellung des Häutungsstadiums jedes der in den Zooplanktonproben enthaltenen Copepodiden mußten daher in hohem Maße Zählungen der Körpersegmente und der Antennenglieder durchgeführt werden.

### 5.3.1. Jahresgang der Entwicklung der Copepodide

Bezüglich des Jahresganges sei auf Abb. 42 verwiesen, in die die Kurve für jedes einzelne Copepodidstadium eingetragen ist. Die unter der Winterdecke vorkommenden Copepodide stammen teils von unter Eis geschlüpften Tieren (vgl. S. 85) des vorjährigen Sexualzyklus. So waren unter den Copepodiden des Winters 1964/65 bis zum 22. Februar 1965 im Gossenköllesee die höheren Stadien in der Mehrzahl, dann aber bis zum Eisbruch eher die niederen Stadien. Die Gesamtzahl der Copepodide nimmt jedoch ab, je länger die Eisbedeckung dauert. Am 25. Juni und am 31. Juli 1965 konnte ich in den 100 Litern Wasser nur noch je einen Copepodiden des 1. und 2. Stadiums finden. Wie bereits auf S. 87 festgestellt wurde, tauchten im Sommer 1962 und im Sommer 1965 jeweils ca. 3 Wochen nach Eisbruch die ersten Copepodide im Pelagial auf. Ca. eine Woche später erreichte bereits das 1. Cop-Stadium sein Maximum, dem nach 10–14 Tagen der Höchststand des 2. Stadiums folgte.

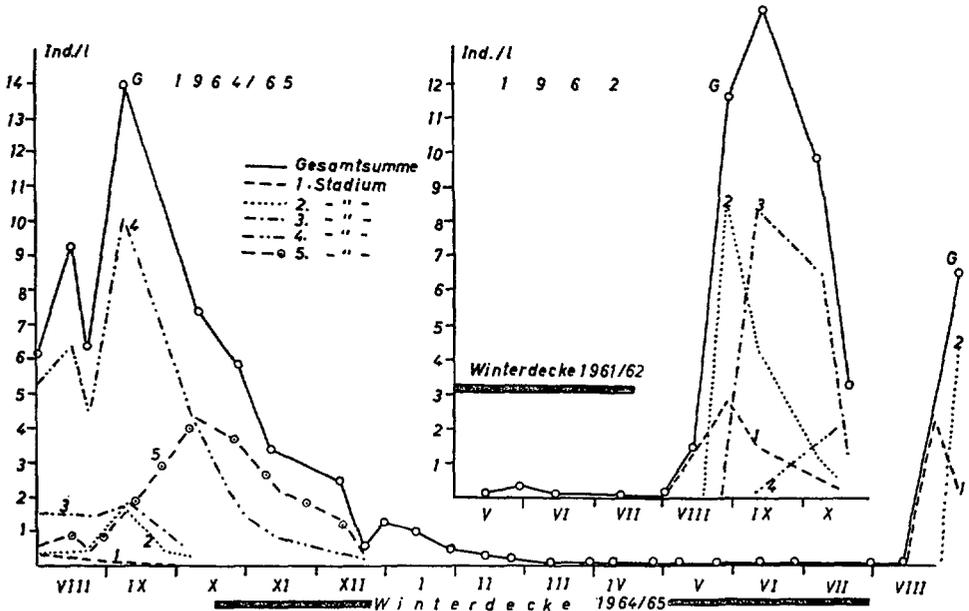


Abb. 42: Entwicklung der Copepodide von *C. tatricus* im Jahresablauf.

Der Beginn der Entwicklung nach Eisbruch konnte im Jahre 1964 nicht beobachtet werden, weil die Untersuchungen erst am 27. Juli aufgenommen wurden; doch ist anzunehmen, daß auch 1964 die Entwicklung ähnlich wie im Jahre 1965 und im Jahre 1962 verlaufen ist. Am Beginn der Untersuchungen im Sommer 1964 war die Entwicklung schon so weit fortgeschritten, daß sich nur mehr wenige Vertreter der

ersten 3 Copepodidstadien zeigten; die meisten Copepodide gehörten damals bereits dem 4. Stadium an.

Ist das 4. Stadium einmal erreicht, dann erreicht auch die Individuendichte der Copepodide bald den Höhepunkt, der 1962 und 1964 in den Monat September fiel. Das 4. Stadium wirkt dabei gleichsam als Sammelbecken für alle Individuen einer Generation, weil nun eine Entwicklungsstagnation eintritt, die von Jahr zu Jahr verschieden lang sein kann (vgl. folgenden Abschnitt über die Diapause). Sowohl im Jahre 1962 als auch im Jahre 1964 wurde jeweils Ende September kurzzeitig ein auffallendes Minimum an Copepodiden beobachtet, das ich auf die vorangegangenen Schneefälle und auf die an diesen beiden Tagen sehr hohe, durch Hangreflexion verstärkte Strahlung zurückführe. Da die Tiere an den folgenden Tagen wieder in entsprechender Anzahl in den Proben vorhanden waren, sind diese beiden Minima als Folge der nicht bis an die Schlamm-Wasser-Grenzschicht reichenden Sammelmethode anzusehen und wurden daher in den Kurvenläufen der Abb. 42 nicht berücksichtigt.

Im Oktober nimmt die Zahl der Copepodide stark ab. Ein Teil geht zugrunde. Besonders die nun neu auftretenden adulten Tiere verringern die Zahl der Copepodide, weil sie jene als Nahrung verwenden (NAUWERCK, 1963, S. 63f.; EINSLE, 1964 c, S. 177f.). Ein zweiter Teil geht in die Diapause und der dritte Teil schließlich in das adulte Stadium über.

Über die Entwicklungsgeschwindigkeit der Copepodide gibt die zeitliche Abfolge der Häufigkeitsmaxima der einzelnen Häutungsstadien Aufschluß. Für das 1. und 2. Stadium konnte ich im Jahre 1965 einen guten Einblick gewinnen (in Abb. 42 nur teilweise eingezeichnet). So dauerte im August 1965 das 1. Copepodidstadium 8—10 Tage; das Maximum lag zwischen dem 24. und 31. August. Die Zeit für das 2. Stadium dauerte etwas länger, nämlich 10—13 Tage (in der ersten Septemberhälfte). Ähnlich war die Situation auch 1962. Das 3. Stadium dürfte nach den Ergebnissen dieses Jahres etwas länger gedauert haben (ca. 2—3 Wochen). Auch im Jahre 1964 blieben die Copepodide des 3. Stadiums sicher nicht länger als 3 Wochen, da 5—6 Wochen nach dem Eisfreiwerden des Sees bereits das 4. Stadium seinem Maximum entgegenging.

Die Dauer des 4. Copepodidstadiums ist unterschiedlich lang und jedes Jahr anders. Im Sommer 1962 tauchte es erstmals Ende September auf, und als ich am 15. Dezember 1962 einen Netzzug flüchtig durchsah, konnte ich noch sehr viele Copepodide des 4. Stadiums sehen, wenn auch schon Vertreter des 5. Stadiums vorhanden waren. Im Sommer 1964 fand ich die Vertreter des 4. Stadiums schon Ende Juli, jedoch erst Anfang Oktober trat das 5. Stadium in vermehrter Anzahl auf. Also dauerte das 4. Stadium im Jahre 1962 und 1964 jeweils gut zwei Monate.

Einen viel längeren Zeitraum benötigte diese Entwicklungsphase im Jahre 1965. Damals traten die ersten Vertreter des 4. Stadiums Anfang Oktober auf. In einem am 18. November desselben Jahres gemachten Netzzug waren ebenfalls in erster Linie Vertreter des 3. und 4. Stadiums vorhanden. Eine weitere Probe untersuchte

ich am 2. Februar 1966; ich fand, daß immer noch 75% der Copepodide dem 4. Stadium und erst 25% dem 5. Stadium angehörten. Auch der Netzzug vom 19. Februar 1966 zeigte ein ähnliches Bild: 73% im 4. und 27% im 5. Stadium. Am 5. März war die Situation stark verändert. Jetzt entfielen 70% der Individuen auf das 5. und 20% auf das 4. Stadium; 10% waren adulte Tiere. So hatte also der abnorm späte Eisbruch des Sommers 1965 eine Entwicklungsverzögerung von 4 bis 5 Monate bewirkt. Die Dauer des 5. Stadiums konnte nur im Herbst 1964 genauer verfolgt werden; sie betrug damals ca. 4 Wochen.

### 5.3.2. Die Diapause der Copepodide

Seit BIRGE & JUDAY im Jahre 1908 über ein „resting stage“ bei *Diacyclops bicuspidatus* berichtet hatten, wurde von späteren Autoren immer wieder auf Ruhezuständen bei Copepoden hingewiesen. In neuerer Zeit waren es SMYLY (1961, 1962), NAUWERCK (1963), WIERZBICKA und KEDZIERSKI (1963), EINSLE (1964 c), SZLAUER (1964) und ELGMORK (1965), die darüber bedeutende Arbeiten publizierten.

Nach ihren Berichten bleiben die Populationen von Niederungsseen am Ende der Frühjahrsentwicklung (also im Mai-Juni) auf dem 4. Copepodidstadium stehen. Die Tiere suchen den Boden des Gewässers auf und graben sich zum Teil aktiv im Schlamm ein. Sie fallen dort in einen Zustand der „physiologischen Ruhe“ (EINSLE, 1964 c, S. 141). Erst im Herbst oder gar erst im nächsten Frühjahr kommen die Tiere wieder hervor und dringen ins Pelagial ein, wo sie zu adulten Tieren heranwachsen. Nach ELGMORK (1965) und NAUWERCK (1963) brauchen gewisse Arten sogar zwei bis drei Jahre bis zum adulten Stadium.

In der Frage nach den Ursachen gehen die Meinungen zum Teil sehr auseinander: EINSLE (1964 c, S. 142) weist darauf hin, daß der Eintritt in die Diapause in allen Gewässern fast zur gleichen Zeit erfolgt und er schließt daraus, daß die Temperatur nicht die Ursache dafür sein kann, wie es nämlich SZLAUER (1963, S. 392) und SMYLY (1962) zum Teil behaupten. Auch nicht ein Sauerstoffmangel (WIERZBICKA & KEDZIERSKI, 1964, S. 79) kann als Ursache angegeben werden. Nach EINSLE dürfte die Photoperiodik eine bedeutende Rolle spielen. Er hat durch Laborversuche gezeigt, daß die Entwicklungsdauer der Copepodide bei Einwirkung von geringen Lichtperioden zu Langtagsbedingungen hin zunimmt, bis sie bei einer Tageslänge von mehr als 12 Stunden bei *Cyclops vicinus lobosus* KIEFER im 4. Stadium so verzögert wird, daß sich das Bild einer Diapause ergibt. Damit stimmt auch die Tatsache überein, daß die meisten untersuchten *Cyclops*-Arten im Bodensee etwa Ende Mai-Anfang Juni in eine Diapause fallen, die bis in den Herbst oder bis zum nächsten Frühjahr dauert (EINSLE 1964 c, S. 345).

Im Falle des Gossenköllesee kann keine der angegebenen möglichen Ursache als auslösender Faktor für die lange Dauer des 4. Copepodidstadiums herangezogen werden. Es ist weder ein Sauerstoffmangel noch eine Verlängerung der Tageslänge

zu jener Zeit vorhanden. Auch die Temperatur kann keine einschneidende Rolle spielen, weil ihre Schwankungen in den tieferen Zonen des Gossenköllesee im Jahresgang nur wenige Grade beträgt (vgl. Abb. 15 und 43). Es dürfte sich eher um eine erblich bedingte Streckung der Entwicklungsphase des 4. Copepodiden handeln, wobei Beginn und Dauer dieser Periode durch äußere Faktoren modifiziert werden können. Eigenartig ist, daß im Gossenköllesee die Copepodide des 4. Stadiums im Plankton sehr zahlreich anzutreffen sind, wie Vertikalzüge im Winter 1965/66 immer bewiesen haben, also nicht „ruhen“, wie in allen anderen Fällen. Eine experimentelle Klärung dieser Frage ist dringend erforderlich.

### 5.3.3. Die Vertikalverteilung der Copepodide

Es wurde kein auffallender Unterschied in der Vertikalverteilung der einzelnen Stadien festgestellt. Über die Verteilung der Copepodide im Gossenköllesee gibt Abb. 43 Aufschluß. Wir treffen im wesentlichen dasselbe Bild wie bei den Nauplien. In den eisfreien Sommermonaten ist die bevorzugte Wohntiefe untertags knapp über dem Sediment, bei stark bewölkt oder vollkommen bedecktem Himmel aber wandert die Population um 1 m höher. So finden wir das Maximum meist in 9 m, vereinzelt auch in 8 m Tiefe. Zweimal jedoch war es der Fall, daß ganz offensichtlich nur ein Teil der Population erfaßt werden konnte, weil sich alle Tiere so knapp über dem Sediment oder sogar in den obersten Zentimetern der Bodenschicht aufhielten. Es war dies am 25. September 1962 und am 23. September 1964 (Abb. 43). Beide

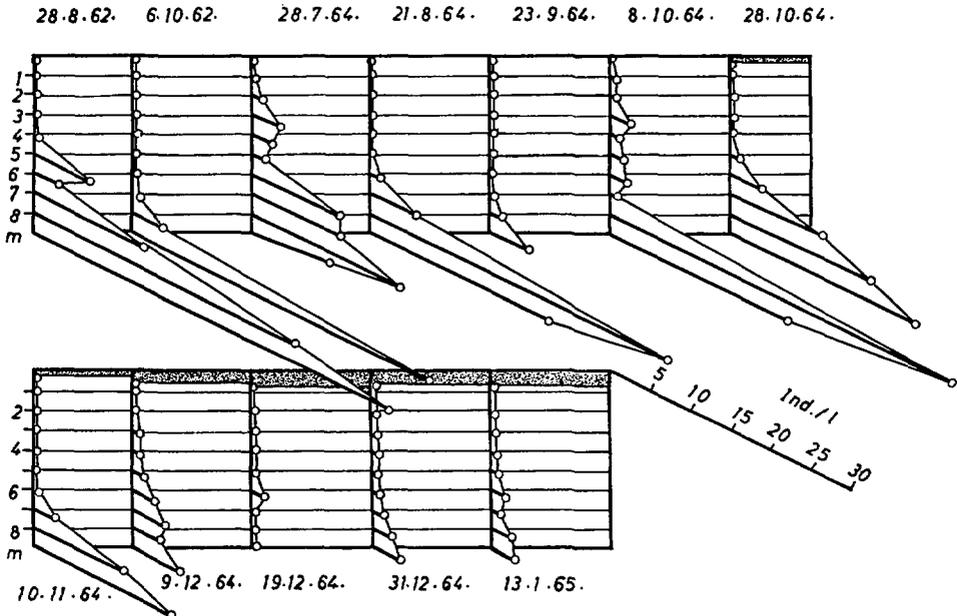


Abb. 43: Vertikalverteilung der Copepodide v. *C. taticus*.

