

I. Studien über die Hydrographie und Biologie des freien Wassers im Gnadensee (Untersee) 1925—1931

Von M. AUERBACH, Karlsruhe, und J. SCHMALZ †, Konstanz.

(Aus der Anstalt für Bodensee-Forschung der Stadt Konstanz in Konstanz-Staad und den Badischen Landessammlungen für Naturkunde in Karlsruhe i. B.)

In unseren beiden Arbeiten: Hydrographisch-biologische Bodensee-Untersuchungen I. und II. (Arch. f. Hydrobiol. 1924 und Verhandlg. d. Naturw. Ver. in Karlsruhe Bd. 30 1924/26) (4. 5) haben wir versucht, einen allgemeinen großen Überblick über die Hydrographie und Biologie des freien Wassers im Obersee (Bodensee oberhalb der Konstanzer Rheinbrücke) zu geben. Wir haben damals schon bemerkt, daß diese Untersuchungen auch auf den Untersee ausgedehnt werden sollten, um damit die Möglichkeit zu bekommen, diese beiden Seeabschnitte miteinander zu vergleichen. In der vorliegenden Arbeit geben wir die ersten Resultate unserer im Jahre 1925 begonnenen diesbezüglichen Forschungen bekannt. Sie sind als ein erster Abschnitt unserer Untersee-Arbeiten aufzufassen, der sich im wesentlichen nur mit einer Bucht des Untersees, dem Gnadensee, beschäftigt. Der Untersee als Ganzes ist in so viele Becken geteilt und durch die verschiedenen Strömungsverhältnisse in seinen einzelnen Abschnitten so verschieden, daß er im Ganzen zunächst nicht verstanden werden kann. Es gilt, zuerst seine einzelnen Teile zu untersuchen, diese dann miteinander zu vergleichen und aus den Teilen das Gesamtbild aufzubauen. Unsere vorliegenden Mitteilungen beziehen sich also im wesentlichen nur auf jenen Untersee-Abschnitt, der nördlich der Insel Reichenau gelegen ist und den in sich abgeschlossenen Teil des Untersees darstellt. Diese Abgeschlossenheit war

auch der Grund, weshalb wir hier mit unseren Untersuchungen begannen. Wie wir sehen werden, steht der ganze Untersee durch den Seerhein und seine Strömung in enger Abhängigkeit vom Obersee. Dauernd werden gewaltige Mengen von Obersee-Plankton in ihn hineingeschwemmt und verwischen das Bild des typischen Untersee-Planktons. Die Strömung des Rheines beeinflußt auch die Ufer- und Bodenzone sowie alle physikalischen und chemischen Zustände des Wassers. Um daher zunächst einmal ein möglichst reines und unverfälschtes Bild des Untersees zu erhalten, mußten wir uns den Teil desselben aussuchen, der am wenigsten von allen diesen fremden Beigaben beeinflußt ist, und das ist der Gnadensee. Eine allgemeine Charakterisierung desselben soll gleich erfolgen. Wir möchten hier nur noch hervorheben, daß wir selbstverständlich auch schon die anderen Seebecken mit in den Kreis unserer Untersuchungen einbezogen haben. So weit fortgeschritten wie im Gnadensee sind diese aber noch nicht, sie sollen sich vielmehr jetzt daran anschließen und eines nach dem anderen in gleicher Weise bearbeitet werden.

Im Aufbau unserer Arbeit halten wir uns möglichst genau an die Disposition unserer beiden oben angeführten Veröffentlichungen, damit ein Vergleich mit diesen leicht durchgeführt werden kann. Die Untersuchungs- und Verarbeitungsmethoden sind dieselben geblieben, so daß alle hier gemachten Angaben mit denen in jenen beiden Arbeiten direkt in Vergleich zu setzen sind.

Die Untersuchungen wurden durchgeführt mit Hilfe der Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft, der wir auch an dieser Stelle für die großzügige Förderung unserer Arbeiten den herzlichsten Dank sagen.

Ehe wir mit der Darstellung unserer eigenen Arbeitsergebnisse beginnen, wollen wir eine kurze allgemeine Schilderung des Untersees und seiner einzelnen Abschnitte geben, damit unsere Leser über das ganze Untersuchungsgebiet im Bilde sind. Wir folgen hier im großen und ganzen der Darstellung des Grafen EBERHARD von ZEPPELIN, die er in den „Bodenseeforschungen“ des „Vereins für die Geschichte des Bodensees und seiner Umgebung“ (14) im Jahre 1893 gemacht hat. Seine ausgezeichneten Ausführungen haben auch heute noch volle Gültigkeit. — Über die Strömungen des Seerheins im Untersee war zu Zeiten Zeppe-

lins noch nichts bekannt. AUERBACH und SCHMALZ haben aber in ihrer Arbeit: „Die Oberflächen- und Tiefenströme des Bodensees. II. Die konstanten Strömungen des Untersees, Seerheins und der Konstanzer Bucht“ (Arch. f. Hydrobiol. Bd. XXIII. 1931) (6), das für unsere Arbeiten Wesentliche bekanntgegeben. Wir werden auch hierauf noch kurz einzugehen haben.

Wie allgemein bekannt sein dürfte, besteht der Bodensee aus zwei voneinander getrennten Seen, dem Obersee oberhalb der Konstanzer Rheinbrücke und dem Untersee, der bei Ermatingen am Schweizer Ufer beginnt. Beide Seen sind durch den Seerhein miteinander verbunden. Der Spiegel des Obersees liegt bei Mittelwasser 395 m über N. N., derjenige des Untersees 394,7 m über N. N., sein Spiegel liegt also 0,3 m tiefer als der des Obersees, und hieraus erklärt sich die teilweise sehr starke Strömung des Seerheins, die man, wie wir a. a. O. gezeigt haben, durch den ganzen südlichen Unterseeteil verfolgen kann.

Im Gegensatze zum Obersee, der an seinem Hauptbecken eigentlich nur zwei größere Abzweigungen, die Bregenzer Bucht und den fjordartigen Überlingersee besitzt, ist der Untersee sehr reich gegliedert. (Vgl. Taf. 1.) Wir können an ihm unterscheiden den südlichen Hauptteil, der von Ermatingen südlich der Insel Reichenau und südlich der Halbinsel Höri bis zum Ausfluß des Rheins bei Stein a. Rh. reicht. Zwischen der Reichenau und der Höri führt ein breiter Verbindungsarm nach NW in den sog. Radolfzellersee, nach Osten in den Gnadensee, der nach NW, vom Radolfzellersee durch die Halbinsel Mettnau getrennt, noch den sog. Markelfingersee abgibt. Gnadensee und Markelfingersee sind vom übrigen Untersee durch eine unter Wasser verlaufende Schwelle abgetrennt, die von der Mettnau nach der Reichenau verläuft und an der tiefsten Stelle bei Mittelwasser nur ca. 8 m unter dem Seespiegel liegt.

Die größte Insel im Untersee ist die Reichenau, die den Gnadensee vom südlichen Hauptbecken trennt. Im Osten ist die Insel durch einen festen Damm mit dem Festlande verbunden, der nur an einer Stelle nahe bei der Ruine Schopfeln einen ca. 2,5 bis 3 m breiten Durchlaß, den sog. Bruckgraben, besitzt, durch den bei steigendem Wasser ein recht ansehnlicher oberflächlicher Strom laufen kann. Bei Mittel- und Niederwasser ist dieser Zustrom unterbunden.

Oberhalb der Reichenau, an der Grenze zwischen Seerhein und Untersee in ganz seichtem Wasser finden wir noch die Insel Langenrain, die eigentlich aus zwei Inseln besteht, und endlich sind ganz unten bei Stein a. Rh. drei kleine Inseln, „St. Othmarsinsel“ und „Im Werd“.

Die Hauptwassermasse gelangt durch den Seerhein in den Untersee, der ihm das im Obersee geklärte Wasser zuführt. Am Ende des Radolfzellersees bei Moos mündet die Aach ein, die im wesentlichen Donauwasser zubringt. Stammt sie doch aus den Donauversickerungen bei Tuttlingen, kommt im berühmten Aachtopf bei Aach zu Tage und fließt an Singen vorbei dem Untersee zu. Die übrigen Zuflüsse stellen ziemlich bedeutungslose Bäche dar.

Der Flächengehalt des Untersees ist bei Mittelwasser nach ZEPPELIN (14) und PENCK (11) gleich 63,0 qkm, (Obersee 475,482 qkm), sein Volumen beträgt in Millionen cbm nach den gleichen Autoren 832 (Obersee 48 537,53). Die mittlere Tiefe bei Mittelwasser ist 13,2 m (Obersee 100,12 m). Die tiefste Stelle finden wir zwischen Berlingen und Gaienhofen mit 46,4 m, die tiefste Stelle im Radolfzellersee mißt 26 m, die im Gnadensee ca. 22 m und im Markelfingersee ca. 19 m. Wir erschen aus diesen Zahlen, daß der Untersee gegenüber dem Obersee mit seiner größten Tiefe von 251,8 m ein sehr flaches Gewässer darstellt.

Von grundlegender Bedeutung für alle uns interessierenden Fragen sind die Strömungen des Wassers, die, durch den Seerhein verursacht, das ganze Jahr hindurch annähernd gleich verlaufen. Das Studium der dauernd vorhandenen gleichlaufenden Ströme ist unseres Erachtens bisher in der Limnologie viel zu sehr vernachlässigt worden. Solche Ströme beeinflussen nämlich nach unserer Überzeugung nicht nur die Verteilung des Zoo- und Phytoplanktons, sondern auch die physikalischen und chemischen Zustände des Wassers, wie das SCHMALZ (Schrift. d. Ver. f. d. Gesch. d. Bodensees u. s. Umgeb. H. 60) (12) für den Obersee zeigen konnte. Die Rheinströmung im südlichen Hauptbecken des Untersees macht z. B. jedes Studium der horizontalen und vertikalen Planktonschichtung illusorisch, da wir es hier nie mit stehendem Wasser zu tun haben, sondern mit stark bewegten Massen. Jeder Zug mit dem Schließnetz stammt aus einer ganz neuen, durch den Strom zugeführten Wassermenge.

Wie wir in unserer oben zitierten Arbeit über die Ströme des Untersees zeigen konnten, strömt der Seerhein von Ermatingen aus meist in den Tiefenschichten von ca. 3—10 m gegen das Südufer der Reichenau, überquert den Zuführungsarm zwischen der Reichenau und der Höri, wendet sich dann südwestlich nach Steckborn und läuft endlich nach Stein a. Rh. hinunter. Häufig geht auch in verschiedenen Tiefen ein schwächerer Strom in den Radolfzellersee, von dem gelegentlich sicher ein Arm in den Gnadensee abzweigt. Letzterer kann aber nur aus den Schichten zwischen 3 und 8 m Zustrom erhalten, der keine großen Geschwindigkeiten mehr aufweist. Im Horizont von 0—3 m herrscht meist kein konstanter Zustand, da hier der Einfluß der Winde sich sehr deutlich geltend macht und regellose Driften erzeugen kann. An der Oberfläche läuft auch häufig das Wasser aus dem Gnadensee und Radolfzellersee in das südliche Hauptbecken ab.

Die erreichten Geschwindigkeiten des Stromes können dabei recht beträchtliche sein. So finden wir bei Ermatingen am Einstrom des Seerheins in den Untersee in 1 m Tiefe Geschwindigkeiten von 1065 m/Stde, etwas weiter unterhalb in der Mitte zwischen Oberzell und Ermatingen in 5 m Tiefe 992 m/Stde, zwischen Mittelzell und Mannenbach näher der Reichenau in 5 m Tiefe 398 m/Stde, in 10 m Tiefe 750 m/Stde. Südöstlich von Hornstaad in 5 m Tiefe 398 m/Stde, im Schnitt Steckborn/Hemmenhofen in 5 m Tiefe 268,8 m/Stde und bei Wangen in der gleichen Tiefe 449 m/Stde. Das sind Zahlen, die zeigen, in welcher stärkeren Weise die Wassermassen des südlichen Untersees bewegt werden.

In den nördlichen Becken herrscht viel größere Ruhe. Hier sind das ganze Jahr hindurch regelmäßig laufende Ströme höchstens noch im Radolfzellersee in schwacher Weise anzunehmen. Im Gnadensee treten solche jedenfalls nur gelegentlich auf. Sie können hier verursacht sein einmal durch schwache Stromfäden, die vom südlichen Untersee her über die Schwelle zwischen Unterzell und der Mettnau in unser Becken hineingelangen und dann vor allem im Frühjahr und Frühsommer durch Rheinwasser, das durch den Bruckgraben fließt. Wie schon gesagt, ist dieser Zufluß nur zeitweilig bei steigendem Hochwasser vorhanden. Hier kann dann allerdings der Strom gelegentlich hohe Werte erreichen. So fanden wir z. B. im Bruckgraben am 26. VI. 1930 in 1 m Tiefe Stromgeschwindigkeiten von 950 m/Stde. Ist der höchste Wasserstand aber erreicht, so hört der Zustrom vollstän-

dig auf, desgleichen bei Niederwasser, wo der Graben trocken liegt. Aus diesen kurzen Angaben dürfte hervorgehen, daß tatsächlich der Gnadensee von allen Becken des Untersees der durch konstante Strömungen am wenigsten beeinflusste Seeabschnitt ist und damit den Beginn unserer Arbeiten gerade in ihm motiviert.

Wie aus der Karte zu ersehen ist, streicht der Gnadensee von SE nach NW. Im SE ist er geschlossen durch den Festlanddamm der Insel Reichenau. Sein Südufer wird von der Insel Reichenau selbst gebildet. Am Nordufer findet sich im Osten das Gehrenmoos und weiter westlich die Ortschaften Hegne und Allensbach. Zwischen Unterzell auf der Reichenau und der Halbinsel Mettnau ist die breite Verbindung nach dem Radolfzeller See hin, die aber durch Erhebungen und Untiefen sehr stark eingengt ist. Im NW geht der Gnadensee in den Markelfingersee über. Die größte Breite unseres Beckens beträgt ca. 2 km, seine größte Tiefe bei Mittelwasser ca. 22 m.

Während eines großen Teiles des Jahres ist die Wassermasse des Gnadensees von derjenigen des übrigen Untersees mehr oder weniger abgetrennt, sie ruht in sich, höchstens von schwachen Strömen aus dem Radolfzellersee her beeinflusst oder durch Wind- und Konvektionsbewegungen beunruhigt. Wir dürfen daher erwarten, daß wir hier die typischsten und reinsten Verhältnisse im Charakter des Untersees finden. Die Hauptmasse unserer Gnadensee-Stationen lag immer an genau der gleichen Stelle im Schnitt Kirche Allensbach/Münster Mittelzell (Reichenau) mitten im See über einer Tiefe von 21 m und das Schiff lag hier stets fest vor Anker. Während des Winters, wenn der See zugefroren war, wurden die Untersuchungen an durch das Eis gehauenen Wunden ausgeführt.

I. Hydrographischer Teil

Die Tab. 1 gibt ein Verzeichnis aller von uns im Gnadensee bisher gemachten Stationen. Ihre Zahl steht gegen diejenige im Obersee leider zurück. Dort konnten jeweils im Monat 2—4 Untersuchungen gemacht werden, während im Gnadensee durch-

schnittlich monatlich nur eine Station genommen werden konnte, wenigstens vom Oktober 1928 bis September 1929 zusammenhängend, so daß ein ganzer Jahresverlauf erfaßt wurde. Die Arbeiten der übrigen Jahre verteilen sich unregelmäßig auf die verschiedenen Monate. Der Grund liegt an der Überhäufung mit Arbeit, die ja auch in den anderen Abschnitten des ganzen Bodensees weiter lief. Immerhin ist die Zahl unserer Untersuchungen so groß, daß sie uns berechtigt, ohne Bedenken die nötigen Schlüsse zu ziehen.

