

# Physikalische und chemische Untersuchungen in den Maaren der Eifel.

Teil II.

Von

**August Thienemann,**  
Münster i. W.

Mit 39 Tabellen und 15 Kurventafeln im Text.

## Inhalt.

Seite

Kapitel I: Chemische Untersuchungen in den Maaren der Eifel . . . . .	274
A. Die im Wasser gelösten Salze . . . . .	275
1. Der Abdampfrückstand . . . . .	275
2. Die einzelnen Stoffe . . . . .	280
3. Vergleich mit anderen Seen . . . . .	282
B. Untersuchungen über den Sauerstoffgehalt der Eifelmaare . . . . .	283
1. Tabellen über den Sauerstoffgehalt der Eifelmaare . . . . .	285
2. Die Sauerstoffverteilung in den Eifelmaaren . . . . .	288
3. Die Unterschiede in der Sauerstoffsichtung in den Binnenseen . . . . .	295
a) Typen der temperierten Binnenseen nach Temperatur- und Sauerstoffverhältnissen im Sommerwasser . . . . .	296
b) Über die Ursachen der Verschiedenheit der Sauerstoffsichtung in den Seen . . . . .	304
4. Biologische Ausblicke . . . . .	315
C. Schlammanalysen . . . . .	320

	Seite
Kapitel II: Das Ulmener Maar . . . . .	322
A. Einleitung . . . . .	322
B. Die physikalischen und chemischen Verhältnisse des Ulmener Maares . . . . .	329
1. Der Chemismus des Ulmener Maares . . . . .	329
a) Die im Wasser gelösten Salze . . . . .	330
b) Die im Wasser gelösten Gase . . . . .	335
α) Die Gase des Tiefenwassers . . . . .	335
β) Der Sauerstoffgehalt des Ulmener-Maar- Wassers . . . . .	338
2. Die Thermik des Ulmener Maares . . . . .	354
3. Dichtebestimmungen in den Wässern des Ulmener Maares . . . . .	359
C. Vergleich des Ulmener Maares mit andern Ge- wässern . . . . .	361
1. Das Schwarze Meer . . . . .	361
2. Binnenseen . . . . .	362
a) Der Lac de la Girotte und der Ritomsee (so- wie der Lago Moro) . . . . .	362
b) Der Burgsee bei Salzungen . . . . .	368
Anhang: Einige nachträgliche Beobachtungen zur Thermik und Optik der Eifelmaare . . . . .	373
Zusammenfassung der Hauptergebnisse . . . . .	383

---

## Kapitel I.

### **Chemische Untersuchungen in den Maaren der Eifel.**

Während die Thermik und Optik der Eifelmaare<sup>1)</sup> recht eingehend studiert wurde, machen unsere chemischen Untersuchungen in den Maaren der Eifel keineswegs Anspruch auf Vollständigkeit, sondern sind durchaus fragmentarischer Art. Wir haben nur solche Untersuchungen angestellt, die uns entweder von biologischer Bedeutung

---

1) Thienemann, Physikalische und chemische Untersuchungen in den Maaren der Eifel, Teil I (mit 2 Tiefenkarten, 7 Kurventafeln und 15 Tabellen), Verh. d. Naturh. Ver. d. preuß. Rheinl. u. Westf., 70. Jahrg. 1913, S. 249—302. Der hier folgende zweite Teil schließt sich unmittelbar an Teil I an; die im ersten Teil gegebene Einleitung gilt auch für den zweiten.

erschienen oder die für die chemische Charakterisierung der früher auf Grund ihres physikalischen Verhaltens unterschiedenen Maartypen wertvoll sein konnten. Besondere Aufmerksamkeit wurde im Jahre 1913 dem Studium der Sauerstoffschichtung gewidmet; Bestimmungen über den Gehalt des Maarwassers an freier Kohlensäure wurden nicht gemacht. Der Verfasser ist kein Chemiker, sondern Biologe; aus dem Folgenden dürfte aber hervorgehen, daß eine eingehende vergleichende Untersuchung über den Chemismus der Eifelmaare für den Fachmann eine lohnende und erfolgversprechende Aufgabe sein wird.

## A. Die im Wasser gelösten Salze.

Die wenigen vollständigeren Analysen von Wässern aus den Eifelmaaren, die von der Landwirtschaftlichen Versuchsstation zu Münster i. W. ausgeführt wurden, sind in Tabelle 1 zusammengestellt; in Tabelle 2 ebenso die zahlreichen Bestimmungen des Abdampfrückstandes. In beide Tabellen sind auch einige Zahlen für den Laacher See aufgenommen worden; indessen werden wir den Laacher See im folgenden nicht eingehender behandeln, da er schon wegen seiner geographischen Lage mit den übrigen Eifelmaaren nicht auf eine Stufe zu stellen ist. (Tabelle 1 und 2 s. S. 276 und 277.)

### 1. Der Abdampfrückstand.

Beginnen wir mit der Betrachtung des Abdampfrückstandes, d. h. der Gesamtmenge der im Wasser gelösten Salze (bei 110° C. getrocknet). Der Abdampfrückstand ist in einem und demselben See nicht während des ganzen Jahres konstant; er wird im allgemeinen in Zeiten großer Niederschläge geringere Werte besitzen, als in trockener Jahreszeit. Aus Tabelle 2 geht unmittelbar hervor, daß er auch in den einzelnen Eifelmaaren nicht konstant ist; indessen läßt sich aus unsern Beobachtungen kein Schluß

Tabelle 1.

## Die Zusammensetzung der Wässer der Eifelmaare (und des Laacher Sees).

(Die untersuchten Wasserproben wurden von der Oberfläche entnommen).

Aussehen . . . . .	Pulvermaar 9. VIII. 1910	Weinfelder Maar 8. VIII. 1910	Gemündener Maar 11. VIII. 1910	Schalken- mehrere Maar 7. VIII. 1910	Holzmaar 9. VIII. 1910	Meerfelder Maar 14. VIII. 1911	Laacher See 27. VI. 1911
Reaktion gegen Lak- mus . . . . .	sehr schwach gelb- lich und klar	farblos und klar	farblos und klar	farblos und klar	farblos und klar	farblos und klar	farblos und klar
Ammoniak . . . . .	neutral	neutral	neutral	sehr schwach alkalisch	neutral	neutral	schwach alkalisch
Gelöste Stoffe in mg	75,0	0	Spur	0	Spur	0	Spur
Kalk (CaO) . . . . .	12,5	52,5	42,5	212,5	167,5	222,5	384,0
Magnesia (MgO) . . . .	8,1	7,5	2,5	30,0	12,5	26,0	65,0
Schwefelsäure (SO <sub>3</sub> ) . . .	3,4	3,6	3,6	28,8	6,3	25,0	50,7
Chlor (Cl) . . . . .	7,1	4,3	6,0	9,4	6,9	7,2	46,3 (?)
Lösliche Kieselsäure (SiO <sub>2</sub> ) . . . . .	4,0	5,3	7,1	7,1	7,1	24,1	17,7
Alkalien, berechnet als Chloride (NaCl+KCl)	30,0	2,5	4,5	4,0	5,5	14,0	7,0
Natron (Na <sub>2</sub> O) . . . . .	—	14,0	7,0	81,0	32,5	110,0	165,0
Kali (K <sub>2</sub> O) . . . . .	—	—	—	32,4	—	46,4	61,9
Zur Oxydation erforderlicher Sauerstoff	3,9	3,9	2,4	11,9	2,9	14,3	30,6
				2,6		3,3	2,4

Tabelle 2.

Menge der im Liter Wasser gelösten Stoffe (Abdampfrückstand in mg).

## a) Pulvermaar

Datum	Tiefe in m	
	0 m	74 m
9. VIII. 1910	75,0	
5. X. 1912	74,0	
6. VIII. 1913	75,0	
6. X. 1913	98,8	82,5
5. II. 1914 (unter Eis)	74,0	69,2
Durchschn.	79	

## b) Weinfelder Maar

Datum	Tiefe in m	
	0 m	50 m
8. VIII. 1910	52,5	
4. X. 1912	44,0	
10. IV. 1913	34,0	38,4
8. VIII. 1913	65,0	36,0
3. II. 1914 (unter Eis)	48,0	
Durchschn.	49	

## c) Gemündener Maar

Datum	Tiefe in m	
	0 m	39 m
11. VIII. 1910	42,5	
12. VIII. 1911	28,5	25,0
4. X. 1912	32,0	
11. IV. 1913	31,6	26,0
3. VIII. 1911	27,5	42,5
8. X. 1913	40	
Durchschn.	34	31

## d) Holzmaar

Datum	Tiefe in m	
	0 m	20 m
9. VIII. 1910	167,5	
5. X. 1912	114,0	
6. VIII. 1913	100,0	107,5
6. X. 1913	130,0	147,5
4. II. 1914 (unter Eis)	95,0	109,2
Durchschn. <sup>1)</sup>	121	121

## e) Schalkenmehrener Maar

Datum	Tiefe in m	
	0 m	20 m
7. VIII. 1910	212,5	
3. X. 1912	222,0	262,0
6. IV. 1913	225,2	228,4
4. VIII. 1913	222,5	292,5
7. X. 1913	235,0	302,5
3. II. 1914 (unter Eis)	243,6	232,0
Durchschn.	227	263

## f) Laacher See

Datum	Tiefe in m	
	0 m	48 m
27. VII. 1911	384	
11. VIII. 1913	412,5	410,0

1) Durchschnitt für die 3 letzten Werte: 0 m = 108 mg, 20 m = 121 mg.

auf einen Zusammenhang zwischen Jahreszeit und Menge der im Wasser gelösten Stoffe ziehen. Der Abdampf-  
rückstand der Oberflächenwässer der Eifelmaare schwankte:  
im Pulvermaar zwischen 74 und 98,8 mg im Liter;

Amplitude also 24,8, Durchschnitt 79 mg;

im Weinfelder Maar zwischen 34 und 65 mg im Liter;

Amplitude also 31, Durchschnitt 49 mg;

im Gemündener Maar zwischen 27,5 und 42,5 mg im Liter;

Amplitude also 15, Durchschnitt 34 mg;

im Holzmaar zwischen 95 und 167 mg im Liter;

Amplitude also 72, Durchschnitt 121 mg;

im Schalkenmehrener Maar zwischen 212,5 und 243,6 mg  
im Liter; Amplitude also 31,1, Durchschnitt 227 mg.

Die — absolut — größten Schwankungen in der Menge der gelösten Stoffe zeigt also das Holzmaar; das Holzmaar ist das einzige unter den hier behandelten Maaren, das einen kräftigen oberirdischen Zufluß (den Sammetbach) besitzt. In die anderen Maare münden höchstens kleinste Rinnsale, deren Wasserführung im Verhältnis zum Inhalt des betreffenden Maares verschwindend klein ist; beim Weinfelder Maar fehlen oberirdische Zuflüsse überhaupt ganz. Die Größe der Schwankungen im Salzgehalt des Wassers dürfte beim Holzmaar wohl mit den Zuflußverhältnissen zusammenhängen.

In Teil I dieser Untersuchungen wurden auf Grund ihres thermischen und optischen Verhaltens Pulvermaar, Weinfelder Maar und Gemündener Maar zu einer Gruppe zusammengefaßt und einer zweiten Gruppe gegenübergestellt, die aus dem Schalkenmehrener, Meerfelder und Holzmaar gebildet ist.

Die chemische Untersuchung zeigt, daß diese Zusammenfassung berechtigt war: denn auch nach der Menge der im Wasser gelösten Salze sind beide Gruppen wohl zu charakterisieren. Gruppe I, die tieferen Maare, haben einen Abdampfrückstand, der 100 mg kaum erreicht und im Durchschnitt zwischen 34 und 79 mg (im ganzen zwischen 27,5 und 98,8 mg)

schwankt. Bei Gruppe II, den flacheren Maaren, überschreitet der Abdampfdruckstand nur ausnahmsweise 100 mg nicht, er schwankt im Durchschnitt zwischen 121 und 227 mg (im ganzen zwischen 95 und 243,6 mg). Innerhalb jeder dieser beiden Gruppen besteht allerdings kein Zusammenhang zwischen Tiefe des Maares und Menge der gelösten Salze. Die Behauptung, „daß der Gesamtdruckstand im großen und ganzen bezüglich seiner Quantität im verkehrten Verhältnis steht zur Tiefe des betreffenden Gewässers“<sup>1)</sup> läßt sich in dieser Allgemeinheit nicht halten.

Beachten wir nun weiterhin (vergl. Tabelle 2) die Verschiedenheiten, die zwischen dem Abdampfdruckstand des Oberflächen- und Tiefenwassers eines Maares bestehen, so ergeben sich auch hier Unterschiede bei beiden Gruppen der Maare. Unterschiede im Salzgehalt der verschiedenen Wasserschichten eines Sees sind — sieht man von eventueller Speisung durch salzhaltigere Tiefenquellen ab (vgl. das im Kapitel II eingehend behandelte Ulmener Maar) — von vornherein nur dann zu erwarten, wenn sich die Wassermassen des Sees im Zustande ausgeprägter thermischer Schichtung befinden, also im Sommer sowie ev. im Winter unter Eis. Nur dann können die biologischen Divergenzen zwischen Oberfläche und Tiefe — Haupt-Planktonentwicklung nahe der Oberfläche; Oxydationsprozesse nahe dem Grunde — auch Divergenzen im Chemismus der betreffenden Wasserschichten nach sich ziehen.

Bei der Maargruppe I, dem Pulver-, Weinfelder- und Gemündener Maar, ergab sich nun, daß die Unterschiede zwischen Oberflächen- und Tiefenwasser, was den Salzgehalt anlangt, meist so geringe sind, daß sie in den Bereich der Beobachtungs- und Untersuchungsfehler fallen. Einige Male (vergl. die Tabelle) erscheinen sie wohl beträchtlicher, doch kann man auch da ihnen wohl kaum eine reale Bedeutung zumessen, wenn man sieht, daß der

---

1) Steuer, Planktonkunde (Leipzig und Berlin 1910) p. 25.

Abdampfrückstand bald mit der Tiefe zunimmt (Weinfelder Maar 10. IV. 13. Gemündener Maar 3. VIII. 13.) bald abnimmt (die übrigen Werte der Tabellen 2 a—c).

Auch bei ausgeprägter thermischer Schichtung ist bei den Maaren der Gruppe I eine Verschiedenheit im Salzgehalt des Oberflächen- und Tiefenwassers nicht nachweisbar.

Wesentlich anders liegen die Verhältnisse beim Holzmaar und Schalkenmehrener Maar. Hier wurden stets im Tiefenwasser und Oberflächenwasser verschiedene Werte für den Abdampfrückstand gefunden, und zwar war der Gehalt des Tiefenwassers an gelösten Salzen immer höher als der des Oberflächenwassers. Die Unterschiede betragen im Holzmaar 7,5, 17,5, 14,2 mg; im Schalkenmehrener Maar im April 1913 3,2, im Februar 1914 unter Eis 11,6, im August 1913 70, im Oktober 1913 67,5 mg. Je schärfer also die Temperaturschichtung, umso größer der Unterschied im Salzgehalt des Oberflächen- und Tiefenwassers.

Die Maare der Gruppe II zeigen also bei thermischer Stratifikation auch eine saline Schichtung, derart, daß der Salzgehalt des Tiefenwassers stets größer ist als der des Oberflächenwassers.

## 2. Die einzelnen Stoffe.

Welche Stoffe die erwähnte Zunahme des Abdampfrückstandes in der Tiefe der Maare der Gruppe II hervorrufen, wurde nicht festgestellt.

Wohl aber ist aus Tabelle I einigermaßen ersichtlich, durch welche Stoffe die Verschiedenheit in den Oberflächenwässern der Maare bedingt ist.

Kalk, Magnesia und die Alkalien verursachen vor allem die Differenzen der Maarwässer. Der Gehalt des Wassers an Kalk beträgt

bei der Maargruppe	I	2,5— 7,5—12,5 mg,
„ „ „	II	12,5—26,0—30,0 „

der Magnesiagehalt bei I	3,6— 3,6— 8,1 mg.
„ „ „ II	6,3—25,0—28,0 „
der Alkaligehalt „ I	7— 14—30 „
„ „ „ II	32—81 —110 „

Bei den übrigen Stoffen sind bemerkenswerte Differenzen nicht vorhanden; nur fällt beim Meerfelder Maar der hohe Gehalt an Chlor und löslicher Kieselsäure auf.

Die Wässer aller Maare sind als weiche zu bezeichnen.

Wie aus Tabelle 3 hervorgeht, ist der Gehalt der Maarwässer an organischen Substanzen (ausgedrückt durch die Menge des zu ihrer Oxydation erforderlichen Sauerstoffs) überall recht gering. Wesentliche Unterschiede der Werte für die verschiedenen Maare (exkl. Ulmener Maar!) und verschiedenen Tiefen eines Maares wurden nicht festgestellt; für die Beziehung zwischen Eigenfarbe (Menge der gelösten Humussubstanzen) und Tiefe der Maare vergl. Teil I dieser Untersuchungen p. 299—300.

Tabelle 3.

Zur Oxydation erforderlicher Sauerstoff in mg pro Liter.

		Ober- fläche	Maar- tiefe
Pulvermaar	9. VIII. 1910	3,9	
	5. X. 1912	3,6	
	6. VIII. 1913	3,1	
	6. X. 1913		2,6
Weinfelder Maar	8. VIII. 1910	3,0	
	8. VIII. 1913	4,9	
Gemündener Maar	11. VIII. 1910	2,4	
	4. X. 1912 <sup>1)</sup>	5,12	
	3. VIII. 1913	3,2	5,4
	8. X. 1913	3,5	3,3

1) Vom Ufer aus entnommen.

			Ober- fläche	Maar- tiefe
Schalkenmehrener Maar	7. VIII.	1910	2,6	
	3. X.	1912	3,76	
	4. VIII.	1913	3,2	5,9
	7. X.	1913	4,6	4,0
Holzmaar	9. VIII.	1910	2,9	
	5. X.	1912	3,12	
	6. VIII.	1913	4,6	3,5
	6. X.	1913	3,7	5,4
Meerfelder Maar	14. VIII.	1911	3,3	
Laacher See	27. VI.	1911	2,4	

### 3. Vergleich mit anderen Seen.

Die Menge und Art der in einem Seewasser gelösten Salze hängt im wesentlichen von der Natur des Untergrundes des Sees und seines Einzugsgebietes ab. Andere Faktoren (Tiefe des Sees, Höhenlage usw.) spielen dabei kaum eine Rolle.

Nur eine genaue Kenntnis der geologischen Verhältnisse der einzelnen Maare könnte uns daher ev. das Verständnis für die Unterschiede in der chemischen Zusammensetzung der Maarwässer erschließen.

Ein eingehender Vergleich zwischen dem Salzgehalt der Eifelmaarwässer und der Wässer aus anderen Seen hat aus demselben Grunde nur ein geringes wissenschaftliches Interesse. Wir haben indessen in Tabelle 4 doch nach den Angaben verschiedener Autoren Abdampfrückstände und Glühverluste der Wässer einer Anzahl von Seen zusammengestellt, um zu zeigen, daß die Maare der Gruppe I zu den mineralstoffärmsten Wässern gehören, während die Maare der Gruppe II in Bezug auf ihren Gesamt-Abdampfrückstand vielen Alpenseen sowie norddeutschen Seen ähneln.

Teilweise noch ärmere Wässer bergen die Maare der Auvergne, über die uns Delebecque in seinem großen Werke „Les Lacs Français“ (Paris 1898) mancherlei be-

Tabelle 4.

Abdampfrückstand und Glühverlust (Organische Stoffe)  
verschiedener Seen.

	Tiefe in m	Abdampf- rückstand	Glühverlust
Genfer See . . . . .	375	175	10,2
Zuger See . . . . .	198	155	35
Hallstätter See . . . . .	100	138,9—176,4	17,1—23
Plöner See . . . . .	55	208,2	18
Laacher See . . . . .	53	384	
Oberer Zürichsee . . . . .	49	144	
Unterer Zürichsee . . . . .	38	152	
Arnensee . . . . .	39	94—164	8—15
Greifensee . . . . .	32	190—232	20—30
Westfälische Talsperren . . .	15—35	27—100	
Katzensee . . . . .	8	193,8—223	80,1—119,2
Müggelsee . . . . .	8	235,1	26,4
Lützelsee . . . . .	6	215,2	56,4
Unterpočernitzer Teich . . . .	3	247	32
Unterer Lochsee (Reinaltwasser)	1	336	42,6

richtet. Einen Teil seiner Angaben habe ich in Tabelle 5 (S.284) übersichtlich zusammengestellt. Es geht daraus hervor, daß diese Maare — blaue oder blaugrüne Seen mit großer Sichttiefe, also den Maaren unserer Gruppe I vergleichbar — Abdampfrückstände von 18,3—79 mg pro Liter besitzen, während der geringste, in einem Eifelmaar (Gemündener Maar) beobachtete Abdampfrückstand 25 mg beträgt.

Es dürfte sich erübrigen, den Vergleich weiter auszuführen.

## B. Untersuchungen über den Sauerstoffgehalt der Eifelmaare.

Von den im Wasser gelösten Gasen wurde nur der Sauerstoff eingehend untersucht. Die Entnahme der Proben geschah vermittelt eines Thiesingschen Wasserschöpfers, die Bestimmung des Sauerstoffs nach der Winklerschen Methode.

Tabelle 5.

## Die Maree der Auvergne (nach Delebecque)

Länge östlich von Paris . . . . .	1° 44' 5"	0° 33' 5"	0° 39' 20"	0° 29' 40"	0° 34' 45"	1° 27' 10"	—
Breite (nördlich) . . . . .	44° 49' 10"	45° 9' 45"	45° 58' 45"	45° 7' 35"	45° 3' 15"	44° 54' 30"	—
Meereshöhe (in m) . . . . .	997	1197	650	1166	1225	1208	—
Grösste Tiefe (in m) . . . . .	108,6	92,1	66,6	63,2	43,7	27,5	26,5
Oberfläche (in ha) . . . . .	91,7	44	34,6	53	14,8	43	15,34
Tiefe: $\sqrt{\text{Oberfläche}}$ . . . . .	1	1	1	1	1	1	—
Kubikinhalt (in 1000 cbm) . . . . .	8,82	7,19	8,83	11,51	8,81	23,85	—
Länge in m . . . . .	59986	29987	14255	17328	2736	6994	—
Breite in m . . . . .	1200	750	700	870	500	800	—
Datum . . . . .	7. VI. 1892	17. VI. 92	28. VI. 92	21. VI. 92	—	10. VI. 92	—
Farbe (Fores-Skala) . . . . .	IV	V	VI	VI	IV	V	V
Sichttiefe (in m) . . . . .	über 9	8,5	11	8,5	—	11,5	—
Datum und Stelle des Sees . . . . .	8. VI. 92	12. VI. 92	28. VI. 92	20. VI. 92	22. VI. 92	10. VI. 92	—
Gelöste Stoffe in mg pro l	0m Mitte	0m Ausfluss	0m Mitte	0m Mitte	0m Mitte	0m Mitte	—
SiO <sub>2</sub> . . . . .	27	29,1	66,8	21	18,3	24	—
CaO . . . . .	0,6	79	—	5,0	0,7	0,7	—
MgO . . . . .	5,6	8,8	—	3,8	3,8	6,2	—
Cl . . . . .	2,5	7,1	—	1,6	1,4	(?)	—
K <sub>2</sub> O . . . . .	1,7	—	—	schwache Spur.	Spuren	Spuren	—
Na <sub>2</sub> O . . . . .	1,1	—	—	—	—	1,1	—
SO <sub>3</sub> . . . . .	1,1	5,1	—	—	—	6,7	—
SO <sub>3</sub> . . . . .	5,7	10,7	—	—	—	4,8	—
CO <sub>2</sub> . . . . .	(?)	1,2	—	—	—	—	—
Fe <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	ca. 8	ca. 19	—	ca. 3	ca. 1	ca. 4	—

In den Tabellen bedeutet:

M die Tiefe der betreffenden Wasserschicht in Metern.

Tp. die Temperatur des Wassers in °C.

O<sub>2</sub> den tatsächlich beobachteten Sauerstoffgehalt in ccm pro Liter, auf 0° und 760 mm Druck reduziert.

O'<sub>2</sub> den bei vollständiger Sättigung und bei der Temperatur der betreffenden Schicht theoretisch zu erwartenden Sauerstoffgehalt in ccm pro Liter, auf 0° und 760 mm Druck reduziert.

[Es wurden für die Berechnung die von Birge and Juday<sup>1)</sup> (p. 20) angegebenen Werte benutzt; diese weichen von den von Brönsted und Wesenberg-Lund<sup>2)</sup> (p. 442) verwendeten etwas ab].

δ die Differenz zwischen O<sub>2</sub> und O'<sub>2</sub>.

O<sub>2</sub>% den tatsächlichen Sauerstoffgehalt in Prozenten des theoretisch zu erwartenden.

### 1. Tabellen über den Sauerstoffgehalt der Eifelmaare.

Tabelle 6.

Pulvermaar.

	M	Tp	O <sub>2</sub>	O' <sub>2</sub>	δ	O <sub>2</sub> %
6. X. 1913	0	14,5	7,22	7,04	+0,18	102,6
	25	6,0	8,26	8,49	-0,23	97,3
	50	4,5	8,24	8,78	-0,54	93,9
	74	4,0	8,16	8,87	-0,71	92
5. II. 1914 (unter Eis)	0	0	9,22	9,70	-0,48	95,1
	74	4,05	6,82	8,86	-2,04	76,9

1) Birge and Juday, The Inland Lakes of Wisconsin. The dissolved Gases of the Water and their Biological Significance. Wisconsin Geological and Natural History Survey, Bull. No. XXII, Madison Wis. 1911.

2) J. N. Brönsted und C. Wesenberg-Lund, Chemisch-physikalische Untersuchungen der dänischen Gewässer, nebst Bemerkungen über ihre Bedeutung für unsere Auffassung der Temporalvariation, Int. Revue d. ges. Hydrobiol. u. Hydrograph. IV. 1912, p. 251—290, 437—492.

Tabelle 7.  
Weinfelder Maar.

	M	Tp	O <sub>2</sub>	O' <sub>2</sub>	δ	O <sub>2</sub> °/o
10. IV. 1913	0	4,85	8,55	8,71	-0,16	98,2
	20	4,85	8,65	8,71	-0,06	99,3
	50	4,25	8,77	8,82	-0,05	99,4
8. VIII. 1913	0	16,5	7,32	6,75	+0,57	108,4
	20	6,4	8,82	8,42	+0,40	104,8
	50	4,6	8,25	8,76	-0,51	94,2

Tabelle 8.  
Gemündener Maar.

	M	Tp	O <sub>2</sub>	O' <sub>2</sub>	δ	O <sub>2</sub> °/o
11. IV. 1913	0	6,27	8,66	8,44	+0,22	102,6
	38	4,25	8,74	8,82	-0,08	99,1
3. VIII. 1913	0	19,7	7,32	6,32	+1,00	115,8
	5	17,0	7,59	6,68	+0,91	113,6
	25	4,9	8,25	8,70	-0,45	94,8
	38	4,8	7,77	8,72	-0,95	89,1
8. X. 1913	0	14,2	6,92	7,09	-0,17	97,7
	15	7,1	7,59	8,29	-0,70	91,6
	38	4,6	6,40	8,76	-2,36	73,1

Tabelle 9.  
Laacher See.

	M	Tp	O <sub>2</sub>	O' <sub>2</sub>	δ	O <sub>2</sub> °/o
11. VIII. 1913	0	17,2	7,01	6,65	+0,36	105,4
	48	5,1	7,17	8,66	-1,49	82,8

Tabelle 10.  
Schalkenmehrener Maar.

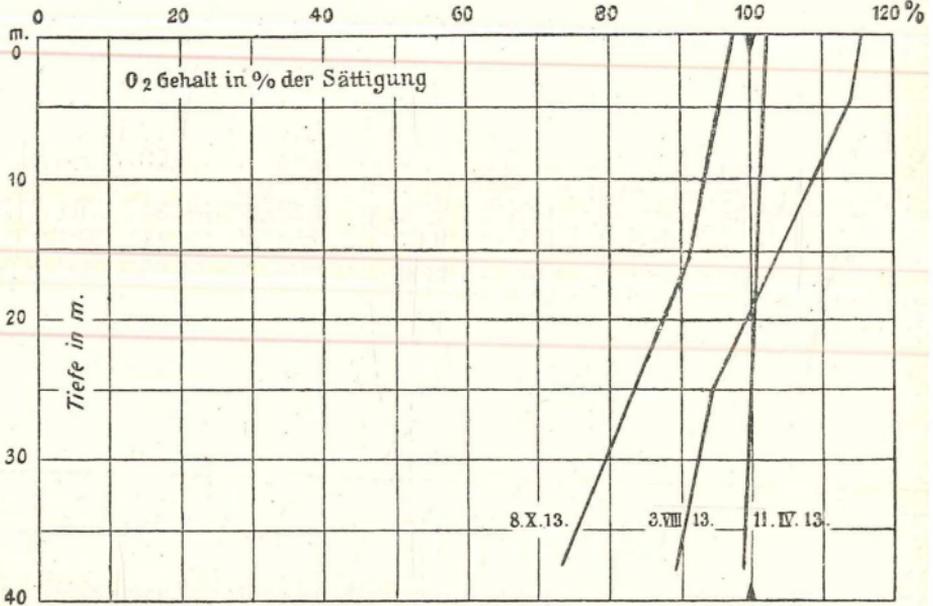
	M	Tp	O <sub>2</sub>	O' <sub>2</sub>	δ	O <sub>2</sub> %
4. X. 1912	0	10,1	6,90	7,75	-0,85	89,0
	13,5	9,1	6,61	7,93	-1,32	83,4
	16	7,0	2,97	8,31	-5,34	35,7
	18	6,5	1,30	8,40	-7,10	15,5
	20	6,15	0,74	8,44	-7,70	8,8
7. IV. 1913	0	6,7	8,70	8,36	+0,34	104,1
	10	5,7	8,65	8,54	+0,11	101,3
	20	5,5	8,55	8,58	-0,03	99,6
4. VIII. 1913	0	19,0	7,80	6,40	+1,40	121,9
	10	8,5	8,42	8,04	+0,38	104,7
	15	6,5	6,72	8,40	-1,68	80,0
	20	6,4	3,49	8,42	-4,93	41,4
7. X. 1913	0	14,2	7,65	7,09	+0,56	107,9
	5	14,0	7,56	7,12	+0,44	106,2
	15	6,5	5,46	8,40	-2,94	65
	20	6,1	4,26	8,47	-4,21	50,3
3. II. 1914 (unter Eis)	0	0,3	9,23	9,64	-0,41	95,8
	10	1,5	8,79	9,38	-0,59	93,7
	15	1,9	8,16	9,30	-1,14	87,7
	21	2,6	7,12	9,16	-2,04	77,7

Tabelle 11.  
Holzmaar.

