

Physikalische und chemische Untersuchungen in den Maaren der Eifel.

Von

August Thienemann,

Münster i. W.

Teil I.

(Mit 2 Tiefenkarten, 7 Kurventafeln und 15 Tabellen.)

Inhalt.

	Seite
Einleitung	250—257
Kapitel I: Die thermischen und optischen Verhältnisse des Schalkenmehrener Maares.	258—373
A. Die Temperaturschwankungen im Schalken- mehrener Maar	258—267
B. Die Schwankungen der Sichttiefe im Schalken- mehrener Maar	267—273
Kapitel II: Vergleich der Thermik und Optik der verschiedenen Eifelmaare	274—300
A. Thermik	274—294
B. Optik	294—300
Zusammenfassung der Hauptergebnisse	300—302

Einleitung.

Die Maare der Eifel, jene zum großen Teil mit Wasser erfüllten Kratertrichter jungdiluvialer Vulkane, haben bisher nur einmal den Gegenstand limnologischer Forschung gebildet. Halbfuß besuchte sie im Oktober 1896 und lotete sie gründlich aus; er machte bei dieser Gelegenheit auch einige Beobachtungen über Temperatur, Farbe und Durchsichtigkeit dieser Seen. In einer kleinen Abhandlung „Die noch mit Wasser gefüllten Maare der Eifel“ (Verh. d. Nat. Ver. Bd. 53, 1896, S. 310—335. Taf. VI—VIII¹⁾) hat er darüber berichtet; „eine systematisch durch ein volles Jahr hindurch fortgehende Temperaturbeobachtung der Eifelseen“ bezeichnete er als „eine dankbare und hochinteressante Arbeit“, die Maare selbst nannte er „geradezu ideale Versuchsbecken für Temperaturmessungen im Wasser“.

Im August 1910 begannen wir unter der Leitung von Herrn Professor Dr. Walter Voigt-Bonn mit dem eingehenden Studium der Hydrobiologie der Eifelmaare; daß wir dabei auch den Temperaturverhältnissen, der Färbung und Durchsichtigkeit sowie der chemischen Zusammensetzung des Wassers genauere Untersuchungen widmeten, ist selbstverständlich. Die bis jetzt gewonnenen Ergebnisse dieses Teiles unserer Maarforschungen sind im folgenden zusammengestellt.

Die Methodik der Untersuchung war die übliche:

Die Bestimmung der Durchsichtigkeit des Wassers erfolgte mit der Secchischen Sichtscheibe; nachdem wir uns überzeugt hatten, daß eine runde Scheibe von 30 cm Durchmesser selbst bei den größten beobachteten Sichttiefen noch die gleichen Werte lieferte, wie eine rechteckige Scheibe von 15×21 cm Seitenlänge, benutzten wir

1) Vgl. auch Petermanns Mitteilungen 1897, Bd. 43, S. 149—153, Taf. 11.

später nur solche kleineren Scheiben. Ein „Wassergucker“ kam nicht zur Verwendung; Sonnenblendung wurde durch Beschatten der versenkten Scheibe mit dem Hut oder durch entsprechende Drehung des Bootes vermieden. Die Wasserfarbe wurde mit Hilfe der von Ule erweiterten Forel'schen Skala (vgl. Petermanns Mitteilungen 1892, S. 70) festgestellt; die Skala haben wir selbst angefertigt. Wir benutzen sie so, daß die weiße Porzellanscheibe so tief ins Wasser versenkt wird, bis sie eine deutliche Färbung zeigt, die dann mit der Skala verglichen wird.

Die Temperaturschichtung wurde teils mit einem Richterschen Umkippthermometer, teils mit Hilfe einer Schöpfflasche untersucht; die hier verwendete Schöpfflasche habe ich im Archiv für Hydrobiologie und Planktonkunde V. 1909, S. 11—14 beschrieben¹⁾; die Temperatur des Flaschenwassers wurde mit einem feinen chemischen Thermometer oder mit einem Fueßschen Schleuderthermometer bestimmt. Die verschiedenen Thermometer wurden von Zeit zu Zeit miteinander verglichen; bei den mit dem Kippthermometer gewonnenen Zahlen wurden, wo nötig, die üblichen Korrekturen angebracht.

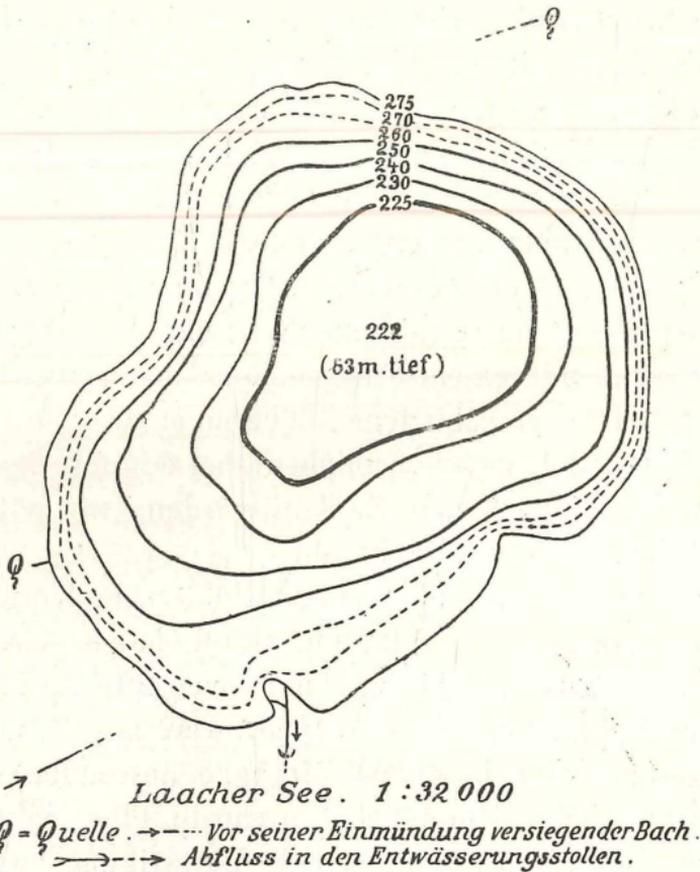
Im August 1910, als uns das Richtersche Kippthermometer noch nicht zur Verfügung stand, haben wir, da die Schöpfflasche sich nur bis zu Tiefen von 20—25 m öffnen ließ, zur Bestimmung der Temperaturen am Grunde der tieferen Maare eine besondere Methode anwenden müssen. Am Beginne jeder Untersuchung wurde eine Sektflasche offen in die Tiefe versenkt. Die Befestigungsleine trug oben einen Schwimmer. Nach drei bis vier Stunden wurde die Flasche heraufgezogen und die Temperatur des Wassers bestimmt.

Die Schöpfflasche diente auch zur Entnahme von Wasserproben für die chemische Untersuchung bis zu Tiefen von 20—25 m; für Entnahme aus größeren Tiefen ver-

1) Die Aufhängevorrichtung für diese Flasche wird jetzt von der Firma Ernst Leitz-Wetzlar in den Handel gebracht.

geschlossen wir eine Flasche mit einem über dem weitdurchbohrten Kork gestülpten Glaskölbchen, das in der gewünschten Tiefe durch ein hinabgelassenes Laufgewicht zertrümmert wurde. Zum Aufhängen all dieser Instrumente dienten von Meter zu Meter mit Marken (Wollfäden) versehene Hanftaue.

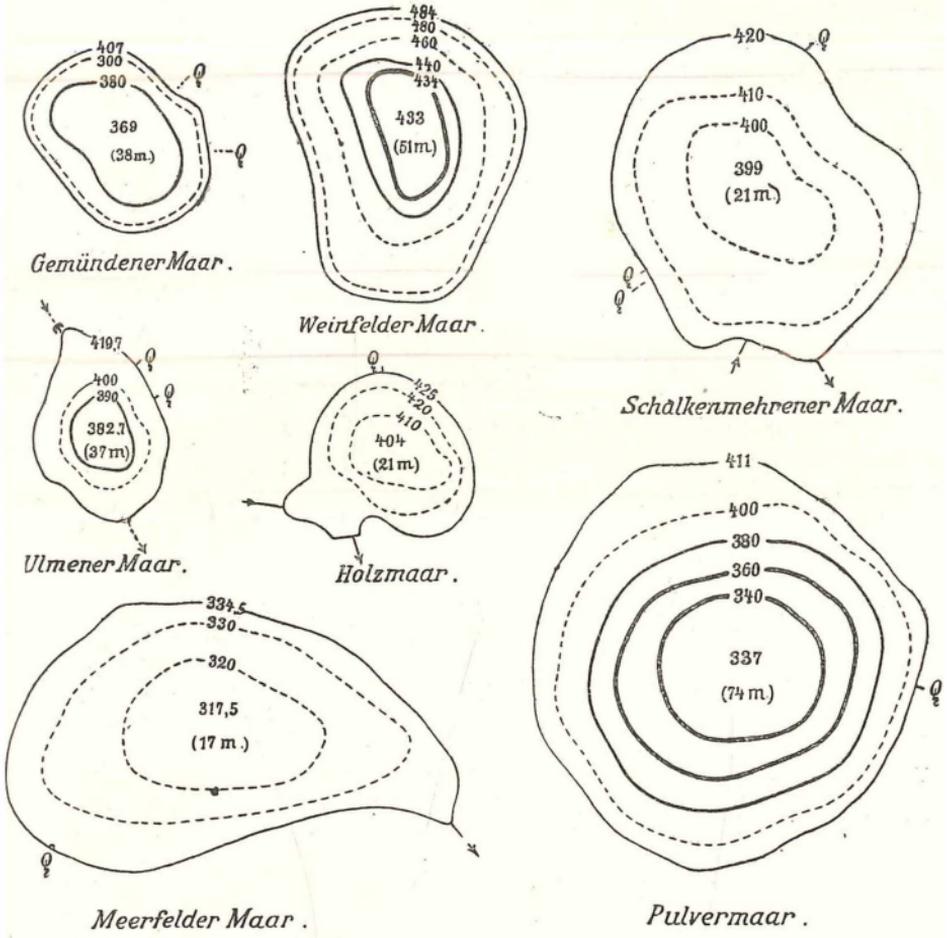
Da aber mit den genannten Schöpfflaschen Proben für die Untersuchung der im Wasser gelösten Gase in ein-