Tabelle 1

Verzeichnis der Gnadensee-Stationen 1925/31

Stat. 262.	4. X. 25.	Stat. 417.	16. II. 29.
Stat. 273.	15. X. 25.	Stat. 421.	9. III. 29.
Stat. 277.	25. I. 26.	Stat. 423.	26. III. 29.
Stat. 289.	29. III. 26.	Stat. 425.	24. IV. 29.
Stat. 309.	10. V. 26.	Stat. 428.	24. V. 29.
Stat. 324.	7. VII. 26.	Stat. 443.	19. VI. 29.
Stat. 355.	25. X. 26.	Stat. 445.	16. VII. 29.
Stat. 361.	6. VII. 27.	Stat. 450.	23. VIII. 29.
Stat. 370.	13. VIII. 27.	Stat. 478.	16. IX. 29.
Stat. 375a.	29. VI. 28.	Stat. 507.	29. VI. 30.
Stat. 380.	25. VIII. 28.	Stat. 537.	27. V. 31.
Stat. 402.	X. 28.	Stat. 549—555.	24./25. VIII. 31.
Stat. 410.	14. XI. 28.	Stat. 556.	2. IX. 31.
Stat. 413.	28. XII. 28.	Stat. 558.	20. IX. 31.
Stat. 415.	19. I. 29.		

a) Die Temperaturverhältnisse des Gnadensees

Aus Rücksicht auf den zur Verfügung stehenden Raum müssen wir es uns leider versagen, hier die Temperaturen der sämtlichen Stationen in Tabellenform zu bringen. Wir geben daher in Tabelle 2 nur eine Zusammenstellung der Monatsdurchschnittstemperaturen, wie sie sich aus unserem Material errechnen lassen, glauben aber, daß diese auch für unsere Zwecke vollkommen genügen. Alle Temperaturen wurden mit dem Richterschen Kippthermometer genommen.

Tabelle 2
Gnadensee. Temperaturdurchschnitte.

Monat	0 m	5 m	10 m	15 m	20 m	Sichttiefe
I.	1,65	1,6	1,8	1,95	1,8	Eis
II.	1,1	1,8	2,05	2,4	3,3	Eis
III.	4,13	3,9	3,83	3,9	3,4	Eis z. T. 6,0
IV.	8,25	6,9	6,7	6,5	5,6	—
V.	18,16	12,24	11,03	8,97	8,31	5,76
VI.	21,5	18,76	13,25	10,76	9,33	3,83
VII.	21,57	18,07	14,17	12,53	10,4	2,9
VIII.	20,7	20,3	15,6	12,48	11,28	4,56
IX.	18,85	17,3	15,0	11,9	10,9	5,1
X.	13,77	13,62	13,56	11,22	11,38	8,2
XI.	8,59	9,42	9,4	8,77	8,5	8,65
XII.	3,2	3,2	3,6	3,2	3,3	—
Größte Jahresschwankung						
	20,47	18,7	13,8	10,58	9,58	
Mittlere Jahrestemperatur (Nach den Durchschnitten)						
	11,79	10,59	9,16	7,88	7,29	

Wir ergänzen Tabelle 2 noch durch eine kurvenmäßige Darstellung auf Tafel II. Aus beiden geht hervor, daß der Gnadensee, und mit ihm sehr häufig auch der ganze Untersee, im Gegensatze zum Obersee, zu den temperierten Seen im Sinne FORELS gehört, d. h. der See friert im Winter zu oder zeigt doch wenigstens eine deutliche indirekte Schichtung. Eisbildung hatten wir bei unseren Beobachtungen auf Stat. 277 am 25. I. 26, und zwar $1\frac{1}{2}$ cm stark, auf Stat. 415 am 19. I. 29 12 cm stark, Stat. 417 am 16. II. 29 ca. 30 cm dick, Stat. 421 am 9. III. 29 33 cm stark und auf Stat. 423 am 26. III. 29, wo noch eine teilweise dünne Eisdecke vorhanden war. Stat. 289 vom 29. III. 26 zeigte kein Eis mehr. Alle die genannten Stationen lagen an der gleichen Stelle im Schnitt Allensbach/Mittelzell, Seemitte. Die Temperatur des Wassers an der Oberfläche der geschlagenen Wunnen betrug auf Stat. 277 $+1,9^{\circ}$ C, Stat. 415 $+1,4^{\circ}$ C, Stat. 417 $+1,1^{\circ}$ C, Stat. 289 $+5,85^{\circ}$ C, Stat. 421 $+2,55^{\circ}$ C, Stat. 423 $+4,0^{\circ}$ C.

Die kältesten Monate sind Januar und Februar. Mit Ausnahme der Oberfläche zeigt der Januar durchgehend in allen übrigen Schichten die niedersten Wassertemperaturen. Im Februar ist die indirekte Schichtung sehr deutlich ausgesprochen. In diesen Monat fällt demnach die Winterstagnation. Die Frühjahrs-Vollzirkulation liegt im März, die Herbst-Vollzirkulation im Dezember und Januar.

Das Temperaturmaximum an der Oberfläche haben wir in den Monaten Juni und Juli, jedoch kann in heißen Jahren auch der August außerordentlich hohe Grade zeigen, so z. B. auf Stat. 570a am 11. VIII. $32 + 26,05^{\circ}\text{C}$! In 5 m Tiefe wird das Maximum im Durchschnitt im August erreicht, für 10 m liegt es im August und September, in 15 m finden wir die höchsten Durchschnittstemperaturen im Juli und August, und in 20 m im August bis Oktober. Mit Ausnahme der kleinen Unregelmäßigkeit in 15 m Tiefe, die auf noch ungenügende Anzahl von Untersuchungen oder aber auf Strömungen zurückgeführt werden dürfte, können wir also auch im Gnadensee eine Verschiebung der Temperaturmaxima gegen den Herbst hin feststellen, in je tiefere Schichten wir kommen.

Interessant ist ein Vergleich mit Tabelle V unserer II. Obersee-Arbeit. Daraus ersehen wir zunächst, daß die Temperaturmaxima von 0—20 m, die ja hier nur in Frage kommen, in beiden Seen etwa in den gleichen Monaten liegen. Stellen wir dann aber die einzelnen Monate in Vergleich, so erkennen wir, daß der Gnadensee entsprechend seinem Typ als temperierter See im Januar, Februar und März in allen Tiefen bedeutend kälter ist als der Obersee. Der April gleicht sich in beiden Seen, vom März bis August ist aber der Gnadensee dann in allen Schichten deutlich wärmer als der Obersee. September, Oktober und November gleichen sich in beiden Gewässern mehr oder weniger an, während dann der Dezember wieder sehr deutlich kälter ist wie im Obersee.

Die größten Jahresschwankungen in den einzelnen Tiefenzonen sind im Gnadensee natürlich viel größer wie im Obersee. Dagegen zeigt ein Blick auf die beiden entsprechenden Tabellen, daß die mittlere Jahrestemperatur für beide Seen wieder ziemlich gleich ist. Wir möchten an dieser Stelle einen Druckfehler verbessern, der sich in Tabelle V unserer II. Obersee-Arbeit bei der mittleren Jahrestemperatur von 5 m Tiefe eingeschlichen hat. Es

darf dort selbstverständlich nicht 1,063° heißen, sondern muß durch 10,63° ersetzt werden.

Es war natürlich auch wünschenswert, die Temperaturverhältnisse des Gnadensees mit denjenigen, die gleichzeitig in anderen Unterseeabschnitten herrschen, zu vergleichen. Um dies zu ermöglichen, wurden einige diesbezügliche Messungsserien vorgenommen. Wir geben auf der folgenden Zusammenstellung ein entsprechendes Beispiel. (Tabelle 3 von Tafel III.) Die Stationen im Gnadensee lagen an gewohnter Stelle in der Mitte des Schnittes Allensbach/Mittelzell, die andere Stationsreihe lag in der Mitte des Schnittes Hochwart (Reichenau)/Warburg (Schweizer Ufer), also im südlichen vom Rhein durchströmten Hauptbecken.

Tabelle 3

Station	0 m	5 m	10 m	15 m	20 m
Gnadensee					
262. 4. X. 25	14,7	13,55	13,38	13,12	10,2
273. 15. XI. 25	8,95	8,85	8,85	8,55	8,2
277. 25. I. 26	1,9	2,0	2,1	2,5	—
	1½ cm Eis				
289. 29. III. 26	5,85	5,6	5,4	5,05	4,95
309. 10. V. 26	12,95	11,5	11,2	8,9	8,7
324. 7. VII. 26	19,22	18,1	13,72	12,35	10,7
355. 25. X. 26	12,85	12,71	12,7	12,38	11,95
Südbecken					
265. 4. X. 25	14,38	13,5	13,3	13,0	12,7
274. 15. XI. 25	8,95	8,9	8,8	8,8	8,8
276. 25. I. 26	2,8	2,8	2,8	4,4	4,0
	kein Eis				
291. 29. III. 26	5,3	5,2	5,1	5,1	—
311. 10. V. 26	12,8	10,9	10,2	8,8	—
325. 7. VII. 26	18,3	17,96	17,2	15,48	12,9
357. 25. X. 26	12,7	12,55	11,25	11,5	—

Es handelt sich also hier um zwei gleichzeitige Untersuchungsreihen, die im Laufe eines ganzen Jahres vom Oktober 1925 bis Oktober 1926 durchgeführt wurden. Im Januar sind im Gnadensee die Temperaturen aller Wasserschichten deutlich niedriger wie im südlichen Becken. Besonders fällt dies in 15 und 20 m Tiefe

auf, wo im Gnadensee in 15 m Tiefe $+2,5^{\circ}\text{C}$ festgestellt wurden gegen $4,4$ im anderen Abschnitt. Der März ist der Monat der Frühjahrsvollzirkulation, deshalb sehen wir in beiden Becken ziemlich gleiche Verhältnisse, wenn auch von 0—10 m der Gnadensee etwas wärmer ist. Vom Mai bis Juli und jedenfalls auch August verschieben sich die Dinge nun so, daß in den Schichten 0 und 5 m der Gnadensee etwas wärmer ist als das andere Becken, während dann merkwürdigerweise im Juli von 10 m bis zum Boden ein umgekehrtes Verhältnis eintritt. Oktober und November leiten schon langsam die Herbstvollzirkulation ein. Wir sehen deshalb auch meist nur geringe Unterschiede besonders im November, wo die Abkühlung und Zirkulation schon weiter fortgeschritten ist.

Wie lassen sich nun diese verschiedenen Tatsachen erklären? Wir müssen gestehen, daß wir eine einwandfreie und restlose Erklärung heute noch nicht geben können. Das äußerst interessante Problem muß erst noch durch weitere Spezialuntersuchungen geklärt werden. Einen gewissen Anhaltspunkt für die Ursache glauben wir aber doch zu haben, und zwar liegt er sicher in den Strömungsverhältnissen.

Nach unseren bisherigen Erfahrungen dürfen wir annehmen, daß die Wassermassen des Gnadensees zu Zeiten des Mittel- und Niederwassers, also im Herbst, Winter und Frühjahr bis etwa zum Mai und vom September an (natürlich jährlich wechselnd je nach dem Gesamtwasserstand des Sees) im wesentlichen der Strömung des Seerheins entzogen sind, da ja in dieser Zeit kein Strom durch den Bruckgraben geht. Das Wasser ist also hier fast nur von Wind und Konvektionsbewegungen beeinflußt. Ganz anders liegen die Dinge im südlichen Hauptbecken. Hier haben wir das ganze Jahr hindurch eine deutliche nachweisbare Rheinströmung, die je nach den Verhältnissen teils nur in der Zone von etwa 3—10 m oberflächlich verläuft oder aber auch bis 15 und sogar 20 m Tiefe nachweisbar sein kann. Wir wissen heute ferner, daß der Seerhein das Oberseewasser in der Konstanzer Bucht ziemlich oberflächlich (bis zu ca. 20 m Tiefe) absaugt. Die Wassertemperaturen in der Konstanzer Bucht werden daher für den durchströmten Untersee von Bedeutung sein. Daher erklärt es sich auch, daß im Winter der Gnadensee kälter ist und früher zufriert als das Südbecken, weil in ersterem das durch den Seerhein ständig zugeführte verhältnismäßig wärmere Oberseewasser fehlt. So erklärt sich sicher auch die hohe Januartemperatur des Südbeckens in 15 und

20 m Tiefe. Auch die hohe Temperatur des Südbeckens in den Schichten von 10 m bis zum Boden im Juli dürfte darauf zurückzuführen sein, daß bei dem einsetzenden Hochwasser sehr viel warmes Wasser der Konstanzer Bucht in das Südbecken hineinströmt. Es muß dabei berücksichtigt werden, daß die Durchmischungsverhältnisse im Südbecken das ganze Jahr hindurch stärkere sind (abhängig von den Temperaturen), da ja die Strömung mischend mithilft, sei es direkt (in den oberen Schichten), sei es durch Walzenbildung in der Tiefe. Im Gnadensee fällt dies während eines großen Teiles des Jahres weg, und auch im Sommer ist der Strom durch den Bruckgraben im Verhältnis zu demjenigen des übrigen Seerheins nur sehr gering und hält sich jedenfalls in den oberen Wasserschichten, während die Zone unterhalb 10 m kaum beeinflusst wird. Es scheint, daß das durch den Bruckgraben in den Gnadensee einströmende Wasser oberflächlich sich aufschichtet und auch so abläuft. Das Tiefenwasser dieses Seeabschnittes wird infolgedessen in den Sommermonaten in sich abgeschlossen, da ein Austausch mit dem übrigen See durch den Höhenrücken zwischen der Mettnau und der Reichenau verhindert wird. Das gleiche gilt auch für den Winter. Wir müssen also im Tiefenwasser des Gnadens- und Markelfingersees andere physikalische und chemische Bedingungen haben wie in den anderen Seebecken. Das Studium dieser Verhältnisse ist weiteren Arbeiten vorbehalten.

Auch die Probleme der Ausbildung von Sprungschichten in den verschiedenen Seebecken gehören in diesen Fragenkomplex hinein. Die Sprungschichten im Gnadensee liegen häufig anders wie im Südbecken. Hier spielen die Strömungen ebenfalls eine wichtige Rolle. Wir hoffen in unserer nächsten Arbeit, die sich mit den anderen Abschnitten des Untersees beschäftigen soll, über all diese Dinge erschöpfend Auskunft geben zu können. Vorläufig sei nur mitgeteilt, daß nach unseren bisherigen Feststellungen eine Sprungschicht im Gnadensee zuerst im Monat April auftritt, die zwischen 1 und 5 m gelegen ist. Im Mai, Juni und Juli läßt sie sich häufig zwischen 0 und 5 m nachweisen, während sie im August zwischen 5 und 10 m liegt. Im September ist sie häufig noch tiefer, zwischen 10 und 15 m nachzuweisen, und im Oktober kann sie sogar zwischen 15 und 20 m liegen. Von November bis März endlich haben wir Sprungschichten nie nachweisen können.

Die S i c h t t i e f e kann in den Wintermonaten, wo die Oberfläche während unserer Beobachtungsjahre mit Eis bedeckt war, nicht einwandfrei festgestellt werden, weil die Eis- und Schneedecke natürlich viel Licht verschluckt. Aus Tabelle 2 geht aber hervor, daß von den Monaten März bis Dezember die durchschnittliche Sichttiefe einen dem Obersee ziemlich ähnlichen Verlauf hat, d. h. sie ist in den kalten Monaten größer wie in den warmen; die entsprechenden Zahlen wollen in Tabelle 2 nachgesehen werden. Bei der großen Menge des Zoo- und Phytoplanktons wird sie im Untersee durch die vorhandenen Mengen der Lebewesen sicher vielmehr beeinflußt wie im planktonarmen Obersee. Dazu kommt noch die Tatsache, daß im flachen Gnadensee mit seinen breiten Uferbänken auch heftige, länger andauernde Stürme viele feine Sedimente von der Uferbank ins freie Wasser befördern und damit die Sichttiefe auch beeinflussen. Die geringste tatsächlich festgestellte Sichttiefe im freien Wasser des Gnadensees betrug 2,2 m am 16. VII. 1929, die größte 9,8 m am 14. XI. 1928.

Ganz ähnliches läßt sich auch von der E i g e n f a r b e des Wassers sagen. Während dieselbe im freien Obersee ziemlich gleichmäßig zwischen IV und V der Forelschen Skala liegt, wechselt sie im Untersee je nach Witterung, insbesondere nach Stürmen usw. ganz bedeutend. Wir haben bisher Schwankungen zwischen den Zahlen IV bis IX der Skala von Forel festgestellt. Am häufigsten trat der Ton zwischen VI und VII auf. Irgendwelche gesetzmäßige Abhängigkeit von der Jahreszeit konnte bisher nicht erkannt werden. Auch sichere Zusammenhänge zwischen Sichttiefe und Farbe ließen sich nicht nachweisen.