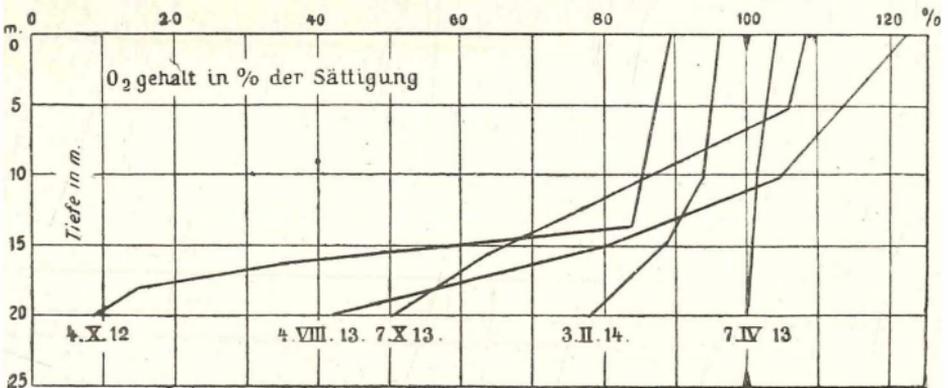
	M	Tp	O <sub>2</sub>	O' <sub>2</sub>	δ	O <sub>2</sub> %
6. VIII. 1913	0	18,1	7,99	6,53	+1,46	122,3
	5	15,2	8,25	6,93	+1,32	119
	7	10,1	7,67	7,75	-0,08	99
	10	7,8	5,30	8,17	-2,87	64,9
	19	6,5	1,55	8,40	-6,85	18,5
6. X. 1913	0	13,7	7,65	7,17	+0,48	106,7
	5	13,4	7,66	7,22	+0,44	106,1
	10	8,0	3,22	8,13	-4,91	39,6
	19	6,6	0,94	8,38	-7,44	11,2
4. II. 1914 (unter Eis)	0	0,3	10,41	9,64	+0,77	108
	10	2,8	9,79	9,12	+0,67	107,3
	19	3,5	7,04	8,98	-1,94	78,4

## 2. Die Sauerstoffverteilung in den Eifelmaaren.

Der Sauerstoffgehalt des Oberflächenwassers aller Eifelmaare ist stets ein sehr hoher; er schwankt zwischen



Kurventafel I.  
Gemündener Maar. Sauerstoffschiebung.



Kurventafel II.  
Schalkenmehrener Maar. Sauerstoffschiebung.

89 % und 122 % des bei voller Sättigung theoretisch zu erwartenden; in cem pro Liter ausgedrückt beträgt er im Minimum 6,9, im Maximum 10,4. Das Wasser ist also mit Sauerstoff stets fast gesättigt oder zeitweise sogar stark übersättigt. (Phytoplankton!) Auch unter Eis wurden

recht hohe Werte beobachtet (95,1%, 95,8%, ja 108% der Sättigung! im letzteren Falle starke Oszillorien- und Synedra-Entwicklung.)

Untersucht man die Vertikalverteilung des Sauerstoffs in den Maaren, so ergeben sich sehr bemerkenswerte Unterschiede.

Bei den Maaren der Gruppe I — Pulvermaar, Weinfelder Maar, Gemündener Maar; ihnen schließt sich der Laacher See an — ist die Sauerstoffsättigung zu allen Jahreszeiten bis in die größten Tiefen eine sehr weitgehende. Sie nimmt zwar fast stets mit der Tiefe ab; doch ist die Abnahme selbst im Sommer eine sehr geringe. Die Abnahme von der Oberfläche nach der Tiefe ist ferner eine stetige und steht auch bei scharfer thermischer Stratifikation in keinerlei Beziehung zur Sprungschicht. (Vergl. die Tabelle 6—9, sowie Kurventafel I.) Der absolute Sauerstoffgehalt der Tiefenschichten (in cem pro Liter) kann dabei im Sommer, wenn die oberflächlichen Wassermassen stark erwärmt sind und ihr Sauerstofflösungsvermögen daher gering ist, sogar höher sein als der der Oberfläche.

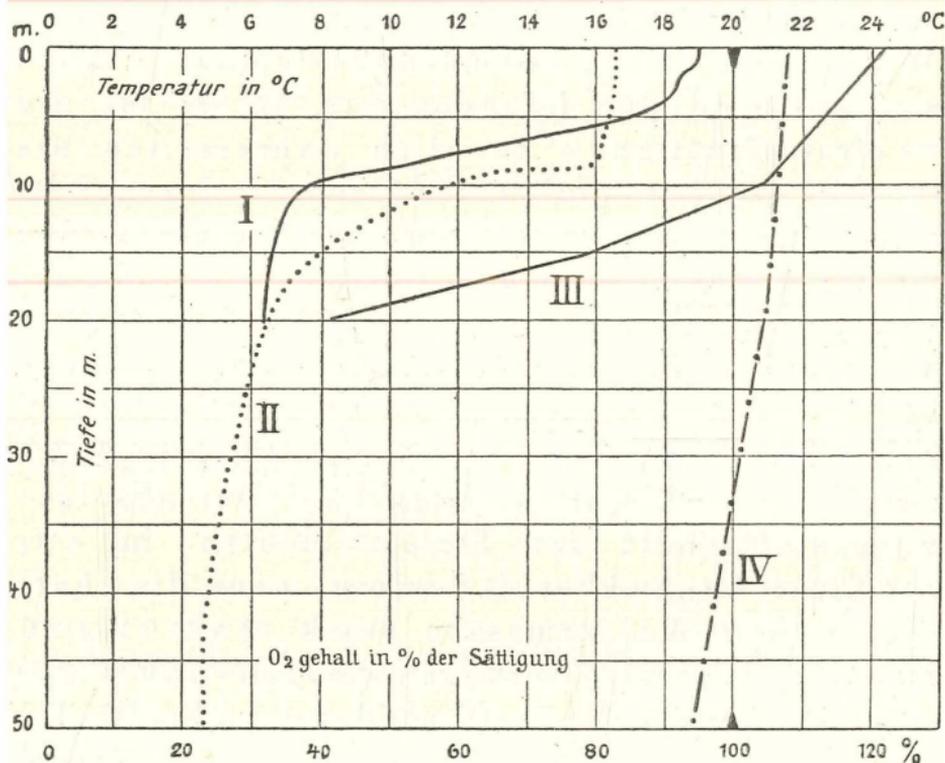
Die Abnahme des Sauerstoffgehaltes von der Oberfläche zur Tiefe betrug

im Pulvermaar (74 m) am	6. X.	13	(102,6—92)	10,6%
(unter Eis) „	5. II.	14	(95,1—76,9)	18,2%
im Weinfelder Maar				
(50 m) „	8. VIII.	13	(108,4—94,2)	12,2%
im Gemündener Maar				
(38 m) „	11. IV.	13	(102,6—99,1)	3,5%
„	3. VIII.	13	(115,8—89,1)	26,7%
„	8. X.	13	(97,7—73,1)	24,6%
[im Laacher See (48 m) „	11. VIII.	13	(105,4—82,8)	22,6%].

Am 10. IV. 13, als die Sommerstagnationsperiode gerade erst begann, wurde im Weinfelder Maar von

0—50 m sogar eine geringe Zunahme von (98,2—99,4) 1,2% beobachtet.

Aus diesen Beobachtungen geht hervor, daß in den Maaren der Gruppe I nach Schluß der Frühjahrsvollzirkulation in allen Wasserschichten etwa die gleiche Sauerstoffmenge vorhanden ist, daß dann in der Sommer-



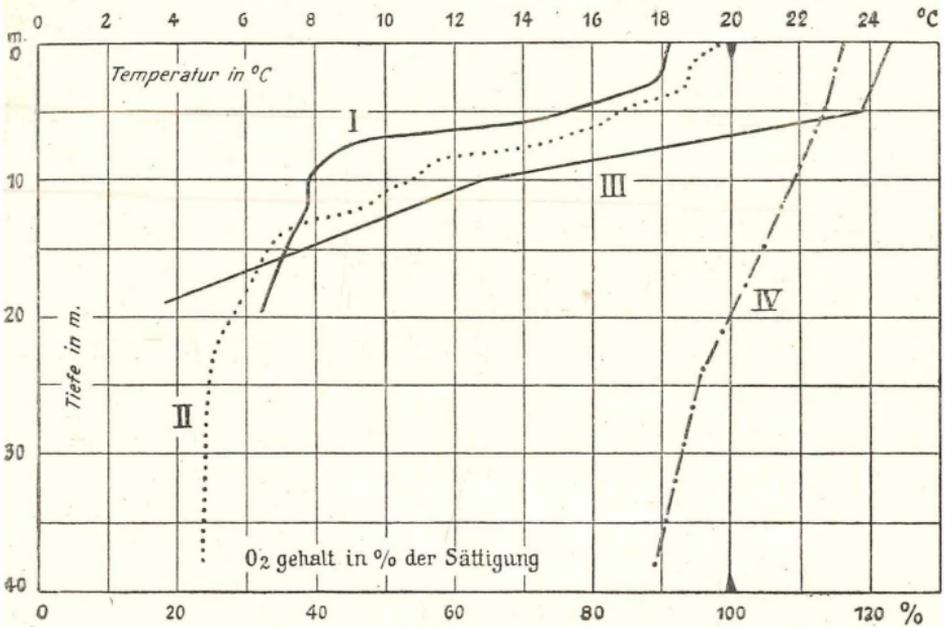
Kurventafel III.

Zusammenhang zwischen Temperatur- und Sauerstoffsichtung im Weinfelder und Schalkenmehrener Maar im August 1913.

- I. Temperatur im Schalkenmehrener Maar.
- II. Temperatur im Weinfelder Maar.
- III. O<sub>2</sub> gehalt im Schalkenmehrener Maar.
- IV. O<sub>2</sub> gehalt im Weinfelder Maar.

stagnationsperiode und in der Periode der herbstlichen Teilzirkulation sich eine Sauerstoffsichtung entwickelt, indem ein Teil des Sauerstoffs der tieferen Schichten verschwindet. Doch ist diese Abnahme des Sauerstoffs in der Tiefe selbst zur Zeit der schärfsten thermischen Schichtung eine geringe; sie überschreitet nach unsern Beobachtungen 26,7%

nicht; auch die Maartiefe enthält dann noch immer mindestens 73,1% (der Sättigung) Sauerstoff. Das absolute Minimum an Sauerstoff, das bei dieser Maargruppe in der Maartiefe beobachtet wurde, betrug 6,4 ccm O<sub>2</sub> pro Liter. Zur Zeit der Winterstagnationsperiode herrschen in Bezug auf die Sauerstoffschichtung ähnliche Verhältnisse wie zur Zeit der Sommerstagnation (vergl. Pulvermaar am 5. II. 14).



Kurventafel IV.

Zusammenhang zwischen Temperatur- und Sauerstoffschichtung im Gemündener und Holzmaar im August 1913.

- I. Temperatur im Holzmaar.
- II. Temperatur im Gemündener Maar.
- III. O<sub>2</sub>gehalt im Holzmaar.
- IV. O<sub>2</sub>gehalt im Gemündener Maar.

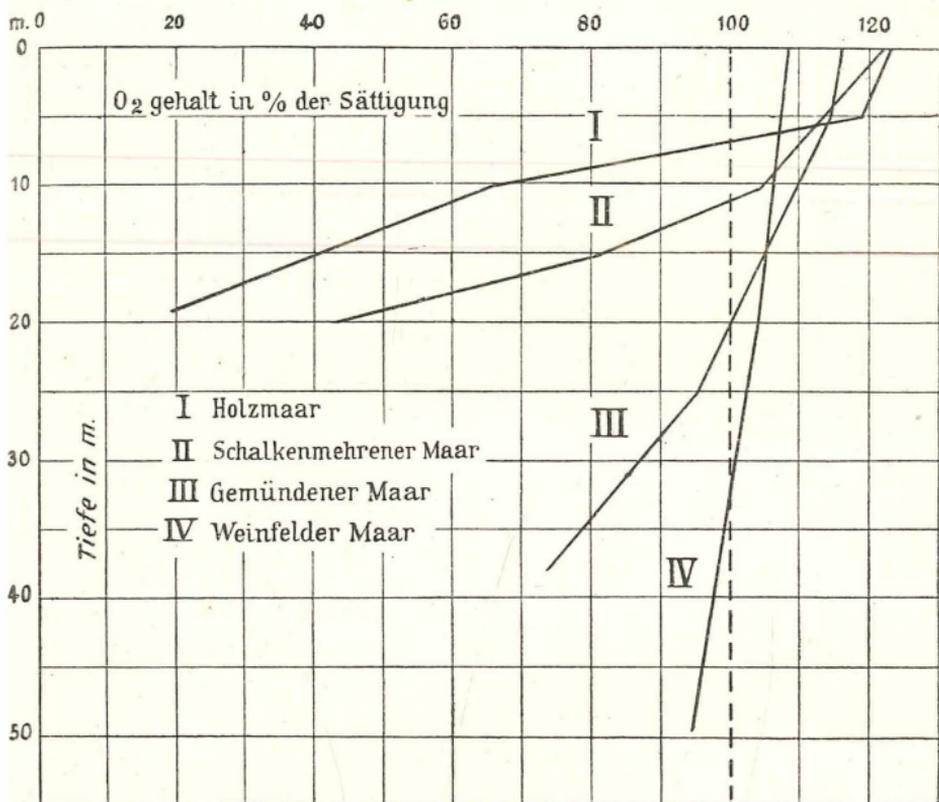
Bei den Maaren der Gruppe II — Schalkenmehrener Maar, Holzmaar — (vergl. Tabelle 10 und 11; Kurventafel II) haben zwar auch nach Schluß der Frühjahrsvollzirkulation alle Wasserschichten etwa den gleichen hohen Sauerstoffgehalt. Während der Sommerstagnation jedoch wird in der Maartiefe durch die dort herrschenden Oxydationsprozesse der größte Teil des

Sauerstoffs verbraucht, so daß dort zeitweise nur äußerst geringe Sauerstoffmengen vorhanden sind. Thermische Schichtung und Sauerstoffschichtung stehen dann in engster Beziehung zu einander, indem (vergl. Kurventafel III u. IV) mit Beginn der thermischen Sprungschicht oder in derselben auch die Sauerstoffabnahme sich bedeutend vergrößert.

Die Sauerstoffabnahme von der Oberfläche nach der Tiefe zu ist also keine stetige, sondern ungleichmäßig; über der Temperatursprungschicht gering, von der Sprungschicht an sehr stark. Der absolute Sauerstoffgehalt der Maartiefe ist stets geringer als der des Oberflächenwassers.

Die Abnahme des Sauerstoffgehaltes von der Oberfläche bis zur Tiefe betrug im Schalkenmehrener Maar		
am 3.	II. 14 unter Eis	(95,8—77,7) 18,1 %
„ 7.	IV. 13	(104,1—99,6) 4,5 %
„ 4.	VIII. 13 bis zum Ende	
	der Sprungschicht [10 m]	(121,9—104,7) 17,2 %
	unter der Sprungschicht	
	bis zur Tiefe [20 m]	(104,7—41,4) 63,3 %
		im ganzen 80,5 %
am 7.	X. 13 im ganzen	(107,9—50,3) 57,6 %
„ 4.	X. 12 bis zur	
	Sprungschicht [13,5 m]	(89,0—83,4) 6,6 %
	von der Sprungschicht	
	bis zur Tiefe [20 m]	(83,4— 8,8) 74,6 %
		im ganzen 81,2 %
im Holzmaar		
am 4.	II. 14 unter Eis	(108—78,4) 29,6 %
„ 6.	VIII. 13 bis zum Ende	
	der Sprungschicht [7 m]	(122,3—99) 23,3 %
	von da bis zur Tiefe [19 m]	(99—18,5) 80,5 %
		im ganzen 103,8 %
am 6.	X. 13 im ganzen	(106,7—11,2) 95,5 %

Zur Zeit der ausgeprägten thermischen Schichtung ist die Abnahme des Sauerstoffgehaltes von der Oberfläche bis zur Tiefe bei den Maaren der Gruppe II eine sehr große, sie kann, wenn die Oberflächenschichten stark übersättigt sind, bis 103,8% erreichen, sie beträgt sonst im August bis Oktober nach unsern Beobachtungen



Kurventafel V.

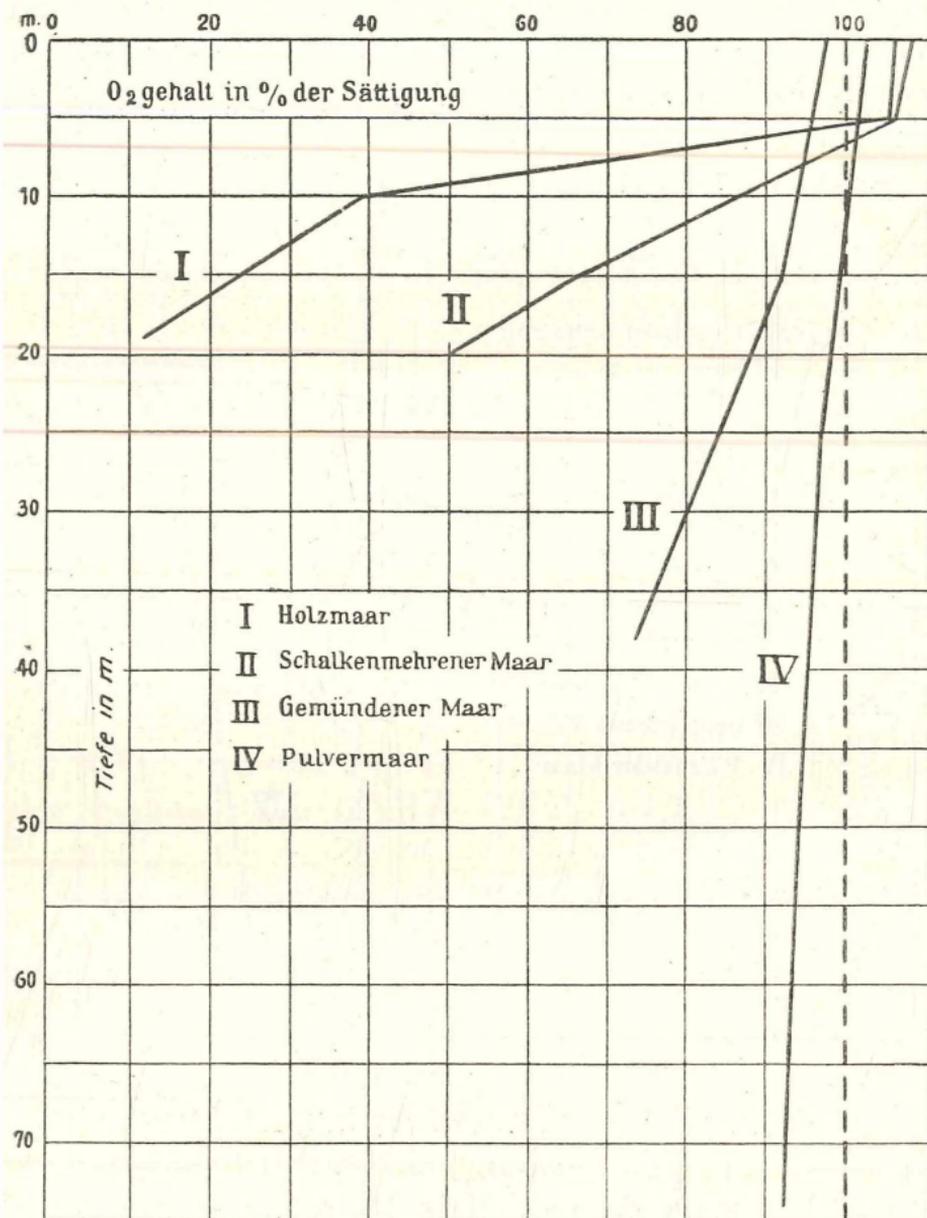
Sauerstoffschichtung in den Eifelmaaren im August 1913.

57,6; 80,5; 81,2; 95,5%. Die Maartiefe kann dann ev. einen Sauerstoffgehalt von nur 8,8% der Sättigung = 0,74 ccm O<sub>2</sub> pro Liter besitzen.

Zur Zeit der Winterstagnationsperiode findet in den Tiefenschichten keine starke Abnahme des Sauerstoffgehaltes statt.

Die Unterschiede, die die beiden Maargruppen in Bezug auf die Vertikalverteilung des Sauerstoffs aufweisen,

werden außer durch die Kurventafeln III und IV besonders schön durch die Tafeln V und VI erläutert.



Kurventafel VI.

Sauerstoffschichtung in den Eifelmaaren im Oktober 1913.

Bezeichnen wir mit Birge die über der Sprungschicht befindlichen Wassermassen eines Sees als Epilimnion, die unter der Sprungschicht liegenden als Hypolimnion, so können wir diese Unterschiede kurz so formulieren:

Maargruppe I: Epilimnion und Hypolimnion sauerstoffreich. Gleichmäßige geringe Abnahme des Sauerstoffs von der Oberfläche bis zur Tiefe des Hypolimnions; keine Änderung der Abnahme im Gebiete der Sprungschicht. Sauerstoffminimum der Tiefe = 73,1% der Sättigung oder 6,4 ccm O<sub>2</sub> pro Liter.

Maargruppe II: Epilimnion sauerstoffreich, Hypolimnion sauerstoffarm. Im Epilimnion ganz geringe Abnahme des Sauerstoffgehalts bis zur Sprungschicht, von da an plötzlich sehr starke Abnahme. Sauerstoffminimum der Tiefe = 8,8% der Sättigung oder 0,74 ccm O<sub>2</sub> pro Liter.

Augenscheinlich stellen nach ihren Sauerstoffverhältnissen unsere beiden Maargruppen zwei ganz verschiedene Seetypen dar. Denn wenn man vielleicht auch in der Verschiedenheit des Sauerstoffgehaltes des Tiefenwassers nur einen quantativen oder graduellen Unterschied sehen wollte, so liegt doch jedenfalls in der Divergenz der Beziehungen zwischen Temperaturkurve und Sauerstoffkurve ein qualitativer Unterschied zwischen beiden Gruppen.

Sehen wir uns um, ob auch in Seen anderer Gegenden ähnliche Verhältnisse beobachtet worden sind.

### 3. Die Unterschiede der Sauerstoffschichtung in den Binnenseen.

Auf Grund der Temperatur- und Gasverhältnisse während der Sommerstagnationsperiode haben Birge und Juday (l. c. p. 44 ff.) die von ihnen so erfolgreich untersuchten Seen von Wisconsin in verschiedene Gruppen eingeteilt. Ich will im folgenden versuchen, eine solche Einteilung für die temperierten Seen (im Sinne Forels) überhaupt zu geben. Diese deckt sich nur zum Teil mit der der beiden amerikanischen Limnologen, schon aus dem Grunde, da Seen von der Art unseres Maartypus I in Wisconsin überhaupt nicht vorkommen.

Diese Einteilung kann natürlich nur einen ersten Versuch darstellen und muß mit allen Mängeln eines

solchen behaftet sein. Das Material, auf das sie sich stützt, ist zur Zeit noch ein allzu beschränktes; denn leider besitzt unsere europäische Literatur noch kein Werk, das sich dem klassischen Buche Birge und Judays zur Seite stellen ließe; nur recht wenige Seen Europas sind in ihrer Temperatur und vor allem in ihren Gasverhältnissen so genau erforscht, daß sie sich in ein solches Schema einfügen lassen.

Vielleicht mag Mancher solche Einteilung von vornherein verwerfen, indem er auf die klassischen Auseinandersetzungen Forels verweist, nach denen jeder Binnensee eine Individualität, eine Welt für sich, einen Mikrokosmos darstellt (vergl. F. A. Forel, Handbuch der Seekunde 1901 p. 238—241). Betonte doch erst kürzlich Halbfäß (Int. Revue d. ges. Hydrobiol. u. Hydrograph. VI. 1914 p. 463), es sei ihnen leider nicht möglich, an „Normaltypen“ von Seen zu glauben.

Indessen halte ich es für zweckmäßig, doch verschiedene „Typen“ unserer Seen zu unterscheiden, die aber natürlich nicht unvermittelt neben einander stehen, sondern durch Zwischenglieder verbunden eine mehr oder minder stetige Reihe von einem Extrem zum andern bilden.

#### a) Typen der temperierten Binnenseen nach Temperatur- und Sauerstoffverhältnissen im Sommerwasser.

Nach den Beziehungen zwischen Temperatur- und Sauerstoffverhältnissen während des Sommers, insbesondere während der Sommerstagnationsperiode<sup>1)</sup> unterscheide ich die folgenden 3 Haupttypen temperierter Seen<sup>2)</sup>:

1) Diese Einteilung könnte vertieft werden, wenn man auch die Verhältnisse während der Winterstagnation, vor allem bei Eisbedeckung der Seen, mit in Betracht zöge. Doch scheint mir das Beobachtungsmaterial hierfür noch allzu gering, weshalb ich diese Verhältnisse hier nicht berücksichtige.

2) Diese Einteilung gilt übrigens nur für Seen, bei denen der Zu- oder Abfluß im Verhältnis zum Volumen des Sees nicht beträchtlich ist, bei denen die dem See zugeführten Wasser-

I. Sprungschicht (= Metalimnion [Behrens]) vorhanden, aber ohne Einfluß auf die  $O_2$ -Kurve. Das Sauerstoffgefälle von der Oberfläche zur Tiefe erfährt im Metalimnion keine Verstärkung.

II. Sprungschicht vorhanden. Sauerstoffgehalt des Epilimnions hoch, im Metalimnion plötzlich eine starke Abnahme, Hypolimnion sauerstoffarm oder sauerstofflos. Sauerstoffkurve also mit „Knick“ im Gebiete der Sprungschicht.

III. Sprungschicht fehlt. Sauerstoffgehalt aller Schichten gleich oder, wenn nicht ganz gleich, Sauerstoffkurve doch ohne Inflexionspunkt.

Betrachten wir diese drei Haupttypen nunmehr etwas näher.

I. A) Als Beispiele des ersten Seetypus seien die tieferen Maare der Eifel — Pulvermaar, Weinfelder Maar, Gemündener Maar — genannt; hierher gehört ferner der Genfersee.

Tabelle 12.

Sauerstoffsichtung im Genfersee am 30. XI. 1880.

(Berechnet nach J. Walters Analysen vgl. Forel, le Léman II p. 622)

M	Tp	$O_2$	$O'_2$	$\delta$	$O_2\%$
0	9,1	6,85	7,93	1,08	86,4
60	7,7	7,46	8,18	0,72	91,2
100	5,5	6,78	8,58	1,80	79,0
150	4,9	6,98	8,70	1,72	80,2
200	4,8	7,62	8,72	1,10	87,4
300	4,6	7,08	8,76	1,68	80,8

Schon die von Forel (Le Léman II p. 622) angegebenen Zahlen, nach denen die vorstehende Tabelle 12 berechnet ist, zeigt dies; weitere Angaben, die sich bei Delebecque (Les lacs Français p. 140, 236, 240) finden, bestätigen es. Vergl. Tabelle 13.

massen also geraume Zeit im See verbleiben und sich daher aus „Flußwasser“ in „Seewasser“ umwandeln können.

Tabelle 13.

Sauerstoffschichtung im Genfersee (nach Delebecque).

M	Tp	O <sub>2</sub>	O' <sub>2</sub>	δ	O <sub>2</sub> %
14. VIII. 1894					
0	18,5	6,70	6,47	+0,23	103,5
10	18,4	6,75	6,48	+0,27	104,2
20	12,1	7,97	7,42	+0,55	107,4
30	9,6	7,72	7,84	-0,12	98,5
50	6,3	7,63	8,44	-0,61	92,8
100	[4,8]	7,59	8,72	-1,13	87,0
3. VII. 1895					
0	20,5	5,63	6,22	-0,59	90,5
100	4,8	6,70	8,72	-2,02	76,8
250	4,5	6,1	8,78	-2,77	69,3

Die Überlegungen, die Forel (l. c. p. 622 ff., ferner Handbuch der Seenkunde p. 97—98) über den Sauerstoffgehalt der Seen anstellt, gelten im wesentlichen nur für diesen ersten Typus der Seen.

Wahrscheinlich müssen viele oder die meisten unserer großen und tiefen Alpen- und Voralpenseen hierhin gerechnet werden.

Sicher gilt dies für den Bodensee<sup>1)</sup>, den Lac du Mont-Cenis<sup>2)</sup> (an der französisch-italienischen Grenze in 1928 m Höhe gelegen, 31 m tief) den Lac de Bourget<sup>2)</sup> (im Jura 231 m über N. N., 145,4 m tief). [Vergl. Tabelle 14 u. 15.]

1) Hoppe-Seyler, Über die Verteilung absorbierter Gase im Wasser des Bodensees und ihre Beziehungen zu den in ihm lebenden Tieren und Pflanzen. Schriften des Vereins für Geschichte des Bodensees und seiner Umgebung, 24. Heft, Lindau i. B. 1895, p. 29—48.

2) Delebecque, l. c. p. 236.

Tabelle 14.

## Sauerstoffschichtung im Bodensee.

(Nach Hoppe-Seyler p. 38 berechnet.)

Entnahmestelle und -Zeit	Tp	O <sub>2</sub>	O' <sub>2</sub>	δ	O <sub>2</sub> %
Kleiner Hafen in Wasserburg 2 m Tiefe, 2. IX. 1891	14,0	6,73	7,12	-0,39	94,5
1½ km südl. v. Wasserburg 5 m Tiefe, 5. X. 1891	13,4	6,16	7,22	-1,06	85,3
1½ km südl. v. Wasserburg 50 m Tiefe, 5. X. 1891	4,8	7,65	8,72	-1,07	87,7
Mitte zwischen Überlingen und Wallhausen, 145 m Tiefe, 20. IX. 1892	4,2	7,67	8,82	-1,15	86,9
1½ km südl. v. d. Mündung der Argen, 155 m Tiefe, 30. IX. 1891	4,0	7,64	8,87	-1,23	86,0
Mitte zwischen Fischbach und Uttwyl, 245 m Tiefe, 15. IX. 1892	4,0	6,68	8,87	-2,19	75,3

Tabelle 15.

 Sauerstoffschichtung im Lac du Mont-Cenis und  
Lac de Bourget.

(Nach Delebecque p. 236 berechnet.)

Entnahmestelle und -Zeit	M	Tp	O <sub>2</sub>	O' <sub>2</sub>	δ	O <sub>2</sub> %
Lac du Mont-Cenis 8. VIII. 1894	0	14,6	6,03	7,02	-0,99	85,9
	30	9,8	6,03	7,81	-1,78	77,2
Lac de Bourget 10. VIII. 1894	0	21,2	6,69	6,14	+0,55	109
	25	7,2	7,46	8,27	-0,81	90,2
	130	4,8	6,95	8,72	-1,77	79,7

Nach den bis jetzt vorliegenden Beobachtungen ist bei diesem Seetypus das Wasser auch in den größten Tiefen noch mit mindestens rund 70% (der Sättigung) Sauerstoff erfüllt.

B) Eine gewisse Überleitung zum zweiten Seetypus bildet der nordamerikanische Greenlake (vergl. Birge und Juday p. 148—149; 186—189). Dieser See hat eine Maximaltiefe von 72 m. Die sommerlichen Sauerstoffkurven zeigen keine Beziehung zur Temperaturkurve (vergl. aber unten p. 309). Bei ausgeprägter thermischer Schichtung z. B. am 5. VII. 1906 — scharfe Sprungschicht zwischen 10 u. 16 m — schwankte der Sauerstoffgehalt von 0 bis 60 m nur zwischen 7 u. 6 cem pro Liter. Von 60 m an allerdings nimmt er ab:

60 m = 6,0 cem

65 m = 5,1 cem

70 m = 4,5 cem.

Stärker wird diese Abnahme des Sauerstoffs in den tiefsten Schichten im Hochsommer und Herbst. Die nach Birges und Judays Angaben entworfene Tabelle 16 zeigt diese Abnahme deutlich.

Tabelle 16.

Sauerstoffschichtung in der Tiefe der Greenlake.

(Nach Birge and Juday berechnet.)

