

[Mitteilungen aus dem Süßwasserlaboratorium Frederiksdal bei Lyngby. Nr. XII.]

Chemisch-physikalische Untersuchungen der dänischen Gewässer

nebst Bemerkungen über ihre Bedeutung für unsere Auffassung der Temporalvariation.

(Schluß.)

Von

J. N. Brönsted und C. Wesenberg-Lund.

Inhaltsübersicht.

Kapitel III: Chemische Verhältnisse im Furesee: a) Sauerstoff. — b) Kohlensäure. — c) Andere Stoffe. —

Kapitel IV: Resultate der Planktonuntersuchungen: Über die Bedeutung der Sprungschicht für die Vertikalwanderungen; über Detritus, das tote Plankton und über den Kreislauf der Kieselsäure. —

Kapitel V: Chemische Untersuchungen in verschiedenen dänischen Seen im Sommer 1909: a) Kalk. — b) Kieselsäure. — — Literaturübersicht. — Summary of results.

Kapitel III. Chemische Verhältnisse im Furesee.

Die chemischen Untersuchungen, die gleichzeitig mit der Temperaturmessung ausgeführt wurden, beziehen sich hauptsächlich auf die in geologischer und biologischer Hinsicht wichtigsten Stoffe: Kalk, Sauerstoff und Kohlensäure. Auch die Kieselsäure wurde aber in den meisten Fällen bestimmt, und ferner wurden zu verschiedenen Zeiten Analysen von allen bedeutenden mineralischen Stoffen im Wasser ausgeführt.

Als Wassers schöpfer dienten zwei Apparate, einer für den Kalk und die übrigen mineralischen Stoffe, einer für Sauerstoff und Kohlensäure. Ersterer war im wesentlichen mit dem von Müller (Forschungsber. Ploën, X, 1903. p. 189) beschriebenen identisch. Für die Gase hingegen wurde ein Apparat angewandt, dessen Konstruktion aus Fig. 2 erhellt. Der Schöpfer wurde in offenem Zustand ins Wasser gesenkt, und wurde, an der Stelle angelangt, an der das Wasser zu schöpfen war, durch einen kleinen Ruck an der Leine geschlossen. Das Wasser kam also nicht bei dem Schöpfen mit Luft in Berührung und die gelösten Gase konnten somit nicht ihre Konzentration ändern.

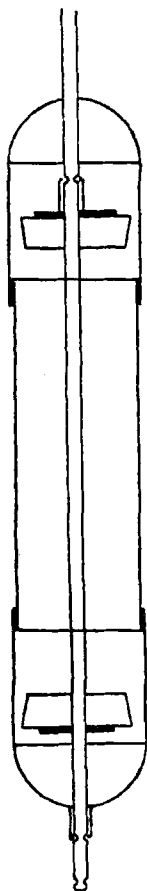


Fig. 2. Wasserschöpfer f. Gasbestimmung. Der Schöpfer wird offen (wie auf der Figur gezeigt) in die gewünschte Tiefe gesenkt, wo dann die Probeentnahme geschieht. Dann wird durch einen Ruck an der oben befestigten Leine bewirkt, daß die 2 Kautschukpfropfen den Glaszylinder verschließen.

Bei den Analysen der mineralischen Stoffe wurden die Methoden, die bei Classen (Handbuch der anal. Chemie) angegeben sind, in den meisten Fällen angewandt. Bei den Gasen benutzten wir folgendes Verfahren.

Aus der entnommenen Probe wurde das Wasser — ohne mit der Luft in Berührung zu kommen — durch ein Glasrohr und einen Kautschukschlauch in eine Batterie von drei geschlossenen und in Reihe gestellten Flaschen geleitet. Das Wasser wurde in die Flaschen durch Glasröhren, die bis zum Boden reichten, geführt, und die Luft, die in dieses Wasser allmählich ausgetrieben wurde, konnte nur höchstens im ersten Drittel des durchfließenden Wassers eine Konzentrationsänderung hervorrufen. Dieses Wasser wurde verworfen und die zwei andern Proben zur Analyse benutzt. Die Flaschen, die natürlich ganz voll waren, wurden in umgekehrter Stellung unter Wasser in Zinkgehäusen transportiert.

In der ersten Versuchsreihe wurde der Sauerstoff nach Winkler bestimmt. Sofort nach der Entnahme der Probe wurde Kaliumjodid, Manganchlorid und Natriumhydroxyd zugegeben, wodurch der vorhandene Sauerstoff in dem aus Manganhydroxyd bestehenden Niederschlag abgeschieden wird. Nach Ansäuerung der Lösung im Laboratorium, konnte der Sauerstoff dann leicht titrimetrisch (mit Thio-sulfat) bestimmt werden. In der zweiten Versuchsreihe wurde zur Sauerstoffbestimmung das von A. Krogh konstruierte Mikrotonometer benutzt, bei welcher Methode die Tension des mit dem Wasser im Gleichgewicht sich befindliche Sauerstoffs direkt gemessen wird. Unter den beiden Methoden ist wohl die Winklersche am genauesten. Die Methode

von Krogh hat aber den Vorteil, daß der Gesamtdruck der im Wasser gelösten Gase bestimmt wird.

In der ersten Versuchsreihe wurde die Kohlensäure titrimetrisch bestimmt, später benutzten wir die von Krogh modifizierte Pettersonsche Methode. Durch diese wird direkt die Kohlensäure-tension des Wassers bestimmt, wodurch sowohl größere Genauigkeit

wie auch ein besseres Maß für die Wirkung der Kohlensäure erreicht wird.

Es ist schon in der Einleitung über die Verschiedenheit der Verfahren in den beiden Versuchsreihen berichtet worden. Bei den Untersuchungen 1908—09, die von Dr. Mathiesen ausgeführt worden sind, war es möglich, die Analysen sofort nach der Probenahme zu machen, und es war dann jede Möglichkeit ausgeschlossen für die Änderung der Zusammensetzung des Wassers durch die Wirkung des Planktons. In der ersten Versuchsreihe konnten die Proben erst ein bis zwei Tage später analysiert werden. Auch hier kann aber keine bemerkenswerte Änderung der Sauerstoff- oder Kohlensäurekonzentration stattfinden, denn erstens sind die Proben im Dunkeln aufbewahrt worden, zweitens ist die Menge des Planktons immer so gering gewesen, daß selbst z. B. eine vollständige Verbrennung desselben — welche natürlich nie eintrat — die Kohlensäurespannung nur unwesentlich hätte beeinflussen können.

In den nachfolgenden Abschnitten werden die Ergebnisse der Messungen für die einzelnen Stoffe tabellarisch zusammengestellt und ihre Bedeutung für die Chemie des Sees diskutiert.

a) Sauerstoff.

Die Messungen des Sauerstoffgehaltes sind in den Tabellen 7 und 8 wiedergegeben. Unter O wird das in einem Liter Wasser gelöste Volum von Sauerstoff bei 0° und 760 mm gemessen angegeben. M ist die Tiefe in Metern ausgedrückt, t die Temperatur der Wasserschicht in Celsiusgraden. Aus den Messungen der ersten Versuchsreihe, wo der Sauerstoff titrimetrisch nach Winkler bestimmt wurde, ist O nach der Gleichung:

$$O = 5600 \frac{v \cdot n}{V}$$

berechnet, wo n die Normalität der benutzten Thiosulfatlösung, v das benutzte Volum von derselben Lösung, und V das Volum der Wasserprobe bedeutet. In der zweiten Versuchsreihe wurde direkt der Druck, der gelösten Luft und der Prozentgehalt derselben an Sauerstoff bestimmt. Wenn ersterer in Zentimeter Wasser 1034 + h (der Druck von 1034 cm Wasser entspricht einer Atmosphäre) ist, und n die Prozentzahl und α_t den Absorptionskoeffizienten des Sauerstoffs bei t° bedeutet, läßt sich O nach dem Ausdruck:

$$O = \alpha_t \cdot \frac{1034 + h}{1034} \cdot \frac{n}{100}$$

berechnen.

Tabelle 7.

Tabelle über den Sauerstoffgehalt des Furesees im Zeitraume
Juni 1906 bis Oktober 1907.

	M	t	O	O'	Δ		M	t	O	O'	Δ
15. VI. 06	0	17,3	6,65	6,11	0,54	26. III. 07	0	2,1	8,55	8,20	+ 0,35
	12	12,4	6,81	6,54	0,25		13	2,1	8,55	8,20	+ 0,35
	15	8,5	7,16	7,05	0,09		25	2,1	8,55	8,20	+ 0,35
	28	6,9	5,84	7,30	- 1,46		28	2,1	8,55	8,20	+ 0,35
23. VII. 06	0	17,5	6,28	6,09	0,19	30. IV. 07	0	5,5	8,41	7,55	0,86
	13	15,8	6,26	6,20	0,06		15	5,6	8,36	7,53	0,83
	15	9,5	5,82	6,90	- 0,08		30	5,7	8,56	7,51	1,05
	27	7,1	3,83	7,27	- 3,44	21. V. 07	0	10,4	7,73	6,78	0,95
8. VIII. 06	0	19,4	6,41	5,98	0,43		12	7,8	7,88	7,14	0,74
	13	16,5	5,68	6,16	- 0,48		24	7,0	7,48	7,28	0,20
	17	8,2	4,63	7,08	- 2,45	11. VI. 07	0	14,5	7,34	6,32	1,02
	31	7,2	2,93	7,26	- 4,33		10	11,0	7,35	6,70	0,65
24. VIII. 06	0	16,7	6,50	6,14	0,36		20	10,5	7,07	6,77	0,30
	13	16,3	6,41	6,17	0,24		30	10,3	6,96	6,80	0,16
	17	9,7	5,46	6,87	- 1,41	30. VI. 07	0	14,6	7,11	6,31	0,80
	28	7,4	2,00	7,22	- 5,22		10	14,1	6,98	6,36	0,62
12. IX. 06	0	15,0	6,68	6,27	0,41		20	10,8	5,92	6,72	- 0,80
	13	15,4	6,64	6,24	0,40		30	10,4	5,67	6,78	- 1,11
	17	15,1	6,51	6,26	0,25	16. VII. 07	0	18,4	6,70	6,04	0,66
	30	7,7	1,05	7,15	- 6,10		10	15,1	6,61	6,26	0,35
5. X. 06	0	12,8	6,73	6,48	0,25		20	11,6	6,38	6,63	- 1,25
	13	12,8	6,55	6,48	0,07		30	11,0	4,94	6,70	- 1,96
	17	12,8	6,73	6,48	0,25	9. VIII. 07	0	15,8	6,51	6,20	0,31
	30	7,4	1,10	7,22	- 6,12		10	15,6	6,47	6,22	0,25
19. X. 06	0	11,5	6,95	6,64	0,31		20	12,3	3,99	6,55	- 2,56
	13	11,5	6,90	6,64	0,24		30	11,2	2,38	6,68	- 4,40
	17	11,5	6,90	6,64	0,24	29. VIII. 07	0	14,9	6,69	6,28	0,41
	32	7,3	1,25	7,25	- 6,00		10	14,5	6,56	6,32	0,24
13. XI. 06	0	8,4	7,28	7,06	0,22		23	14,4	6,53	6,33	0,20
	13	8,4	7,32	7,06	0,26		33	10,8	0,92	6,72	- 5,80
	24	8,4	7,34	7,06	0,28	26. IX. 07	0	13,6	6,76	6,40	0,36
	30	8,3	7,38	7,07	0,31		10	13,4	6,66	6,43	0,23
10. XII. 06	0	5,2	7,83	7,60	0,23		20	13,4	6,49	6,43	0,06
	13	5,2	7,81	7,60	0,21		34	13,4	6,47	6,43	0,04
	24	5,2	7,82	7,60	0,22	29. X. 07	0	5,5	6,85	7,55	- 0,70
	30	5,2	7,83	7,60	0,23		10	5,5	6,81	7,55	- 0,74
14. I. 07	0	2,0	8,93	8,22	0,71		20	5,5	6,79	7,55	- 0,76
	24	1,8	8,24	8,25	- 0,01		33	5,5	6,83	7,55	- 0,66

Tabelle 8.

Tabelle über den Sauerstoffgehalt des Furesees im Zeitraume
August 1908 bis Juli 1909.

	M	t	n	h	t'	O	O'	Δ
18. VIII. 08	0	19,0	20,8	— 30	18,1	5,81	6,01	— 0,20
	10	18,1	17,6	— 30	18,1	4,92	6,05	— 1,13
	20	11,4	9,6	0	17,8	2,77	6,63	— 3,86
	32	10,9	10,9	0	17,5	3,16	6,68	— 3,52
2. IX. 08	0	16,8	20,8	— 20	13,1	6,26	6,13	+ 0,13
	10	16,3	19,7	— 15	13,1	5,95	6,17	— 0,22
	20	9,9	16,6	0	13,1	5,10	6,85	— 1,75
	32	9,8	14,5	0	11,1	4,22	6,86	— 2,64
8. IX. 08	20	10,1	15,0	0	18,8	4,31	6,83	— 2,52
	32	9,9	11,2	0	18,8	3,21	6,85	— 3,64
15. IX. 08	0	14,2	20,1	0	14,5	6,05	6,35	— 0,30
	10	14,3	19,6	0	15,0	5,85	6,34	— 0,49
	20	10,2	10,5	0	15,0	3,14	6,82	— 3,68
	31	9,9	9,3	— 15	14,8	2,75	6,85	— 4,10
29. IX. 08	0	13,4	20,0	0	15,0	5,98	6,43	— 0,45
	10	13,5	18,8	0	15,0	5,62	6,42	— 0,80
	20	12,8	17,6	0	15,0	5,26	6,48	— 1,22
	32	9,5	8,4	— 5	15,0	2,51	6,90	— 4,39
4. X. 08	0		13,7	5	10,0			
	10		19,9	5	9,4	6,57		
	20		20,2	10	8,8	6,81		
	34		18,6	10	8,8	6,27		
13. X. 08	0	12,9	18,9	5	8,8	6,34	6,47	— 0,13
	10	13,0	18,7	0	8,8	6,22	6,57	— 0,35
	26	ca. 10	11,1	0	8,8	3,70	6,83	— 3,13
3. XI. 08	34	9,5	18,6	?	8,8	6,19	6,90	— 0,71
29. XI. 08	0	4,9	18,3	50	8,8	6,39	7,65	— 1,26
	10	4,9	20,7	50	8,8	7,23	7,65	— 0,42
	20	4,8	20,5	50	11,9	6,73	7,67	— 0,95
	25	4,8	20,7	50	11,3	6,89	7,67	— 0,78
16. XII. 08	0	4,0	21,2	50	14,0	6,72	7,81	— 1,09
	10	4,0	22,2	70	15,0	7,09	7,81	— 0,72
	20	4,0	22,5	75	14,0	7,30	7,81	— 0,51
	31	4,0	21,9	75	14,0	7,09	7,81	— 0,72
5. I. 09	0	1,2	22,4	70	10,5	6,63	8,39	— 1,76
	10	1,5	23,1	75	10,5	8,02	8,33	— 0,31
	20	1,3	19,6	80	10,4	6,83	8,37	— 1,54
	32	1,5	19,5	85	11,0	6,73	8,33	— 1,60
19. I. 09	0	0,9	21,9	95	13,5	7,30	8,45	— 1,15
	10	0,9	22,5	100	14,5	7,49	8,45	— 0,96
	20	0,9	23,0	115	14,2	7,73	8,45	— 0,72
	32	0,8	23,4	120	14,3	7,98	8,47	— 0,45
16. II. 09	0	1,2	22,1	200	13,2	8,07	8,39	— 0,32
	10	1,2	22,2	175	13,2	7,95	8,39	— 0,44
	20	1,2	22,8	150	13,2	7,99	8,39	— 0,40
	32	1,3	22,2	150	13,2	7,79	8,37	— 0,58

	M	t	n	h	t'	O	O'	Δ
9. III. 09	0	1,7	21,9	165	13,0	7,83	8,28	—0,45
	10	1,8	23,6	175	13,0	8,51	8,26	+0,25
	20	2,0	22,3	175	13,0	8,05	8,22	—0,17
	30	2,2	23,3	185	13,0	8,40	8,18	+0,22
14 IV. 09	0	2,8	22,3	140	12,5	7,84	8,04	—0,20
	10	2,8	23,6	135	13,0	8,22	8,04	+0,18
	20	2,7	24,2	130	13,0	8,60	8,06	+0,54
	33,5	2,8	21,7	130	13,5	7,46	8,04	—0,58
11. V. 09	0	8,0	20,8	90	10,0	7,35	7,13	+0,22
	10	7,0	20,8	90	10,0	7,35	7,28	+0,07
	20	6,2	21,6	90	10,0	7,63	7,43	+0,20
	30	5,6	21,0	90	10,0	7,42	7,52	—0,10
15. VI. 09	0	14,0	19,4	40	20,6	5,71	6,37	—0,66
	10	11,8	19,2	60	20,6	5,75	6,61	—0,86
	20	10,2	19,4	70	20,6	5,87	6,82	—0,95
	33	10,3	19,6	50	20,6	5,81	6,80	—0,99
29. VI. 09	0	17,4	18,6	45	20,6	5,49	6,10	—0,61
	10	14,2	18,9	50	20,6	5,61	6,35	—0,74
	20	10,5	18,9	65	20,6	5,70	6,77	—1,07
	32	10,3	17,1	75	20,6	5,20	6,80	—1,60
28. VII. 09	0	15,7	19,6	40	15,3	6,07	6,22	—0,15
	10	15,2	19,4	25	15,3	5,92	6,26	—0,34
	20	10,9	15,0	25	15,3	4,59	6,72	—2,13
	33	10,7	13,3	15	15,3	4,02	6,75	—2,73

Der Absorptionskoeffizient des Sauerstoffs oder das in einem Liter Wasser bei Atmosphärendruck gelöste Volum der Gase, bei 0° und 760 mm gemessen, ist graphisch bestimmt mittels der vorliegenden Daten. Die benutzten Werte sind folgende:

Tabelle 9.

t	αt	t	αt
0	41,2	12	31,3
2	39,2	14	30,3
4	37,2	16	29,5
6	35,4	18	20,8
8	33,9	20	20,4
10	32,5		

Neben den in dieser Weise gefundenen Zahlen für die Sauerstoffmenge, ist unter O' in den Tabellen 7 und 8 die Sauerstoffmenge angeführt, die dem Gleichgewicht mit der Atmosphäre entsprechen würde, bei der einschlägigen Temperatur der Wasserschicht samt dem Unterschiede Δ zwischen O und O'.

In Tabelle 8 bedeutet t' die Temperatur, bei der die Analyse ausgeführt worden ist. Die Bedeutung der übrigen Zeichen sind früher erklärt.

Ein Blick auf die Tabellen zeigt uns nun zuerst, daß es eine Periode gibt, wo der Sauerstoffgehalt des Wassers praktisch derselbe ist in allen Tiefen des Sees. 1906 ist dies der Fall zum ersten Male Anfang November (13. XI.) und dauert bis Mai im nächsten Jahre fort, während in der zweiten Versuchsreihe die Periode ebenfalls im November (29. XI. 1908) beginnt und bis Juni (29. VI. 1909) dauert. Diese Zeiten fallen im wesentlichen mit der Vollzirkulationsperiode zusammen, so wie diese aus der Temperaturkurve, wie oben gezeigt, hervorgehen, und das Verhältnis ist somit einfach eine Folge der steten Durchmischung des Wassers. Wenn diese Wirkung beim Eintreten der Frühjahrstagnationsperiode aufhört, werden die Faktoren, die den Gehalt an Sauerstoff beeinflussen können, beginnen sich geltend zu machen. Wir bemerken so am 21. V., 11. VI. und sehr ausgeprägt am 30. VI. 1907 eine Abnahme der Sauerstoffmenge mit wachsender Tiefe. Diese Verminderung dauert den ganzen Sommer fort (so z. B. 8. VIII, 24. VIII. 1906, 30. VI., 16. VII., 9. VIII. 1907, 2. IX. 1908, 28. VII. 1909), wird aber natürlich durch die nach der Erreichung des Temperaturmaximums eintretenden Teilzirkulation, bei der nur die tieferen Schichten ungestört bleiben, teilweise verhüllt werden. Während z. B. die stetige Abnahme der Sauerstoffmenge am 8. VIII. 1906 sehr deutlich ist, ist schon 14 Tage später die Konzentration an der Oberfläche und in 13 m identisch. Am 12. IX. und 5. X. ist auch die Schicht in 17 m an der Zirkulation beteiligt, wie sowohl die Temperatur- wie die Sauerstoffmessungen übereinstimmend anzeigen, und nur die tiefsten Schichten sind noch sowohl in bezug auf Temperatur wie Sauerstoffkonzentration von den oberen aufs deutlichste verschieden.