II. Die Sauerstoffgehalte und die Karbonathärten des Wassers im Gnadensee

Bearbeiteter Stoff und Untersuchungsmethoden

Die Untersuchungen im Untersee sollten in ganz der gleichen Weise wie die vorausgegangenen Arbeiten im Obersee durchgeführt werden, damit schließlich ein Vergleich des gesamten Materials den Unterschied der beiden Seen klar vor Augen führen sollte. Es wurde zwar von vorneherein auf die Kohlensäurebestimmungen im Untersee verzichtet, weil die Untersuchungsmethode ihre Mängel aufweist und man sich von der Verwertung der Resultate nichts versprechen konnte. Man weiß ja über die Beziehungen und Gesetzmäßigkeiten der Verkettung von freier Kohlensäure und Karbonaten im natürlichen Gewässer so wenig, daß auch mit sorgfältig gesammeltem Material kaum Schlüsse von einiger Bedeutung möglich sind. Regelmäßig durchgeführt wurden Sauerstoffbestimmungen nach WINKLER und Karbonatbestimmungen mit $n/10$ Salzsäure. Eine Zeitlang wurde auch die Wasserstoffionenkonzentration und die Leitfähigkeit des Wassers bestimmt. Die dafür gebräuchlichen Untersuchungsmethoden sind zwar für Serienuntersuchungen, wie sie an unseren Seen nötig sind, sehr geeignet und bequem, aber ihre Resultate sagen uns bei unseren Arbeiten über die in Lösung befindlichen Stoffe zu wenig aus, als daß es sich lohnte, die Bestimmungen jahraus jahrein weiterzuführen und ein Zahlenmaterial zu sammeln und hier vorzulegen. Die Exaktheit der Methode sinkt zur Wertlosigkeit herunter, wenn in den Zahlenresultaten selbst ganze Komplexe von Unbekannten stecken, welche unter sich sogar noch jahreszeitlich variabel sein können.

Durch unsere zu gleicher Zeit laufenden Untersuchungen über die Strömungen des Obersees und Untersees sind wir bald darauf aufmerksam geworden, daß man bei dem Vergleich von monatlichen Zustandsbildern der Seen, die man durch die gewonnenen Untersuchungsserien sich herstellt, äußerst vorsichtig sein muß in der Beurteilung und sehr oft mit direkten Zusammenhängen der Zahlendaten von Monat zu Monat absolut nicht rechnen darf. Über-

haupt weist uns das Studium der Bewegungsvorgänge in den Seen darauf hin, daß der Stoff stets im Flusse ist, und daß die stoffliche Zusammensetzung des Wassers in den einzelnen Seeabschnitten recht verschieden sein kann. Ein See kann also in seinen Teilen, wenigstens zu gewissen Zeiten, stofflich recht unhomogen beschaffen sein.

Die in den Tabellen wiedergegebenen Zahlenwerte sind durchweg auf Zehntel auf- und abgerundet. Die Sauerstoffwerte sind in ccm pro Liter berechnet, und die Karbonathärten in deutschen Härtegraden. In der Tabelle 4 der absoluten Sauerstoffgehalte sowie in Tabelle 6 steht in jedem Feld in kleineren Ziffern die zugehörige Wassertemperatur. Zur Berechnung der Sauerstoffdefizite und Sättigungsgehalte diente die Tabelle der Löslichkeit des Sauerstoffs von ALSTERBERG unter Berücksichtigung der Meereshöhe des Bodensees. (Barom. 725 mm.)

Der Sauerstoff

Schon die erste gewonnene Sauerstoffserie im Oktober 1925, Tabelle 4 hat uns gezeigt, daß im Gnadensee im Tiefenwasser der für einen eutrophen See typische Sauerstoffschwund im Sommer vorhanden ist. Dieser Schwund setzt wohl alljährlich im Laufe des Juni ein und dauert bis in den Oktober, wo dann die thermischen Mischungsvorgänge in fortschreitende Tiefe wieder den Ausgleich bringen. Vom Sauerstoffschwund erfaßt werden immer die Tiefenstufen 15 und 20 m. In 10 m Tiefe ist die Abnahme des Sauerstoffgehaltes stets gering; es wurden in dieser Tiefe nie weniger als 5 ccm pro Liter festgestellt. In 20 und 15 m fielen jedoch von Juli an die Werte jeweils stark ab. Absoluter Sauerstoffschwund wurde aber nie gefunden; jeweils war etwa 1—2 ccm Sauerstoff auch in 20 m im Wasser in Lösung.

Sauerstoffschwund im Winter nach längerer Eisbedeckung des Gnadensees haben wir nicht gefunden. Dafür gibt das Resultat der Stationen 415, 417, 421 und 423 der Tabelle 4 vom Januar bis zum März guten Aufschluß. Die Eisdecke von über 30 cm lag von Anfangs Januar bis Ende März auf dem See, und während dieser ganzen Zeit lagen die Sauerstoffgehalte des Wassers in 20 m Tiefe bei etwa 8 ccm pro Liter.

Die Sauerstoffgehalte der oberen Wasserschichten von 0 und 5 m sind das ganze Jahr hindurch hoch. Im Winter treten ent-

Tabelle 4
Sauerstoffgehalte in cem pro Liter und Wassertemperaturen im Gnadensee

m	1925				1926				1927		1928				1929				1930				1931							
	4. X.	15. XI.	25. I.	29. III.	10. V.	7. VII.	25. X.	6. VII.	29. VI.	25. VIII.	7. X.	14. XI.	28. XII.	19. I.	16. II.	9. III.	26. III.	24. IV.	24. V.	19. VI.	16. VII.	23. VIII.	16. IX.	29. VI.	24. VIII.	20. IX.				
0	6,8 14,7	6,7 8,9	9,3 1,9	8,8 5,9	7,9 13,0	7,7 19,2	6,4 12,9	7,0 21,4	7,2 20,5	7,1 21,1	7,0 14,9	6,9 10,0	9,0 3,2																	
5	6,6 13,6	7,0 8,9	9,3 2,0	8,9 5,6	7,8 11,9	7,7 18,1	6,4 12,7	7,4 18,2	7,6 16,9	7,1 20,4	7,0 14,6	6,9 10,0	9,0 3,2																	
10	6,6 13,4	7,0 8,9	9,0 2,1	9,0 5,4	7,9 11,2	7,2 13,7	6,4 12,7	7,2 16,1	6,5 14,2	5,8 17,3	6,8 14,6	6,7 10,0	9,0 3,6																	
15	6,3 13,1	7,0 8,6	8,9 2,5	8,8 5,0	7,5 8,9	6,4 12,4	6,4 12,4	6,7 14,8	5,2 11,5	3,8 12,6	2,6 12,8	6,9 9,0	8,9 3,2																	
20	2,8 10,3	7,0 8,2	—	8,8 5,0	7,0 8,7	4,2 10,7	6,4 12,0	5,6 11,2	5,4 9,9	3,0 11,4	4,0 11,9	6,9 8,8	8,6 3,3																	
Station	262	273	277	289	309	324	355	361	375	380	402	410	413																	
m	1929																		1930								1931			
0	10,0 1,4	9,8 1,1	9,3 2,6	8,9 4,0	8,5 8,3	7,4 17,6	7,3 22,5	8,0 24,1	7,0 19,5	7,1 23,2	6,9 23,2	6,8 17,9	7,1 15,0																	
5	10,0 1,8	9,7 1,8	9,5 2,4	9,5 3,7	8,7 6,9	8,3 11,4	7,9 16,9	8,6 17,9	6,9 19,1	7,2 20,3	6,9 22,5	6,8 17,2	6,6 14,3																	
10	10,1 1,5	9,4 2,0	9,7 2,4	9,6 3,7	8,7 6,7	8,3 10,0	7,7 12,6	6,7 12,7	5,2 13,7	5,0 14,3	6,5 13,0	5,9 16,5	6,3 14,2																	
15	10,1 2,0	8,9 2,4	9,3 2,5	9,8 3,7	8,6 6,5	7,8 8,3	6,7 10,0	6,4 10,5	4,2 11,6	4,2 11,7	6,0 10,8	0,7 12,2	5,5 13,9																	
20	10,2 2,0	8,1 3,3	7,8 3,5	8,0 3,4	8,5 5,6	7,5 7,8	6,0 8,7	3,7 9,3	3,5 10,4	2,0 9,8	4,7 9,4	0,8 10,2	0,6 12,2																	
Station	415	417	421	423	425	428	443	445	450	478	507	549	558																	

sprechend den tiefen Temperaturen, welche der See bei Frost annimmt, die höchsten Werte von 9—10 cem pro Liter auf. Im Sommer läßt sich für den Gnadensee nicht, wie das im Obersee der Fall ist, eine schrittweise Abnahme der Werte feststellen in dem Maße, wie die Wassertemperaturen steigen. Die gefundenen Werte in 0 und 5 m liegen fast durchweg im Sommer über 7 cem, teilweise sogar über 8 cem pro Liter. Nur im September und Oktober finden wir jeweils einen Abfall auf weniger als 7 cem pro Liter. Dieser kann jedoch durch die Mischungswirkung mit dem sauerstoffarmen Tiefenwasser während des Temperatúrausgleichs im Herbst erklärt werden.

Tabelle 5

Prozentgehalte der Sättigung mit Sauerstoff des Wassers des Gnadensees in den Sommermonaten

m	1925	1926	1927	1928		1929		1931
	4. X.	7. VII.	6. VII.	25. VIII.	7. X.	23. VIII.	16. IX.	24. VIII.
0	97,6	120	114	116	101	111	119	104
5	93,6	116	114	115	100	108	116	103
10	92,6	101	107	88	98	74	72	88
15	88	88	97	52	36	57	57	10
20	37	56	75	41	55	46	26	11

Zur Erläuterung des eutrophen Charakters des Gnadensees dienen die in Tabelle 5 zusammengestellten Serien, welche die Sättigungsprozente des Wassers während der Sommermonate wiedergeben. THIENEMANN (13) benützt die Sauerstoffkurve des August, welche tatsächlich den Typ eines Sees hinreichend kennzeichnet. Hier beim Gnadensee erkennt man die Eutrophie des Sees aus den Serien der einzelnen Jahre sehr klar. Der Prozentgehalt an Sauerstoff geht im Tiefenwasser zwar nicht bis zu 0% herunter, jedoch werden alljährlich die 50% um einen wesentlichen Betrag unter-

schritten. Die Differenzen des Sauerstoffgehaltes im Tiefenwasser sind von Jahr zu Jahr etwas groß und nicht ohne weiteres verständlich etwa dadurch, daß man annimmt, es sei nicht in jedem Jahr der Zeitpunkt bei der Probeentnahme günstig gewählt, zu dem im betreffenden Jahre die geringsten O_2 -Werte tatsächlich im See vorkamen. Wir werden bei der Betrachtung der Karbonathärten im Tiefenwasser auf die Möglichkeit verweisen, daß das Wasser der in den Gnadensee einmündenden Bäche auch im Sommer spezifisch schwerer sein kann als das Tiefenwasser des Sees und sich möglicherweise in die Tiefe einlagern muß. Damit würde die Unklarheit der Werte in den Tabellen ihre Deutung finden.

Immerhin empfiehlt sich auch eine gründliche Verfolgung der Frage, da die bis jetzt vorhandene Zahl der Untersuchungsserien für ein abschließendes Urteil zu spärlich ist.

Wenn wir uns nun noch der Ursache der Eutrophie des Gnadensees zuwenden, so können wir nach THIENEMANN als grundlegende Ursache das Verhältnis von Hypolimnion zu Epilimnion im Sommer, welches für den Gnadensee kleiner als 1 ist, betrachten. Als zweite Ursache kommt hinzu die im See vorhandene Substanz, welche imstande ist, Sauerstoff zu verzehren. Das Verhältnis Hypolimnion zu Epilimnion lautet für den Gnadensee 37 Millionen cm zu 100 Millionen cm, kann also zahlenmäßig weitgehend genau angegeben werden, während die sauerstoffverbrauchende Substanz zahlenmäßig nicht erfaßt werden kann, weil man sie überhaupt nicht kennt. Nun aber genügt zur Beurteilung tatsächlich schon die Kenntnis des Volumenverhältnisses. Denn alle Seen, für die dieses Verhältnis deutlich kleiner als 1 ist, sind erfahrungsgemäß eutroph. Und eutroph sind diese Seen nicht etwa, weil sie aus oligotrophen Seen sich durch Reifungsprozeß entwickelt haben, sondern weil sie durch die morphometrischen Verhältnisse ihrer Seewanne von vornherein zu eutrophen Seen gestempelt sind. Solche Seen gibt es neben den meistens oligotrophen Seen des Alpenvorlandes eine ganze Reihe, so im Bodenseegebiet z. B. den Mindelsee bei Radolfzell, den Ilmensee bei Heiligenberg, den Alpee bei Immenstadt im Allgäu und andere. Alle diese Seen sind auf Grund der Beschaffenheit ihrer Seewanne eutroph. Wir lesen im Buch von THIENEMANN (13) „Der Sauerstoff im eutrophen und oligotrophen See“ 1928 in der Zusammenfassung zum Kapitel VI den folgenden Satz: „3. Beim echten oligotrophen See ist die Wassermasse der 0—10-m-Schicht kleiner, beim echten eutrophen See

größer als die Wassermasse der Schicht von 10 m bis zum Seegrund. (Volumen E in % des Gesamtvolumens unter oder über 50)“ In Verbindung mit Punkt 6 und 7 der Zusammenfassung ist dieser Satz 3 die hinreichende Antwort auf das Thema des Kapitels VI. Das sind nämlich die wirklichen Ursachen der Oligotrophie oder Eutrophie der Seen, und durch sie und den Verlauf der Sauerstoffkurve kann jeder See genügend bezüglich seines Typs gekennzeichnet werden. Alle umständlichen Rechnungen und Kurvendarstellungen zum Vergleich der Seen sind überflüssig. Das sehen wir aus der Zusammenfassung von THIENEMANNS Kapitel VI. All die Sätze Punkt 1—10 stehen zu den vorangehenden Tabellen und Kurven des Kapitels in gar keiner direkten Beziehung. Sie sind alle bereits schon in anderen Schriften THIENEMANNS lediglich auf Grund der Beurteilung der Sauerstoffgehalte und Sättigungsverhältnisse, also auf Grund der Betrachtung des Urmaterials, abgeleitet worden. Allein neu, dafür aber bahnbrechend, ist der Punkt 3. In ihm liegt der Inhalt der ganzen Schrift von THIENEMANN und mit ihm ist es THIENEMANN gelungen, die letzte maßgebende Ursache für die verschiedenen Trophiegrade der Seen anzugeben. Das bedeutet für den Ausbau von THIENEMANNS Seetypenlehre einen großen Erfolg. Es empfiehlt sich nun aber, gerade diese Erkenntnis, welche in dem Punkt 3 liegt, so einfach und so klar als möglich in die Seetypenlehre zu übernehmen und ihren mathematischen Ausdruck, nämlich das Volumenverhältnis von Hypolimnion zu Epilimnion oder was grundsätzlich das gleiche aussagt, das Volumenverhältnis von Epilimnion zur Gesamtwassermasse eines Sees von jeder Trübung der Klarheit frei zu halten. Jede Verschleierung des Urmaterials durch Umrechnungen sollte vermieden werden; so ist es z. B. auch schon unnötig, mit der mittleren Tiefe zu operieren, denn durch sie wird ja das gleiche ausgedrückt wie durch jedes der vorhergenannten Verhältnisse, und je mehr man sich an die natürlichen für jeden See gültigen Zahlenwerte hält, um so klarer und freier von jeder Irrung bleibt das Urteil über die Beschaffenheit desselben.