Male wurden an den Vortagen Schneefälle und an den Fangtagen wolkenloser Himmel verzeichnet. Die umliegenden Hänge waren mit Neuschnee bedeckt. Vor der dadurch plötzlich verstärkten Globalstrahlung flüchteten die Tiere in die Tiefe.

Bei Nacht wandert die Population jedesmal höher und bewohnt auch die oberen Schichten, so daß wir nachts in allen Zonen Copepodide antreffen. Bei Tag aber sind in der oberen Seehälfte kaum einzelne Copepodide zu finden (Abb. 39). An diesem Verteilungsbild ändert sich zur Zeit der herbstlichen Vollzirkulation nur wenig, wie die Kurve vom 8. Oktober 1964 in Abb. 43 zeigt. Obwohl der Himmel am 8. Oktober 1964 vollkommen bedeckt war und ein starker Wind die Schichten bis 8 m Tiefe in Zirkulation brachte, waren die meisten Copepodide in 8–9 m Tiefe.

Auch mit Beginn der Eisbedeckung ändert sich am sommerlichen Verteilungsbild nichts. Da ab Dezember nur mehr wenige Copepodide im See vorhanden waren, läßt sich über ihre Vorzugstiefe im Hoch- und Spätwinter nur wenig sagen. Es scheint aber, als ob sie sich wie die Nauplien verhalten würden: Sie wandern langsam höher und halten sich bevorzugt in 1–3 m Tiefe auf.

Über die tägliche Vertikalwanderung der Copepodide wurde bereits im entsprechenden Abschnitt der Nauplien gesprochen (vgl. Abb. 39 und 40 auf S. 91).

#### 5.4. Die adulten Tiere von *Cyclops taticus*

##### 5.4.1. Allgemeines

Die adulten Tiere von *C. taticus* stellen während der Untersuchungsperiode etwas mehr als 2% der Individuen des gesamten Zooplanktons im Gossenköllesee; das sind ca. 17% der in früheren Entwicklungsstadien angetroffenen Individuen; durch diese Zahlen wird neuerlich die hohe Mortalität während der Larvalentwicklung dieses Copepoden belegt. Für eine verlässliche Aussage, welcher Prozentsatz der in unserer Untersuchungszeit schlüpfenden Nauplien vor dem Erreichen der Geschlechtsreife zugrunde ging, reichen die bisherigen Unterlagen nicht aus.

Gegenüber einem Copepodiden des 5. Stadiums unterscheidet sich ein adultes Weibchen durch das charakteristische Genitalsegment und durch die vermehrte Anzahl der Glieder (17) an der 1. Antenne. Das Männchen unterscheidet sich vom letzten Copepodidstadium durch die vermehrte Anzahl der Körpersegmente (10 statt bisher 9) und durch die gewinkelten Antennen.

*C. taticus* kommt nach KIEFER (1960, S. 40) in den Schwarzwaldseen und in Gebirgsseen, wie z. B. im Königssee, vor. Seine weitere Verbreitung in Deutschland ist noch nicht näher bekannt. PECHLANER (1961, S. 220 ff.) berichtet, daß *C. taticus* als einziger Copepode in den Speicherseen des Stubachwerkes (Bundesland Salzburg, Österreich) vorkommt: nämlich im Amersee, Weißsee und Tauernmoossee. Möglicherweise sind auch noch nicht sicher determinierte Copepodide aus dem Wasserfallboden (Kraftwerkgruppe Glockner-Kaprun, ebenfalls Bundesland Salzburg, Österreich) zu *C. taticus* zu stellen. Im Kühtai-er Seengebiet konnte dieser Copepode bisher in den beiden Finstertaler Seen (PECHLANER, mündliche Mitteilung) und im Gossen-

köllesee mit Sicherheit nachgewiesen werden. Wahrscheinlich kommt er auch im Rotfelssee und im Geirneggsee vor. Im Labor konnte ich diese Art bei verschiedensten Milieubedingungen halten. Selbst Temperaturen von 20 und mehr Grad vermochte sie gut zu überstehen. So hielt ich z. B. eine Population vom 2. Februar bis 12. April 1965 ständig in meinem Zimmer bei einer Temperatur von 18–20° C, ohne daß sie Schaden nahm.

Betreffs der systematischen Stellung von *Cyclops tatricus* sei auf S. 80 verwiesen.

Die Länge der adulten Tiere gibt KIEFER (1960, S. 40) mit 1,30 bis 2,00 mm an. Im Gossenköllesee waren die Tiere durchwegs kleiner. Die folgenden Werte in der Klammer gelten für das Jahr 1965, die außerhalb der Klammer für das Jahr 1962. Die Tiere wurden zum Großteil zur Zeit der Eisbedeckung gemessen, und zwar im März (1965) und im Mai (1962). Die Körperlänge geht von der Kopfspitze bis zum Hinterrand der Furka (ohne Furkalborsten; vgl. EINSLE, 1964 c, S. 136). Es konnte ein auffallender Unterschied in der Körperlänge und -breite zwischen 1962 und 1965 festgestellt werden. Die Tiere von 1965 waren durchschnittlich um 10% länger und breiter als die von 1962.

Von den Weibchen maß ich insgesamt 89 (27) Tiere. Ihre Länge schwankte zwischen 1,24 und 1,48 mm (1,39 und 1,54 mm). Dabei hatten 70% der Tiere eine Länge von 1,30–1,40 mm (63%: 1,50–1,54 mm). Die durchschnittliche Länge betrug also 1,37 (1,48) mm. Der Unterschied von 0,11 mm ist deutlich.

Die Breite der Weibchen schwankte zwischen 0,39 und 0,50 mm (0,43 und 0,49 mm). Davon hatten 86% der Tiere eine Breite von 0,44 bis 0,48 mm (96%: 0,45 bis 0,49 mm). Die durchschnittliche Breite liegt bei 0,45 mm (0,47 mm).

Ähnlich liegen die Verhältnisse bei den Männchen, von denen ich 59 (25) Tiere maß; auch bei ihnen waren die Tiere des Jahres 1965 größer als die von 1962. Die Länge differierte zwischen 1,04 und 1,20 (1,08 und 1,25) mm. Davon hatten ca. 75% eine Länge von 1,12 bis 1,16 mm (95%: 1,17 bis 1,20 mm). Die durchschnittliche Länge betrug 1962 1,13 mm und 1965 1,18 mm. Die Breite der Männchen lag zwischen 0,32 und 0,39 (0,32 und 0,40) mm. Mehr als 80% davon waren 0,34 bis 0,37 mm (68%: 0,36 mm). Außer dieser Variation in der Länge und Breite konnte ich auch einen auffallenden Unterschied in der Ausbildung der 1. Antenne beobachten. Die 1. Antennen waren bei den Weibchen im Sommer 1964 etwas schlanker und zierlicher gebaut als die der Wintergeneration 1964/65.

Auf die Temporalvariation der Copepoden möchte ich hier nur kurz eingehen. Ich verweise auf die wichtigen Arbeiten von EINSLE (1962 b, S. 242; 1964 c, S. 180) und von KIEFER und EINSLE (1962, S. 46). Dort ist auch weitere Literatur zu dieser Frage angegeben. Nach den Arbeiten dieser Autoren ist eine Temporalvariation bei Cyclopiden sehr häufig. So änderte sich *Cyclops abyssorum* im Mummelsee im Jahre 1959 und 1961 sowohl in seinen Absolut- als auch in seinen Relativwerten. Auch an *Cyclops tatricus* des Lunzer Untersees wurde im Ablauf des Jahres eine Änderung festgestellt (EINSLE, 1962 b, S. 241f.). Bei *Cyclops abyssorum praealpinus* hat sich gezeigt, daß neben lokalen Verschiedenheiten von See zu See ebenfalls eine große

temporale Variation innerhalb einer Population vorhanden ist. So waren die Sommerformen des Greifensees größer und plumper als die Tiere der Wintergeneration.

#### 5.4.2. Das Auftreten der adulten Tiere von *Cyclops tatricus* im Jahresablauf

Die adulten Tiere von *Cyclops tatricus* kamen während der Untersuchungsperiode 1964/65 ganzjährig im Pelagial des Gossenköllelsees vor (Abb. 44). Dies ist jedoch nicht jedes Jahr so; z. B. verschwanden die Tiere im Herbst 1965 vollkommen, und die ersten adulten Cyclopiden traten erst wieder im März 1966 auf. Im Jahre 1962 konnte bereits am 9. September eine Exuvie des 5. Copepodidstadiums gefunden werden, was beweist, daß zu dieser Zeit bereits die ersten Copepodide das adulte Stadium erreicht haben. Im Jahre 1964 traf ich die ersten adulten Tiere schon am 28. Oktober. Nach dem Auftauchen der ersten adulten Tiere im Herbst 1964 stieg die Zahl sehr rasch an, wie die ausgezogene Kurve in Abb. 44 zeigt. Sie erreichte schließlich im Dezember den Höhepunkt. Das große Maximum am 9. Dezember 1964 mit 6,1 Individuen pro Liter (Durchschnitt) dürfte auf eine *Cyclops*-Wolke zurückzuführen sein, die sich an diesem Tage gerade an der Entnahmestelle aufhielt. Vom Jänner 1965 sinkt die Zahl der erwachsenen Tiere etwas und mit dem Einsetzen der Schneeschmelze stark ab. Im Sommer sind zwar auch erwachsene Copepoden vorhanden, ihre Zahl ist aber gering.

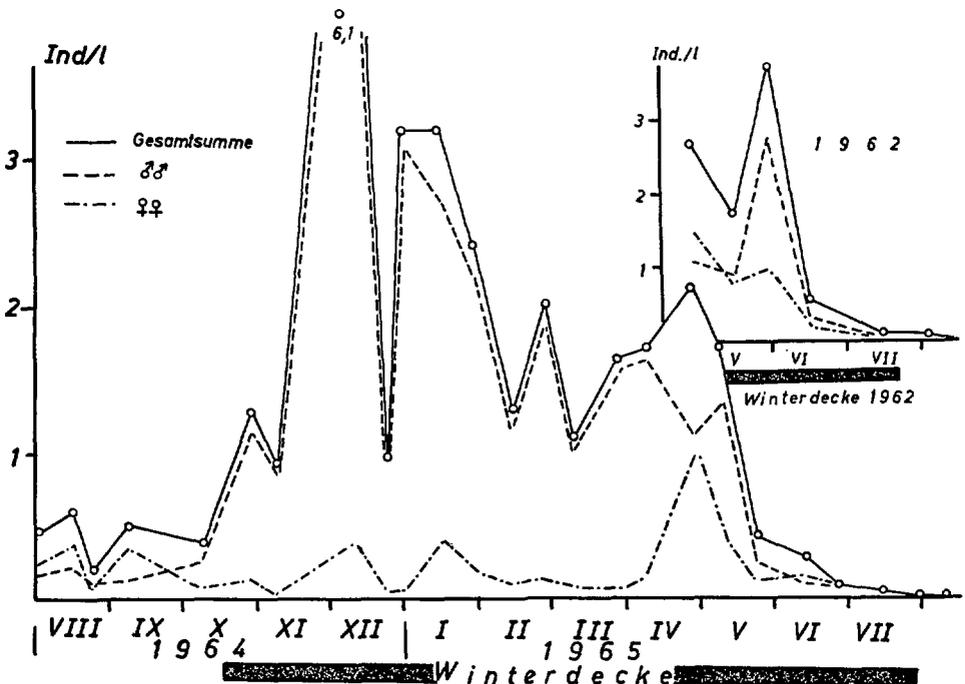


Abb. 44: Jahreszeitliches Auftreten der adulten Tiere von *C. tatricus*.

Der Einfluß der Forellen auf die Mortalität der Copepoden des Gossenköllesee wird erst nach der vollständigen Bearbeitung des Fischmaterials ersichtlich werden; vorläufige Ergebnisse deuten aber darauf hin, daß *Salmo trutta f. fario* in unserem See vor allem die adulten Cyclopiden stark dezimiert.

Die Hauptfortpflanzungszeit hatten die Tiere im Jahre 1965 vom Jänner bis Mai. Im Jahre 1966 begann die Sexualperiode erst im April. Ähnlich wie im Jahre 1965 lagen die Verhältnisse auch im Jahre 1962, wie die kleine Zeichnung in Abb. 44 rechts oben zeigt. Auch in diesem Jahr nahm die Zahl der adulten Tiere mit dem Einsetzen der Schneeschmelze rasch ab.

In Abb. 44 fällt auf, daß die Männchen im Durchschnitt 84% der adulten Copepoden ausmachen; lediglich in den Sommermonaten war die Zahl der Weibchen größer als die der Männchen. Wohl fanden sich im Mai 1962 etwas mehr Weibchen als im Winter 1965, aber auch damals war die Zahl der Weibchen um die Hälfte kleiner als die der Männchen. Daß dies im See zur aktuellen Zeit nicht der Wirklichkeit entsprechen kann, legen die vielen Nauplien nahe, die jedesmal gefunden wurden. Die Männchen werden zwar schneller reif, sie sind daher am Beginn einer Sexualperiode meist zahlreicher vorhanden (EINSLE, 1964 c, S. 167), aber das Fortbestehen dieses Mißverhältnisses in der Anzahl der Geschlechter ist doch sehr auffallend. Für diese Tatsache gibt es theoretisch mehrere Ursachen:

Als erstes läßt sich anführen, daß die Weibchen bessere Schwimmer sind als die Männchen und daher dem Sog der Pumpe leichter entweichen können. Wer Cyclopiden im Labor schon einmal beobachtet hat, der weiß, wie empfindlich die Weibchen in der Sexualperiode sind und wie schnell sie auf jede Wasserbewegung reagieren. Da der Schlauch durch das Pumpen und durch Heben und Senken ständig etwas in Bewegung war, könnte hier eine der möglichen Ursachen sein, obwohl am Schlauchende ein Trichteransatz von 12 cm Durchmesser angebracht war.