Es geht aus den Messungen hervor, daß der Sauerstoffgehalt in den Bodenschichten, die an der Zirkulation nicht teilnehmen, außerordentlich stark sinkt. Während der Monate August bis Oktober sinkt die Sauerstoffmenge auf $\frac{1}{2}$ bis $\frac{1}{3}$ des normalen Wertes an der Oberfläche. Das Verhalten wird durch die in nachstehender Tabelle 10 verzeichneten Zahlen illustriert, von welchen die unter D und T angegebenen die Differenz der Sauerstoffmengen bzw. an der Oberfläche und am Boden bedeuten. Gleichzeitig werden die Verhältnisse durch die beistehende graphische Darstellung (Fig. 3) erläutert. In dieser, die sich auf die erste Versuchsreihe (1906—07) bezieht, wird als Abscisse die Zeit (Monate), als Ordinate die Sauerstoffzahlen verwendet. Die voll ausge-

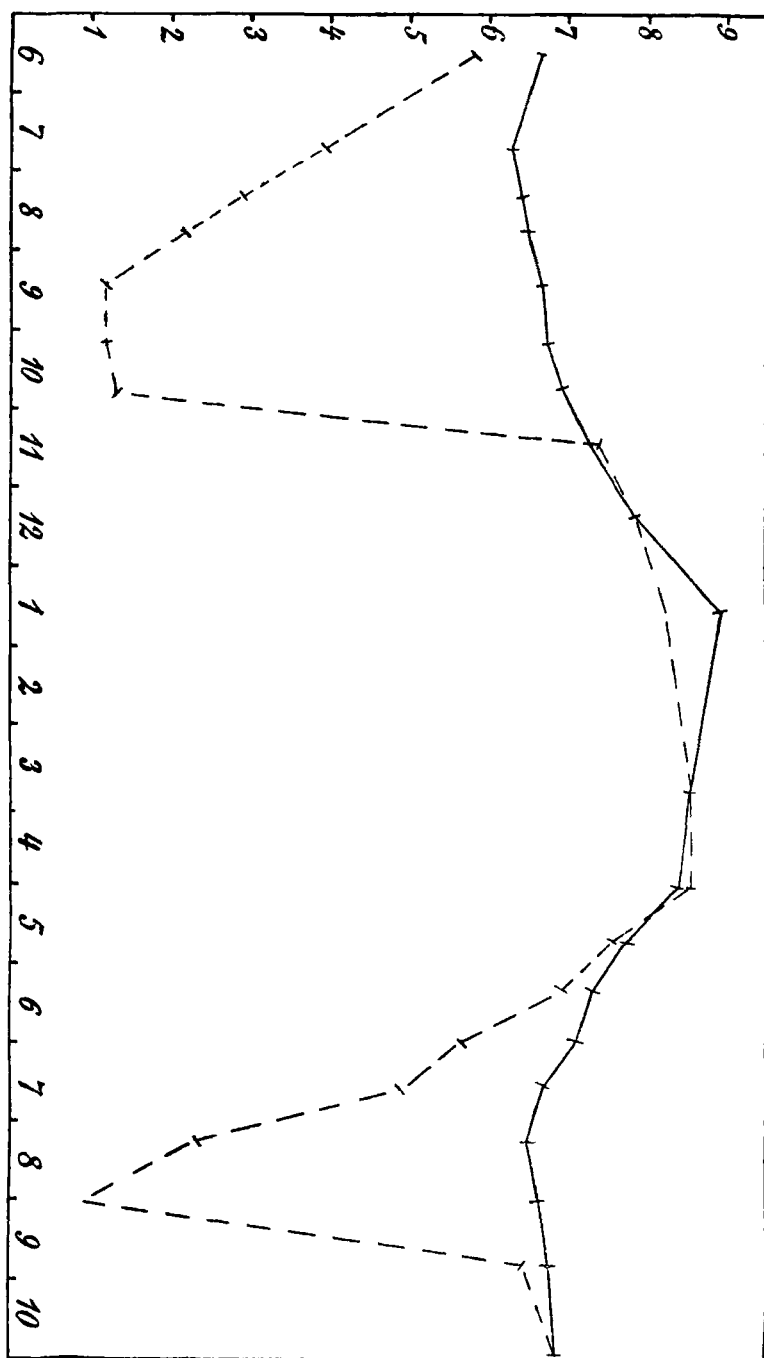


Fig. 8. Graphische Darstellung des Stickstoffgehaltes des Furesø in der Oberflächenschicht — und in der Bodenschicht ..
vom 16. VI. 1906 bis 29. X. 1907.

zogene Linie gilt für die Oberflächen-, die punktierte für die Bodenschicht.

Tabelle 10.

Zeit (1906)	D	T
27. VII.	2,45	10,4
8. VIII.	3,48	12,2
24. VIII.	4,50	9,3
12. IX.	5,63	7,3
5. VI.	5,63	5,4
19. X.	5,70	4,2
13. XI.	-0,10	0,1
10. XII.	0,00	0,0

Während die Temperaturdifferenz in dieser Periode stetig vermindert wird, wobei sie doch immer bis Anfang November so groß ist, daß die untere Schicht stagniert, ist die Größe D bis zur selben Zeit steigend, wegen des Verbrauchs von Sauerstoff in der unteren Schicht. Am 13. XI. ist die Sauerstoffdifferenz verschwunden, und wir haben hierin für das Beginnen der Zirkulation einen Beweis, von sogar bedeutend schärferem Charakter als die Identität der Temperaturen in den beiden Schichten.

Die Steigung des Kohlensäuregehaltes, die die hier erörterte Erscheinung begleitet, und die später näher besprochen werden soll, zeigt deutlich, daß die Oxydation von suspendierten oder gelösten organischen Stoffen hier der maßgebende Faktor ist.

Was hier für den Sauerstoff entwickelt worden ist, wird in den Hauptzügen, wie zu erwarten, auch bei den andern chemischen Stoffen des Sees wiedergefunden. Die spezifische Wirkung, die insbesondere an der Oberfläche und am Boden bei der chemischen Zusammensetzung des Wassers sich geltend macht, wird durch die Zirkulation des Wassers verschleiert und läßt sich somit nur in der Stagnations- oder Teilzirkulationsperiode studieren.

Die chemische Schichtung wie die hier erörterte ist einige Male z. B. von Pfenninge und Caspary beobachtet worden.

Wenn wir nun die gefundenen Sauerstoffzahlen mit den der Sättigung unter den vorhandenen Bedingungen entsprechenden vergleichen (Tabelle 7 und 8, Kolonne O'), so werden wir gewöhnlich nur geringe Differenzen konstatieren, wenn wir die Oberflächenschicht oder die an der Zirkulation teilnehmenden Schichten betrachten. In der ersten Versuchsreihe sind die Sauerstoffwerte durchgängig höher als die theoretischen, und im Frühjahr 1907 ist der Überschuß sogar beträchtlich. In der zweiten Versuchsreihe ist das entgegengesetzte der Fall. Wir finden

hier gewöhnlich weniger Sauerstoff als dem Sättigungsgrade entspricht. November 1908 bis Januar 1909 zeigt eine sehr bedeutende Differenz, die Messungen sind aber hier, wegen des großen Absorptionskoeffizienten von besonderer Schwierigkeit, und ein Fehler in den Messungen scheint hier nicht ganz ausgeschlossen.

Es läßt sich jedoch als Resultat dieser Messungen feststellen, daß die zirkulierenden Wasserschichten im großen und ganzen in ungefährem Gleichgewicht mit der Atmosphäre sich befinden. Daß sowohl eine Steigung des Absorptionskoeffizienten bei sinkender Temperatur, wie eine Abnahme desselben bei steigender, von dem See durch eine Steigung bzw. eine Abnahme des Sauerstoffgehalts beantwortet wird, zeigt, daß das Gleichgewicht, das bei der Berührung mit der Atmosphäre angestrebt wird, schnell und sicher erfolgt. Und es geht gleichzeitig daraus hervor, daß die Aufnahme und Abgabe von Sauerstoff an der Oberfläche den bei weitem wichtigsten Faktor für den Sauerstoffgehalt des Sees darstellt.

Ähnliche große Sauerstoffmengen, die bisweilen von anderen Forschern (Weith, Knudsen u. a., siehe auch Halbfäß, Beitr. z. Kenntn. d. pomm. Seen, 1901, S. 95) gefunden sind, und die auf die Kohlensäure assimilierende Wirkung des Phytoplanktons zurückzuführen sind, haben wir nie konstatieren können, und wir müssen annehmen, daß diese Wirksamkeit nur unter ganz besonderen Umständen von Bedeutung, und im Furesee jedenfalls immer belanglos sei. Unsere Resultate stimmen aufs beste mit Forel und Halbfäß, die im Genfersee und in den Pommerschen Seen nur ganz vereinzelt Sauerstoffwerte bestimmt haben, die die Sättigungskonzentration wesentlich übersteigen. Es muß jedoch hier angeführt werden, daß die von Halbfäß benutzten Absorptionskoeffizienten mit den von uns benutzten nicht identisch sind, und daß er nach unserem Erachten einen zu kleinen Überschuß an gelöstem Sauerstoff berechnet.

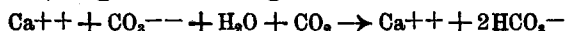
Die außerordentlich kleinen Sauerstoffmengen, die, wie oben erwähnt, in den tiefsten Schichten in der Stagnationsperiode vorhanden sind, entsprechen dagegen abnormen, von einem Gleichgewichtszustand weit entfernten Konzentrationen. Die Erscheinung steht jedoch nicht allein. In den pommerschen Seen hat Halbfäß am Boden 2 cm und weniger gefunden, und Mühlen hat ähnliche geringe Sauerstoffmengen in einer Reihe, und zwar hauptsächlich kleiner und seichter Seen, gemessen. Wir werden im nächsten Kapitel darauf zurückkommen.

A. Lebedinzew hat konstatiert, daß der Sauerstoffgehalt, insbesondere in kleinen Seen im Laufe des Winters stets abnimmt, wenn

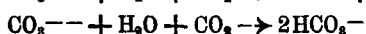
der See zugefroren ist und am stärksten, wenn er zugleich von Schnee bedeckt ist. Wie unsere Sauerstofftabellen zeigen, haben wir nicht in der Zeit, in welcher der Furesøe zugefroren war (Februar bis April 1909), Abweichungen vom normalen Sauerstoffgehalt finden können.

b) Kohlensäure.

Während der Sauerstoff in freiem Zustande oder „physikalisch“ gelöst im Wasser zugegen ist, wird der größte Teil der im Wasser vorhandenen Kohlensäure von gelöstem Kalk chemisch gebunden werden. Der Vorgang, der bei der Lösung von Kohlensäure stattfindet, kann, wenn die beinahe vollständige elektrolytische Dissoziation der Salze berücksichtigt wird, folgendermaßen geschrieben werden:



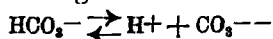
oder:



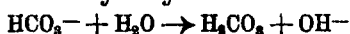
woraus es erhellt, daß das im Salze enthaltene Metall für die Reaktion ohne Bedeutung ist. Die Kohlensäure wird in gleicher Weise gebunden werden, ob eine Lösung von Calciumkarbonat oder etwa ein Gemisch von Calciumkarbonat und Magnesiumkarbonat vorliegt.

Der hier erörterte Vorgang verläuft aber nicht vollständig, es wird vielmehr im Gleichgewicht sowohl CO_3^{--} -Ionen wie besonders freie Kohlensäure: CO_2 zugegen sein. Ferner wird Kohlensäurehydrat H_2CO_3 in gewisser Menge gebildet werden. Die Konzentration dieser Stoffe im Gleichgewicht wird bestimmt sein, wenn der Salzgehalt und die Kohlensäurespannung gegeben ist, und umgekehrt wird die letztere bestimmt sein durch die Konzentration der übrigen in der Lösung vorhandenen Molekülararten. Diese Kohlensäurespannung ist, wie oben erwähnt, in der zweiten Versuchsreihe und in dem letzten Teil der ersten direkt gemessen worden, während die analytische Methode anfangs eine einfache Titrierung war. Die Ergebnisse dieser Messungen sind theoretisch nicht voneinander unabhängig, und da die Gesetze, wonach dieser Zusammenhang geregelt wird, von Bedeutung für die im Seewasser und mit der Atmosphäre eintretenden Gleichgewichte sind, sollen die einschlägigen Prinzipien hier kurz erörtert werden.

Während das Calciumkarbonat in reinem Wasser außerordentlich schwerlöslich ist (1 Liter wird etwa 1,3 mg bei gewöhnlicher Temperatur lösen), wird das Vorhandensein von freier Kohlensäure eine stark erhöhte Löslichkeit hervorrufen. Das Wasser wird dann nur wenige CO_3^{--} -Ionen, aber viele HCO_3^- -Ionen enthalten, und es wird zwischen diesen beiden ein Gleichgewicht:



eintreten. Das Ion HCO_3^- ist aber von so schwach saurem Charakter, daß mit Wasser auch eine Hydrolyse nach dem Schema:



eintreten kann, und dem Wasser die alkalische Reaktion mitgeteilt werden wird.

Wenn nur wenig Kohlensäure vorhanden, wird das Wasser z. B. gegen Phenolphthalein alkalisch, d. h. es wird vom Indikator rot gefärbt, mit viel Kohlensäure wird dagegen keine Färbung eintreten. Wir haben beide Fälle beim Wasser im Furesee gefunden.

Mittels verschiedener physikalisch-chemischer Daten sind für die genannten Reaktionen die Gleichgewichtskonstanten:

$$k_1 = \frac{[\text{H}^+] \cdot [\text{CO}_3^{--}]}{[\text{HCO}_3^-]} = 1,30 \times 10^{-11}$$

berechnet worden, wo $[\text{H}^+]$ die Konzentration des Wasserstoffions (als Grammionen im Liter ausgedrückt) und entsprechend für die übrigen Stoffe bedeutet, ferner:

$$k_2 = \frac{[\text{H}^+] \cdot [\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]} = 3,04 \times 10^{-7}$$

und:

$$k_3 = [\text{H}^+] \cdot [\text{OH}^-] = 1,02 \times 10^{-7}$$

Hieraus läßt sich die Hydrolysekonstante berechnen:

$$k_4 = \frac{k_2}{k_3} = \frac{[\text{OH}^-] \cdot [\text{H}_2\text{CO}_3]}{[\text{HCO}_3^-]} = 0,34.$$

Die Zahlen gelten für die Temperatur $t = 24,0^\circ$.

Z. B. mittels k_2 läßt sich die Kohlensäurespannung theoretisch berechnen. Wenn wir nun annehmen, daß eine Wasserprobe vorliege, die gerade merkbar rot von Phenolphthalein gefärbt wird, dann wird die Wasserstoffionkonzentration derselben gleich 10^{-8} sein. Die Alkalinität, die mit der HCO_3^- -Ionkonzentration wesentlich identisch ist, hat im Wasser des Furesees den Mittelwert 0,0026, und wir finden dann:

$$[\text{H}_2\text{CO}_3] = \frac{10^{-8} \times 0,0026}{3 \times 10^{-7}} = 0,00009.$$

Dieser Kohlensäurekonzentration entspricht in der Atmosphäre eine Kohlensäurekonzentration von 0,2 oder einer Kohlensäuretenion von 20 (indem die Tension in $\frac{1}{11}$ Vol. % von Luft von Atmosphärendruck angegeben wird). Eine Spannung dieser Größe ist mehrfach beobachtet worden, aber nur bei Wasser mit deutlich saurem Charakter. Das Wasser ist gewöhnlich viel alkalischer, und die obigen Zahlen dürften mithin kaum die wirklichen Verhältnisse genau wiedergeben. Zu bemerken ist jedoch, daß die Berechnung für $t = 24$ durchgeführt ist, eine Temperatur, bei der die CO_2 -tension natürlich bedeutend größer ist als bei den gewöhnlichen, ferner daß eine geringe Änderung in der

Wasserstoffkonzentration eine viel größere Änderung in der Kohlensäuretonsen hervorruff, so daß die theoretisch mögliche Berechnung der Kohlensäuretonsen mittels titrimetischer Messungen hier kaum durchgeführt werden kann. Aus den letzteren wird jedoch die Änderung des Kohlensäuregehalts bei wechselnder Tiefe und wechselnder Zeit mit hinreichender Deutlichkeit hervorgehen, und sie sind in dieser Hinsicht eine Stütze für die bei den Tensionsmessungen gefundenen Zahlen.

In der Tabelle über den Kohlensäuregehalt sind in der 2. Kolonne die mit 10^5 multiplizierten Kohlensäuremengen, als Äquivalentnormalität „freier Kohlensäure“ ausgedrückt, verzeichnet. Die Zahlen sind durch Titration mit Natriumkarbonatlösung bestimmt. Im Falle alkalischer Reaktion wurde mit Salzsäure neutralisiert, und die entsprechenden Zahlen sind dann mit einem — versehen. Unter p_{CO_2} ist die Kohlensäurespannung angegeben. Eine graphische Darstellung der Kohlensäurespannung ist in Fig. 4 enthalten, in der die obere Kurve auf die Bodenschicht, die untere auf die Oberflächenschicht sich bezieht.

Wir konstatieren zuerst wie beim Sauerstoff die konzentrationsausgleichende Wirkung der Zirkulation. Bis zum 19. Oktober 1906 ist das Wasser chemisch geschichtet in bezug auf Kohlensäure, während die Messung am 13. November und die folgenden gleichen Gehalt aufweisen. Ähnliches zeigt sich bei den Messungen vom 29. August 1907, 13. Oktober 1908 und den nachfolgenden Messungen. Die chemische Schichtung für Kohlensäure hat dieselbe Dauer wie für Sauerstoff, und beide verschwinden gleichzeitig mit der thermischen Schichtung.

Wir bemerken ferner — wie es sowohl aus den titrimetrischen wie aus den tensimetrischen Messungen hervorgeht — die außerordentlich große Steigerung des Kohlensäuregehalts in der Stagnations- und Teilzirkulationsperiode in der Nähe des Bodens. Vergleich mit den Sauerstoffzahlen zeigt, daß die Vermehrung der Kohlensäure und die Verminderung des Sauerstoffs ganz parallel laufen. Proportionalität in dieser Änderung ist aber nicht vorhanden, indem die Kohlensäure ziemlich schnell den maximalen Wert erreicht, während die Sauerstoffmenge hernach weiter abnehmen kann. Da es aber unzweifelhaft ist, daß die beiden Änderungen genau zusammengeknüpft sind, wollen wir den quantitativen Zusammenhang unter der Voraussetzung untersuchen, daß alle Kohlensäure durch Oxydation von Kohlenstoffverbindungen mittels des gelösten Sauerstoffs gebildet wurde.

Es ist natürlich nicht gleichgültig, welche chemische Verbindung oxydiert wird. Wenn aber Wasser- und Sauerstoff im Verhältnis 2:16

Tabelle 11.

Tabelle über den Kohlensäuregehalt des Furesus im Zeitraume:
Juni 1906 — Oktober 1907 und August 1908 — Juli 1909.