Gehen wir nun noch zu der Betrachtung der O_2 zehrenden und O_2 produzierenden Vorgänge im Gnadensee über. Dabei wollen wir uns der von ALSTERBERG (1—3) vorgeschlagenen Methode bedienen. Es scheint durchaus berechtigt zu sein, wenn ALSTERBERG verlangt, daß das sommerliche Epilimnion und Hypolimnion als zwei voneinander verschiedene Einheiten nach verschie-

denen Berechnungsgrundsätzen untersucht werden sollen. Nach unseren jetzigen Kenntnissen scheint das Hypolimnion tatsächlich, so lange es besteht, durch die Sprungschicht abgeschlossen zu sein und von oben her kaum eine namhafte Wassereinmischung durch irgendeinen Bewegungsvorgang zu erfahren. Die Sauerstoffmenge, welche zu Beginn der Ausbildung der Sprungschicht in das stagnierende Hypolimnion eingeschlossen wird, dürfte also als Ausgangsmaß dienen für die im Hypolimnion sich abspielenden sauerstoffzehrenden Vorgänge; eine Sauerstoffproduktion ist in der Tiefe nirgends zu erwarten, nur dort, wo wir die Übergänge in die Sprungschicht noch in unsere Betrachtung einbeziehen, wird eine Überschneidung beider Vorgänge möglich sein. In Tabelle 6 sind nun für den Sommer 1929 die absoluten Defizite nach ALSTERBERG für das Tiefenwasser des Gnadensees berechnet. Als Ausgangswert-Primärkonstante (ALSTERBERG) mußte die Sauerstoffsättigung von 8,8 ccm bei 4° C Wassertemperatur gewählt werden, welche kurz nach dem Auftauen der Eisdecke des Sees etwa um den 1. April erreicht war. In dem kalten Winter mit Eisbedeckung des Sees von Anfang Januar bis Ende März war, wie wir das aus Tabelle 4 erschen haben, infolge der niedrigen Wassertemperaturen die Sättigung auf die Werte bis zu 10 ccm O₂ pro Liter gestiegen, und diese hohen Sauerstoffgehalte des gesättigten Wassers blieben ziemlich konstant auf derselben Höhe, solange die Wassermasse des Sees unter der Eisdecke stagnierte. Nach der Eisschmelze mußte dann eine Vollzirkulation eingetreten sein, bei der der See Sauerstoff abgeben konnte, bis die O₂-Gehalte auf 8,8 ccm pro Liter abgesunken waren. Wir erkennen aus Tabelle 6, daß dieser Wert am 24. April nahezu noch bestand, da die Defizite 0,1 bis 0,3 ccm pro Liter betragen. In den folgenden Monaten wachsen jedoch dann die Defizite in den Tiefenstufen 10, 15 und 20 m von Stufe zu Stufe bis zum Seeboden mehr an, so daß eine Sauerstoffschichtung entsteht, die sicher auch mit einer Schichtung des übrigen im Wasser gelösten Stoffes verbunden ist. Man könnte nun fragen, ob die Entstehung dieser Sauerstoffschichtung nicht genau so anschaulich wie durch eine Tabelle der absoluten Defizite schon durch die Tabelle 4 mit den absoluten Sauerstoffgehalten wiedergegeben würde, wobei man bloß vor die Aprilserie 1929 für alle Tiefenstufen den Ausgangswert 8,8 zu setzen hätte. Darauf wird man antworten, daß die Defizite tatsächlich etwas mehr aussagen wie die Serien der absoluten Sauerstoffgehalte, indem wir daraus

erfahren, wieviele ccm O₂ in einer bestimmten Zeit in einer der Tiefenstufen verbraucht worden sind.

Tabelle 6

Absolute Sauerstoffdefizite im Tiefenwasser des Gnadensees 1929

m	Primär-Konstante						
	1. IV.	24. IV.	24. V.	19. VI.	16. VII.	23. VIII.	16. IX.
0	8,8 4 ⁰	8,3 ⁰	17,6 ⁰	22,5 ⁰	24,1 ⁰	19,5 ⁰	23,2 ⁰
5	8,8 4 ⁰	0,1 6,9 ⁰	0,0 11,4 ⁰	16,9 ⁰	17,9 ⁰	19,1 ⁰	20,3 ⁰
10	8,8 4 ⁰	0,1 6,7 ⁰	0,0 10,0 ⁰	1,2 12,6 ⁰	2,1 12,7 ⁰	3,6 13,7 ⁰	3,8 14,3 ⁰
15	8,8 4 ⁰	0,2 6,5 ⁰	0,4 8,3 ⁰	2,1 10,0 ⁰	2,4 10,5 ⁰	4,6 11,6 ⁰	4,6 11,7 ⁰
20	8,8 4 ⁰	0,3 5,6 ⁰	0,7 7,2 ⁰	2,8 8,7 ⁰	5,1 9,3 ⁰	5,3 10,4 ⁰	6,8 9,8 ⁰

Tabelle 7

Aktuelle Sauerstoffdefizite der oberen Wasserschichten im Gnadensee 1926, 1928 und 1929

m	1926		1928		1929				
	10. V.	7. VII.	29. VI.	25. VIII.	24. V.	19. VI.	16. VII.	23. VIII.	16. IX.
0	— 0,7	— 1,3	— 1,0	— 1,0	— 1,5	— 1,3	— 2,2	— 0,7	— 2,2
5	— 0,5	— 1,2	— 1,0	— 0,9	— 1,4	— 1,2	— 2,1	— 0,5	— 1,0
10	— 0,4	— 0,1			— 1,2	— 0,4			

Fragen wir nun noch nach der Ursache des O₂-Verbrauches, so verweist uns die Limnologie auf Zersetzungs Vorgänge an organischen Substanzen, die man ihrer Zusammensetzung nach jedoch nicht kennt und für deren Untersuchung es bis jetzt keine wirklich brauchbare Methode gibt. Organische Substanzen sind einerseits in gelöster, andererseits in flottierend fester Form im Wasser vor-

handen; ihrer Herkunft nach sind sie entweder durch Flüsse von außen her den Seen zugeführt, oder sie sind in den lebenproduzierenden Regionen der Seen entstanden. In das sommerliche Hypolimnion gelangen die organischen Substanzen auf zweierlei Weise, einmal als Inhalt des sich nach der Vollzirkulation als Hypolimnion abschließenden Wasservolumens, zweitens durch fortgesetzte Einstreuung aus dem Epilimnion. Wie sich nun diese organischen Substanzen an der Zehrung von Sauerstoff beteiligen, dürfte in den verschiedenen Seen sehr verschieden sein, da auch diese Stoffe der Art nach sehr wechselnd sein dürften. Nachdem wir für den Gnadensee gesehen haben, daß die im Winter unter Eis stagnierende Wassermasse kaum einen Sauerstoffverbrauch erfährt, könnte der Schluß naheliegen, daß bei der sommerlichen Stagnation Wasser von etwa der gleichen Beschaffenheit wie im Winter eingeschlossen wird, welches ebenso kaum einen Sauerstoffverbrauch veranlaßt und daß der Sauerstoffschwund im sommerlichen Hypolimnion in der Hauptsache der Einstreuung von fester, zersetzbarer organischer Substanz aus dem Epilimnion zuzuschreiben ist. Man müßte dabei allerdings noch in Rücksicht ziehen, daß die Wassertemperaturen im winterlichen Hypolimnion des Gnadensees unter 4°C liegen und die im sommerlichen Hypolimnion etwa bei 10°C , denn die höhere Wassertemperatur wird bei den Zersetzungs Vorgängen eine nicht unbedeutende Rolle spielen. Und weiter ist nicht wahrscheinlich, daß im Winter eine derartig absolute Stagnation des Tiefenwassers eintritt wie im Sommer. Zufuhr von Sauerstoff ist zu erwarten von den Zuflüssen, welche allerdings beim Gnadensee unbedeutende Bäche sind, aber ihr Wasser bei den niederen Temperaturen im Winter jeder Tiefe des Sees bis zum Seegrund zuführen können. Auch ist eine Sauerstoffproduktion durch Phytoplankton unter Eis möglich, wobei der Sauerstoff durch irgendwelche Bewegungsvorgänge ausgleichend den verschiedenen Wassertiefen beigemischt wird. Bewegungen des Wassers unter Eis sind zweifellos vorhanden, darauf deutet schon der Einschub des Wassers der Flüsse. Wie sie sich abspielen, darüber bestehen bisher nur Vermutungen, aber keine Untersuchungen. Wenn nun die Einstreuung von organischer Substanz maßgebend sein soll für den Verbrauch von Sauerstoff, so ist zu erwarten, daß alle Schichten des Hypolimnions einen nach unten gleichmäßigen Verbrauch zeigen, da der Zersetzungsprozeß schon im Epilimnion in Gang kommen muß und mit der absinkenden

Substanz weiter in Tätigkeit bleibt. Die sich ausbildende Sauerstoffschichtung mit dem Minimum am Seegrund zeigt uns, daß die Verhältnisse recht kompliziert sind, und wo man mit der Untersuchung nicht beikommen kann, wird die Wissenschaft bloße Rederei und zweifelhaft. Daher erübrigen sich weitere Betrachtungen.

Die sauerstoffproduzierenden Vorgänge, welche sich in den oberen Schichten abspielen, müssen wir in Verbindung mit den Resultaten der Phytoplanktonzählungen untersuchen. Da sich Produktion und Konsumtion hier überdecken, kann natürlich an absolute Werte nie gedacht werden, denn es ist auch nicht denkbar, daß etwa im Hypolimnion gewonnene Ausgangswerte auch für das Epilimnion direkte Gültigkeit haben. Überhaupt werden wir sehen, daß für die Vorgänge im Epilimnion, wie wir schon zu den Untersuchungsmethoden bemerkten, jede Rechnung nahezu illusorisch wird. Zunächst zeigen wir in der Tabelle 7 die im Sommer im Epilimnion vorkommenden aktuellen O_2 -Defizite nach ALSTERBERG. Wir sehen, daß sie durchweg negativ sind, also Sauerstoffübersättigungen darstellen. Auf die Berechnung der Sättigungsprozente ist verzichtet, weil ihre Werte für diese Betrachtung belanglos sind. Die Ausgangstemperatur für die Ablesung der Sättigungswerte aus der Sättigungstabelle sind auf halbe Grade auf- und abgerundet, da wir annehmen dürfen, daß die täglichen Temperaturschwankungen im selben Bereich der Ungenauigkeit liegen und auch auf den Sauerstoffgehalt des Wassers im Tagesverlauf keinen merklichen Einfluß haben. Die Überschüsse der Sättigung des Wassers betragen gewöhnlich um 1 cem pro Liter und mehr. Im Obersee treten nach unseren früheren Untersuchungen solche Überschüsse nicht auf. Wenn wir dort die absoluten Sauerstoffgehalte des Oberflächenwassers von Monat zu Monat verfolgen, so stimmen diese nach der von ALSTERBERG aufgestellten Sättigungstabelle ziemlich genau mit den aus den Wassertemperaturen sich ergebenden Sättigungswerten überein. Die Sauerstoffüberschüsse des Gnadensees müssen wir als Resultierende aus verschiedenen Vorgängen betrachten, die wir aber ihrem Ausmaße nach nicht verfolgen können. Es stecken also in den Werten der Tabelle 7 mehrere unbekannte Größen, welche wir nicht genau bestimmen können, denn wir wissen weder Bescheid über den Bestand an Sauerstoff, welchen das Wasser an sich schon mitbringt, noch über die Mengen, die im See hinzuproduziert werden. Daher sagt uns die Tabelle eigentlich wenig aus. Von Monat zu Monat

dürfen wir die Zahlen nicht vergleichen, denn das Epilimnion ist keine ruhende Wassermasse wie das Hypolimnion. Es ist in dauernder Bewegung und führt sein Wasser über das ruhende Hypolimnion hinweg dem Seeausfluß zu. Entnehmen wir z. B. im Juni an einer bestimmten Stelle des Sees Wasserproben und Planktonproben, so werden diese aus einem Wasserkomplex herausgezogen, welcher vielleicht einen Monat früher noch gar nicht im See angekommen war, und welcher einen Monat später vielleicht von der Untersuchungsstelle sich so weit wegbewegt hat, daß er sich anschickt, den See durch den Ausfluß zu verlassen. Monatliche Probeserien aus dem Epilimnion irgendeiner Stelle im See geben uns also nur bloße Zustandsbilder der Wasserkomplexe, welche langsam an der Untersuchungsstelle vorbeigleiten. Und damit wird jede Rechnung mit den Untersuchungsdaten unmöglich. Der Stoff bleibt also nicht an der Untersuchungsstelle, sondern läuft in dauerndem Fluß davon. Alle Untersuchungen über die Sauerstoffproduktion des Phytoplanktons in dem See dürfen sich deshalb nur über kurze Zeitspannen erstrecken, damit die Gewähr besteht, daß am Ende der Untersuchung auch wirklich der Wasserkomplex, in welchem man dieselbe begonnen hat, noch an der betreffenden Stelle vorhanden ist.

Nachdem wir nun erkennen, daß jede unserer Untersuchungs-
serien von einem gewissen Zeitpunkt nur an sich ohne jeden Vergleich mit den anderen betrachtet werden müssen, bleibt uns nur die Möglichkeit eines Vergleichs der Sauerstoffwerte mit den Quantitäten des ausgezählten Phytoplanktons vom gleichen Untersuchungszeitpunkt. Da die Phytoplanktonproben noch nicht fertig bearbeitet sind, muß hier dieser Vergleich zunächst zurückgestellt werden.

Die Karbonathärten

Die Bestimmung der Karbonathärte im Untersee sollte zur Beantwortung der Frage dienen, ob hier in diesem See im Sommer wirklich Enthärtungsvorgänge im Zusammenhang mit irgendwelchen physikalischen oder biologischen Prozessen stattfinden. Für den Obersee glaubte ich ursprünglich auch eine solche Enthärtung annehmen zu müssen. Nach wenigen Untersuchungsjahren erkannte ich jedoch, daß im Obersee keine merkbare Enthärtung des Wassers, sondern eine bloße Härteabnahme in den oberen Wasserschichten infolge der Mischungsvorgänge durch das Hochwasser

Tabelle 8
Karbonathärten im Gnadensee.

m	1925		1926					1928				
	4. X.	15. XI.	29. III.	10. V.	7. VII.	25. X.	29. VI.	25. VIII.	7. X.	14. XI.	28. XII.	
0	6,3	6,6	7,0	7,0	6,9	6,4	6,4	5,6	6,2	6,4	6,9	
5	6,3	6,6	7,0	7,0	6,9	6,7	6,4	5,6	6,3	6,4	6,3	
10	6,3	6,6	7,0	7,0	7,0	6,7	7,4	6,4	6,0	6,4	6,7	
15	6,4	6,6	7,1	7,3	7,0	6,7	7,1	6,9	7,1	6,4	6,9	
20	7,1	6,7	7,0	7,3	7,3	6,7	7,6	7,3	7,0	6,4	6,9	
Station	262	273	289	309	324	355	375	380	402	410	413	

m	1929											1930	1931
	19. I.	16. II.	9. III.	26. III.	24. IV.	24. V.	19. VI.	16. VII.	23. VIII.	16. IX.	29. VI.	2. IX.	
0	7,0	7,4	7,0	5,9	7,1	6,9	6,7	6,2	5,6	5,6	6,4	6,2	
5	7,0	7,1	7,0	6,4	7,3	7,0	6,9	5,9	5,6	5,6	6,4	6,0	
10	7,0	7,0	6,9	6,6	7,1	7,1	7,0	6,7	6,4	6,4	6,9	6,3	
15	6,9	6,7	7,0	6,7	7,0	7,0	7,1	6,7	6,6	6,6	7,0	7,4	
20	6,9	7,3	7,3	7,3	7,0	7,0	7,3	7,6	6,9	7,4	7,3	7,8	
Station	415	417	421	423	425	428	443	445	450	478	507	556	

des Sommers vor sich geht. Durch die Untersuchungen des Sommers 1933 konnte ich schließlich für diese Verhältnisse im Obersee weitgehende Erklärungen bringen; vgl. (12). Für den Ermatinger-Steckborner Untersee ergeben die Härtebestimmungen von mehreren Jahren, auf deren Wiedergabe hier verzichtet werden kann, gleiche Härteverhältnisse wie im Obersee. Die Härteabnahme in den oberen Wasserschichten dieses Sees beginnt genau zu dem Zeitpunkt, wo das Wasser des Obersees von geringerer Härte vor Konstanz angekommen ist, und die Härteabnahme selbst liegt in den gleichen Grenzen wie beim Wasser des Obersees. Diese Erscheinungen waren auch zu erwarten, weil der Seerhein, d. h. das Wasser aus dem Obersee, als bedeutender Strom des Sommers den Wasserhaushalt des Ermatinger-Steckborner Seearms des Untersees vollkommen beherrscht!

Im Gnadensee finden wir nun im Grunde genommen die gleichen Härteverhältnisse wie im Ermatinger Untersee und im Obersee. Das zeigt uns die Tabelle 8. Da der Gnadensee mit dem Ermatingersee in Verbindung steht, ist das auch verständlich. Wir wissen allerdings über den Wasseraustausch des Gnadensees mit dem übrigen Untersee noch sehr wenig. Vor allem ist es uns bisher noch nicht möglich gewesen, die Wasserbewegungen in der Lücke zwischen Insel Reichenau und Halbinsel Mettnau, welche zugleich Einmündung und Ausmündung des Gnadensees ist, in den verschiedenen Jahreszeiten zu studieren. Diese Lücke muß in erster Linie als Seeabfluß bewertet werden, denn durch die Zuflüsse wird dem Gnadensee dauernd Wasser zugeführt, welches nur auf diesem Wege aus dem See abfließen kann. Die Zuflüsse, der Mühlbach aus dem Mindelsee und der Mühlbach von Allensbach, sowie der Wollmatinger Bach sind zwar bloß unbedeutende Bäche, jedoch müssen wir sie bezüglich ihres Wassereinschubs in den See berücksichtigen. Als weiterer nur periodisch in Tätigkeit tretender Zufluß ist der Bruckgraben bei der Ruine Schopfeln zu nennen, eine Öffnung in der Reichenauer Landstraße, welche bei Niederwasser oft trocken liegt, welche jedoch bei Hochwasser alljährlich einen ganz beachtlichen Wasserstrom aus dem Seerhein oberhalb der Insel Reichenau lange Zeit hindurch in den Gnadensee einlaufen läßt. Diesem Einstrom in den Gnadensee ist es offenbar zuzuschreiben, daß tatsächlich in diesem See alljährlich die Härteabnahme in den oberen Wasserschichten zum gleichen Zeitpunkt und in gleichem Ausmaß wie im Ermatingersee eintritt.