M	20. August 1905				14. August 1906				4. Oktober 1906				3. Sept. 1908			
	Tp	O <sub>2</sub>	O <sub>2</sub> '	O <sub>2</sub> '/o	Tp	O <sub>2</sub>	O <sub>2</sub> '	O <sub>2</sub> '/o	Tp	O <sub>2</sub>	O <sub>2</sub> '	O <sub>2</sub> '/o	Tp	O <sub>2</sub>	O <sub>2</sub> '	O <sub>2</sub> '/o
40	6,2	6,6	8,45	78,1	6,8	6,3	8,35	75,4	6,2	5,5	8,45	65,1	5,9	6,2	8,51	72,8
50	6,0	6,3	8,49	74,2	6,1	5,8	8,47	68,4	5,9	5,6	8,51	65,8	5,8	5,4	8,53	63,3
60	5,8	4,4	8,53	51,6	5,8	3,5	8,53	41,0	—	2,9	8,53	34	5,7	2,1	8,54	24,6
65	—	1,4	8,53	16,4	—	1,1	8,53	12,9	—	0,81	8,53	9,5	—	—	—	—
70	5,7	0,66	8,54	7,7	5,7	0,88	8,54	10,3	5,7	0,8	8,54	9,4	5,5	1,0	8,58	11,6

Das Charakteristische dieses durch den Greenlake vertretenen Typus I B besteht also darin, daß die Sauerstoffkurve bis in große Tiefen stetig und gleichmäßig verläuft, ohne daß sie im Metalimnion eine Knickung erfährt, daß aber im Gegensatz zum Typus I A von einer bestimmten Tiefe über dem Seeboden an (die aber weit unter der Sprungschicht liegt) eine Sauerstoffabnahme stattfindet; das Bodenwasser kann dann einen Sauerstoff-

gehalt von nur 7,7% (= 0,66 ccm) der Sättigung haben; man kann ganz kurz auch so definieren:

Typus I B: Epilimnion, Metalimnion und oberer Teil des Hypolimnion sauerstoffreich, unterer Teil des Hypolimnion sauerstoffarm.

Typus I A und B haben also dies gemeinsam, daß bei ihnen die Sauerstoffkurve die Temperatursprungschicht gewissermaßen geradlinig durchdringt, und unterscheiden sich hierdurch scharf von Typus II.

II. Der Typus II, der durch die Verstärkung der Sauerstoffabnahme im Metalimnion charakterisiert ist, enthält zwei Gruppen von Seen, die indes durch Bindeglieder vereinigt sind.

A) Sauerstoff ist, wenn auch ev. nur in Spuren, bis in die größten Tiefen des Sees vorhanden.

Hierhin gehören die flachen Maare — Schalkenmehrener Maar und Holzmaar (21 m) —.

Ferner der dänische Fursee (Maximaltiefe 35 m); sowie wahrscheinlich auch andere dänische Seen. (Vergl. Brönsted und Wesenberg-Lund l. c.).

Weiterhin der 36 m tiefe Örensee in Småland (Schweden)<sup>1)</sup>.

Der „Weiße See“ in Kossino bei Moskau (17,5 m tief)<sup>2)</sup>.

Viele der von Birge und Juday untersuchten Seen Wisconsins.

Wahrscheinlich viele Seen der norddeutschen Tiefebene<sup>3)</sup>; auch Seen der Alpen und Nordalpen (z. B. der

1) T. Freidenfelt, Temperatur- und Gasgehaltsuntersuchungen im See Ören, mit vorläufigen Bemerkungen über den Zusammenhang zwischen Sauerstoffgehalt und Planktonverteilung, Lunds Universitetets Årsskrift, N. F., Afd. 2, Bd. 8, No. 1, Kongl. Fysiografiska Sällskapetets Handlingar, N. F., Bd. 23, No. 1.

2) Galtzoff, Zur Kenntnis der biologischen Faktoren der Binnengewässer: Beobachtungen über die Temperatur und den Sauerstoffprozentgehalt im Wasser des „Weißen Sees“ in Kossino bei Moskau, Biolog. Centralbl. 32, 1912, p. 325—336.

3) Die Angaben M. Voigts für den Plöner See (M. Voigt, Verh. d. Nat. Ver. Jahrg. LXXI. 1914.

Lac de Nantua im Jura vergl. Delebecque l. c. 144, 236). Der Sauerstoffgehalt des Sommertiefenwassers dieser Seen schwankt zwischen einigen Cubikcentimetern und Spuren (pro Liter); er ist im gleichen See nicht in jedem Sommer der gleiche (vergl. Tabelle 10 für das Schalkenmehrener Maar).

B) In der Tiefe der Seen lagert eine mehr oder weniger dicke Wasserschicht, die völlig frei von Sauerstoff ist und häufig auch Schwefelwasserstoff enthält. [Man könnte ev. hier wieder eine Unterteilung treffen, je nachdem ein Teil des Hypolimnions noch Sauerstoff enthält ( $B_1$ ), oder das ganze Hypolimnion sauerstofffrei ist. ( $B_2$ )].

Hierher gehören viele Seen Wisconsins, ferner der Sakrower See bei Potsdam (37 m)<sup>1)</sup> und wohl noch zahlreiche andere norddeutsche Seen<sup>2)</sup>.

III. Der dritte Typus der Seen ist dadurch charakterisiert, daß die im Frühjahr oder Frühsommer ev. beginnende thermische Stratifikation sofort wieder zerstört wird, so daß im Hochsommer diese Seen in allen Schichten die gleichen Temperatur- und damit auch die gleichen Gasverhältnisse darbieten: der Sauerstoffgehalt ist in der ganzen Wassermasse der gleiche.

---

Die vertikale Verteilung des Planktons im Großen Plöner See und ihre Beziehungen zum Gasgehalt dieses Gewässers, Forschungsberichte aus der Biologischen Station zu Plön, XII, 1905, p. 115—144) sind wegen der Unzulänglichkeit der Methodik für unsere Zwecke nicht zu brauchen. Aus dem gleichen Grunde sind Halbfaß' Angaben über die Pommerschen Seen für uns nicht verwendbar (vgl. Halbfaß, Beiträge zur Kenntnis der Pommerschen Seen. Petermanns Mitteilungen, Ergänzungsheft Nr. 136, 1901, p. 97—107).

1) Schickendantz, Temperaturen und Sauerstoff im Sakrower See bei Potsdam. Int. Revue d. ges. Hydrobiol. u. Hydrograph., III, 1910, p. 84—92, vgl. auch Behrens, die vertikale Verteilung des Crustaceenplanktons. Eine hydrobiographische Studie, Berlin 1914.

2) Siehe Anmerkung 3 S. 301.

Je nach den Ursachen, die die Ausbildung der typischen Schichtung verhindern, unterscheide ich zwei Untergruppen:

A. Der Wind bewirkt Vollzirkulation der ganzen Wassersäule auch im Sommer. Hierhin gehören viele flache Seen unserer Breiten<sup>1)</sup>; von den Seen Wisconsins rechnen Birge und Juday zu dieser Gruppe 27 Seen, deren Tiefe zwischen 3 und 10 m schwankt. (Seen, bei denen eine etwa 1—1½ m dicke Wasserschicht über dem Grunde an der Zirkulation nicht teilnimmt, leiten von III A zu II über.)

B. Die Lage des Seeabflusses bringt die vertikale Durchmischung der Wassermassen im Sommer zustande: hierhin rechne ich die Talsperren, künstliche Seen, bei denen das Wasser von den Tiefenschichten aus abläuft. Hierdurch wird auch im Sommer eine annähernde Gleichheit der physikalischen und chemischen Verhältnisse in allen Schichten hervorgerufen. Genauer untersucht sind bisher die Talsperren des Ruhr- und Wuppergebietes<sup>2)</sup>.

Die Kurventafel VII (S. 305) gibt die Temperatur- und

---

1) Z. B. der Mansfelder See, vgl. F. V. Colditz, Beiträge zur Biologie des Mansfelder Sees mit besonderen Studien über das Zentrifugenplankton und seine Beziehungen zum Netzplankton der pelagischen Zone, Zeitschr. f. wiss. Zool., 108, 1914, p. 520—630. Bei Eisbedeckung können Seen dieses Typus (z. B. in Livland) in der Tiefe starken Sauerstoffschwund zeigen, Vgl. z. B. von zur Mühlen, Über Sauerstoffuntersuchungen nebst Beschreibung und bildlicher Darstellung eines selbstkonstruierten Apparates zur Entnahme von Wasser aus größeren Tiefen. Sitz.-Ber. Naturforscher-Gesellschaft Jurjev-Dorpat, 1905 (1906), 14. Bd., 2. Heft, III, p. 7—28.

2) Thienemann, Hydrobiologische und fischereiliche Untersuchungen an den westfälischen Talsperren, Landwirtschaftliche Jahrbücher, 41, 1911, p. 535—716. — Thiesing, Chemische und physikalische Untersuchungen an Talsperren, insbesondere der Eschbachtalsperre bei Remscheid, Mitt. a. d. kgl. Prüfungsanstalt f. Wasserversorg. u. Abwässerbeseitigung zu Berlin, Heft 15, 1911, p. 1—267. (Über den O<sub>2</sub>gehalt der Talsperren vgl. besonders Thiesing p. 212 ff.; 240, 241.)

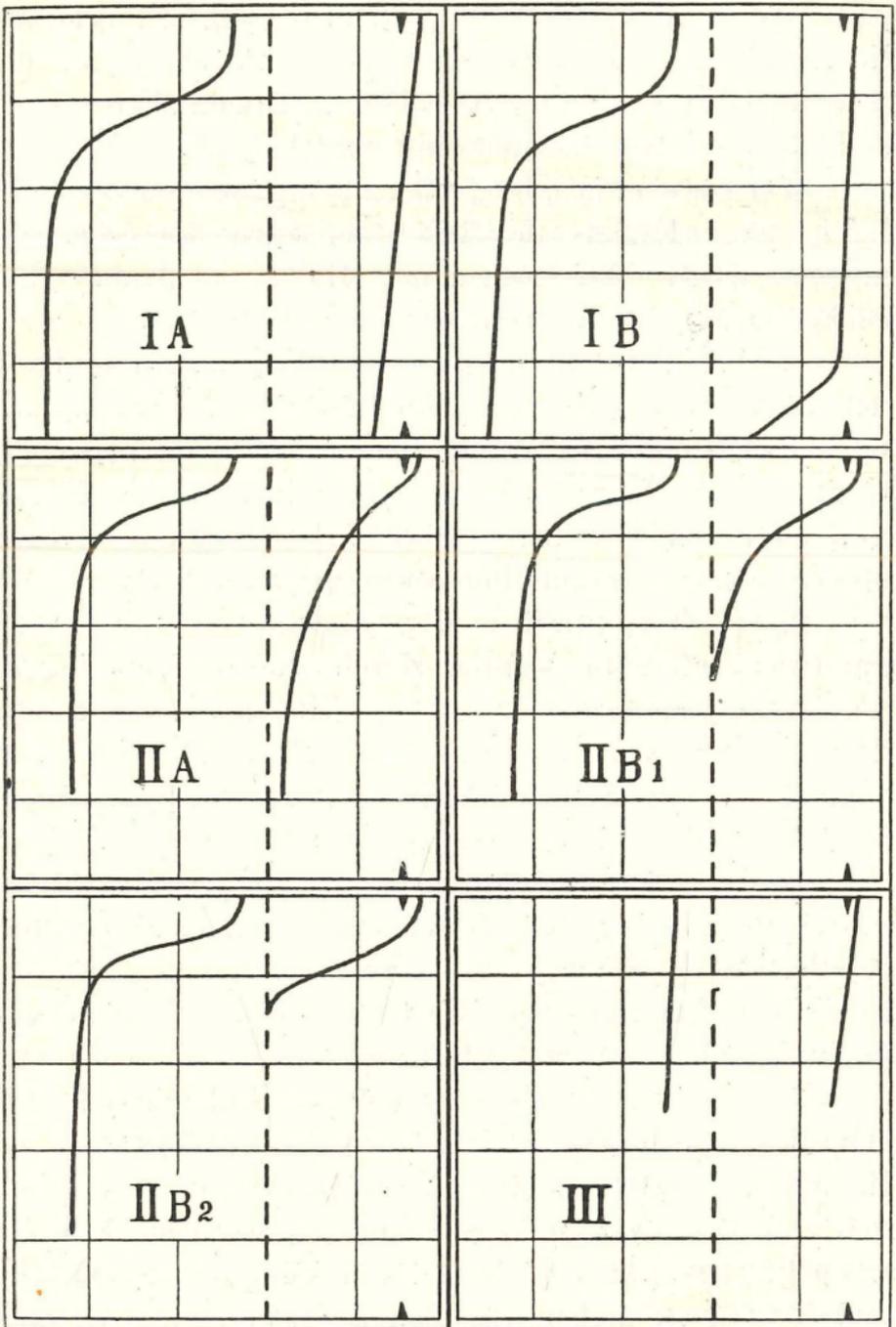
Sauerstoffverhältnisse im Sommerwasser der verschiedenen Seetypen in schematischer Weise wieder.

b) Über die Ursachen der Verschiedenheit der Sauerstoffschichtung in den Seen.

Das Tiefenwasser unserer Seen ist im allgemeinen ein Oberflächenwasser, das in der kalten Jahreszeit zu Boden gesunken ist. Es hat Gase aus der atmosphärischen Luft gelöst und diese mit in die Tiefe genommen. Sein Sauerstoffgehalt sollte also dem entsprechen, den das Oberflächenwasser zur Zeit der Vollzirkulation besitzt. Ist der Sauerstoffgehalt des Tiefenwassers im Sommer ein niedrigerer, so muß dieses Wasser in der Tiefe des Sees Sauerstoff verloren haben.

Die Gründe dieses Sauerstoffschwundes haben Birge und Juday in ihrem Werke S. 47—51 eingehend erörtert, und ich kann ihren Ausführungen nur zustimmen; im folgenden werde ich in Kürze über die Ansichten der beiden Autoren referieren. Da aber Seen vom Typus unserer tiefen Eifelmaare und Alpenseen von Birge und Juday nicht in den Kreis ihrer Betrachtungen gezogen worden sind, so wird es sich fragen, ob auch für diesen Seetypus die Anschauungen Birges und Judays Geltung haben; fernerhin wird zu erörtern sein, wie sich die Verschiedenheit unserer Seetypen erklären läßt und schließlich, welche Faktoren im speziellen für die Verschiedenheit der Sauerstoffverhältnisse in den Eifelmaaren verantwortlich zu machen sind.

Zwei Faktoren bewirken den Sauerstoffschwund im Tiefenwasser unserer Seen. Einmal verbrauchen die in jenen Tiefen lebenden Organismen durch ihre Atmung einen Teil des vorhandenen freien Sauerstoffs. Indessen wird die auf diese Weise verschwindende Sauerstoffmenge nur eine ganz geringe sein, da die Besiedelung der Tiefen im Verhältnis zu der zur Verfügung stehenden Wassermenge nur als eine spärliche bezeichnet werden kann.



Kurventafel VII.

Die Typen der temperierten Binnenseen.  
 (Gerissene Linie = 0% O<sub>2</sub> ▽ = 100% O<sub>2</sub>.)

- IA: Epi-Meta-Hypolimnion O<sub>2</sub> reich; O<sub>2</sub> kurve Gerade.
- IB: Epi-Meta- u. oberer Teil des Hypolimnions O<sub>2</sub> reich; O<sub>2</sub> kurve Gerade bis zum unteren Teil des Hypolimnions.
- IIA: Epilimnion O<sub>2</sub> reich, Metalimnion starke Abnahme, Hypolimnion am Grunde mindestens Spuren O<sub>2</sub>.
- IIB<sub>1</sub>: Epilimnion O<sub>2</sub> reich, Metalimnion starke Abnahme, unterer Teil des Hypolimnions O<sub>2</sub> frei.
- IIB<sub>2</sub>: Epilimnion O<sub>2</sub> reich, Metalimnion starke Abnahme, ganzes Hypolimnion O<sub>2</sub> frei.
- III: Keine Gliederung im Epi-Meta-Hypolimnion; Wasser von der Oberfläche bis zum Grunde O<sub>2</sub> reich; O<sub>2</sub> kurve Gerade

Der für den Sauerstoffschwund wichtigste Faktor ist die Zersetzung der organischen Stoffe in der Tiefe, die teilweise wohl eine direkte Oxydation ist, zum allergrössten Teil aber auf Bakterienwirkung zurückzuführen ist.

Welches sind nun die Quellen der organischen Substanz, durch deren Fäulnis der Tiefe der Seen der Sauerstoff entzogen wird? Wir können mit Birge und Juday drei solcher Quellen unterscheiden:

1. Die den See umgebende Vegetation. Laub von Bäumen, Zweigstücke usw. fallen ins Wasser und können eventuell die großen Tiefen der Seen erreichen. Seen, die im Walde oder doch zwischen Bäumen liegen, erhalten durch den herbstlichen Laubfall große Mengen leicht faulender organischer Substanz zugeführt.

2. Die Vegetation des flachen Uferwassers. Unterwasserpflanzen werden durch die Wellenbewegung von ihrem Standorte losgelöst und sinken zu Boden. Im Herbst sterben Schilf und Binsen ab und ihre abgebrochenen Stengel und Blätter vermehren die Menge der am Grunde des Sees faulenden Massen.

Beide, die Landpflanzen des Seeufers und die Uferwasserpflanzen, lagern sich auf dem Seegrund ab und hier geraten sie in Fäulnis. Sie sind von ausschlaggebender Bedeutung für den vom Seeboden ausgehenden Sauerstoffschwund.

3. Wesentlich anders ist die sauerstoffzehrende Wirkung des abgestorbenen Planktons. Es ist bekannt, daß die toten Planktonten langsam zu Boden sinken und sich während des Herabsinkens schon zum großen Teil zersetzen<sup>1)</sup>. Das gilt vor allem für das Phytoplankton, aber zum Teil auch sicher für das Zooplankton. Die Sinkgeschwindigkeit wird, sobald das Plankton aus dem warmen

---

1) Vgl. z. B. Brönsted und Wesenberg-Lund, l. c. p. 469—473. Wesenberg-Lund rechnet mit einer Dauer von 2—4 Wochen, die die Organismen wahrscheinlich brauchen, um von der Oberfläche bis zum Grunde (38 m) des Fursees zu sinken.

Wasser des Epilimnions in das kühlere des Metalimnions und kalte des Hypolimnions gelangt, stark abnehmen, so daß zum Durchsinken dieser unteren Schichten eine relativ lange Zeit verbraucht wird. Da nun im Epilimnion die durch die Zersetzungsprozesse des abgestorbenen Planktons bewirkte Sauerstoffzehrung durch die Assimilationstätigkeit und Sauerstoffproduktion des lebenden Phytoplanktons ausgeglichen wird, im Meta- und Hypolimnion letztere jedoch zurücktreten und von einer gewissen Tiefe an ganz verschwinden, so muß hier der Sauerstoffverbrauch des sinkenden, toten Planktons erst voll in die Erscheinung treten. Die Zersetzung des toten Planktons wirkt also von vornherein auf größere Wasserschichten des Meta- und Hypolimnions, ihre Wirkung beginnt fernerhin oben am Beginne oder Ende des Metalimnions und erstreckt sich allmählich auf die tieferen Wasserschichten, während die Fäulnis, die von der auf dem Seeboden lagernden toten Vegetation ausgeht, am Grunde beginnt und allmählich immer höheren Wasserschichten den Sauerstoff entzieht.

Es ist wahrscheinlich, daß in nicht ganz flachen Seen (Typus I und II) die Hauptmasse des Planktons sich schon auf dem Wege zur Tiefe zersetzt hat und daß nur ein geringer Teil so schnell zu Boden sinkt, daß er erst dort in volle Fäulnis gerät.

Die Stärke des Sauerstoffschwundes im Hypolimnion hängt von folgenden Faktoren ab:

1. Von der Jahreszeit. Je längere Zeit seit dem Eintritt der sommerlichen Stagnation verflossen ist, um so intensiver der Sauerstoffschwund. Vergleicht man mehrere Seen in bezug auf die Sauerstoffverhältnisse des Hypolimnions, so wird der Sauerstoffschwund *ceteris paribus* am stärksten in dem See sein, bei dem die Sommerstagnation am frühesten einsetzt und am längsten dauert. Er ist also abhängig

2. von der Lage des Sees, und zwar sowohl von seiner geographischen Lage im allgemeinen, wie auch von seiner Lage im Gelände im speziellen (Windschutz!).

3. Von der Größe des Wasservolumens des Hypolimnions sowie von dem Verhältnis der Wasservolumina oberhalb und unterhalb der Sprungschicht. Je größer die Wassermenge des Hypolimnions, um so mehr Sauerstoff ist vorhanden, um so langsamer wird seine Menge durch die Oxydationsprozesse im Grundschlamm vermindert werden; je kleiner ferner das Volumen des Hypolimnions im Verhältnis zu dem des Plankton produzierenden Epilimnions ist, um so schneller kann der in ihm gelöste freie Sauerstoff durch das absinkende abgestorbene Plankton verbraucht werden.

4. Von der Temperatur des Tiefenwassers. Je wärmer das Hypolimnion, um so intensiver die Fäulnisprozesse. Die Temperatur des Tiefenwassers aber ist wiederum abhängig von der geographischen Lage eines Sees und bei Seen in gleicher Lage von der Tiefe des Sees; je tiefer *ceteris paribus* der See, um so niedriger die Temperatur seines Bodenwassers<sup>1)</sup>.

5. Vor allem aber ist der Sauerstoffschwund abhängig von der Menge der in den See gelangenden organischen Substanz. Je nach den Quellen der organischen Substanz in einem See lassen sich hier wieder drei Fälle unterscheiden:

- a) Seen mit reicher Vegetation an ihren Ufern, also Waldseen usw. werden in ihrem Bodenschlamm stärkere Fäulnisprozesse aufweisen, als Seen in kahler Umgebung.
- b) Reiche Flora im Uferwasser eines Sees bedingt stärkere Zersetzungsprozesse am Grunde des Sees. Da aber bei im übrigen gleichen Verhältnissen die Menge der im Uferwasser sich entwickelnden Flora um so größer ist, je breiter die Uferbank ist, die Breite der Uferbank aber wiederum abhängig ist von der Steilheit der Seeufer und dem Alter des

---

1) Vgl. Teil I der „physikalischen und chemischen Untersuchungen in den Maaren der Eifel“ p. 281—282.

Sees, so werden (*ceteris paribus*) die Fäulnisprozesse am Grunde eines Sees um so geringer sein, je steiler seine Böschung ist und je jünger er ist.

- c) Von größter Wichtigkeit wird schließlich die quantitative Entwicklung des Planktons sein. In planktonreichen Seen sind die Bedingungen für einen schon im Metalimnion einsetzenden Sauerstoffschwund günstig<sup>1)</sup>, in planktonarmen Seen ist eventuell der durch Fäulnisprozesse des sinkenden Planktons bedingte Sauerstoffschwund ganz minimal; hier ist ein deutlicher Sauerstoffschwund überhaupt nur dann zu verzeichnen, wenn am Grunde des Sees zersetzliche organische Substanz lagert. (Vergl. unsern Seetypus I.)

Wenden wir nunmehr die soeben gewonnenen allgemeinen Gesichtspunkte auf die besonderen Verhältnisse der Eifelmaare an und fragen uns, auf welche Faktoren die Verschiedenheit im Sauerstoffgehalt des Sommertiefenwassers bei beiden Maargruppen zurückzuführen ist.

Kaum eine Rolle spielt hierbei die Lage der Maare im Gelände; denn recht windgeschützte Maare — Gemündener

---

1) Hier mag auch kurz die eigentümliche Erscheinung erwähnt sein, daß eventuell im Metalimnion, der Sprungschicht, Sauerstoffminima vorhanden sein können, während Epilimnion und Hypolimnion höhere Sauerstoffzahlen aufweisen. Beobachtungen dieser Art liegen vor:

- a) vom Weißen See bei Moskau (vgl. Galtzoff, l. c.) am 29.VI; 7.VII.; 17.VII.; 27.VII. 1910;
- b) vom Sakrower See (vgl. Behrens, l. c. p. 21, 68);
- c) von verschiedenen nordamerikanischen Seen, die Birge und Juday untersucht haben: vom Green lake — Seetypus I B. — (vgl. B. u. J. p. 189),  
vom Tippecanoe lake und Beaver Dam lake — Seetypus II A. — (p. 222 u. 215),  
vom North lake und Okauchee lake — Seetypus II B. — (p. 204, 207, 209).

Diese Erscheinung ist noch nicht ausreichend erklärt. Einen Erklärungsversuch gaben Birge und Juday p. 50—51.

Maar und Holzmaar — können ebenso wie den Winden stark ausgesetzte Maare — Pulvermaar und Schalkenmehrener Maar — ganz gewaltige Unterschiede in den Sauerstoffverhältnissen aufweisen. Auch das Verhältnis der Wasservolumina oberhalb und unterhalb der Sprungschicht erklärt die Verschiedenheit im Sauerstoffgehalt des Tiefenwassers bei den beiden Maargruppen nicht. Berechnet man nach Halbfuß<sup>1)</sup> Angaben — unter Berücksichtigung der thermischen Verhältnisse des August — das Volumen des Epilimnions in Prozenten des gesamten Volumens des Maares, so ergibt sich:

#### Maargruppe I:

Pulvermaar	(0—7 m) = 20,5%	des Gesamtvolumens
Weinfelder Maar	(0—7 m) = 26,5%	
Gemündener Maar	(0—5 m) = 37,5%	

#### Maargruppe II:

##### Schalkenmehrener

Maar	(0—5 m) = 36,9%
Holzmaar	(0—4 m) = 31 %
Meerfelder Maar	(0—3 m) = 36 %

Eine Gesetzmäßigkeit ist also nicht vorhanden; wohl zeigen Pulvermaar und Weinfelder Maar die theoretisch zu erwartenden niedrigen Werte, aber das zur gleichen Gruppe gehörige Gemündener Maar übertrifft an relativen Volumen des Epilimnions alle Maare der zweiten Gruppe!

Ebenso wenig gibt uns etwa die absolute Größe des Volumens des Hypolimnions die Möglichkeit, die Verschiedenheit beider Typen zu erklären.

Auch die Verschiedenheit der sommerlichen Tiefentemperaturen<sup>2)</sup> beider Maargruppen ist nicht eine so große, daß sie zur Erklärung der Verschiedenheit der Sauerstoffverhältnisse herangezogen werden könnte.

1) Halbfuß, Die noch mit Wasser gefüllten Maare der Eifel, Verh. d. Nat. Ver. d. preuß. Rheinl. u. Westf., 53, 1896, p. 332—333.

2) Vgl. Teil I dieser Untersuchungen, p. 281—282.

Der Unterschied in der Quantität der den Maaren zugeführten organischen Substanz verursacht die Verschiedenheit der Sauerstoffverhältnisse des Hypolimnions.

Doch dieser Satz läßt sich — auf Grund des verschiedenen Ursprungs der organischen Substanz — noch schärfer präzisieren.

Gering scheint der Einfluß der die Maare umgebenden Vegetation, insbesondere der Laubbäume zu sein. Denn Holzmaar und Gemündener Maar (resp. Pulvermaar) liegen beide im Walde, und beide sind im Sauerstoffgehalt des Hypolimnions grundverschieden. Ebenso liegen Schalkenmehrener Maar und Weinfelder Maar im offenen Gelände, und beide stellen ganz verschiedene Seetypen dar.

Sehr groß dagegen ist der Einfluß der Wasserpflanzen des Ufers.

Die Maare der Gruppe I haben eine steile Böschung, daher eine schmale Uferbank und somit eine quantitativ geringe Entwicklung der Uferwasserpflanzen, die Maare der Gruppe II eine flache Böschung, breite Uferbank und eine reich entwickelte Uferwasserflora. Diese Verschiedenheiten lassen sich zahlenmäßig darstellen, wie aus der folgenden nach Halbfaß entworfenen Tabelle unmittelbar hervorgeht:

Tabelle 17.

Böschungsverhältnisse der Eifelmaare (nach Halbfaß).

	Mittlere Böschung	Böschungswinkel	
		0—10 m	0—5 m
<i>Maargruppe I.</i>			
Pulvermaar . . . . .	18°16'	17°51'	—
Weinfelder Maar . . . . .	18°53'	16°49'	—
Gemündener Maar . . . . .	17°59'	20° 2'	—
<i>Maargruppe II.</i>			
Schalkenmehrener Maar	7°21'	14°32'	6°40'
Holzmaar . . . . .	11°16'	14°20'	9°23'
Meerfelder Maar . . . . .	5°30'	6°51'	5°

Daß in der Tiefe der Maare der Gruppe II Reste von allerlei höheren Pflanzen faulen,

zeigen die Dredgezüge: spült man den Tiefenschlamm durch den Beutel des Grundnetzes aus, so bleibt ein aus gröberen Pflanzenresten bestehender Rückstand im Netzbeutel. Solche Reste fehlen im Dredgerückstand bei den Maaren der Gruppe I vollständig.

Es ist daher wohl erklärlich, daß am Boden der Maare des Typus II im Sommer sich Fäulnisprozesse abspielen, die zu einem weitgehenden Sauerstoffschwund führen, während solche in der Tiefe der Maare des Typus I nicht oder nur in kaum merklicher Stärke zur Beobachtung gelangen.

Wie aber ist es zu verstehen, daß bei den Maaren der Gruppe I, sowie überhaupt beim Seetypus I die thermische Sprungschicht ohne Einfluß auf die Veränderung des Sauerstoffgefälles ist, während beim Seetypus II dieses Gefälle im Metalimnion stets eine Verstärkung erfährt?

Der Sauerstoffschwund im Metalimnion und oberen Teile des Hypolimnion wurde oben von uns auf die Zersetzung des abgestorbenen und allmählich in die Tiefe sinkenden Planktons zurückgeführt. Diese Zersetzung muss also beim Typus II eine ganz ungleich stärkere sein als beim Typus I, oder mit anderen Worten, der Planktonreichtum jener Seen muss ein viel grösserer sein als bei diesen. Vor allem muss sich dieser Unterschied in der Mengenentwicklung des sich leicht und schnell zersetzenden Phytoplanktons nachweisen lassen.

Das ist nun tatsächlich der Fall. Die quantitativen Untersuchungen über das Plankton der Eifelmaare sind zwar noch nicht abgeschlossen, doch sind sie schon soweit gefördert, daß wir mit Bestimmtheit sagen können, die Eifelmaare der Gruppe I gehören zu den planktonärmsten Seen, die wir kennen, während die Maare der Gruppe II eine reiche, teilweise sehr reiche Entwicklung des Planktons besitzen. Auch

die Alpenseen des Typus I sind planktonarme Gewässer im Vergleich zu den zum Typus II gehörenden norddeutschen Seen.

Noch auf eine andere Weise, als durch quantitative Planktonstudien, können wir den Unterschied in der Planktonproduktion der beiden Maartypen dartun. — Wohl zersetzen sich die herabsinkenden Planktonten schon auf dem Wege zur Tiefe in hohem Maße, und diese Zersetzung trifft nicht nur die organischen Stoffe, sondern sogar die Kieselschalen der Diatomeen (wie wir vor allem durch Wesenberg-Lunds und Brönsteds Untersuchungen wissen). Aber ein Teil der Kieselskelette auch der zarteren Arten sowie die Panzer der gröberen Diatomeen gelangen doch unversehrt oder nur schwach „angefressen“ bis in die Seetiefe und lagern sich hier ab.

Im Dezember 1911, lange bevor ich das Problem der Sauerstoffschichtung in den Eifelmaaren in Angriff nahm, behandelte ich Schlammproben aus den Tiefen der verschiedenen Maare mit Säuren, um so die Diatomeenpanzer zu gewinnen, die Herrn Dr. E. Lemmermann-Bremen zur Bestimmung geschickt wurden. Und dabei machte ich in einem Briefe an Herrn Dr. Lemmermann die folgende Bemerkung, die jetzt, im Rahmen der vorliegenden Studie, Bedeutung gewinnt:

„Interessant ist das quantitative Verhältnis der Diatomeen in den einzelnen Fängen:

Schalkenmehrener Maar	— fast nur Diatomeen <sup>1)</sup>
Meerfelder Maar	— sehr viel Diatomeen
Holzmaar	— viel Diatomeen
Ulmener Maar	— nicht sehr viel Diatomeen
Gemündener Maar	— nur ganz einzelne Diatomeen
Weinfelder Maar	— ganz einzelne Diatomeen
Pulvermaar	— fast keine Diatomeen.

---

1) D. h. in dem Rückstand des mit Säure behandelten Schlammes.