Eine weitere Möglichkeit, das Fehlen der Weibchen zu erklären, wäre die, daß man auf die Forellen hinweist, welche mehr Weibchen als Männchen gefressen haben könnten. Denn die Weibchen sind durchwegs größer und können von den Forellen leichter gesehen und gefangen werden. Auch dieser Faktor mag zum beobachteten Mißverhältnis der Geschlechter beigetragen haben.

Eine dritte Ursache für das Fehlen der weiblichen Copepoden im Gossenköllesee könnte in der Möglichkeit liegen, daß sich die Weibchen sehr knapp über oder sogar im Sediment aufhalten, wo sie von der Pumpe nicht erfaßt worden wären. Dem widerspricht eine Schlammprobe vom 28. Jänner 1965, in der pro Liter 17 Männchen und nur 3 Weibchen waren. Diese Bodenproben wurden mehrmals gemacht und untersucht, jedesmal waren in den Proben nicht mehr Weibchen im Verhältnis zu Männchen, als es im Pelagial der Fall war. Die Bevorzugung der Sedimentnähe der Weibchen ist offenbar nicht gegeben.

Eine vierte Möglichkeit, diese Erscheinung zu deuten, zeigen Beobachtungen von SIEBECK (1960 a, S. 125ff.). Er hat bei der Untersuchung der Horizontalverteilung von Planktonkrebsen im Lunzer Obersee gefunden, daß die Ephippien-Weibchen

von *Daphnia longispina* und die eiertragenden Weibchen von *Diaptomus denticornis* in der Uferzone viel häufiger waren als in der Seemitte. Vielleicht sind derartige Horizontalwanderungen vor der Eiablage eine Instinkthandlung, die frischgeschlüpften Nauplien eher vor dem Zugriff der adulten Tiere zu sichern. Die Frage, ob im Gossenköllesee eine analoge Situation besteht, konnte ich im Rahmen meiner Arbeit nicht mehr untersuchen. Es hat darum auch nur wenig Sinn, auf das Prozentualverhältnis zwischen den eiertragenden und den nicht eiertragenden Weibchen einzugehen, wie es zum Teil NAUWERCK (1963) und EINSLE (1964 c) getan haben. Jedoch sei festgehalten, daß im Winter die Zahl der Eier pro Ballen nicht mehr als 5—7 betrug. Weniger als 5 konnte ich nie finden, wohl aber manches Mal mehr als 7. So hatte am 25. April 1965 ein Weibchen in jedem Ballen 10 Eier. Im Sommer steigt die Zahl der Eier, aber auch da geht sie kaum über 10. Die höchste Eizahl pro Ballen betrug 13 Stück (21. August 1964). Nach METZLER (zit. b. EINSLE, 1964 c, S. 168) hängt die Eiproduktion der Cyclopiden auch vom Lebensalter ab; weiters ist ein Zusammenhang gegeben mit endogenen Faktoren, der Temperatur und der Ernährung. Nach ELSTER (zit. b. EINSLE, 1964 c. S. 170) kann man bei *Eudiptomus gracilis* die Größe der Eiballen in direkte Beziehung zum Trophiegrad des Wohngewässers setzen. EINSLE (1964 c, S. 170) stellte bei den Bodenseeformen der Cyclopiden fest, daß sie im Winter nie mehr als 6—8 Eier, im Sommer dagegen bis zu 25 und mehr Eier tragen. Außerdem hat sich diese Zahl durch die zunehmende Eutrophierung des Sees in den letzten Jahren erhöht.

#### 5.4.3. Die Vertikalverteilung

Für die Darstellung der Vertikalverteilung von *Cyclops taticus* (Abb. 45) habe ich in erster Linie Serien aus der Zeit der Eisbedeckung des Sees ausgewählt, da im Sommer nur sehr wenige Tiere im Pelagial vorhanden sind.

Allgemein kann gesagt werden, daß sich das Maximum ganzjährig in der Nähe des Seegrundes aufhält. Im Sommer halten sich die Tiere so dicht über dem Sediment auf, daß sie mit normalen Pumpfängen nicht mehr erfaßt werden können. So gilt für die adulten Tiere dasselbe, was bereits für die Nauplien und Copepodide bezüglich ihres Auftretens im eisfreien See gesagt wurde: Die Zahlen sind für diese Zeit etwas zu niedrig, weil unsere Sammelmethode sie nicht erfassen konnte. Zum Teil gilt dies auch für die Männchen und Weibchen im Winter.

Vergleicht man noch die Vertikalverteilung der Männchen mit der der Weibchen, dann fällt auf, daß sich die Männchen durchwegs etwas höher aufhalten als die Weibchen. Auch die Weibchen ohne Eier sind regelmäßig in geringerer Tiefe anzutreffen als die Weibchen mit Eier.

Es sei hier auf die geringen Sauerstoffkonzentrationen verwiesen, die bis auf unter 2 mg/l in jenen Tiefen absinken, in denen sich die adulten Tiere bevorzugt aufhalten. HUSS (1913, S. 38ff.) fand Copepoden der Gattung *Cyclops* sogar in O<sub>2</sub>-freiem Wasser und er schloß daraus, daß diese Tiere auch eine intramolekulare Atmung haben müßten.

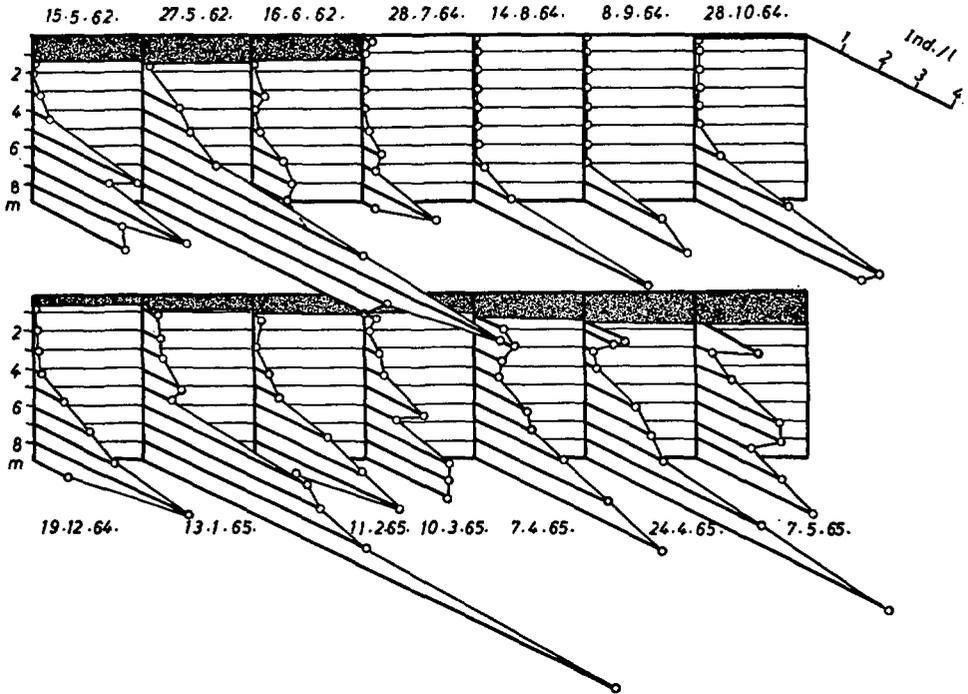


Abb. 45: Vertikalverteilung von *Cyclops tatricus* (adult).

#### 5.4.4. Die tägliche Vertikalwanderung

Im Sommer steigen die adulten Tiere nachts höher empor und bevölkern auch die oberen Zonen. Da ich aber in insgesamt 4 Nachtserien am 8.—9. September 1965 nur 39 adulte Tiere gefunden habe, läßt sich nur sehr wenig sagen. In den Fängen, die am 8.—9. September 1965 untertags gemacht wurden, konnten überhaupt keine adulten Tiere gefangen werden. Doch zeigt auch diese Untersuchung die bereits mehrmals betonte Tatsache, daß in den Sommermonaten die Zahl der Tiere etwas höher angesetzt werden muß, als sie bei der Entnahme während des Tages vorgefunden wurde.

Abb. 46 gibt einen zusammenfassenden Überblick in die jahreszeitliche Entwicklung der Nauplien, der Copepodide und der adulten Tiere. Wir sehen, wie ein Maximum dem anderen folgt und daß nur ein kleiner Teil der Nauplien das adulte Stadium zu erreichen scheint. Ohne Kenntnis der Lebensdauer der Nauplien läßt sich aus diesen Kurven die Gesamtzahl der geschlüpften Nauplien nicht ablesen, wie sich auch über den „Umsatz“ der adulten Tiere nichts ableiten läßt.

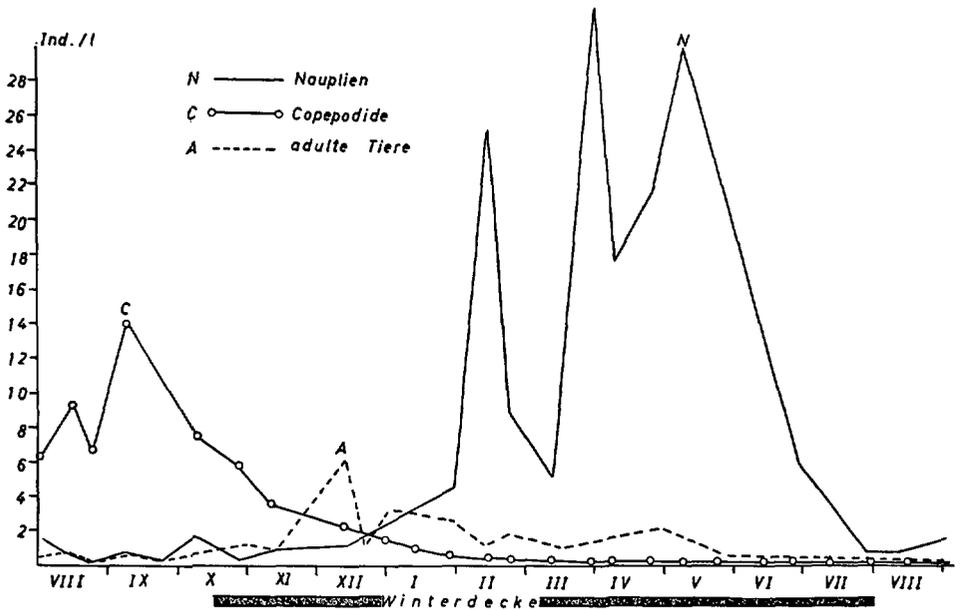


Abb. 46: Jahreszeitliches Auftreten der Nauplien, der Copepodide und der adulten Tiere von *C. tatricus*.

## 6. *Cyclops* sp.

Ein einziges Mal, am 7. Mai 1965, waren im Plankton auch zwei „fremdartige“ *Cyclops*-Weibchen, die sich von den Weibchen des *Cyclops tatricus* sowohl durch den Habitus als auch durch die fast doppelte Anzahl der Eier unterschieden. Auch waren sie etwas kleiner. Im Mai-Juni und im September waren mehrmals Copepodide in den Proben, die deutlich von denen des *Cyclops tatricus* verschieden waren.

## 7. *Chydorus sphaericus* O. F. MÜLLER

*Ch. sphaericus*, dessen Bestimmung von Dr. H. HERBST revidiert wurde, wofür ich ihm zu großen Dank verpflichtet bin, kommt als Ubiquist in jederlei Gewässern vor und gilt eigentlich als Litoralform, die manches Mal auch im Plankton anzutreffen ist (HERBST, 1962, S. 103; ENGELHARDT, 1959, S. 130; NAUWERCK, 1963, S. 78 und GUTMANN, 1962, S. 83). Die absolute Meereshöhe scheint ihm wenig abträglich zu sein, da STEINBÖCK (1949, S. 131) vom Schwarzsee ob Sölden (2.792 m, Ötztal, Österreich) berichtet, daß dort *Ch. sphaericus* am Seeboden, über Steinen wie im Schlamm in großen Mengen lebt.

Im Gossenköllesee trifft man ihn im Pelagial nur sehr selten an. Wie ich aus Panzerresten schließe, die ich bei Schlammuntersuchungen des Grundes gefunden hatte, kommt er auch im Profundal und im Litoral nur selten vor.

Seine Entwicklung beginnt mit dem Eisfreiwerden des Sees, erreicht ihren Höhepunkt im September und nach den ersten Wochen der Vereisung beginnt die Bildung der Dauerstadien. Im Jänner konnten noch Muttertiere mit Embryonen gefunden werden und erst im März-April verschwindet die Art vollkommen aus dem Pelagial des Sees.

### 8. *Alona affinis* LEYDIG

Dieser Chydoride, an sich eine Litoralf orm, kommt zwar im Pelagial des Gossenköllesee s nicht sehr häufig vor, er kann aber nicht übersehen werden. Hier wird die Tatsache aktuell, daß im Hochgebirgssee die Unterschiede zwischen Litoral und Pelagial oft verwischt sind (PESTA, 1929, S. 96).

Die Entwicklung von *A. affinis* beginnt ca. einen Monat vor dem Eisfreiwerden des Sees. Zu dieser Zeit findet man diese Art nicht gerade selten knapp unter der Winterdecke. Im Jänner-Februar bildet sie Dauerstadien. Die größte Individuenzahl konnte ich am 12. August 1965 mit durchschnittlich 1,7 Individuen/Liter finden. Als Litoralf orm hält sich *Alona affinis* vorwiegend in Bodennähe auf. Sie ist ein unbeholfener Schwimmer und benützt auch das Abdomen zum Abstoßen und zur Fortbewegung. Ihr Auftreten im Pelagial hängt wohl mit Horizontal- und Vertikalströmungen zusammen.