Aus der Tabelle 8 erkennen wir, daß die Härte in den Zeiten der Vollzirkulation des Sees jeweils in allen Wasserschichten Werte von 7° deutsche Härte annimmt. Der gleiche Wert 7° ist auch für die Vollzirkulation im Obersee und Ermatingersee Regel. In den Sommermonaten tritt dann die Härteabnahme gleichzeitig wie in den beiden anderen Seen auf. Ob die Abnahme tatsächlich in jedem Jahr auf genau die gleichen Werte heruntergeht wie in den beiden anderen Seen, kann auf Grund des bisherigen Untersuchungsmaterials noch nicht entschieden werden. Unterschiede sind zu erwarten, weil der Wasseraustausch des Gnadensees mit dem übrigen Untersee in unmittelbarer Abhängigkeit zu den jährlichen Hochwassern des Bodensees stehen muß, und die Wasserführung des Bodensees zeigt je nach der Stärke der Hochwasser recht beachtliche Schwankungen. Bei unseren geringen Kenntnissen über den jährlichen Wasserhaushalt des Gnadensees läßt sich nicht entscheiden, ob die Härteabnahme in diesem See alleine auf der Wirkung der Wasserzufuhr aus dem übrigen Untersee beruhen muß, oder ob neben ihr möglicherweise noch eine biologische Ursache für eine wirkliche gleichzeitig stattfindende Enthärtung des Wassers vorhanden sein kann. Denn es ist tatsächlich denkbar, daß, trotzdem im Gnadensee die niederen Werte der Härte im Sommer mit denen des übrigen Bodensees übereinstimmen und auch zum gleichen Zeitpunkt eintreten, der Wasseraustausch mit dem Gnadensee gar nicht ausreichen könnte, um die Werte wie 6° oder 5,6° durch Wassermischung zu erzeugen und diese Werte nur zufällig in gleicher Höhe unter Mitwirkung einer anderen Ursache zustande kommen würden. Die sommerliche Härteabnahme erstreckt sich meistens auf die Tiefenstufen 0, 5 und 10 m, sie kann aber auch bis zu 15 m reichen. Die obersten Wasserschichten haben gewöhnlich die geringsten Härtewerte; die 10-m-Stufe zeigt immer einen deutlichen Unterschied gegenüber diesen Werten. In 20 m und oft auch in 15 m Tiefe finden wir gleichzeitig eine Härtezunahme. Die Werte steigen auf 7,3°, 7,6° und bis zu 8° an. Einen Anstieg der Härte in der 20-m-Stufe erkennen wir auch im Winter 1929, solange der See unter der Eisdecke stagnierte.

Härteverhältnisse, wie wir sie im Sommer im Gnadensee feststellen, werden gewöhnlich als Resultat von biologischen Enthärtungsvorgängen gedeutet. Man denkt sich einen Zerfall des gelösten Kalziumbikarbonates in den oberen Wasserschichten unter der Einwirkung der Assimilationstätigkeit des Phytoplanktons.

Dabei soll Kalziumkarbonat in fester Form ausfallen und im See absinken und teils als Seekreide sich sedimentieren, teils aber auch im Tiefenwasser wieder in Lösung gehen und dort eine Härtesteigerung verursachen. Würden wir uns im Gnadensee mit dieser Deutung begnügen und nur die biogene Enthärtung für die Härteverhältnisse in Rücksicht ziehen, so würden wir unsere Untersuchungsbefunde zweifellos falsch erklären und erläutern. Denn im Gnadensee ist zum mindesten, wenn überhaupt eine biogene Enthärtung in Tätigkeit tritt, diese verbunden mit der Härteverminderung durch Beimischung von weicherem Wasser aus dem Obersee. Wir sehen also, daß wir mit unserem Urteil sehr vorsichtig sein und dem Wasseraustausch des Sees eine besondere Beachtung schenken müssen. Jedenfalls dürfte die Härtesteigerung im Tiefenwasser eher durch die Annahme von Wassereinfuhr als durch Auflösung von absinkendem Kalk ihre Erklärung finden. Wir finden diese Härtesteigerung auch im Winter unter Eis, wo vermutlich eine biogene Enthärtung nicht stattfindet, und glauben als Ursache die Zufuhr von Wasser der Zuflüsse in das Tiefenwasser betrachten zu müssen. Bei den niederen Temperaturen im Winter ist es sehr wahrscheinlich, daß die Bäche ihr Wasser mindestens zeitweise bis an den Seegrund herunterführen. Die Härte des Wassers dieser Bäche ist im Winter um 12^0 gelegen, übertrifft also die gleichzeitige Härte des Seewassers um etwa 5^0 . Wenn auch die Bäche bezüglich ihrer Wasserführung bescheidene Wasserläufe sind, so dürfte ihre Wassereinfuhr in den See im Laufe von Monaten doch sich in den Härtewerten bemerkbar machen.

Für die Härtesteigerung im Sommer müßten wir nun auch die Einfuhr von Flußwasser in das Tiefenwasser des Sees annehmen. Das widerspricht zunächst der Annahme, daß in den Seen das sommerliche Hypolimnion eine ruhende, von Wasserzufuhr abgeschlossene Wassermasse sei. Nun betragen aber die Temperaturen des Wassers der Zuflüsse auch im Hochsommer meistens unter 20^0 , oft bloß etwa 15^0 . Damit wäre anzunehmen, daß sich das Wasser der Zuflüsse gewöhnlich in der Nähe oder in der Sprungschicht einlagert unter der Voraussetzung, daß seine Dichte lediglich von der Temperatur abhängig ist. Nun haben die Zuflüsse auch im Sommer etwa $9\text{--}10^0$ Härte, haben also in ihrem Wasser mehr Stoff gelöst als das Seewasser. Die Dichte dieses Wassers kann also größer sein als die des Seewassers aus der Tiefe,

und damit wäre auch die Möglichkeit der Einfuhr von Flußwasser in das Tiefenwasser des Sees im Sommer gegeben. Es bestände übrigens auch noch die Möglichkeit des Vorhandenseins von Quellen am Seeboden, welche hartes Wasser in das Tiefenwasser einführen könnten. Wir begeben uns hier jedoch auf das Gebiet der bloßen Vermutungen und wollen erst urteilen, wenn wir darüber genügend Material gesammelt haben.

Alle unsere Betrachtungen an unserm Zahlenmaterial zeigen uns also mit größter Deutlichkeit, daß die hintereinandergereihten monatlichen Zustandsbilder der stofflichen Zusammensetzung des Seewassers nur dann ihre richtige Deutung finden, wenn wir der wassermischenden Wirkung des im See tätigen Bewegungsmechanismus genaueste Beachtung schenken. Eine ganze Reihe von Erscheinungen läßt sich überhaupt gar nicht erklären ohne die Heranziehung der Wassermischung durch Bewegung und Wasserzufuhr. So sehen wir aus der Tabelle 8, wie jedes Jahr von Ende Oktober bis Mitte November mit dem zum Seegrund fortschreitenden Temperatúrausgleich der Ausgleich der Härtewerte durch Wassermischung vor sich geht. In den Jahren 1925, 1926 und 1928 haben wir als Mischungswerte in der ganzen Wassersäule des Sees bis zum Grund die Härtewerte $6,6^0$, $6,7^0$ und $6,4^0$. Diese Mischungswerte ergeben sich aus den bis zum Seegrund hinunterreichenden vertikalen, durch die Thermik des Sees erzeugten Wasserbewegungen. Sie sind natürlich das mechanische Mischungsergebnis der Werte der in der vergangenen Zeit stofflich geschichteten Wassermasse, aber völlig unabhängig sind sie von den Ursachen, welche jene stoffliche Schichtung zustande gebracht haben. Nach dem Ausgleich nimmt die Härte im Winter zu, bis Werte von 7^0 erreicht werden. Diese Härtezunahme des Wassers um einige mg pro Liter ist wohl kaum die Folge von irgendwelchen biologischen Kalk liefernden Vorgängen im Winter oder von Kalklösungsvorgängen am Seegrund. Es ist nur eine Kalkbelieferung des Sees von außen her denkbar, und diese kann nur durch Zuflüsse erfolgen, wobei allerdings beim Gnadensee der Zulauf von Wasser aus dem Untersee durch die Lücke zwischen Reichenau und Mettnau auch als Zufluß zu bezeichnen wäre. Dieser Zufluß ist, wie schon gesagt, auch Ausfluß des Sees, denn genau so viel Wasser, wie hier in den See einlaufen kann, muß auch gleichzeitig auslaufen. Wenn wir nun nachrechnen, wieviel Wasser und damit gelösten Kalk die Bäche in 1—2 Monaten dem See zuführen, so

ergibt sich eine Kalkzufuhr, welche nicht ausreicht, um der ganzen Wassermasse des Sees die tatsächlich aus den Analysenresultaten festgestellten Härtewerte zu erteilen. Wir müssen also auch mit einem beachtlichen Wasseraustausch mit dem Untersee rechnen, welcher eine weitere Kalkeinfuhr mit sich bringt. Allerdings ist diese Einfuhr insofern beschränkt, als aus dem Untersee nur Wasser mit Härten um 7° zulaufen kann, dem Werte eben, welcher im Winter sich im Untersee einstellt.

Aus unseren Betrachtungen geht hervor, daß wir im Gnadensee mit komplizierten Stoffmischungsverhältnissen zu rechnen haben, und daß aus dem Untersuchungsmaterial auf Enthärtungsvorgänge mit wenig Bestimmtheit geschlossen werden kann.

Aus der Reihe der Härteserien der Tabelle 8 wird noch als besonders eigentümlich das Resultat der Station 423 vom 26. März 1929 auffallen. Wenn man die Härtewerte als für den ganzen See gültig betrachten würde, müßte man fragen, wo denn das viele weichere Wasser herkommen kann, um diese Härten im ganzen See zu erzeugen. Nun dürfte aber die hier gefundene Wasserszusammensetzung ganz örtlicher Natur sein. An dem Untersuchungstag war die Eisdecke des Gnadensees gerade in ihrer letzten Auflösung begriffen. Große Flächen des Sees waren noch mit einer völlig mürben Eisdecke überzogen, und dazwischen befanden sich Wasserrinnen von 20—40 m Breite. In einer solchen Wasserrinne wurden die Wasserproben entnommen. Es scheint sich nun in diesen Rinnen ein ganz örtlicher Mischungsvorgang von Schmelzwasser der Oberfläche mit dem Tiefenwasser abgespielt zu haben. An der Oberfläche finden wir eine Schmelzwassermischung mit 5,9° Härte. Diese Mischung muß in der Rinne nach der Tiefe in Zirkulation getreten sein und die Werte 6,4, 6,6 und 6,7 in kleinem Wasserraum erzeugt haben. Anders sind die Resultate der Station 423 wohl kaum zu deuten. An diesem Falle sehen wir erneut, wie vorsichtig wir in der Beurteilung der Ergebnisse vorgehen müssen und wie wenig wir oft berechtigt sind, eine einzige Probeserie aus einem See sowohl örtlich wie zeitlich für den See als allgemein gültig zu betrachten.

III. Das Zooplankton des Gnadensees

Bezüglich der Fangtechnik und der quantitativen Auswertung verweise ich auf unsere früheren Obersee-Arbeiten (4, 5). Es hat

sich hier nichts geändert, so daß die Ergebnisse aus dem Gnadensee direkt mit denen aus dem Obersee verglichen werden können. Die Auswertung geschah ausschließlich durch AUERBACH, so daß auch etwaige Fehlerquellen die gleichen sind wie im Obersee. Die Berechnung der Zahlen für die Kugelkurven auf Tafel V VI und VII hat dankenswerterweise M. RITZI vorgenommen.

Das Unterseeplankton besteht in großem Maße aus solchem aus dem Obersee, das jahraus jahrein in reichlicher Menge durch den Seerhein in den Untersee verfrachtet wird. Immerhin scheint der eutrophe Untersee nicht für alle Oberseeplanktonten günstige Lebensbedingungen zu bieten. So fällt auf, daß z. B. *Bythotrephes longimanus* Leydig, *Heterocope weißmanni* Imhoff und *Conochilus unicornis* Reuß wenigstens im Gnadensee nur sehr selten gefunden werden. Von *Bythotrephes* erbeuteten wir in der Zeit von 1925 bis 1931 nur ein Exemplar. Die übrigen Arten treten hingegen gegenüber dem Obersee in viel größeren Mengen auf, was sicher mit dem eutrophen Charakter des Untersees zusammenhängt. Hierauf ist wohl auch die Tatsache zurückzuführen, daß im Gegensatz zum Obersee *Daphne* in den verschiedensten gehelmtten Formen vorkommt. Hierüber wird RITZI gesondert berichten.

Zu den Arten, die auch im Obersee gefunden werden und die z. T. aus dem Obersee stammen, gesellen sich nun aber auch solche, die dort vollkommen fehlen und daher als für den Untersee charakteristisch angesehen werden müssen. Es sind dies z. B. *Ceriodaphnia pulchella* G. O. Sars unter den Cladoceren und *Triarthra terminalis* Plate unter den Rotatorien. Gerade diese letztere Form kann gelegentlich in ungeheuren Mengen auftreten, so daß ein Auszählen derselben infolge ihrer Sperrigkeit und Verfilzung ineinander einfach unmöglich ist. Daß diese Art bisher übersehen wurde, mag sich daraus erklären, daß sie nur in bestimmten Monaten häufig auftritt und vorwiegend im Tiefenwasser lebt, wie wir das noch sehen werden. *Polyphemus pediculus* L. scheint auch im Untersee eine Uferform zu sein. Wir haben sie wenigstens im Verlauf von 6 Jahren nur in ganz seltenen Fällen im Netz gehabt, während z. B. im August 1933 in der unteren Güll bei der Mainau im August an einer Stelle am Ufer direkt massenhaft Individuen gefangen wurden. Von Protozoen müssen wir für den Gnadensee noch als charakteristisch den *Stentor niger* aufführen, der so massenhaft sein kann, daß er das Planktonnetz schwarz färbt. *Corethra*-Larven werden in bestimmten Monaten ebenfalls reichlich im Plankton festgestellt.

In bezug auf die von uns aufgestellte Planktonliste des Gnadensees ist das gleiche zu bemerken wie in unseren Oberseearbeiten. Die Liste erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Nur die häufigen und wirtschaftlich wichtigen Arten sind aufgezählt. Eine ausführliche Faunenliste wird in späteren Veröffentlichungen von Spezialisten gegeben werden. Zur Zeit ist eine solche Liste noch gar nicht spruchreif; wissen wir doch z. B. noch nicht einmal, welche Arten von *Cyclops* das Pelagial von Ober- und Untersee bewohnen, und das gleiche gilt vielleicht auch von *Diaptomus*. F. KIEFER hat die Bearbeitung dieser Frage zugesagt und bereits auch z. T. in Angriff genommen. Die Rotatorien werden von J. HAUER erforscht werden.

Im folgenden führen wir als Gnadensee-Plankton also nur die Arten auf, die wir für besonders auffallend und wichtig halten. Bei den Copepoden sind die bisherigen Arthezeichnungen beibehalten worden, wobei jedoch ausdrücklich auf die Notwendigkeit einer Neubestimmung hingewiesen wird. Die verschiedenen Saisonformen der *Daphne* sind nicht berücksichtigt. Die typischen Unterseearten haben ein *

1. *Diaphanosoma brachyurum* Liévin.
2. *Ceriodaphnia pulchella* G. O. Sars.
3. *Daphne hyal. longispina* O. F. Müller.
4. *Bosmina longirostris* O. F. Müller.
5. *Bosmina coregoni* Baird.
6. *Polyphemus pediculus* L.
7. *Bythotrephes longimanus* Leyd.
8. *Leptodora Kindtii* Focke.
9. *Diaptomus gracilis* O. Sars.
10. *Cyclops leuckarti* Claus.
11. *Cyclops strenuus* Fischer.
12. *Heterope weißmanni* Imh.
13. *Notholca longispina* Kellic.
14. *Anuraea cochlearis* Voigt.
15. *Anuraea aculeata* Ehrbg.
16. *Polyarthra platyptera* Ehrbg.
- *17. *Triarthra terminalis* Plate.
18. *Conochilus unicornis* Reuß.
19. *Asplanchna priodonta* Garn.
- *20. *Stentor niger*.
21. *Corethra spec.*

* Von RITZI wurde neuerdings auch *Daphne cucullata* nachgewiesen.