Wir können wohl mit Sicherheit voraussagen, daß sich alle Seen des ersten Typus bei eingehenderen Untersuchungen als planktonarme Gewässer erweisen werden.

Verschärft wird der Unterschied zwischen dem Maartypus I und II (wohl auch allgemein Seetypus I und II) noch dadurch, daß bei II die sauerstoffproduzierenden Phytoplanktonen in großer Menge in den obersten Wasserschichten zusammengedrängt leben; unterhalb des Metalimnions treten sie ev. nur vereinzelt auf; beim Typus I aber geht assimilierendes Phytoplankton auch zur Zeit der Sommerstagnation bis in größere Tiefen unter die Thermocline hinab.

Diese Erscheinung steht natürlich in Zusammenhang mit der großen Durchsichtigkeit der Seen des Typus I und der geringen des Typus II; sie bewirkt gemeinsam mit dem Unterschied in der Menge des Planktons, daß das Metalimnion beim Typus II auch in chemischer Beziehung zu einer „Sprungschicht“ wird, während es beim Typus I eine Grenzschicht zweier zwar thermisch differenter Wassermassen bedeutet, für die Änderung der chemischen (sowie auch biologischen) Verhältnisse aber kaum eine Rolle spielt.

Fassen wir kurz zusammen, so ist der Unterschied von Seetyp I und II (Typus III bedarf wohl kaum näherer Erörterung) in der quantitativen Entwicklung des Planktons begründet; die Stärke der Planktonentwicklung aber hängt von der chemischen Beschaffenheit des Seewassers und seinen thermischen Eigenheiten ab. Die chemische Zusammensetzung des Wassers jedoch ist bedingt durch die geologischen Verhältnisse des Sees und seines Zuflußgebietes, die Thermik durch die geographische Lage.

Und so wird sich für einen jeden See das so ungemein komplexe Problem der Sauerstoffschichtung in letzter Linie zurückführen lassen

auf seine geographischen und geologischen Verhältnisse.

Wenn wir jetzt auch, vor allem dank der Forscherthätigkeit Birges und Judays und anderer Hydrobiologen und Hydrographen, gar manche interessante Einzelheit über die im Wasser unserer Seen gelösten Gase, und besonders den Sauerstoff, sowie über ihre biologische Bedeutung kennen, so bleibt in diesem Gebiete doch noch unendlich Vieles und Wichtiges zu tun. Ich glaube diesen Abschnitt nicht besser schließen zu können, als mit den Worten Hoppe-Seylers (l. c. p. 44), die Birge und Juday an den Beginn ihres Buches gesetzt haben: „So bietet sich also eine Fülle von unerledigten Fragen dar, sobald man daran geht, die Schicksale des im Wasser absorbierten Sauerstoffs näher ins Auge zu fassen; aber wir dürfen die Kenntnis der Verteilung des Sauerstoffdefizits in den verschiedenen Wasserschichten als den ersten Schritt ansehen auf dem Wege, der zur Erkenntnis der Vorgänge führt, welche sich durch das Leben der Organismen im Wasser von Seen und Meeren vollziehen.“

#### 4. Biologische Ausblicke.

Jeder See ist ein Mikrokosmos, in dem alle Organismen untereinander und mit den physikalischen und chemischen Verhältnissen in engster Beziehung und Wechselwirkung stehen.

Wie das organische Leben die Sauerstoffverteilung in den Seen durchgreifend und umgestaltend beeinflusst, so ist auch die Eigenart des Tier- und Pflanzenlebens der verschiedenen Seen in hohem Grade abhängig von den Besonderheiten in der Sauerstoffverteilung ihrer Lebensräume. Daher mag es gestattet sein — wenn auch die Biologie der Eifelmaare erst später auf Grund unserer chemischen und physikalischen Vorarbeiten eingehender behandelt werden soll — wenigstens einige Streiflichter auf die biologischen Verhältnisse der Seen zu werfen, soweit

diese im Zusammenhang mit den Sauerstoffverhältnissen zu stehen scheinen. Solche biologische Ausblicke liegen uns um so näher, als ursprünglich biologische Untersuchungen und Betrachtungen (über die Tiefenfauna der Eifelmaare) uns überhaupt erst auf das Studium der Sauerstoffverteilung in den Eifelmaaren und anderen Seen geführt haben<sup>1)</sup>.

Jeder See kann nicht nur als ein „Mikrokosmos“ bezeichnet werden, sondern auch als ein „Organismus“ oder, um einen Ausdruck Birges und Judays zu brauchen, als eine „physiologische Individualität höherer Ordnung“; und in diesem Sinne sind unsere verschiedenen Seetypen „physiologisch“ ganz different.

Diese Verschiedenheiten müssen auf die die Seen bewohnenden Organismen einwirken. Wenig oder gar nicht allerdings auf die Uferfauna und -flora, denn die Gasverhältnisse der oberen Wasserschichten sind bei allen drei Seetypen etwa die gleichen.

Wohl aber auf Pelagial und Abyssal.

Die Verschiedenheiten im Plankton der Seetypen I und II mögen hier nur ganz kurz gestreift werden.

Sicher sind schon in qualitativer Beziehung Unterschiede vorhanden.

So ist z. B. in den Maaren der Gruppe I *Diaptomus graciloides* orangerot gefärbt, in denen der Gruppe II von normaler Färbung; *Bosmina longirostris*, *Daphne longispina* var. *hyalina* und die Larven von *Corethra plumicornis* treten nur in II auf, fehlen in I vollständig; auch die *Ceriodphina*-formen sind bei beiden Gruppen verschieden. Ob sich allerdings diese Unterschiede direkt auf die Verschiedenheit der Gasverhältnisse zurückführen lassen, muß vorläufig dahingestellt bleiben.

---

1) Der Zusammenhang zwischen dem Sauerstoffgehalt des Tiefenwassers und der Zusammensetzung der Tiefenfauna unserer Seen (vorläufige Mitteilung), Int. Revue d. ges. Hydrobiol. u. Hydrograph VI, 1913, p. 243—249.

Wichtiger sind die Unterschiede in quantitativer Beziehung.

Seen vom Typus I sind planktonarm, vom Typus II planktonreich.

Naturgemäß muß auch die vertikale Plaktonschichtung im Sommerwasser bei beiden Typen verschieden sein. Für den Zusammenhang zwischen Sauerstoffschichtung und Planktonschichtung vergl. vor allem Kapitel VII und VIII im Birges und Judays Werk, sowie Behrens' und Freidenfelts oben zitierte Arbeiten. Weiteres Material wird auch die Veröffentlichung unserer Planktonstudien in den Eifelmaaren bringen. (Lantzsch hat bei seinen „Studien über das Nannoplankton des Zugersees und seine Beziehung zum Zooplankton“ [Z. f. wiss. Zool. 108 p. 631—692] leider die Sauerstoffverhältnisse nicht berücksichtigt.)

Von besonderem Einfluß muß die Verschiedenheit der O<sub>2</sub>-verhältnisse im unteren Teile des Hypolimnions sein.

Typus IA und IIB stellen in dieser Beziehung scharfe Gegensätze dar, die durch IB und IIA verbunden sind. IB und IIA lassen sich in Hinsicht auf die Sauerstoffverhältnisse des Bodenwassers kaum unterscheiden und werden demgemäß wohl auch in der Besiedelung des Seegrundes sich ähnlich verhalten. Bei sehr starker Schwefelwasserstoffentwicklung beim Typus IIB, oder wenn die unteren Schichten des Hypolimnions aus irgend einem Grunde an der winterlichen Zirkulation überhaupt nicht teilnehmen, kann der Grundschlamm eines Sees ganz unbelebt sein.

Ich habe schon in der p. 316 zitierten vorläufigen Mitteilung darauf hingewiesen, daß die Bodenfauna der Maargruppe II größte Ähnlichkeit mit der Fauna der organisch verschmutzten Gewässer zeigt, während andererseits die der Maargruppe I durch Formen charakterisiert wird, die nie in Gewässern auftreten, die durch organische Abwässer verunreinigt sind, sondern stets an sauerstoffreiches Wasser gebunden sind. Nach den Charakterformen ihrer Chironomidenfauna nannte ich die Maare der Gruppe I

„Tanytarsusseen“, die der Gruppe II „Chironomusseen“. Und ich bin der Überzeugung, daß — in Europa wenigstens — alle Seen des Typus IA (über die Bodensauna des Typus IB wissen wir nichts) „Tanytarsusseen“ sind, die Seen des Typus II „Chironomusseen“. Andererseits wird man, wenn man in der Tiefensauna eines Sees Tanytarsuslarven als Hauptchironomidenform findet, stets auf einen hohen Sauerstoffgehalt des Sommertiefenwassers dieses Sees schließen können (wobei NB. noch nicht ausgemacht ist, daß der See wirklich zum Typus IA gehört; er könnte ja auch zu III zu stellen sein!) Seen aber, die in ihrem Bodenschlamm von Chironomidenlarven außer Arten der Tanytarsusgruppe nur die großen roten, blutkieimentragenden Chironomuslarven in Mengen enthalten, werden stets im Sommer einen mehr oder weniger weitgehenden Sauerstoffschwund im Hypolimnion aufweisen! Sache weiterer vergleichend limnologischer Untersuchungen wird es sein, die Richtigkeit und Allgemeingültigkeit dieser Behauptungen nachzuprüfen.

Aber auch das Problem der geographischen Verbreitung gewisser Teile der Fischsauna unserer nordalpinen Seen scheint mir durch unsere Sauerstoffuntersuchungen in eine ganz besondere und neuartige Beleuchtung gerückt zu werden (die übrigens auch für die praktische Fischereiwirtschaft nicht ohne Interesse sein dürfte).

Bekanntlich sind die *Coregonen* in Mitteleuropa in den Alpenseen weit verbreitet und kommen sporadisch in den Seen der norddeutschen Tiefebene vor. Man hat besonders die große Maräne (*Coregonus maraena* Bloch), die ursprünglich nur im Madüsee, Schaalsee und Selenter See beheimatet ist, in vielen norddeutschen Seen einzubürgern versucht, teils mit, teils ohne Erfolg. Nun sind die *Coregonen* — echte Winterlaicher — gewiß stenotherme Kaltwasserfische, und man hat ihr Fortkommen in einem See, ihr Fehlen und das Mißlingen der Einbürgerungsversuche im anderen, direkt mit Verschiedenheiten der Wassertemperatur des Hypolimnions der betreffenden

Seen in Zusammenhang gebracht. Eine kleine Skizze in dieser Richtung hat erst vor kurzer Zeit Samter<sup>1)</sup> veröffentlicht. Indessen sind die Unterschiede in den Sommer-Tiefentemperaturen der norddeutschen Coregonenseen und „Nichtcoregonenseen“ im allgemeinen doch so gering, daß ich sie für die *Coregonen* als direkt verbreitungs-regulierenden Faktor nicht betrachten kann.

Ich bin vielmehr der Überzeugung, daß die Verbreitung unserer *Coregonen*, und zwar speziell der Maränen aus dem Verwandtschaftskreis von *Coregonus maraena*, durch die Sauerstoffverhältnisse des Hypolimnions der Seen geregelt wird. Die Alpenseen und Voralpenseen mit ihrer reichen Felchen (und Saiblings-) -fauna haben einen hohen Sauerstoffgehalt des Hypolimnions, und so, glaube ich, wird auch in den Coregonenseen Norddeutschlands der Sauerstoffgehalt im Hypolimnions nicht unter einen bestimmten, relativ hohen Wert herabsinken. Ob allerdings diese Seen typische „Tanytarsussees“ sind, oder ob sie an die Spitze der Seen des Typus IIA zu stellen sind, entzieht sich vorläufig unserer Kenntnis.

Als ausschlaggebender Faktor für das Auftreten dieser *Coregonen* in einem See wären hiernach die Sauerstoffverhältnisse zu betrachten; in zweiter Linie erst kämen die Anforderungen, die die Maränen an die Wassertemperatur stellen: in einem See, dessen Hypolimnion einen zu niedrigen Sauerstoffgehalt besitzt, würden ev. eingesetzte Maränen im Sommer in die oberen Wasserschichten gedrängt, die für sie wegen ihrer allzuhohen Wärmegrade ein durchaus ungünstiges Wohnmedium darbieten.

So wird das Problem der Coregonenverbreitung, das bisher im wesentlichen von tiergeographischen Gesichtspunkten aus betrachtet worden ist, zu einem spezifisch hydrobiologischen, dessen Lösung nur einer vergleichenden

---

1) Samter, Vier märkische Seen und die Beziehung zwischen Wassertemperatur und Tiergeographie in ihnen. Jahrbuch für die Gewässerkunde Norddeutschlands, Besondere Mitteilungen, Bd. 2, Nr. 5, Berlin 1912.

limnologischen Untersuchung unserer nordalpinen Seen gelingen kann. Es reiht sich so den zahlreichen hydrobiologischen Fragen an, die im Verfolg der Untersuchung der Gasverhältnisse der Seen auftreten, und auf die z. T. Birge und Juday im Schlußworte ihres Werkes hingewiesen haben.

Solche vergleichend-hydrobiologischen Untersuchungen aber, bei denen Hydrograph, Geologe, Botaniker, Zoologe und Physiologe Hand in Hand arbeiten müssen, überschreiten die Kräfte des Einzelnen. Institute, denen die für solche allseitige, umfassende hydrobiologische Studien nötigen Kräfte und Mittel zur Verfügung stehen, fehlen in Deutschland noch ganz. Ich habe kürzlich<sup>1)</sup> auf die Notwendigkeit der Gründung einer „Anstalt für die Hydrobiologie der Binnengewässer“ hingewiesen und möchte auch hier dem Wunsche Ausdruck geben, daß sich Mittel und Wege finden möchten, diesen Plan zur Ausführung zu bringen, zum Segen für unsere schöne hydrobiologische Wissenschaft.

### C. Schlammanalysen.

Wenn die Dredge vom Grund der Eifelmaare heraufkommt, so bietet ihr Inhalt in den verschiedenen Maaren ein verschiedenes Bild.

Im Ulmener Maar bringt sie einen flüssigen, schwarzbraunen, ja oft fast tintenschwarzen, feinen Schlamm. Er ist ganz azoisch, enthält nur große Mengen Cladocerenhäute. Siebt man den Schlamm durch den Netzbeutel hindurch, so bilden grobe Pflanzenreste den Rückstand. Der Schlamm des Meerfelder Maares ist schwarzbraun und enthält viel Pflanzenteile. Das Schalkenmehrener

---

1) „Hydrobiologie als selbständige Wissenschaft und die Gründung einer Anstalt für die Hydrobiologie der Binnengewässer“, Int. Revue d. ges. Hydrobiol. u. Hydrographie VII, 1914 Biol. Suppl.

Maar enthält in der Tiefe braunschwarzen, humösen Schlamm; Rückstand Pflanzenreste, Cladocerenhäute.

Im Holzmaar ist der Schlamm teils schwarz, teils — nahe dem Einfluß — lehmig gelbbraun. Rückstand große Pflanzenblätter und andere Pflanzenreste.

All diese Maare bergen im Tiefenschlamm auch eine reiche Fauna.

Im Pulvermaar findet sich in der Tiefe, von etwa 20 m an, ein feiner, rotbrauner Schlamm, der beim Durchsieben als Rückstand nur lebende Tiere, aber keine toten Pflanzenreste ergibt. (Im flacheren Wasser auf der Uferböschung ist der Schlamm mehr graubraun oder schwarzbraun, stellenweise zusammenklumpend und schwer filtrierend; Rückstand reich an Pflanzenresten.)

In der Tiefe des Weinfelder Maares lagert rotbrauner Schlamm ohne Pflanzenreste. Teilweise sind die Schlammstückchen, die die Dredge bringt, auf der einen Seite rot, auf der andern mit einem dünnen schwarzen Belag versehen.

Das gleiche Bild bietet das Gemündener Maar. [Die zweifarbigen Stückchen erhält man besonders, wenn man auf der Böschung dreggt. Sie sind entstanden, indem sich über den ursprünglichen, „vulkanischen“ roten Schlamm (stark eisen- und manganhaltig! vergl. Spalte 5 der Tab. 18) lacustre organogene, schwarze Sedimente in dünner Schicht abgelagert haben.]

Auch der Tiefenschlamm der drei tiefen Maare ist reich besiedelt.

Über die in diesen Schlämmen enthaltenen Diatomeen vergl. p. 313.

Es war nun anzunehmen, daß die äußerlich so verschieden aussehenden Schlammarten der beiden Maargruppen auch chemisch recht verschieden charakterisiert sind. Vor allem war bei den Schlammproben aus den flacheren Maaren ein größerer Gehalt an organischen Stoffen zu erwarten, als bei den aus tieferen Maaren.

Das Ergebnis der von der Landwirtschaftlichen Ver-

suchsstation zu Münster ausgeführten Analysen ist in Tab. 18 angeführt.

Es zeigt sich hier, daß wohl Holzmaar und Meerfelder Maar einen höheren Glühverlust zeigen, als die Maare der Gruppe I, nicht aber das Schalkenmehrener sowie das Ulmener Maar. D. h. die hier angewandte chemische Untersuchungs-Methode läßt die zweifellos ja vorhandenen Unterschiede nicht genügend klar in die Erscheinung treten.

Den niedrigsten Gehalt an organischen Stoffen zeigt der Schlamm der Böschung des Gemündener Maares. Der gleichzeitig beobachtete hohe Gehalt an Eisen und Mangan zeigt, daß auf diesen Böschungen der tieferen Maare lacustre Ablagerungen nur eine ganz geringe Mächtigkeit haben, wie ja auch aus dem dünnen schwarzen Überzug der heraufgebrachten festen, roten Schlammteilchen ersichtlich ist.

Der Kalkgehalt sämtlicher Schlämme ist niedrig.

Zur genaueren Beurteilung der chemischen Zusammensetzung der Ablagerungen in den Eifelmaaren wäre eine größere Anzahl Analysen nötig, als uns ausführen zu lassen möglich war.

## Kapitel II.

### **Das Ulmener Maar.**

#### **A. Einleitung.**

Zwischen dem Endertbach und der Üß, die beide in die Mosel münden, etwa 11 km östlich von Daun, liegt das Ulmener Maar<sup>1)</sup>. Der Seespiegel liegt (nach Halbfaß)

---

1) Vgl. zu den geologischen und morphometrischen Angaben: H. von Dechen, Geognostischer Führer zu der Vulkanreihe der Vordereifel, 2. Aufl., Bonn 1886, p. 226, 229—238. Halbfaß, die noch mit Wasser gefüllten Maare der Eifel, Verh. d. Nat. Ver. d. pr. Rheinl. u. Westf., Bonn 1896, Bd. 53, p. 324—326.

Tabelle 18.  
 Analysen des Bodenschlammes der Eifelmaare.

In der Trockensubstanz (nach Abzug des Sandes in %)	Meerfelder Maar		Holzmaar		Schalkenmehrer Maar		Gemündener Maar		Gemündener Maar Böschung		Weinfelder Maar		Pulvermaar		Laacher See		Ulmener Maar	
	Grund	%	Grund	%	Grund	%	Grund	%	Grund	%	Grund	%	Grund	%	Grund	%	Grund	%
A. Organische Stoffe (Gluhverlust) . . . . .	61,44		67,67		40,51		47,7		31,83		42,36		40,5		53,07		46,92	
mit Stickstoff . . . . .	1,58		0,43		0,61		0,45		0,54		0,54		0,55		1,07		0,62	
B. Mineralstoffe (Gluhrückstand) . . . . .	38,56		32,33		59,49		52,3		68,17		57,64		59,5		46,93		53,08	
a) davon durch Salzsäure aufschließbar																		
Eisenoxyd + Tonerde ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$ ) . . . . .	11,25		9,34		11,99		13,81		38,03		16,26		13,62		13,85		14,0	
Manganoxydul (MnO) . . . . .	0,24		0,67		1,05		0,87		15,76		2,13		2,64		1,63		2,65	
Kalk (CaO) . . . . .	0,47		0,88		1,65		1,45		0,52		2,01		1,73		2,08		2,08	
Magnesia (MgO) . . . . .	0,12		1,45		0,41		1,29		0,34		1,49		1,01		1,37		0,85	
Kali ( $\text{K}_2\text{O}$ ) . . . . .	0,18		0,32		0,41		0,33		0,31		0,33		0,33		0,19		0,37	
Natron ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) . . . . .	0,14		0,15		0,26		0,19		0,19		0,22		0,25		1,19		0,31	
Schwefelsäure ( $\text{SO}_3$ ) . . . . .	0,83		0,22		0,36		0,10		0,10		0,17		0,08		1,03		0,26	
Phosphorsäure ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) . . . . .	1,15		0,16		0,35		0,47		0,4		0,35		0,17		0,69		0,38	
Kieselsäure ( $\text{SiO}_2$ ) . . . . .	11,95		2,61		1,64		2,31		1,32		2,59		3,02		20,26		2,45	
b) durch Schwefelsäure aufschließbar																		
Eisenoxyd + Tonerde ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$ ) . . . . .	6,41		10,83		11,04		9,14		1,57		9,52		11,10		0,97		12,67	
Kalk (CaO) . . . . .	0,05		0,15		0,21		0,34		0,10		0,44		0,4		0,27		0,11	
Magnesia (MgO) . . . . .	0,02		0,44		0,28		0,29		0,07		0,22		0,15		0,15		0,15	
Kali ( $\text{K}_2\text{O}$ ) . . . . .	0,74		1,8		1,32		1,60		0,13		1,82		1,40		0,33		1,71	
Kieselsäure ( $\text{SiO}_2$ ) . . . . .	5,66		3,36		28,11		17,29		7,35		20,38		21,81		2,68		22,89	
Unlösliches (Sand usw.) . . . . .	35,38		58,36		26,44		32,60		13,72		28,69		25,54		25,29		31,86	

419,7 m über NN, doch kann der Wasserstand ziemlich stark schwanken, je nach dem Wasserbedarf der Mühle, die durch den — künstlichen — Abfluß des Maares getrieben wird: ein Tiefstand des Maarspiegels auf 417 m über NN — diese Zahl gibt von Dechen an — dürfte allerdings nur ganz selten vorkommen; selbst im sehr trockenen Sommer 1911 war das Maar nicht so tief gesunken.

Steil erhebt sich der Kraterrand rings um das Maar; an der Ostseite erreicht er eine Maximalhöhe von 483,7 m; am Westufer des Maares liegt das Dorf Ulmen, mit seiner es überragenden Kirche, am Südufer die Ruine der Burg Ulmen. Zwischen Kirche und Burg ist der Steilrand der Devonschichten unterbrochen; die tiefste Stelle liegt hier 425,2 m über NN; bei hohem Wasserstande floß häufig das Wasser durch die Dorfstraße ab; deshalb wurde ein Stollen durch den Südrand des Kraters hindurchgetrieben, der das Maarwasser der Üß zuführt. In früheren Zeiten wurde das Wasser des Maares auch zur Befestigung der Burg benutzt; der sog. „Maargraben“ führte um einen Teil der Vorburg das schützende Maarwasser in den Dorfbach (Ollenbach). Noch jetzt ist eine Brücke vorhanden, die einst über diesen Graben in die Burg führte<sup>1)</sup>.

Eine nördlich des Maares über ihm gelegene große sumpfige Wiese — ebenfalls ein altes Maar — entwässert in die Nordwestecke des Maares durch einen 300 m langen Stollen, durch den besonders nach Gewitterregen zeitweise große Mengen trüben Wassers in das Maar abfließen. Während den Westrand des Maares das Dorf Ulmen mit seinen Gärten umsäumt, tritt im Norden Wiese und Feld, im Süden der Grashang, der von der Ruine herabzieht, und im Osten dichter Mischwald, der den Steilrand bis zur Höhe überkleidet, an das Maar heran. Aus diesem Walde fließen zwei ganz kleine Rinnsale in das Maar; zuweilen versiegen sie ganz oder die Quellen bringen doch

---

1) Nach freundlicher Mitteilung des Herrn Pfarrer Fenger, Ulmen.

so wenig Wasser zu Tage, daß es im Erdreich versickert, ehe es den Spiegel des Maares erreicht.

Das Ulmener Maar galt lange Zeit als das jüngste der Eifelmaare; indes halten die diesbezüglichen Untersuchungen schärferer Kritik nicht stand. Nur soviel steht fest, daß die Tuffmassen des Ulmener Kraters auf einen mit Bäumen und anderen Pflanzen bedeckten Boden gefallen sind. Der Ausbruch dieses Kraters mag also, wie der des Laacher Vulkanes, wohl in der „Waldzeit“, einer relativ späten Postglacialepoche, stattgefunden haben.

Schon früh haben die Eifelmaare der Aufmerksamkeit der Geographen erregt. Bereits in Sebastian Munsters Werk:

„Cosmographie oder Beschreibung aller Länder, Herrschaften und fürnemesten stetten des ganzen Erdbodens, sampt ihren Gelegenheiten, Eygenschaftten, Religion, Gebreuchen, Geschichten und Handthierungen etc., erstlich durch Herrn Sebastian Munster mit großer Arbeit in sechs Bücher verfasst: Demnach an Welt und natürlichen Historien durch ihne selbs gebessert: Jetzt aber mit allerley Gedechtnuswirdigen Sachen bis in das MDXCII. jare gemehret, mit newen Landtaflen, vieler Stetten und fürnemmen Männern Contrafacturen und Wappen, so aber die alten herzukommen, gezieret. Getruckt zu Basel 1592“ (folio)

findet sich im dritten Buch, Kap. 201: „Von der Eyfel“ auf p. 703 folgende Stelle:

„Item zwen namhafftiger See sind in dieser Eyfel | einer bey dem Schloß Ulmen | und der ander bey dem Closter zu Laich | die sind sehr tief | haben keinen Eynfluß | aber viel Außflüß | die nennt man Marh | und sind Fischreich. In dem zum Laich findt man Stein grün | gelb und rotfarb | gleich den bösen Smaragden uñ Hyacinten. Im Marh zu Ulmen ist ein Fisch<sup>1)</sup> | wie dann

1) Ed. 1559 p. 494: „... piscem, aut si mavis balaenam, inveniri . . .“

viel gesehen habē | auff dreyszig Schuch lāg | und ein ander auff zwölff Schuch lāg | die haben Hecht gestalt. Und so sie sich lassen sehen | stirbt gewißlich ein Ganerb des Hauß Ulmen<sup>1)</sup> | es sey Mañ oder Frau | ist offft bewärt und erfahren worden. Diese Marh ligē gemeinlich auff hohen Bergen. Man hat das zu Ulmen wöllen ersuchen in seiner Tieffe | und nachdem man das Bley dreyhundert klaftern<sup>2)</sup> tieff hinab gelassen | hat man kein Grund mögen finden.“

Als Abbildung ist ein Holzschnitt (8,5 × 9,5 cm) beigegeben, der einen Fischkopf mit weitgeöffnetem Maule darstellt, aus dem ein Mensch halb heraushängt; ferner eine „Karte der Eyfel“, in der auch der „Ulmus lacus, in quo piscis magnus spectatus aliquando“ verzeichnet ist.

In der lateinischen Ausgabe der Cosmographie von 1559 findet sich die Abbildung des Fisches nicht; die erste Ausgabe von 1550 steht mir nicht zur Verfügung.

In den zwanziger Jahren des 19. Jahrhunderts führte ein Bonner Präparator<sup>3)</sup>, Thomas Dickert, ein Relief des Ulmener Maares und seiner Umgebung aus, von dem sich jetzt ein Exemplar im Geologischen Museum in Bonn, ein zweites im Museum zu Weimar befindet.

Im Oktober 1896 vermaß Halbfuß, wie die anderen Eifelmaare, so auch das zu Ulmen; wir geben die von ihm gewonnenen Zahlen hier wieder:

Meereshöhe	419,7
Größte Länge in Meter	325
Größte Breite in Meter	225
Umfang in Meter	925
Umfangsentwicklung	1,128
Areal m <sup>2</sup>	53 500
Größte Tiefe in Meter	37

1) Ed. 1559 p. 494: „quispiam moriatur ex loci illius communibus haeredibus, quos vulgo Ganerben vocant“.

2) Ed. 1559 p. 494: „ad trecentos complexus brachiorum sive orgyas“.

3) Kein Engländer, wie Halbfuß (l. c. p. 311) angibt.

Mittlere Tiefe in Meter	18,3
Verhältnis beider	0,495
Volumen m <sup>3</sup>	978 000
Mittlere Böschung	21° 26'
Böschung nach Peucker	+ 0,48
Volumenhalbierende Tiefe	11,6
Verhältnis zur größten Tiefe	0,31
Arealhalbierende Tiefe	17,5
Verhältnis zur größten Tiefe	0,46

Tiefe in m	Areal der Iso- bathen fläche m <sup>2</sup>	Um- fang m	% vom Ges.- Areal	Tiefen- stufen m	Areal in m <sup>2</sup>	% vom Ges.- Areal	Volu- men in m <sup>3</sup>	% vom Ges.- volu- men	Bö- schungs- winkel
0	53500	925	100	0—10	18500	34,6	442500	45,2	33°23'
10	35000	675	65,4	10—20	11000	20,6	295000	30,2	27° 5'
20	24000	550	45,0	20—30	11000	20,6	185000	19,0	23°22'
30	13000	400	24,3	30—35	8500	16,0	43700	4,4	11°14'
35	4500	275	8,4	34—37	4500	8,2	12000	1,2	3°29'

Danach ist das Ulmener Maar — das kleinste der Eifelmaare — vor allem bemerkenswert durch seine steile Böschung; sie übertrifft die aller anderen Maare sowie auch die des oberbayerischen Königssees (20° 30'). Gleich vom Ufer weg erreicht die Böschung den hohen Betrag von 23° 23' und selbst die Tiefenstufe von 35—37 m ist noch unter dem Winkel von 3° 29' geböscht (Halbfaß). Bei der von uns 1910 begonnenen Untersuchung der Eifelmaare<sup>1)</sup> zeigte es sich, daß die Halbfaßschen Messungen durchweg äußerst genaue waren und daß seit 1896 nennenswerte Veränderungen in den Tiefenverhältnissen der Eifelmaare nicht eingetreten sind. Temperaturmessungen, sowie Bestimmungen der Wasserfarbe und Sichttiefe hat gerade im Ulmener Maar Halbfaß nicht angestellt.

1) Thienemann und Voigt, Vorläufiger Bericht über die Untersuchung der Eifelmaare im August und September 1910, Ber. Bot.-Zool. Ver. Rheinl.-Westf. 1910, p. 81—84.

Bereits bei der ersten von uns im Ulmener Maar aufgenommenen Temperaturserie — am 14. August 1910 — zeigte sich die merkwürdige Erscheinung, daß bis 10 m Tiefe die Temperatur des Maares in normaler Weise abnahm; dann aber stieg sie von 6° in 10 m Tiefe bis auf 6,9° in 25 m Tiefe und blieb von da an konstant bis zum Grunde. Diese Überschichtung wärmeren Wassers durch kälteres konnte — wie wir schon in unserem vorläufigen Bericht p. 82 betonten — nur darauf beruhen, daß auf dem Grunde des Maares ein Quellwasser von ungefähr 7° austritt, das eine größere Menge Mineralstoffe gelöst enthält, als das Oberflächenwasser.

Eingehender wurden diese Verhältnisse am 8. und 9. August 1911 sowie am 5. und 6. März 1912 untersucht. Die bis dahin gewonnenen Ergebnisse habe ich in einem kleinen Aufsatz zusammengefaßt<sup>1)</sup>. Die dort gegebenen Auseinandersetzungen sind — da in einer Gelegenheitsschrift veröffentlicht und daher nicht allgemein zugänglich — in die vorliegende Darstellung zum Teil wenigstens wörtlich übernommen. Indessen sind die Untersuchungen im Ulmener Maar seit jener Veröffentlichung ganz wesentlich erweitert und ergänzt worden.