## 9. *Polyarthra dolichoptera* IDELSON 1925

### 9.1. Vorkommen und systematische Stellung

Dieses Rädertier stellt mit 73% des gesamten tierischen Planktons im Gossenköllesee den wichtigsten Vertreter des Zooplanktons. Auch in den anderen Kühtaier Seen, wie im Vorderen und Hinteren Finstertaler See sowie im Hirschebensee, spielt diese Art eine bedeutende Rolle (PECHLANER, mündliche Mitteilung). NIPKOW (1952, S. 135) fand *P. dolichoptera* in den großen Seen des schweizerischen Alpenvorlandes weit verbreitet und oft auch sehr zahlreich. PEJLER (1957) berichtet, daß er diese Art in lappländischen Kleingewässern angetroffen hat. PECHLANER (1961, S. 31) hat dieses Rädertier in fast allen von ihm untersuchten alpinen Speicherseen vorgefunden. Im Mölser See (2.238 m, Tuxer Voralpen, Österreich) wurde ihr Auftreten von GUTMANN (1962) beschrieben. NAUWERCK (1963, S. 239) meldet ihr Vorkommen im schwedischen See Erken. AMRÉN (1964c, S. 239) hat sie bei seinen Untersuchungen auf Spitzbergen vorgefunden. HUTER (1966, S. 53) fand sie auch im Plankton des Lüner Sees (1.970 m, Vorarlberg, Österreich) und ARNEMO (1965, S. 217) im Hyttödammen (Schweden).

*P. dolichoptera* entspricht nach NIPKOW (1952, S. 137) der *P. platyptera* EHRENBURG var. IDELSON und teilweise auch der früher unter *P. platyptera* EHRENBURG und *P. trigla* EHRENBURG angeführten Arten. Ferner sind dazu zu rechnen *P. aptera* HOOD, *Anarthra aptera* HOOD und *P. trigla* EHRENBURG f. *aptera* (HOOD) OLOFSSON. Die letzteren drei Namen betreffen die erste aus den Daueriern der *P. dolichoptera* geschlüpften Generation, welche keine Anhänge besitzt.

Die Maße der Tiere im Gossenköllesee betragen (Mittel aus 20 Messungen): Körperlänge: 0,109—0,146 (Mittel: 0,125) mm; Körperbreite: 0,066—0,092 (Mittelwert: 0,080) mm. Die Länge der Schwimfflossen betrug 0,123—0,148 (Mittelwert: 0,136) mm und die der Ventralborsten: 0,049—0,057 (Mittelwert: 0,052) mm. Junge Tiere sind oft nicht viel größer als ein Ei, doch nimmt ihre Größe bald um  $\frac{1}{3}$  zu.

PEJLER (1957), RUTTNER-KOLISKO (1959) und HUTER (1966) berichten von Formen der *P. dolichoptera*, in denen der Kauer schief zur Körperachse liegt und die einen für *P. proloba* typischen Kehlsack besitzen. Auch im Gossenköllesee konnte ich vereinzelt Formen von *P. dolichoptera* finden, die einen schiefen Kauer und einen Kehlsack aufwiesen. Wenn auch diese *proloba*-Formen nur vereinzelt im See festgestellt werden konnten, so habe ich doch ihre Existenz sowohl in den Sommermonaten als auch in den Wintermonaten November und Dezember sicher nachgewiesen. Dabei waren mehr oder weniger alle Übergänge vorhanden. Bei der Lebendbeobachtung der vielen Tiere habe ich zwar nicht speziell auf dieses Problem geachtet, aber es wäre mir doch sofort aufgefallen, wenn auch nur ein einziges Mal ein Tier mit einem Kehlsack dabei gewesen wäre. Bei Durchsicht des fixierten Materials ist mir aufgefallen, daß die *proloba*-Formen in der Mastax-Gegend sehr stark kontrahiert waren und daß sie den Mastax sehr stark eingezogen hatten, während die meisten anderen Formen einen nach vorne gerichteten Mastax aufwiesen. Daß es sich im Gossenköllesee jeweils um dieselbe *P. dolichoptera* handelt, scheint mir sicher zu sein, da die Merkmale vollkommen übereinstimmen. Auch ist das Auftreten der Kehlsackformen zeitlich nicht beschränkt. Daher neige ich zur Ansicht, daß der Kauer mit dem Fulcrum durch die starke Kontraktion bei der Konservierung aus seiner geraden Achse gebracht wird und den beschriebenen Kehlsack bildet.

RUTTNER-KOLISKO (1959, S. 3ff.) kommt auf Grund der Erfahrungen, die sie aus Proben von den Kapruner Stauseen und aus Lappland sowie Schweden gewonnen hatte, zum Schluß, daß es sich bei der Ausbildung eines Kehlsackes nicht mehr um ein Artmerkmal handelt, sondern nur um eine Temporalvariation der gleichzeitig auftretenden *Polyarthra*-Art. Sie macht daher auch den Vorschlag, die Art *Polyarthra proloba* WULFERT (1941) einzuziehen (vgl. HUTER, 1967, S. 43ff.).

## 9.2. Die forma aptera von *Polyarthra dolichoptera* im Gossenköllesee

Seit NIPKOW (1952) durch seine Zuchtversuche mit Rädertiereiern aus dem geschichteten Schlamm des Zürichsees den Lebenszyklus auch von *P. dolichoptera* aufgeheilt hat, sind wir über die Entwicklung dieses Rotators gut unterrichtet. Danach schlüpft zunächst aus dem Dauerei eine anhangslose *P. dolichoptera f. aptera*. Diese ist weiblichen Geschlechts und das Produkt einer bisexuellen Fortpflanzung. Sie liefert in der 2. Woche Subitaneier, aus denen dann die *P. dolichoptera f. typica* schlüpft mit den 12 schwertklingenförmigen Anhängen; diese bildet die zweite amiktische Generation.

Im Gossenköllesee entwickeln sich die Dauereier mit Beginn der Vollzirkulation nach dem Eisbruch. Schon 2—3 Wochen später tauchen die ersten *typica*-Formen auf.

Die *aptera*-Form konnte ich nie mit Sicherheit feststellen, obwohl ich im Sommer 1965 in Abständen von 2—4 Tagen eigens danach gesucht hatte. Die Ursache mag vor allem darin gelegen sein, daß nur sehr wenige Dauereier zur Entwicklung kommen. Darauf weist die zunächst nur zögernde Entwicklung der *typica*-Tiere hin. Einen weiteren Hinweis gibt uns NIPKOW (1952, S. 176), wenn er berichtet, daß die *aptera-reducta*-Formen nie im Plankton gemeldet wurden. Auch er selber habe sie nie gesehen, obwohl er eigens danach geforscht hatte. Er vermutet, daß sich die Entwicklung wahrscheinlich in der Litoralregion abspielt und erst die *typica*-Tiere ins Plankton kommen.

BURKHARD (1944; zit. b. NIPKOW, 1952, S. 141) gibt für *P. dolichoptera* eine Fundortliste an. Daraus ist zu ersehen, daß die *f. aptera* in den großen Talseen des Engadins nicht gefunden wurde. Sie wurde auch nicht in den sonst eifrig durchsuchten Seen des Alpenfußes und des Alpenvorlandes gefunden. Auch NIPKOW fand sie im Zürichsee nur vereinzelt.

### 9.3. Entwicklung im Jahresablauf

Wie oben bereits erwähnt wurde, kommen die ersten Dauereier von *P. dolichoptera* kurz nach Eisbruch zur Entwicklung. Aus der zögernden ersten Entwicklung und aus der Tatsache, daß ich nie eine *aptera*-Form gesehen hatte, schließe ich, daß es nur wenige Dauereier sind, die ins Pelagial kommen und sich dort entwickeln. Hat die Individuenzahl einmal eine gewisse Volksdichte erreicht, dann setzt eine sprunghafte Weiterentwicklung ein, wie aus Abb. 47 ersichtlich ist. Der Beginn der Entwicklung konnte sowohl 1962 als auch 1965 gut beobachtet werden. Danach tauchen ca. 10—14 Tage nach dem Eisfreiwerden des Sees bereits die ersten *typica*-Tiere auf. Die Individuenzahl steigt in den nächsten 2—3 Wochen nur sehr wenig an; in den drei Untersuchungsjahren kam es jedes Mal 4 bis 5 Wochen nach Eisbruch zu einer explosionsartigen Entfaltung dieses Rädertieres. So war am 28. August 1962 erst 1 Individuum pro Liter vorhanden, 2 Wochen später waren es bereits 10 Tiere pro Liter.

Im September-Oktober ist das Maximum von *P. dolichoptera* zu finden. Am 8. Oktober 1964 fand ich durchschnittlich 107 Individuen pro Liter. Die höchsten Dichten traten am 28. Juli 1964 in 4 und 5 m Tiefe auf, wo 246 Tiere pro Liter zu zählen waren. Im Vergleich zu den Populationsdichten, die AMRÉN (1964a, S. 175) auf Spitzbergen fand, ist diese Anzahl gering; denn er fand bis zu 1.760 Individuen pro Liter.

Wie aus Abb. 47 weiter zu ersehen ist, wird bald nach dem Auftreten der ersten Subitaneier das Maximum

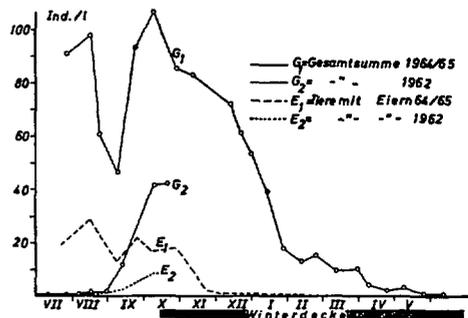


Abb. 47: Jahreszeitliches Auftreten von *Polyarthra dolichoptera* IDELSON.

an Sommereiern erreicht. Auch ist der Prozentsatz der eiertragenden Weibchen am Beginn der Entwicklung sehr hoch; am 28. August 1962 konnten in 90 Liter Wasser, die filtriert und untersucht wurden, 98 amiktische Weibchen und 107 Subitaneier gefunden werden. Das kommt daher, daß die Tiere der *aptera*- und der ersten *typica*-Generation zum Teil gleichzeitig zwei bis drei Eier mit sich herunttragen. Diese Generationen weisen also eine sehr hohe Eiproduktion auf (AMRÉN, 1964a, S. 178f.). Am 12. August 1965 beobachtete ich selber unter dem Mikroskop ein amiktisches Weibchen (*f. typica*) mit zwei Eiern.

Am 23. September 1964 wurden 20 fixierte Sommereier gemessen: Ihre Länge schwankte zwischen 0,066 und 0,082 mm (Mittelwert: 0,075); die Breite lag zwischen 0,049 und 0,057 (Mittelwert: 0,052) mm (vgl. HUTER 1967, S. 44f.). Die Entwicklungsdauer der Eier hängt stark von der Temperatur des Wassers ab; durch Laborversuche konnte AMRÉN (1964a, S. 173) zeigen, daß die Entwicklungsdauer bei einer Wassertemperatur von 5,8° C 127 Stunden dauert, während die Eier bei einer Temperatur von 9,6° C nur 56 Stunden zur Entwicklung brauchen. Neben der Temperatur spielen auch noch der Sauerstoffgehalt und das Licht eine wichtige Rolle.

Abb. 47 zeigt uns auch, daß nach dem Erreichen des Populationsmaximums im September-Oktober die Individuenzahl stark abzusinken beginnt. Dieser Rückgang hält bis zum Jänner unvermindert an und erst mit dem Eintritt in die Sexualperiode (vgl. den nächsten Abschnitt) wird dieses Absinken der Individuenzahl gebremst. Die Kurve sinkt von nun an nur mehr langsam, bis im Mai-Juni die letzten Tiere dieser Art aus dem Plankton verschwinden. Die letzten Subitaneier wurden am 13. Februar 1965 gefunden. Erst nach zweimonatiger Pause kommt *Polyarthra dolichoptera* wieder ins Pelagial.

Für das Minimum Ende August bis Anfang September 1964 (Abb. 47) kann vorläufig nur eine unterschiedliche Horizontalverteilung als mögliche Ursache genannt werden.

Im Sommer 1962 waren die Verhältnisse wie im Jahre 1964/65 (vgl. Abb. 47 die Kurven  $G_2$  und  $E_2$ ). Auch damals waren im Mai nur mehr wenige Tiere von *P. dolichoptera* im Plankton zu finden und die letzten verschwanden Ende Mai-Anfang Juni. Die ersten Tiere tauchten auch damals ca. 2 Wochen nach dem Ende der Vereisung auf und nach einer anfänglich zögernden Entwicklung kam es zu einem starken Ansteigen der Individuenzahlen im September. Auch 1962 scheint der Höhepunkt der Entwicklung im Oktober erreicht worden zu sein.

Vergleicht man die Entwicklung von *P. dolichoptera* mit ihrem Jahreszyklus in anderen Seen, dann stellen wir fest, daß zum Teil gute Übereinstimmung, zum Teil aber auch sehr starke Abweichungen vorkommen. Die Entwicklung im Gossenköllesee stimmt gut mit der überein, die GUTMANN (1962, S. 85) im Mölsersee (2.238 m, Tuxer Voralpen, Österreich) gefunden hat. Auch dort ist das Maximum der Population im September-Oktober. HUTER (1966, Beilage 8) berichtet von einem Ansteigen der Individuenzahlen im Lünensee (Vorarlberg, Österreich) bis September. Auch in diesem alpinen Speichersee trat *P. dolichoptera* erst Wochen nach dem Eisbruch zum

ersten Male auf. Im Zürichsee (NIPKOW, 1952, S. 143) und im schwedischen See Erken (NAUWERCK, 1963, S. 52) ist *P. dolichoptera* eine typische Frühjahrsform, die im April-Mai ihre maximale Entfaltung hat; im See Erken hat sie sogar noch unter Eis ihre größte Eiproduktion.