V. $\left\{ \begin{array}{l} 0-5 \\ 5-10 \\ 10-15 \end{array} \right\}$	2	126	548	3492	0	2	3807	472	0	7333	733	3633	908	250	378	283
	0	21	23	1442	0	laten	1075	567	0	1717	2508	4450	1075	42	400	2400
VI. $\left\{ \begin{array}{l} 0-5 \\ 5-10 \\ 10-18 \end{array} \right\}$	0	0	12	50	0	0	413	475	6	1825	8050	7537	1912	einzelne	137	unzählbar
	2	147	583	4984	0	2	5295	1514	6	10875	11291	15620	3895	292	915	—
VII. $\left\{ \begin{array}{l} 0-5 \\ 5-10 \\ 10-18 \end{array} \right\}$	1	542	249	2133	0	3	271	513	0	4325	2125	7142	33708	0	136	17
	3	308	708	558	0	0	1808	1242	83	2675	3625	7991	6483	einzelne	33	5650
VIII. $\left\{ \begin{array}{l} 0-5 \\ 5-10 \\ 10-18 \end{array} \right\}$	0	50	669	31	0	0	1093	319	1	600	1956	550	1344	"	0	2506
	4	900	1626	2722	0	3	3172	2074	84	7600	7706	15683	41535	—	169	8173
IX. $\left\{ \begin{array}{l} 0-5 \\ 5-10 \\ 10-15 \\ 15-18 \end{array} \right\}$	62	2846	1628	495	0	16	259	1753	0	6417	1266	1134	13325	0	411	8
	8	958	795	142	0	0	500	317	0	1533	3975	850	11308	8	225	50
VIII. $\left\{ \begin{array}{l} 0-5 \\ 5-10 \\ 10-15 \\ 15-18 \end{array} \right\}$	7	359	846	33	0	1	2038	592	1	1071	2275	421	3828	einzelne	0	1250
	77	4163	3269	670	0	17	2797	2662	1	9021	7516	2405	28461	8	636	1308
IX. $\left\{ \begin{array}{l} 0-5 \\ 5-10 \\ 10-15 \\ 15-18 \end{array} \right\}$	487	1078	436	1611	0	13	1317	1242	0	2294	8	737	5172	einzelne	694	0
	149	1017	287	605	1	2	539	474	0	1073	174	1453	2995	0	665	0
IX. $\left\{ \begin{array}{l} 0-5 \\ 5-10 \\ 10-15 \\ 15-18 \end{array} \right\}$	38	216	130	41	0	0	276	279	0	565	769	1057	1466	0	42	0
	8	57	37	35	0	0	67	62	0	270	70	334	833	0	16	3
IX. $\left\{ \begin{array}{l} 0-5 \\ 5-10 \\ 10-15 \\ 15-18 \end{array} \right\}$	682	2368	890	2292	1	15	2199	2057	0	4202	1021	3581	10466	—	1417	3
	776	2387	1043	4133	0	1	3364	4758	8	4625	25	1675	5517	0	3037	0
IX. $\left\{ \begin{array}{l} 0-5 \\ 5-10 \\ 10-15 \\ 15-18 \end{array} \right\}$	25	494	32	79	0	0	142	142	0	725	683	2125	467	0	383	0
	47	59	27	9	0	0	104	369	0	508	833	1434	1350	0	97	8
IX. $\left\{ \begin{array}{l} 0-5 \\ 5-10 \\ 10-15 \\ 15-18 \end{array} \right\}$	11	61	48	15	0	0	59	144	0	683	1960	2000	373	0	13	0
	859	2901	1150	4236	0	1	3669	5413	8	6541	3501	7234	7707	0	3530	8

Noch: Tabelle 9
 Zooplankton des Gnadensees im Durchschnitt der Jahre 1925—1931

Stückzahl pro m³

Tiefe und Monat	<i>Daphnia</i> <i>nosoma</i>	<i>Cerioda-</i> <i>phnia</i>	<i>Daphne</i>	<i>Bosmina</i>	<i>Bythotre-</i> <i>phes</i>	<i>Leptodora</i>	<i>Diaptomus</i>	<i>Cyclops</i>	<i>Heterocope</i>	<i>Nauplien</i>	<i>Notholea</i>	<i>Anuraea</i>	<i>Polyarthra</i>	<i>Conochilus</i>	<i>Asplan-</i> <i>china</i>	<i>Tritaria</i> <i>termi-</i>
X. $\left\{ \begin{array}{l} 0-5 \\ 5-10 \\ 10-15 \\ 15-18 \end{array} \right.$	292	1950	578	833	0	0	4466	4666	0	2 650	300	241	950	0	741	0
	42	1042	69	317	0	0	1042	1333	0	1 075	100	133	250	0	667	0
	13	375	14	9	0	0	400	313	0	638	275	313	238	0	463	25
	2	260	32	100	0	0	340	260	0	280	40	160	320	0	220	20
	349	3627	693	1259	0	0	6248	6572	0	4 643	715	847	1 758	0	2091	45
XI. $\left\{ \begin{array}{l} 0-5 \\ 5-10 \\ 10-15 \end{array} \right.$	13	1125	1100	2038	0	0	2200	1538	0	525	250	800	538	0	600	38
	0	788	200	475	0	0	475	1625	0	350	263	638	275	0	288	38
	0	500	125	75	0	0	200	300	0	175	225	1 100	150	0	100	75
	13	2413	1425	2588	0	0	2875	3463	0	1 050	738	2 538	963	0	988	151
XII. $\left\{ \begin{array}{l} 0-5 \\ 5-10 \\ 10-18 \end{array} \right.$	0	90	425	2250	0	0	725	825	0	1 825	300	1 100	425	0	0	25
	0	200	350	3425	0	0	850	200	0	1 850	700	1 300	650	0	100	100
	0	37	150	1887	0	0	300	162	0	1 125	212	862	237	0	50	212
	0	327	925	7562	0	0	1875	1187	0	4 800	1 212	3 262	1 312	0	150	337

Die vorstehend gegebene Zooplankontabelle des Gnadensees gibt ein Durchschnittsbild der Zahl pro m³ Wasser, der vertikalen Verbreitung und des jahreszeitlichen Auftretens. Leider ist in dieser Liste der Monat April ausgefallen, da infolge widriger Umstände das Material zu diesem Monat verloren ging.

Vergleichen wir die in dieser Tabelle gegebenen Zahlen mit denjenigen unserer früheren Oberseearbeiten (4, 5), so ergibt sich ohne weiteres, daß die meisten Arten in viel größerem Individuenreichtum auftreten wie im Obersee. Der Grund hierfür ist sicher im eutrophen Charakter des Gnadensees zu suchen. Ausnahmen von dieser Regel machen, wie schon oben betont, *Bythotrephes*, *Heterocope* und *Conochilus*.

Die horizontale und vertikale Verbreitung des Zooplanktons

Über die horizontale Verbreitung des Zooplanktons haben wir noch keine Untersuchungen angestellt. Immerhin erscheint es uns wahrscheinlich, daß Schwarmbildungen gelegentlich vorhanden sein müssen. Wir haben auf diese Frage schon in unserer Arbeit über die 24-Stundenuntersuchungen im Gnadensee hingewiesen (7). Auch die Massenfänge von *Triarthra terminalis* Plate lassen eine solche Schwarmbildung wahrscheinlich erscheinen.

Die vertikale Verbreitung folgt im allgemeinen den gleichen Regeln wie im Obersee. In den Monaten Januar bis März tritt hier allerdings eine Änderung ein. Während in den übrigen Monaten in weitaus den meisten Fällen sich die Hauptmasse des tierischen Planktons in der Schicht von 0—5 m aufhält, ist in den ersten drei Monaten des Jahres festzustellen, daß wenigstens bei den Cladoceren und einigen Rotatorienarten die tieferen Schichten aufgesucht werden. Eine Erklärung dieser Verteilung finden wir sicher in der Tatsache, daß während dieser Jahreszeit die Wassermasse thermisch indirekt geschichtet ist und die betr. Arten sich ihrem Temperaturbedürfnis entsprechend einstellen.

Aus der Tabelle 9 geht ferner hervor, daß die tiefen Schichten über dem Boden nie ganz planktonleer sind. Dies ist auch erklärlich, weil ja nur Tiefen bis zu 20 m in Frage kommen, die auch im Obersee noch reichlich Zooplankton aufweisen. Immerhin ist in den Sommermonaten eine starke Verarmung gegen die oberen Schichten festzustellen, und es ist wohl sicher, daß diese mit dem Sauerstoffschwund über dem Boden zusammenhängt. Die Untersuchungen der kommenden Jahre werden hier Klarheit schaffen.

Ein sehr klares Bild über die vertikale Verteilung der einzelnen Planktonarten geben die Kurven auf Tafel III und IV. Auf ihnen ist nur ein Übersichtsbild des Gesamtdurchschnittes während des ganzen Jahres gegeben, so daß die Zustände der verschiedenen Jahresabschnitte nicht berücksichtigt wurden. Diese sind aus Tabelle 9 zu entnehmen. Aus den Kurven geht einwandfrei hervor, daß im allgemeinen sämtliche Crustaceen die Schicht von 0—5 m bevorzugen, so daß man sagen kann, diese Zone stellt den Hauptlebensraum dieser Planktonten dar. Daß von diesem Allgemeinbild, jahreszeitlich bedingt, Abweichungen vorkommen, haben wir schon erwähnt. (S. auch Tabelle 9.) Da die Kurven für die Crustaceen auch alle im gleichen Maßstabe gezeichnet sind, ist ein direkter Vergleich in der Häufigkeit des durchschnittlichen Auftretens möglich, wobei allerdings *Diaphanosoma* insofern schlecht wegkommt, als sie als Saisonform in nennenswerten Mengen nur in den Monaten Juli bis Oktober anzutreffen ist. Aber selbst zur Zeit ihres maximalen Auftretens im September steht sie an Individuenreichtum hinter den anderen Arten zurück. Dieser am schwächsten auftretenden Art schließen sich in aufsteigender Reihe an: *Daphne*, *Ceriodaphnia*, *Bosmina*, *Cyclops* und *Diaptomus*, welch letzterer die größte Individuenzahl zeigt. *Bythotrephes* und *Leptodora* sind hier nicht mit berücksichtigt, da sich jeweils nur wenige Stücke im m³ finden.

Die Rotatorien bieten ein ganz anderes Bild (Tafel IV). Wir erkennen hier auf den ersten Blick, daß wir Oberflächen- und Tiefenformen unterscheiden können. Zu ersteren, die besonders in 0—5 m gefunden werden, gehören *Asplanchna* und *Polyarthra*. (Es ist zu beachten, daß die Kurve von *Polyarthra* und *Triarthra terminalis* das Doppelte des Maßstabes der anderen Rotatorien zeigt.) *Anuraea* bildet gewissermaßen eine Übergangsform, indem sie sowohl in 0—5 m wie auch in 5—10 m Tiefe reichlich vorkommt. *Notholca* hingegen ist, wie wir das ja auch schon im Obersee fanden, eine ausgesprochene Tiefenform, die ihr Maximum nur in 5—10 und 10—15 m erreicht. Dies trifft in noch auffälligerem Maße für *Triarthra terminalis* zu, die ihr Maximum zwischen 10 und 15 m hat.

Stentor niger ist eine Oberflächenform, die nur in 0—5 m häufig anzutreffen ist; während die auch im Sommer oft nachzuweisende Larve von *Corethra* die tieferen Zonen bevorzugt.

Vergleichen wir diese Angaben mit unseren früheren aus dem Obersee (4, 5), so können wir feststellen, daß die vertikale Verteilung

des Zooplanktons in beiden Seeabschnitten im wesentlichen die gleiche ist, insofern, als sowohl im Ober- wie auch im Untersee die Schicht von 0—5 m die größte Arten- und Individuenzahl aufweist.

Das Auftreten des Zooplanktons in den verschiedenen Jahreszeiten

Wenn auch im allgemeinen das jahreszeitliche Auftreten des Zooplanktons im Gnadensee in ähnlichem Sinne verläuft wie im Obersee, so sind doch auch einige Unterschiede festzustellen. Diese beziehen sich einmal auf das vollständige Verschwinden von Planktonarten zu bestimmten Jahreszeiten und dann auch auf eine gewisse Verschiebung in der Zeit ihres Auftretens. Wir werden hierauf noch bei der Besprechung der einzelnen Arten zurückkommen.

Aus Tabelle 9 und den Tafeln V—VII ist alles so klar zu sehen, daß wir textlich nur noch wenige Worte zu machen brauchen. Die Tafeln V—VII stellen Kugelkurven dar, auf denen zur Ersparung von Raum nur die Radien der Kugeln, nicht die Durchmesser, gezeichnet worden sind. Um die Bilder zu vervollständigen, müßten die Kurven also nach unten in gleichem Sinne ergänzt werden. Ich glaube aber, daß dies bei der Klarheit der Figuren unnötig ist. Nach meiner Überzeugung ist das vorhandene Material noch nicht groß genug, um eine einwandfreie Darstellung zu gewährleisten. Daraus mag sich auch der noch ziemlich unregelmäßige Verlauf mancher Kurven erklären. Eine rohe Übersicht kann man aber aus den gegebenen Kurven doch gewinnen, und wenn dann die Ergebnisse der folgenden Jahre noch in das Bild einbezogen werden, wird es sich sicher noch eindrucksvoller gestalten. Insofern sind die heute gemachten Angaben von Bedeutung, als sie einen Vergleich mit den Funden späterer Jahre ermöglichen und uns so in Stand setzen zu untersuchen, ob sich die Verhältnisse in diesem Zeitraum geändert haben. Gerade Untersuchungen, die im Zeitraum verschiedener Jahrzehnte mit den gleichen Methoden wiederholt werden, können ja in dieser Hinsicht besonders wertvoll sein. Deshalb veröffentlichen wir ja auch zunächst die Ergebnisse unserer Arbeiten aus den Jahren 1925 bis 1931.

Diaphanosoma brachyurum Liévin ist, wie wir schon sahen, im Ober- und Gnadensee hauptsächlich eine Bewohnerin der Wasserschichten zwischen 0 und 5 m. Aus Tabelle 9 und Tafel V geht einwandfrei hervor, daß wir es bei dieser Art mit einer ausgesprochenen Saisonform zu tun haben, und zwar mit einer solchen, die besonders in den Sommermonaten auftritt. Von Dezember bis April

fehlt sie im Gnadensee gänzlich. Im Mai und Juni treten vereinzelt Exemplare auf, deren Zahl sich im Juli vermehrt, um dann im August und besonders September ihr Maximum zu erreichen. Im Oktober und November erfolgt dann ein langsames Abklingen, das dann im Dezember wieder den Nullpunkt erreicht. Dieser Verlauf im Gnadensee stimmt mit demjenigen im Obersee fast genau überein. (S. 4 und 5.)

Ceriodaphnia pulchella G. O. Sars ist eine für das Gnadenseep plankton typische Art, die im Obersee vollkommen fehlt. Auch sie ist eine ausgesprochene Oberflächenform, wenn auch in den tiefen Zonen zwischen 5 und 18 m etwas mehr Individuen vorkommen wie von *Diaphanosoma*. Im Februar fehlt das Tier ganz, nimmt von März an allmählig an Zahl zu und erreicht ihr Maximum im Juli, um sich dann bis zum Oktober ziemlich in gleicher Stärke zu halten. Vom November bis Februar ist dann das allmähliche Verschwinden festzustellen. Wir können die Art also als eine Sommer- und Herbstform auffassen.

Daphne hyalina longispina O. F. Müller ist im Gnadensee das ganze Jahr zu finden. Hierin unterscheidet sie sich von der gleichen Art im Obersee insofern, als dort meist während der Monate Januar bis März ihr vollständiges Fehlen festzustellen ist. Allerdings zeigt die Art auch im Gnadensee in diesen drei Monaten ein ausgesprochenes Minimum. Vom April bis Juni steigt dann die Kurve gleichmäßig an und erreicht im Juli ihren höchsten Stand. Vom August bis Dezember hält sich die Individuenzahl annähernd auf gleicher Höhe, um hierauf zum Minimum abzuklingen. Gegen den Obersee hat sich das Maximum um einen Monat (vom Juni auf Juli) verschoben; es ist aber nicht ausgeschlossen, daß diese Verhältnisse sich bei zahlreicheren Untersuchungsstationen noch ausgeglichen hätten. Zukünftige Arbeiten werden dies ergeben. Daß die Art im Gnadensee in den verschiedensten Saisonformen auftritt, wurde schon erwähnt, ebenso, daß RITZI hierüber noch berichten wird.