M CO ₂ · 10 ⁻⁵ t			M pCO ₂ t			M pCO ₂ t					
15. VI. 06	0	- 5	17,3	16. VII. 07	0	7,4	18,4	16. XII. 08	0	4,9	4,0
	12	- 5	12,4		10	10,5	15,1		10	6,2	4,0
	15	0	8,5		20	15,6	11,6		20	4,4	4,0
	28	+ 16	6,9		30	23,1	11,0		32	7,0	4,0
23. VII. 06	0	- 8	17,5	9. VIII. 07	0	5,2	15,8	5. I. 09	0	4,5	1,2
	13	- 5	15,8		10	6,5	15,6		10	5,2	1,5
	15	+ 4	9,5		20	8,2	12,3		20	5,1	1,3
	27	+ 13	7,1		30	31,0	11,2		30	5,2	1,5
8. VIII. 06	0	- 11	19,4	29. VIII. 07	0	6,1	14,9	19. I. 09	0	4,7	0,9
	13	- 7	16,5		10	6,3	14,5		10	6,7	0,9
	17	+ 1	8,2		23	7,7	14,4		20	4,2	0,9
	31	+ 22	7,2		33	34,9	10,8		32	5,3	0,8
24. VIII. 05	0	- 13	16,7	26. IX. 07	0	5,6	13,6	16. II. 09	0	4,3	1,2
	13	- 10	16,3		10	5,9	13,4		10	4,8	1,2
	17	- 1	9,7		20	6,6	13,4		20	5,5	1,2
	28	+ 18	7,4		34	9,4	13,4		32	5,8	1,3
12. IX. 06	0	- 7	15,0	29. X. 07	0	7,5	5,5	9. III. 09	0	2,8	1,7
	13	- 8	15,4		10	7,5	5,5		10	3,8	1,8
	17	- 3	15,1		20	7,6	5,5		20	4,2	2,0
	30	+ 21	7,7		33	7,8	5,5		30	5,5	2,2
5. X. 06	0	0	12,8	18. VIII. 08	0		19,0	14. IV. 09	0	1,2	2,8
	13	- 2	12,8		10	6,4	18,1		10	2,8	2,8
	17	- 1	12,8		20	19,6	11,4		20	2,4	2,7
	30	+ 18	7,4		32	28,3	10,9		34	4,6	2,8
19. X. 06	0	0	11,5	8. IX. 08	0	4,8	15,8	11. V. 09	0	2,5	8,0
	13	0	11,5		10	6,7	15,5		10	1,8	7,0
	17	- 3	11,5		20	21,4	10,1		20	2,0	6,2
	32	+ 33	7,3		33	28,4	9,9		32	5,0	5,6
13. XI. 06	0	- 3	8,4	15. IX. 08	0	4,2	14,2	15. VI. 09	0	4,0	14,0
	13	- 3	8,4		10	6,6	14,3		10	4,5	11,8
	24	- 1	8,4		20	24,2	10,2		20	4,8	10,2
	30	0	8,3		32	28,7	9,9		33	7,9	10,3
10. XII. 06	0	0	5,2	29. IX. 08	0	4,1	13,4	29. VI. 09	0	4,0	17,4
	13	- 5	5,2		10	5,8	13,5		10	5,2	14,2
	24	- 5	5,2		20	8,6	12,8		20	8,2	10,5
	30	- 5	5,2		32	23,2	9,5		32	12,0	10,3
14. I. 07	0	- 4	2,0	13. X. 08	10	5,7	12,9	28. VII. 09	0	0(?)	15,7
	24	- 3	1,8		20	8,9	13,0		10	6,3	15,2
30. IV. 07	0	- 8	5,5	3. XI. 08	28	20,7	ca. 10		20	11,1	10,9
	15	- 8	5,6		0	12,5	9,9		33	27,6	10,7
	30	- 8	5,7		10	9,8	9,4				
21. V. 07	0	- 7	10,4	29. XI. 08	10	9,2	9,5				
	12	- 7	7,8		20	9,7	9,5				
	24	- 7	7,0		34						
11. VI. 07	0	- 3	14,5		0	7,1	4,9				
	10	+ 6	11,0		10	6,1	4,9				
	20	+ 4	10,5		20	4,8	4,8				
	30	+ 20	10,3		32	8,2	4,8				

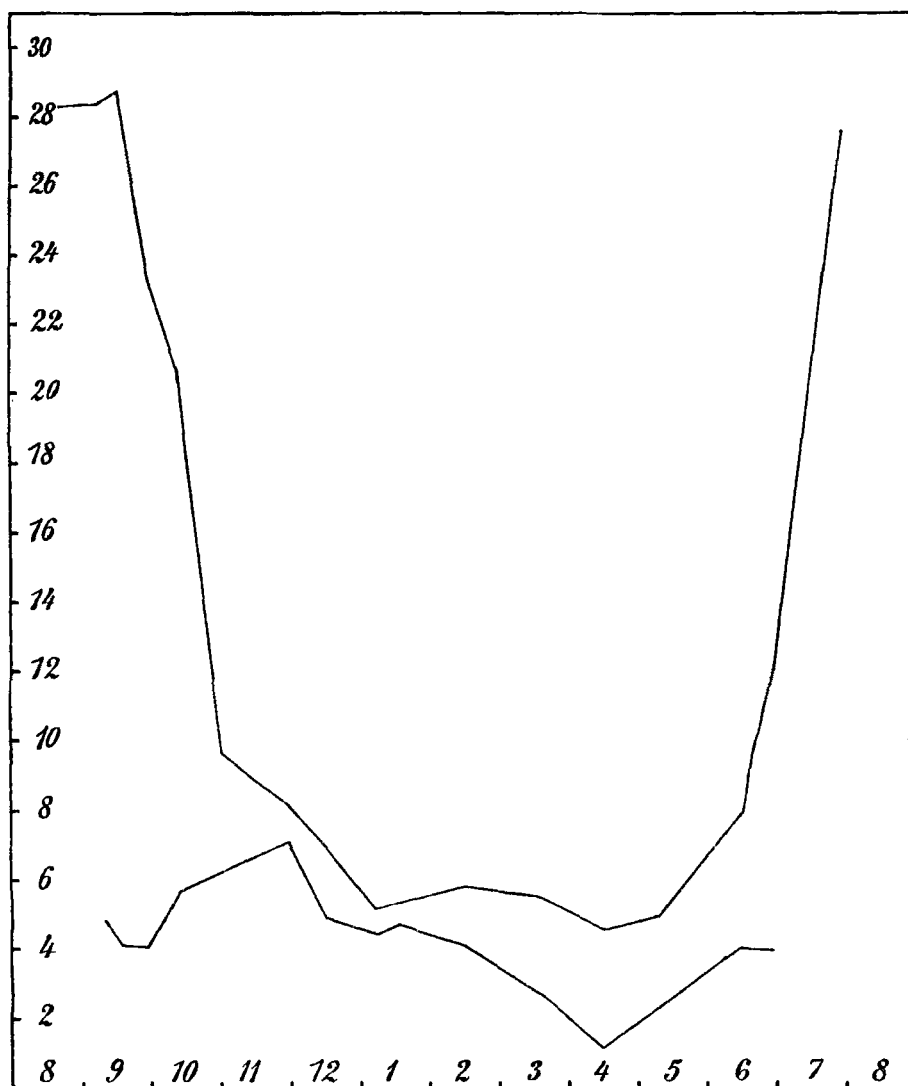


Fig. 4. Graphische Darstellung der Kohlensäurespannung des Furesøes vom August 1908 bis Juli 1909. — Die obere Kurve bezieht sich auf die Bodenschicht, die untere auf die Oberflächenschicht.

zugegen sind, wird die Oxydation durch die chemische Gleichung $C + O_2 \rightarrow CO_2$ ausgedrückt werden können, und das Verhältnis der Mengen von Kohlensäure und Sauerstoff ist dann gegeben. In anderen Fällen wird die Gleichung mit Annäherung gelten.

Die größte Änderung des Sauerstoffgehaltes ist 6 ccm pro Liter. Dieses entspricht 3 ccm Kohlensäure, die in freiem Zustande eine Ände-

rung von etwa 30 d. h. 0,003 Atm. hervorrufen würde. Aus der oben erwähnten Gleichung:

$$\frac{[\text{H}^+] \cdot [\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]} = 3,04 \times 10^{-7}$$

ergibt sich, daß nur ein sehr geringer Teil der gebildeten Kohlensäure bei konstanter HCO_3^- -Konzentration etwa 0,0026 dissoziiert werden wird, indem:

$$\frac{[\text{H}^+]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]} = \text{ca. } 10^{-4}.$$

Bei konstanter Kalkmenge wird somit beinahe die ganze, bei der Oxydation gebildete Kohlensäure zur Vergrößerung der Kohlensäurespannung beitragen. Wie im nächsten Kapitel näher erörtert werden soll, wird die Kalkmenge am Boden in der Stagnationsperiode vergrößert werden, aber nur mit einer Normalität von 0,0001, während die Kohlensäurenormalität um 0,0003 vergrößert wird. Es stimmt somit aufs Beste mit diesen Berechnungen, daß wir eine Steigerung von etwa 20 in dem Kohlensäuregehalt in den Bodenschichten gefunden haben.

Daß die Kohlensäuretensionen am Boden in der Stagnationsperiode nicht fortdauernd steigen, erklärt sich aus der chemischen Wirkung des gelösten kohlensauen Kalks.

Bei den Bestimmungen der Kohlensäure in der ersten Versuchsreihe war die Temperatur des Wassers während der Analyse annähernd konstant gleich 18°. In der zweiten Versuchsreihe sind die Messungen kurze Zeit nach dem Herausnehmen der Wasserprobe ausgeführt, und die Temperatur bei der Analyse ist dann von der Temperatur der entsprechenden Wasserschicht nicht sehr verschieden gewesen. Eine gewisse Unsicherheit ist jedoch hier vorhanden, und es ist nicht zu leugnen, daß die Messung der Temperatur während der Analyse die Genauigkeit derselben hätte steigern müssen. Es geht jedoch mit vollkommener Sicherheit aus allen diesen Messungen hervor, daß die Kohlensäuretension des Wassers in dem größten Teil des Jahres größer ist, als der Teildruck der Kohlensäure in der Atmosphäre, bei normalerem mittleren Kohlensäuregehalt (0,25—0,4‰ von einer Atmosphäre). Insbesondere ist in den tieferen Schichten ein bedeutender Kohlensäureüberdruck vorhanden, daß die Oberflächenschicht sich qualitativ in dieser Hinsicht von den übrigen Schichten nicht unterscheidet, ist aber eine Tatsache von entscheidender Bedeutung. Es wird nämlich eine Kohlensäureevasion vom See an die Atmosphäre erzeugen, und dieser Vorgang wird — abgesehen von ein paar Frühjahrsmonaten — das ganze Jahr hindurch fortauern. A. Krogh, der im Sommer 1903 Untersuchungen über den

Kohlensäuregehalt im Furesøe angestellt hat, ist zu demselben Resultat gelangt, und er hat der Erscheinung eine große Bedeutung beigelegt (siehe nächstes Kapitel).

Ein Vergleich der Sauerstoff- und Kohlensäuretabellen wird zeigen, daß in der Zirkulationsperiode in der Oberflächenschicht eine weit bedeutendere Änderung der Kohlensäurespannung als des Sauerstoffgehalts stattfindet. Es scheint darauf zu deuten, daß eine schnelle chemische Reaktion — z. B. vom Plankton herrührend — in diesen Schichten sich abspielen kann. Ein geringer Verbrauch von Sauerstoff wird, wie die oben angegebenen Rechnungen zeigen können — eine prozentisch bedeutend größere Änderung in der Kohlensäuretenion hervorrufen können.

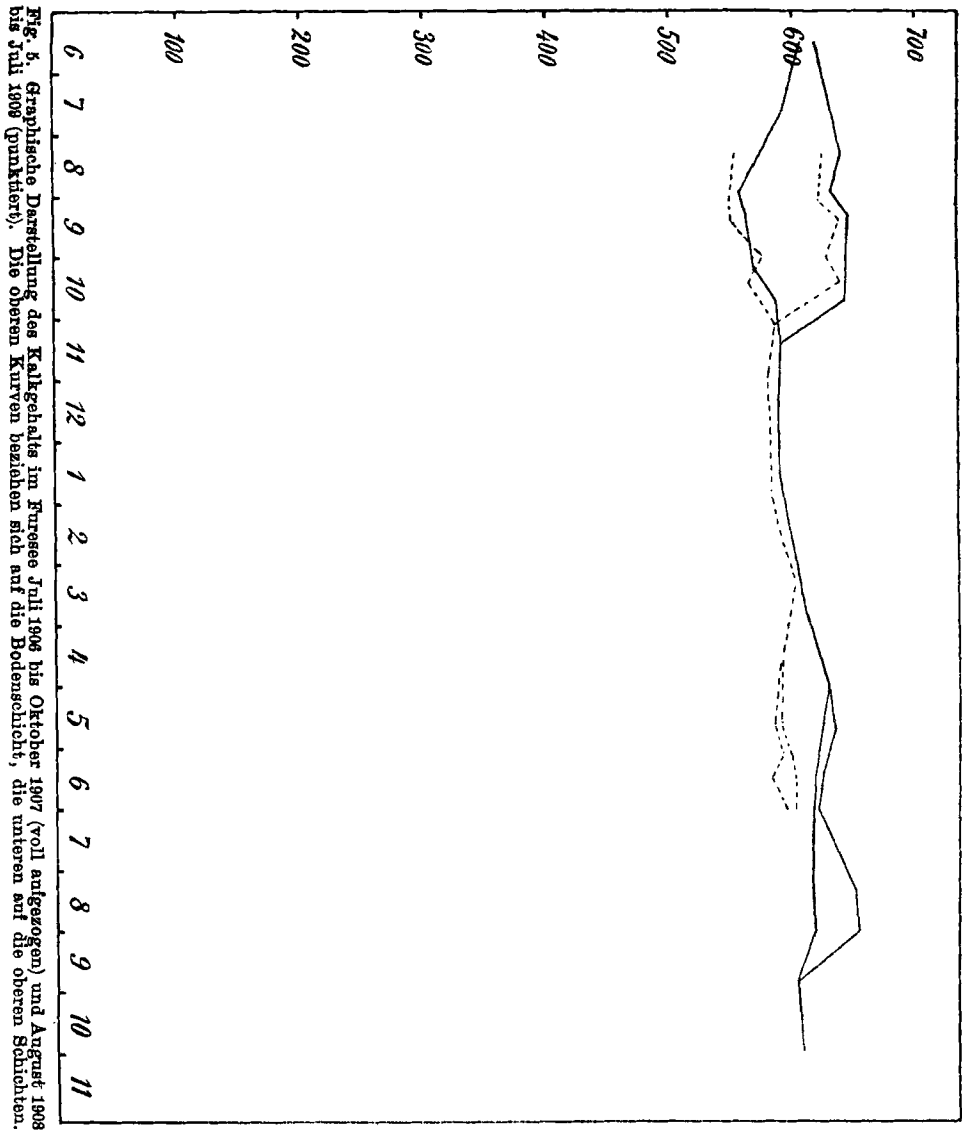
Die Wirkung des Planktons hat insbesondere Max Voigt studiert. Er konstatierte am großen Plöner See, mit Hilfe des Indikators, daß Kohlensäure den größten Teil des Jahres hindurch völlig abwesend war. Es ist aber unzweifelhaft, daß dies alkalische Wasser dennoch eine meßbare Kohlensäurespannung gehabt hat, und es ist darum wohl nicht korrekt, von einer vollkommenen Abwesenheit der Kohlensäure zu sprechen.

c) Kalk.

Unter den wichtigeren Stoffen im Wasser des Furesøes zeigt das gelöste Kalziumkarbonat die kleinsten Schwankungen. Die große Genauigkeit, mit welcher sich der Kalk analytisch bestimmen läßt, bewirkt jedoch, daß die Konzentrationsänderungen, die sich im Laufe des Jahres zeigen und die etwa 20 % der Mittelkonzentration ausmachen, sehr deutlich und mit vollkommener Sicherheit hervortreten können. Die Mittelkonzentration für das ganze Jahr ist etwa 60 Milligramm CaO (oder 107 Milligramm Kalziumkarbonat CaCO_3) im Liter, die höchste Konzentration 65,0 (am 9. VIII. 1907 Tiefe 30 m), die niedrigste 54,5 (18. VIII. 1908 Oberfläche).

In der Zirkulationsperiode ist die Kalkmenge, wie die übrigen Stoffe gleichmäßig verteilt über den See. Die Abweichungen, die der Kalkgehalt von dieser Regel aufweist, sind immer klein (13. XI. 1906, 29. XI. 1908), und sind wohl hauptsächlich auf Versuchsfehler zurückzuführen. In der Stagnations- und Teilzirkulationsperiode treten — wie die Tabellen anzeigen — die Unterschiede hervor. Die Kalkbestimmungen sind in zwei Tabellen 12 und 13 verzeichnet. Die erstere enthält alle Bestimmungen mit Angabe der Zeit und der Temperatur. In der zweiten wird für die Vollzirkulationsperiode ein Mittelwert der beinahe identischen Werte der verschiedenen Schichten eingestellt. Für die Stagnations- und Teilzirkulationsperiode werden zwei Werte angeführt, von denen der

erste die Mittelkonzentration über der Sprungschicht, der zweite die Mittelkonzentration unter der Sprungschicht angibt. Der Kalkgehalt des Sees wird dann hieraus in anschaulicher Weise hervorgehen. Alle



Angaben bedeuten Milligramm CaO in 10 Liter Wasser. Ferner sind der Übersichtlichkeit halber graphische Darstellungen der Daten ausgeführt (Fig. 5).

Tabelle 12. Tabelle der Kalkmenge im Furesø im Zeitraume
Juni 1906 — Oktober 1907 und August 1908 — Juli 1909.

M	t	CaO	M	t	CaO	M	t	CaO		
15. VI. 06	0	17,3	610	11. VI. 07	0	14,5	3. XI. 08	0	9,9	605
	12	12,4	608		10	11,0		10	9,4	582
	15	8,5	600		20	10,5		20	9,5	580
	28	6,9	618		30	10,3		34	9,5	585
23. VII. 06	0	17,5	590		0	14,6		0	4,9	568
	13	15,8	594	30. VI. 07	10	14,1		10	4,9	577
	15	9,5	618		20	10,8		20	4,8	588
	27	7,1	648		30	10,4		32	4,8	588
8. VIII. 06	0	19,4	550		0	18,4		0	4,0	588
	13	16,5	598	16. VII. 07	10	15,1		10	4,0	568
	17	8,2	640		20	11,6		20	4,0	591
	31	7,2	640		30	11,0		32	4,0	580
24. VIII. 06	0	16,7	558		0	15,8		0	1,2	585
	13	16,3	558	9. VIII. 07	10	15,6		10	1,5	588
	17	9,7	626		20	12,3		20	1,3	577
	28	7,4	638		30	11,2		32	1,5	580
12. IX. 06	0	15,0	560		0	14,9		0	0,9	585
	13	15,4	570	29. VIII. 07	10	14,5		10	0,9	573
	17	15,1	562		23	14,4		20	0,9	585
	30	7,7	646		33	10,8		32	0,8	588
5. X. 06	0	12,8	562		0	13,6		0	1,2	596
	13	12,8	572	26. IX. 07	10	13,4		10	1,2	600
	17	12,8	574		20	13,4		20	1,2	584
	30	7,4			34	13,4		32	1,3	583
19. X. 06	0	11,5	580		0	5,5		0	1,7	588
	13	11,5	582	29. X. 07	10	5,5		10	1,8	595
	17	11,5	590		20	5,5		20	2,0	608
	32	7,3	644		30	5,5		30	2,2	623
13. XI. 06	0	8,4	595		0	19,0		0	2,8	588
	13	8,4	590	18. VIII. 08	10	18,1		10	2,8	600
	24	8,4	590		20	11,4		20	2,7	600
	30	8,3	584		32	10,9		34	2,8	585
10. XII. 06	0	5,2	594		0	16,8		0	8,0	590
	13	5,2	588	2. IX. 08	10	16,3		10	7,0	595
	24	5,2	586		20	9,9		20	6,2	580
	30	5,2	584		32	9,8		30	5,6	585
14. I. 07	0	2,0	592		0	14,2		0		578
	24	1,8	586	15. IX. 08	10	14,3		10		606
26. III. 07	0	2,1	612		20	10,2		20		581
	13	2,1			32	9,9		30		595
	25	2,1	614		0	13,4		0	14,0	583
	28	2,1	612	29. IX. 08	10	13,5		10	11,8	605
30. IV. 07	0	5,5	634		20	12,8		20	10,2	593
	15	5,6	630		32	9,5		33	10,3	605
	30	5,7	624		0	12,9		0	17,4	606
21. V. 07	0	10,4	624	13. X. 08	10	13,0		10	14,2	588
	12	7,8	626		20	12,9		20	10,5	598
	24	7,0	641		28	10,1		32	10,3	603

Tabelle 13.