Hinsichtlich der Temperaturen, bei denen *P. dolichoptera* maximale Dichten zeigt, war folgendes zu beobachten: Im See Erken dominiert *Polyarthra* bei Temperaturen zwischen 1 und 10° C, im Gossenköllesee lebt sie bei 0,3 und 13,9° C und zeigt ihre maximale Entfaltung, wenn der See eine Temperatur von 6 bis 9° C hat. PEJLER (zit. bei ARNEMO, 1965, S. 217) traf dieses Rädertier auch bei Temperaturen von 18 bis 19° C.

Bei AMRÉN (1964 c, S. 184), NAUWERCK (1963, S. 54) und POURRIOT (1963) finden wir auch Hinweise auf die Ernährungsweise dieses Zooplankters. Nach diesen Autoren kommen als Nahrung in erster Linie kleine Monadinen und *Chlamydomonas* in Frage. Mit der Abnahme der kleinen Monadinen nimmt auch die Zahl der Eier von *Polyarthra dolichoptera* ab. Zwischen ihrem Auftreten und der Dichte von Detritus, Bakterien und *Cyclotella* konnte bisher noch kein Zusammenhang festgestellt werden. Für uns ist dies vor allem deswegen interessant, weil die Entwicklung von *P. dolichoptera* weitgehend parallel verläuft mit der Entwicklung von *Cyclotella* (vgl. NAUWERCK, 1966).

#### 9.4. Die Sexualperiode von *Polyarthra dolichoptera* im Gossenköllesee

Bezüglich des Beginns der Dauereibildung geben die einzelnen Autoren verschiedene Zeitpunkte an. Nach AMRÉN (1964 a, S. 180) und nach HUTER (1966, S. 57) schlüpfen die ersten *aptera*-Tiere bald nach dem Eisfreiwerden des Sees. Schnell steuert die Entwicklung ihrem Höhepunkt zu und kaum ein Monat nach dem Schlüpfen der ersten Tiere aus den Dauereiern finden wir schon Männchen und Dauereier im Pelagial. Ähnliches berichtet uns auch NIPKOW (1952, S. 139) und NAUWERCK (1963, S. 52), nach denen im Zürichsee und im schwedischen See Erken die Bildung der Dauereier mit dem Einsetzen der Erwärmung beginnt, das ist im April bis Juni. RUTTNER-KOLISKO (1959, S. 4) fand im Weißsee (Bundesland Salzburg, Österreich), daß dort die Sexualperiode im September und Oktober anzutreffen ist.

Neben diesen Hinweisen finden wir auch Angaben, daß die Bisexualität erst einsetzt, wenn der See eine Eisdecke trägt. Interessant ist in diesem Zusammenhang auch, daß z. B. RUTTNER-KOLISKO (1959, S. 4) im alpinen Moserboden und im subalpinen Wasserfallboden (beides sind Speicherseen) im September und im Oktober keine Dauereier von *P. dolichoptera* finden konnte, obwohl zur gleichen Zeit der benachbarte Weißsee eine *Polyarthra*-Population aufwies mit Dauereiern von der für *Polyarthra dolichoptera* charakteristischen Art. So dürfen wir wohl erwarten, daß im Wasserfall- und im Moserboden die miktische Phase erst nach Beginn der Eisbedeckung einsetzt. Bei GUTMANN (1962, S. 85) lesen wir, daß im

bereits erwähnten Mölsersee die Bildung der miktischen Eier im November-Dezember beobachtet wurde.

Im Gossenköllesee war bei *P. dolichoptera* im Dezember 1964 eine auffallende Veränderung festzustellen. Die Tiere wurden sehr durchsichtig und hell; nach einiger Zeit vergrößerten sich die Dottersackkerne zusehends und es war im Ovar die Bildung von Männcheneiern zu beobachten, die dann im Jänner zum ersten Mal im Plankton gefunden wurden. Gleichzeitig hörte die Bildung der Subitaneier fast vollkommen auf (das letzte wurde am 13. Februar gefunden); die ersten miktischen Eier fand ich am 28. Jänner 1965. Das maximale Auftreten der Männchen- und der Dauereier war am 22. Februar 1965.

Was die Form der Dauer- und der Männcheneier betrifft, möchte ich auf NIPKOW (1952, S. 142) und auf HUTER (1966, S. 53) verweisen, wo eine genaue Beschreibung zu finden ist. Allerdings hatten die Eier im Gossenköllesee nicht ganz die charakteristische Form. Die fixierten miktischen Eier hatten im Gossenköllesee eine Länge von 0,060 bis 0,074 und eine Breite von 0,047 bis 0,053 mm; sie sind also ein wenig kleiner als die amiktischen. Die Länge der Männcheneier schwankt zwischen 0,025 und 0,039 mm. Auch 20 miktische Weibchen hatte ich am 22. Februar 1965 gemessen. Ihre Maße betragen: Körperlänge: 0,104 bis 0,116 mm; Körperbreite: 0,074 bis 0,096 mm; Länge der Schwimmflossen: 0,112 bis 0,162 mm. Die Körperlänge war etwas kürzer als bei den amiktischen im Sommer, während die Länge der Schwimmflossen und die Körperbreite nicht sehr viel von den Sommerformen abwichen.

Auf die Frage nach den Faktoren, die die Bisexualität auslösen, geben uns BEAUCHAMP (1938), BUCHNER (1941), POURRIOT (1963) und NAUWERCK (1963) Hinweise, wenn auch diese Frage noch nicht vollkommen geklärt sein dürfte. BUCHNER (1941) hat unter Laborbedingungen gefunden, daß in erster Linie das „Alter des Milieus“ und plötzliche Milieuveränderungen eine wichtige Rolle spielen, während Temperatur, Licht, Chemismus oder Ernährung nicht so sehr von Bedeutung sind. NAUWERCK (1963, S. 60) weist ebenfalls auf das „Alter des Milieus“ und auf die plötzliche Temperaturveränderung hin. BEAUCHAMP (1938) und POURRIOT (1963) glaubten einen klaren Zusammenhang zwischen Ernährung und Fortpflanzung nachweisen zu können.

Im Gossenköllesee kann ich mit BUCHNER und NAUWERCK auf den in den Monaten Dezember und Jänner in der Tiefe stark zurückgehenden Sauerstoffgehalt, vor allem aber auf das Absinken der Temperatur hinweisen, zumal sich die Tiere in diesen Monaten in erster Linie direkt unter der Eisdecke aufhalten. Auch das mangelnde Nahrungsangebot könnte eine Rolle spielen.

### 9.5. Die Vertikalverteilung im Jahresablauf

Die Vertikalverteilung von *Polyarthra dolichoptera* erscheint in den eisfreien Monaten sehr uneinheitlich zu sein, während der Wintermonate fand ich jedoch stets ein Maximum direkt oder sehr knapp unter der Eisdecke (vgl. Abb. 48).

Für die Sommermonate gilt, daß sich das Minimum in der oberflächennahen Schicht und in Sedimentnähe befindet. Von der Oberfläche an steigt die Individuenzahl bis zu einer Tiefe von 2—3 m nur sehr langsam an, dann aber finden wir zwischen 4 und 7 m ein ausgesprochenes Maximum. Während das Minimum an der Oberfläche zum Teil auf die zu hohe Strahlungsintensität zurückzuführen ist und zum Teil auf die höhere Temperatur, findet das Minimum in Bodennähe durch das in dieser Zone sich befindende Maximum der Copepoden seine Erklärung; die Copepoden sind nämlich die großen Räuber von *P. dolichoptera*. Wenn ich z. B. eine Lebendprobe mit nach Hause nahm und sie dort erst nach ein bis zwei Tagen untersuchte, dann waren sämtliche Rädertiere dieser Art vollkommen verschwunden. Ich erkläre dies dadurch, daß die Nauplien, Copepodide und adulten Tiere von *Cyclops taticus* die Rotatorien gefressen hatten.

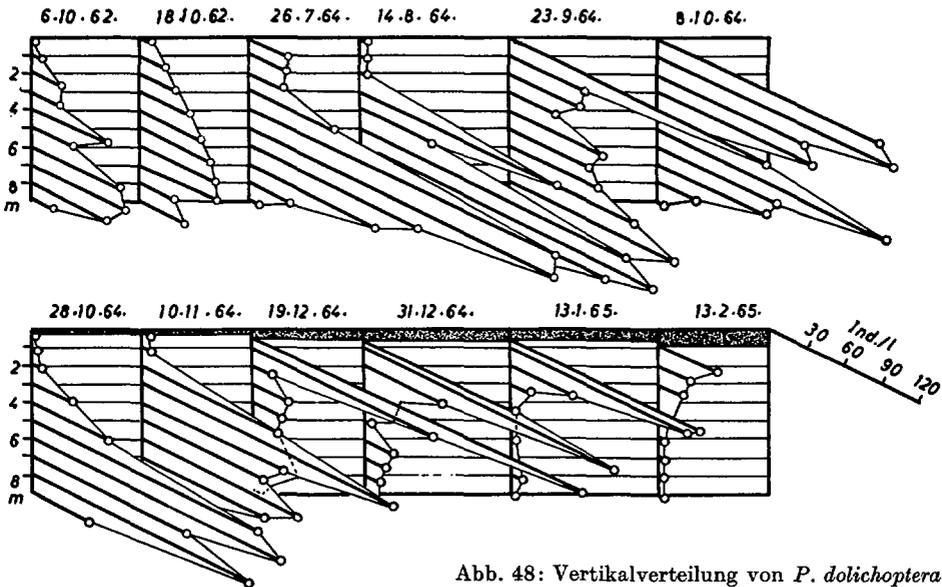


Abb. 48: Vertikalverteilung von *P. dolichoptera*.

Von diesem allgemein aufgezeigten Schema der Vertikalverteilung in den eisfreien Sommermonaten weichen manche Fänge vollkommen ab. So sehen wir in Abb. 48, daß am 23. September 1964 an der Oberfläche ausnahmsweise ein starkes Maximum ist. Auch war in der Vertikalverteilung manches Mal ein zweiteiliges Maximum zu sehen: Eines in der oberen Seehälfte und eines in der unteren Hälfte des Sees. So war es am 14. August und am 8. Oktober 1965.

Mit Beginn der Eisbedeckung ändert sich zunächst nicht sehr viel. Die Vertikalverteilung Ende Oktober und Anfang November war wie in den Sommermonaten: In den oberen Schichten war ein Minimum, auch in Sedimentnähe waren nur sehr wenig Tiere, während sich das Maximum zwischen 5 und 8 m aufhielt.

Im Dezember 1964 wanderte die Population höher und hielt sich dann bis zum Verschwinden aus dem Pelagial Ende Mai vorzüglich direkt oder doch sehr knapp unter der Eisdecke auf. Mit zunehmendem Abstand vom Eis sank die Zahl sehr rasch ab und von 3 m Tiefe an waren nur mehr wenige Tiere zu finden.

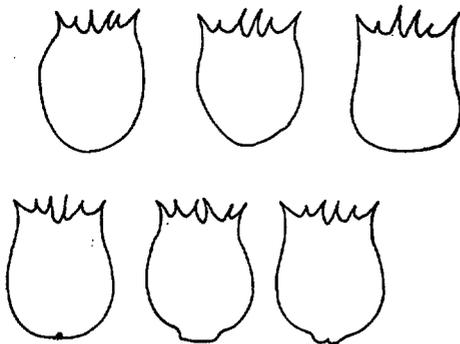
Am 31. Dezember 1964 untersuchte ich auch die Wasserschicht der Winterdecke. Dort fand ich in 10 Liter Wasser 14 amiktische Weibchen und 10 Simultaneier. Die Tiere scheinen sich dort wohlzufühlen, obwohl die Temperatur in dieser Schneematschschicht nahe 0° C lag.

## 10. *Notholca squamula* (O. F. MÜLLER) 1786

### 10.1. Allgemeine Bemerkungen

Am Beginn dieses Abschnittes möchte ich zunächst Frau Univ.-Doz. A. RUTNER-KOLISKO für die Bestimmung von *Notholca squamula* danken. Dieses Rädertier stellt im Gossenköllesee 9% des gesamten Zooplanktonbestandes, das sind durchschnittlich 5 Individuen pro Liter.

VOIGT (1957, S. 190) gibt an, daß das Hinterende stets abgerundet sei. Wie aus Abb. 49 zu ersehen ist, kann das Hinterende auch Anzeichen von Verlängerungen aufweisen. Diese Formen mit einer kurzen Verlängerung des kaudalen Teiles, treten gleichzeitig mit den hinten abgerundeten Formen auf. Auffällige Merkmale, die auf zwei verschiedene Arten hingedeutet hätten, konnte ich nicht feststellen.



Die Körperlänge schwankte (20 Messungen) zwischen 0,123 und 0,139 mm (Mittel: 0,130 mm); die Länge der mittleren Vorderdornen betrug 0,021 bis 0,026 (Mittel: 0,023) mm; die Körperbreite lag zwischen 0,086 und 0,105 (Mittel: 0,096) mm. Somit gehört diese Form im Gossenköllesee CARLINS Planktonform der Seen an (vgl. VOIGT, 1957, Tafel 27,30 a und 30 b).

Abb. 49: Panzerformen von *Notholca squamula* im Gossenköllesee.

### 10.2. Jahreszeitliche Entwicklung

Die jahreszeitliche Entwicklung ist aus Abb. 50 ersichtlich. Vergleicht man Abb. 50 mit Abb. 47, wo die jahreszeitliche Entwicklung von *Polyarthra dolichoptera* dargestellt ist, dann zeigt sich, daß die Dauereier von *N. squamula* sich zu entwickeln beginnen, wenn *P. dolichoptera* bereits der maximalen Entfaltung zustrebt. Es ist

die Zeit, da der See sich in Abkühlung befindet und die epilimnische Zirkulation zunehmend tiefere Schichten erfaßt. So fand ich im Jahre 1962 *N. squamula* zum ersten Male am 11. September im Plankton. Der See war an diesem Untersuchungstag bis zu einer Tiefe von 6 m fast homotherm. Im Jahre 1964 fand ich diesen Plankter erst wieder ab dem 28. Oktober in den Proben. Im Jahre 1965 tauchte dieses Rädertier

ebenfalls Anfang September wieder im Plankton auf. Die erste Entwicklung geht nur sehr zögernd vor sich und es dauert ca. 2 Monate, bis die Dichte 1 Individuum/l erreicht. Doch als im Dezember 1964 die Zahl von *N. squamula* auf 1 bis 2 Tiere pro Liter angestiegen war, ging die weitere Entwicklung schneller vor sich. Die Kurve steigt bis Ende März. Am 29. März 1965 konnte ich durchschnittlich 37 Tiere pro Liter zählen. Die beiden Minima Ende Jänner und im März dürfen wir wohl durch eine unterschiedliche Horizontalverteilung erklären.