Am 2. und 3. Oktober 1912 habe ich wiederum im Ulmener Maar untersucht, wobei ich von Herrn J. Th. Rieth unterstützt wurde. Erneute Untersuchungen fanden statt am 5.—6. April und 9.—10. August 1913; beide Male leistete mir Herr Dr. Gripekoven, im August auch Herr cand. rer. nat. Josten tatkräftige Hilfe.

Am 2. Februar 1914 schließlich konnte ich unter einer 27 cm dicken Eisdecke Beobachtungen im Ulmener Maar anstellen.

Das so vom August 1910 bis zum Februar 1914

---

1) Thienemann, Das Ulmener Maar, Festschrift, gewidmet den Teilnehmern der 84. Versammlung Deutscher Naturforscher und Ärzte in Münster i. W. von der Medizinisch-Naturwissenschaftlichen Gesellschaft in Münster, Münster 1912, p. 160 bis 174.

gewonnene Material scheint mir eine genügend sichere Unterlage für die Beurteilung der eigenartigen chemischen und physikalischen Verhältnisse des Ulmener Maares abzugeben.

## B. Die physikalischen und chemischen Verhältnisse des Ulmener Maares.

### 1. Der Chemismus des Ulmener Maares.

Betrachten wir zuerst die chemische Zusammensetzung der in den verschiedenen Schichten des Ulmener Maares lagernden Wassermassen.

Tabelle 19.

Aussehen, Geruch, Gasentwicklung des Wassers aus dem Ulmener Maar bei der Probeentnahme.

	Farbe	Gasentwicklung	Geruch nach Schwefelwasserstoff
36—35 m	gelblich	recht stark	oft deutlich
30—25 m	gelblich	stark	oft vorhanden
20 m	schwarzgelblich	mäßig	oft etwas vorhanden
16—14 m	meist Stich ins Gelbliche	meist vorhanden aber gering	zuweilen etwas vorhanden
10—0 m	farblos bis ganz schwach gelblich	fehlt	fehlt

Schon bei der Probeentnahme fällt, wie aus Tab. 19 hervorgeht, eine starke Verschiedenheit bei den aus den verschiedenen Schichten des Maares stammenden Wässern auf.

Während das Wasser aus den oberen Schichten bis etwa 10 m Tiefe farblos oder ganz schwach gelblich gefärbt ist, normalen „Wassergeruch“ und „-geschmack“ zeigt und keine Gasentwicklung vorhanden ist, wird es bei zunehmender Tiefe immer mehr gelblich gefärbt, ein, wenn auch geringer, so doch deutlich wahrnehmbarer Geruch nach

Schwefelwasserstoff macht sich bemerkbar, bei 20 m ist eine schwache, von 25 m an eine starke Gasentwicklung vorhanden, und der Geschmack des der Maartiefe entnommenen Wassers ist fade und unangenehm.

Die von der Landwirtschaftlichen Versuchsstation zu Münster i. W. ausgeführten Analysen<sup>1)</sup> zeigen folgendes:

a) Die im Wasser gelösten Salze.

Wie aus Tab. 20 unmittelbar ersichtlich, steigt der Abdampfrückstand, d. h. die Gesamtmenge der im Wasser gelösten Salze (in Milligramm pro Liter) von der Oberfläche nach der Tiefe zu an; aber nicht stetig.

Tabelle 20.

Abdampfrückstand im mg. pro Liter in den verschiedenen Schichten des Ulmener Maares.

Tiefe in m	14. VIII. 1910	8.—9. VIII. 1911	5.—6. III. 1912	2.—3. X. 1913	5.—6. IV. 1913	9. VIII. 1913	2. II. 1914	Durch- schnitts- wert
0	125,0	—	—	—	175,2	175,0	193,6	} 170
0,5	—	—	—	178,2	—	—	—	
1	—	185,0	157,0	—	—	—	—	
3	—	—	—	—	—	—	—	
5	—	182,5	173	176	182,0	—	—	—
8	—	—	—	178	—	—	—	—
10	—	182,5	157	—	189,6	—	184,8	} 180
12	—	—	—	—	—	187,0	—	
14	—	—	—	208,0	—	—	—	
15	—	247,5	—	—	208,0	—	222,0	} 225
16	—	—	242	—	—	—	—	
20	—	422,5	536(?)	464	418,8	425,0	438,0	451
25	—	502,5	[372?]	—	418,8	467,5	457,2	462
30	—	475,0	428	554	—	—	—	—
35	—	507,0	439	572	478,0	530,0	465,6	499

In den oberen Schichten des Maares, bis etwa 12 m Tiefe, beträgt er durchschnittlich 170—180 mg (Minimum

1) Herrn Abteilungsvorsteher Dr. Sutthoff bin ich für seine vielfachen Bemühungen zu ganz besonderem Dank verpflichtet.

125 mg in 0 m am 14. VIII. 1910, Maximum 193,6 mg in 0 m am 2. II. 1914 [unter Eis]). In 14—16 m Tiefe beträgt er durchschnittlich 225 mg (Minimum 208 mg in 14 m am 2.—3. X. 1912 sowie in 15 m am 5.—6. IV. 1913).

Von 20 m an bis zur größten Tiefe von 37 m nimmt er Werte von über 400 bis über 500 mg an. Die Zunahme von 20—35 resp. 37 m ist nur gering; im Durchschnitt in 20 m 451 mg, in 25 m 462 mg, in 35 m 499 mg. Man kann sagen, daß die Tiefe des Kratertrichters von 20 m an von einem Wasser erfüllt wird, das im Durchschnitt 451—500 mg Salz im Liter gelöst enthält (Minimum 418,8 mg in 20 und 25 m Tiefe am 5.—6. IV. 1913. Maximum 530 mg am 9. VIII. 1913 in 35 m Tiefe; zwei unsichere Werte vom 5.—6. III. 1912 mögen lieber unberücksichtigt bleiben).

Es besteht also zu allen Jahreszeiten im Ulmener Maare die gleiche deutliche saline Stratifikation; der Salzgehalt des Tiefenwassers ist fast genau dreimal so hoch wie der des Oberflächenwassers. Es muß demnach in der Tiefe des Maares eine Quelle entspringen, deren Wasser jahraus, jahrein etwa  $\frac{1}{2}$  g Salze im Liter gelöst enthält; die Schwankungen im Salzgehalt dieser Quelle sind geringe; die Minima des Salzgehaltes fallen in die Monate Februar bis April<sup>1)</sup>, die Maxima in den August und Oktober.

Dieses Tiefenwasser erfährt in den oberen Schichten eine Verdünnung durch das von den zwei kleinen Zuflußrinnsalen des Maares diesem zugeführte Quellwasser, sowie vor allem das Wasser der direkten atmosphärischen Niederschläge. So entsteht eine Mischschicht zwischen 12 und 20 m, in der der Salzgehalt mit der Tiefe stark zunimmt, und eine Schicht mit ziemlich gleichmäßigem niedrigem Salzgehalt von 0—12 m Tiefe.

1) Erklärung der Minima vgl. p. 354.

Nicht ganz ohne Interesse dürfte die folgende Berechnung sein:

Das Ulmener Maar behält, abgesehen von geringen Schwankungen, den gleichen Wasserstand im Laufe des Jahres bei; zugleich aber bleibt auch das Verhältnis der Konzentration des Tiefenwassers zur Konzentration des Oberflächenwassers dauernd etwa das gleiche, nämlich 3 : 1. Es muß also einmal Niederschlagsmenge plus Wasserzufuhr durch die Quellrinnsale plus Wasserführung der Tiefenquelle gleich sein Verdunstung plus Abflußmenge durch den künstlichen Stollen. Nehmen wir an, daß das Niederschlagswasser und das durch die Quellrinnsale zugeführte Wasser annähernd frei von gelösten Salzen ist, so müßte Niederschlagswassermenge plus Wasserführung der Quellrinnsale dreimal so groß sein wie die Wasserführung der Tiefenquelle.

Damit aber steht in schönster Übereinstimmung die von Halbfuß (l. c. p. 333) gegebene Berechnung der Volumina der Schichten des Ulmener Maares. Die Schicht 0—20 m hat hiernach ein Volumen von 75,4 % des Gesamtvolumens des Maares, die Schicht 20 m bis Grund 24,6 %; das Verhältnis beider ist also gleich 3 : 1. Es wird also das Tiefenwasser mit einem Oberflächenwasser, das annähernd frei von gelösten Salzen ist, gemischt.

Die Stärke der Wasserführung der Tiefenquelle würde sich berechnen lassen aus Niederschlagsmenge plus Wasserführung der Quellrinnsale oder auch aus Verdunstung plus Abflußmenge.

Die Resultate einer Anzahl genauer Analysen der Wässer des Ulmener Maares sind in Tab. 21 zusammengestellt.

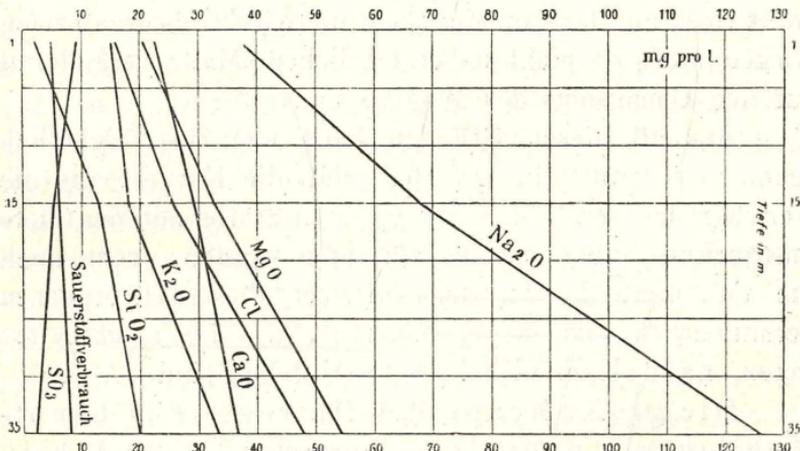
Welche Stoffe im einzelnen die Zunahme der Salzmenge mit der Tiefe hervorrufen, ist für die Analyse vom 9. VIII. 1911 außerdem in Kurventafel Nr. VIII dargestellt.

Vielleicht erscheint es auf den ersten Blick verwunderlich, daß nicht alle Stoffe relativ die gleiche Zunahme mit der Tiefe erfahren, sondern daß einzelne — so be-

Tabelle 21.

Zusammensetzung des Wassers aus dem Ulmener Maar.

	0—1 m Tiefe				15 m tief	15 m tief	35 m Tiefe		
	Einzelbestimmungen		Durchschnittswert	15 m tief			Einzelbestimmungen		Durchschnittswert
	9. VIII. 1911	9. VIII. 1913			9. VIII. 1911	9. VIII. 1913	9. VIII. 1911	9. VIII. 1913	
Reaktion gegen Lakmus	—	schwach alkalisch	—	—	sehr schw. alkalisch	—	fast neutral	—	—
Gelöste Stoffe im ganzen	125	185,0	175	162	247,5	425	507,5	530,0	519
Glühbeständig	—	—	—	—	—	310	—	435,0	—
darin:									
Kalk (CaO)	12,5	22,5	35	23	29,2	40,0	36,7	50,0	43,4
Magnesia (MgO)	12,6	20,3	23,5	19	32,6	43,4	54,6	43,4	49,0
Natron (Na <sub>2</sub> O)	—	37,4	34,3	36	68,2	80,7	126,8	135,5	131,2
Kali (K <sub>2</sub> O)	—	15,0	6,1	11	18,0	20,1	28,6	25,5	27,1
Chlor (Cl)	7,1	15,6	10,6	11	25,5	30,9	48,2	44,3	46,3
Kieselsäure (SiO <sub>2</sub> )	7,5	2,0	—	5	13,0	—	20,0	—	20
Schwefelsäure (SO <sub>2</sub> )	7,7	8,2	11,1	9	5,1	3,4	2,1	1,7	1,9
Eisenoxyd + Tonerde (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	—	—	4,0	—	—	14,0 <sup>1)</sup>	10,0	9,0 <sup>1)</sup>	—
Zur Oxydation erforderlicher Sauerstoff	6,1	4,9	7,1	6	—	10,9 <sup>2)</sup>	8,1	8,4 <sup>2)</sup>	—



Kurventafel VIII.

Menge der gelösten Stoffe im Wasser des Ulmener Maares am 9. VIII. 1911 in 1, 15 und 35 m Tiefe.

- 1) Z. T. ausgefallen, daher Werte nicht sicher.
- 2) Wegen des Gehaltes an Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Werte nicht ganz sicher.

sonders das Natron  $\text{Na}_2\text{O}$  — ganz gewaltig zunehmen, während andere im Tiefenwasser in nur wenig größerer Menge als im Oberflächenwasser vorhanden sind, ja daß die Schwefelsäure  $\text{SO}_2$  sogar mit steigender Tiefe abnimmt. Würde es sich um eine einfache Übersichtung salzreichen Wassers durch chemisch reines Wasser und um Mischung durch Diffusion handeln, so wären diese Tatsachen nicht verständlich. Indessen muß man bedenken, daß hier nicht ein Experiment im Laboratorium vorliegt, sondern ein Vorgang in der freien Natur!

Das Oberflächenwasser, das sich mit dem der Tiefenquelle mischt, ist natürlich nicht vollständig frei von gelösten Salzen. Ferner ist nur im Tiefenwasser Methan in größerer Menge gelöst vorhanden, während das Oberflächenwasser frei davon ist; Sauerstoff dagegen ist nur in den oberen Schichten des Maares — vergleiche später — in größerer Menge gelöst. Es könnten also schon aus rein chemischen Gründen eventuell Divergenzen in der Zunahme der einzelnen gelösten Salze mit der Tiefe vorhanden sein. Dazu kommt noch, daß die obersten Schichten des Maares recht reich an Plankton sind; und diese Schwebeorganismen wirken auch in nicht unbeträchtlichem Maße verändernd auf den Chemismus des Wassers ein.

Aus all diesen Gründen kann man also eigentlich schon von vornherein erwarten, daß die Kurven, die die Veränderung der Menge der gelösten Stoffe mit der Tiefe ausdrücken, nicht parallel verlaufen werden, wenn auch die Faktoren, die für das Auftreten dieser Divergenzen verantwortlich sind, im einzelnen nicht — ich möchte fast sagen, natürlich nicht! — festzustellen sind.

Die große Menge des Natrons, das hauptsächlich als doppeltkohlensaures gelöst sein wird, stellt ein besonderes Charakteristikum des Tiefenwassers im Ulmener Maar dar; für die übrigen Stoffe vergleiche die Tab. 21.

Das Wasser aus 35 m Tiefe würde einem Wasser entsprechen, das etwa die folgenden Salzmengen enthält:

$\text{Na}_2\text{SO}_4$	:	3,7	mg pro l
$\text{NaCl}$	:	90,4	"
$\text{Na}_2\text{SiO}_3$	:	40,6	"
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	:	106,6	"
$\text{K}_2\text{CO}_3$	:	41,9	"
$\text{MgCO}_3$	:	114,1	"
$\text{CaCO}_3$	:	65,5	"

(Dazu noch Organische Substanzen sowie  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$ .)

Durch diese Mineralquelle in der Tiefe nimmt das Ulmener Maar eine Sonderstellung unter allen Eifelmaaren ein. In keinem der anderen Maare sind solche Quellen vorhanden.

#### b) Die im Wasser gelösten Gase.

Außer Salzen enthält das Wasser des Ulmener Maares Gase gelöst, und zwar in den verschiedenen Tiefen recht verschiedene Gase und recht verschiedene Gasmengen.

#### α) Die Gase des Tiefenwassers.

Das Wasser der Tiefe wies oft einen zwar geringen, aber doch deutlichen Geruch nach Schwefelwasserstoff auf; quantitative Bestimmungen wurden nicht vorgenommen, da es sich dabei nur um Spuren dieses Gases handeln konnte.

Doch mußte das Tiefenwasser noch andere Gase in beträchtlicher Menge enthalten; denn wenn das Wasser aus den Tiefen von 20 m an an die Oberfläche gebracht wurde, so setzte vor allem beim Wärmerwerden der Wasserprobe eine nicht unbedeutende Gasentwicklung ein.

Es lag von vornherein der Verdacht nahe, daß es sich hier im Ulmener Maare um freie Kohlensäure handeln werde, wie ja überhaupt in der vulkanischen Eifel vielerorts Kohlensäure — und zwar stellenweise in starken Sprudeln — der Erde entströmt.

Da es immerhin möglich sein konnte, daß das Tiefenwasser des Ulmener Maares mit Kohlensäure gesättigt,

oder fast gesättigt ist, so erschien für die Untersuchung die übliche Titration mit Alkali nicht geeignet. Wir haben deshalb ein anderes Verfahren eingeschlagen. In die für die Sauerstoffbestimmung nach Winkler käuflichen, genau geaichteten Flaschen wurde kohlensäurefreie Kalilauge gebracht. Die Menge der Lauge wurde so berechnet, daß auch bei Kohlensäuresättigung der betreffenden Wasserschicht alle Kohlensäure von der Lauge gebunden werden mußte. Die so beschickten Flaschen wurden mit Glasstöpsel und Drahtklemme fest verschlossen mit zum Maar genommen. Das mit dem Thiesingschen Wasserschöpfer gehobene Wasser wurde aus feiner Öffnung in die Kalilauge vorsichtig eingelassen, die Flaschen wieder fest verschlossen und in der Landwirtschaftlichen Versuchsstation zu Münster dann näher analysiert. Es wurde in diesen Proben die Gesamtkohlensäure nach dem Verfahren von L. W. Winkler<sup>1)</sup> bestimmt.

Solche Bestimmungen der Gesamtkohlensäure in den verschiedenen Schichten des Ulmener Maares wurden ausgeführt bei den Exkursionen am 2.—3. X. 1912 und am 9. VIII. 1913. Aus den Tab. 27 und 28 sowie besonders deutlich aus den Kurventafeln XIII und XIV geht hervor, daß die Zunahme der Gesamtkohlensäure und die des Abdampfückstandes in den verschiedenen Schichten des Maares eine annähernd parallele ist. Schon hieraus war zu entnehmen, daß eine allzugroße Menge freier Kohlensäure in dem Tiefenwasser des Maares wohl kaum vorhanden sein konnte, und daß an Sättigung des Tiefenwassers mit Kohlensäure nicht zu denken war. Auf Grund der Gesamtanalysen sowie Gesamtkohlensäurebestimmungen vom 9. VIII. 1913 hat Herr Dr. Sutthoff in freundlichster Weise die Menge der freien Kohlensäure für die 20- und

---

1) Zeitschrift f. analyt. Chemie 1903, **42**, 735. Cf. Tillmans und Heublein in Zeitschrift f. Untersuch. d. Nahrungs- und Genußmittel 1910, **20**, 617. Cf. König, Untersuch. landwirtschaftlich u. gewerblich wichtiger Stoffe, 4. Auflage, Berlin 1911, p. 979.

35 m-Schicht berechnet. Diese beträgt nach dieser Berechnung für 20 m 43,05 mg, für 35 m 36,7 mg, also für das Tiefenwasser im Durchschnitt 40 mg pro Liter, was einem Volumen von etwa 20 ccm pro Liter entspricht (auf 0° C. und 760 mm Hg reduziert).

Die Tiefenschichten des Ulmener Maares enthalten also zwar freie Kohlensäure, indessen nicht in größerer Menge, als sie sonst auch im Sommer in normalen Seen im Tiefenwasser beobachtet wird!<sup>1)</sup> In manchen Seen entsteht diese Kohlensäure im Bodenwasser durch die Zersetzung organischer Stoffe, und es ist sehr wahrscheinlich, daß der Kohlensäuregehalt des Tiefenwassers im Ulmener Maar die gleiche Ursache hat. Die in meiner Ulmener Maar-Arbeit vom Jahre 1912 p. 165, 169, 171 ausgesprochene Ansicht, die Tiefenquelle führe dem Ulmener Maar freie Kohlensäure in beträchtlicher Menge zu, läßt sich also nunmehr, nachdem quantitative Bestimmungen der gelösten Gase vorliegen, nicht mehr halten.

Welcher Art aber ist das Gas, das beim Heraufholen des Tiefenwassers an die Oberfläche frei wird?

Bei den Sauerstoffbestimmungen wurde stets beobachtet, daß in den Flaschen, die Tiefenwasser des Maares enthielten, über der stark alkalischen Lösung sich Gasblasen ansammelten. Dieses Gas konnte weder Sauerstoff, noch Schwefelwasserstoff, noch Kohlensäure sein; sie alle hätten von der Lösung absorbiert werden müssen. Eigentümlich war auch die häufig wiederholte Beobachtung, daß beim Zufügen der jodkaliumhaltigen Natronlauge (bei der

1) Man vgl. z. B. die Tabellen in Birge and Juday, The Inland lakes of Wisconsin, Wisconsin Geolog. and Natural History Survey Bull. No. XXII, Madison 1911. — Ein Unterschied besteht nur insofern, als im normalen See die Kohlensäureanreicherung der Wasserschichten der Tiefe nur im Sommer, zur Zeit ausgeprägter Stratifikation des Wassers, zu beobachten ist, während sie im Ulmener Maar, dessen Wassermassen sich ja dauernd im Zustande schärfster Schichtung befinden, auch das ganze Jahr hindurch vorhanden sein wird.

Sauerstoffbestimmung) zu dem Tiefenwasser stets eine recht stürmische Gasentwicklung einsetzte. Anscheinend wurde hier durch die Mischung mit der konzentrierten Natronlauge das Gas aus dem Wasser rein physikalisch ausgetrieben.

Eine Analyse des Gases konnte bisher nicht vorgenommen werden, aber seinem ganzen Verhalten nach kann es nur Sumpfgas, Methan sein, das sich in der Tiefe des Kratertrichters durch die Fäulnis der abgestorbenen organischen Materie entwickelt und bei der geringen Bewegung, in der sich die unteren Wasserschichten befinden, reichlich aufgespeichert hat. Man weiß, daß eine Zersetzung der organischen Substanzen unter Abschluß der Luft die Methanbildung begünstigt. Im Ulmener Maar ist das Tiefenwasser dauernd sauerstoffarm, daher der Methangehalt des Tiefenwassers wohl erklärlich<sup>1)</sup>.

Eine quantitative Bestimmung des Methans war mir bisher nicht möglich.

Anhangsweise sei hier bemerkt, daß mehrfach (so am 5. IV. und 9. VIII. 1913) abends bei ganz ruhigem Wetter in der Mitte des Maares ein Aufsteigen von größeren Gasblasen beobachtet wurde, die wohl auch Sumpfgas gewesen sein werden.

### β) Der Sauerstoffgehalt des Ulmener Maar- Wassers.

Mit einwandsfreien Methoden (Thiesingscher Wasserschöpfer, Bestimmung nach Winkler) wurde die Sauerstoffschichtung im Ulmener Maar am 2.—3. X. 1912, 5.—6. IV. 1913, 9. VIII. 1913 sowie am 2. II. 1914 (unter Eis) untersucht. Die Ergebnisse sind in Tab. 22 zusammengestellt.

---

1) Über Methan in normalen Seen vgl. Birge and Juday, l. c. p. 97—101.

Tabelle 22.

Die Sauerstoffsichtung im Ulmener Maar.

Tiefe in m	2.—3. X. 1912				5.—6. IV. 1913				9. VIII. 1913				2. II. 1914 (unter Eis)			
	O <sub>2</sub>	O' <sub>2</sub>	δ	O <sub>2</sub> %	O <sub>2</sub>	O' <sub>2</sub>	δ	O <sub>2</sub> %	O <sub>2</sub>	O' <sub>2</sub>	δ	O <sub>2</sub> %	O <sub>2</sub>	O' <sub>2</sub>	δ	O <sub>2</sub> %
0	6,35	7,63	-1,28	83,2	7,8	8,2	-0,4	95,1	7,27	6,72	+0,55	108,2	4,99	9,66	-4,67	51,7
3	—	—	—	—	—	—	—	—	7,08	6,96	+0,12	101,7	—	—	—	—
5	6,39	7,81	-1,42	81,8	7,4	8,3	-0,9	89,2	—	—	—	—	4,61	9,09	-4,48	50,7
6	5,49	7,86	-2,37	69,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7	2,51	8,29	-5,78	30,3	—	—	—	—	1,55	8,31	-6,76	18,7	—	—	—	—
8	1,14	8,44	-7,30	13,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10	—	—	—	—	6,1	8,7	-2,6	70,1	—	—	—	—	4,48	9,05	-4,57	49,5
12	—	—	—	—	—	—	—	—	1,18	8,58	-7,4	13,7	—	—	—	—
14	0	8,58	-8,58	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
15	—	—	—	—	2,0	8,7	-6,7	23	—	—	—	—	1,96	8,95	-6,99	21,9
20	—	—	—	—	1,5	8,7	-7,2	17,3	1,04	8,38	-7,34	12,4	0,47	8,42	-7,95	5,6
25	—	—	—	—	1,5	8,3	-6,8	18,1	0,4	8,30	-7,9	4,8	—	—	—	—
35	—	—	—	—	1,0	8,3	-7,3	12,1	0,26	8,30	-8,04	3,1	0,1	8,24	-8,14	1,2

In dieser Tabelle bedeutet (wie in den früheren Tabellen):

O<sub>2</sub> den tatsächlich beobachteten Sauerstoffgehalt in Kubikzentimeter pro Liter, auf 0° und 760 mm Druck reduziert.

O'<sub>2</sub> den theoretisch bei vollständiger Sättigung und bei der Temperatur der betreffenden Schicht zu erwartenden Sauerstoffgehalt (0°, 760 mm). (Es wurden die von Birge und Juday l. c. p. 20 angegebenen Werte benutzt.)

δ die Differenz zwischen O<sub>2</sub> und O'<sub>2</sub>.

O<sub>2</sub>% den Sauerstoffgehalt in Prozenten der Sättigung.

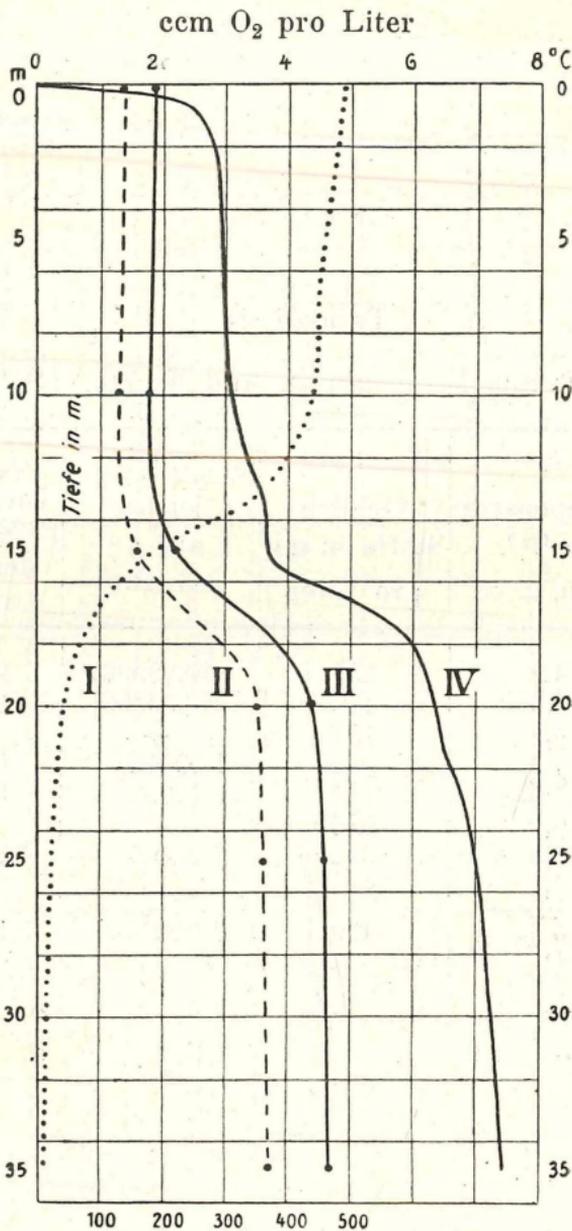
Die Temperatursprungschicht ist am 2.—3. X. 1912 und 9. VIII. 1913 durch Fettdruck angezeigt.

In den Tab. 23—28 sowie in Kurventafeln IX—XIV sind weiterhin die Temperaturen, Sauerstoffwerte, Abdampfrückstände, Kohlensäurebestimmungen, Dichtebestimmungen für jeden Untersuchungstag einzeln zusammengestellt.

Tabelle 23.

Ulmener Maar am 2. II. 1914 (unter Eis).

Tiefe in m	Temperatur in °C. 10 h. a. m.	O <sub>2</sub> gehalt in ccm pro Liter	Abdampf- rückstand in mg pro Liter	Glührück- stand in mg pro Liter
0	0,2	4,99	193,6	143,2
5	2,95	4,61	—	—
10	3,15	4,48	184,8	138,0
15	3,65	1,96	222	162
20	6,4	0,47	438,8	351,6
25	7,0	—	457,2	366,8
35	7,4	0,10	465,6	367,6



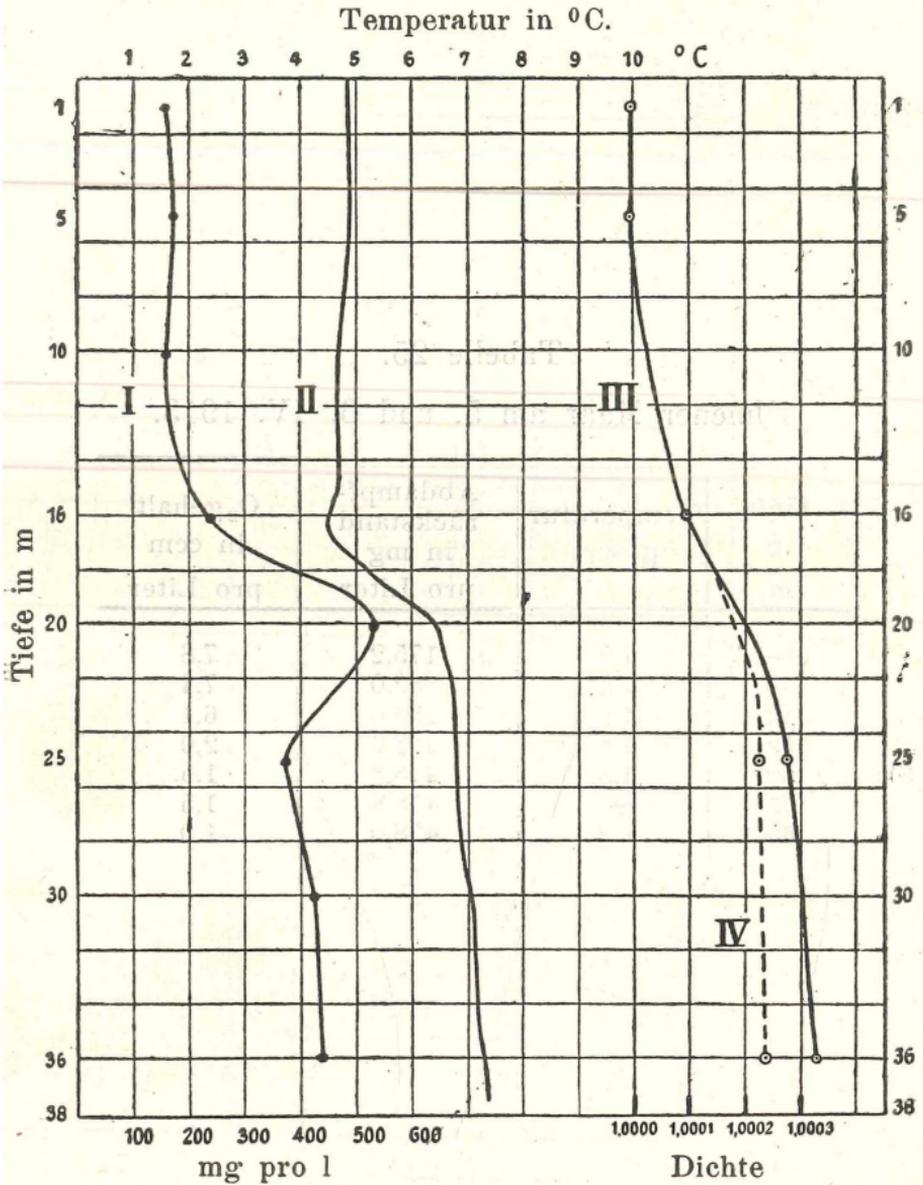
Kurventafel IX.