wandfreier Weise nicht entnommen werden konnten, so haben wir besonders bei der Untersuchung der hydrochemischen Verhältnisse des Ulmener Maeres seit Oktober 1912 einen von P. Altmann-Berlin bezogenen Thiesing'schen Wasserschöpfer¹⁾ benutzt. Dieser Apparat arbeitet

1) Vgl. Thiesing, Chemische und physikalische Untersuchungen an Talsperren, insbesondere der Eschbachtalsperre

ganz vorzüglich; da er eine relativ große Wassermenge (4 l) faßt, so kann er auch zweckmäßig zur Untersuchung der Planktonschichtung in Seen verwendet werden. Befestigt wurde er an Drahtseil, das mit einer am Bootsrand



1:16 000

Q = Quelle → —(Z) Zufliessender Bach (A) —→ Abfließender Bach.

oder an einer Bootbank zu befestigenden starken Winde aufgezogen wurde.

Wir hätten diese Untersuchungen nicht ausführen können, hätten wir uns nicht der Mithilfe verschiedener

bei Remscheid. Mitt. a. d. kgl. Prüfungsanstalt für Wasserversorgung und Abwässerbeseitigung, Berlin 1911, Heft 15, S. 50 - 53.

Herren zu erfreuen gehabt. Einige Temperaturserien im Laacher See wurden von Herrn Professor Voigt gemessen; Ende August 1911 führte Herr Dr. Georg Schneider Temperaturmessungen in mehreren Maaren aus.

Zu ganz besonderen Dank sind wir den Herren Hauptlehrer Dohm-Gerolstein und vor allem Herrn Lehrer Sausen-Schalkenmehren verpflichtet, die über ein Jahr lang im Schalkenmehrener Maar Messungen der Temperatur und der Sichttiefe vornahmen. Ohne ihre Hülfe hätten wir die so überaus wichtige regelmäßige Untersuchung eines Maares zu den verschiedenen Jahreszeiten kaum ausführen können.

Die Kähne wurden uns auf allen Maaren von den Besitzern bzw. Fischereipächtern bereitwilligst zur Verfügung gestellt; wir sind insbesondere den Herren Gebrüder Schneider in Daun, Herrn Zillgen in Gillenfeld und Herrn Peter Maas in Ulmen hierfür zu besonderem Dank verpflichtet.

Die chemischen Analysen der Maarwässer wurden in der Landwirtschaftlichen Versuchsstation zu Münster i. W. und zwar zum allergrößten Teil von Herrn Dr. J. Kuhlmann ausgeführt. Die Dichte der Maarwässer — vor allem des Ulmener Maares — bestimmte Herr Privatdozent Dr. W. Matthies-Münster i. W.

Besonders günstig trifft es sich, daß gerade jetzt eine umfassende chemisch-physikalische Untersuchung der dänischen Seen von J. N. Brönsted und C. Wesenberg-Lund¹⁾ erschienen ist. Auf diese, von einem Biologen geleitete und unter vorwiegend biologischen Ge-

1) 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.* 1912, IV, S. 251—290, 437—492.

sichtspunkten angestellte Untersuchung werden wir mehrfach hinzuweisen haben. Denn auch unsere thermischen und chemischen Beobachtungen sind ja hauptsächlich angestellt worden, um ein tieferes Verständnis der hydrobiologischen Eigenart der Eifelmaare zu gewinnen.

Bisher sind zwei kürzere Arbeiten über unsere Maaruntersuchungen veröffentlicht worden: 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, S. 160—174, Taf. 1), und Thienemann und Voigt, Vorläufiger Bericht über die Untersuchung der Eifelmaare im August und September 1910. (Bericht Bot. Zool. Ver. f. Rheinland-Westfalen 1910, S. 81—84). Wir haben in dieser vorläufigen Mitteilung die von uns untersuchten Maare auf Grund ihrer hydrographischen und hydrobiologischen Eigenart in drei Gruppen geteilt:

- I. Die tiefen Maare — Pulvermaar, Weinfelder Maar, Gemündener Maar.
- II. Die flacheren Maare — Schalkenmehrener Maar, Holzmaar, Meerfelder Maar.
- III. Das Ulmener Maar.

Die vorliegende Arbeit wird zeigen, daß die Verschiedenheit der hydrographischen Verhältnisse tatsächlich zu einer solchen Einteilung zwingt, und spätere Veröffentlichungen über das Leben in den Eifelmaaren mögen darthun, wie die Verschiedenheit der physikalisch-chemischen Bedingungen auch eine starke Verschiedenheit in der Hydrobiologie der verschiedenen Maartypen nach sich zieht.

Aus äußeren Gründen sehen wir uns genötigt, die Resultate der chemischen und physikalischen Untersuchungen der Eifelmaare in zwei Teilen zu veröffentlichen. Der vorliegende erste Teil enthält die Thermik und Optik der

ersten und zweiten Maargruppe; der zweite Teil wird die chemischen Untersuchungen in den Maaren sowie insbesondere das Problem des Ulmener Maares behandeln.

Wir geben vor dem Beginn unserer Ausführungen eine nach Halbfuß entworfene Tiefenkarte der Maare, sowie eine im Anschluß an Halbfuß zusammengestellte Tabelle¹⁾ der Größen- und Tiefenverhältnisse unserer Maare; denn merkwürdigerweise bringen auch neuere Veröffentlichungen über die Eifel (cf. Follmann, Die Eifel, Bielefeld und Leipzig 1912, S. 32, sowie Eifelführer, herausgegeben vom Eifelverein, Trier 1910, S. 197) über die Tiefe der verschiedenen Maare meist ganz falsche Angaben.

1) In diese Tabelle ist auch der Laacher See zum Vergleich mit aufgenommen worden; in der vorliegenden Arbeit sind nur eine Anzahl Temperaturmessungen aus dem Laacher See mit angeführt, der See ist im übrigen hier aber nicht behandelt worden.

Die Größen- und Tiefenverhältnisse der Eifelmaare

(nach Halbfafß).

Name	Meeres- höhe m	Gröfste Länge m	Gröfste Breite m	Um- fang m	Um- fangs- ent- wickl.	Fläche m ²	Gröfste Tiefe m	Mittl. Tiefe m	Ver- hältnis beider	Inhalt m ³	Mittl. Bö- schung
Pulvermaar . .	411,2	675	650	2250	1,036	350000	74	37,6	0,508	13170000	18°16'
Laacher See . .	275,5	2350	1875	7380	1,144	3312000	53	32,5	0,613	1075040000	5°24'
Weinfelder Maar	484	525	375	1525	1,052	168000	51	25,7	0,504	4314000	18°53'
Gemündener Maar	406,6	325	300	975	1,025	72000	38	18,5	0,486	1328000	17°59'
Ulmener Maar .	419,7	325	225	925	1,128	53500	37	18,3	0,495	978000	21°26'
Schalkenmehrener Maar	420,5	575	500	1775	1,077	216000	21	11,4	0,543	2457000	7°21'
Holzmaar . . .	425,1	325	250	1100	1,19	68000	21	9,5	0,453	642000	11°16'
Meerfelder Maar .	334,5	750	450	2000	1,146	242500	17	8,4	0,494	2042000	5°30'

Kapitel I.

Die thermischen und optischen Verhältnisse des Schalkenmehrener Maares.