Bosmina coregoni Baird und *B. longirostris* O. F. Müller. Beim quantitativen Auswerten wurden aus technischen Gründen diese beiden Arten zusammengekommen. Der unregelmäßige Verlauf unserer Kurve erklärt sich vielleicht aus dieser Tatsache. Jedenfalls steht fest, daß die Gattung *Bosmina* im Gnadensee perennierend ist. Von einem ausgesprochenen Minimum des Vorkommens kann nicht gesprochen werden; Monate geringeren Vorkommens sind nach unserer Kurve der Februar, März, Juli und Oktober. Wenn von einem

Maximum gesprochen werden kann, so liegt dies im Dezember, eine Tatsache, die mit unseren Funden im Obersee übereinstimmt.

Wie wir schon sahen, kommt *Bythotrephes* im Untersee so selten vor, daß wir ihn aus unseren Betrachtungen fortlassen können, ebenso wie seinen Verwandten *Polyphemus pediculus*, der eine Uferform zu sein scheint.

Leptodora kindtii O. Sars ist in ihrem Auftreten demjenigen im Obersee ähnlich. Es scheint jedoch, als ob sie nur kürzere Zeit wie dort vorhanden wäre. Wir fanden sie in wenigen Exemplaren und in Larven zuerst im Mai; im Juli und August ist ihr Maximum, und sie verschwindet schon wieder im September, während dies im Obersee erst im November—Dezember der Fall ist.

Diaptomus gracilis O. Sars ist die einzige Art der Gattung, die wir bisher im Gnadensee gefunden haben. Es sei hier nachgetragen, daß wir und KIEFER bisher auch nur diese Art im Oberseep plankton feststellen konnten. Ob *Diaptomus laciniatus*, der nach anderen Angaben im Obersee vorkommen soll, tatsächlich als typischer Vertreter dem Bodensee-Hochseep plankton angehört, erscheint uns daher fraglich. Unsere Art kann als typisch perennierend angesehen werden. Praktisch genommen finden wir sie das ganze Jahr hindurch in reichlichen Mengen. Die in der Kurve auftretenden Schwankungen lassen keinen sicheren Schluß auf ein ausgesprochenes Maximum seines Vorkommens zu; am ehesten könnte man noch von einem Hauptmaximum im Oktober sprechen, was mit den Funden im Obersee übereinstimmen würde.

Unter *Cyclops* haben wir aus den gleichen Gründen wie im Obersee die beiden Arten *leuckarti* Claus und *strenuus* Fischer zusammengefaßt. Wie schon erwähnt, ist KIEFER gerade dabei, die genaue Artzugehörigkeit festzustellen. Unsere Kurve zeigt, daß *Cyclops* das ganze Jahr hindurch im Gnadensee zu finden ist. Die Monate Januar, Februar und März zeigen ein ausgesprochenes Minimum. Von hier an erfolgt dann ein ziemlich regelmäßiges Ansteigen der Individuenzahl, bis dann im September und Oktober das Maximum erreicht ist. Ein im Mai im Obersee feststellbares Nebenmaximum ist im Gnadensee nicht vorhanden. Wollen wir ein solches annehmen, so müssen wir es in den Juli legen; jedoch ist die Vermehrung hier so gering, daß uns eine solche Annahme nicht gerechtfertigt erscheint.

Heterocope weißmanni Imhof zählt im Gnadensee nicht zu den wichtigen, regelmäßig auftretenden Planktonten. Wir fanden sie in

wechselnden und sehr geringen Mengen nur in den Monaten Mai bis September. Es mag dies damit zusammenhängen, daß die Art in den wärmeren Monaten wenigstens im Obersee die tieferen Wasserschichten bewohnt, die ihr im Untersee wegen des Sauerstoffmangels in dieser Jahreszeit nicht zusagen. Dazu mag noch der Umstand kommen, daß sie ihre Eier nicht in Eisäcken mit sich trägt, sondern einzeln ins Wasser ablegt, wo sie zu Boden sinken. Hier dürfte für diese auch wegen des O₂-Mangels kein günstiger Entwicklungsort sein. Andere Gründe für ihre Seltenheit vermögen wir nicht anzugeben.

Bei den Rotatorien weicht das jahreszeitliche Auftreten der beiden perennierenden Formen *Notholca longispina* Kellie und *Anuraea cochlearis* Voigt am meisten unter allen Zooplanktonten von den Verhältnissen im Obersee ab. Auf Tafel VI ist klar zu sehen, daß beide Arten das Maximum des Auftretens im Mai und Juni haben; in den übrigen Monaten sind sie in wechselnder Menge vorhanden. Im Obersee hingegen liegt das Maximum im Oktober. Eine Erklärung für diesen Unterschied in der Entwicklung vermögen wir nicht zu geben; es ist aber wohl anzunehmen, daß die Ursache in der Eutrophie des Gnadensees zu suchen ist.

Die dritte perennierende Art ist *Asplanchna priodonta* Gosse. Aus unseren Oberseearbeiten (4, 5) geht hervor, daß diese Art dort zur Uferfauna gehört und nur gelegentlich in wenigen Exemplaren im offenen See vorkommt. Im flachen Untersee hingegen, dessen Zustände ja mehr denen der Uferzone im Obersee gleichen, ist sie planktonisch stets zu treffen. Sie zeigt hier zwei Maxima, und zwar eines im Februar, also zur kältesten Jahreszeit, und ein zweites im September, d. h. im Spätsommer, wo noch in den oberen Wasserschichten, die sie bewohnt, hohe Temperaturen herrschen. An Anzahl erreicht sie diejenige der anderen Arten auch während des Maximums nicht.

Polyarthra platyptera Ehrbg. ist ebenfalls perennierend, kommt jedoch in den Monaten Januar bis April und Oktober bis Dezember nur in verhältnismäßig geringer Zahl vor. Ihr Maximum erreicht sie in den Monaten Juni und Juli. Dieses Vorkommen und die Monozyklie stimmt mit den Funden im Obersee überein. Wir können die Art als eine Frühsommerform auffassen, die besonders den oberen Wasserschichten zwischen 0 und 5 m angehört.

Typisch monozyklisch ist auch *Triarthra terminalis* Plate, die im Mai ihre höchste Entwicklung zeigt. Im August kann sie ganz

fehlen, in den Monaten September bis März halten sich ihre Individuenzahlen in mäßigen Grenzen. Dieser Umstand und die Tatsache, daß sie eine ausgesprochene Tiefenform ist, mag, wie schon gesagt, die Erklärung dafür sein, daß sie bisher im Untersee-Plankton übersehen wurde.

Damit haben wir die Ergebnisse unserer Untersuchungen der Jahre 1925 bis 1931 bekanntgegeben. Wie schon einleitend bemerkt wurde, wurden die gleichen Forschungen in sehr erweitertem Maße im Jahre 1938 wieder aufgenommen und sollen mehrere Jahre systematisch fortgesetzt werden. Neben der Station im Gnadensee wurden noch Stationen im Markelfingersee, Radolfzellersee und dem vom Rhein durchströmten Untersee hinzugefügt, so daß bei den folgenden Veröffentlichungen ein Vergleich der verschiedenen Seebecken untereinander möglich sein wird, da an allen Stellen jeweils innerhalb eines Tages genau die gleichen Untersuchungen vorgenommen werden. Auch den Strömungsverhältnissen im einzelnen wird ein besonderes Augenmerk gewidmet, so daß deren Einfluß auf die Hydrographie und Biologie des Sees sicher weitgehend gelöst werden kann. Schon heute zeigt es sich, daß sich die Zustände in einigen Becken des Untersees im Laufe der Jahre stark im Sinne einer fortschreitenden Eutrophierung geändert haben, daß also mit wesentlich neuen Ergebnissen gegen früher zu rechnen ist. So fand SCHMALZ z. B. im Gnadensee niemals vollständigen Sauerstoffschwund in den Wasserschichten in der Nähe des Grundes. Jetzt haben wir ihn aber einwandfrei festgestellt. Über die Gründe der stärkeren Eutrophierung habe ich in meiner letzten Arbeit (9) schon einige Andeutungen gemacht. Wenn uns die kommenden Jahre ein ungestörtes Weiterarbeiten gestatten, ist mit sehr interessanten und auch für die Wirtschaft bedeutungsvollen Ergebnissen zu rechnen. Für die fernere Zukunft werden unsere Arbeiten endlich die sichere Grundlage zu einem Vergleich sein mit den Zuständen, die sich einstellen müssen, wenn einmal die geplante Schiffbarmachung des Hochrheins und die damit verbundene Bodenseekorrektion beendet sein werden.

Literatur

1. ALSTERBERG: Über das aktuelle und absolute O₂-Defizit der Seen Sommer.
Botaniska Notiser, Lund 1929
2. — Die O₂-Primärkonstante in den verschiedenen Seebereichen während des Jahres.
Botaniska Notiser, Lund 1930
3. — Die thermischen und chemischen Ausgleiche in den Seen zwischen Boden- und Wasserkontakt, sowie ihre biologische Bedeutung.
Int. Rev. d. ges. Hydrbiol. und Hydr. Bd. 24. 1930.
4. AUERBACH, MAERKER, SCHMALZ: Hydrographisch-biologische Bodenseeuntersuchungen I.
Arch. f. Hydrobiol. 1924.
— Hydrographisch-biologische Bodenseeuntersuchungen II.
Verh. Naturw. Ver. Karlsruhe. Bd. 30. 1924—26.
6. AUERBACH und SCHMALZ: Die Oberflächen- und Tiefenströme des Bodensees II. Die konstanten Strömungen des Untersees, Seerheins und der Konstanzer Bucht.
Arch. f. Hydrobiol. Bd. 23. 1931.
— Hydrographisch-biologische Bodenseeuntersuchungen III.
Zeitschr. f. Hydrologie. Bd. VI.
8. AUERBACH und RITZI: Die Oberflächen- und Tiefenströme des Bodensees IV. Der Lauf des Rheinwassers durch den Bodensee den Sommermonaten.
Arch. f. Hydrobiol. Bd. 32. 1937.
9. AUERBACH, M.: Die Oberflächen- und Tiefenströme im Bodensee.
Deutsche Wasserwirtschaft. Bd. 34. 1939.
10. ELSTER, H. J., u. EINSELE, W.: Beiträge zur Kenntnis der Hydrographie des Untersees (Bodensees).
Int. Rev. ges. Hydrobiol. u. Hydrogr. Bd. 36. 1938.
11. PENCK, A.: Morphometrie des Bodensees.
Festschr. d. geogr. Ges. München z. Feier ihres 25jähr. Best. München 1899.
12. SCHMALZ, J.: Die Oberflächen- und Tiefenströme des Bodensees. III.
Schrift. Ver. f. d. Gesch. d. Bodensees u. s. Umgeb. H. 60.
13. THIENEMANN, A.: Der Sauerstoff im eutrophen und oligotrophen See. „Die Binnengewässer“. Bd. IV. 1928.
14. ZEPPELIN, E. von: Geographische Verhältnisse des Bodensees.
Schrift. Ver. f. d. Gesch. d. Bodensees Umgeb. — Bodensee-Forschungen — Lindau 1893.

Figurenerklärung

Tafel I: Karte des Untersees.

Tafel II: Durchschnittstemperaturen im Gnadensee der Jahre 1925 bis 1931.

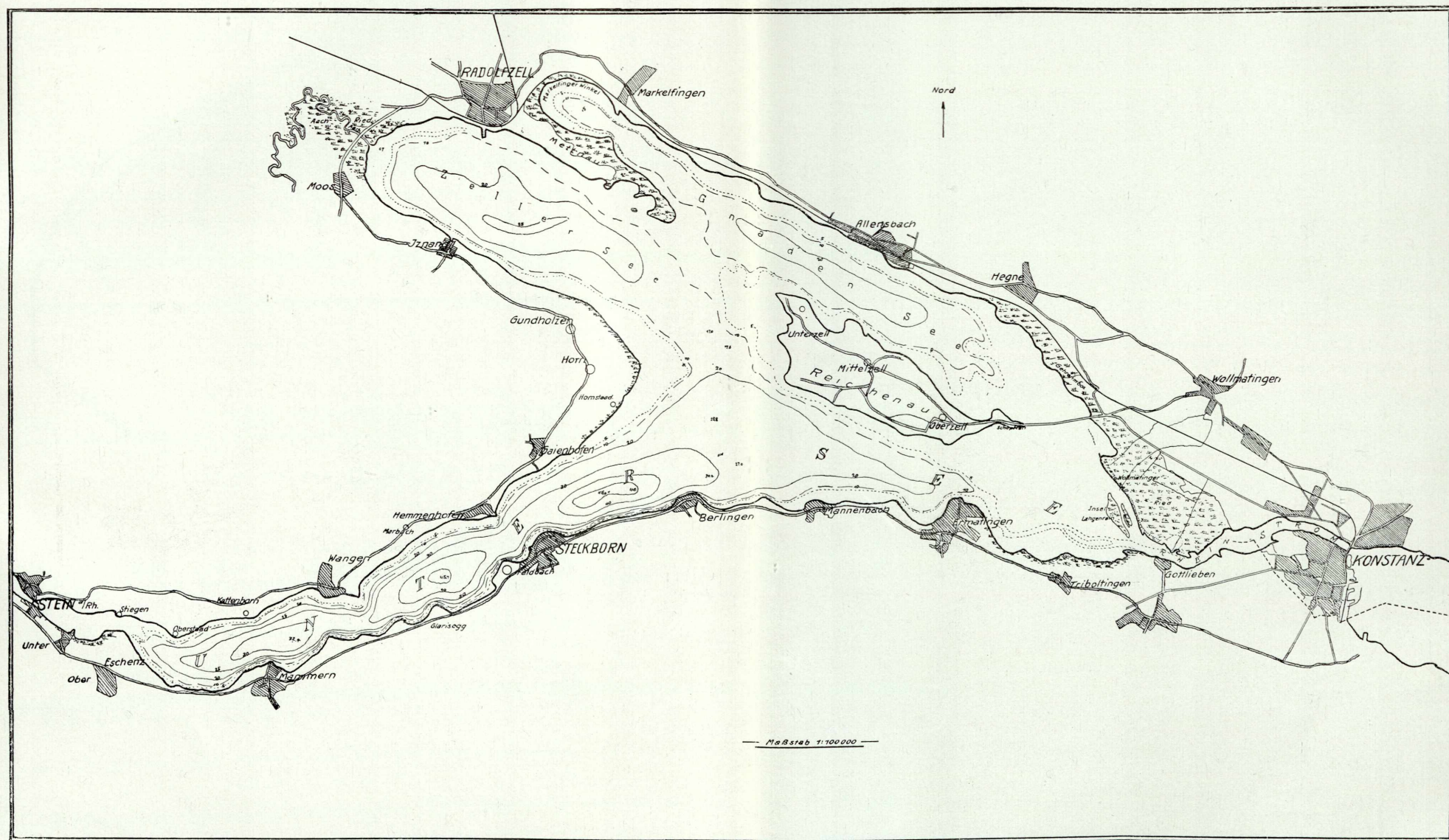
Tafel III: Die vertikale Verbreitung des Crustaceenplanktons.

Tafel IV: Die vertikale Verbreitung des Rotatorienplanktons.

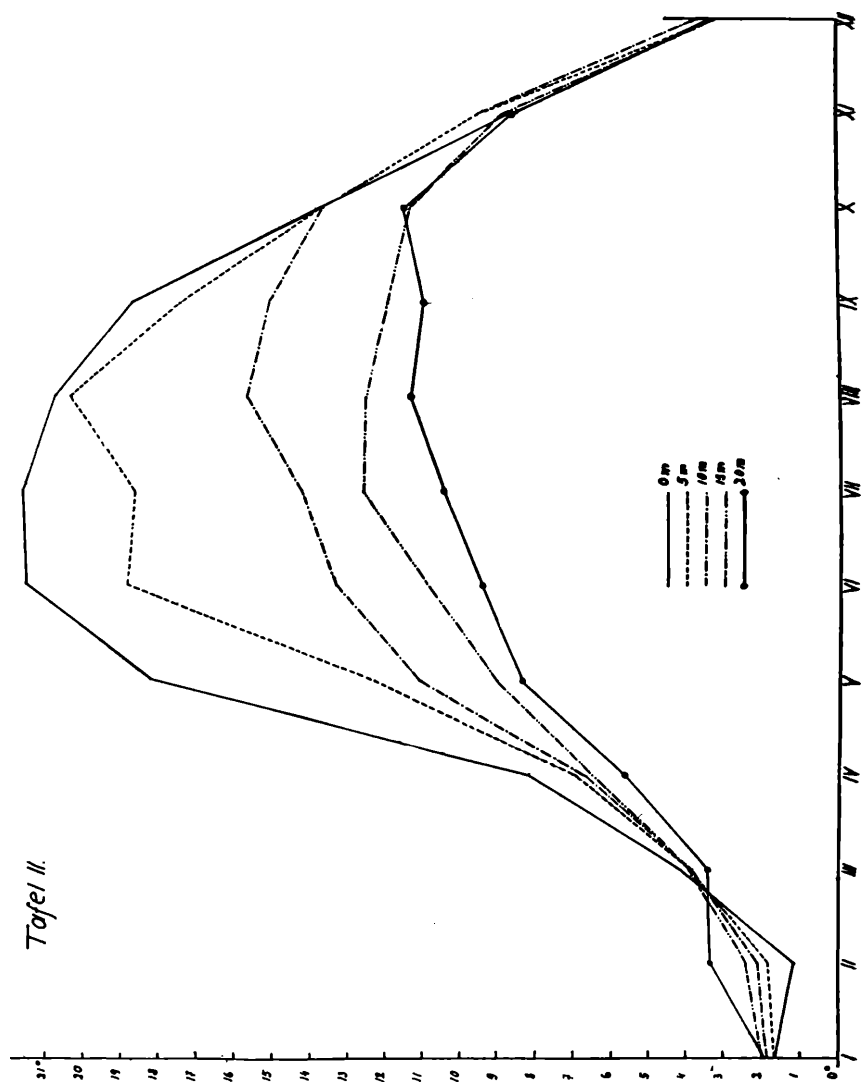
Tafel V—VII: Das jahreszeitliche Auftreten des Zooplanktons.