Der große Anstieg der Kurve in Abb. 50 im Jänner fällt zusammen mit dem starken Abnehmen der Individuenzahlen von *Polyarthra dolichoptera*; weiters haben wir gerade in diesem Monat die größte Sauerstoffzehrung und ein starkes Ansteigen der Kohlensäurekonzentration verbunden mit einem starken Absinken des pH's.

Dem Maximum von 37 Individuen pro Liter, das ich am 29. März 1965 gefunden hatte, steht bei AMRÉN (1964 c, S. 225) ein Maximum von 74 Individuen pro Liter gegenüber. Ist der Höhepunkt erreicht und werden die ersten Dauereier gebildet, dann sinkt die Zahl von *N. squamula* sehr schnell ab und erreicht Ende Mai fast den Wert Null. Einige Wochen vor dem endgültigen Schmelzen der Eisdecke verschwinden die letzten Vertreter dieser Art.

GUTMANN (1962, S. 85) berichtet, daß im Mölsersee *N. squamula* ganzjährig im Pelagial zu finden ist, wenn auch dort die Zahl der Tiere im Sommer stark zurück geht. Das Maximum mit 19 Tieren pro Liter fand GUTMANN im Mölsersee im Februar

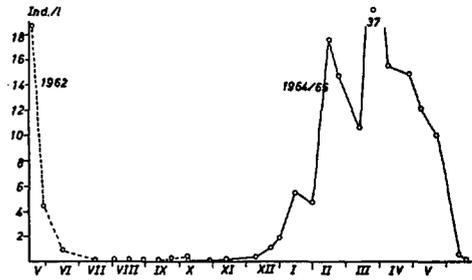


Abb. 50: Jahreszeitliche Entwicklung von *N. squamula*.

### 10.3. Vertikalverteilung

Für die Vertikalverteilung von *Notholca squamula* (vgl. Abb. 51) gilt dasselbe, was wir bereits über die Vertikalverteilung der Nauplien zur Zeit der Eisbedeckung gesagt haben. Wie bei den Nauplien haben wir auch bei diesem Rädertier zwischen 1 und 3 m ein scharf begrenztes Maximum. Direkt unter Eis halten sich nur wenige Tiere dieser Art auf, dann aber steigt die Zahl gegen die Tiefe hin rasch an, erreicht meist 2 m unter der Winterdecke das Maximum und sinkt dann von dort an wieder sehr schnell ab. Ab der 5 m-Zone haben wir nur mehr wenige Individuen. Das Maxi-

zum der Population hält sich also in jener Schicht auf, wo wir die günstigsten Sauerstoffverhältnisse finden. Die Temperatur lag in diesem Bereich zwischen 2 und 3,5° C, während die Temperaturextreme zwischen 0,2 und 10,9° C lagen.

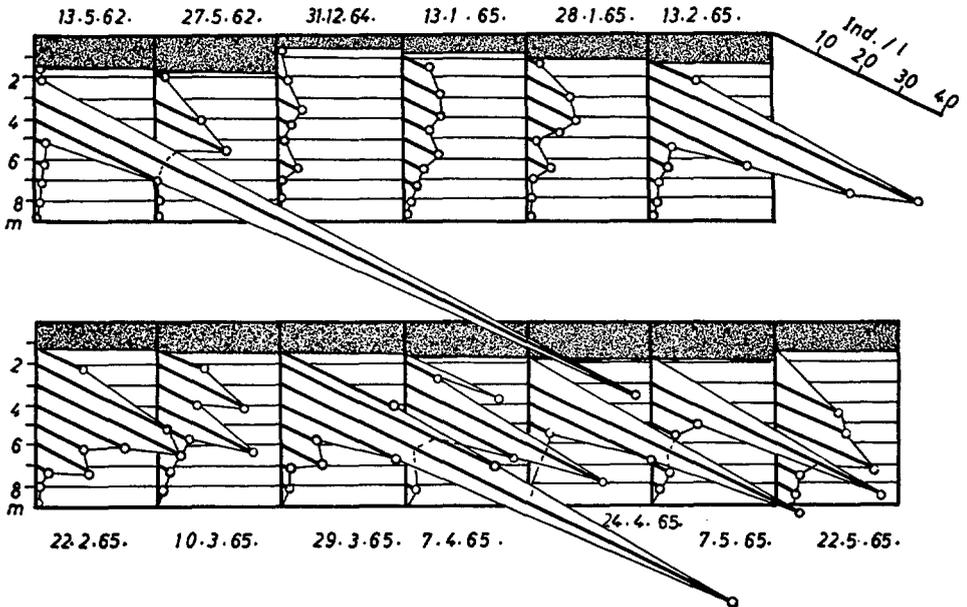


Abb. 51: Vertikalverteilung von *N. squamula*.

Am 10. März 1965 wurden auch Untersuchungen über die tägliche Vertikalwanderung dieser Art unter Eis gemacht. Dabei konnte kein sicherer Beweis für eine tägliche Vertikalmigration von *N. squamula* unter der Winterdecke erbracht werden, obwohl ich ein leichtes Absinken der Population zur Mittagszeit zu erkennen glaubte (dasselbe gilt auch für *Polyarthra dolichoptera*).

### 11. *Synchaeta cf. tremula* (O. F. MÜLLER) 1786

Unter den seltenen Formen, die zusammen nicht einmal 1% des Zooplanktons im Gossenköllesee ausmachen, nimmt *S. tremula* den ersten Rang ein, wobei sich unter dieser Form wahrscheinlich zwei Arten verbergen, deren genaue Bestimmung für mich unmöglich war, weil ich nur 3 Exemplare lebend zu sehen bekam.

Eine Art hat ihr Auftreten in den Herbstmonaten. In den fixierten Proben des Jahres 1964 fand ich 20 Stück.

Die zweite Art im Gossenköllesee ist *Synchaeta cf. tremula*, deren Hauptentfaltung in die letzte Zeit der Eisbedeckung fällt (April-Juni). Die lebenden Tiere hatten im Gossenköllesee eine Gesamtlänge von 0,185 bis 0,235 mm (Mittel: 0,213 mm); die

Körperbreite betrug 0,076 bis 0,092 (Mittel: 0,084) mm und die Länge der Zehen war 0,009 bis 0,012 (Mittel: 0,010) mm. *S. tremula* taucht im Februar-März im Plankton auf und erreicht ihr Maximum, bevor die Schneeschmelze in dieser Meereshöhe einsetzt; von dieser wird sie besonders stark betroffen, weil sie sich vorzüglich direkt unter der Eisdecke aufhält. Am 13. Mai 1962 fand ich in 90 Liter Wasser aus allen Tiefen 156 Tiere dieser Art, davon waren 90 Tiere in der Probe, die direkt aus dem Bohrloch geschöpft wurde (vgl. NAUWERCK, 1963, S. 51f.).

## 12. *Lecane* sp.

Wie ich aus dem jahreszeitlichen Auftreten und der Körpergröße schließe, dürften es zwei verschiedene Arten sein. Die eine Art trat in den Monaten Februar und April auf und könnte vielleicht *Lecane intrasinuata* OLOFSSON (1917) sein oder *L. saginata* HARRING und MAYER, 1926. Die Gesamtlänge schwankte zwischen 0,101 und 0,143 mm. Die Länge des Panzers lag bei 0,071 bis 0,096 mm. Die Länge der Zehen betrug 0,017 bis 0,047 mm, während die Körperbreite zwischen 0,069 und 0,078 mm schwankte. In den fixierten Proben konnte ich insgesamt nur 4 Stück finden. Lebend sah ich ein Exemplar am 7. April 1965.

Die zweite *Lecane*-Art fand ich in den eisfreien Sommermonaten. Sie war etwas größer: Gesamtlänge: 0,168 bis 0,178 mm; Länge des Panzers 0,123 und 0,150 mm; Länge der Zehen: 0,034 bis 0,048 mm; Breite des Panzers: 0,088 bis 0,096 mm. Ich konnte von dieser Art insgesamt nur 8 Tiere finden.

## 13. *Trichocerca* sp.

Dieses Rädertier fand ich nur am 8. September 1964 in einer Tiefe von 8—9 m (5 Exemplare). Die Körperlänge dieser Tiere schwankte zwischen 0,130 und 0,274 mm (ohne Zehen), die Körperbreite lag bei 0,056 und 0,088 mm und die Länge der Zehen war 0,106 und 0,170 mm.

## 14. *Trichotria* sp.

Das Auftreten dieser Art war auf die Herbst- und die ersten Wintermonate in Sedimentnähe beschränkt. Ich konnte sie nur in einigen wenigen Exemplaren finden.

## 15. *Keratella* cf. *hiemalis* CARLIN 1943

Dabei handelt es sich um eine allochthone Art, die nur zufällig in das Pelagial des Gossenkölleesees verfrachtet worden war. Ich fand *K. hiemalis* nur zweimal während meiner Untersuchungsperiode. Bei der Horizontaluntersuchung am 25. Februar 1965 fand ich fünf leere Panzer dieser Art. Am 13. Mai 1962 konnte ich jedoch in meinen Proben insgesamt 82 Individuen von *K. hiemalis* finden. Dabei war sie in jeder Tiefenstufe vertreten. Ich fand sie weder bei der vorhergehenden noch bei der nachfolgenden

Untersuchung. Sie blieb die restliche Zeit vollkommen verschwunden, mit Ausnahme der 5 erwähnten Panzerreste.

## 16. Bdelloides Rädertier

Ich möchte nur kurz auf das Vorkommen dieses Rädertieres hinweisen, das einige Male in den eisfreien Sommermonaten zu sehen war, in seinem Auftreten aber auf die Sedimentnähe beschränkt war.

## 17. Larven von Dipteren

Auch diese (in erster Linie Chironimidenlarven) sind im Pelagial dieses Sees seltene Gäste, die nur fakultativ ins freie Wasser gelangten. Ich fand sie manches Mal in den Sommermonaten in verschiedenen Tiefen.

## 18. Nematoden

Die Anzahl dieser Tiere war im Pelagial ebenfalls gering und ihr Auftreten war auch auf die eisfreien Sommermonate (Juli-Oktober) beschränkt.

## 19. Zusammenfassung

### 19.1. Physikalische Umweltfaktoren

Der Gossenköllesee ist ein Moränensee (Daunstadium), seine Umgebung besteht aus Granitgneisen, Amphiboliten und Hornblendeschiefern. Das Einzugsgebiet mißt 0,2 km<sup>2</sup>. Der jährliche Niederschlag macht etwa das Doppelte des Seevolumens aus, der Koeffizient der effektiven Wassererneuerung pro Jahr liegt aber unter 1. Die morphometrischen Daten lauten: Länge = 203 m, Breite = 120 m, Volumen = 78.170 m<sup>3</sup>, Oberfläche = 16.690 m<sup>2</sup>, mittlere Tiefe = 4,7 m, maximale Tiefe = 9,9 m. Die durchschnittliche Horizontüberhöhung beträgt 17°; sie ist im NNW bis NNE besonders groß, während der See nach SE bis SW offen ist. Die örtlich mögliche Sonnenscheindauer beträgt 79% der astronomisch möglichen. Die Globalstrahlung lag im Sommer 1965 um 3–4% höher, als in Anbetracht der Horizontüberhöhung zu erwarten gewesen wäre. Die größte Transmission zeigt der See unmittelbar nach Eisbruch, im Verlauf des Sommers nimmt sie ständig ab (Planktonentwicklung). Die durchschnittliche Transmission pro m für die Schwerpunkte der berücksichtigten Spektralbereiche beträgt: 371 nm = 84%, 417 nm = 86%, 525 nm = 88%, 581 nm = 84%, 652 nm = 62%, 680 nm = 51%. Die „optische Kennung“ lautet 998 und die optische Kennsumme 26. In den eisfreien Sommermonaten reicht die Sichttiefe bis zum Grund (9,9 m). Während des Winters sinkt sie langsam auf 5,8 m.

Der See wird im Juni oder Juli eisfrei. Nach einer kurzen Vollzirkulation (8 bis 10 Tage) setzt sich eine thermische Schichtung mit der typischen Dreiteilung in ein

Epi-, Meta- und Hypolimnion durch. Im August finden wir die höchsten Durchschnittstemperaturen mit 10,0 bis 12,4° C und die maximalen Oberflächentemperaturen bis 14,4° C. Mitte bis Ende August beginnt die Abkühlung und im September setzen die ersten Vollzirkulationen ein. Nach Bildung einer Eisdecke (Mitte Oktober-Anfang November) steigen die Temperaturen in allen Schichten zunächst noch ein wenig an, erst ab Dezember sinken sie wieder ab. In Sedimentnähe beträgt die Wintertemperatur bis zu 4,5° C. Durch den gleichzeitigen Anstieg der elektrolytischen Leitfähigkeit um durchschnittlich  $2,5 \text{ K}_{25} \cdot 10^6$  ist trotzdem eine stabile Schichtung gegeben. Die durch temperaturabhängige Dichteunterschiede bedingte Stabilität der Sommerschichtung erreichte in den verschiedenen Sommern Werte von 10,5 bis 24,4 g.—cm.cm<sup>-2</sup>. Die Eisdecke bestand zunächst aus 11—13 cm Klareis, über diesem wurde später aus durchfeuchtetem Schnee eine 40—50 cm dicke Trübeisschicht gebildet. Über dieser kompakten Eisdecke lagen noch mit ungefrorenen Schneematsch-Lagen abwechselnde dünne Trübeisschichten in verschiedener Zahl. Im Mai wurde die größte Mächtigkeit der Winterdecke erreicht (233 cm). 1965 wurde der See erst am 30. Juli eisfrei, in anderen Jahren jedoch Mitte Juni bis Anfang Juli. Die Winterdecke wird fast zur Gänze von oben her abgebaut. Das jährliche Wärmebudget betrug 1964/65 13.300 cal. cm<sup>-2</sup>. Nur 31% davon entfielen auf die sommerliche Erwärmung des Sees.