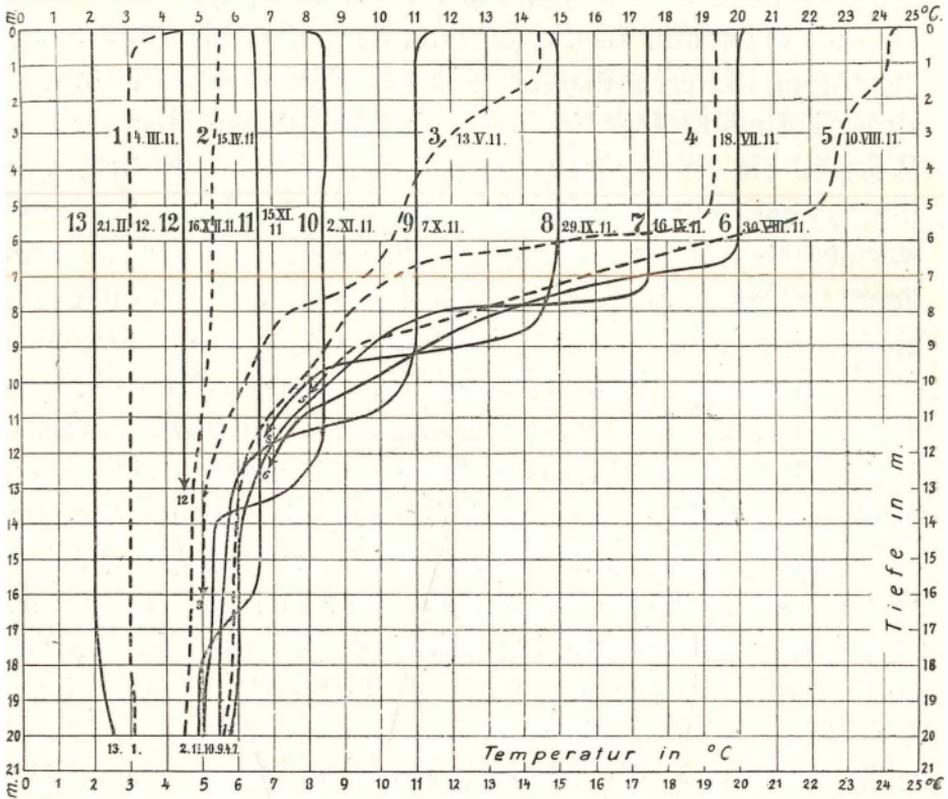
Es erschien uns von vonherein erwünscht, möglichst in einigen Maaren regelmäßige, über mindestens ein Jahr sich erstreckende Temperaturmessungen vorzunehmen. Aber nur im Schalkenmehrener Maar ließ sich dieser Plan verwirklichen. Denn da es bei der Lage der Maare ausgeschlossen war, daß wir etwa jeden Monat ein oder gar zweimal von Münster aus dorthin reisten, um die Messungen vorzunehmen, so waren wir darauf angewiesen, an Ort und Stelle einen geeigneten Beobachter zu suchen. Herr Hauptlehrer Dohm-Gerolstein und Herr Lehrer Sausen-Schalkenmehren übernahmen es, mit der Schöpfflasche regelmässige Temperaturmessungen im Schalkenmehrener Maar vorzunehmen und dabei auch die Sichttiefe zu bestimmen. Herrn Sausen verdanken wir es, daß wir von März 1911 bis Juni 1912 eine Serie von 20 Temperaturmessungen im Schalkenmehrener Maar besitzen und so einen Einblick in den Gang der Thermik dieses Maares gewonnen haben.

A. Die Temperaturschwankungen im Schalkenmehrener Maar.

Für die Beurteilung der Temperaturschwankungen im Schalkenmehrener Maar stehen uns insgesamt 30 Temperaturserien zur Verfügung, die auf Tabelle 1¹⁾ zusammengestellt sind. Eine Anzahl dieser Serien sind auf Kurventafel I graphisch dargestellt und geben ein klares Bild des jährlichen Temperaturganges im Maar von Schalkenmehren. (Der Übersichtlichkeit wegen sind einzelne der Kurven nicht bis zu den Tiefenschichten ausgezogen).

1) Die Tabelle findet sich am Schlusse der Arbeit (S. 302 a). Wo in den Tabellen bei einer Temperaturserie kein Beobachter genannt ist, hat der Verfasser selbst diese Temperaturen festgestellt. Ein Sternchen bei einer Zahl bedeutet, daß hier der Maargrund erreicht wurde.

Da Wasser bei 4° C sein Dichtemaximum hat, Wasser, das kälter als 4° ist, also ebenso wie solches, das wärmer als 4° ist, über dem Wasser von 4° schwimmt, so liegt im Winter, wenn ein See zugefroren ist, kälteres Wasser über wärmerem (bis 4° warmem); der See zeigt die sogenannte verkehrte Temperaturschichtung. Bei anhaltender



Kurventafel Nr. I.

Temperaturschichtung im Schalkenmehrener Maar 1911—1912.

Kälte werden im See keinerlei durch die Temperatur hervorgerufene Strömungen auftreten; er befindet sich in einer Stagnationsperiode¹⁾. Wenn nun im Frühjahr das Eis geschmolzen ist, so tritt durch die stetig sich vergrößernde Intensität der Sonnenstrahlung eine Erwärmung der oberen Wasserschichten ein. Konvektionsströmungen

1) Vgl. hierzu und zum folgenden Brönsted und Wesenberg-Lund, l. c., S. 258 ff.

führen das sich erwärmende Wasser bis zu der Tiefe, in der die gleiche Temperatur herrscht; der See befindet sich also in einer Teilzirkulationsperiode, und diese Teilzirkulation wird zur Vollzirkulation, wenn die ganze Wassermasse von der Oberfläche bis zum Boden die gleiche Temperatur zeigt.

Erwärmen sich nun die oberen Schichten über 4°C , so sind sie leichter als die darunter liegenden, sie schwimmen über dem kälteren Wasser, das unter ihnen sich in völliger Ruhe befindet. Der See macht in der größten Masse seines Wassers eine Stagnationsperiode durch. Je kräftiger die Sommersonnenstrahlung wird, um so dicker wird die warme Oberflächenschicht. Ist das Maximum der sommerlichen Wärme erreicht und die herbstliche Abkühlung beginnt, so wird das sich abkühlende Wasser der Oberfläche schwerer als das darunter lagernde: es treten Konvektionsströme auf, die das Oberflächenwasser bis zu einer gewissen Tiefe mischen; das Wasser des Sees befindet sich in der Teilzirkulation. Haben die Tiefenschichten des Wassers die gleiche Temperatur angenommen wie die Oberfläche, so befinden sich die Wassermassen in Vollzirkulation, und diese Vollzirkulation hält an, bis die Temperatur in allen Schichten 4°C beträgt. Bei weiterer Abkühlung bleibt das kältere Wasser über dem wärmeren schwimmend, und schließlich friert die Oberfläche der in Stagnation befindlichen Wassermassen wieder zu.

Der eben geschilderte Gang der Thermik eines sogenannten temperierten Sees aber spielt sich in Wirklichkeit nicht in dieser schematischen Weise ab; er würde sich so abspielen, wenn wirklich nur die Temperatur die Strömungen im See beeinflusste. Aber es kommen zu den thermischen noch andere Faktoren hinzu, die das Schema wesentlich komplizieren.

Betrachten wir nunmehr an der Hand der Tabelle 1 und der Kurventafel I den Temperaturgang im Schalkenmehrener Maar.

Am 4. III. 1911, am 1. IV. 1911 und auch am

15. IV. 1911 befinden sich die Wassermassen des Maares in Vollzirkulation; abgesehen von einer kleinen Erwärmung der Oberflächenschichten und einer geringen Temperatursteigerung in der größten Tiefe hat das gesamte Maarwasser am 4. III. eine Temperatur von 3° ; am 1. IV. ist diese Temperatur auf etwa $4,5^{\circ}$ gestiegen, dabei aber ist ein langsamer, gleichmäßiger Abfall der Temperatur von der Oberfläche ($5,2^{\circ}$) bis zur Tiefe ($4,4^{\circ}$) bemerkbar. Noch deutlicher wird dieses Temperaturgefälle am 15. IV. (Kurve 2).

Schon bei diesen drei Temperaturserien zeigt sich eine Differenz zwischen den theoretisch zu erwartenden Verhältnissen und den tatsächlich beobachteten Temperaturen. Denn es sollte ja das Tiefenwasser, wenn es einmal mit 4° seine größte Dichte gewonnen hat, nun keine weitere Temperatursteigerung erfahren. In Wirklichkeit aber ist es am 15. IV. schon auf $4,5^{\circ}$ erwärmt, und seine Temperatur steigt im Laufe des Sommers sogar bis $5,8^{\circ}$! Es müssen also Strömungen vorhanden sein, die warmes Wasser der höheren Schichten zur Tiefe hinabführen. Wir sehen mit Wedderburn und Wesenberg-Lund (Brönstedt und Wesenberg-Lund, l. c. p. 264 ff.) in dem Wind den Faktor, der durch Stauung der Wassermassen an der Leeseite des Sees einen Rückstrom erzeugt, dessen mischende Wirkung sich bis zu der größten Tiefe des Sees erstrecken kann. Und diese Wirkung tritt selbst dann ein, wenn im Sommer die warmen Oberflächenschichten gewissermaßen als Schutz auf den kälteren Tiefenschichten lagern. Denn selbst dann steigt die Tiefentemperatur im Maar (1911) noch von 5° (13. V.) auf $5,8^{\circ}$ (16. IX. 11).