15. VI. 1906	607—618	Stagnation	26. IX.	603	Vollzirkulation
23. VII.	592—632		29. X.	607	
8. VIII.	574—640		18. VIII. 1908	553—625	Stagnation
24. VIII.	558—632	Teilzirkulation	2. IX.	549—621	Teilzirkulation
12. IX.	564—646		15. IX.	551—638	
5. X.	569		29. IX.	575—628	
19. X.	584—644	Vollzirkulation	13. X.	565—639	Vollzirkulation
13. XI.	590		3. IX.	588	
10. XII.	588		29. IX.	580	
14. I. 1907	589	Stagnation	16. XII.	582	Vollzirkulation
26. III.	613		15. I. 1909	583	
30. IV.	629		19. I.	583	
21. V.	624—634	Stagnation	16. II.	591	Stagnation
11. VI.	617—623		9. III.	604	
30. VI.	616—619		14. IV.	593	
16. VII.	616—631	Teilzirkulation	15. V.	590—585	Stagnation
9. VIII.	615—650		2. VI.	598—593	
29. VIII.	617—654		15. VI.	583—601	
			29. VI.	597—601	

Die in Tabelle 13 verzeichneten Daten und ihre graphische Darstellung in Fig. 5 wollen wir als Grundlage für die Diskussion der Änderungen vom Kalkgehalt, und die Abhängigkeit desselben von anderen Faktoren benutzen. Denn es ist natürlich ohne Sinn, eine Bedeutung den kleinen Änderungen beizulegen, die bei der Benutzung obiger Zahlen zum Verschwinden gebracht werden, und die ebenso gut von Versuchsfehlern wie von zufälligen und unwesentlichen Einflüssen unbekannter Art verursacht werden können.

Wir bemerken dann zuerst den übereinstimmenden Verlauf, den diese Kurven im großen und ganzen aufweisen. Nach dem Verlauf der Vollzirkulationsperiode beginnen die beiden Kurven zu divergieren. Mitte Juni in allen drei Jahren 1906, 1907 und 1909 ist etwa der gleiche Unterschied: 1 à 2 mg CaO im Liter zwischen den Konzentrationen in der oberen und unteren Wasserschicht, und die Mittelkonzentration liegt in den drei Jahren um diese Zeit bzw. bei ca. 61, 62 und 60 mg. Der Unterschied steigt nun schnell und sehr deutlich und erreicht in den Monaten August-September den maximalen Wert ca. 8 mg in 1906 und ca. 7 mg in 1908. 1907 zeigt sich nur ein Unterschied von etwa 4 mg, was unzweifelhaft mit den Temperaturverhältnissen in Verbindung steht, wodurch schon früher dieses Jahr als abweichend vom normalen bezeichnet worden ist. Die Bodentemperatur im Herbst ist hier ungewöhnlich hoch, die Teilzirkulation erreicht eine ungewöhnliche Tiefe und die Vollzirkulation, bei deren Eintreten die divergierenden Kurven plötzlich vereinigt werden, beginnt besonders früh. Wir müssen daher annehmen, daß die normale, maximale Differenz zwischen den beiden Kurven etwa 7 bis

8 mg CaO im Liter ausmache, und daß sie in den Monaten August bis Oktober falle.

Die große Differenz, die sich mithin im Laufe des Sommers entwickelt, hat eine doppelte Ursache: teils eine Vergrößerung des Kalkgehalts in den Bodenschichten, teils eine Verminderung des Kalkgehalts in den Oberschichten. Nachdem nun die Vollzirkulationsperiode im November erreicht ist, zeigt sich in den beiden Jahren 1906 und 1908 dieselbe Erscheinung: die Kalkmenge bleibt nahezu konstant mit schwach steigender Tendenz im ersten Vierteljahr, um danach plötzlich und stark zu steigen. Obwohl diese Steigung qualitativ verschieden in den beiden Jahren erscheint — sie ist bedeutend ausgesprochener in 1907 als in 1909 — so sind die Formen der beiden Kurven doch so übereinstimmend, daß es als eine normale Erscheinung betrachtet werden kann. Das Stück der Vollzirkulationskurve, das für den Herbst 1907 bekannt ist, scheint insofern hiermit zu stimmen, als eine ganz geringe Steigung des Kalkgehalts im Laufe des Oktobers gemessen worden ist.

Die Kalkkonzentration, die am Schluß der Vollzirkulation im Zeitraume April bis Mai erreicht worden ist, scheint nach der Figur ein relatives Maximum zu sein, indem jedenfalls beide Versuchsreihen einen Zurückgang der Kalkkonzentration in Mai bis Juni sowohl für die Oberflächenschicht wie für die Bodenschicht aufweisen.

Diese Kurven geben uns dann folgende Hauptergebnisse: wenn wir von den geringen, zuletzt erwähnten Konzentrationsänderungen absehen, zeigt die Bodenschicht beinahe das ganze Jahr hindurch in bezug auf Kalkgehalt eine ausgesprochen steigende Tendenz. Eine Verminderung findet nur einmal im Jahre statt, nämlich im Zeitraume September — November, und ist dann durch Zumischung von kalkärmerem Wasser am Beginn der Vollzirkulation veranlaßt. In den Wintermonaten November bis Januar ist die Konzentration beinahe konstant.

Die zuletzt erwähnten Verhältnisse gelten auch für die oberen Schichten. Der Kalkgehalt in diesen fällt stark im Laufe des Sommers, steigt aber vom September bis April.

Der Kalkgehalt des ganzen Sees steigt in der Zirkulationsperiode Oktober bis April.

Wir wollen nun untersuchen, inwiefern das hier vorliegende Material eine Erklärung dieser regelmäßigen Änderungen im Kalkgehalt abgeben, oder sie in Zusammenhang mit anderen gleichzeitig variierenden Verhältnissen bringen kann.

Neben dem konzentrationsändernden Einfluß, den die Mischung von Wasserschichten mit verschiedenstem Kalkgehalt natürlich ausübt, muß

in erster Linie als Konzentrationsändernder Faktor die Abscheidung des Kalziumkarbonat im festen Zustand oder die Auflösung desselben genannt werden. Nun ist die Löslichkeit von Kalziumkarbonat von der Kohlensäurekonzentration in hohem Maße abhängig. Nach Bestimmungen von Schlössing ist der Zusammenhang zwischen Kohlensäurespannung und Kalkkonzentration der gesättigten Lösung bei $t=16$ folgender:

Tabelle 14)¹⁾

$\frac{p}{(\text{Atmosph.} \times 10^4)}$	mg CaCO_3 i. L.	Äq. CaCO_3 i. L.	mg CaO i. L.
5,04	74,6	$1,492 \times 10^{-3}$	41,8
8,08	85,0	1,700	47,6
33,8	137,2	2,744	76,8
138,7	223,1	4,462	130,0

In reinem Wasser ist die Löslichkeit 13 mg CaCO_3 im Liter, bei der normalen Kohlensäurespannung der Atmosphäre 65 mg. Wenn wir für diese Spannung 3,0 setzen, lassen sich die Bestimmungen zu einer stetig verlaufenden Kurve vereinigen, aus welcher die Löslichkeit bei anderen Kohlensäurespannungen — in der Nähe von 0 freilich mit Unsicherheit — interpoliert werden kann.

Hieraus berechnen sich dann folgende zusammengehörende Werte der Kohlensäurespannung und der Löslichkeit, innerhalb des Konzentrationsbereichs, der für das Wasser des Furesees von Bedeutung ist:

Tabelle 15.

CaO (mg im Liter)	CO_2 -Spannung	CaO (mg im Liter)	CO_2 -Spannung
55	13,2	61	19,2
56	14,3	62	20,1
57	15,4	63	21,0
58	16,4	64	21,8
59	17,4	65	22,6
60	18,3		

Wenn wir die Zahlen dieser Tabelle betrachten, und die früher angegebenen Werte des Kohlensäure- und Kalkgehalts des Sees berücksichtigen, so sehen wir, daß dieser gewöhnlich in bezug auf Kalk übersättigt ist, indem die Kohlensäurespannungen, die am See gemessen sind,

¹⁾ A. Krogh glaubt an den Schlössingschen Zahlen zweifeln zu müssen, und vermutet, daß dieser zu kleine Werte gefunden habe, weil er mit kristallinischem Karbonat arbeitete. Hierzu ist doch zu bemerken, daß Kalziumkarbonat unter den im See herrschenden Verhältnissen immer kristallinisch ausgefällt wird.

gewöhnlich bedeutend niedriger sind als die der obenstehenden Tabelle. Es muß mithin, da eine solche übersättigte Lösung instabil ist, eine stete Abscheidung von Kalziumkarbonat stattfinden, wobei der Kalk am Boden des Sees abgelagert wird. Die Bodenproben des Sees sind nun in der Tat stark kalkhaltig. (Siehe Tabelle 28.) Ein anderes Verhalten zeigt nun aber die Notwendigkeit hiervon mit derselben Deutlichkeit. Bei Untersuchungen vom Hauptzufluß des Furesees bei Fiskebaek und vom Farumsee, woher dieser Zufluß kommt, haben wir nämlich einen weit größeren Kalkgehalt gefunden, wie die nachstehenden Zahlen erweisen:

Tabelle 16.

Zufluß bei Fiskebæk	30. IV. 1907	89,6 mg CaO
" " "	28. XI. 1908	85,5 " "
" " "	23. XII. 1908	89,4 " "
Farumsee Oberfläche	25. VIII. 1908	85,4 " "
" 13 Meter	25. VIII. 1908	95,6 " "
Ablauf bei Frederiksdal . . .	30. IV. 1907	67,6 " "
" " "	15. IX. 1908	56,1 " "

Es wird mithin dem Furesee durch diesen Zufluß Wasser zugeführt, dessen Kalkgehalt etwa 1,5mal so groß ist wie der Mittelgehalt des Sees; hierzu kommen aber die zahlreichen ober- und unterirdischen Quellen, von welchen es unzweifelhaft ist, daß sie Kalziumkarbonat von weit größerer Konzentration enthalten. Wenn auch diese Zuflüsse an sich ungesättigt gewesen wären, so würde eine Abscheidung nach der Mischung in allen Fällen stattfinden müssen. — Den Mechanismus einer solchen Kalkabscheidung können wir leicht durchschauen. Wenn wir annehmen, daß irgendeine gesättigte Kalziumkarbonatlösung von bedeutender Kohlensäuretenion in den See ausfließe, und da mit Wasser, das wir einfachheitshalber für kalk- und kohlensäurefrei annehmen, vermischt werde, können wir die Dissoziationsverhältnisse, die nach den S. 50 aufgestellten Gleichungen für k_1 und k_2 geregelt werden, leicht berechnen. Es ergibt sich aus den beiden Gleichungen:

$$\frac{[\text{CO}_3^{--}] [\text{H}_2\text{CO}_3]}{[\text{HCO}_3^-]^2} = 0,43 \cdot 10^{-4}.$$

Der Vorgang, wodurch die Kohlensäurespannung geändert wird, und der von der obigen Dissoziationsgleichung bestimmt ist, nämlich der folgende: $2\text{HCO}_3^- \rightarrow \text{CO}_3^{--} + \text{H}_2\text{CO}_3$ wird nun nach bekannten physikalisch-chemischen Prinzipien bei Verdünnung nicht verschoben werden. Wenn daher eine Verdünnung, z. B. auf das doppelte Volum stattfindet, wird die Konzentration der Kohlensäure H_2CO_3 und dem-

gemäß auch die Kohlensäurespannung halbiert werden. Das gleiche gilt natürlich auch für den Kalkgehalt. Die Bestimmungen Schlösings erweisen aber, daß eine gleichzeitige Halbierung der Kohlensäurespannung und des Kalkgehalts die gesättigte Lösung in den Bereich der ungesättigten überführen wird, da die Löslichkeitskurve die Konkavität zur Spannungsaxe wendet.

Eine beliebige Verdünnung wird somit ganz analog wie eine Halbierung der Konzentration wirken und wird also nicht genügen um eine Abscheidung von Kalziumkarbonat zu erzeugen. Diese wird erst dann eintreten, wenn die Kohlensäurespannung wegen der Kohlensäureevasion, die wir auf Grundlage der gemessenen Kohlensäurespannung als notwendig gefunden haben, auf ein so kleinen Betrag gesunken ist, daß Sättigung oder Übersättigung in bezug auf Kalziumkarbonat eintritt.

Der konstante Fehlbetrag an Kalk, den das Wasser des Furesees gegen das Wasser der Zuflüsse aufweist, zugleich mit dem eben erwähnten physikalisch-chemischen Verhalten, bei der Verdünnung, führt also mit Notwendigkeit dazu, daß der See in langen Zeiträumen, d. h. während eines Jahres Kohlensäure an die Atmosphäre abgeben muß, was ja aufs Beste mit den Kohlensäuremessungen übereinstimmt, die — wie wir im vorigen Abschnitt gesehen haben — Spannungen ergaben, die größer waren als die konstante dem Kohlensäuregehalt der Atmosphäre entsprechende Spannung. Und wir haben umgekehrt in diesen Messungen eine Erklärung der dekalzifizierenden Wirkung des Sees.

Das Verhalten der Kohlensäure Kalziumkarbonat gegenüber ist ja wohl bekannt, und frühere Limnologen haben sich auch mit der Bedeutung der Kohlensäure bei der Kalkabscheidung beschäftigt. Delebecque hat so darauf aufmerksam gemacht, daß die Zuflüsse vieler Alpenseen wegen der hohen Kohlensäurespannung sehr kalkreich sind, und daß Kalkablagerungen in den Seen dadurch hervorgebracht werden können. Die Erklärung des Mechanismus bei dieser Abscheidung ist jedoch unrichtig. Delebecque geht davon aus, daß das kalk- und kohlensäurereiche Wasser, wenn es in den See kommt, übersättigt sein und daher Kalk abscheiden wird, und er glaubt, daß dies leichter bei höherer Temperatur als bei niedriger geschehen kann. Wir haben aber eben gesehen, daß eine Verdünnung des Wassers ohne gleichzeitige Abgabe von Kohlensäure zu ungesättigten Lösungen führt. In bezug auf den Temperatureinfluß ist es richtig, daß die Löslichkeit bei konstanter Kohlensäurespannung stark sinkt, wenn die Temperatur erhöht wird. Bei konstanter Kohlensäurekonzentration ist es aber nicht der Fall, und der Unterschied im Kalkgehalt, der auch hier gefunden wird

im Wasser bzw. über und unter Sprungschicht, ist keine direkte Wirkung der verschiedenen Temperatur in diesen Schichten.

Nachdem nun der Zusammenhang der Kohlensäure und Kalkkonzentration, indem wir den See als ein Ganzes betrachtet haben, auseinandergesetzt ist, wollen wir nun die Änderungen in einer einzigen Schicht etwas näher betrachten.

In der Stagnationsperiode (Juni bis August 1906, Mai bis August 1907, April bis Juni 1909) ist der Kalkgehalt in den Oberflächenschichten in steter Abnahme begriffen. Gleichzeitig sind die Bodenkonzentration und die Kohlensäurespannung am Boden stark wachsend. Die Zuführung des Kalkes, der hier gelöst wird, läßt sich auf dreierlei Weise erklären. Teils können die Partikeln von Kalziumkarbonat, die in den oberen Schichten ausgefällt werden, wenn sie zum Boden sinken, wieder aufgelöst werden, wenn sie die Bodenschichten erreichen, die wegen der hohen Kohlensäurespannung ungesättigt in bezug auf Kalk sind. Daß dies jedenfalls bis zu einem gewissen Grade stattfinden muß, ist wohl unzweifelhaft. Teils ist es möglich, daß das Bodenvasser wegen seiner lösenden Fähigkeit den kalkreichen Boden angreift, und so einen Teil von dem in dem übrigen Teil des Jahres abgelagerten Kalziumkarbonat wieder in Lösung bringt. Schließlich wird das kalkreiche Wasser von unterseeischen Quellen wegen der niedrigen Temperatur vorzüglich in der Nähe des Bodens sich ansammeln.

Sobald nun die Teilzirkulation beginnt, steigt die Kalkmenge in den oberen Schichten, weil kalkreicheres Wasser aus den unteren zugemischt wird. Die Zahlen vom 24. VIII. 1906 und 12 IX. 1906 (Haupttabelle) zeigen z. B. aufs deutlichste, daß das Anwachsen des Kalkgehalts in den oberen Schichten in diesem Zeitraume — eine Steigung von 55,8 mg bis 56,4 mg — auf die Zumischung des untenliegenden Wassers, dessen Kalkgehalt gleichzeitig von 62,6 mg bis 56,4 mg sank, zurückzuführen ist. Daß der Verlust für diese Schicht weit größer ist als der Gewinn für die übrigen, ist einfach durch die größere Mächtigkeit der zirkulierenden Wasserschicht verursacht. Auch im Herbst 1908 zeigt sich diese Steigung des Kalkgehalts der oberen Schichten sehr deutlich. Im Herbst 1909 ist die Erscheinung nicht eingetreten, was teils daher rührt, daß die Zirkulationsperiode, wie früher erwähnt, in diesem Jahr ungewöhnlich kurz ist, teils und namentlich daher, daß die Kalkmenge in der Stagnationsperiode dieses Jahres bei weitem nicht in dem Maße gesunken ist, wie in den anderen Jahren. Eine nennenswerte Steigung der Kalkkonzentration wird dann selbstverständlich ausgeschlossen sein.

Wie die Tabelle der Kohlensäurespannungen und Tabelle 5 er-

weisen, wird eine Abscheidung von Kalk in diesen Perioden wahrscheinlich nur im Mai und Juni stattfinden können. Wenn auch die oberen Schichten Kalk abscheiden, ist nämlich die Kohlensäurespannung am Boden so groß, daß die Kalklösungen hier gewöhnlich ungesättigt sein werden.

Indem die Vollzirkulationsperiode eintritt, ist zu erwarten, daß das Wasser einen Kalkgehalt annimmt, der zwischen demjenigen des Bodengewässers und dem der bisher zirkulierenden Schichten liegt. Das ist 1906 und 1908 der Fall; 1907 dagegen wird nach der Mischung (26. IX.) der Kalkgehalt ein wenig kleiner gefunden als der der Oberflächenschicht. Da aber der Kalkgehalt größer wird als zu den entsprechenden Zeiten in den anderen Jahren (60,3 gegen 59,0 und 58,7), so ist die Abnormität sicher in dem Gehalt des Gemisches zu suchen, welcher, wie früher mehrmals erwähnt 1907 ein besonders hoher war. In der nachfolgenden Vollzirkulationsperiode (Winter 1906—1907 und 1908 bis 1909) zeigt sich nun die interessante Erscheinung, daß der Kalkgehalt — besonders im Februar—April in stetem Steigen begriffen ist, trotzdem das Wasser in dieser Periode überall mit Kalk übersättigt ist. Die einzig mögliche — aber auch sehr natürliche — Erklärung hierfür, ergibt sich durch Berücksichtigung der durch die Zuflüsse zugeführten Kalkmengen. Wie wir gesehen haben, sind die verschiedenen Wasserschichten in dieser Periode, wo die Temperatur des Sees in der Nähe von 4° liegt, außerordentlich beweglich und mischbar, so daß es verständlich wird, daß das Wasser der Zuflüsse einigermaßen gleichförmig über den ganzen See verteilt werden kann.