## 19.2 Chemismus

Im Sommer und bis in den Dezember liegen die Sauerstoffwerte in allen Schichten um den Sättigungspunkt, nur im Hypolimnion liegt eine deutliche Übersättigung vor (Photosynthese). Im Dezember beginnt sich die Sauerstoffzehrung bemerkbar zu machen. Das Sauerstoffdefizit ist bis 4 m Tiefe nur gering, wird aber gegen das Sediment hin immer stärker. Den niedersten Wert fand ich im Mai mit 1,40 mg O<sub>2</sub>/l (14%). Die pH-Werte schwanken zwischen 5,62 (Winter, Sedimentnähe) und 7,81 (Sommer). Die Werte der Bikarbonatkohlensäure pendeln um einen Mittelwert von 4,00 mg/l mit einer leicht steigenden Tendenz gegen das Sediment hin und bis in den Hochwinter hinein. An freier CO<sub>2</sub> sind nach Eisbruch 8—10 mg/l gelöst. Ihre Konzentration nimmt im Sommer ständig ab und erreicht Werte von 0,6 bis 0,7 mg/l. Bei der herbstlichen Vollzirkulation steigen die Werte auf fast 4,0 mg/l und bleiben bis Dezember gleich. Mit dem Einsetzen der O<sub>2</sub>-Zehrung steigen sie stark an. Ein vertikaler Gradient ist im Sommer nicht gegeben, im Winter aber haben wir unter Eis ein schwaches Maximum (bis 14 mg/l), in 2—4 m Tiefe ein Minimum und in Sedimentnähe ein großes Maximum mit Werten bis zu 29 mg/l.

Die elektrolytische Leitfähigkeit zeigt im Sommer im Epilimnion Werte von 21—22, im Clinolimnion 19 und in Sedimentnähe 23—25 K<sub>25</sub> · 10<sup>6</sup>. Im Winter ist das gleiche Schichtungsbild, nur sind dann die Werte um durchschnittlich 3 Einheiten höher. Die durchschnittliche Alkalinität ist 0,095 mval/l, wobei die Sommerwerte um durchschnittlich 0,01 mval/l kleiner sind als die im Winter. Vertikal-schichtung und Jahreslauf sind dieselben wie bei der Bikarbonatkohlensäure. Die

Karbonatleitfähigkeit erreicht durchschnittlich 46% der Gesamtleitfähigkeit. Die Werte für Sulfat liegen bei 0,06—0,15 mval/l (Durchschnitt: 0,115). Die Jahreschwankungen sind gering und die Tautochronen zeigen ein leichtes Ansteigen gegen die Tiefe. Sulfate bilden 54% der Anionen. Der Gehalt an Calcium und Magnesium ist gering. Die Schwankungen im Jahresablauf und die Unterschiede in der Vertikalschichtung sind kaum nennenswert.  $\text{Ca}^{2+}$  bildet 34% und  $\text{Mg}^{2+}$  8% der Kationen. Die Extreme sind für  $\text{Ca}^{2+}$  0,02—0,10 (Durchschnitt: 0,065) mval/l (in mg heißen die Zahlen: 0,40—2,00 und 1,30 mg/l), für  $\text{Mg}^{2+}$  liegen sie bei 0,0—0,04 mval/l = 0,0 bis 0,49 mg/l (Durchschnitt: 0,02 mval/l = 0,24 mg/l).

Die niedrigsten Werte der Gesamtionenkonzentration sind zur Zeit der Schneeschmelze zu finden (0,155 mval/l). Im Sommer liegen die Zahlen bei 0,16—0,18, bei der herbstlichen Vollzirkulation erhöhen sie sich auf 0,17—0,19 mval/l. Mit Beginn der Eisbildung steigen sie weiter an bis zu ihrem Maximum im April (durchschnittl. 0,22 mval). Jahrgang und Vertikalschichtung sind weitgehend identisch mit der elektrolytischen Leitfähigkeit.

### 19.3. Das Zooplankton des Gossenköllesee

*Cyclops tatricus* (19%), *Polyarthra dolichoptera* (73%) und *Notholca squamula* (9%) stellen mehr als 99% der Zooplankter. Die restlichen 12 Vertreter kommen nur vereinzelt vor. Das große Minimum an Zooplankton ist in diesem See kurz vor und nach Eisbruch (Juni-Juli). Nach dem Eisbruch nimmt bald die Zahl der Nauplien und die der Copepodide sowie die von *Polyarthra dolichoptera* zu. Das erste große Maximum mit 117 Individuum pro Liter ist Ende September-Anfang Oktober (107 *Polyarthra*, 7 Copepodide, 2 Nauplien und 1 adultes Tier von *Cyclops tatricus*). In der Folgezeit sinkt ihre Zahl ab, ab Jänner aber steigt die Zooplanktonkurve durch die beginnende Nauplienproduktion und durch die Entwicklung von *Notholca squamula* erneut an. So finden wir das zweite große Jahresmaximum mit durchschnittlich 75 Individuen pro Liter (32 Nauplien, 31 *Notholca*, 10 *Polyarthra* und 2 adulte *Cyclops*) im März-April. Durch die mächtige Winterdecke und durch Schmelzwasser wird die Zooplanktondichte vor allem in den Wintermonaten Mai bis Juli sehr stark gelichtet. Der Jahresdurchschnitt beträgt 58.000 Zooplankter pro m<sup>3</sup>.

Die Horizontalverteilung der Plankter ist im Winter ziemlich einheitlich, doch können die Individuendichten an einer Probenentnahmestelle des eisbedeckten Sees für die Summe aller Zooplankter um 250%, für eine einzelne Art um 500% von den für diese Zeit geltenden Mittelwerten abweichen. *Cyclops tatricus* stellt 19% der Individuen des Zooplanktons (12% Nauplien, 4% Copepodide, 2% adulte Tiere); die Fortpflanzungsperiode beginnt in den Monaten Dezember bis April (verschieden in den einzelnen Jahren) und kulminiert in den Monaten März bis Mai. Einzelne geschlechtsreife Tiere können aber das ganze Jahr über auftreten. Das Verhältnis betrug zwischen Männchen: Weibchen = 84:16. Es wird vermutet, daß sich Weibchen zur Eiablage in die Nähe des Litorals begeben und daher in dieser Studie nur

unvollständig erfaßt wurden. Die Länge der Weibchen (von der Kopfspitze bis einschließlich Furka) betrug 1,24–1,54 mm; die der Männchen war 1,04–1,25 mm. Dabei waren die Tiere des Jahres 1964 durchschnittlich um 10% größer als die des Jahres 1962. Mehr als 99% der unter Eis geborenen Nauplien sterben ab, nur einige können das Copepodidstadium erreichen. Erst mit dem Schmelzen der Winterdecke werden auch die Lebensbedingungen so, daß sich die Nauplien weiterentwickeln können. 3–4 Wochen nach dem Eisbruch tauchen die ersten Copepodide auf. Ein Naupliusstadium dauerte im Sommer 5–8 Tage, das erste Copepodidstadium dauerte 8–10 Tage, das 2. Cop.-Stadium 10–13 und das 3. Cop.-Stadium 14–20 Tage. Im 4. Cop.-Stadium verharren die Tiere im Jahre 1964 nur 4–6 Wochen, im Jahre 1965 hingegen vom Oktober bis zum März des nächsten Jahres. Dementsprechend kam es in dem einen Jahr im Oktober zum ersten Auftreten der adulten Tiere, im anderen erst im März. Alle Stadien von *Cyclops tatricus* halten sich im Sommer untertags in Sedimentnähe auf, nachts bevölkern sie alle Schichten. Dabei machen die Nauplien dieselbe tägliche Vertikalwanderung mit. Im Winter bevorzugen die adulten Tiere die Nähe des Sediments, die Nauplien hingegen die Wasserschichten zwischen 1–3 m.

Eine zweite *Cyclops*-Art ist nur vereinzelt vorgekommen. Auch die Bedeutung von *Chydorus sphaericus* und von *Alona affinis* ist nicht sehr groß.

*Polyarthra dolichoptera* stellt 73% der Zooplankter. Abnorme Formen mit schiefem Kauer und Kehlsack sind nach meiner Auffassung eine Folgeerscheinung der Fixierung. Nach Eisbruch kommen die Dauereier zur Entwicklung, im September-Oktober erreicht die Entwicklung ihren Höhepunkt (107 Individuen pro Liter), im Dezember beginnt die Sexualperiode. Die meisten Dauereier fand ich im Februar. Die miktischen Tiere haben eine Lebensdauer von 3–5 Monaten. *P. dolichoptera* meidet im Sommer die oberflächennahen und sedimentnahen Zonen. Dieselbe Verteilung gilt für die Wochen der ersten Eisbedeckung. Zu Beginn der Sexualperiode (im Dezember) wandern die Tiere höher und bevölkern die Schicht direkt unter der Eisdecke. Im Mai verschwinden die Tiere aus dem Pelagial.

*Notholca squamula* stellt 9% des Zooplanktons. Sie gehört der Planktonform CARLINS an. Die meisten Tiere sind hinten abgerundet, doch kommen auch Formen vor, die Anzeichen einer Verlängerung des kaudalen Teils zeigen. Die ersten Tiere erscheinen zur Zeit der herbstlichen Vollzirkulation. Die maximale Entfaltung ist im März-April (37 Individuen pro Liter). Einige Wochen vor Eisbruch verschwindet diese Art wieder vollkommen aus dem Plankton. Die Vertikalverteilung ist so, daß sich das Maximum der Tiere immer 1–3 m unter der Eisdecke aufhält.

*Synchaeta cf. tremula* tritt vor allem in den Monaten April-Juni auf; ihre Bedeutung für das Zooplanktonbild ist jedoch gering. Eine weitere *Synchaeta*-Art sowie *Lecane* sp., *Trichocerca* sp., *Trichotria* sp., *Keratella cf. hiemalis*, ein bdelloides Rotator, Larven von Dipteren und Nematoden wurden vereinzelt im Pelagial des Gossenköllesees gefunden.

## 20. Zitierte Literatur

- ÅBERG, B. und W. RODHE (1942): Über die Milieufaktoren in einigen südschwedischen Seen. — *Symb. Ups.* **5**, 3: 1–256.
- ALSTERBERG, G. (1929): Über das aktuelle und absolute O<sub>2</sub>-Defizit der Seen im Sommer. — *Bot. Not.* **1929**: 354–376.
- ALSTERBERG, G. (1930): Die O<sub>2</sub>-Primärkonstante in den verschiedenen Seenbereichen während des Jahres. — *Bot. Not.* **1930**: 251–304.
- AMRÉN, H. (1964a): Ecological studies of zooplankton populations in some ponds on Spitsbergen. — *Zool. Bidr. Uppsala*, **36**: 161–191.
- AMRÉN, H. (1964c): Ecological and taxonomical studies on zooplankton on Spitsbergen. — *Ibid.*, **36**: 209–276.
- ARNEMO, R. (1965): Limnological studies in Hyttödammen — 3. Zooplankton. — *Rept. Inst. Freshw. Res., Drottningholm*, **46**: 200–275.
- BEAUCHAMP, P. De (1938): Les cultures des Rotifères sur Chlorelles. — *Trav. Stat. Zool. Wimereux*, **13**: 27–38.
- BERGER, F. (1954): Limnochemisches Praktikum an der Biologischen Station Lunz a. See. — *hektogr.*: 1–10.
- BREHM, V. (1938): Die Rotfärbung der Hochgebirgsorganismen. — *Biolog. Rev.* **13**: 307–318.
- BUCHNER, H. (1941): Experimentelle Untersuchungen über den Generationswechsel der Rädertiere. — *Zool. Jb.*, **60**, 3: 279–344.
- BRINKHURST, R. O. (1964): „Observations on the biology of lake-dwelling Tubificidae“. — *Arch. Hydrobiol.*, **60**: 385–418.
- BURKHARD, R. (1956): Zur Ermittlung der relativen Sauerstoffsättigung von Wasser. — *Mitt. a. d. Gebiet d. Lebensmitteluntersuchung und Hygiene*, **47**: 409–414.
- COMITA, G. W. (1956): A study of a calanoid copepod population in an arctic lake. — *Ecology*, **37**: 576–591.
- DIELS, O. (1958): Einführung in die organische Chemie. — Verlag Chemie, Weinheim, Bergstraße: 1–344.
- DIRMHORN, I. (1964): Das Strahlungsfeld im Lebensraum. — *Akadem. Verlagsges. Frankfurt a. Main*: 1–426.
- ECKEL, O. (1950): Über die numerische und graphische Ermittlung der Stabilität nach W. Schmidt. — *Schweiz. Zeitschr. f. Hydrol.* **XII**: 38–46.
- EICHHORN, R. (1957): Zur Populationsdynamik der calanoiden Copepoden im Titisee und Feldsee. — *Arch. Hydrobiol. Suppl.* **24**, Falkauschr. 3: 186–206.
- EINSLE, U. (1962a): Einige Bemerkungen zum Vorkommen von *Cyclops taticus* KOZMINSKI in den Schwarzwaldseen. *Mitt. bad. Landesver. Naturkunde und Naturschutz N. F.* **8**, 2: 235–249.
- EINSLE, U. (1962b): Die Bedeutung der Chromatin-Diminution für die Systematik der Gattung *Cyclops* s. str. — *Die Natw.* **4**: 90.
- EINSLE, U. (1964a): Die Larvenentwicklung von Cyclopiden und Photoperiodik. — *Die Natw.* **51**, 14: 345.
- EINSLE, U. (1964b): Das Crustaceenplankton des Mindelsees. — *Beitr. naturkundl. Forsch. SW.-Deutschl.* **XXIII**, 1: 53–70.
- EINSLE, U. (1964c): Die Gattung *Cyclops* s. str. im Bodensee. — *Arch. Hydrobiol.* **60**, 2: 133–199.
- ELGMORK, K. (1965): A triennial Copepod (Crustaceae) in the temperate Zone. — *Natur.* Vol. **205**, Nr. 4969: 413.
- ELSTER, H. J. (1958): Zum Problem der quantitativen Methoden der Planktonforschung. — *Verh. internat. Ver. Limnol.* **13**: 961–973.
- ENGELHARDT, W. (1959): Was lebt in Tümpel, Bach und Weiher. — Kosmosverlag, Stuttgart: 1–258.
- EPPACHER, Th. (1963): Das Zooplankton des Gossenköllelsees in den Stubaiern Alpen (2.413 m). — Hausarbeit, Institut f. Zoologie d. Univ. Innsbruck, Maschinschrift: 1–133.