Ganz anders als die im wesentlichen eine gerade Linie darstellenden Kurven 1 und 2 sehen die Kurven Nr. 3, 4 und die folgenden aus. Betrachten wir zuerst die Kurve 4, so sehen wir, wie sie bis 5,5 m senkrecht nach unten zieht — d. h. die Temperatur (von etwas über 19°) ändert sich in diesen oberen Schichten fast gar nicht — dann aber folgt plötzlich eine scharfe Umbiegung der Kurve, nach der sie fast wagrecht verläuft — d. h. die

Temperatur sinkt hier plötzlich um viele Grad — und dann folgt wieder ein gleichmäßiges Gefälle der Kurve bis zum Grunde, die Temperatur nimmt also langsam, aber stetig ab. Die Schicht, in der sich plötzlich die Temperatur so stark ändert, nennen wir mit Richter Sprungschicht. Auch bei der Kurve 3 (vom 13. V. 11) findet sich eine Sprungschicht, oder vielmehr unnormalerweise finden sich deren zwei, allerdings schwach ausgeprägte. Da aber aus dem Juni keine Messungen vorliegen, läßt sich nicht feststellen, wie aus der Kurve 3 sich 4 entwickelt und die unregelmäßige Kurve 3 mag also ausser Diskussion bleiben. Diese Sprungschicht hat, wie Brönsted und Wesenberg-Lund (l. c. p. 262—263) bemerken, „natürlich keine bestimmte Mächtigkeit, da sie stetig in die umgebenden übergeht, läßt sich vielmehr am besten durch die Eigenschaft eines bestimmten Punktes innerhalb der Schicht charakterisieren. Die notwendige Bedingung für das Auftreten des Thermoklins ist, mathematisch ausgedrückt, daß $\left(\frac{dt}{dm}\right)$ — also der Quotient der sehr kleinen Temperatur- und Tiefeänderung — ein numerisches Maximum besitze. Dies ist für jede Kurve in einem Punkte der Fall, und diesem Punkte, oder der Fläche, in der die Punkte von allen den verschiedenen Temperaturkurven enthalten sind, gebührt der Name Thermokline. Es wird dann gleichzeitig von den über und unter der Thermokline liegenden Wasserschichten als Sprungschicht gesprochen werden können, wobei man jedoch die Dimensionen derselben nur schätzungsweise angeben kann“. Wir wollen im folgenden von einer Sprungschicht dann reden, wenn das Temperaturgefälle pro Meter mindestens $0,9^{\circ}\text{C}$ beträgt.

Auf Tabelle 2¹⁾ haben wir für alle Temperaturkurven, die eine Thermokline zeigen, die Quotienten $\frac{dt}{dm}$, d. h. das Temperaturgefälle pro Meter, ausgerechnet und die Lage der Thermokline durch fetten Druck, die Sprungschicht

1) Die Tabelle 2 findet sich am Schlusse der Arbeit (S. 302 b).

überhaupt durch halbfetten Druck hervorgehoben. Man sieht daraus — ebenso wie aus der Kurventafel I — wie die Sprungschicht an Mächtigkeit bis zum 10. und 30. VIII. 1911 zunimmt — sie umfaßt dann 5 m — und wie sich die Thermokline langsam nach unten verschiebt. Bis zum 10. VIII. haben sich dabei die Oberflächenschichten immer mehr erwärmt; zu dieser Zeit erreichte die Oberflächentemperatur den hohen Wert von $24,5^{\circ}$; dann aber beginnt schon die herbstliche Abkühlung, und damit bekommen die Kurven von Nr. 6 an wieder ein anderes Aussehen.

Über die Ursache des Auftretens der Thermokline ist neuerdings viel diskutiert worden; es wird sich an späterer Stelle Gelegenheit finden, zu zeigen, wie unsere Beobachtungen in den Eifelmaaren zu den Anschauungen der Autoren über diese Frage passen.

In den Kurven 6—11 (vom 30. VIII. bis 15. XI. 11) ist die Sprungschicht noch vorhanden; aber mit der von $20,1^{\circ}$ bis auf $6,5^{\circ}$ fortschreitenden Abkühlung der Oberfläche sinkt die Sprungschicht immer tiefer, ihre Mächtigkeit wird immer geringer, ihre Abgrenzung gegenüber den oberen Schichten ist bedeutend schärfer als in der Zeit steigender Wärme. Das Maar befindet sich jetzt in der Teilzirkulationsperiode; bei der steten Abkühlung der Oberfläche mischen sich die Schichten bis in immer größere Tiefe, so daß das Aussehen der Kurven während dieser Zeit ohne weiteres verständlich ist. Am 16. XII. 11 ist keine Sprungschicht mehr vorhanden, das Maar hat durchweg eine Temperatur von $4,5^{\circ}$; am 16. I. 12 treffen wir eine verkehrte Schichtung an; der Wind hat die an der Oberfläche stark abgekühlten Schichten bis zur Tiefe gemischt, so daß dort eine Temperatur von $2,7$, am 21. II. 12 sogar von $2,5^{\circ}$ herrscht¹⁾. Dann beginnt die Erwärmung wieder; bis zum 15. IV. 12 herrscht noch die Vollzirkulation; am 19. V. 12 finden wir das erste Mal eine Sprungschicht

1) Am 16. II. 1911 verzeichnete Herr S a u s e n „eine dünne morsche Eisdecke“. Im übrigen liegen für die Dauer der Eisbedeckung des Maares leider keine Zahlen vor.

und nun wiederholt sich der Temperaturgang etwa wie im Jahre vorher.

Brönsted und Wesenberg-Lund (l. c. S. 266—267) beobachteten im Fursee, daß mit dem Verschwinden der Sprungschicht am 13. XI. 06 sich plötzlich die Seentiefe (30—31 m) um fast einen Grad (von 7,4 auf 8,3°) erwärmte; sie führen das mit Recht auf die Mischung des Bodenwassers mit dem Wasser der oberen Schichten zurück. Im Schalkenmehrener Maar konnten wir, wie aus Tabelle 1 und 3 hervorgeht, eine ähnliche Erscheinung nicht beobachten; vom 16. IX. an nimmt die Temperatur der Maartiefe dauernd ab, und auch das Verschwinden der Sprungschicht, nach dem 15. XI., ändert daran nichts. Das ist wohl erklärlich; haben sich doch die oberen Schichten am 15. XI. schon so stark abgekühlt, daß sie bei der Vermischung mit dem Tiefenwasser diesem nicht viel Wärme mitteilen konnten. Möglich ist es immerhin, daß nach dem Verschwinden der Sprungschicht doch eine kleine Erhöhung der Tiefentemperatur stattfand; am nächsten Beobachtungstage, am 16. XII. war davon allerdings nichts mehr zu bemerken.

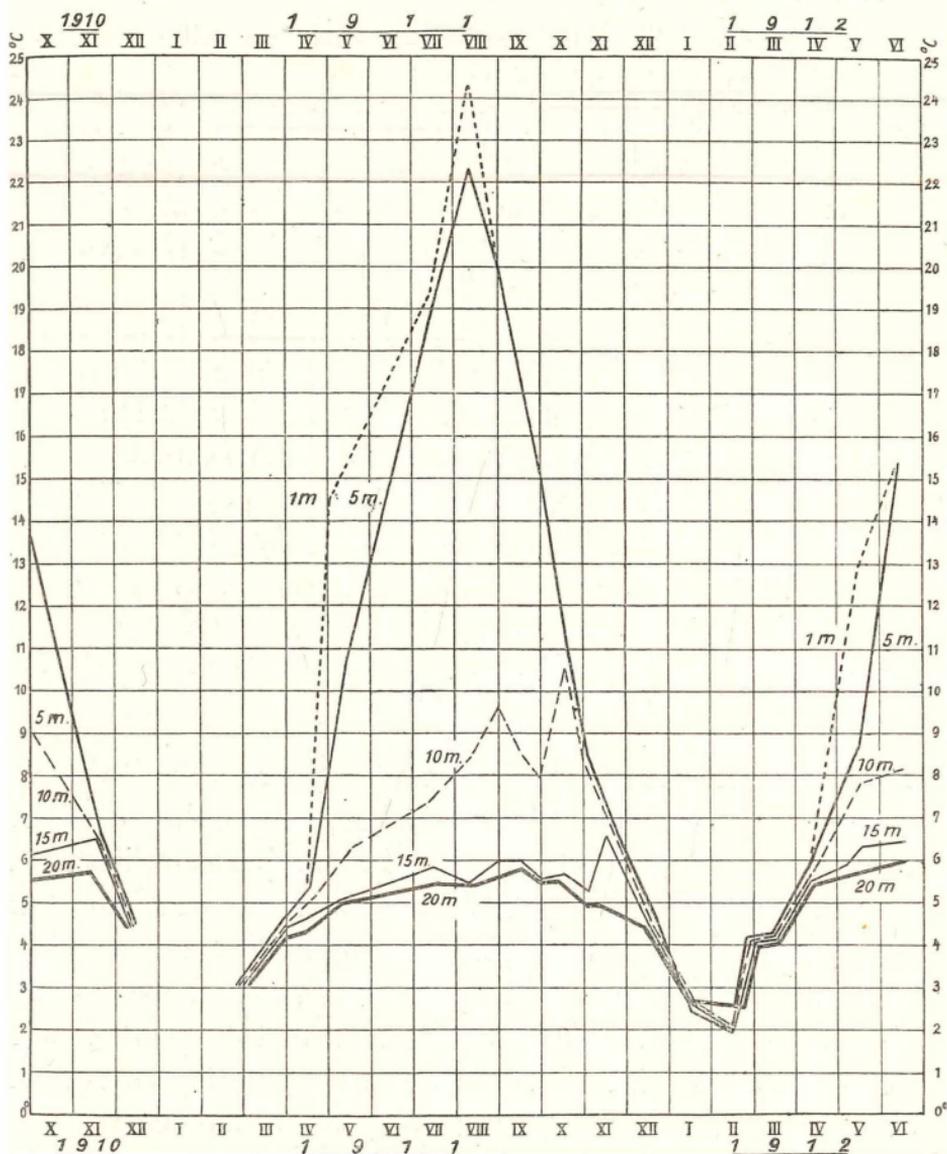
Tabelle 3. Die Tiefentemperaturen im Schalkenmehrener Maar¹⁾.