Ulmener Maar 2. II. 14 unter Eis.

- I = O<sub>2</sub>gehalt in ccm pro Liter.
- II = Glührückstand in mg pro Liter.
- III = Abdampfrückstand in mg pro Liter.
- IV = Temperatur in °C.

Tabelle 24.  
Ulmener Maar am 5. und 6. III. 1912.

1	2	3	4	5
Tiefe in m	Temperatur in °C. 11 h. a. m.	Gelöste Stoffe in mg pro Liter	Dichte auf 4° reduziert	Dichte auf die Temperatur der Spalte 2 reduziert
1	4,9	157	1[0,99996]	1[0,99999]
5	4,9	173	1[0,99999]	1[0,99999]
10	4,7	157	—	—
16	4,5	242	{ 1,00013 1,00008	{ 1,00013 1,00003
20	6,5	536	—	—
25	6,8	372	1,00027	1,00023
30	7,1	428	—	—
35	—	} 439	1,00033	1,00024
36	7,35			



Kurventafel X.

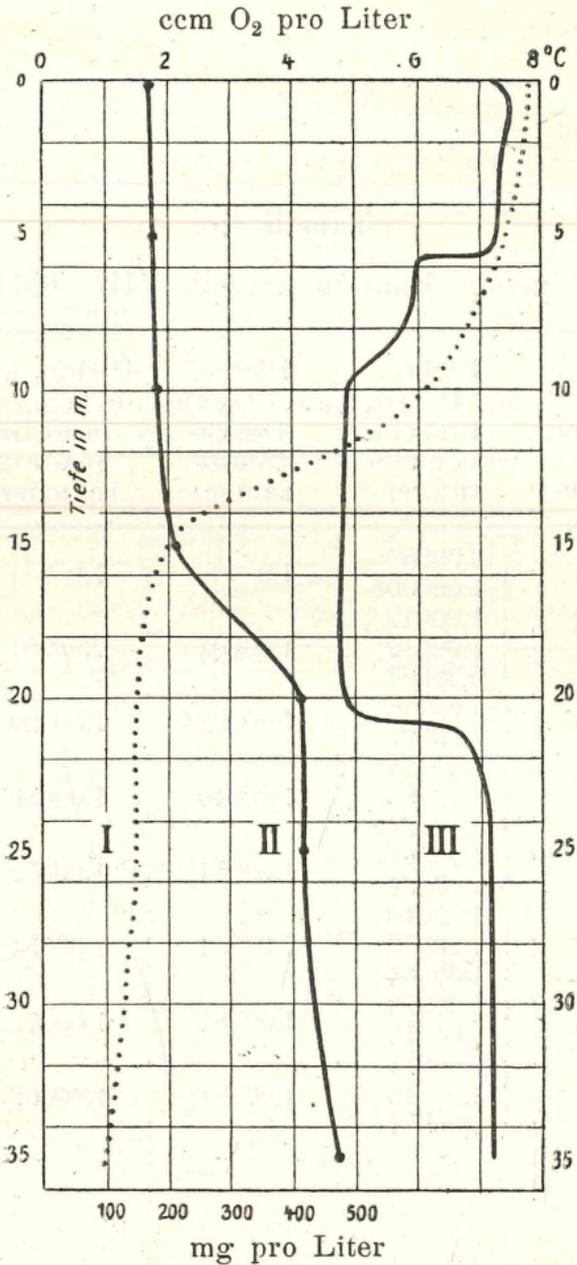
Das Ulmener Maar am 5.—6. III. 1912.

- I = Abdampfrückstand.
- II = Temperatur in °C. am 5. III. 12 11 h. a. m.
- III = Dichte, auf 4° C. reduziert.
- IV = Dichte, reduziert auf die Temperatur II.

Tabelle 25.

Ulmener Maar am 5. und 6. IV. 1913.

Tiefe in m	Temperatur in ° C.	Abdampf- rückstand in mg pro Liter	O <sub>2</sub> gehalt in ccm pro Liter
0—1	7,5	175,2	7,8
5	7,3	182,0	7,4
10	4,9	189,6	6,1
15	4,8	208,0	2,0
20	4,8	418,8	1,5
25	—	418,8	1,5
35	7,2	478,0	1,0



Kurventafel XI.

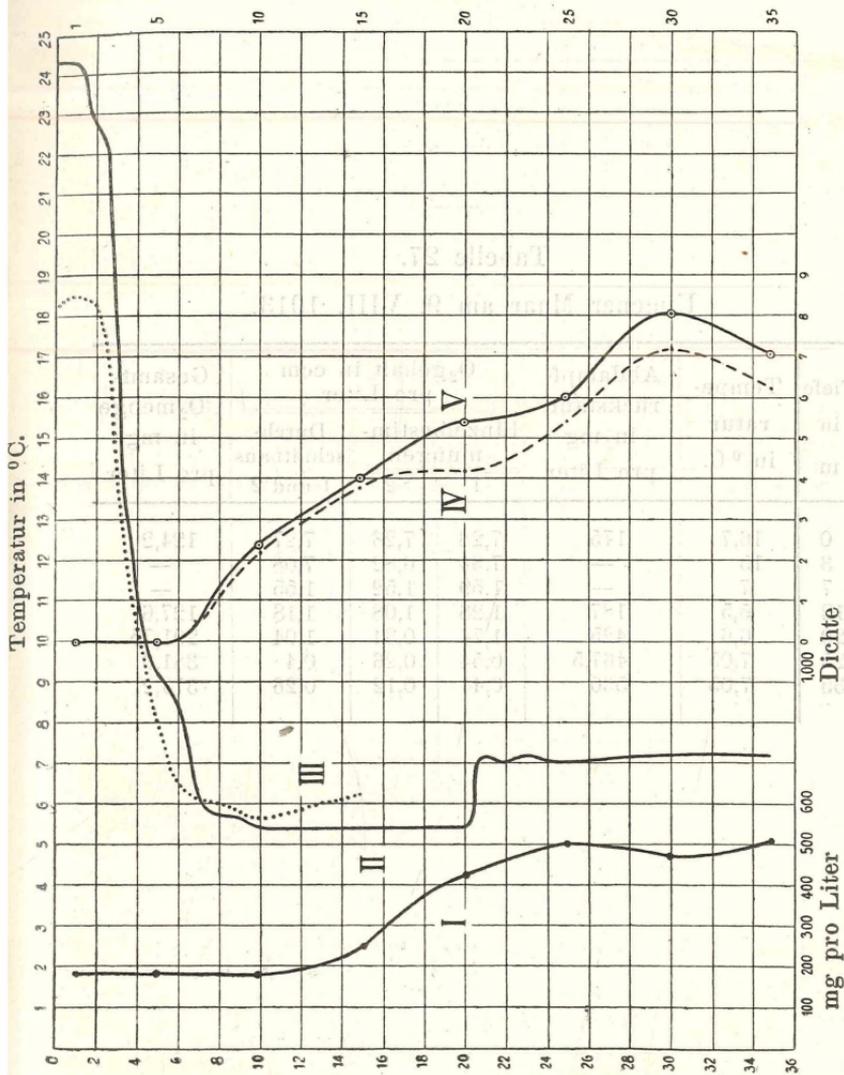
Ulmener Maar am 5.-6. IV. 13.

- I = O<sub>2</sub>gehalt in ccm pro Liter.
- II = Abdampfrückstand in mg pro Liter.
- III = Temperatur in °C.

Tabelle 26.

Ulmener Maar am 8.—9. VIII. 1911.

Tiefe in m	Tempera- tur in ° C. (4 h. p. m.)	Dichte, auf 4° reduz. Einzel- beobach- tungen	Dichte, auf 4° reduz. (Durch- schnitts- zahlen)	Dichte, auf die Tempera- turen in Spalte 2 reduziert	Abdampf- rückstand in mg pro Liter
1	24,35	{ 0,99989 1,000008	1,0	1,0	185,0
5	9,2	{ 1,00012 1,00012 0,99997	1,000085	0,99991	182,5
10	5,4	{ 1,00026 1,00021 1,00024	1,000235	1,00022	182,5
15	5,4	{ 1,00093 1,00024	1,00040	1,00039	247,5
20	5,4	{ 1,00064 1,00064	1,00054	1,00052	422,5
25	7	{ 1,00046 1,00073 1,00064	1,00061	1,00054	502,5
30	7,2	{ 1,00093 1,00070	1,00081	1,00072	475,0
35	—	{ 1,00091 1,00043 1,00071	1,00071	1,00062	507,9
36	7,2	—	—	—	—



Kurventafel XII. Das Ulimener Maar am 8.—9. VIII. 1911.

I. Abdampfdruckstand.

II. Temperatur am 9. VIII. 11 4 h. a. m.

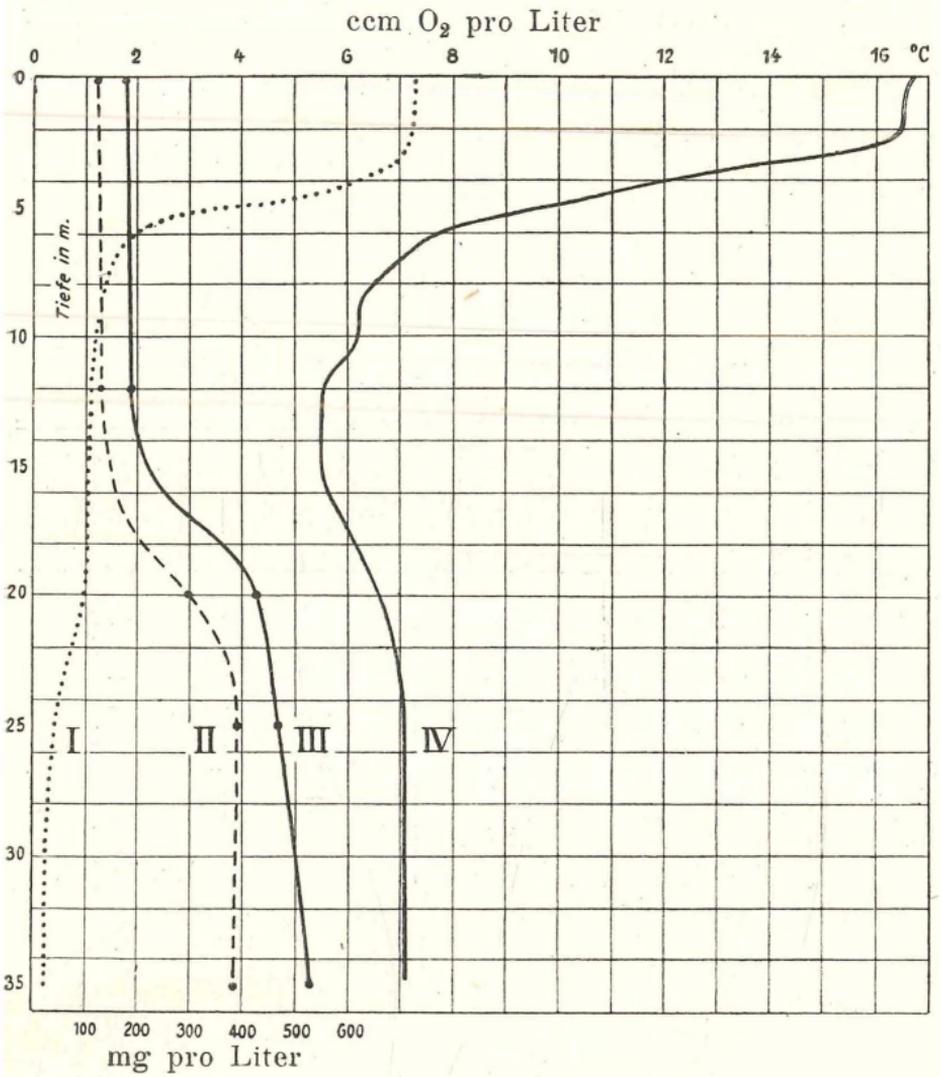
III. Temperatur am 2. IX. 11 4 h. a. m.

IV. Dichte, reduziert auf die Temperatur von II.

V. Dichte, reduziert auf 4°.

Tabelle 27.  
Ulmener Maar am 9. VIII. 1913.

Tiefe in m	Tempe- ratur in °C.	Abdampf- rückstand in mg pro Liter	O <sub>2</sub> gehalt in ccm pro Liter			Gesamt- CO <sub>2</sub> menge in mg pro Liter
			Einzelbestim- mungen		Durch- schnitt aus 1 und 2	
			1	2		
0	16,7	175	7,28	7,26	7,27	124,2
3	15	—	7,34	6,82	7,08	—
7	7	—	1,59	1,52	1,55	—
12	5,5	187	1,28	1,08	1,18	127,6
20	6,6	425	1,74	0,34	1,04	291,75
25	7,05	467,5	0,54	0,26	0,4	381,0
35	7,05	530	0,41	0,12	0,26	379,2



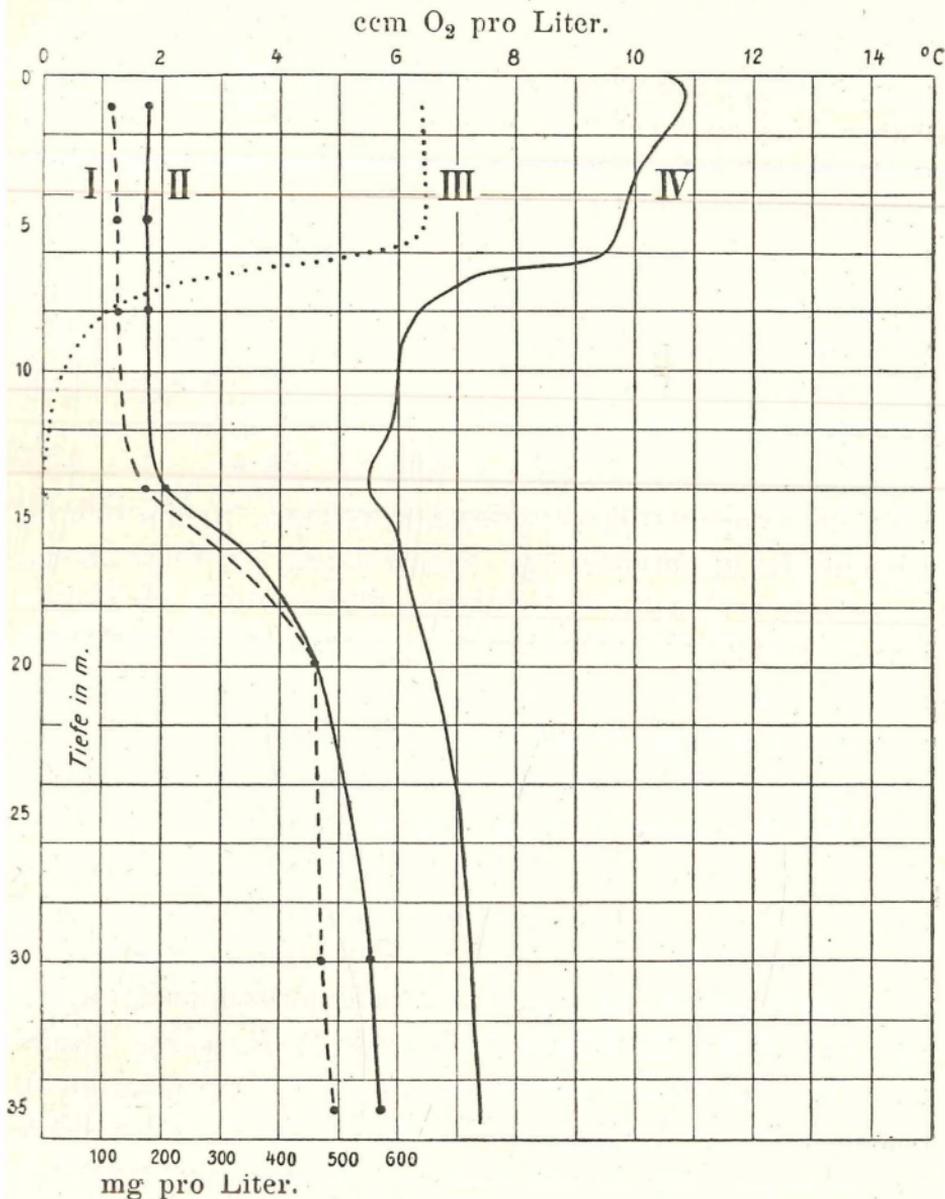
Kurventafel XIII.

Ulmener Maar am 9. VIII. 13.

- I = O<sub>2</sub>gehalt in ccm pro Liter.
- II = Gesamt-CO<sub>2</sub>gehalt in mg pro Liter.
- III = Abdampfrückstand in mg pro Liter.
- IV = Temperatur in °C.

Tabelle 28.  
Ulmener Maar am 2.—3. X. 1912.

Tiefe in m	Temperatur in ° C. 9. h. a. m.	Abdampf- rückstand in mg pro Liter	O <sub>2</sub> gehalt in ccm pro Liter	Gesamt- CO <sub>2</sub> gehalt in mg pro Liter
0,5	10,8	178	6,35	112
5	9,75	176	6,39	127
6	9,5	—	5,49	—
7	7,1	—	2,51	—
8	6,3	178	1,14	124
14	5,5	208	0	177
20	6,6	464	—	462
30	7,25	554	—	478
35	7,4	572	—	498



Kurventafel XIV.

Ulmener Maar am 2.—3. X. 1912.

- I = Gesamt-CO<sub>2</sub>gehalt in mg pro Liter.
- II = Abdampfrückstand in mg pro Liter.
- III = O<sub>2</sub>gehalt in ccm pro Liter.
- IV = Temperatur in °C.

Nach dem vorliegenden Material läßt sich die folgende Schilderung der Sauerstoffverhältnisse des Ulmener Maares geben:

Solange das Maar eisfrei ist, ist das Oberflächenwasser reich an Sauerstoff, ja zuweilen übersättigt. Die Sauerstoffzahlen für das Oberflächenwasser am 2.—3. X. 1912, 5.—6. IV. 1913, 9. VIII. 1913 zeigen etwa die gleichen Werte wie bei den übrigen Maaren (vergl. Tab. 28, 25, 27 sowie 6—11). Bei Bedeckung des Maares mit Eis indessen weist das Ulmener Maar auch in den Oberflächenschichten auffallend geringe Sauerstoffmengen auf. Während im Februar 1914 direkt unter der Eisdecke in den anderen Maaren Sauerstoffmengen von 95,1 ‰, 95,8 ‰, ja sogar von 108 ‰ der Sättigung gefunden wurden, fanden sich im Ulmener Maar nur 51,7 ‰! Die Wirkung der Oxydationsprozesse am Grunde des Ulmener Maares, die im Tiefenwasser zur Bildung von Kohlensäure und Methan führen, machen sich also, wenn durch Eis das Oberflächenwasser von der Luft der Atmosphäre abgeschlossen ist, bis zu den obersten Schichten des Maares deutlich bemerkbar.

Ist eine scharfe Temperatursprungschicht vorhanden — wie am 2.—3. X. 1912 und am 9. VIII. 1913 —, so ist der Sauerstoffgehalt bis zum Beginn der Sprungschicht gleichmäßig hoch; aber mit dem Beginn der Sprungschicht setzt auch sofort ein rapides Fallen des Sauerstoffgehaltes ein (vergl. Tab. 27, 28 und Kurventafel XIII, XIV). Daher ist, bei Vorhandensein einer Temperatursprungschicht, schon in der (chemischen) Mischschicht (in 12—20 m Tiefe, vergl. p. 231) der Sauerstoffgehalt ein sehr niedriger: am 2.—3. X. 1912 war in 14 m Tiefe überhaupt kein Sauerstoff nachweisbar, am 9. VIII. 1913 betrug er in 12 m Tiefe 1,18 ccm (= 13,7 ‰ der Sättigung), in 20 m Tiefe 1,04 ccm (= 12,4 ‰ der Sättigung). Das Tiefenwasser, von 20 m ab, enthielt am 2.—3. X. 1912 überhaupt keinen Sauerstoff, am 9. VIII. 1913 sank der Sauerstoffgehalt von 1,04 ccm (= 12,4 ‰) in 20 m auf 0,4 ccm (= 4,8 ‰) in 25 m, und 0,26 ccm (= 3,1 ‰) in 35 m.

Sehr gering war auch der Sauerstoffgehalt des Tiefenwassers im Winter unter Eis: in 20 m = 0,47 ccm (= 5,6 ‰), in 35 m = 0,1 ccm (= 1,2 ‰ der Sättigung). In der Mischschicht war der Sauerstoffgehalt damals allerdings höher als im Sommer.

Von besonderem Interesse erscheint die Untersuchungsserie vom 5.—6. IV. 1913. In meiner Ulmener Maar-Arbeit vom Jahre 1912 schrieb ich (p. 167—168): „Von besonderem Interesse mußte eine Untersuchung des Maares im Winter sein. Tritt im Winter das Wasser des Ulmener Maares in die Vollzirkulation ein, d. h. genügt die Temperaturerniedrigung in den Oberflächenschichten, um diesen ein so großes Gewicht zu geben, daß sie bis in die Tiefe hinabsinken und sich mit dem salzigen Tiefenwasser mischen können? Oder bleibt die für den Sommer typische Zweiteilung der Wassermassen im Kratertrichter auch im Winter erhalten?“ Und aus der Untersuchung vom 5.—6. III. 1912, bei der allerdings keine Sauerstoffbestimmungen vorgenommen wurden, schloß ich: „daß auch im Winter die im Sommer beobachtete Schichtung des Wassers von den mittleren Schichten an erhalten bleibt, daß jedoch die Mengen der gelösten Stoffe (Salze) in den einzelnen Schichten im Sommer und Winter nicht ganz die gleichen sind.“

Die Sauerstoffbestimmungen am 5.—6. IV. 1913 zeigen nun, daß — während im Oktober 1912 das Tiefenwasser des Maares sauerstofffrei war, und im August 1913 nur minimale Mengen dieses Gases gelöst enthält — im Frühjahr, nach dem Auftauen des Eises und der Erwärmung der Oberfläche über 4° C., auch das Tiefenwasser des Maares bis zum Grunde einen Sauerstoffgehalt von 1—1,5 ccm (= 12,1—18,1 ‰ der Sättigung) enthält. Dieser Sauerstoff stammt natürlich aus den Oberflächenschichten. Eine wenn auch geringe Mischung des Tiefenwassers mit Oberflächenwasser findet also im Winterhalbjahr doch statt, ohne daß indessen dadurch die typische saline Schichtung im Maare zerstört würde. Hierdurch erklären sich auch die im Frühjahr 1912 und 1913 sowie im Februar 1914

beobachteten Minima im Salzgehalt des Bodenwassers. — Die Salzschwankungen im Bodenwasser des Maares (vergl. Tab. 20) sind also weniger auf Schwankungen im Salzgehalt der Tiefenquelle als auf winterlicher Mischung dieses Quellwassers mit Oberflächenwasser zurückzuführen. — Tritt allerdings, wie im Januar—Februar 1914, starker Frost ein und ist daher die Oberfläche des Maares längere Zeit mit Eis bedeckt, so wird die im Beginne des Winters dem Tiefenwasser zugeführte Sauerstoffmenge größtenteils, und eventuell wohl auch vollständig, durch die Oxydationsprozesse am Grunde des Maares wieder verbraucht.

Würde nicht allwinterlich die Tiefe des Ulmener Maares wenigstens etwas durchlüftet, so würde sicherlich der durch die Fäulnisprozesse in der Tiefe erzeugte Schwefelwasserstoff sich im Tiefenwasser stark anreichern und es müßten sich Verhältnisse herausbilden, ähnlich denen, wie wir sie im Schwarzen Meere und in den Norwegischen Austernpollen antreffen.

Übrigens zeigen vorstehende Beobachtungen und Darlegungen wiederum deutlich, wie wichtig es ist, bei limnologischen Untersuchungen neben Temperaturbestimmungen auch Bestimmungen des Sauerstoffgehaltes anzustellen. Wie auch von anderer Seite schon betont worden ist, lassen sich die Veränderungen in der Schichtung der Wassermassen eines Sees auf Grund von Temperaturbeobachtungen allein nur selten beurteilen. So wie in der Ozeanographie thermische Beobachtungen stets mit Bestimmungen des Chlorgehaltes Hand in Hand gehen, so sollten in der Limnologie Untersuchungen der Thermik eines Sees möglichst stets mit Feststellung des Sauerstoffgehaltes der verschiedenen Wasserschichten verbunden werden.

## 2. Die Thermik des Ulmener Maares.

Die scharfe, das ganze Jahr hindurch vorhandene chemische Schichtung der Wassermassen des Ulmener Maares muß eine ganz eigenartige

Thermik verursachen. Die Temperaturbestimmungen sind in Tab. 29 verzeichnet. Vergl. hierzu auch die Tab. 23—28 und Kurventafeln IX—XIV.

Im Tiefenwasser (zwischen 25 m und dem Grund) sind die Temperaturen äußerst gleichmäßig; sie schwanken zwischen  $7,2^{\circ}$  und  $6,8^{\circ}$  (in 25 m) und  $7,4^{\circ}$  und  $6,9^{\circ}$  (in 35 m). Die Tiefenquelle hat also eine Temperatur von etwa  $7^{\circ}$  C. die sich im Laufe des Jahres nur um wenige Zehntel  $^{\circ}$  C. verändert.

Über diesem Tiefenwasser mit seinem hohen Salzgehalt und seiner konstanten Temperatur lagert nun das Oberflächenwasser, das im großen und ganzen einen Temperaturgang durchmacht, wie er in den anderen flacheren Maaren beobachtet wurde und im Teil I dieser „physikalischen und chemischen Untersuchungen in den Maaren der Eifel“ eingehend geschildert worden ist

Unter Eis — 2. II. 1914 — (vergl. Tab. Nr. 23, Kurventafel Nr. IX) — inverse Schichtung — kälteres Wasser über Wärmerem; — langsames Ansteigen der Temperatur bis in eine Tiefe von 15 m, d. h. zum Beginn der chemischen Mischschicht; von 1 m — 15 m beträgt der Temperaturanstieg nur ( $2,6$ — $3,65^{\circ}$ )  $1,05^{\circ}$ , also weniger als ein  $\frac{1}{10}^{\circ}$  C pro Meter. In der Mischschicht viel stärkeres Ansteigen; zwischen 15 und 20 m von  $3,65^{\circ}$  auf  $6,4^{\circ}$ , also etwa  $\frac{1}{2}^{\circ}$  C. pro Meter; von da bis 25 m ebenfalls noch ein Anstieg von über  $\frac{1}{10}^{\circ}$  C. pro Meter.

Ganz ähnlich liegen die Verhältnisse bald nach dem Auftauen des Eises; die Untersuchung vom 5.—6. III. 1912 (Tab. 24, Kurventafel X) gibt ein Bild hiervon. Nur sind die obersten 16 m hier schon „normal“ geschichtet (d. h. wärmeres Wasser über kälterem), allerdings noch ganz schwach. Temperatur in 0 m — 5 m =  $4,9^{\circ}$ , in 10—15 m =  $4,7^{\circ}$ , in 16 m =  $4,5^{\circ}$ . Mit dem Beginn der chemischen Mischschicht steigt die Temperatur wieder stark, ähnlich wie am 2. II. 1914; 16 m =  $4,5^{\circ}$ , 21 m =  $6,6^{\circ}$ , also Temperaturanstieg pro Meter etwa  $\frac{4}{10}^{\circ}$  C.

Während also im Winter unter Eis und so

Tabelle 29.

Tiefe in m	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	14. VIII. 1910 von 10 h. a. m. an (Mitte, Schöpf- flasche)	8. VIII. 1911 von 8 h. a. m. an (Mitte) Kipp- thermo- meter	8. VIII. 1911 von 4 h. p. m. an (Mitte) Kipp- thermo- meter	wie Spalte 3, aber 50 m vom Ostufer nach der Mitte zu, 75 m von dieser entfernt	wie Spalte 3, aber 100 m vom Ostufer nach der Mitte zu, 25 m von dieser entfernt	wie Spalte 3, aber 50 m vom Westufer nach d. Mitte zu, 75 m von dieser entfernt	9. VIII. 1911 6 h. a. m. (Mitte)	9. VIII. 1911 5 h. p. m. (Mitte)	mit Schöpf- flasche ausge- führt von Dr. G. Schneider	
									2. IX. 1911 4 h. a. m.	2. IX. 1911 4 h. p. m.
0	18°	22,1°	—	—	—	—	22,6	25,9	18,3	22,5
1	18,2°	22,2°	24,35°	23,5	—	23,5	22,6	23,1	18,5	19,75
2	17,5°	22,15°	22,9°	22,2	—	22,65	21,6	22	18,3	18,6
2,5	—	19,25°	—	—	—	—	—	—	—	—
3	15,1°	18,35°	18,45°	16,0	—	18,75	16,4	15	15	15,5
3,5	—	15,4°	13,4°	—	—	—	—	—	—	—
4	11,5°	10,6°	11,6°	10,5	—	10,5	10,6	8,7	11	11
5	9,25°	8,0°	9,2°	7,7	—	7,0	7,4	6,4	8	7,5
6	—	6,35°	8,65°	—	—	—	5,9	5,75	6,5	6,5
7	6,4°	6,15°	6,15°	—	—	—	5,9	—	6,2	6,2
8	—	5,9°	5,7°	—	—	—	5,6	5,6	6,0	6,1
9	—	5,75°	5,7°	—	—	—	—	—	5,8	6,0
10	6°	5,5°	5,4°	5,4	—	5,75	5,4	5,4	5,6	5,8
11	—	5,4°	5,4°	—	—	—	—	—	5,7	6
12	—	5,4°	—	—	—	—	—	—	5,8	6
15	6,5°	5,4°	5,4°	—	—	5,7	—	—	13 m=6,0 6,2	13 m=6,0 6,3
16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
17	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
18	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
19	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
20	6,75°	5,4° (6,75° 6,85°)	5,4° (6,9° 6,9°)	6,9	7,0	6,8	—	—	—	—
21	—	—	7,2°	—	—	—	—	—	—	—
22	—	—	7°	—	—	—	—	—	—	—
23	—	—	7,2°	—	—	—	—	—	—	—
25	6,9°	7,2°	7,0°	—	—	—	—	—	—	—
30	—	7,2°	7,2°	27 m* 7,2	—	—	—	—	—	—
35	—	7,2°	—	—	—	34 m* 7,2	—	—	—	—
36	—	7,2°*	7,2°*	—	—	—	—	—	—	—
37	6,9°*	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Lufttp.:	10 h. a. m. 13,5°	8 h. a. m. 19°	—	—	—	—	5 h. a. m. 16,0°	—	4 h. a. m. 10,6°	4 h. p. m. 27,2°

Temperaturmessungen im Ulmener Maar.