Trotz der wachsenden Konzentrationen findet in dieser Periode sicher eine reichliche Kalkabscheidung statt, da das Wasser stark übersättigt ist, wegen der in dieser Periode besonders geringen Kohlensäurespannung (16. II., 9. III., 14. IV., 11. V. 1909) und diese Kalkabscheidung wird in der ersten Zeit der nachfolgenden Stagnationsperiode fortgesetzt. Es ist möglicherweise die höhere Temperatur im April—Juni, die diese Kalkabscheidung so stark beschleunigt hat, daß sie als eine Konzentrationsverminderung in allen Schichten hervortritt.

Als Resultat dieser Untersuchungen ist also festgestellt oder jedenfalls wahrscheinlich gemacht, daß die hier erwähnte chemische Abscheidung von Kalk, d. h. die Abscheidung, die dadurch hervorgerufen wird, daß das Wasser bei der obwaltenden Kohlensäurespannung mit Kalk übersättigt ist, — trotzdem die Kalkmenge im ganzen vergrößert wird, — reichlich in der Zirkulationsperiode Oktober—April und im Anfang der Stagnationsperiode im Mai stattfindet. In der Stagnations-

oder Teilzirkulationsperiode Juni—Oktober würde dagegen die Abscheidung von Kalk wegen der hohen Kohlensäurekonzentration am Boden unmöglich gemacht werden. Da nun dem See in dieser Periode Wasser von größerem Kalkgehalt als dem normalen zuführt wird, ließ sich also eine Vergrößerung der Gesamtkalkmenge des Sees in dieser Periode erwarten. Die Betrachtung der Kalktabelle lehrt aber das Gegenteil. Der Umstand, daß die Kalkmenge im übrigen Teil des Jahres zunimmt, muß ja auch notwendigerweise eine Abnahme in dieser Periode mit sich führen, da die durchschnittliche Kalkmenge sich etwa konstant von Jahr zu Jahr hält. Wir werden dann sehen, in welcher Weise diese anscheinend widerstreitenden Beobachtungen unter sich in Übereinstimmung gebracht werden können.

Es erweist sich dann notwendig nicht nur die rein chemischen Verhältnisse, sondern auch die Wirkung anderer Faktoren in den Kreis unserer Betrachtungen zu ziehen. Es handelt sich hier um die Wirkung der Organismen. Es ist sehr wahrscheinlich, daß die oben erörterten Änderungen der Kohlensäurespannung innerhalb jedes Jahres vom Plankton beeinflusst werden, und daß z. B. die große Abscheidung von Kalk am Ende der Zirkulationsperiode (März—April—Mai) jedenfalls teilweise durch reichliches Phytoplankton, dessen ein Hauptmaximum eben im Frühjahr liegt, hervorgebracht wird. Wenn aber diese Wirkung unsicher ist, so steht jedenfalls fest, daß die höheren Pflanzen während ihre Vegetationsperiode Mai—Oktober in hohem Maße dekalzifizierend wirken.

In einer früheren Arbeit (Wesenberg-Lund 1901) sind die Kalkinkrustationen der Pflanzen und die dadurch hervorgebrachten Ablagerungen behandelt worden. Wie da erörtert wurde, sind die Kalkmengen, die in dieser Weise aus dem See entfernt werden, außerordentlich groß, wie eine Überschlagsrechnung zeigt, jedenfalls von ähnlicher Größenordnung wie der Kalkverlust, der im Wasser des Sees im Verlauf des Sommers und des Herbst sich konstatieren läßt.

Die Frage über die Bedeutung der Pflanzen als dekalzifizierender Faktor ist früher diskutiert worden. Man ist sich allseitig darüber einig, daß die Pflanzen am Abscheidungsmechanismus teilnehmen können und die meisten Autoren haben hiermit die Frage als erledigt betrachtet. A. Krogh macht darauf aufmerksam, daß das Verwesen der Pflanzen, das die Kalkablagerungen hervorbringt, eben die zur Wiederlösung des Kalks genügende Menge von Kohlensäure entstehen läßt, und er glaubt daher die Möglichkeit leugnen zu müssen, daß die Pflanzen in langen Zeiträumen Kalkablagerungen erzeugen können, es sei denn, daß das

Verwesens der Pflanzen unvollständig ist und eine Ablagerung von organischem Stoff demgemäß stattfindet. Im allgemeinen ist diese Ansicht jedoch nicht zutreffend. Herr Prof. Dr. W. Johannsen, mit dem wir diese Sache diskutiert haben, teilte uns mit, daß nur die Hälfte des Pflanzenkohlenstoffs während der Cellulosegärung in Kohlensäure, die andere Hälfte in Kohlenwasserstoffe verwandelt wird, und daß so im besten Fall nur die Hälfte des Kalkniederschlags wiedergelöst werden kann. Ferner zeigen die Bodenproben vom Furesee bedeutende Mengen organischer Substanz. Mit Rücksicht hierauf lassen sich die Anschauungen von Krogh, — deren prinzipielle Richtigkeit wir allerdings anerkennen müssen — nicht in der Geologie des Sees verwerten.

Aber selbst wenn wir die Möglichkeit zugeben würden, daß vielleicht unter besonderen Verhältnissen eine vollständige Umwandlung des Pflanzenkohlenstoffs in Kohlensäure stattfinden könne, glauben wir doch, daß die Pflanzen imstande sind, dauernde Kalkablagerungen zu erzeugen. Wenn diese Möglichkeit vorhanden wäre, würde die Wirkung der Pflanzen in bezug auf die Kohlensäure eine Konzentrationsverschiebende nach Zeit und Raum sein, und daß eine solche Verschiebung Kalkabscheidungen mit sich führen kann, ist unzweifelhaft:

Die Pflanzen werden dekalzifizierend wirken, wenn durch ihre Wirksamkeit in langen Zeiträumen (von besonderen Fällen abgesehen, wird dies eine Periode von einem Jahre bedeuten) Kalkablagerungen gebildet werden, die ohne das Vorhandensein der Pflanzen nicht hätten gebildet werden können. Wir denken uns einfachheitshalber einen See, dessen normale Kohlensäurespannung gleich der der Atmosphäre ist, und welcher mit Kalk gesättigt ist. In diesem wird normal keine Kalkabscheidung hervorgebracht werden. Wenn nun z. B. in einem einzelnen Sommermonat eine Pflanzenvegetation auftritt, die dem See Kohlensäure entzieht, so wird diese Wirksamkeit von einer Abscheidung und einem Niederschlag von Kalk begleitet sein. Wenn zu einer späteren Zeit des Jahres durch das Verwesens der Pflanzen dieselbe Kohlensäuremenge gebildet würde, so würde eine Wiederauflösung des Kalks nur dann eintreten können, wenn die ganze Kohlensäuremenge in genügend langer Zeit auf den abgeschiedenen Kalk wirken könnte. Es läßt sich aber leicht denken oder ist in diesem Beispiele wohl das einzig denkbare, daß die Kohlensäurebildung von einem so lokalen Charakter und eine so schnelle ist, daß die Spannung im Wasser die der Atmosphäre übersteigen wird, daß der See mithin einen Kohlensäureverlust erleidet, der darauf hinauskommt, daß ein Teil des Kalks unangegriffen und als dauernde Ablagerung liegen bleibt. Die Form, in welcher der Kalk von

den Pflanzen niedergeschlagen wird, ist so großkristallinisch und kompakt, daß eine schnelle Lösung schwierig oder unmöglich wird. Eine bestimmte Kohlensäuremenge wird also in bezug auf die Lösungsfähigkeit keineswegs immer dasselbe bedeuten. Je kleiner die Spannung, um so größer wird die lösende Eigenschaft der Kohlensäure sein.

Neben den Pflanzen ist sicher auch die Wirksamkeit der Mollusken von Bedeutung für die Kalkablagerungen. Während die Abscheidung durch die Pflanzen insofern ein rein chemischer Vorgang ist, als die Abscheidung wegen der Verminderung der Kohlensäuremenge durch verminderte Löslichkeit vorgeht, ist die Fähigkeit der Mollusken Kalk zu bilden, von biologischer Art. Sie sind aller Wahrscheinlichkeit nach imstande den Kalk abzuscheiden aus ungesättigten Lösungen, wenn auch zahlreiche Beobachtungen festgestellt haben, daß die Schalenbildung durch wachsenden Kalkgehalt beschleunigt wird. Sie haben dadurch und zugleich durch die große Widerstandsfähigkeit, die die Schalen durch ihr organisches Häutchen, Cuticula und Conchiolinlamellen gegen chemische Angriffe besitzen, eine spezifisch stärkere, dekalzifizierende Wirkung als die Pflanzen. Wenn trotzdem im Furesøe zahlreiche Schalen gefunden werden, deren korrodiertes Aussehen die Annahme eines chemischen Angriffs notwendig macht, so ergibt sich hieraus ein neuer Beweis dafür, daß das Bodenwasser in einer gewissen Periode des Jahres an Kalk ungesättigt ist. Die vorkommenden Ablagerungen von Schalen und Molluskenkalk zeigen uns aufs Neue, ebenso wie die von den Pflanzen herrührenden Ablagerungen, die Bedeutung der kohlensäurekonzentrationsverschiebenden Faktoren. Ein solcher Faktor ist die Wirksamkeit der Muscheln, indem durch diese keine direkte Änderung der Kohlensäuremenge bewirkt wird.

Als dritter Faktor dieser Art ist die katalytische Wirkung des abgeschiedenen Kalziumkarbonats zu erwähnen. Frühere Beobachtungen haben gezeigt, daß die Kalkinkrustationen, die auf den Blättern von Wasserpflanzen, insbesondere Potamogetonarten gefunden werden, von etwa zehnmal so großem Gewicht sein können, wie das Blatt selbst in getrocknetem Zustand. Die Bildung einer so großen Karbonatmenge kann aus der gewöhnlichen Kohlensäureassimilation der Pflanzen schwierig erklärt werden, wird aber natürlich, wenn wir die wohlbekannte katalytische Wirkung kristallinischer Stoffe berücksichtigen. Mit der übersättigten Lösung in Berührung wird das kristallinische Kalziumkarbonat im Gewicht zunehmen, indem die Kristalle die Übersättigung des Wassers in ihrer unmittelbaren Nähe auslösen.

Es scheint also eine Abscheidung von Kalk das ganze Jahr hin-

durch stattfinden zu können. In der Zirkulationsperiode ist diese Abscheidung vorzüglich rein chemischer Art, während der Stagnations- und Teilzirkulationsperiode wird die chemische Abscheidung in den oberen Schichten durch die Auflösung von Kalk in den unteren jedenfalls teilweise kompensiert werden, und die wirksamste Abkalkung ist in dieser Periode auf die Organismen direkt oder indirekt zurückzuführen.

Dies Ergebnis, daß auf den experimentellen Bestimmungen von Kohlensäure und Kalk im Wasser des Furesees basiert ist, ist als eins der wichtigsten der chemischen Untersuchungen zu betrachten. Die Bestimmungen sind so zahlreich und über einen so großen Zeitraum verteilt, daß wir wohl behaupten können, daß uns dadurch ein jedenfalls in den Hauptzügen richtiges Bild von den wesentlichsten Verhältnisse des Sees gegeben ist.

d) Andere Stoffe.

Während der ganzen Versuchsperiode sind von Zeit zu Zeit Bestimmungen der im Wasser gelösten Kieselsäure ausgeführt worden. Der Gehalt an Kieselsäure ist immer ein sehr geringer gewesen, und die prozentische Genauigkeit, mit welcher die Bestimmungen ausgeführt werden könnten, dementsprechend nicht groß. Ausgesprochene Gesetzmäßigkeiten wie beim Kalk haben sich nicht herausfinden lassen.

Unten sind die Bestimmungen tabellarisch zusammengestellt. Die Zahlen beziehen sich auf Gramm SiO_2 in 1000 g Wasser.

Tabelle 17. (1906—1907.)

M	SiO_2	M	SiO_2	M	SiO_2
7. VII. 06	0 0,0010	21. III. 07	0 0,0014		0 0,0008
	0 11		28 48	9. IX. 07	10 10
24. VIII. 06	13 24		0 13		20 29
	17 37	21. V. 07	12 12		30 29
	28 50		24 7		0 5
	0 22		0 7	29. VIII. 07	10 5
5. X. 06	13 16		0 14		23 13
	17 18	11. VI. 07	20 12		33 48
	30 43		30 16		0 12
	0 23		0 14	26. IX. 07	10 10
13. XI. 06	13 15	1. VII. 07	20 50		20 10
	24 14		30 37		34 9
	30 20		0 14		0 15
	0 28		0 10	29. X. 07	10 13
10. XII. 06	13 20	17. VII. 07	10 18		20 15
	24 20		30 24		33 17
	30 24				
14. I. 07	0 20				
	24 18				

Tabelle 18. (1908—1909.)

M SiO ₂		M SiO ₂		M SiO ₂	
	0 0,0029		0 0,0014		0 0,0000
13. X. 08	10 39	5. I. 09	10 18	9. III. 09	10 04
	20 18		20 16		20 10
	28 28		32 19		32 7
3. XI. 08	0 24	19. I. 09	0 23	14. IV. 09	0 3
	10 29		10 31		10 8
	20 23		20 25		20 13
29. XI. 08	0 8		32 35		34 7
	10 19	16. II. 09	0 25	11. V. 09	0 5
	20 30		10 27		10 5
	32 43		20 25		20 5
16. XII. 08	0 33		32 14		30 0
	10 40				
	20 43				
	32 41				

In den ersten Versuchsreihen sind ferner Untersuchungen über die Oxydierarbeit des Wassers ausgeführt. Die Oxydation würde bei Siedehitze nach Zusatz von 0,01-normaler Permanganatlösung und Schwefelsäure ausgeführt, Zusatz von überschüssiger Oxalsäure und Titrierung bis schwach roter Farbe mit Permanganat. Unten wird ausgeführt die Zahl $\text{cm}^3 \frac{1}{100}$ -n-Permanganatlösung, die in dieser Weise zu 500 cm^3 des Wassers verbraucht wird.

Tabelle 19.

M KMnO ₄		M SiO ₂		M SiO ₂	
	0 15,0		0 18,0		0 15,0
13. XI. 06.	13 17,5	11. VI. 07	30 16,0	26. IX. 07	34 16,5
	24 15,0				
	30 16,0	29. VIII. 07	0 11,5	29. X. 07	0 13,0
			10 12,5		10 15,5
10. XII. 06	0 13,5		28 17,0		20 12,0
	13 15,0		38 15,5		30 14,0
	24 12,0				
14. I. 06	30 16,0				
	0 15				
	24 15,5				

Schließlich seien angeführt die Resultate der vollständigen Analyse von allen bedeutenden Stoffen des Sees. (Über Kalk, Kieselsäure, Sauerstoff und Kohlensäure s. oben.)

Tabelle 20.

	M	MgO	K+Na (als Chlorid)	SO ₂	Cl	Fe und Al
7. VII. 06	0	"	0,0625			
	15	"	"	0,0140	0,0200	"
	25	0,0080	"	"	"	Spuren
13. XI. 06	0	0,0081	0,0468		0,0201	Spuren
	13	84	"	0,0136		"
	24	80	"		0,0204	"
	30	80	0,0444	0,0142	"	"

Kapitel IV. Resultate der Plantonuntersuchungen.

Über die Bedeutung der Sprungschicht für die Vertikalwanderungen; über Detritus; das tote Plankton und über den Kreislauf der Kieselsäure.

In den letzten Jahren haben sich sehr viele mit dem Problem der Vertikalwanderungen und der zonalen Verteilung des Süßwassers beschäftigt. Die meisten der Untersuchungen erstrecken sich jedoch nicht über das ganze Jahr und ihre Resultate sind nicht mit denen der physikalischen Untersuchungen zusammengehalten worden. Auf diese zahlreichen mit großem Fleiß und vieler Ausdauer ausgeführten Untersuchungen brauchen wir nicht näher einzugehen.

Es ist ganz einleuchtend, daß die verschiedenen physikalischen Verhältnisse in der Stagnations- und Zirkulationsperiode ihren Einfluß auf das Plankton ausüben müssen. Während der Zirkulationsperioden verlaufen die Vertikalerscheinungen von dem Boden bis an die Oberfläche; in der Stagnationsperiode gehen sie hauptsächlich nur bis zur Sprungschicht; obwohl Vertikalströmungen unter der Sprungschicht beobachtet worden sind (Wedderburn), darf man doch als sichergestellt annehmen, daß diese darunter nie die Rolle spielen wie darüber. Einige behaupten, daß die Vertikalwanderungen des Planktons als ein rein physikalischer Vorgang, durch periodische Veränderungen der inneren Reibung des Wassers verursacht, aufzufassen seien; andere, daß sie rein biologischen Charakters seien. Wir verweisen hier besonders auf Ruttner (1905, S. 35 und 1909, S. 397) und möchten nur folgendes hervorheben.

Wenn Ruttner zum Beweis für seine Auffassung auf die von ihm konstatierten Tiefenwanderungen unter dickem Eise hinweist, „das

jeden Einfluß von Temperaturschwankungen ausschließt“, so bemerken wir, daß solche, wie in dieser Arbeit gezeigt wurde, sehr wohl in den baltischen Seen vorkommen können und wahrscheinlich auch immer stattfinden. Tiefenwanderungen unter dem Eise sind daher kein strikter Beweis für ihre rein biologische Natur, wie es Ruttner annimmt. Daß Wanderungen auch physikalischer Natur sein können, kann direkt bewiesen werden. Hält man ein hohes Zylinderglas mit lebendem Plankton in der Hand, so sieht man, daß an das Wasser von der Hand abgegebene Wärme allein genügt, um das Plankton in langsam auf und nieder steigende teilweise rotierende Bewegung zu setzen.

Die Hauptresultate sind also die folgenden:

Gleichzeitig mit dem Auftreten der Zirkulationsperioden werden die Wasserschichten vom Boden bis an die Oberfläche mit Detritismengen, Planktonskeletteilen usw. erfüllt. Ganz besonders am 13. II. 1906 war dies sehr augenfällig. Keine größere Änderung wurde in der winterlichen Stagnationsperiode beobachtet; auch im Frühjahr waren die Detritismengen nicht so augenfällig, sondern vermutlich ganz gleichartig in allen Wasserschichten verteilt. In der sommerlichen Stagnationsperiode ändern die Verhältnisse sich vollkommen. Über der Sprungschicht war immer sehr wenig Detritus; unter derselben traten große Quantitäten und in wachsender Menge auf; oft waren die Proben schwärzlich gefärbt, und der Detritus überwog bei weitem das lebende Plankton. Wahrscheinlich wird es in den tieferen Schichten mehr oder weniger aufgelöst; es ist nämlich mehrmals beobachtet worden, daß die tiefsten Wasserproben schwach braun gefärbt waren; oft waren die Detritismengen so groß, daß es aussah, als ob der Wasserscöpfer im Boden gewesen wäre.

Wir können also konstatieren, daß der Detritus in den Zirkulationsperioden gleichmäßig in den Wasserschichten verteilt ist, in der Sommerstagnationsperiode aber in immer wachsender Menge sich unter der Sprungschicht aufhäuft.

Bekanntlich lösen die Planktonorganismen einander ab. Wenn eine Art ihr Maximum gehabt hat, verschwindet sie, und eine neue tritt auf, um ihrerseits wieder einer anderen Platz zu machen. Abgestorben sinken die meisten zu Boden, wo ihre Skeletteile abgelagert werden. In den Zirkulationsperioden werden die Skeletteile des toten Planktons in allen Wasserschichten gefunden; in den Stagnationsperioden aber findet man, wenn man Stufenfänge mit Nansens Schließnetz vornimmt, sehr oft, daß das Plankton, welches ca. 2 bis 3 Wochen die Oberflächenschichten bevölkerte, nun als totes aus Skeletteilen bestehendes Plank-

ton in ganz bestimmten Wasserschichten (unter der Sprungschicht) steht. Von der Oberfläche verdrängt, gelangt dieses Plankton früher oder später unter die Sprungschicht und sinkt, weil das spezifische Gewicht dieser außerordentlich kleinen, oft mit Schwebevorrichtungen ausgestatteten Skeletteile dem des Wassers beinahe gleicht, von hier aus mit einer äußerst geringen Fallgeschwindigkeit zu Boden. Schon früher (W.-L. 1900, S. 650) ist hierauf aufmerksam gemacht worden. Genauere Beobachtungen können nun angegeben werden.