Monat	1910 ° C.	1911 ° C.	1912 ° C.
Januar	—	—	2,7
Februar	—	—	2,5
März	—	3,1	4—4,1
April	—	4,5	5,5
Mai	—	5	5,8
Juni	—	—	6
Juli	—	5,5	—
August	5,75—5,8	5,4	—
September	—	5,7, 5,8, 5,5	—
Oktober	5,6	5,5	6,25
November	5,8	5—4,9	—
Dezember	4,3	4,5	—

1) 5. IV. 1913 in 20 m Tiefe 5,5°.

Auf Kurventafel II haben wir noch einmal die Temperaturschwankungen in den verschiedenen Tiefen des Schalkenmehrener Maares dargestellt. Die Temperatur schwankte: in 1 m Tiefe zw. 24,2 u. 2 °C, also Amplitude 22,2 °C.

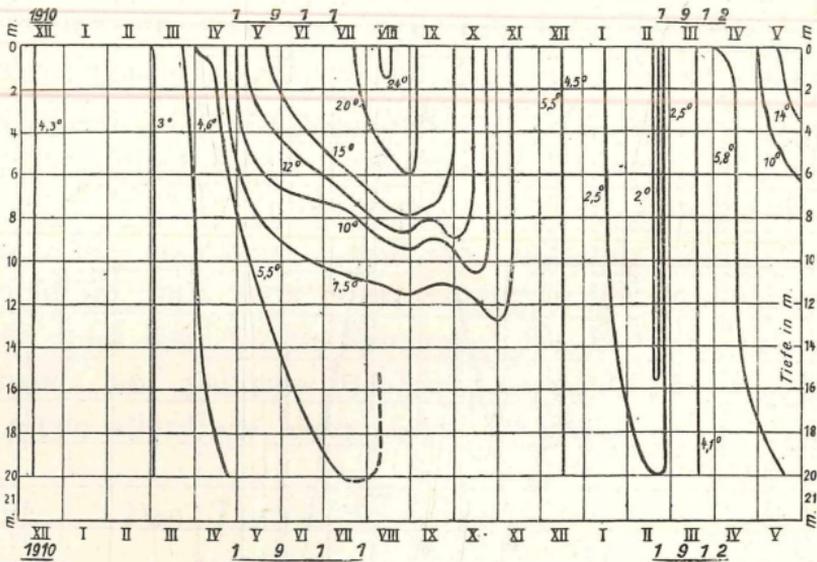
„	5	„	„	„	22,2	„	3	„	„	„	20,2	„
„	10	„	„	„	10,7	„	2	„	„	„	8,7	„
„	15	„	„	„	7,75	„	2	„	„	„	5,75	„
„	20	„	„	„	6,25	„	2,5	„	„	„	4,0	„



Kurventafel Nr. II. Temperaturschwankungen im Schalkenmehrener Maar 1910–1912 in 20, 15, 10, 5 und 1 m Tiefe.

Je tiefere Schichten, um so geringer die Temperaturschwankungen; am Grunde des Maares betragen sie nur 4° .

Wesentlich größere Schwankungen beobachteten Brönsted und Wesenberg-Lund im Fursee, obgleich dieser (mit 35 m) 14 m tiefer als das Schalkenmehrener Maar ist. Hier schwankte die Temperatur des Tiefenwassers zwischen $13,4^{\circ}$ und $2,1^{\circ}$, also um $11,3^{\circ}$. Daran mag einmal der Höhenunterschied beider Seen schuld sein (der Fursee liegt nur 19,8 m über dem Meeresspiegel, das Schalkenmehrener Maar jedoch 420,5 m), zum anderen



Kurventafel Nr. III. Isoplethen des Schalkenmehrener Maares 1910—1912.

aber ist der Fursee starken Winden, die seine Wassermassen in Bewegung bringen, ausgesetzt, während unser Maar relativ windgeschützt liegt. Daß in den verschiedenen Jahren die Seetiefe sich verschieden stark erwärmt, konnten wir auch im Schalkenmehrener Maar beobachten (1911 auf $5,8^{\circ}$, 1912 auf $6,25^{\circ}$); jedoch konnten wir keine Beziehung zwischen dieser Erwärmung und der Temperatur des Frühjahrs und Frühsommers (vgl. Brönsted und Wesenberg-Lund l. c. S. 267—268) feststellen.

Auf Kurventafel III haben wir schließlich sogenannte Isoplethen für das Schalkenmehrener Maar konstruiert,

so gut es nach dem vorliegenden Beobachtungsmaterial möglich war¹⁾.

Auf der Ordinate ist die Seentiefe abgetragen, auf der Abszisse die Zeit. Jede Kurve läßt dann für jede Zeit erkennen, in welcher Tiefe die betreffende Temperatur angetroffen wird. Man sieht deutlich, wie eine Wärmewelle von steigender Temperatur im Lauf des Sommers in das Maar eindringt, wie tief sie wirkt, und wie sie dann wieder verschwindet. Man sieht aber weiter auch — und dadurch unterscheidet sich unsere Darstellung von vielen der früher gegebenen Isolethenkarten (z. B. Aufseß, Die physikalischen Eigenschaften der Seen S. 107) — wie im Winter auch eine „Kältewelle“ (mit Temperaturen unter $+4^{\circ}\text{C}$) in den See eindringt, und im Frühjahr dann verschwindet.

B. Die Schwankungen der Sichttiefe im Schalkenmehrener Maar.

In Tabelle 4 (S. 268) haben wir die im Schalkenmehrener Maar ermittelten Sichttiefen verzeichnet, auf Kurventafel IV sie außerdem graphisch dargestellt.

Es geht daraus folgendes hervor:

Die Sichttiefe schwankt im Schalkenmehrener Maar zwischen 2,75 m und 7 m. Die niedrigsten Werte wurden im November, März, April und Mai beobachtet, hohe Werte im Juni bis November sowie im Januar und Februar, der höchste Wert im August 1911 mit 7 m.

Aus Kurventafel IV ist klar zu erkennen, daß im ganzen Sichttiefe und Erwärmung der Oberflächenschichten in direkter Beziehung zueinander stehen, und da, wie Kurventafel II (S. 265) zeigt, die Temperaturänderungen der Oberflächenschichten gleichsinnige Änderungen in den

1) Die durch die gerissene Linie angezeigte Anomalie der $5,5^{\circ}$ -Isolethe im Juli—August 1911 beruht vielleicht auf einem Beobachtungsfehler.

Tiefenschichten nach sich ziehen, so kann man sagen, daß im großen und ganzen mit der Erwärmung des Maares die Sichttiefe steigt, mit der Abkühlung sinkt.

Das scheint mit den Ergebnissen früherer Untersuchungen im Widerspruch zu stehen.

Tabelle 4. Sichttiefe im Schalkenmehrener Maar¹⁾.

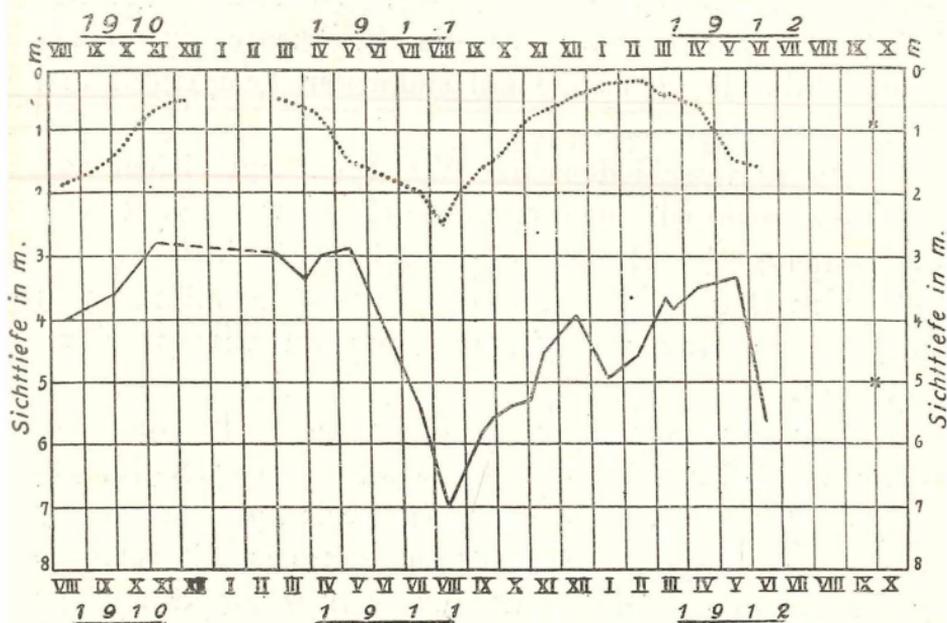
Monat ²⁾	1896		1910		1911		1912	
	Sichttiefe in m	Beobachter	Sichttiefe in m	Beobachter	Sichttiefe in m	Beobachter	Sichttiefe in m	Beobachter
Januar	—	—	—	—	—	—	4,95	Sausen
Februar	—	—	—	—	—	—	4,55	Sausen
März	—	—	—	—	2,95	Sausen	3,6 3,85	Thienemann Sausen
April	—	—	—	—	3,25	3,0	Sausen	3,5
Mai	—	—	—	—	2,85	Dohm	3,6	Sausen
Juni	—	—	—	—	—	—	5,7	Sausen
Juli	—	—	—	—	5,4	Sausen	—	—
August	—	—	4 4	Voigt Dohm Thienemann	7	Thienemann	—	—
September	—	—	—	—	5,9 5,6	Sausen	—	—
Oktober	4	Halbfafs	3,6	Dohm	5,35	Sausen	—	Thienemann
November	—	—	2,75	Dohm	5,25 4,55	Sausen	—	—
Dezember	—	—	—	—	3,95	Sausen	—	—