(Kugelkurven. Nur der Radius gezeichnet.)

Tafel I

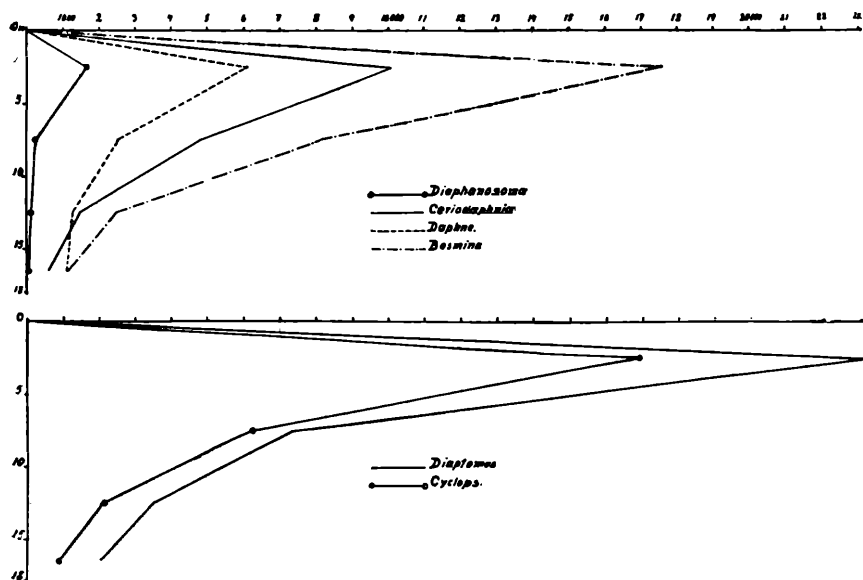


AUERBACH und SCHMALZ †
 Studien über die Hydrographie und Biologie des freien Wassers
 im Gnadensee (Untersee) 1925—1931



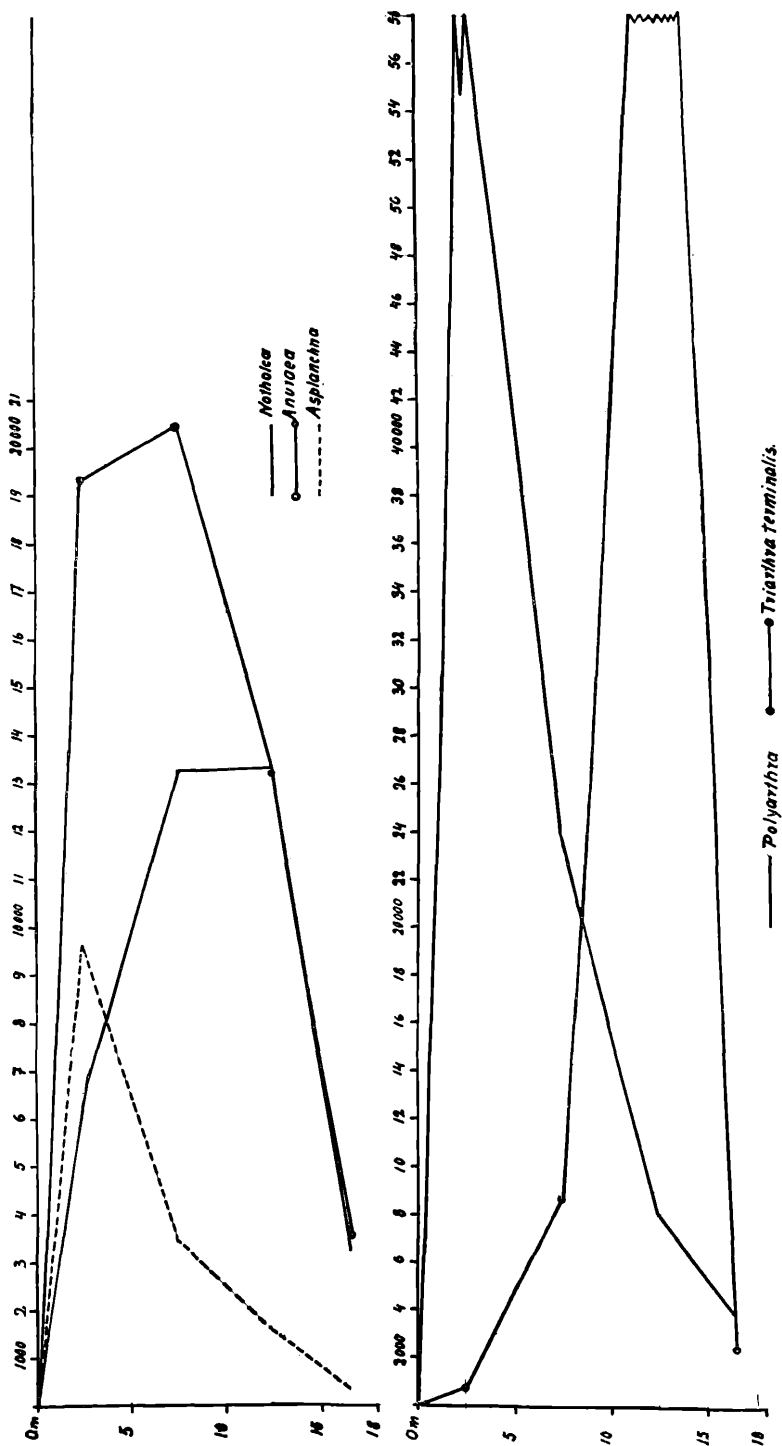
Tafel II.

AUERBACH und SCHMALZ †
 Studien über die Hydrographie und Biologie des freien Wassers
 im Gnadensee (Untersee) 1925—1931



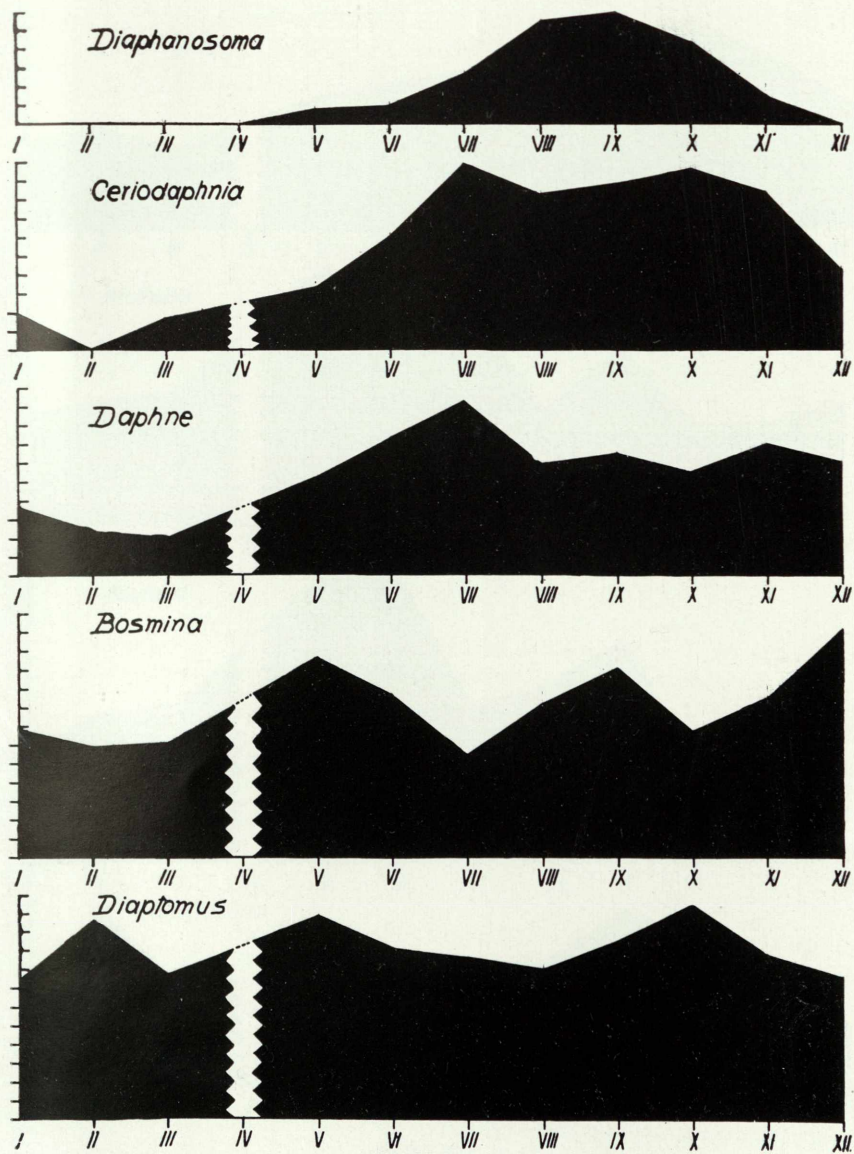
Tafel III.

ACERBACH und SCHMALZ †
 Studien über die Hydrographie und Biologie des freien Wassers
 im Gnadensee (Untersee) 1925—1931



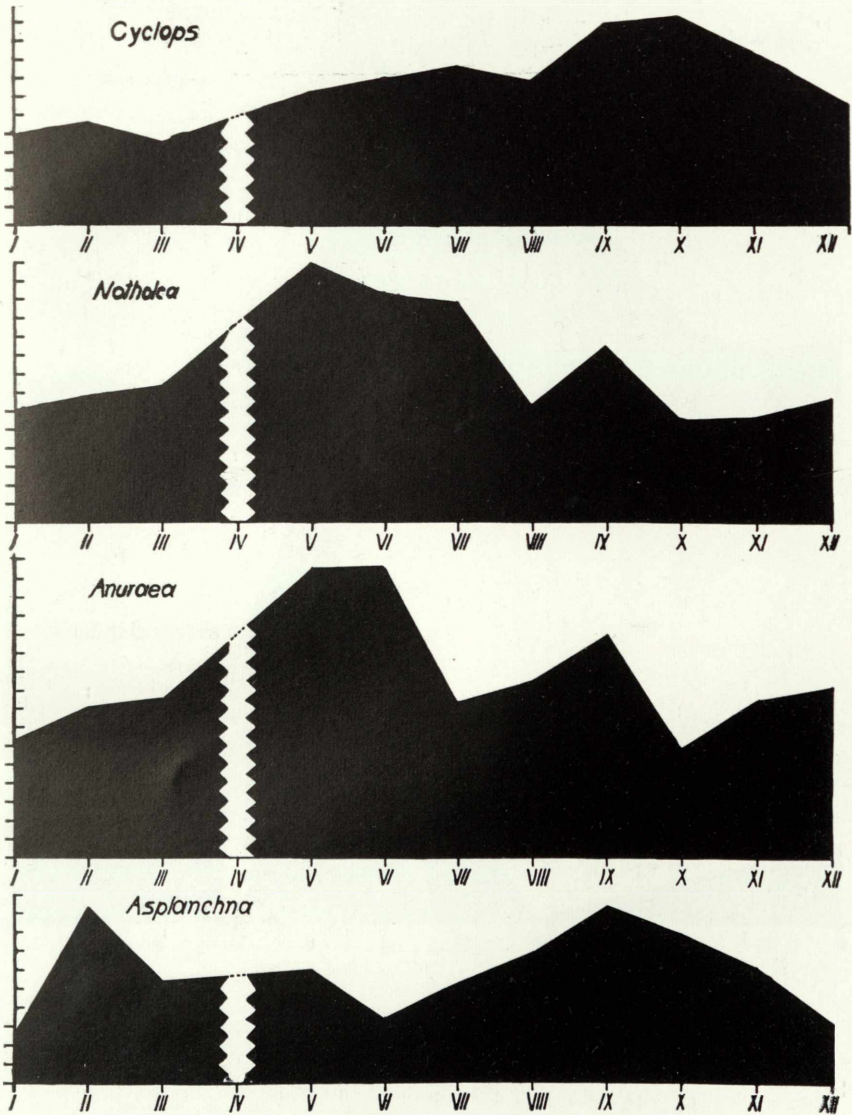
Tafel IV.

AUERBACH und SCHMALZ †
 Studien über die Hydrographie und Biologie des freien Wassers
 im Gnadensee (Untersee) 1925—1931



Tafel V.

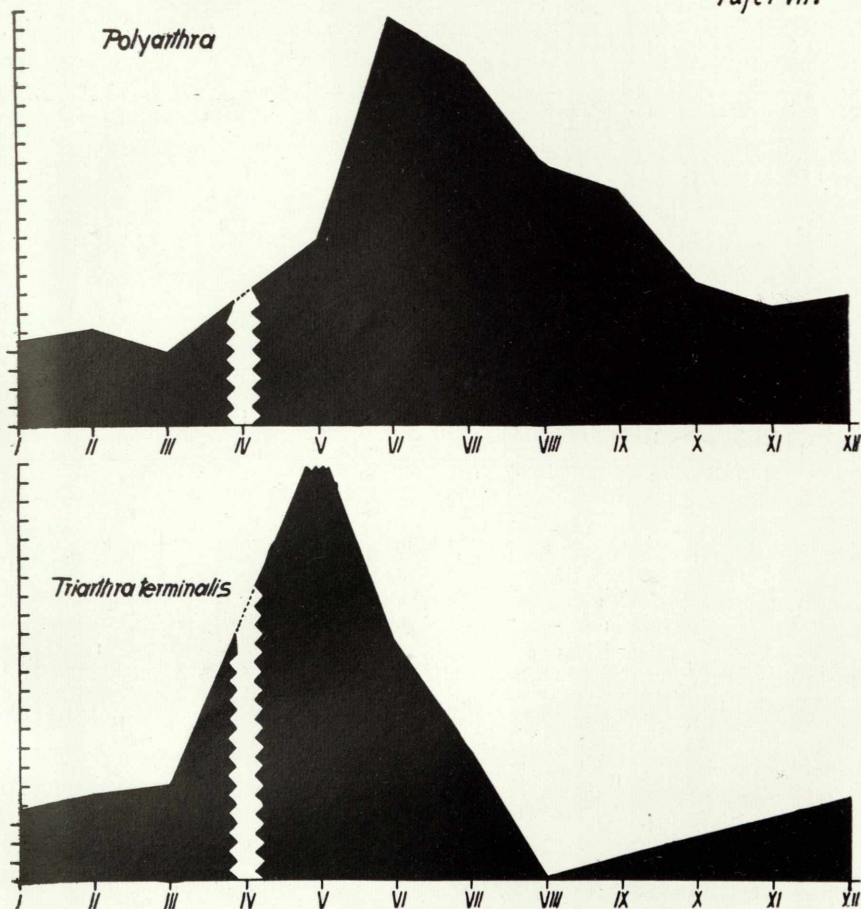
AUERBACH und SCHMALZ †
 Studien über die Hydrographie und Biologie des freien Wassers
 im Gnadensee (Untersee) 1925—1931



Tafel VI.

AUERBACH und SCHMALZ †
 Studien über die Hydrographie und Biologie des freien Wassers
 im Gnadensee (Untersee) 1925—1931

Tafel VII.



ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Beiträge zur naturkundlichen Forschung in Südwestdeutschland](#)

Jahr/Year: 1939

Band/Volume: [4](#)

Autor(en)/Author(s): Auerbach Max, Schmalz Josef

Artikel/Article: [Studien über die Hydrographie und Biologie des freien Wassers im Gnadensee \(Untersee\) 1925-1931 120-162](#)