Wie immer im Furesee bildeten die Diatomeen *Melosira*, *Stephanodiscus*, *Cymatopleura* im April und Mai 1907 das große Frühjahrsmaximum. Anfangs Juni verschwanden sie beinahe ganz von der Oberfläche und wurden von *Fragilarien* und *Asterionellen* abgelöst. Am 13. VI. fanden die *Melosiren*, *Cymatopleuren* und *Stephanodiscen* sich in ca. 20 m Tiefe. Am 30. VI. standen sie in 25 bis 30 m, und noch am 16. VII. waren hier zahlreiche *Melosiren*; *Cymatopleuren* und *Stephanodiscen* waren beinahe verschwunden. Dann folgten im Juli bis August große Diatomeenmaxima von *Fragilarien* und *Asterionellen*, die im Winter von *Melosiren* wieder abgelöst wurden. Nähere Beobachtungen hierüber liegen nicht vor. 1906 aber waren die planktologischen Verhältnisse ganz dieselben. Dann hatten die *Fragilarien* noch am 12. IX. ein großes Oberflächenmaximum; am 5. X. waren sie von der Oberfläche beinahe verschwunden, zahlreich aber in einer Tiefe von 15 bis 20 m; am 19. X. fanden sie sich hauptsächlich auf 25 bis 30 m. An der Oberfläche wurden am 5. X. die *Fragilarien* von *Tabellarien* abgelöst, die am 19. X. verschwanden und nun zahlreich in 25 bis 30 m Tiefe standen.

Am 27. VIII. 1906 wurde unter der Sprungschicht eine Wasserschicht mit zahllosen *Notholca longispina*-Häuten gefunden; ähnliches hatte der eine von uns schon längst 1902 auf ca. 10 m im Madumsee in Nordjütland gesehen.

Am 8. VIII. 1906 wurde auf ca. 25 m eine an *Hyalodaphnia*-Häuten außerordentlich reiche Schicht gefunden; zahlreich waren auch *Bosminahäute*. Vergleiche mit den *Hyalodaphnien*, die damals die Oberfläche bevölkerten, ergaben für die Häute viel kürzere Helme, wie sie für die Tiere im Juni charakteristisch sind.

Es ist also möglich, nun ein ganz regelmäßiges Niedersinken der Planktonorganismen, wenn sie von der Oberfläche verschwinden, anzugeben; es scheint, als ob die Organismen 2 bis 4 Wochen brauchen, um den Boden an den tiefsten Stellen (38 m) zu erreichen.

Es fragt sich nun: Erreichen die Skeletteile überhaupt den Boden oder werden sie während des Untersinkens aufgelöst? Zweifellos lagern die Chitinreste der Planktonkruster sich unverletzt auf dem Boden ab; sie finden sich hier wie eine graue lockere Schicht, die jede Bodenprobe in den Schalen bedeckt. Mit den Diatomeen aber ist dies wahrscheinlich nicht der Fall, Asterionellen und Fragilarien fanden sich beinahe nicht in dem Bodenschlamm, die dickschaligen Cymatopleuren und Stephanodiscen dagegen viel häufiger. Studiert man das Material der tieferen Schichten näher, so zeigen die Diatomeen leere Zellen; nur die Öltropfen der Fragilarien halten sich lange. Die Chromatophoren treten aus den Zellwänden aus und bilden wahrscheinlich große Mengen des Detritus der Wasserschichten und des Seebodens. Die Kieselskelette sind ferner stark angerissen und zeigen zackige Ränder. Dies läßt vermuten, daß sie während des Untersinkens aufgelöst werden, und diese Vermutung können wir beinahe zur Gewißheit erheben. Brönsted hat den Kieselsäuregehalt der Proben vom 5. X. untersucht; die Untersuchung ergab folgendes Resultat:

Tabelle 21.

Tiefe	Tp.	Si O ₂
0	12,8	0,0022
13	12,8	0,0016
17	12,8 . . .	0,0018
20 . . .	12,8	} Sprung- schicht
23 . . .	9,6	
26	7,8	
30	7,4	
31		0,0043

Eben in diesen untersten Schichten von 25 bis 30 m fand W.-L. das reiche Material abgestorbener Diatomeen mit gezackten Rändern, Brönsted, daß der Kieselgehalt $2\frac{1}{2}$ größer war als in den übrigen Schichten.

Die im Sommer 1909 bis 1910 vorgenommene Untersuchung der dänischen Seen zeigt nun ferner, daß die Menge der Si O₂ in der Stagnationsperiode und der Tiefe zunimmt.

Tabelle 22.

Haldsee	0 m	0,0165
	25 "	0,0220
Tjele Langsee	0 "	0,0182
	20 "	0,0242
Julsee	0 "	0,0359
	? "	0,0197
Almindsee	0 "	0,0232
	20 "	0,0371

Sehen wir von den Analysen im Julsee ab, so zeigen die übrigen Seen ganz wie im Furesee eine bedeutende Steigerung der SiO_2 -gehalte unter der Sprungschicht. Um ferner zu sehen, ob das Wasser genau so wie es in den Seen entkalkt wird, auch entkieselt wird, wurden teils in dem Susaadistrikt, teils in dem Gudenaa Kieselsäurebestimmungen in dem Zufluß, im See und in dem Abfluß vorgenommen.

Tabelle 23.

Susaa vor dem Einfluß in den Tjustrupsee	0,0127
Oberfläche des Tjustrupsee	0,0045
Susaa im Abfluß des Tjustrupsee	0,0063
<hr/>	
Skanderborgsee	0,0229
Gudenaa im Abfluß von Mossee	0,0201
— Ehe dem Einfluß im Julsee	0,0204
Julsee } Oberfläche	0,0359(?)
	? m
Borresee	0,0161
Brassee	0,0139
Gudenaa nach Passieren der Silkeborgseen	0,0092

Es zeigt sich also, daß das Wasser sowohl in dem Susaa als in dem Gudenaa während seines Laufes durch die Seen in recht beträchtlicher Weise entkieselt wird. Ob die Entkieselung des Wassers mehr oder weniger mit Hilfe der Organismen (i. c. Diatomeen) vor sich geht, und ob sie in besonderen Jahreszeiten (Anfang der Stagnationsperioden oder nach den großen Diatomeenmaxima) und vielleicht hauptsächlich an der Oberfläche stattfindet, darüber müssen weitere Untersuchungen nähere Aufschlüsse geben. In Anbetracht der ganz plötzlichen, beinahe explosiven Entfaltung der ganzen Maxima und ebenso plötzlich erscheinenden Minima der Planktondiatomeen, darf man wohl annehmen, daß diese einen nicht zu unterschätzenden Einfluß auf den Kieselsäuregehalt ausüben. Die hier publizierten Untersuchungen verstärken diese Anschauung.

Von den Beobachtungen in dem Furesee und den Tatsachen ausgehend, daß das Wasser in den Seen entkieselt wird, und der Gehalt an Kieselsäure mit der Tiefe zunimmt, wagen wir anzunehmen, daß die meisten Kieselsäureskelette der Planktondiatomeen, wenn sie das kohlen-säurehaltige Bodenwasser erreichen, und die wegen ihrer außerordentlich dünnen Skeletteile und der geringen Bewegung des umgebenden Mediums lange suspendiert bleiben können, schwebend aufgelöst werden. In guter Übereinstimmung damit werden die Diatomeenablagerungen

(Kieselgur) nie von den dünnchaligen Planktondiatomeen, sondern von den weit dickhäutigeren Ufer- und Bodendiatomeen gebildet.

In den Planktoninvestigations (Vol. II, S. 51) wurde die Frage aufgeworfen: In welchem Stadium werden die Minima der Planktondiatomeen zugebracht und wo werden sie durchlaufen? Leider können auch diese Untersuchungen zu der Lösung dieser großen Fragen nur wenig Material abgeben.

Es kann nur hervorgehoben werden, daß von den Frühjahrsproben vom 26. II. 1907, die aus 20 bis 30 m sowohl sehr zahlreiche Melosirafäden mit Auxosporen als auch freie Auxosporen enthielten. In den Fäden waren zahlreiche leere hyaline Zellen. Es ist daher wohl möglich, daß die Melosiren, wie vermutet wurde (Planktoninvestigations 1908, S. 53), in den tieferen Schichten schwebend stehen, und daß die Fäden im Auxosporenstadium oder kurz bevor die Auxosporen entstehen, sich in einer Ruhe- oder vielleicht besser Depressionsperiode befinden, die erst mit der Zirkulationsperiode aufhört. Das Entstehen der Asterionella- und Fragilaria-Maxima ist nicht aufgeklärt.

Die Stephanodiscen und Cymatopleuren, vielleicht auch die Tabellarien, rühren aller Wahrscheinlichkeit nach von den Ufern her. Sie führen ein kurzes pelagisches Dasein und gehen dann auf dem tiefen Boden des Sees zugrunde. Die Maxima des nächsten Jahres rühren von neuem Ufermaterial her. Im übrigen sei hier auf die Planktoninvestigations verwiesen (S. 35—54).

Was *Bythotrephes longirostris* anbelangt, wurde schon in den Planktoninvestigations Vol. II, S. 241 angegeben, daß er im Sommer unter der Sprungschicht zu finden ist. Im Sommer 1906 fand der *B. longirostris* sich nur ganz vereinzelt an der Oberfläche; dagegen zeigen die Proben des Schließnetzes, daß große Mengen unter der Sprungschicht zwischen 13 bis 17 m standen; erst in der Probe vom 19. X. zeigten sie sich wieder zahlreich an der Oberfläche, wo sie sich nun das ganze Halbjahr und bis Juni 1907 mehr oder weniger zahlreich hielten; in der Probe vom 16. VII. 1907 war *B. longirostris* beinahe ganz von der Oberfläche verschwunden, stand aber nun zahlreich auf ca. 17 bis 20 m. Die in den Planktoninvestigations geäußerte Meinung, *Bosmina coregoni* antworte auf die jährlichen Schwankungen des Tragvermögens des Wassers mit Temporalvariationen — die wir allerdings nicht verstehen —, *Bosmina longirostris* hingegen durch Absinken in tiefere Wasserschichten mit größerer Tragkraft, scheint aufrecht erhalten werden zu können.

Die Proben zeigten das übrige wohlbekannte und oft erwähnte Phänomen, daß die jüngeren Stadien der Copepoden sich hauptsächlich an der Oberfläche halten, während die eiertragenden Tiere in tieferen Wasserschichten stehen. Überraschend war es, daß die Schließnetzproben vom 24. VII. 1906 in ca. 7 bis 13 m grosse Mengen von Diaptomiden mit Eiersäcken zeigten, während die Tiere an der Oberfläche nicht solche besaßen; später im Sommer fanden sich auch nur wenige Tiere mit Eiern in den tieferen Schichten.

Über eine allgemeine zonare Verteilung des Planktons läßt sich nur folgendes sagen: das Phytoplankton ist in lebendem Zustande, und wenn die Planktonten in voller Blüte stehen, beinahe nur auf die obersten Schichten beschränkt. Eine Ausnahme bildet nur Eudorina, die oft in Massen in tieferen Wasserschichten lebt.

Auf die tieferen Wasserschichten wenigstens des Tags scheint nur Bythotrephes beschränkt zu sein; bei trübem Wetter finden sich die Leptodoren auch an der Oberfläche; alle die übrigen Zooplanktonten sind hauptsächlich Oberflächentiere. — Es ist anzunehmen, daß die Bythotrephen und Leptodoren infolge ihrer großen Eigenbewegung von Vertikalströmungen ganz unabhängig sind, und daß sie selbst, wenn sie an hellen Sommertagen tief unter der Sprungschicht wandern, dennoch imstande sind, des Nachts wieder die Oberfläche zu erreichen. —

In den Planktoninvestigations (1908, S. 321) wurde angegeben, wie Litoralformen sich plötzlich über den See verbreiten und sozusagen die pelagische Region ausfüllen. So zeigte sich am 24. VII. 1906 ein Peridinium ganz plötzlich in ungeheuren Mengen. Am 8. VIII. war es nur noch in einzelnen Exemplaren zugegen und verschwand dann beinahe ganz.

Am 8. VIII. 1906 bildete Aphanizomenon eine schwache Wasserblüte; früher trat es nur ganz vereinzelt auf, hielt sich bis September, und hat von da an jedes Jahr im August und September ein kleines aber anscheinend immer wachsendes Maximum gehabt. Wir haben es hier mit Arten zu tun, die in reinen Gewässern in der pelagischen Region nicht einheimisch sind, die aber wahrscheinlich Jahr für Jahr durch die Verunreinigung des Seewassers mehr und mehr gedeihen werden.

Kapitel V. Chemische Untersuchungen in verschiedenen dänischen Seen im Sommer 1908.

a) Kalk.

In der beigegebenen Tabelle sind die Kalkprocente an der Oberfläche und am Boden der untersuchten dänischen Seen angegeben; über Größe, Tiefe und Lage verweisen wir auf die Planktoninvestigations Vol. I, S. 9. Die Proben wurden alle vom 10. bis 31. VII. 1909 gesammelt; die Methodik ist dieselbe wie bei den Fureseeuntersuchungen.

Tabelle 24.

	Milligr. CaO in 10 Lit. Wasser	
Nordseeländische Seen.	Oberfläche	Tiefe
Farumsee	854	956 (15 m)
Furesee	545	639 (30 m)
Bastrupsee	660	
Buresee	571	560 (10 m)
Esromsee	562	
Mittelseeländische Seen.		
Sorøsee	623	819 (10 m)
Tuelsee	762	
Tjustrupsee	721	
Gyrstingese	1060	
Haraldstedsee	924	
Mitteljütische Seen.		
Skandersborgsee		729 (14 m)
Julsee	568	575 (10 m)
Slaaensee	449	
Almindsee	230	230 (20 m)
Thorsee	352	
Brasee	566	
Nordjütische Seen.		
Loldrupsee	481	
Viborgsee	500	492
Haldsee	401	402 (26 m)
Tjele Langsee	596	484 (20 m)
Westjütische Seen.		
Sundsee	251	
Gedhussee	43	

Wir können aus den Tabellen die folgenden allgemeinen Beobachtungen ableiten.

Die Kalkmenge variiert in den dänischen Seen sehr stark. In dem kleinen jütischen Heidesee Gedhussee ist sie nur 43, in den mittel-seeländischen 1060.

Seen, die nahe beieinander liegen, haben einen sehr variierenden Kalkgehalt, der Farumsee 854, der nur um einige hundert Meter davon entfernte Furesee zu derselben Zeit nur 545.

Die kalkreicheren Seen finden sich alle in der Moränenlandschaft, östlich von der von Ussing angegebenen Stagnationslinie des Eises des baltischen Eisstromes (Ussing 1904, S. 252). Die Seen, die westlich von denselben auf sandigen von Moränen nicht bedeckten Flächen liegen, sind sehr kalkarm (Sundssee 251, Gedhussee 43).

Innerhalb der Moränenlandschaft ist der Kalkgehalt übrigens sehr schwankend. Im großen und ganzen scheint der Kalkgehalt in den Seen des östlichen Teiles des Landes größer zu sein als in den westlichen, auf den Inseln größer zu sein als auf der Halbinsel. Dieses Resultat werden eingehendere Untersuchungen sicherlich nur verstärken können.

Einen ganz merkwürdig hohen Kalkgehalt besitzen augenscheinlich die mittelseeländischen Seen von ca. 650 bis ca. 1000; bei weitem nicht so groß ist er in den nordseeländischen Seen, wo er bis ca. 550 (Furesee) sinken kann und mit Ausnahme des Farumsee sich nicht über ca. 650 erhebt. Der große Kalkgehalt des Farumsees ist auf ganz lokale Ursachen zurückzuführen. Der Zufluß des Sees kommt aus isoliert liegenden Ablagerungen von Saltholmskalk, auf dem die Kalkbrüche von Farum beruhen.

Vergleicht man den Kalkgehalt an der Oberfläche mit dem der tieferen Wasserschichten, so findet man wie im Furesee, daß er in den meisten Fällen steigt. Im Haldsee und Almindsee ist er aber derselbe und im Julsee nur wenig höher. In anderen Seen, Buresee und Tjele Langsee, ein wenig kleiner. Wir hatten erwartet, daß die für den Furesee gefundenen Zahlen allgemeine Giltigkeit haben würden. Dem scheint aber nicht so zu sein. Ganz sichere Schlüsse lassen sich natürlich auf den vereinzelt Abweichungen nicht aufbauen, umsomehr, als die Zahlen durch einen später entdeckten Fehler im Wasserschöpfer möglicherweise ein wenig entstellt sein können.

Um die erwähnte Vermutung, daß das Wasser in den Seen entkalkt würde, näher zu prüfen, wurde auch das Wasser in den Zu- und Abflüssen der Seen geprüft.

Der mittelseeländische Bach Susaa tritt, nachdem er den Abfluß des Sorosee und Tulsees aufgenommen hat, in das nordwestliche Ende des Tjustrupsee ein und verläßt ihn im südöstlichen Ende. Proben wurden an demselben Tag, in dem der Bach, ehe er im Tjustrupsee einläuft und im Ablauf genommen.

Tabelle 25.

Kalkmenge im Susaa vor dem Einlauf	1031
„ „ Tjustrupsee	721
„ „ Abfluß des Sees	927

Das Wasser ist also entkalkt worden.

Der Gudena¹⁾ entwässert die allermeisten der oben genannten jütischen Seen; er tritt in den Mossee bei Klostermöller ein, fließt, nachdem er mehrere Zuflüsse aufgenommen hat, durch den Julsee, Borresee, Brasse^e und Silkeborg Langsee, und mündet, nachdem er auch die Abflüsse des Hald- und Viborgsees aufgenommen hat, bei Randers ins Meer.

Tabelle 26.

Kalkmenge im Gudena ^a ehe er in den Mossee eintritt	615
„ nachdem er den Mossee passiert hat	578
„ ehe er in den Julsee eintritt	569
Julsee	568
Brasse ^e	566
Abfluß des Silkeborg Langsee	533

Es geht hieraus ganz deutlich hervor, daß das Wasser während seiner Passage von dem Einlauf in den Silkeborgsee und bis er diesen wieder verlassen hat, sich ganz regelmäßig von 615 bis 533 entkalkt. Von dem Ablauf des Mossee bis zum Verlassen der Silkeborgseen, empfängt er Zuflüsse von vielen kleinen Seen. Wir besitzen Kalkanalysen von den wichtigsten.

Tabelle 27.

Salten Langsee	365
Knudsee	618
Slaaensee	449
Almindsee	230
Thorse ^e	352

Es zeigt sich, daß sie mit Ausnahme des Knudsees im Kalkgehalt hinter den Seen, welche der Gudena^a durchströmt, sehr zurückstehen.

In den „Studien von Sökalk, Bønnemalen og Seegytje“ hat einer von uns 1901 den Kalkgehalt mehrerer Seegytjenablagerungen der hier behandelten Seen angegeben. Die Analysen wurden auf dem agrikulturchemischen Laboratorium der königlichen Veterinär- und Landwirtschaftsschule ausgeführt. In der folgenden Tabelle werden neben den Kalkprozenten des Bodens die durch diese Untersuchungen nun be-

¹⁾ Der größte Fluß in Jütland.

kannten Kalkmengen des Seewassers aufgeführt. Sowohl die Bodenproben 1900 wie die Wasserproben 1909 sind im Juli aufgenommen.

Tabelle 28.