F. A. Forel hatte im Genfer See beobachtet, daß dort die Sichttiefe im Sommer bei weitem niedriger als im Winter war; dasselbe zeigte sich in anderen Voralpenseen, und so konnte Forel 1901 in seinem Handbuch der Seenkunde (S. 144) schreiben: „Im Winter ist das Wasser der subalpinen Seen klarer als im Sommer.“ Aber er fügte hinzu: „Ob dies auch für die Seen der anderen Region(en) zutrifft, muß nach dem jetzigen Stand

1) 5. IV. 1913 Sichttiefe 4,5 m (Th.).

2) Die Tage sind die gleichen, wie für die Temperaturmessungen vgl. Tabelle 1.

unserer Kenntnisse vorderhand unentschieden bleiben.“ Weniger kritisch und weniger richtig aber war die Behauptung, die 1905 von Aufseß in seinem Werke „Die physikalischen Eigenschaften der Seen“ (S. 40) aufstellte: „Allgemein gilt die Regel, daß die Durchsichtigkeit in den Wintermonaten bedeutend größer ist als in den Sommermonaten.“ Die allgemeine Geltung dieser „Regel“ habe ich schon in meiner Talsperrenarbeit¹⁾ bekämpft.



Kurventafel Nr. IV. Das Eindringen des Lichtes (Sichttiefe) im Schalkenmehrener Maar 1910—1912.

(Die punktierte Linie stellt die Kurve der Oberflächentemperatur dar.)

Sie gilt im allgemeinen für zwei Gruppen von Seen, für die subalpinen und die baltischen.

So konnte noch in allerjüngster Zeit Brutschy²⁾ für den Zuger See zeigen, daß „die Transparenz mit

1) Thienemann, Hydrobiologische und fischereiliche Untersuchungen an den westfälischen Talsperren. Landwirtschaftliche Jahrbücher XLI (S. 602—605).

2) Brutschy, Monographische Studien am Zugersee. Archiv für Hydrobiol. u. Planktonkunde VIII, 1912.

steigender Temperatur abnimmt, mit fallender zunimmt“, und daß dieser Temperatureinfluß ein sehr regelmäßiger ist (S. 57—59). Und dies ist auch für alle übrigen bisher untersuchten subalpinen Seen festgestellt.

Die baltischen Seen verhalten sich ebenso: „Die Sichttiefe beträgt im Sommer nur 4—5 und selbst im Winter nur 7—8 m¹).“

Diese Regel gilt aber nicht für die westdeutschen Talsperren, wie ich kürzlich (l. c. S. 601—605) gezeigt habe, und ebensowenig für die Eifelmaare, in beiden Fällen fällt die Sichttiefe mit sinkender Temperatur und steigt mit steigender.

Dieses verschiedenartige Verhalten wird leicht verständlich, wenn wir uns vergegenwärtigen, welche Faktoren die Durchsichtigkeit eines Sees beeinflussen können.

Die Durchsichtigkeit eines Sees hängt von der Menge der im Wasser suspendierten Teilchen ab.

Man hat allerdings auch angenommen, daß die thermische Stratifikation als solche schon von Einfluß auf die Durchsichtigkeit eines Sees sei; und Brutschy (l. c. S. 59) führt im Anschluß an Lozeron die sommerlichen Transparenzminima des Zuger Sees direkt auf die durch die Erwärmung bedingte Wasserschichtung zurück. Gegen solchen Einfluß der thermischen Schichtung sprechen aber durchaus unsere Beobachtungen in den Eifelmaaren. Wäre er vorhanden, so müßten hier, wo eine viel ausgeprägtere thermische Schichtung vorhanden ist als z. B. im Zuger See, im Sommer die Transparenzminima beobachtet werden. Diese fallen aber in den Winter, also in eine Zeit, in der von ausgeprägter thermischer Schichtung der Wassermassen nicht die Rede sein kann.

Ich glaube also, den Einfluß der Wärmeschichtung als solcher auf die Durchsichtigkeit eines Sees im allge-

1) Wesenberg-Lund, zitiert nach Merz, Die schottische Seenforschung in Zeitschrift d. Ges. f. Erdkunde, Berlin 1912, Nr. 8, Sep. S. 16.

meinen durchaus ablehnen zu müssen (wenigstens in den von Brutschy-Lozeron angenommenen Sinne; vgl. unten S. 273). Die die Durchsichtigkeit eines Sees beeinflussenden suspendierten Teilchen können aus zwei Quellen stammen: es kann Seeplankton sein, es können anorganische Teile sein, die von außen her, also meist durch die Zuflüsse, in den See gelangen.

In Seen mit reicher Planktonentwicklung werden die Schwankungen der Sichttiefe in der Hauptsache durch die Schwankungen in der Planktonmenge verursacht, in Seen mit geringer Planktonentwicklung durch die dem See von den Zuflüssen zugeführten anorganischen suspendierten Teilchen.

Zu den Seen mit reichster Planktonentwicklung gehören neben den sonstigen Seen Norddeutschlands vor allem die baltischen Seen: „Das Plankton tritt in der Oberfläche so stark auf, daß es als „Wasserblüte“ schleiergleich den See bedeckt, die Durchsichtigkeit stark herabmindert, am Ufer angetrieben als dichter Teppich die Wellen zur sanften Dünung abschwächt und die Farbe der Seen beherrscht“ (Wesenberg-Lund nach Merz l. c. S. 17). So werden die Transparenzminima, die die baltischen Seen im Sommer aufweisen, aus den gleichzeitig herrschenden Planktonmaxima wohl verständlich.

Auch für die subalpinen Seen, speziell den Genfer See und Bodensee, glaubte Forel (Handbuch der Seenkunde S. 145—146), die jahreszeitlichen Schwankungen der Transparenz „hauptsächlich der ungleichen Entwicklung des organischen Lebens“ zuschreiben zu können. Wo es sich um wirklich planktonreiche subalpine Seen handelt, mag diese Erklärung zureichend sein, im allgemeinen aber nicht. Denn im allgemeinen ist die Planktonentwicklung in den Voralpenseen eine geringe; so bemerkt auch Brutschy für den Zuger See (l. c. S. 60), daß das Plankton auf die Transparenz keinen Einfluß auszuüben scheine.

Hier in den subalpinen Seen tritt der zweite Faktor, der die Größe der Transparenz eines Sees beeinflußt, als causales Moment in den Vordergrund: die Menge der durch die Zuflüsse in den See geführten Schwebepartikelchen. Diese ist aber in einem Fluß oder Bach proportional der Wasserführung. In den Alpen und Voralpen ist die Wasserführung der Flüsse am geringsten, und damit der Wasserstand der Seen am niedrigsten im Winter; am größten, durch die Schnee- und Gletscherschmelze, im Sommer (Mai bis August)¹⁾. Damit wird aber auch die Menge der so in diese Seen eingeschwenkten suspendierten Teilchen im Hochsommer am größten, im Winter am kleinsten sein, und die beobachteten Transparenzminima und -maxima sind auf diese Weise wohl verständlich.

Ganz anders liegen jedoch die Verhältnisse bei den durch die Bäche der im Sommer eis- und schneefreien Mittelgebirge gespeisten Seen, von denen wir hier die westdeutschen Talsperren und die Eifelmaare behandeln.

Das Plankton der Talsperren ist, wie Schneider gezeigt hat²⁾, im allgemeinen ein quantitativ armes, und für die Eifelmaare haben unsere noch nicht veröffentlichten Untersuchungen dargetan, daß auch sie nur eine geringe Planktonentwicklung haben, wenigstens soweit es sich um die klareren, durchsichtigeren Eifelmaare handelt.

Hier tritt also, wie in den Alpenseen, die Trübung des Wassers durch anorganische Teilchen ebenfalls in den Vordergrund. Die größten Niederschläge aber fallen hier im Herbst und Winter sowie in den ersten Frühjahrsmonaten; sie trüben dann das Wasser, sei es durch die von Zuflüssen eingebrachten Schwebestoffe, sei es durch die von den steilen Ufern herabgespülten Erdmassen. Von nicht zu unterschätzendem Einfluß wird auch die um dieselbe Zeit besonders starke Wellenbewegung der

1) Die Ausführungen von Aufseß' (l. c. S. 40—41) gelten nur für alpine Seen.