- EPPACHER, Th. (1966): Umweltfaktoren und Lebewelt im Pelagial des Gossenkölleesee (Kühtai, Stubaier Alpen, 2.413 m). — Dissertation, Zoolog. Institut d. Univ. Innsbruck, Maschinschrift: 1—278.
- FLEMINGER, A. and R. S. CLUTTER, (1965): Avoidance of lowed nets by Zooplankton. — *Limnology and Oceanography* **10**, 1: 96—104.
- GESSNER, F. (1959): *Hydrobotanik II: Stoffhaushalt*. — Deutscher Verlag d. Wissenschaft, Berlin: 1—701.
- GORHAM, E. (1957a): The chemical composition of lake waters in Halifax county, Nova Scotia. — *Limnol. Ocean.* **2**, 1: 12—21.
- GORHAM, E. (1957b): The ionic composition of some lowland lake waters from Cheshire England. — *Limnol. Ocean.* **2**, 1: 22—27.
- GORHAM, E. (1957c): The chemical composition of some natural waters in the Cairn Grom. — Strath Spey District of Scotland. — *Limnol. Ocean.* **2**, 1: 143—154.
- GUTMANN, V. (1962): Der Mölsersee im Wattental, Tirol. — Veröff. Museum Ferdinandeum, Innsbruck **41**: 49—116.
- HAMMER, W. (1929): Erläuterungen zur geologischen Spezialkarte der Republik Österreich, Blatt Ötztal. — Geolog. Bundesanstalt Wien.
- HERBST, H. V. (1962): Blattfußkrebse (Phyllopoden: Echte Blattfüßer und Wasserkrebse). — Kosmosverlag Franck, Stuttgart: 1—130.
- HEUBERGER, H. (1952): Geomorphologische Untersuchungen in den nördlichen Stubaier Alpen. — Dissertation, Geographisches Institut d. Univ. Innsbruck, Maschinschrift: 1—286.
- HOLLEMANN, A. F. und E. WIBERG (1958): *Lehrbuch der anorganischen Chemie*. — Verlag W. de Gruyter & Co., Berlin: 1—663.
- HUSS, H. (1913): Können Cyclopiden intramolekular atmen. — *Int. Rev. d. Hydrobiol. und Hydrogr.* **VI**: 38—43.
- HUTCHINSON, G. E. (1957): *A treatise on Limnology*, Bd. I. — John Wiley and Sons, Inc. New York, Chapman and Hall, Ltd., London: 1—1015.
- HUTER, M. (1966): Das Sommerzooplankton des Lüner Sees, 1.970 m. — Hausarbeit, Zoolog. Institut d. Univ. Innsbruck, Maschinschrift: 1—76.
- HUTER, M. (1967): Das Zooplankton des Pumpspeichers Lüner See (1.970 m, Rhätikon/Österreich). — *Ber. Nat.-Med. Ver. Innsbruck* **55**: 14—58.
- KIEFER, F. (1960): Ruderfußkrebse (Copepoda). — Kosmos-Verlag Franck, Stuttgart: 1—97.
- KIEFER, F. und U. EINSLE (1962): Über das Vorkommen verschiedener Arten der Gattung *Cyclops* (s. str.) in schweizerischen Seen. — *Schweiz. Zeitschr. f. Hydrol.* **XXIV**, 1: 44—48.
- LADURNER, J. (1932): Die Quartärlagerungen des Sellraims (Stubaier Alpen). — *Jahrb. d. Geolog. Bundesanstalt LXXXII*: 397—427.
- LEUTELETT-KIPKE, S. (1934): Ein Beitrag zur Kenntnis einiger Tiroler Hoch- und Mittelgebirgsseen. — *Arch. Hydrobiol.* **27**: 286—352.
- LEUTELETT-KIPKE, S. (1935): Ergänzende Beobachtungen über die chemischen Verhältnisse am Gossenköllesee (Tirol) und seine Vereisung. — *Arch. Hydrobiol.* **29**, 1: 175—177.
- LIVINGSTONE, D. A. (1963a): Alaska, Yukon, Northwest Territories and Greenland. — *Limnology in North America*. — Univ. of Wisconsin Press. 559—574.
- LIVINGSTONE, D. A. (1963b): Chemical composition of rivers and lakes. — *Data of Geochemistry, Geological Survey Professional Paper 440-G*: 1—64.
- NAUMANN, E. (1924): Einige allgemeine Gesichtspunkte betreffs des Studiums der regionalen Limnologie. — *Verh. int. Ver. Limnol.* **2**: 100—110.
- NAUWERCK, A. (1963): Die Beziehungen zwischen Zooplankton und Phytoplankton im See Erken. — *Symb. Bot. Ups.* **XVII**, 5: 1—163.
- NAUWERCK, A. (1966): Beobachtungen über das Phytoplankton klarer Hochgebirgsseen. — *Schweiz. Zeitschr. f. Hydrolog.* **28**, 1: 4—28.
- NIPKOW, F. (1952): Die Gattung *Polyarthra* EHRBG. im Plankton des Zürichsees und einiger anderer Schweizer Seen. — *Schweiz. Zeitschr. f. Hydrol.* **XIV**, 1: 135—181.
- OHLE, W. (1934): Chemische und physikalische Untersuchungen norddeutscher Seen. — *Arch. Hydrobiol.* **XLVI**, 2: 153—285.

- OHLE, W. (1940): Chemische Gewässererkundung in Schwedisch-Lappland. — Arch. Hydrobiol. **36**: 337—358.
- OHNESORGE, Th. (1905): Die vorderen Kühtaier Berge. — Verh. d. Geolog. Reichsanstalt, Wien.
- PECHLANER, R. (1961): Umweltsbedingungen und Lebewelt in alpinen Speicherseen. — „Wasser und Abwasser“, Bd. 1961: 190—244.
- PECHLANER, R. (1964): Plankton production in natural lakes and hydro-electric water-basins in the alpine regions of the Austrian Alps. — Verh. int. Ver. Limnol. **15**: 375—383.
- PECHLANER, R. (1966a): Die Finstertaler Seen (Kühtai, Österreich). I. Morphometrie, Hydrographie, Limnophysik und Limnochemie. — Arch. Hydrobiol. **62**, 2: 165—230.
- PECHLANER, R. (1966b): Salmonideneinsätze in Hochgebirgsseen und -tümpel der Ostalpen. — Verh. int. Ver. Limnol. **16**: 1182—1191.
- PECHLANER, R. (1967): Die Finstertaler Seen (Kühtai, Österreich). II. Das Phytoplankton. — Arch. Hydrobiol. **63**, 2: 145—193.
- PECHLANER, R. (1968): Beschleunigte Eutrophierung im Piburger See, Tirol. — Ber. nat.-med. Ver. Innsbruck, **56** (Festschrift STEINBÖCK): 143-161
- PEJLER, B. (1957): Taxonomical and ecological studies on planktonic Rotatoria from northern Swedish Lapland. — K. svenska Vetensk. Akad. Handl. Ser. **4**, 6: 1—68.
- PESTA, O. (1929): Der Hochgebirgssee der Alpen. — In: THIENEMANN, Binnengewässer **8**, Schweizerbartsche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart: 1—156.
- POURRIOT, R. (1963): Utilisation des algues brunes unicellulaires pour l'élevage des rotifers. — C. R. Acad. Sc., t. **256**, Groupe 12: 1603.
- RODHE, W. (1949): The ionic composition of lake waters. — Int. Ver. Limnol. **X**: 377—386.
- RODHE, W. (1962): Sulla produzione di fitoplankton in laghi trasparenti di alta montagna. — Mem. Ist. Ital. Idrobiol. **15**: 21—28.
- RODHE, W. (1964): Effects of impoundment on water chemistry and plankton in Lake Ransaren (Swedish Lapland). — Verh. int. Ver. Limnol. **15**: 437—443.
- RUTTNER, F. (1962): Grundriß der Limnologie (Hydrobiologie des Süßwassers). — Verlag W. de Gruyter & Co., Berlin: 1—332.
- RUTTNER-KOLISKO, A. (1959): Über die Population der Polyarthra dolichoptera IDELSON (Rotatoria) in den Kapruner Stauseen. — Anzeiger d. math.-naturw. Klasse d. Österr. Akademie d. Wiss. **1959**, 1: 1—4.
- RYLOV, W. M. (1935): Das Zooplankton der Binnengewässer. — In: Die Binnengewässer Bd. **XV**, Schweizerbartsche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- SAUBERER, F. (1962): Empfehlungen für die einheitliche Durchführung von Strahlungsmessungen in Gewässern. — Mitt. int. Ver. Limnol. **11**: 1—77.
- SAUBERER, F. und I. DIRMHIRN (1958): Das Strahlungsklima. — In: Klimatographie von Österreich, Denkschriften der Österr. Akademie d. Wiss., Bd. **3**: 13—102.
- SAUBERER, F. und F. RUTTNER (1941): Die Strahlungsverhältnisse der Binnengewässer. — Akad. Verlagsg. Becker & Erler, Leipzig: 1—240.
- SCHRÖDER, R. (1959): Die Vertikalwanderung des Crustaceenplanktons der Seen des südlichen Schwarzwaldes. — Arch. Hydrobiol. Suppl. **25**, Falkauschriften 4: 1—43.
- SIEBECK, O. (1960a): Bedeutung von Alter und Geschlecht für die Horizontalverteilung planktischer Crustaceen im Lunzer Obersee. — Int. Rev. Hydrobiol. **45**, 1: 125—131.
- SIEBECK, O. (1960b): Untersuchungen der Vertikalwanderungen planktischer Crustaceen unter Berücksichtigung der Strahlungsverhältnisse. — Int. Rev. Hydrobiol. **45**, 3: 381—454.
- SMYLY, W. J. P. (1961): The life-cycle of the freshwater copepod Cyclops leuckarti CLAUS in Estwaite water. — J. Anim. Ecol. **30**: 153—169.
- SMYLY, W. J. P. (1962): Laboratory experiments with stage V copepodids of the freshwater copepod Cyclops leuckarti from Windermere and Estwaite water. — Crustaceana **4**: 273—280.
- SPITTA und M. PLEISSNER (1909): Neue Hilfsmittel für die hygienische Beurteilung und Kontrolle von Gewässern. — Arb. Kais. Gesundheitsamt **30**: 463—482.
- STEINBÖCK, O. (1929): Hydrobiologische Forschungen in den Ostalpen. — Forschungen und Fortschritte (Berlin) **5**: 415—416.

- STEINBÖCK, O. (1934): Zur Frage der Sprungschicht in den Hochgebirgsseen. — Arch. Hydrobiol. **27**: 397—415.
- STEINBÖCK, O. (1938): Arbeiten über Limnologie der Hochgebirgsgewässer. — Int. Rev. Hydrobiol. **37**: 467—509.
- STEINBÖCK, O. (1949): Der Schwarzsee ob Sölden im Ötztal. Eine hydrobiologische Studie. — Veröff. Mus. Ferdinandeum, Innsbruck **26/29**: 117—146.
- STEINBÖCK, O. (1953): Ein neuer Seentyp: Der kryoeutrophe See. — Mem. Ist. Ital. Idriobiol. **7**: 153—163.
- STEINBÖCK, O. (1955): Über die Verhältnisse in der Tiefe in den Hochgebirgsseen. — Mem. Ist. Ital. Idriobiol., Suppl. **9**: 311—343.
- STEINBÖCK, O. (1958): Grundsätzliches zum „kryoeutrophen See“. — Verh. int. Ver. Limnol. **13**: 181—190.
- SZLAUER, L. (1963): The resting stages of cyclopidae in Stary Dwor Lake. — Polks. Arch. Hydrobiol. **11**, 3: 385—394.
- TOURNOWSKY, F. (1946): Die Seen der Schobergruppe in den hohen Tauern. — Carinthia II, 8. Sonderheft: 1—78.
- TOURNOWSKY, F. (1954a): Der Obstanser See in der karnischen Hauptkette. — Carinthia II, **64**: 124—132.
- TOURNOWSKY, F. (1954b): Der Zollner See in der karnischen Hauptkette. — Carinthia II: **64**: 48—55.
- VOIGT, M. (1957): Rotatoria; die Rädertiere Mitteleuropas. — Verlag Gebr. Bornträger Berlin, Nikolgasse: 1—508.
- VOLLENWEIDER, R. A. (1955): Ein Nomogramm zur Bestimmung des Transmissionskoeffizienten sowie einige Bemerkungen zur Methode seiner Berechnung in der Limnologie. — Schweiz. Zeitschr. f. Hydrol. **XVII**: 205—216.
- WIERZBICKA, M. und S. KEDZIERSKI (1964): On the dormancy of some species of cyclopidae under experimental and natural conditions. — Polks. Arch. Hydrobiol. **12**, 1: 47—80.
- ZIEGELMAYER, W. (1925): Metamorphose und Wachstum der Cyclopiden. — Zeitschr. f. Zoologie **1926**: 493—570.
- ZSCHOKKE, F. (1900): Die Tierwelt der Hochgebirgsseen. — Neue Denkschr. d. allgem. Schweiz. Ges. f. d. ges. Naturwissenschaften.

Anschrift des Autors:

Prof. Dr. Thomas Eppacher  
Petrimumstraße 12  
A-4020 Linz/Donau, Österreich

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Berichte des naturwissenschaftlichen-medizinischen Verein Innsbruck](#)

Jahr/Year: 1968

Band/Volume: [56](#)

Autor(en)/Author(s): Eppacher Thomas

Artikel/Article: [Physiographie und Zooplankton des Gossenköllesees \(2.413 m, Kühtai, Österreich\). 31-123](#)