11	12	13	14	15	16			
5. III. 1912 11 h. a. m. Kippthermometer	2. X. 1912 9 h. a. m. Kippthermometer	5. IV. 1913 9 h. a. m. Kippthermometer	9. VIII. 1913 11 h. a. m. Kippthermometer	10. VIII. 1913 5. h. a. m. Kippthermometer	2. II. 1914 10 h. a. m. unter Eis Kippthermometer	Maxi- mum	Mini- mum	Schwankungsamplitude
4,9	10,5	7,2	16,7	16,06	0,2	25,8	0	25,8
4,9	10,8	7,5	16,5	16,05	2,6	—	—	—
4,9	10,8	7,5	16,5	16,05	2,6	—	—	—
4,9	10,5	7,4	16,5	16,05	2,8	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—
4,9	10,1	7,4	15	14,9	2,9	18,75	2,9	15,85
—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	9,9	—	12	12,1	2,9	—	—	—
4,9	9,75	7,3	9,9	9,65	2,95	9,9	2,95	6,95
—	9,5	5,5 m=7,3	7,75	7,75	—	—	—	—
—	6,5 m=8,0	6,0	7	7,05	—	—	—	—
—	7,1	—	—	—	—	—	—	—
—	6,3	—	6,5	6,2	—	—	—	—
—	—	—	6,2	5,9	—	—	—	—
4,7	6,0	4,9	6,2	5,75	3,15	6,2	3,15	3,05
—	6,0	—	—	5,6	—	—	—	—
—	5,9	4,9	5,5	5,6	3,4	—	—	—
—	13 m=5,55	—	—	—	—	—	—	—
4,7	14 m=5,5	4,8	5,5	5,5	13 m=3,6	6,5	3,65	2,85
—	15 m=5,9	—	—	—	3,65	—	—	—
4,5	6,0	—	5,6	—	4,4	—	—	—
4,75	—	—	5,9	—	5,4	—	—	—
5,25	—	—	6,1	—	6	—	—	—
5,75	—	—	—	—	6,2	—	—	—
6,5	6,6	4,8	6,6	—	6,4	7,0	4,8	2,2
6,6	—	6,6	—	—	—	—	—	—
6,75	—	—	6,9	—	6,6	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—
6,8	7,05	7,2	7,05	—	7,0	7,2	6,8	0,4
7,1	7,25	7,2	7,05	—	7,2	—	—	—
—	7,4*	7,2	7,05	—	7,4	7,4	6,9	0,5
7,35*	35,5 m	—	—	—	—	—	—	—
—	=7,4*	—	—	—	—	—	—	—
37,5*	—	—	—	—	—	—	—	—
7,5	—	—	—	—	—	—	—	—
10 h. a. m. 6,5	9 h. a. m. 12°	9 h. a. m. 9,25°	11 h. a. m. 13,5°	5 h. a. m. 11,0°	10 h. a. m. = -6,2° 2 h. p. m. = +2°	—	—	—

lange die Oberfläche sich nicht über  $4^{\circ}\text{C.}$  erwärmt, die Schichtung der Wassermassen des Ulmener Maares eine katotherme ist, d. h. die Temperatur von der Oberfläche nach der Tiefe zu steigt, ist jetzt, im März, schon eine dichotherme Schichtung (nach der Krümmelschen Terminologie) vorhanden, d. h. Oberflächenwasser und Tiefenwasser sind wärmer als die mittleren Schichten; und diese Dichothermie wird um so deutlicher, je mehr die Sommersonne die oberen Schichten erwärmt.

Und zugleich werden, so lange die Oberflächentemperatur steigt, also so lange die thermische Sprungschicht an „Breite“ zunimmt, die unter dieser Sprungschicht lagernden Wassermassen bis zum Beginn des Tiefenwassers in 20 m immer gleichmäßiger temperiert — vergl. die Kurven vom 5.—6. IV. 1913 und 8.—9. VIII. 1911; am 5.—6. IV. 1913 hat die Schicht von 10—20 m Tiefe eine Temperatur von  $4,8\text{—}4,9^{\circ}\text{C.}$ ; am 8.—9. VIII. 1911 die Schicht von  $7\text{—}9\text{ m} = 6,15\text{—}5,7^{\circ}$ , von  $10\text{—}20\text{ m} = 5,4^{\circ}$ .

So bekommen die Kurven zwischen 20 und 21 m eine charakteristische Stufe; in einer Wasserschicht von nur 1 m Dicke steigt hier die Temperatur um  $1,8^{\circ}$  ( $4,8^{\circ}\text{—}6,6^{\circ}$  resp.  $5,4\text{—}7,2^{\circ}$ ). Während die „chemische“ Mischschicht das ganze Jahr hindurch ihr „Aussehen“ nicht ändert — d. h. ihre Dicke und der Gradient der Veränderung im Salzgehalt gleichbleibt, — ist dies bei der „thermischen Mischschicht“ — d. h. der Schicht über dem Tiefenwasser, in der die Temperatur ansteigt — nicht der Fall. Sie ist dick (5 m) und der Gradient der Temperaturänderung ist gering (bis  $0,4^{\circ}\text{C.}$  pro Meter) im Frühjahr, so lange das Oberflächenwasser noch nicht über  $4^{\circ}$  erwärmt ist, d. h. so lange noch kaltes Oberflächenwasser durch die Konvektionsströme in die tieferen Lagen geführt wird. Sie ist dünn (1 m!) und der Gradient der Temperaturänderung ist groß ( $1,8^{\circ}\text{C.}$ ), wenn die Oberfläche sich über  $4^{\circ}$  erwärmt hat und die Sprungschichtbildung im

Vorschreiten begriffen ist, d. h. so lange die oberen Wasserschichten thermisch scharf geschichtet und keine Konvektionsströme vorhanden sind.

Sobald aber das Maximum der sommerlichen Erwärmung überschritten ist, die Oberfläche sich allmählich abkühlt und Konvektionsströme die Sprungschicht nach und nach zerstören und somit die oberen Schichten mehr und mehr mischen, gewinnt die „thermische Mischschicht“ wieder an Dicke und der Gradient der Temperaturänderung wird wieder gering. Die Kurven vom 1. IX. 1911 (auf Tafel XII), 9. VIII. 1913. und 2.—3. X. 1912. zeigen diesen Vorgang deutlich. Und wie schnell dieser Vorgang einsetzt, wenn der Kulminationspunkt der Sommertemperatur überschritten ist, zeigt Kurve II und III auf Taf. XII.

Die scharfe dichotherme Schichtung der Wassermassen des Ulmener Maares während des größten Teiles des Jahres gibt seiner Thermik ein besonderes Gepräge.

Daß die Temperatur-Sprungschicht im Ulmener Maar ganz besondres hoch liegt, viel höher als in allen übrigen Maaren, und daß diese Erscheinung mit der sehr geringen Durchsichtigkeit des Ulmener Maares zusammenhängt, ist in Teil I dieser Untersuchungen (p. 282 ff.) näher auseinandergesetzt worden.

Über die Eisbedeckung des Ulmener Maares im Winter 1914 können die folgenden Angaben gemacht werden:

13. I. 1914. Eis 9—11 cm dick.

17. I. 1914. Eis 19—20 cm dick.

2. II. 1914. Eis 27 cm dick.

### 3. Dichtebestimmungen in den Wässern des Ulmener Maares.

Mit Hilfe der Mohrschen Wage (8.—9. VIII. 1911.) — bei der Untersuchung vom 5.—6. III. 1912 mit einem höchst empfindlichen Aräometer — bestimmte Herr Professor Dr. Matthies die Dichte des Wassers der verschiedenen

Tiefen; vergl. Spalte 3—5 der Tab. 26. Dabei ergab sich einmal, daß die Dichte dieser Wässer — und selbst die des Tiefenwassers, das doch etwa  $\frac{1}{2}$  g Salze im Liter enthält — nur ganz außerordentlich wenig höher ist, als die destillierten Wässer<sup>1)</sup>. Ferner zeigt sich bei Reduktion der Dichten auf die Temperatur der betreffenden Schichten, daß das Dichtemaximum in der 30 m-Schicht liegt und daß sowohl oberhalb wie unterhalb dieser Schicht Wässer von geringerer Dichte lagen (vergl. Kurventaf. XII). Ob hier Ungenauigkeiten bei der Probeentnahme eine Rolle spielen, oder ob wirklich das Gleichgewicht der Schichten ein dynamisches ist, mag dahingestellt sein. Möglich wäre allerdings das letztere. Die stete Zufuhr des salzigen Wassers von unten und der Druck der süßeren Oberschicht halten sich die Wage. Wird also durch Abfluß von der Oberfläche die Deckschicht dünner, oder nimmt die Wasserführung der Tiefenquelle zu, so wird sich die Mischschicht nach oben verschieben und zugleich eine größere Dicke gewinnen.

Doch ist es wahrscheinlicher, daß hier eine Ungenauigkeit bei der Probeentnahme vorliegt.

Und dies um so mehr, als bei der Untersuchung vom 5. und 6. III. 1912 (vergl. Tab. 24 und Kurventaf. X) das Dichtemaximum sich in der Maartiefe befand. (Die gelösten Gase konnten bei den Dichtebestimmungen natürlich nicht berücksichtigt werden; indessen ergibt die Berechnung, daß sich auch bei der Annahme, die Tiefenschichten des Maarwassers seien mit Kohlensäure gesättigt, die Größenordnung der bestimmten Dichten nicht ändert.)

---

1) Die von Forel (Léman. II p. 630) für die Dichte des Genferseewassers angeführte Zahl ist also sicher zu hoch!

## C. Vergleich des Ulmener Maares mit anderen Gewässern.

Naturgemäß drängt sich die Frage auf, ob ähnliche Verhältnisse wie beim Ulmener Maar auch sonst schon beobachtet worden sind.

### 1. Das Schwarze Meer.

Eine Übersichtung wärmeren, salzigen Tiefenwassers durch süßeres, kälteres, das dann wiederum durch süßes, wärmeres Wasser bedeckt wird, „kennzeichnet viele Nebenmeere der höheren Breiten im Sommer“ (Krümmel, Oceanographie I, p. 420). Das schönste Beispiel für diese dichotherme Schichtung liefert das Schwarze Meer. Die Tab. 30 gibt die Verhältnisse im Schwarzen Meere wieder, wie sie A. Lebedintzeff im Sommer 1891 und 1892 beobachtet hat (zitiert nach Krümmel, l. c. p. 300).

Tabelle 30.

Schwarzes Meer. Sommer 1891 und 1892.

Tiefe in m	Temperatur in ° C.	Salzgehalt ‰	Schwefel- wasserstoff in cem
0	24,0	18,1	—
9	21,5	18,5	—
18	12,8	18,3	—
27	8,9	18,5	—
91	8,0	20,6	—
183	8,8	21,6	0,39
366	8,9	22,1	1,88
1464	9,0	22,5	4,14
2120	9,0	22,5	6,00

Weitere Angaben über die chemische und thermische Schichtung im Schwarzen Meere bei Krümmel (l. c. p. 467—468). Im allgemeinen scheint in der warmen Jahreszeit im Schwarzen Meere in etwa 65 m Tiefe die Minimaltemperatur von 6,5° erreicht zu werden, während in der größten Tiefe

Temperaturen von etwas über  $9^{\circ}$  beobachtet werden. Bekanntlich sind die Tiefen des Schwarzen Meeres absolut tot; das Fehlen der Organismen beruht auf dem Reichtum jener Schichten an Schwefelwasserstoff.

## 2. Binnenseen.

Bei der Veröffentlichung meiner Ulmener Maar-Arbeit vom Jahre 1912 hatte ich in der limnologischen Literatur nur einen einzigen See erwähnt gefunden, der sich in vieler Beziehung mit dem Ulmener Maar vergleichen ließ, den Lac de la Girotte.

Wertvolle Hinweise auf andere Parallelen verdanke ich der Freundlichkeit des Herrn Professor Dr. W. Halbfaß-Jena.

Nicht erörtert mögen hier die vielfach direkt am Grunde von Seen beobachteten kleinen Temperaturerhöhungen sein; ebensowenig auch die in den Siebenbürgischen Salzseen sowie in den Norwegischen Austernpollen beobachtete Temperaturschichtung, da sie auf ganz anderen Ursachen beruht, als die Dichothermie des Ulmener Maares<sup>1)</sup>.

Ich behandle hier nur die Binnenseen, in denen eine deutliche dichotherme Schichtung der gesamten Wassermassen gefunden und einigermaßen genau untersucht wurde.

### a) Der Lac de la Girotte und der Ritomsee (sowie der Lago Moro).

Der Lac de la Girotte<sup>2)</sup> ( $45^{\circ} 45' 35''$  n. B.;  $4^{\circ} 18' 45''$  ö. L. v. Paris) liegt in den Bergen von Beaufort im

1) Vgl. hierzu den „§ 8 Temperaturzunahme mit der Tiefe“ (Sep. p. 28—36) in Halbfaß' Arbeit: „Der gegenwärtige Stand der Seenforschung. III. Die Thermik der Seen“. (Abderhalden, Fortschritte der Naturwissenschaftlichen Forschung, Bd. IX, 1913)

2) Die folgenden Angaben entnehme ich dem Werke von André Delebecque, „Les Lacs Français“ (Paris 1898).

Département Haute-Savoie in einer Meereshöhe von 1736 m. Er entwässert nach Norden durch die Bäche von Haute-luce, Beaufort und Arly zur Isère. Nächst dem Genfersee ist der See von la Girotte mit einer Maximaltiefe von 99,4 m der tiefste französische Alpensee. Er stellt ein etwa von Süden nach Norden gestrecktes Becken dar, dessen Länge 1350 m, dessen Breite 530 m beträgt. Im Süden münden einige unbedeutende Gießbäche in den See, seine größte Tiefe liegt nahe der Nordecke. Die Oberfläche des Sees beträgt 56,8 ha, sein Kubikinhalte 29 400 000 cbm; das Verhältnis Tiefe:  $\sqrt{\text{Oberfläche}} = 1:7,58$ . Der Seeboden ist eben und gleichförmig, indessen wurde am Hange der Nordwestseite bei 44,30 m nackter Fels, bei 57 m fast reiner Kies ohne Schlamm gefunden; die Ursache des Fehlens von Schlammablagerungen an diesen Stellen ist in dem Vorhandensein unterirdischer Quellen (vergl. unten) zu suchen. Entstanden ist der See von la Girotte wahrscheinlich durch einen Einsturz des von Grundwasser unterspülten Gesteins.

Der Lac de la Girotte ist ein „blauer“ See, seine Farbe entspricht der Nr. III der Forel-Skala; die Sichttiefe betrug am 25. Juli 1892 7 m.

Von besonderem Interesse sind die von Delebecque beobachteten Wassertemperaturen des Sees.

Über der größten Seetiefe wurden folgende Temperaturen gemessen:

30. Juli 1892		14. Sept. 1892	
0 m	16,7	0 m	14,4
5	13,5	4	11,6
10	7,7	9,6	10,8
15	4,9	15	6,4
20	4,5	20	5,0
25	4,5	25	5,0
50	6,6	30	5,4
70	6,9	50	6,2
95—100 (Grund)	7,0—7,2	60	6,85
		90—100 (Grund)	7,0

Weiter nach Süden zu wurden folgende Temperaturen festgestellt:

Station I	: 20 m = 5,2°	88 m (Grund) = 7,1°
„ II	: 77 m = (Grund)	7°
„ III	: 25 m = 4,8°	69 m (Grund) = 6,9°
„ IV <sup>1)</sup>	: 25 m = 4,9°	55 m (Grund) = 6,7°
„ V <sup>2)</sup>	: 25 m (Grund)	5,05°
Nahе dem Ausfluß	: 25 m = 4,8°	50 m (Grund) = 6,7°
„ „ Westufer	: 25 m = 4,8°	41 m (Grund) = 6,1°

Während also in den oberen Schichten die Temperaturfolge eine normale ist, steigt im ganzen See in der warmen Jahreszeit von ungefähr 25 m an bis zum Grunde hin die Temperatur wieder, und zwar von 4,5 (—5°) auf 7—7,2°.

Das ist nur möglich, wenn der See von unterirdischen, etwa 7° warmen Quellen (vergl. oben) gespeist wird, deren Wasser an sich schwerer ist, also mehr Salze gelöst enthält, als das Oberflächenwasser. Weitere Voraussetzung ist dabei, daß nicht starke Strömungen diese Schichtung verwischen.

Beides ist der Fall.

Der See ist wenig ausgedehnt, rings von Bergen umschlossen; nur einige kleine Gießbäche bilden den oberirdischen Zufluß, so daß starke Strömungen nicht vorhanden sind.

Die chemische Untersuchung ergab folgendes:

Datum	Tiefe	Gelöste Stoffe (mg pro Liter)
30. Juli 1892	0 m (Ausfluß)	68,8 mg
9. Sept. 1893	0 m	77,0 „
14. „ 1892	95 m (Mitte)	520,6 „

1) 100 m vom Südufer.

2) 50 m vom Südufer.

	0 m (30. Juli 1892)	95 m (14. Sept. 1892)
Gelöste Stoffe	68,8	520,6
SiO <sub>2</sub>	2,0	32,0
Fe <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,5	5,0
CaO	25,5	136,0
MgO	5,67	57,6
SO <sub>3</sub>	9,4	171
Cl	Spuren	sehr geringe Spuren
CO <sub>2</sub>	ca. 20	—
K <sub>2</sub> O	—	5,7
N <sub>2</sub> O	—	11,0

Ferner wurde in dem Tiefenwasser 15,5 mg Schwefelwasserstoff gefunden; wahrscheinlich war die Menge bei der Entnahme, bei der der Geruch nach diesem Gas sehr deutlich war, ursprünglich noch etwas größer.

Es zeigt sich also, daß das Oberflächenwasser relativ arm an gelösten Stoffen ist, daß dagegen das Tiefenwasser eine etwa 8 mal größere Menge Stoffe gelöst enthält. Diese Zunahme wird vor allem durch Gyps (und Magnesia) bewirkt, der aus dem Untergrund (Trias) gelöst ist. Sehr groß für ein Seewasser ist auch die Menge der Kieselsäure. Charakteristisch ist auch der Gehalt des Tiefenwassers an Schwefelwasserstoff, der in diesem Fall nicht etwa durch Fäulnis organischer Substanzen in der Seetiefe bedingt ist, sondern von den unterseeischen Quellen dem Seewasser mitgeteilt wird.

Anhangsweise seien hier noch Delebecques Analysen des Grundschlammes des Girottesees mitgeteilt:

Herkunft	Tiefe in m	In Säuren unlöslicher Rückstand
Nordteil des Sees . . .	98	78,3 %
Mitte . . . . .	84	91,45 %
Nordwestteil des Sees	57	71,8 % Sand
Südwestteil des Sees	33	71,45 %

Eine Analyse des löslichen Rückstandes der ersten Probe ergab:

$\text{Fe}_2 \text{Al}_2 \text{O}_3$	3,6 ‰
$\text{Ca O}$	5,6 ‰
$\text{Mg O}$	1,74 ‰

Die dichotherme Schichtung der Wassermassen ist also im Lac de la Girotte ebenso vorhanden, wie im Ulmener Maar; salziges Tiefenwasser von etwa  $7^\circ \text{C}$ ., das durch süßeres Oberflächenwasser überschichtet wird, ruft hier wie dort diese thermische Eigentümlichkeit hervor. Aber während der Quelle am Grunde des Eifelkraters ein Wasser entströmt, das vor allem doppelt kohlensaures Natron enthält, ist das Wasser am Grunde des Einsturzbeckens jenes tiefen Alpensees durch die Mengen von Gyps sowie durch das Auftreten von Schwefelwasserstoff gekennzeichnet.

Ganz ähnliche Verhältnisse wie der Lac de la Girotte weist der im Juli 1903 und 1904 von Bourcart und Delebecque<sup>1)</sup> untersuchte Ritomsee auf.

Der Ritomsee liegt im Gebiet des St. Gotthard in einer Höhe von 1829 m und hat bei einer Länge von 2000 m und einer Breite von 500 m eine Tiefe von 44,6 m.

Bei der am 3. Juli 1904 vorgenommenen Temperaturmessung zeigte sich, daß die Temperatur von 0 m (=  $13,2^\circ$ ) bis 10 m (=  $5,1^\circ$ ) sank, von da an aber bis zum Grunde (44 m) wieder gleichmäßig bis auf  $6,6^\circ$  stieg.

---

1) Delebecque, Sur les lacs du Grimsel et du massif du Saint-Gothard, C. R. de l'acad. franç., 28. Nov. 1904 (cf. Quart. Journ. Geol. Soc., Vol. 42, 1906). — Bourcart, Les lacs alpins Suisses, Étude chimique et physique, Genève 1906, p. 82–91.

Gefundene Werte in mg pro Liter	Daraus berechnet:			
	0 m	44,6 m		
Abdampfrückstand	122,7	2365,3		
SiO <sub>2</sub> . . . . .	2,8	10	SiO <sub>2</sub> . . . . .	2,8 10
Fe <sub>2</sub> O <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . .	Spuren	1,2	Fe <sub>2</sub> O <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . .	Spuren 1,2
CaO . . . . .	37,9	737,0		
MgO . . . . .	11,1	196,2	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> . . . . .	4,6 6,1
MnO . . . . .	—	—		
K <sub>2</sub> O . . . . .	2,4	4,2	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> . . . . .	4,4 7,8
Na <sub>2</sub> O . . . . .	2,0	2,7		
Cl . . . . .	—	—	MgSO <sub>4</sub> . . . . .	33,3 588,6
SO <sub>2</sub> . . . . .	48,1	1376,7	CaSO <sub>4</sub> . . . . .	36,6 1668,0
Oxydierbarkeit . .	3,44	1) 5,36	CaCO <sub>2</sub> . . . . .	40,8 90,9
H <sub>2</sub> S . . . . .	0	15,9		

Die Resultate der Hauptanalysen Bourcart's (0 m: 3. VII. 1904. — 44,6 m : 26. VII. 1903.) sind in vorstehender Tabelle zusammengestellt. Das an Sulfaten des Kalks und der Magnesia sowie an Schwefelwasserstoff reiche Tiefenwasser erfüllte zur Zeit der Untersuchung den See bis 13 m unter die Oberfläche. Darüber lagert — ohne Übergang und scharf von ihm getrennt — das an gelösten Stoffen weit ärmere Oberflächenwasser, das seiner chemischen Zusammensetzung nach eine Mischung des Wassers der Zuflüsse darstellt. Beobachtungen aus anderen Jahreszeiten liegen nicht vor.

Vielleicht hat auch der benachbarte Cadagnossee (Tiefe 17,9 m) salzreiche unterseeische Quellen; Tiefenwasser dieses Sees wurde leider nicht untersucht (vergl. Bourcart p. 93).

Auch in dem Lago Moro in Valcamonica (Maximaltiefe 42,2 m) scheinen ähnliche Verhältnisse zu herrschen. Die Arbeit Riccis über diesen See (*Ricerche sul lago di Capo di Lago (Lago moro) in Valcamonica*. Riv. Geogr. Ital. XVIII. 7/8. Firenze 1911) war mir nicht zugänglich. Ich zitiere hier nur nach Halbfaß' Referat (Int. Revue d. ges. Hydrobiol. u. Hydrograph. VI. 1914 p. 468), daß

1) Nach Elimination des H<sub>2</sub>S.

in der Tiefenschicht zwischen 12 und 30 m mehrfach Abnahmen der Temperatur beobachtet wurden, denen weiter unterhalb wieder eine Zunahme folgte. Diese Erscheinung steht also vermutlich im Zusammenhang mit der verschiedenen chemischen Beschaffenheit der verschiedenen Wasserschichten.

#### b) Der Burgsee bei Salzungen.

Unmittelbar an die Stadt Salzungen (Herzogtum Sachsen-Meiningen) grenzt im Süden der Burgsee<sup>1)</sup> (230 m über NN. 9 m über dem Werraspiegel). Sein Areal beträgt 95000 qm, sein Umfang 1150 m; größte Länge 380 m, größte Breite 340 m, mittlerer Böschungswinkel 11°. Weit aus der größte Teil des Sees hat eine Tiefe von 4—4,5 m. Nur in der Nordwestecke, wo der See dicht an die Häuser der Stadt stößt und wo der Burgfelsen fast senkrecht zum See abfällt, senkt sich der Seeboden trichterartig bis zu einer Maximaltiefe von 25 m. „Die Konfiguration des Beckens erlaubt den Schluß, daß nur die nordwestliche Ecke durch Einsturz infolge unterirdischer Auslaugung der in der Tiefe anstehenden Steinsalzlager erfolgt ist, während der bei weitem größere übrige Teil des Sees nichts weiter als eine natürliche sanfte Mulde ist, die mit Wasser gefüllt ist, weil der Untergrund aus undurchlässigem, horizontal liegendem thonigen Buntsandstein besteht“ (Halbfaß). In den See mündet der Abfluß einer im Süden wenige Schritt vom See entfernten tiefen „Grube“, der sog. Teufelskutte, sowie im Nordwesten, am Kurhaus, ein kleines Rinnsal. Einen Abfluß bildet im Norden die Silge, die durch Salzungen hindurch zur Werra fließt. „Amtlich nachgewiesen ist, daß der See am Tage des Lissaboner Erdbebens, am 1. November 1755, gleich dem Hautsee bei Frauensee, dem Mühlstädter

---

1) Vgl. Halbfaß, Über einige Einsturzbecken im nordwestlichen Thüringen und in der Vorderrhön, Globus, Bd. 81, 1902, p. 7—12.

See in Kärnthen und der Teplitzer Quelle eigentümlich beeinflusst wurde. Das Wasser geriet in eine starke Bewegung und zog sich nach der Mitte des Sees in einem

Tabelle 31.  
Der Salzunger See.

Tiefe in m	Temperaturmessungen Halbfaß °C.		Eigene Untersuchungen am 25. VIII. 1913				Eigene Untersuchungen am 24. III. 1914		
	28. VII. 1901 7 h. a. m.	30. VII. 1901 7 h. a. m.	Tp. °C. 4 h. p. m.	Abdampf- rück- stand in mg pro Liter	Chlor in mg pro Liter	Chlor berech- net als Chlor- natrium	Tp. °C. 9 h. a. m.	Abdampf- rück- stand in mg pro Liter	Chlor in mg pro Liter
0	19,4	22,0	19,2	175,0	35,5	58,5	5,75	220,0	38
1	—	20,6	18,4	—	—	—	—	—	—
2	—	18,5	15,9	—	—	—	5,75	—	—
3	—	15,4	14,8	—	—	—	—	—	—
4	11,0	11,3	12,5	—	—	—	—	—	—
5	—	11,0	10,1	—	—	—	5,75	192,5	32,0
6	—	8,2	8,5	—	—	—	—	—	—
7	—	—	7,8	—	—	—	—	—	—
8	—	7,2	7,4	—	—	—	—	—	—
9	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10	7,0	7,0	7,15	225,0	55,0	90,7	5,7	205,0	38,0
11	—	—	—	—	—	—	5,6	—	—
12	—	—	6,7	—	—	—	—	—	—
13	—	—	—	—	—	—	4,9	—	—
14	—	6,8	—	—	—	—	—	—	—
15	6,8	6,8	6,3	252,5	72,7	119,9	5,0	—	—
16	—	7,0	—	—	—	—	5,2	—	—
17	—	7,0	6,4	—	—	—	5,3	—	—
18	—	6,9	—	—	—	—	—	—	—
19	—	7,0	—	—	—	—	—	—	—
20	7,0	7,4	6,0	355	134,7	222,1	5,8	430,0	150,0
22	—	7,8	—	—	—	—	—	—	—
23	—	—	—	744,0	308,5	508,7	—	—	—
24	7,6	—	—	—	—	—	24,5*	507,4	190,0
25,5	—	—	5,75*	—	—	—	=6,0	—	—

trichterförmigen Wirbel hinab, so daß weit hinein die Felsen aus der Tiefe hervorstarren, während schließlich das wieder heraufkommende Wasser mit einem schwarzen Schaum bedeckt war. Ähnliches wiederholte sich am

13. Dezember 1827.“ (Solbad Salzungen u. Umgebung. Scheermessers Hofbuchhandlung, Salzungen.) Jene Aufwallung am Tage des Lissaboner Erdbebens war mit Auftreten von Schwefelwasserstoff-Geruch verbunden. (Halbfaß.)

Sehr charakteristisch ist für den Salzunger See die starke Wasserblüte im Sommer (*Polycystis* u. *Anabaena*).

Im Juli 1901 untersuchte Halbfaß den Salzunger See genauer; die Resultate seiner Temperaturmessungen sind in Tab. 31 (S. 369) mit verzeichnet. Der See zeigte also eine dichotherme Schichtung, indem die Temperatur von einem Minimum (in 15 m) von  $6,8^{\circ}$  nach der Tiefe zu wieder bis auf  $7,8^{\circ}$  (in 22 m) anstieg. Da nun außerdem der Halogengehalt im Tiefenwasser (27—30 mg pro Liter) etwa viermal so hoch war, als im Oberflächenwasser (7 mg pro Liter), so schloß Halbfaß, „daß die höhere Temperatur am Boden des Kessels veranlaßt wird durch Salzquellen, die hier vorhanden sind, und die wahrscheinlich auch die Ursache davon sind, daß der See an dieser Stelle gar nicht oder sehr viel später zufriert als sonst überall“.

Durch Herrn Professor Halbfaß auf die Eigenart des Salzunger Sees aufmerksam gemacht, habe ich selbst in der Zeit vom 25.—28. VIII. 1913 sowie am 24. III. 1914. den See eingehend untersucht.

Die Ergebnisse der thermischen und chemischen Untersuchungen sind in den Tabellen 31 und 32 enthalten. Von den biologischen Untersuchungen sei hier nur erwähnt, daß im August 1913 eine dicke Cyanophyceanwasserblüte vorhanden war, so daß die Sichttiefe nur 90 cm betrug (Farbe Nr. XV—XVI der Forel-Ule-Skala); im März 1914 war das Wasser des Sees mit pflanzlichen Nanoplankten so dicht erfüllt, daß es einer grünen „Suppe“ glich; Sichttiefe 1,60 m, Farbe XVI.

Bei der Probeentnahme im August war das Wasser in 10 m Tiefe klar, ohne Gasentwicklung; bei 15 m Tiefe begann eine schwache Gasentwicklung; in 23 m, dicht über dem Grund, war das Wasser trübe, zeigte starke Gasent-

wicklung und noch kräftig nach Schwefelwasserstoff. Charakteristisch war der Unterschied des Tiefenschlammes aus dem 25 m tiefen Trichter und den (4—4,5 m tiefen) flacheren Teilen des Sees.

Tabelle 32.

Salzung See am 24. März 1914.

	0 m	24 m
Gelöste Stoffe im ganzen . . . . .	220,0 mg	507,5
darin: Kalk (CaO) . . . . .	37,5	37,5
Magnesia (MgO) . . . . .	14,5	14,5
Kali (K <sub>2</sub> O) . . . . .	9,4	7,7
Natron (Na <sub>2</sub> O) . . . . .	61,2	138,1
Schwefelsäure (SO <sub>3</sub> ) . . . . .	28,3	5,1
Chlor (Cl) . . . . .	38,0	190,0
Salpetersäure (N <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) . . . . .	6,1	Spuren
Zur Oxydation erforderlicher Sauerstoff . . . . .	8,2	29,4

Aus dem tiefen Trichter brachte die Dredge einen schwarzen, flüssigen Schlamm. Beim Aussieben ergab er wohl einige Pflanzenreste, aber außer etlichen Corethralarven keine lebenden Organismen; nur leere Cladocerenhäute enthielt er in Menge. Beim Übergießen mit Salzsäure entwickelte er reiche Mengen von Schwefelwasserstoff; er enthielt also viel Schwefeleisen. In den flacheren Teilen des Sees lagert ein brauner, lehmiger Schlamm, der neben Pflanzenresten, Cladocerenhäuten, Corethralarven auch viele große rote Chironomuslarven (*Chironomus diplosis* Kieff.) und Tubifexwürmer enthält. Mit Salzsäure übergossen, entwickelte er keinen Schwefelwasserstoff.

Bei der Probeentnahme im März 1914 begann in 10 m Tiefe eine schwache Gasentwicklung; eine solche war auch in 15 m vorhanden; in 20 m Tiefe war sie stärker, doch noch ohne Geruch. In 23—24 m Tiefe erst war die sehr starke Gasentwicklung mit kräftigem Schwefelwasserstoffgeruch verbunden. Das Plankton nahm in 15 m

ab und verschwand bei 20 m ganz; in 23—24 m fanden sich einige Copepoden.