2) Schneider, Das Plankton der westfälischen Talsperren des Sauerlandes. Archiv f. Hydrobiol. u. Planktonkunde VIII, 1912.

Maare sein, durch die sich die Litoralzone trübt — eine Trübung, die bei dem geringen Durchmesser dieser Eifelseen sich gewiß bis in die mittleren Teile der Seeoberfläche fortpflanzen kann. Das sommerliche Maximum der Durchsichtigkeit der Maare sowie das Sinken der Transparenz im Herbst, ihr Steigen im Frühjahr, erklärt sich also aus der geringen Quantität des Planktons und aus der jahreszeitlichen Verteilung der Niederschlagsmengen.

Indessen erscheint damit die überaus große Regelmäßigkeit, mit der im Sommer die Durchsichtigkeitskurve der Temperaturkurve (vgl. Kurventafel IV) folgt, noch keine ausreichende Erklärung zu finden. Hierfür möchte ich allerdings die thermische Stratifikation direkt verantwortlich machen, jedoch gerade im umgekehrten Sinne, als es Brutschy und Lozeron tun (vgl. oben S. 271).

Je höher die Temperatur im Sommer steigt, um so schärfer prägt sich die Temperaturschichtung in den oberen Lagen des Sees aus, d. h., um so stärker wird die durch die Temperaturschichtung hervorgerufene Stabilität der oberen Wassermassen, um so größere Ruhe herrscht dort. So erscheint mir die Zunahme der Transparenz mit der Zunahme der durch die thermische Stratifikation bedingten Ruhe in den oberen Schichten des Maares verständlich. Sobald aber die herbstliche Abkühlung beginnt, treten auch Konvektionsströmungen auf, deren Stärke mit der Stärke des Temperaturfalles zunimmt; parallel damit aber sinkt die Sichttiefe.

Kapitel II.

Vergleich der Thermik und Optik der verschiedenen Eifelmaare.**A. Thermik.**

Während uns vom Schalkenmehrener Maar regelmäßige, über mehr denn ein Jahr verteilte Temperaturserien vorlagen, wurden die übrigen Maare nur gelegentlich untersucht. Doch besitzen wir aus dem August 1910 und 1911, dem März 1912, dem Oktober 1912 sowie dem April 1913 jedesmal Messungen aus einer großen Zahl von Maaren; da im März 1912 noch typisch winterliche Verhältnisse herrschten, in den Augustmessungen Beobachtungen aus der Zeit der schärfsten Ausprägung der Sommerstagnation vorliegen und im Oktober 1912 schließlich schon die Abkühlung der Maare weit, wenn auch noch nicht bis zum Verschwinden der Sprungschicht, vorgeschritten war, so genügen die vorhandenen Messungen vollkommen, um ein Bild von den thermischen und optischen Verhältnissen der verschiedenen Maare zu geben und die vorhandenen Differenzen scharf hervortreten zu lassen.

Die Temperaturmessungen sind in den Tabellen 5—9 zusammengestellt; in Tabelle 10 fügen wir auch die aus dem Laacher See vorliegenden Temperaturmessungen hinzu, ohne jedoch diese weiter zu besprechen. Denn der Laacher See verhält sich seiner ganzen Lage nach doch wesentlich anders als die Eifelmaare, wurde auch bisher nicht so gründlich wie diese untersucht.

Auch die Halbfafßschen Temperaturserien vom Oktober 1896 sind in die Tabellen mit aufgenommen worden.

Ein Sternchen in den Tabellen bedeutet, daß in der betreffenden Tiefe der Maarboden erreicht wurde.

Tabelle 5. Temperaturmessungen im Pulvermaar.

Tiefe in m	13. X. 1896 10 h 45 — 11 h 50 a	9. VIII. 1910 9 h. a. m.	15. VIII. 11 1 h. p. m.	31. VIII. 11 3 h. a. m.	8. III. 12 10 h. a. m.	5. X. 12 8—9 h. a. m.	9. IV. 13 10—11 h. a. m.
	Halbfafs (Kipp- thermom.)	(Schöpf- flasche)	(Kipp- thermom.)	Dr. Schneider (Schöpf- flasche)	(Kipp- thermom.)	(Kipp- thermom.)	(Kipp- thermom.)
0	12,8	18	21,5	20,5	3,9	10,5	5,6
1	12,8	18,2	22,2	20,8	4	^{1/2 m = 10,6} 10,6	—
2	12,8	—	—	20,4	—	—	—
3	12,8	17,8	22,2	20,4	—	—	5,6
4	12,8	—	—	20,4	—	—	—
5	12,8	17,75	22,1	20,3	4,1	10,6	—
6	12,8	—	—	20,3	—	—	—
7	12,8	—	22,2	20,2	—	—	—
7,5	—	—	19,7	—	—	—	—
8	12,8	16,75	18,75	19,5	—	—	—
9	12,8	13,8	15,75	16,4	—	—	—
10	12,8	13,1	13,5	14,0	4,1	10,6	5,6
11	12,8	11,4	12,6	11,25	—	—	—
12	12,8	—	10,7	10,2	—	—	—
13	12,7	9,6	—	9,3	—	10,5	—
14	12,7	—	—	8,6	—	10,5	—
15	12,3	8,0	8,5	8,1	—	8,8	5,5
16	9,2	—	—	—	—	8,2	5,3
17	8,4	—	—	—	—	7,5	—
18	8,0	—	—	—	—	7,2	—
19	7,6	—	—	—	—	—	—
20	—	5,8	6,1	—	4,1	6,6	4,6
21	7,0	—	—	—	—	—	—
25	—	5,1	—	—	—	5,6	—
30	5,2	—	4,6	—	4,1	5,6	4,25
40	5,0	—	4,15	—	4,1	4,9	4,15
50	4,8	—	—	—	—	4,55	—
60	—	—	4,0	—	—	4,4	4,05
72	4,6	—	—	—	—	—	—
73	—	—	—	—	—	4,3	—
74	—	4,6*	—	—	3,9	—	4,05
Luft üb. d Wasser	6,5	8 h. a. m. 16	11 h. a. m. 17	3 h. p. m. 20	10 h. a. m. 0	8 h. a. m. —0,5	10 h. a. m. 3,5

Tabelle 6. Temperaturmessungen im Weinfelder Maar.

Tiefe in m	15. X. 1896	8. VIII. 1910	10. IV. 13
	12 ^h - 12 ^h 50 p. m. Halbfafs (Kipp- thermom.)	11 h. a. m. (Schöpf- flasche)	10 h. a. m. (Kipp- thermom.)
0	11,8	18,1	4,85
1	11,8	—	4,85
2	11,8	—	—
3	11,8	17,1	—
4	11,8	—	—
5	11,8	17,05	4,85
6	11,8	—	—
7	11,8	16,5	—
8	11,8	15,1	—
9	11,8	13,5	—
10	11,8	12,1	4,85
11	11,8	10,9	—
12	11,8	10,1	—
13	11,8	9,7	—
14	11,8	—	—
15	11,8	9	—
16	11,8	—	—
17	11,8	—	—
18	11,1	—	—
19	8,2	—	—
20	—	—	4,85
21	7,8	—	—
25	6,4	—	—
30	6,0	—	4,65
40	5,4	—	4,5
50	5,2	—	—
53	—	5,0*	4,25
Luft- tempe- ratur	7,5	3 h. p. m. 16,75	10 h. a. m. 1—1,5

Tabelle 7. Temperaturmessungen im Gemündener Maar.

Tiefe in m	11. X. 1896	11. VIII. 1910	12. VIII. 11	28. VIII. 11	29. VIII. 11	11. IV. 13
	10—11 ^h 10 a. m. Halbfafs (Kipp- thermom.)	9 h. a. m. (Schöpf- flasche)	2 h. p. m. (Kipp- thermom.)	4 h. p. m. Dr. Schneider (Schöpf- flasche)	4 h. a. m. Dr. Schneider (Schöpf- flasche)	12 h. m. (Kipp- thermom.)
0	13	18,3	—	21,3	20	6,25
0,5	—	—	23,25	—	—	—
1	13	18,5	23,25	20,75	20,5	6,25
2	13	—	23,1	21,3	20,45	—
3	13	18,2	23,0	20,75	20,4	—
4	13	—	23,0	20,55	20,4	—
5	12,9	18,0	22,75	20,5	20,38	6,2
6	12,9	17,7	20,5	20,45	20,38	—
7	12,9	16,1	18,75	18,8	18,4	—
7,5	—	—	16,0	—	—	—
8	12,8	13,1	14,7	15,2	15,1	—
9	12,8	11,7	12,8	12,8	12,2	—
9,5	—	—	11,4	—	—	—
10	12,8	10,2	10,4	10,5	10,3	6,2
11	12,7	8,75	9,6	9,3	9	5,3
12	11,4	8,0	8,4	8,45	8,1	5,1
12,5	—	—	7,8	—	—	—
13	9,2	—	7,8	7,75	7,7	—
14	8,4	—	7,1	7,1	7,4	—
15	7,8	6,25	7,0	6,9	7,0	4,9
17	7,0	—	5,9	—	—	—
20	5,9	5,25	5,3	—	—	4,6
25	5,1	—	4,6	—	—	—
30	^{27 m =} 4,8	—	4,5	—	—	4,35
38	—	4,6*	—	—	—	4,25
39	—	—	4,5*	—	—	—
Luft- tempe- ratur	10,0	16,5	—	27,6	13,2	1—1,5

Tabelle 8. Temperaturmessungen im Holzmaar.