See	Tiefe m	Kalkprozent des Seebodens	Kalkgehalt des Wassers
Furesee	32	35,30	545
"	3 Potamogentonregion	72,41	
Esromsee, nördlicher Teil	15	14	562
" südlicher "	22	14,14	
Tjustrupsee	20	46,98	721
Tuelsee	12	59,44	762
Julsee	20	0,10	568
Mossee	13	1,33	600
Skanderborgsee	15	25,41	
Haldsee	40	3	401
Hingese	4	88,50	
Loldrupsee	2	75,70	481

Die Grundproben sind immer an den tiefsten Stellen der Seen geschöpft, nur die vom Mossee stammen wegen stürmischen Wetters und da nur ein schlechtes Boot zu haben war, aus einer Tiefe von 13 m (Maximaltiefe wahrscheinlich 27—30 m). Wir vermuten, daß der Kalkgehalt der Seeboden, die große Tiefebenen darstellen, außerhalb des Litorals eine recht konstante Größe hat; doch bedauern wir natürlich selbst, daß wir nicht über mehr Bodenproben verfügen. Wir halten dennoch die Zahlen für recht zuverlässig, weil W.-L. die Proben selbst entnommen und zahlreiche Proben aus den verschiedensten Teilen der Seen untersucht hat. Seen mit kalkarmem Boden haben einen beinahe schwarzen Grundschlamm, bei reichlichem Kalkgehalt sieht der Boden grau oder weißlich aus. Falls nun die obengenannten Zahlen für die Kalkprocente der Grundproben wirklich einen korrekten Ausdruck für die Ablagerungen an den tiefen Stellen der Seen abgeben, so kommt man, wenn man diese Zahlen mit denen über die Kalkmengen des Wassers vergleicht, zu sehr bemerkenswerten Resultaten.

Es zeigt sich nämlich, daß man im allgemeinen gar keine Übereinstimmung zwischen Kalkgehalt des Wassers und Kalkgehalt des Bodenschlammes findet. Wir sehen, daß die Kalkgehalte des Wassers des Esrom- und Furesee beinahe gleich groß sind; (545 und 562) der Kalkgehalt des Bodens des Furesee dennoch mehr als zweimal so groß ist als der des Esromsee (35,30 gegen 14). Der Kalkgehalt des Wassers in den Silkeborgseen (Julsee und Mossee) ist etwas höher als im Furesee

und Esromsee; der Boden aber ist beinahe kalkfrei ca. 1%. Der Kalkgehalt des Wassers im Haldsee ist ca. 400, im Loldrupsee gewiß 481, also ca. $\frac{1}{5}$ größer; im Seeboden ist aber der Kalkgehalt im Haldsee nur 3, im Loldrupsee ca. 75 d. h. 25mal größer.

Es sieht beinahe aus, als ob der Kalkgehalt des Seewassers gar keinen Einfluß auf den Kalkgehalt des Seebodens hat. Wie läßt sich dieses erklären? — Zwei Faktoren können hier wirksam sein. Erstens ist es sehr wohl möglich, daß verschiedene Kohlensäurespannungen in den verschiedenen Seen vorhanden sind, daß mit anderen Worten, bei gleichem Kalkgehalt der eine See einen anderen Wert des Sättigungsgrades besitzt als der andere. Die Größe der Zuflüsse und die Zeit, welche die Durchströmung des Wassers dauert, wird sicher hier von Bedeutung sein. Zweitens müssen wir aber auch annehmen, daß es in dem See Faktoren gibt, die den Kalkgehalt des Wassers in verschiedener Weise ausnützen und den ausgefällten Kalk früher oder später in irgendeiner Weise dem Seeboden zuführen. Daß diese Faktoren von allgemein klimatischer, geologischer oder chemischer Art sein können, läßt sich natürlich nicht ableugnen, und daß solche wirklich eine Rolle spielen können, finden wir sehr wahrscheinlich. So kann man z. B.: Zufuhr von kalkhaltigem Wasser eines größeren Sees in einen kleineren, an Humussäuren reichen, wodurch große Quantitäten von humussaurem Kalk ausgefällt werden, hervorheben. Ferner regelmäßige Kalkproduktion an grünen Pflanzen, Verdampfung des Wassers im Spätsommer, Ablagerung des Kalkes, neues Ausfüllen der Seebecken, neue Wasserpflanzenvegetation, neue Kalkproduktion usw. Keiner dieser Prozesse ist aber imstande in den obengenannten Seen das große Mißverhältnis zwischen Kalkgehalt des Seewassers und den Bodenablagerungen zu erklären. Dies vermag nur ein einziger Faktor; die verschiedenen kalkproduzierenden Organismen und die verschiedenen Mengen, in denen sie auftreten; dieser Faktor erklärt aber auch das Mißverhältnis in vollkommen befriedigender Weise.

Ist es aber die Anwesenheit oder Nichtanwesenheit der Organismen, die bestimmt, wie stark das Seewasser in den Seen entkalkt wird, und wie große Mengen von CaCO_3 auf dem Seeboden abgelagert werden, dann muß man auch imstande sein zu zeigen, daß die das Seewasser abkalkenden Organismen in den Seen fehlen, wo die Kalkablagerungen gering sind und häufig, wo diese groß sind. Über diesen Punkt fehlen noch Untersuchungen; über die Molluskenmenge in den verschiedenen Seen wissen wir nichts. Was Characeen anbelangt, wissen wir, daß sie in dem Furesee große unterseeische Wiesen bilden; ferner daß sie

nur eine sehr untergeordnete Rolle in den Silkeborgseen und dem Haldsee spielen. Die Potamogetonzone fehlt in keinem unserer Seen; ob sie mehr Kalk in dem einen als in dem anderen See produziert, ist schwer ausfindig zu machen, und darüber wissen wir nichts.¹⁾ Nur eine einzige Gruppe kalkproduzierender Organismen und ihre Kalkproduktion ist leicht zu beobachten und ihre Produktionsfähigkeit kann in den verschiedenen Seen direkt miteinander verglichen werden; es sind die steininkrustierenden, blaugrünen Algen.

Nun zeigt es sich, daß die stärksten zentimeterdicken Kalkkrusten an den Ufersteinen eben in den Seen sich finden, die entweder die höchsten Kalkprozentage im Seeboden (Tuelsee, Tjustrupsee) aufweisen oder deren Wasser am kalkreichsten ist (Gyrstingensee, Haraldstedsee). Eben in diesen Seen ist alles, was im Wasser liegt, mit dicken Krusten von blaugrünen Algen bedeckt.

Sie finden sich reichlich im Furesee und Farumsee, fehlen aber gänzlich im Esromsee, dessen Kalkmenge im Seeboden nicht halb so groß ist, als die des Bodens im Furesee. Ferner fehlen Kalkinkrustationen auf Steinen vollständig im Haldsee, Mossee und Julsee, dessen Kalkmenge im Seeboden nur etwa 1% ist. — Die Gruppe der kalkproduzierenden Organismen, der steininkrustierenden Algen, die einzigen, deren Verbreitung in unseren Seen wir heutzutage kennen, zeigt also vollkommen überzeugend, daß sie da auftreten, wo die Kalkablagerungen des Seebodens groß sind, und daß sie dort nicht vorhanden sind, wo solche fehlen. —

Indem wir übrigens auf die „Bodenuntersuchungen“ hinweisen (1900), sei hier nur folgendes hervorgehoben. Wie dort bemerkt, gehen die kalkproduzierenden Organismen des Sees nicht über ca. 8—11 m hinaus. Außerhalb der 11-Meterkurve finden wir von solchen nur die Pisidien, die doch wahrscheinlich nur in geringem Grade imstande sind die Kalkprozentage des Bodens zu erhöhen. Der Kalk in dem See, der von Organismen produziert wird, entsteht hauptsächlich in der Litoralregion, und wird von dort mit den Wellen in suspendierter Form dem tieferen Boden zugeführt. Es sind die suspendierten Kalkpartikeln der Litoralregion, die bei Sturm unseren Seen die weißgelbe Farbe verleihen. In einem heftigen, plötzlich sich erhebenden Sturm, stand der eine von uns auf den Höhen über den Brandungsufern des Furesees. Das Wasser

¹⁾ Nur so viel kann hervorgehoben werden, daß man in den Ländern, wo der Boden und das Wasser kalkarm ist, oder wo Kalk überhaupt fehlt (Schottland, Mittelschweden), auf den Wasserpflanzen nicht die Kalkablagerungen findet, die für Länder mit kalkreichem Boden und Wasser eigentümlich sind.

war vorher schön blau; quer über, bis zu einer Tiefe von etwa 10 m streckte sich schnell eine beinahe gerade Linie. Zwischen dieser und dem Brandungsufer war das Wasser weißgrau, weil die Wellen bis zu dieser Tiefe den Seeboden aufgewirbelt hatten; weiter seewärts war das Wasser noch blau. Am nächsten Tag war die ganze Oberfläche weißgrau. Nach starken Stürmen kann diese Farbe sich mehrere Tage erhalten, so lange, bis der in der Litoralregion produzierte und seewärts getriebene Kalk langsam tiefer und auf den Boden sinkt.

Die Kalkproduktion findet ganz besonders im Sommerhalbjahre statt, weil die Pflanzen nur dann tätig sind; die Kalkablagerungen in der Litoralregion gehen besonders im Spätherbst und Winter vor sich. Das Wegschaffen erfolgt im Frühjahr, wenn das aufbrechende Eis alles in der Litoralregion in Bewegung gesetzt hat und die leeren Molluskenschalen zermahlen und pulverisiert worden sind. Falls die Bodenfauna nicht die natürlichen Lagerungsverhältnisse störten, wäre eine Schichtung von kalkarmen und kalkreicheren, dunkleren und helleren Streifen in dem Seeschlamm wohl denkbar. Eine solche ist auch von Steusloff (1905, S. 16) gefunden, und auch von ihm in Verbindung mit den obengenannten Phasen in der Kalkproduktion der Organismen gesetzt. Ganz ähnliche Strukturverhältnisse hat bekanntlich auch de Geer im „hvarviga lera“ gefunden, und auch dort eine kalkreichere und kalkärmere Schicht als Produkt eines Jahres aufgefaßt.

Wenn unsere Seen vielfach kalkreichen Boden aufweisen, so liegt dies sicher nicht nur an ihrer Lage in einer an Kalk reichen Gegend, die die erste Bedingung für das Auftreten der kalkliebenden Organismen — stark kalkhaltiges Wasser — zu erfüllen vermag. Die Seen sind auch deshalb so kalkreich, weil ihr Litoral so breit ist. Diese Region besteht aus leicht geneigten ebenen Flächen, die, ehe sie eine Tiefe von 9—11 m erreichen, ein im Verhältnis zum ganzen See sehr großes Areal bedecken und über die sich die kalkproduzierenden Organismen ausbreiten können. Wo das Litoral schroff abfällt, wird die kalkproduzierende Zone sehr schmal.

Wie schon oben erwähnt, werden die Seen wegen ihres breiten Litorals im Sommer auch zu warmen Seen, deren hohe Temperaturen wiederum für eine reichliche Kalkproduktion von großer Bedeutung ist.

b) Kieselsäure.

Kieselsäurebestimmungen liegen von 2 seeländischen und 13 jütischen Seen vor; alle diese Angaben (g in 1000 g Wasser) rühren von der Oberfläche her.

Tabelle 29.

Seeländische Seen: Furesee	s. Kap. III	Jütische Seen: Almindsee . . .	0,0232
Tjustrupsee	. 0,0045	Thorssee . . .	0,0272
Jütische Seen: Skanderborgsee	. 0,0229	Haldsee . . .	0,0165
Knudsee . . .	0,0284	Loldrupsee . . .	0,0288
Julsee . . .	0,0359	Tjele Langsee . . .	0,0182
Borresee . . .	0,0161	Sundssee . . .	0,0362
Brassesee . . .	0,0139	Gedhussee . . .	0,0071
Slaaensee . . .	0,0307		

Es scheint hieraus hervorzugehen, daß der Kieselsäuregehalt in den jütischen Seen größer ist als in den seeländischen; dies steht teils mit dem geologischen Bau des Landes im allgemeinen in guter Übereinstimmung, teils mit dem Uferbau der Seen, der im großen und ganzen in den jütischen Seen viel sandiger ist als in den seeländischen. Es ist recht interessant zu sehen, daß in den typischen Heideseen, wo der Boden ganz aus Kies besteht, der Kieselsäuregehalt den Kalkgehalt übersteigt.

Tabelle 30.

	SiO ₂	CaO ₃
Sundsee	0,0362	0,025
Gedhussee	0,0071	0,0043

c) Sauerstoff.

In der Tabelle 31 ist angeführt der Prozentgehalt an Sauerstoff, den die mit dem Wasser in Gleichgewicht befindliche Luft enthält. Es zeigt sich, daß die Bodenschichten immer weniger Sauerstoff enthalten wie die Oberflächenschicht — ganz wie wir es in dem Furesee gefunden haben — und daß der Unterschied gewöhnlich in den tieferen Seen am stärksten auftritt. Daß andere Faktoren auch hier von Bedeutung sind, ersehen wir aus dem Vergleich z. B. von Sorösee und Knudssee, wo letztgenannter, obgleich von mehr als doppelter Tiefe einen weit kleineren Unterschied im Sauerstoffgehalt als erstgenannter aufweist.

Die chemische Schichtung, die sich bei den Kalkuntersuchungen in einigen Fällen zeigte, tritt auch hervor, wenn wir die Sauerstoffkonzentrationen, die nach der Methode von Krogh bestimmt wurden, betrachten. Zur Berechnung der absoluten Sauerstoffmengen wie bei der Untersuchung des Furesees sind die Druckmessungen ungenügend, aber ein klares Bild der in bezug auf den relativen Mengen herrschenden Verhältnisse läßt sich aus den Messungen ziehen.

Tabelle 31.

See	Zeit	Tiefe	Prozentgehalt
Buresee	25. VIII. 1908	0	21,0
		10	19,1
Bastrupsee . . .	25. VIII. 1908	0	21,5
Sorøsee	30. VII. 1908	0	23,6
		10	10,7
Tjustrupsee . .	31. VII. 1908	0	23,6
		15	10,7
Esromsee	11. VIII. 1908	0	22,0
		18	13,7
Haldsee	22. VII. 1908	0	21,5
		25	13,4
Viborgsee	24. VII. 1908	0	19,8
		8	17,8
Tjele Langsee . .	23. VII. 1908	0	24,0
		16	13,7
Skanderborgsee .	19. VII. 1908	0	22,2
		14	21,0—19,8
Knudssee	18. VII. 1908	0	19,9
		25	17,8
Juulsee	27. VII. 1908	0	20,2
		10	14,0
Slaasensee	16. VII. 1908	0	20,5
Almindsee	17. VII. 1908	0	19,3
		20	15,3

Summary of Results.

Introduction. Whilst the thermal conditions of the Baltic lakes are pretty well known, our knowledge of the chemical conditions of those lakes has hitherto been almost quite lacking. Throughout the period 15. VI. 1907 to 29. X. 1908 fortnightly chemico-thermal investigations combined with plankton studies have been carried on in the Furesø', North Zealand, when at all practicable. The depth of the lake is ca. 40 m.; the samples have all been taken on the same spot at ca. 35 m. The investigations first comprised temperature-series (commonly 10 records); then four water-samples were taken from different depths, the depth being determined by the discontinuity layer if such were present. In every sample O, CO₂, SiO₂ were determined but not until the following day. From 18. VIII. 1908 till 20. VII. 1909 a new investigation was made on much the same principles, with the same apparatus and on the same spot; this time however the amount of O and CO₂ was determined immediately after the samples had been taken.

On a short journey from 10. VII to 31. VII. 1909 almost all the chief Danish lakes were visited and explored on quite the same principles. During the first Furesø investigation a number of vertical and horizontal plankton samples were taken partly with the Nansen closing-net and partly with the Fuhrmann net.

The chemical investigations have been conducted by Prof. J. N. Brönsted who was however for a time replaced by Dr. Mathiesen; the planktological and thermal part by W.-L. The Chapters relating to CO_2 , O_2 and CaCO_3 have been worked out by Prof. Brönsted; those relating to plankton, the freezing of the lakes as also chapter II (the significance of the temperature investigations in reference to biology) by W.-L. The chapter relating to the thermic properties of the lakes must be regarded as the common result of our mutual work.

The investigations have been somewhat difficult, often incurring pretty hard work principally because the sum we had at our disposal was insufficient.

The main results of the investigation are as follows:

1. The annual variation in the amount of O , CO_2 and CaCO_3 in a Baltic lake has been ascertained; during periods of stagnation the lake is not only thermally but also chemically stratified.

2. It may be regarded as certain, that the organisms play a prominent part in the decalcification of lake-water.

3. The amount of SiO_2 in the water is decreasing in the Baltic lakes, which is probably in part due to the influence of the great diatom maxima.

4. In the Baltic lakes the broad and shallow littoral zone plays a prominent rôle as regards the general thermal condition of the lakes.

5. A series of observations regarding the freezing of the ice of fresh-water, the temperature beneath the ice and the structure of the ice, have been carried on.

6. The mechanism of the mixing process in the water has been closely studied. The manner in which the air temperature of the spring may influence the total amount of heat in the lake in the later periods of the year is touched upon. The importance of the wind is discussed in connection with Wedderburn's views, special attention being called to the effect producing the non-appearance of the stagnation-period in winter.

7. The thermal observations have shown that during the period (12 to 16° C) May—June, October—November when the temporal variations are developed, the greatest oscillations in temperature, viscosity and specific gravity likewise take place. The supposition that the temporal variations must be regarded as the response of the organisms to the oscillations in viscosity and specific gravity must be maintained.

8. The plankton observations augmented our knowledge of the dead plankton and detritus.

9. It has been, practically proved that the eastern lakes of Denmark are richer in chalk than the western; on the other hand the western lakes

are richer in SiO_2 than the eastern; these facts are both in full accordance with the general geological structure of the country.

Chap. I. Observations relating to the temperature circulation and freezing of the lake. Having shortly set forth the ideal thermal conditions of a temperature lake, the prevailing conditions peculiar to the Furesö have been stated; we refer to the figures and tables p. 261—263 and shall here only draw attention to the following points. Wedderburn, as is well known, was the first who emphasized the influence of the wind upon the temperature and circulation of the lake-water. According to Wedderburn the formation of the discontinuity layer is due to the action of the wind. Wedderburn is of opinion that it does not occur until the cooling of the water has taken place. Further, in accordance with Wedderburn's views the presence of the layer already in the first month of summer necessarily implies that the action of the wind is influential even at the period of stagnation.

The temperature and circulation of Furesö do not correspond throughout the year to the ideal conditions which would arise if the specific gravity, which is dependent on the temperature, were alone regulative of the circulation. The available data, collected during the investigations in Furesö from June 1906 — October 1907 and from August 1908 — July 1909, show in the first place, that the temperature curve, that is the curve representing the relation between depth and temperature, displays a sharply decreasing gradient towards the bottom in the summer, due to the heating of the upper water-layers. At this period points of inflexion occur on the temperature curves, which by their position determine the "thermocline". In the neighbourhood of this we have the discontinuity layer, in which the change of temperature is greatest, though its boundaries or limits are not to be determined. In the case of the most sharply marked thermocline (12. IX. 1906) a temperature fall of 4.3° appeared over one meter (between 18 and 19 m). In the formation of the discontinuity layer the daily variations of temperature and especially the wind participate. The effect of the latter is also displayed in the stagnation period during the spring.

The lower temperature of the bottom-water will prevent mixing, especially when the temperature of the above-lying layers is high. Before the full circulation sets in in autumn, there appears at the bottom a slight rise of temperature, which is just produced by the approximation of the temperatures. From the differences in the air temperature which occur at different seasons in the different years, we may conclude, that a high temperature in spring and early summer with lower temperature of the bottom-water, is closely connected with a later heating up of the latter and a late occurring full circulation, whilst a cold spring has the opposite effect. For the total or complete heating of the lake a high temperature in spring is not favourable.