Die thermische Schichtung im August war normal, nicht dichotherm; dagegen wurde im März 1914 dichotherme Schichtung beobachtet; in 13 m Tiefe fand sich das thermische Minimum von  $4,9^{\circ}$ ; von da an stieg die Temperatur wieder bis auf  $6^{\circ}$  C. in 24,5 m Tiefe.

Eine deutliche saline Stratifikation war zu beiden Beobachtungsseiten vorhanden (vergl. Tabelle 31). Bis 15 m war der Salzgehalt des Wassers etwa gleichmäßig; in 20 m stieg er stark an und erreichte in der Tiefe des Trichters einen doppelt (März) bzw. vierfach (August) höheren Wert als im Oberflächenwasser.

Tabelle 32 zeigt, daß diese Zunahme so gut wie ausschließlich bewirkt wird durch Chlornatrium, dessen Menge im Sommertiefenwasser etwa einhalb Gramm pro Liter beträgt.

Es entspringt also in der Tiefe des Salzunger Sees eine Mineralquelle, die im Liter  $\frac{3}{4}$  Gramm Salz, davon  $\frac{1}{2}$  Gramm Kochsalz enthält. Diese erfüllt nur die tiefste Stelle des Trichters und mischt sich weiter nach oben hin mit dem Oberflächenwasser. Über die Quell-eigentemperatur kann auf Grund der wenigen Messungen keine sichere Angabe gemacht werden; sie wird aber wohl etwa  $6^{\circ}$  betragen.

Im Frühjahr scheinen, nach den vorliegenden Salzgehalts- und Temperaturbestimmungen zu schließen, die oberen Schichten bis in die Tiefe wenigstens teilweise hinabzusinken. Aber doch nur zum Teil, wie aus dem Schwefelwasserstoffgehalt der Tiefe (Sauerstoffverbrauch 29,4 mg gegen 8,2 an der Oberfläche) auch im Frühjahr zu ersehen ist.

Dichothermie auf Grund der salinen Schichtung wird im Salzunger See nur in bestimmten Jahreszeiten beobachtet.

---

Vergleichen wir zum Schluß noch einmal Ulmener Maar, Lac de la Girotte und Ritomsee und den Salzunger Burgsee mit einander, so ergibt sich, daß alle 4 Seen die saline Stratifikation ihres Seewassers und damit ihre Dichothermie unterirdischen Quellen verdanken. Doch sind diese Quellen chemisch durchaus verschieden charakterisiert: die Tiefen-Quelle im Ulmener Maar enthält in Menge vor allem doppeltkohlensaures Natrium, die im Girotte- und Ritomsee schwefelsaures Calcium und Magnesium, die im Salzunger See Chlornatrium.

## Anhang.

### **Einige nachträgliche Beobachtungen zur Thermik und Optik der Eifelmaare.**

Die seit dem Druck des ersten Teiles dieser „chemischen und physikalischen Untersuchungen in den Maaren der Eifel“ noch gemachten thermischen und optischen Untersuchungen mögen hier anhangsweise zusammengestellt sein. Vergl. die Tabellen 33—37.

Durch diese neuen Temperaturmessungen ändern sich die in Teil I p. 264 und p. 281—282 gegebenen Grenzwerte für die Tiefentemperaturen der Maare beim Weinfelder, Schalkenmehrener und Holzmaar ein wenig: es beträgt hiernach im Tiefenwasser

des Weinfelder Maares:

Maximum 5,2°, Minimum 3,9°, Amplitude 1,3°,

des Schalkenmehrener Maares:

Maximum 6,4°, Minimum 2,5°, Amplitude 3,9°,

des Holzmaares:

Maximum 8°, Minimum 3,5°, Amplitude 4,5°.

Tabelle 33.

## Pulvermaar.

Tiefe in m	6. VIII. 1913	6. X. 1913	5. II. 1914
	4 h. p. m.	4 h. p. m.	10 h. a. m. Eisdicke 22 cm
	°C.	°C.	°C.
0	17,25	14,5	0
1	17,4	—	1,25
2	—	—	1,25
3	—	—	1,4
5	17,4	—	2,1
6	16,5	—	—
7	15,9	—	—
8	14,9	—	—
9	13,25	—	—
10	12	—	2,8
11	11	—	—
12	10,25	—	—
15	8	—	—
20	6,1	—	3,2
30	4,75	—	3,6
40	4,4	—	3,8
50	—	—	3,9
60	4,05	—	4,0
72	4,05	—	—
74	—	—	4,05*
Luft: °C.	14,75	—	—5°
Sichttiefe	12	11	10
Farbe	VI—VII	IX	VIII

Tabelle 34.  
Weinfelder Maar.

Tiefe in m	8. VIII. 1913	3. II. 1914
	11 h. a. m.	4 h. p. m. Eisdicke 24—25 cm.
	°C.	°C.
0	16,5	0
1	16,5	1,3
5	16,4	1,4
6	16,3	—
7	16,1	—
8	16,05	—
9	13,9	—
10	11,9	1,55
11	11,0	—
12	9,8	—
15	8,0	2,0
20	6,4	2,6
30	5,5	3,1
40	4,8	3,5
50	4,6	—
51	—	3,9*
Luft: °C.	12 h. m. 14°	4 h. p. m. +4,5° 5 h. p. m. +2°
Sichttiefe	9,5	8
Farbe	VIII	VIII—IX

Tabelle 35.  
Gemündener Maar.

Tiefe in m	2. VIII. 1913	3. VIII. 1913	4. VIII. 1913	8. X. 1913
	5 h. p. m. ° C.	6 h. p. m. ° C.	6 h. a. m. ° C.	10 h. a. m. ° C.
0				
0,5	18,7	19,7	18,55	14,2
1	—	19,2	18,55	—
2	18,7	18,7	18,5	—
3	18,7	18,7	18,4	—
4	17,4	18,25	17,65	14,2
5	16,7	17,0	17,1	—
6	16,5	16,4	16,1	—
7	14,3	15,2	15,0	13,6
8	12,2	13,2	12,2	—
9	10,7	11,25	10,9	13,6
10	9,95	10,7	9,85	12
11	—	10,0	9,2	9,8
12	8,6	9,5	8,1	9,3
15	6,9	6,6	6,25	7,1
20	5,3	5,75	5,0	5,75
25	4,65	4,9	4,7	—
30	4,6	4,9	4,5	4,6
38	4,6	4,6	4,5	4,6
Luft ° C.	15,5	22,5	4 h. a. m. = 14,3	12,5
Sichttiefe	9,5	—	—	9
Farbe	VIII	—	—	X

Tabelle 36.  
Schalkenmehrener Maar.

Tiefe in m	3. VIII. 1913	4. VIII. 1913	5. VIII. 1913.	7. X. 1913	3. II. 1914
	9 h. a. m. ° C.	4 h. p. m. Wind, Sonne ° C.	5-6 h. a. m. Ruhig, mäßig bewölkt ° C.	10 h. a. m. ° C.	10 h. a. m. Eisdicke 25 ccm ° C.
0	17,6	19,0	17,8	14,2	0,3
1	17,6	19,0	17,8	14,1	1,3
2	17,5	18,4	17,7	—	1,3
3	17,5	18,2	17,7	—	1,3
4	17,2	17,9	17,7	—	—
5	16,4	17,15	16,75	14,0	1,3
6	15,1	15,5	15,4	—	—
7	13,7	13,0	13,0	13,75	—
8	10,7	11,5	10,5	13,6	—
9	9,75	10,4	8,5	11,0	—
10	9,2   8,1 7,9   7,6	7,5	8,25	8,75	1,5
11	7,6	7,25	7,8	7,6	—
12	7,0	7,0	7,4	7,4	—
13	—	—	—	7,4	—
14	—	—	—	6,7	—
15	6,4	6,5	6,4	6,5	1,9
17	—	—	—	—	2,0
20	6,4	6,4	6,4	6,1	2,5
21	—	—	—	—	2,6*
Luft ° C.	15,5	20,3	4 h. a. m. = 12,2	13	+ 0,5
Sichttiefe	6	5,6	—	4,65	5
Farbe	XII	XI	—	XIII	XII—XI

Tabelle 37.

## Holzmaar.

Tiefe in m	6. VIII. 1913	6. X. 1913	4. II. 1914.
	9 h. a. m. ° C.	10 h. a. m. ° C.	2 h. p. m. Eisdicke 30 cm ° C.
0	18,1	13,7	0,3
1	18,1	13,7	2,1
2	18,1	—	—
3	17,9	13,4	2,6
4	16,4	—	—
5	15,2	13,4	2,65
6	14,0	12,6	—
7	10,1	10,6	—
8	8,6	8,75	—
9	8,1	—	—
10	7,8	8,0	2,8
12	7,8	7,25	—
15	7,1	7,0	3,1
19	—	—	—
19,5	—	6,6*	3,5*
20	6,5*	—	—
Luft ° C.	12,75	10,5	+ 4
Sichttiefe	4,5	4	2
Farbe	XV.	XIV	XIV

Tabelle 38.

## Thermokline und Sprungschicht.

Name des Maares; Zeit	Sprungschicht		Thermokline		Sicht- tiefe in m	Tiefe des Maares in m
	Tiefen- lage in m	Grenz- tempera- turen in °C.	Tiefen- lage in m	Betrag °C.		
<i>August 1913</i>						
Pulvermaar . . .	5—11	17,4 —11	8—9	1,65	12	74
Weinfelder Maar .	8—12	16,05—9,8	8—9	2,15	9,5	53
Gemündener Maar	5—10	17,1 —9,85	7—8	2,8	9,5	38
Schalkenmehrener Maar . . . . .	4—9	17,7 —8,5	7—8	2,5	6	21
Holzmaar . . . . .	3—8	17,9 —8,6	6—7	3,9	4,5	21
Ulmener Maar . .	2—6	16,5 —7,75	3—4	3,0	1,2	36
<i>Oktober 1913</i>						
Gemündener Maar	9—11	13,6 --9,8	10—11	2,2	9	38
Schalkenmehrener Maar . . . . .	8—11	13,6 —7,6	8—9	2,6	4,65	21
Holzmaar . . . . .	6—8	12,6 —8,75	6—7	2,0	5	21

Wie aus Tabelle 38 ersichtlich ist — eine graphische Darstellung würde es noch deutlicher machen — bestätigte sich auch im Sommer 1913 der in Teil I p. 283 ausgesprochene Satz, „daß im Hochsommer in den Eifelmaaren die Tiefenlage der Sprungschicht und die Durchsichtigkeit des Wassers im direktem Verhältnis zu einander stehen. Je durchsichtiger ein Maar, um so tiefer liegt die Sprungschicht, je trüber ein Maar, um so höher liegt sie.“

Durch die neuen Messungen der Sichttiefe ändert sich das beobachtete Minimum der Sichttiefe im Weinfelder Maar (8 m statt 9 m) und das Maximum im Holzmaar (4,5 m statt 4 m).

Die im Februar 1914 unter Eis beobachteten Sichttiefen stehen den minimalen näher als den maximalen.

Über die Eisbedeckung der Maare im Winter 1914 ist folgendes zu bemerken: das Schalkenmehrener Maar war am 16. I. völlig zugefroren, schon am 25. I.

wurde darauf eifrig Schlittschuh gelaufen; Eisdicke am 3. II. in der Mitte 25 cm.

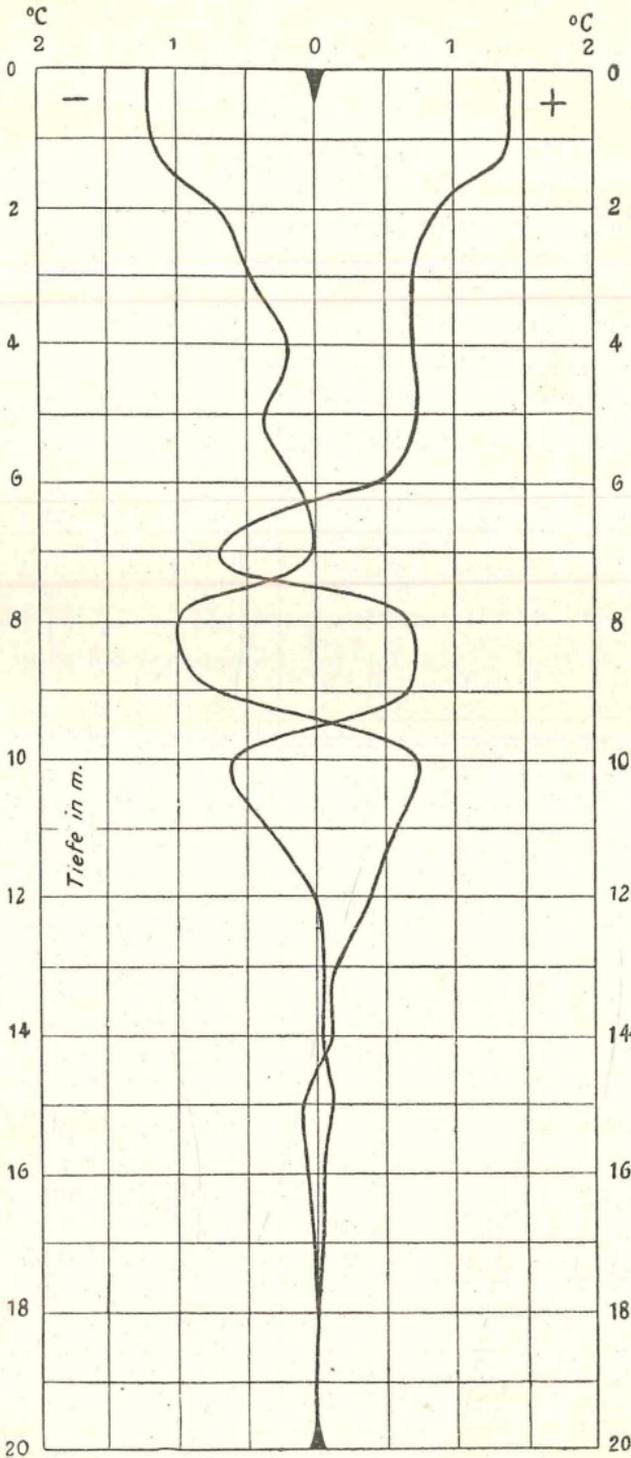
Holzmaar:	Eisdicke am 4. II. 30 cm
Pulvermaar:	Eisdicke am 5. II. 22 cm
Weinfelder Maar:	Eisdicke am 3. II. 24—25 cm
(Ulmener Maar:	Eisdicke am 2. II. 27 cm)

Bei Gelegenheit von Untersuchungen über die Vertikalwanderung der Planktonten wurden im Schalkenmehrener und Gemündener Maar Anfang August 1913 auch einige Beobachtungen über die täglichen Temperaturschwankungen in beiden Maaren gemacht. Sie sind in Tabelle 39 (S. 382) zusammengestellt; vergl. hierzu auch die Tabellen 35 und 36.

Im Schalkenmehrener Maar nimmt die tägliche Temperaturänderung ziemlich regelmäßig mit der Tiefe ab — vergl. Kurventaf. XV — Unregelmäßigkeiten sind im Gebiete der Sprungschicht vorhanden; hier mögen ev. Temperaturseiches eine Rolle spielen. Eine starke Abnahme der Änderungen ist unter der Sprungschicht bemerkbar. Tägliche Temperaturänderungen über  $\pm 0,1^{\circ}$  C. sind noch bis in eine Tiefe von 12 m zu beobachten.

Im Gemündener Maar waren die beobachteten Änderungen durchweg recht unregelmäßig. Eine stärkere Abnahme der Änderungen unter der Sprungschicht war nicht zu bemerken. Starke Temperaturänderungen sind noch in 30 m Tiefe zu verzeichnen. Wahrscheinlich werden sich die Maartypen I und II auch durch die Tiefe des Eindringens der täglichen Temperaturschwankungen unterscheiden. Doch ist das vorliegende Beobachtungsmaterial zu sicheren Schlüssen viel zu gering.

Es wäre eine gewiß lohnende Aufgabe, während der Periode der stärksten Temperaturzunahme, also etwa im Juli, die täglichen Temperaturschwankungen bei Maaren beider Typen vergleichend zu verfolgen.



Kurventafel XV.

Schalkenmehrener Maar.

Temperaturänderungen am 3. VIII. 13 9 h. a. m. bis 4. VIII. 13 4 h. p. m. (links), sowie am 4. VIII. 13 4 h. p. m. bis 5. VIII. 13 6 h. a. m. (rechts).

Tabelle 39.

## Tägliche Temperaturänderungen im Schalkenmehrener und Gemündener Maar (August 1913).

(Periode der Wärmezunahme. — Kursivdruck = Sprungschicht.)

Tiefe in m	Schalkenmehrener Maar			Gemündener Maar		
	vom 3. VIII. 9 h. a. m. bis 4. VIII. 4 h. p. m.	vom 4. VIII. 4 h. p. m. bis 5. VIII. 5—6 h. a. m.	Tempera- tur- zuwachs vom 3. VIII. 9 h. a. m. bis 6. VIII. 5—6 h. a. m.	vom 2. VIII. 5 h. p. m. bis 3. VIII. 6 h. p. m.	vom 3. VIII. 6 h. p. m. bis 3. VIII. 6 h. a. m.	Tempera- tur- zuwachs vom 2. VIII. 5 h. p. m. bis 4. VIII. 6 h. a. m.
0	+1,4	-1,2	+0,2	—	—	—
0,5	+1,4	-1,2	+0,2	+1	-1,15	-0,15
1	+1,4	-1,2	+0,2	+0,5	-0,65	-0,15
2	+0,9	-0,7	+0,2	0	-0,2	-0,2
3	+0,7	-0,5	+0,2	0	-0,3	-0,3
4	+0,7	-0,2	+0,5	+0,85	-0,6	+0,25
5	+0,75	-0,4	+0,35	+0,3	+0,1	+0,4
6	+0,4	-0,1	+0,3	-0,1	-0,3	-0,4
7	-0,7	0	-0,7	+0,9	-0,2	+0,7
8	+0,7	-1	-0,3	+1,0	-1,0	0
9	+0,65	-0,75	-0,1	+0,55	-0,35	+0,2
10	-0,6	+0,75	+1,5	+0,75	-0,85	-0,1
11	-0,35	+0,55	+0,2	+0,75	-0,8	-0,05
12	0	+0,4	+0,4	+0,9	-1,4	-0,5
13	+0,05	+0,1	+0,15	+0,75	-1,25	-0,5
14	+0,05	+0,1	+0,15	+0,2	-0,85	-0,65
15	0,1	-0,1	0	-0,3	-0,35	-0,05
17	—	—	—	+0,15	-0,3	-0,15
20	0	0	0	+0,45	-0,75	-0,3
25	—	—	—	+0,25	-0,2	+0,05
30	—	—	—	+0,3	-0,4	-0,1
38	—	—	—	0	-0,1	-0,1

## Zusammenfassung der Hauptergebnisse.

### Kapitel I.

1. Bei den Maaren der Gruppe I (Pulvermaar, Weinfelder Maar, Gemündener Maar) erreicht der Abdampfrückstand (pro Liter) 100 mg kaum; er schwankt im Durchschnitt zwischen 34 und 79 mg, im Ganzen zwischen 27,5 und 98,8 mg. Bei den Maaren der Gruppe II (Schalkenmehrener Maar, Holzmaar, Meerfelder Maar) überschreitet der Abdampfrückstand nur ausnahmsweise 100 mg nicht, er schwankt im Durchschnitt zwischen 121 und 227 mg, im Ganzen zwischen 95 und 243,6 mg. Bei thermischer Stratifikation zeigen die Maare der Gruppe II auch eine saline Schichtung, derart, daß der Salzgehalt des Tiefenwassers stets größer ist als der des Oberflächenwassers; bei den Maaren der Gruppe I ist auch bei ausgeprägtester thermischer Schichtung eine Verschiedenheit im Salzgehalt des Oberflächen- und Tiefenwassers nicht deutlich nachweisbar.

Die Wässer aller Maare sind als weiche zu bezeichnen; ihr Gehalt an gelösten organischen Stoffen ist gering.

Die Maare der Gruppe I gehören zu den mineralstoffärmsten Seen, während die Maare der Gruppe II in bezug auf ihren Gesamtabdampfrückstand vielen Alpenseen sowie norddeutschen Seen ähneln.

2. Sehr verschieden sind die Sauerstoffverhältnisse im Sommerwasser bei beiden Maargruppen:

**Maargruppe I:** Epilimnion und Hypolimnion sauerstoffreich. Gleichmäßige geringe Abnahme des Sauerstoffs von der Oberfläche bis zur Tiefe des Hypolimnions; keine Änderung der Abnahme im Gebiete der Sprungschicht. Minimum des Sauerstoffs der Tiefe = 73,1 % der Sättigung oder 6,4 ccm O<sub>2</sub> pro Liter.

**Maargruppe II:** Epilimnion sauerstoffreich. Hypolimnion sauerstoffarm. Im Epilimnion ganz geringe Abnahme des Sauerstoffgehaltes bis zur Sprungschicht, von da an plötzlich sehr starke Abnahme. Sauerstoffminimum

der Tiefe = 8,8 % der Sättigung oder 0,74 ccm O<sub>2</sub> pro Liter.

3. Nach den Beziehungen zwischen den Temperatur- und Sauerstoffverhältnissen während der Sommerstagnationsperiode lassen sich die folgenden Typen temperierter Binnenseen unterscheiden:

I: Sprungschicht (= Metalimnion) vorhanden, aber ohne Einfluß auf die O<sub>2</sub>-Kurve. Das Sauerstoffgefälle von der Oberfläche zur Tiefe erfährt im Metalimnion keine Verstärkung.

A: Auch unterer Teil des Hypolimnions sauerstoffreich (mindestens 70 % O<sub>2</sub> der Sättigung enthaltend). Beispiele: Maartypus I; Genfersee; Bodensee; Lac du Mont-Cenis; Lac de Bourget.

B: Epilimnion, Metalimnion und oberer Teil des Hypolimnions sauerstoffreich, unterer Teil des Hypolimnions sauerstoffarm (Minimum 7,7 % O<sub>2</sub> der Sättigung). Beispiel: Greenlake (Wisconsin).

II: Sprungschicht vorhanden, Sauerstoffgehalt des Epilimnions hoch, im Metalimnion plötzlich eine starke Abnahme, Hypolimnion sauerstoffarm oder sauerstofflos. Sauerstoffkurve also mit Knick im Gebiete der Sprungschicht.

A: Sauerstoff, wenn auch eventuell nur in Spuren, bis in die größten Tiefen nachweisbar. Beispiele: Maartypus II; Fursee (Dänemark); Örensee (Småland), Weißer See in Kossino bei Moskau; Lac de Nantua (Jura); viele Seen Wisconsins; Seen der norddeutschen Tiefebene.

B: In der Tiefe eine mehr oder weniger dicke sauerstofffreie und häufig schwefelwasserstoffhaltige Schicht. Beispiele: Sakrower See bei Potsdam; viele Seen Wisconsins.

III: Sprungschicht fehlt. Sauerstoffgehalt aller Schichten gleich, oder, wenn nicht ganz gleich, Sauerstoffkurve doch ohne Inflektionspunkt.

A: Der Wind bewirkt Vollzirkulation der ganzen Wassersäule auch im Sommer. Beispiel: Flache Seen Wisconsins und Deutschlands usw.

B: Die Lage des Seeabflusses bringt die vertikale Durchmischung der Wassermassen im Sommer zustande. Beispiel: die westdeutschen Tal-sperren.

4. Der wichtigste Faktor für den Sauerstoffschwund im Tiefenwasser unserer Seen ist die Zersetzung der organischen Stoffe in der Tiefe. Diese organische Substanz entstammt drei Quellen: 1. der den See umgebenden Vegetation; 2. der Vegetation im flachen Uferwasser; 3. dem abgestorbenen Plankton. Die von 1 und 2 gelieferten organischen Stoffe lagern sich auf dem Seegrund ab und geraten dort in Fäulnis; das absterbende Plankton zersetzt sich schon beim langsamen Herabsinken; seine sauerstoffzehrende Wirkung tritt schon im Metalimnion in die Erscheinung.

Die Stärke des Sauerstoffschwundes im Hypolimnion hängt ab: 1. von der Jahreszeit; 2. von der Lage des Sees; 3. von der Größe des Wasservolumens des Hypolimnions sowie von dem Verhältnis der Wasservolumina oberhalb und unterhalb der Sprungschicht; 4. von der Temperatur des Tiefenwassers; 5. aber vor allem von der Menge der in einen See gelangenden organischen Substanz.

Die Unterschiede in den Sauerstoffverhältnissen zwischen Maartypus I und II erklären sich: 1. aus der Verschiedenheit in der Menge der Uferwasserpflanzen (I: steile Böschung, schmale Uferbank, wenig Pflanzen, kaum pflanzliche Ablagerungen in der Tiefe; II: flache Böschung, breite Uferbank, reiche Vegetation, starke pflanzliche Ablagerungen in der Tiefe); 2. aus der Verschiedenheit in der produzierten Planktonmenge, im Verein mit der Verschiedenheit in der Vertikalverteilung des Phytoplanktons (I: planktonarme Seen, assimilierendes Phytoplankton auch in der Stagnationsperiode bis weit unter das Metalimnion reichend; klare Gewässer; II: plankton-

reiche Seen; Phytoplankton in den obersten Wasserschichten; trübe Gewässer).

Der Unterschied zwischen Seetypus I und II (III bedarf keiner näheren Erörterung) ist vor allem in der quantitativen Entwicklung des Planktons begründet; die Stärke der Planktonentwicklung aber hängt von der chemischen Beschaffenheit des Seewassers und seinen thermischen Eigenheiten ab. Die chemische Zusammensetzung des Wassers jedoch ist bedingt durch die geologischen Verhältnisse des Sees und seines Zuflußgebietes, die Thermik durch die geographische Lage.

Und so wird sich für einen jeden See das so ungemein komplexe Problem der Sauerstoffschichtung in letzter Linie zurückführen lassen auf seine geographischen und geologischen Verhältnisse!

5. Die Verschiedenheit in den Sauerstoffverhältnissen der drei Seetypen gibt uns den Schlüssel für das Verständnis ihrer besonders in Pelagial und Abyssal großen biologischen Unterschiede.

6. Die bisher vorhandenen chemischen Analysen der Bodenschlämme der Eifelmaare reichen für eine genauere Beurteilung der einschlägigen Fragen noch nicht aus.

## Kapitel II.

1. Das Ulmener Maar nimmt eine Sonderstellung unter allen Maaren ein, indem in seiner Tiefe eine Quelle entspringt, deren Wasser jahraus jahrein etwa  $\frac{1}{2}$  g Salze im Liter gelöst enthält. Dieses Wasser erfüllt den Maartrichter nach oben bis zur 20 m-Schicht. Zwischen 12 und 20 m ist eine Mischschicht vorhanden, in der der Salzgehalt mit der Tiefe stark zunimmt, darüber lagert von 0—12 m ein Wasser mit ziemlich gleichmäßigem niedrigem Salzgehalt. Es besteht also zu allen Jahreszeiten eine deutliche

saline Stratifikation im Ulmener Maar; der Salzgehalt des Tiefenwassers ist fast genau dreimal so hoch wie der des Oberflächenwassers. Besonders charakteristisch ist für das Tiefenwasser sein großer Gehalt an Natron.

2. Freie Kohlensäure ist in den Tiefenschichten des Ulmener Maares nicht in größerer Menge vorhanden, als sie sonst auch im Sommer im Tiefenwasser normaler Seen beobachtet wird. Dagegen ist in der Tiefe in großer Menge ein Gas vorhanden, das seinem ganzen Verhalten nach nur Methan sein kann, das sich in der Tiefe des Kratertrichters durch die Fäulnis der abgestorbenen organischen Materie entwickelt hat. Schwefelwasserstoff ist hier nur in geringen Spuren vorhanden.

3. Das Oberflächenwasser des Ulmener Maares ist, wenn das Maar eisfrei ist, mit Sauerstoff gesättigt oder zuweilen sogar übersättigt. Bei Eisbedeckung sinkt der Sauerstoffgehalt des Oberflächenwassers auf 51,7 % der Sättigung herab; die Wirkung der Oxydationsprozesse am Grunde des Maares machen sich also dann bis in die obersten Schichten deutlich bemerkbar. Ist eine scharfe thermische Sprungschicht vorhanden, so setzt mit ihrem Beginne auch ein rapides Fallen des Sauerstoffgehaltes ein; der Sauerstoffgehalt in 12—14 m Tiefe kann dann auf 1,18—0 ccm sinken. Das Tiefenwasser, von 20 m ab, enthielt unter solchen Verhältnissen 0—1,04 ccm O<sub>2</sub>. Bei Eisbedeckung wurde in 20 m 0,47 ccm (= 5,6 %), in 35 m 0,1 ccm (= 1,2 % der Sättigung) O<sub>2</sub> beobachtet. Wie die Sauerstoffbestimmungen zeigen, findet eine, wenn auch nur sehr geringe, Mischung des Tiefenwassers mit Oberflächenwasser im Winterhalbjahr statt, ohne daß indessen dadurch die typische saline Schichtung im Maar zerstört würde.

4. Die scharfe, das ganze Jahr hindurch vorhandene chemische Schichtung der Wassermassen des Ulmener Maares bringt eine eigenartige Thermik mit sich. Während im Winter, unter Eis, und solange die Oberfläche sich nicht über 4° C. erwärmt, die Schichtung der Wassermassen des Ulmener Maares eine katotherme ist, d. h. die Temperatur

von der Oberfläche nach der Tiefe zu steigt, ist schon im März eine dichotherme Schichtung vorhanden, d. h. Oberflächenwasser und Tiefenwasser sind wärmer als die mittleren Schichten; und diese Dichothermie wird um so deutlicher, je mehr die Sommersonne die oberen Schichten erwärmt.

Die scharfe dichotherme Schichtung der Wassermassen des Ulmener Maares während des größten Teiles des Jahres gibt seiner Thermik ein ganz besonderes Gepräge.

5. Die Dichte der Wässer des Ulmener Maares — und selbst die des Tiefenwassers, das etwa  $\frac{1}{2}$  g Salze im Liter Wasser enthält — ist nur ganz außerordentlich wenig höher als die destillierten Wassers.

6. Eine Überschichtung wärmeren, salzigen Tiefenwassers durch süßeres, kälteres, das dann wiederum durch süßeres, wärmeres Wasser bedeckt wird, kennzeichnet viele Nebenmeere der höheren Breiten im Sommer. Das schönste Beispiel für diese dichotherme Schichtung liefert das Schwarze Meer.

7. Wie das Ulmener Maar verdanken auch der Lac de la Girotte, der Ritomsee und der Burgsee bei Salzungen die saline Stratifikation ihres Seewassers und damit ihre Dichothermie unterirdischen Quellen. Doch sind diese Quellen chemisch durchaus verschieden charakterisiert: die Tiefenquelle im Ulmener Maar enthält in Menge vor allem doppeltkohlensaures Natrium, die im Girotte- und Ritomsee schwefelsaures Kalzium und Magnesium, die im Salzunger See Chlornatrium.

### A n h a n g.

Durch die im Jahre 1913 und 1914 gemachten thermischen und optischen Untersuchungen ändern sich die in Teil I dieser Untersuchungen gegebenen Grenzwerte für die Tiefentemperaturen für Weinfelder, Schalkenmehrener und Holzmaar ein wenig; ebenso die Sichttiefen für Wein-

felder und Holzmaar. Die unter Eis beobachteten Sichttiefen sind niedrig. Der Zusammenhang zwischen Durchsichtigkeit und Tiefenlage der Sprungschicht in den Eifelmaaren bestätigte sich auch im Jahre 1913 von neuem. Einige wenige Beobachtungen konnten über die täglichen Temperaturänderungen im Schalkenmehrener und Gemündener Maar im August 1913 angestellt werden.

---