The temperature observations in winter below the ice show that the period of winter-stagnation does not occur until the lake is covered with a sheet of ice. As regards the tropical lakes (Forel) it seems probable that a period of winter-stagnation does not take place at all, further that in the

temperate lakes it is restricted to the period when the lake is frozen over, and even in these lakes it is rather slight as compared with the season of summer-stagnation. The general interpretation that the lakes when the temperature has gone down to 4°C retain this temperature at the bottom during the ice-covered period and further throughout the whole of the winter does not seem to accord with the results gained by our investigations.

The expected winter stagnation does not occur; throughout the whole winter, when the lake is free of ice, there is a circulation produced by the wind. The ordinary view, that the bottom-water is only cooled down to 4° , is thus not correct.

Observations made in the winter 1905 prove, that the freezing of the lake is greatly dependent on the precipitation and the character of the same. Heavy snow-falls will accelerate the freezing. Temperature-series from below the ice taken in the winter 1908—1909 show a remarkable increase of temperature from 19. I. to 14. IV.; the bottom tp. rose from 1,3 to 2,2 the surface tp. from 1,2 to 1,7. According to our view the temperature rise of the bottom layer may be explained thus: whilst the water, after the circulation due to the wind, has been cooled down the lake-bottom still retains a somewhat higher degree of heat by which the water now profits. The increase of temperature in the midmost water layers seems more difficult to account for. Observations in smaller lakes have shown, that the rise of temperature which is here much greater than in larger lakes (from 0 to 5°C) is due to the processes of oxidation; in larger lakes this explanation will not hold good. In winter and early spring the Baltic lakes possess a heat-collecting factor in their broad and shallow littoral zone along their south, exposed shores, the significance of which has hitherto been rather underrated. It may be pointed out that on 3. III. 1907 when Furesö was covered with ca. 12 cm thick ice the temperature towards the bank in ca. 6 cm of water and ca. $\frac{3}{5}$ meter from the margin of the ice was not less than 7°C (sheltered thermometer), bright sunshine, time from 12—4 p. m. The air temperature in the shade was $+0,5^{\circ}\text{C}$; at 5 p. m. the temperature of the water at the same place had gone down to $+5,5$, the air temperature to $-0,5^{\circ}\text{C}$. Shortly afterwards the free margin had become coated with a thin layer of ice. W.-L. in "Biologiske Studier tilegnede Warming" gives further communications upon this point. We conclude that in winter the increase of temperature of the middlemost water-layers beneath the ice may be partly referred to the higher temperature of the horizontal currents originating in the littoral region and on their course imparting heat to the pelagic region. Owing to the higher temperature below the ice the latter is observed to melt away from below. All in all we consider that the broad littoral region is of greater moment to the general thermic condition of the shallow-watered Baltic lakes than has hitherto been admitted. — It may further be emphasized that in our lakes air-bubbles, partly due to the breathing processes of plants on sunny days, in making their way through the ice, produce wakes in which the temperature in spring will rise slightly; when the ice becomes perforated by many such wakes augmented by the action of winds the heat thus accumulated may be of note in the rise of temperature of the lake generally at that season. The air channels in the ice-cover play a

prominent part in the breaking up of the ice; in the course of a few hours a high wind will transform a 1 dm thick sheet of ice into a pulp of 1 dm long thin iceneedles. Forels' "glaçons gateaux" have also been observed here and likewise peculiar conglomerates of ice-needles originating in the pelagic region, which gradually freeze together and are finally deposited near the littoral region where they are embedded in the clear crystalline ice of the littoral region. Pelagic ice has possibly been observed once; like Wedderburn we suppose that it may be referred to "taches d'huile".

Chap. II. The significance of the temperature studies as regards Biology. Knowledge of the annual amplitude of the surface temperature and that of the bottom-water pretty well serves to characterise a given lake as compared with other lakes. In the Baltic lakes the annual amplitude of the bottom-water is mainly dependent on the depth of the lake. It may be noted that the highest summer temperature at the bottom of our deeper lakes is not reached until the temperature of the surface has begun to fall. The summer season of the bottom layer in Furesø sets in two months later than at the surface. In his "Plankton investigations" W.-L. has shown that the great maxima and minima of the plankton organisms are dependent on the temperature of the lake and on the great annual temperature oscillations. The temperature observations now prove, that the temporal variations are developed in those very months (April-May and October-November) when the greater part of the change of temperature (from 5 to 14° C) occurs, often in the course of 1—2 weeks; during the other seasons (May-October — November-May) in which the lake-water for 4—5 months is almost of a uniform temperature, 14—18° or 5-0° C, the form variation of the plankton organisms is very slight. The supposition that the temporal variations may be regarded as the response on part of the organisms to the variation in the buoyancy or supporting power of the fresh-water has been greatly strengthened by these investigations. — The divergencies between the excellent observations of Woltereck and my own are not so great as would seem at a first glance; on this point I may refer to the main paper.

Chap. III. Chemical investigations in Furesø. The chemical investigations were directed mainly to the determination of the important substances oxygen, carbon dioxide and calcium carbonate. The oxygen was determined partly by titration after Winkler partly microtonometrically after Krogh. It was found, that the amount of oxygen was greatly dependent on the time of year and on the depth of the water-layer. In the period of full circulation the numbers, in consequence of the perfect mixing, were almost identical in all layers; when stagnation sets in differences occur, the bottom-layers being always poorer in oxygen. This phenomenon is present throughout the whole summer and the amount of oxygen fell to about 1/6th of the normal value for the surface-layers. The surface and on the whole the circulating layers are always very nearly in equilibrium with the atmosphere in regard to oxygen. In autumn, when the circulation reaches down to a

deeper water-layer, the amount of oxygen therein suddenly becomes normal and in October-November the oxygen concentration becomes again the same over the whole lake.

When oxygen disappears carbonic acid is formed and the amount of carbonic acid thus shows a corresponding rise at the bottom during the stagnation period. In most experiments the CO_2 tension was determined by means of Krogh's apparatus. In other experiments, in which the carbonic acid was titrated, the corresponding tension could be estimated at least from the physico-chemical equivalents for the carbonic acid. It could be shown, that almost the entire amount of carbonic acid formed by oxidation contributed to the increase in the CO_2 tension. The chemical stratification and dependency of the carbonic acid on the circulation were both very apparent, just as in the case of the oxygen. Whilst the surface usually shows a tension between 0,2 and 0,6‰ of one atmosphere, the tension of the bottom-layer rises in summer to about 3‰.

The amount of the dissolved calcium carbonates showed the least variation, though the observations display this very distinctly. The highest concentration observed was 65.0 mgm CaO per liter, the lowest 54,5 mgm.

During the period of circulation the amount of lime is evenly distributed over the whole lake. In the stagnation period the amount of lime very clearly increases in the bottom-layer and the upper layers show at that time a slight decrease. But the amount of lime also shows a tendency to increase at other times of the year, and a reduction only occurs in Sept.-Nov. and is then caused by mixing with the lime-poor water of the upper layers. In Nov.-Jan. the amount of lime at the bottom is almost constant. The amount of lime in the upper layers falls steadily in the course of the summer, but rises from Sept. to April. The amount of lime in the whole lake increases during the circulation period Oct.-April.

By taking account of the solubility of the calcium carbonate at different CO_2 -tensions it could be shown, that the water was ordinarily oversaturated with lime and consequently that the lime must be deposited in bound condition. This is in agreement with the fact, that the bottom is very rich in lime, and that the tributaries were richer in lime than the lake itself, whilst the outflowing waters were poorer. That the CO_2 tension usually exceeds that of the atmosphere is also in agreement with this, since it is only during a simultaneous loss of carbonic acid, that a continuous deposition of lime can take place.

Although the amount of lime is increased during the period Oct.-April, no chemical deposition of the lime takes place at that time. In June-Oct. such is impossible owing to the high CO_2 tension at the bottom. That an increase in the amount of lime has not been found at this time, may be referred to the activity of plants. Even if we must believe, that a partial return of the plant carbon to free CO_2 takes place owing to decomposition, it can be shown that the plants are able to form permanent deposits of lime.

A strongly decalcifying activity must also be ascribed to the Molluscs, as these in all probability can also separate the lime from unsaturated solu-

tions. Reference is also made to the katalytic activity possessed by crystalline substances in oversaturated solutions.

Chap. IV. Results of the plankton investigations in Furesö. During the periods of the stagnation the main part of the detritus will be found below the discontinuity layer. During the periods of stagnation the dead plankton which previously lived in the upper water-layers will sink down below the discontinuity layer and may here be found floating 2—3 weeks after it has disappeared from the surface layer; a stratification of this kind is not observable during the period of circulation. It may be presumed that the diatoms during the precipitation suffer decomposition just in the water-layer where W.-L. found a dead plankton of diatoms with partly dissolved shells. According to Brönsted the water contained $2\frac{1}{2}$ times the quantity of SiO_2 as in the other layers. The observations in the other Danish lakes show in the first place that the quantity of SiO_2 during the stagnation period increases from surface to bottom, and further that water passing through a lake will to some extent be deprived of its contents of SiO_2 . We are of opinion that with regard to these processes diatoms play a prominent part. In what manner the great diatom maxima arise we cannot say; resting-organs have not, as supposed, been found in the deeper water-layers; it can only be noted that auxospores were very common 26. III. 1907 on *Melosira* threads at depths from 20—30 m. In surface layers plankton organisms belong to the littoral region, from which during their maxima they have been distributed over the lake.

Chap. V. Chemical observations carried on in the Danish fresh-waters during the summer 1909. The following results may be pointed out: The amount of lime varies considerably in our lakes, in moorland lakes only 43 mgr, in lakes situated in a moraine country rich in lime 1060; lakes situated near each other often present a great difference in the amount of lime, thus: Furesö 545 whereas Farumsö 854. As in Furesö the amount of lime in the deeper layers of the other lakes is generally greater than at the surface. Examinations of the water of the inflow, of the lake-water and of the outflow clearly show that the water becomes more or less decalcified in the lakes, for instance in the Gudenaa-district from 615 to 533. In comparing the amount of lime in the lake-water with that of the lake-bottom we arrive at the peculiar result that the numbers differ considerably. Lakes with a great amount of lime in the water often contain only a slight amount in the lake-bottom. Apparently the amount of lime in the water of a lake does not influence that of the lake-bottom. This may be due to two different factors; in the first place it is quite possible, that different CO_2 tensions exist in the different lakes, in other words that with the same amount of lime the one lake may have a different coefficient of saturation from the other. It must further be supposed that in the lake-water there are factors which are able to a different degree to utilize the lime in the water, and that accordingly the precipitated lime will be deposited on the lake-bottom more or less plentifully and at an earlier or later period. We consider the organisms to play a most prominent part as decalcifiers of the lake-water, yet

to a different degree in the different lakes. We refer to the paper (W.-L. 1901). It is shown that lime-incrustations derived from blue-green algae on the stones of the littoral zone are abundant in lakes with a high lime percentage either in the water or in the lake-bottom, whereas they fail where the lime percentage is small; it is a wellknown fact that they likewise fail in countries where the lime percentage of the soil is small or wholly lacking, (Scotland, Middle-Sweden). The greater part of the lime derived from organisms is precipitated in the littoral zone, lime-producing animals rarely going out beyond the 11 m. curve; it is further principally precipitated in summer; the green plants being active during this season; the deposition of lime in the littoral region mainly takes place in later autumn, when the organisms are being decomposed and the lime-crusts become pulverized; in spring the eroding ice and the wind spread the lime-powder over the lake and sooner or later it will arrive at the depths of the lake and settle on the lake-bottom. The often whitish-green colour of our lakes is due to the great amount of pulverized lime in the water; the whitish colour is most predominant after stormy weather.

Literaturübersicht.

1904. **Amberg, B.**, Limnologische Untersuchungen des Vierwaldstätter Sees. Mitt. d. Naturforsch. Gesellsch. z. Luzern.
1905. **Aufseß, O.**, Die physikalischen Eigenschaften der Seen. Die Wissenschaft. Braunschweig.
1910. **Birge, E. A.**, An unregarded factor in lake temperatures. Transact. of the Wisconsin Acad., Vol. XXVI, p. 989.
1910. **Bourcart, F. E.**, Les lacs alpins suisses. Genève.
1909. **Boysen Jensen, P.**, Über Steinkorrosion an den Ufern vom Furesø. Internat. Rev. d. ges. Hydrobiol. u. Hydrogr., Bd. II, S. 163.
1910. **Caspary, W. A.**, Chemical composition of lake-waters. In Murray Bathym. Survey, p. 145. Siehe Murray.
1895. **Delebecque, A.**, Über den kohlensauren Kalk des Seewassers. Compt. rend., T. CXX, p. 790, Ref. f. Naturw. Rundsch. 1895, S. 331.
- 1892–1901. **Forel, F. A.**, Le Léman.
1910. **Guyer, O.**, Beiträge zur Biologie des Greifensees. Dissert. Zürich.
1908. **Götzinger, G.**, Der Lunzer Mittersee. Internat. Rev. d. ges. Hydrobiol. u. Hydrogr., Bd. I, S. 153.
1909. **Götzinger, G.**, Studien über das Eis des Lunzer und Obersees. Ibid., Bd. II, S. 386.
1901. **Halbfaß, W.**, Beiträge zur Kenntnis der Pommerschen Seen. Petermanns Mitt. Ergänzungsheft 136.
1909. **Halbfaß, W.**, Temperaturmessungen in tiefen Seen in ihrer Beziehung zur Klimatologie. Naturwissenschaftl. Wochenschr., N. F., Bd. VIII, S. 385.
- 1910a. **Halbfaß, W.**, Zur Thermik der Alpenseen und einiger Seen Nord-Europas. Bd. IX, S. 281.
- 1910b. **Halbfaß, W.**, Gibt es im Madüsee Temperaturseiches. Internat. Rev. d. ges. Hydrobiol. u. Hydrogr., Bd. III, Suppl.
1905. **Huber, G.**, Monographische Studien im Gebiete der Montigglerseen. Dissert.
1905. **Huitfeld-Kaas, H.**, Temperaturmessungen in dem See Mjösen. Arch. f. Math. og. Naturv., Vol. XXVII.
1898. **Knaute, K.**, Der Kreislauf der Gase in unseren Gewässern. Biolog. Zentralbl., Bd. XVIII, S. 785.

1899. **Knauthe, K.**, Beobachtungen über den Gasgehalt der Gewässer im Winter. Ibid., Bd. XIX, S. 783.
1904. **Krogh, A.**, On the tension of carbonic acid in natural waters and especially in the Sea. Medd. om Grönland, Vol. XXVI, p. 331.
1908. **Krogh, A.**, Some new methods for the tonometric measurements of gastensions. Skandinav. Archiv für Physiologie, Bd. XX, S. 269.
1908. **Krogh, A.**, Mikroanalyses of gases. Archiv f. Physiologie, Bd. XX, S. 279.
1908. **Krättschmar, H.**, Über den Polymorphismus von Anuraea aculeata. Internat. Rev. d. ges. Hydrobiol. u. Hydrogr., Bd. II, S. 623.
1908. **Lauterborn, R.**, Der Formenkreis von Anuraea cochlearis. II. Verh. d. Naturhist. Vereins zu Heidelberg, N. F., Bd. VII, S. 529.
1907. **Mühlen, Max von zur**, Über Sauerstoffuntersuchungen. S. 7.
1910. **Murray, J.**, Bathymetrical survey of Scottish Freshwater Lochs. Vol. I.
1910. **Nordqvist, O.**, Über das Eindringen des Lichtes in von Eis und Schnee bedeckten Seen. Internat. Rev. d. ges. Hydrobiol. u. Hydrogr., Bd. III, S. 79.
1902. **Pfenninger, A.**, Beiträge zur Biologie des Züricher Sees. Dissertat., Zürich.
1907. **Plate, L.**, Die Variabilität und die Artbildung nach dem Prinzip geographischer Formenketten bei den Cerion-Landschnecken der Bahama-Inseln. Archiv f. Rassen- und Gesellschafts-Biologie, Bd. IV, S. 433.
1905. **Ruttner, F.**, Über das Verhalten des Oberflächenplanktons zu verschiedenen Tageszeiten im großen Plöner See und in zwei nord-böhmischen Teichen. Plöner Forschungsbericht, Bd. XII, S. 35.
1909. **Ruttner, F.**, Über tägliche Tiefenwanderungen von Planktontieren unter dem Eise. Internat. Revue d. ges. Hydrobiol. u. Hydrogr., Bd. II, S. 397.
1905. **Stensloff, U.**, Torf- und Wiesenkalkablagerungen im Rederang- und Morseebecken. Dissert. Güstrow.
1910. **Steuer, A.**, Planktonkunde. Leipzig u. Berlin.
1908. **Thoman, J.**, u. **Bally, W.**, Biologisch-chemische Untersuchungen über den Arnensee. Internat. Rev. d. ges. Hydrobiol. u. Hydrogr., Bd. I, S. 610.
1898. **Ule, W.**, Beiträge zur physikalischen Erforschung der baltischen Seen. Forschungen zur deutschen Landes- und Volkskunde. Stuttgart.
1905. **Voigt, M.**, Die vertikale Verteilung des Planktons im großen Plönersee und ihre Beziehungen zum Gasgehalte dieses Gewässers. Plöner Forschungsber. Bd. XII, S. 113.
- 1907a. **Wedderburn, E. M.**, The Temperature of the Freshwater Lochs of Scotland. Transact. Royal Soc. Edinb. Vol. XIV, p. 407.
- 1907b. **Wedderburn, E. M.**, An experimental investigation of the Temperature changes occurring in Freshwater Lochs. Proceed. Roy. Soc. Edinb. Vol. 28, p. 1.
1908. **Wedderburn, E. M.**, The Freezing of Freshwater Lakes. Journ. of Scottish Meteorolog. Soc. 3 Ser. Vol. XIV, p. 219.
1909. **Wedderburn, E. M.**, Temperature observations in Loch Garry. Proceed. Roy. Soc. Edinb. Vol. XXIX, p. 93.
- 1910a. **Wedderburn, E. M.**, The Temperature Seiche. Scottish Geogr. Magaz. p. 83.
- 1910b. **Wedderburn, E. M.**, The Temperature of Scottish Lakes. In Murray: Bathym. Survey 1910, p. 91.
1911. **Wedderburn, E. M.**, The Temperature Seiche. Transact. Royal Soc. Edinb. Vol. XXXVII, p. 619.
1900. **Wesenberg-Lund, C.**, Von dem Abhängigkeitsverhältnis zwischen dem Bau der Planktonorganismen und dem spezifischen Gewicht des Süßwassers. Biol. Zentralbl. Bd. XX, S. 606.

1901. **Wesenberg-Lund, C.**, Studier over Sölkalk, Bonnemalm og Sögytje. Medd. Dansk. geol. Foren.
1904—1908. **Wesenberg-Lund, C.**, Planktoninvestigations of the Danish lakes. Copenhagen.
1905. **Wesenberg-Lund, C.**, Diskussion i geolog. Forening. p. 91.
1909. **Wesenberg-Lund, C.**, Om Limnologiens Betydning for Kvartærgeologien. Forh. Geolog. Foren, Stockholm. XXXI, p. 449.
1910. **Wesenberg-Lund, C.**, Grundzüge der Biologie und Geographie des Süßwasserplanktons. Internat. Rev. d. ges. Hydrobiol. u. Hydrogr., Supplement I.
1909. **Woltereck, R.**, Weitere experimentelle Untersuchungen über Artveränderung, speziell über das Wesen quantitativer Artunterschiede bei Daphniden. Verh. Deut. Zool. Gesellsch., S. 110.

Nachdem die Arbeit ganz druckfertig war, erschien das Werk:

1911. **Birge, E. A., and Juday, C.**, The inland lakes of Wisconsin. The dissolved gases of the water and their Biological significance. Wisconsin geological and Natural history Bulletin No. 22. Madison.

Wir bedauern, daß es uns nicht möglich war, diese wichtige Arbeit zu berücksichtigen.

[Zusatz der Redaktion: Ein biologisches und ein hydrographisches Referat — von Prof. Brehm und Prof. Halbfäß — erscheint in der nächsten Nummer der Revue.]