Tiefe in m	13. X. 1896 4 ^h 30-5 ^h 20 p. m. Halbfafs (Kipp- thermom.)	9. VIII. 1910 5 h. p. m. (Schöpf- flasche)	15. VIII. 11 6 h. p. m. (Kipp- thermom.)	29. VIII. 12 6 h. p. m. Dr. Schneider (Schöpf- flasche)	5. X. 12 3-4 h. p. m. (Kipp- thermom.)	8. IV. 13 4 h. p. m. (Kipp- thermom.)
0	11,4	19,6	22,0	20,5	9,75	7,7
1	11,4	19,25	22,0	20,5	9,75	7,7
2	11,4	—	22,0	20,5	9,75	—
3	11,4	18,2	—	20,4	9,75	—
4	11,4	—	21,3	20,0	—	—
5	11,4	17,25	17,6	16,8	9,75	7,4
6	11,4	16,2	14,75	13,3	—	—
7	11,4	15,4	12,0	10,75	—	—
8	11,4	13,6	9,3	9,0	—	—
9	11,4	10,75	—	7,5	—	—
10	11,3	9,5	7,0	6,7	9,5	6,75
11	11,2	8,9	—	6,25	9,5	—
12	11,1	—	—	6,07	9,5	—
13	9,5	7,7	5,7*	5,9	7,75	—
14	8,8	—	—	5,85	7,0	—
15	8,6	6,8	—	5,85	7,0	5,4
18	8,2	6,25	—	—	*6,6	—
20	8,0	6,1*	—	—	—	5,2
21	8,0	—	—	—	—	—
Luft- tempe- ratur	8	5 h. p. m. 20	—	6 h. p. m. 19,50	3 h. p. m. 7	—

Tabelle 9. Temperaturmessungen im Meerfelder Maar.

Tiefe in m	14. X. 1896	14. VIII. 1911
	12 ^h 15 — 12 ^h 50 p. Halbfafs (Kipp- thermom.)	3 h. p. m. (Kipp- thermom.)
0	11,4	24
1	11,4	23,2
2	11,4	23
3	11,4	22,7
3,5	—	20,7
4	11,4	18,0
5	11,4	13,5
6	11,4	11,2
7	11,4	9,15
8	11,3	8,15
9	11,3	8,1
10	8,2	,3
11	—	—
12	7,4	7,0
13	—	—
14	—	6,1
15	6,8	—
16	—	5,9*
17	—	—
Luft- tempe- ratur	9,5	4 ¹ / ₂ h. p. m. 28

Tabelle 10. Temperaturmessungen im Laacher See.

Tiefe in m	Halbfafs (Kippthermometer)			16.VIII.1910	17. X. 10	23. X. 10	27. VI. 11
	6. X. 1896 3 ^h 45-4 ^h 45 p. m.	7. X. 1896 4 ^h 15-6 ^h p. m.	9. X. 1896 4 ^h 15-5 ^h 35 p. m.	9 h. a. m.	2 h. p. m.	2 h. p. m.	6. h. a. m.
				(Schöpf- flasche)	Voigt (Schöpf- flasche)	Voigt, Len- gersdorf (Schöpf- flasche)	(Kipp- thermom.)
0	13,4	13,2	13,7	18,1	13,4	12,25	15,5
1	13,4	13,2	13,4	18,75	13,4	12,20	15,7
2	13,4	13,3	13,2	—	—	—	15,7
3	13,3	13,2	13,3	18,5	13,4	12,2	—
4	13,3	13,2	13,3	—	13,4	—	15,7
5	13,3	13,2	13,2	18,3	13,4	12,2	15,7
6	13,3	13,2	13,2	—	13,3	—	—
7	13,3	13,2	13,2	18,25	13,3	12,2	15,7
8	13,3	13,2	13,2	18,25	13,3	—	15,4
9	13,3	13,1	13,2	18,1	13,3	12,2	14
10	13,3	13,1	13,2	16,2	13,3	12,2	12,1
11	13,3	13,1	13,1	13,6	13,3	12,2	9,9
12	13,3	13,1	13,0	11,6	13,25	12,2	8,4
13	13,3	13,1	13,0	10,3	12,9	12,2	8,0
14	13,3	13,1	13,0	9,1	10,3	10,2	—
15	11,9	13,0	13,0	8,6	9,7	8,6	7,1
16	11,9	11,4	12,4	—	9,5	8,1	—
17	9,0	9,2	11,4	—	9,3	7,6	—
18	7,7	8,5	8,3	—	8,8	7,6	—
19	7,3	7,8	7,6	—	—	7,5	—
20	21 m = 7,0	21 m = 7,5	21 m = 7,4	7,6	—	7,2	6,4
25	6,4	6,5	6,6	7,1	—	6,5	6,75
30	6,0	6,2	6,3	—	—	—	—
35	5,8	6,0	5,8	—	—	—	5,0
50	40 m = 5,4	40 m = 5,4 5,2	—	—	—	—	4,6*
53	—	—	—	5,7*	—	6,0*	—
Luft- tempe- ratur	—	15	17,5	9 h. a. m. 16	2 h. p. m. 13,6	2 h. p. m. 8,25	—

Zweierlei scheint mir vor allem an den eben gegebenen Tabellen von Interesse: die Schwankungen der Tiefentemperaturen in den verschiedenen Maaren sowie die Lage der Sprungschicht.

Wenn wir das Ulmener Maar, das durch die in seiner Tiefe entspringende Mineralquelle ja eine Sonderstellung einnimmt und in einem besonderen Kapitel behandelt werden soll, auch hier wieder ausscheiden, so können wir die von uns untersuchten Maare ihrer Maximaltiefe nach in zwei Gruppen teilen: die erste Gruppe umfaßt die tiefsten Maare:

- das Pulvermaar (74 m),
- das Weinfelder Maar (51 m),
- das Gemündener Maar (38 m);

die zweite die flacheren Maare:

- das Schalkenmehrener Maar (21 m),
- das Holzmaar (21 m),
- das Meerfelder Maar (17 m).

Bei den Maaren der Gruppe I wurden folgende Tiefentemperaturen beobachtet:

Pulvermaar:		Weinfelder Maar:	Gemündener Maar:
13. X. 1896	4,6° C.	15. X. 1896	5,2° C.
9.VIII.1910	4,6° „	8.VIII.1910	5,0° „
15.VIII.1911	4,0° „	10. IV. 1913	4,25° „
8. III. 1912	3,9° „		
5. X. 1812	4,3° „		
9. IV. 1913	4,05° „		
			11.VIII.1910 4,6° C.
			12.VIII.1911 4,5° „
			11. IV. 1913 4,25° „

Die maximale Erwärmung betrug also 5,2°, im Pulvermaar und Gemündener Maar sogar nur 4,6°; das Minimum betrug 3,9°, die Schwankungsamplitude der Tiefentemperaturen erreichte im Pulvermaar 0,7°, im Weinfelder 0,95°, im Gemündener sogar nur 0,35°, bei der ganzen Gruppe I 1,3° C.

Bei den Maaren der Gruppe II wurden folgende Tiefentemperaturen beobachtet --- für das Schalkenmehrener Maar vgl. Tabelle 3 auf S. 264 ---:

Holzmaar				Meerfelder Maar			
13.	X.	1896	8 ° C	14.	X.	1896	6,8° C
9.	VIII.	1910	6,1 „	14.	VIII.	1911	5,9 „
15.	VIII.	1911	5,7 „				
29.	VIII.	1911	5,85 „				
5.	X.	1912	6,6 „				
8.	IV.	1913	5,2 „				

Die maximale Erwärmung betrug also 8° C (im Holzmaar), das Temperaturminimum der Tiefe 2,5° (Schalkenmehrener Maar); die Schwankungsamplitude der Tiefentemperaturen betrug im Schalkenmehrener Maar 4° C, innerhalb der ganzen Gruppe 5,5° C.

Die beiden, nach ihren Tiefenverhältnissen unterschiedenen Maargruppen sind also auch in thermischer Beziehung scharf zu trennen; bei Gruppe I beträgt das Maximum der Tiefentemperaturen 5,2°, das Minimum 3,9°, die Schwankung also nur 1,3° C; bei Gruppe II beträgt dagegen das Maximum 8°, das Minimum 2,5°, die Schwankung also 5,5° C.

Die Ursache des verschiedenen Betrages der thermischen Schwankungen im Tiefenwasser der beiden Maargruppen ist natürlich einzig und allein die verschiedene Tiefe: denn *ceteris paribus* stehen die Tiefenlage einer Wasserschicht und die Größe der in ihr beobachteten jährlichen Temperaturschwankungen im umgekehrten Verhältnis zueinander.

Interessanter fällt ein Vergleich der Tiefe aus, in der die Sprungschicht in den verschiedenen Maaren im August 1910 und 1911 sowie im Oktober 1912 lag.

Auf Tabelle 11 (S. 283) sind Lage der Thermokline und Sprungschicht sowie die gleichzeitig beobachteten Sichttiefen angegeben.

Klarer werden die Verhältnisse noch durch die Kurventafeln V bis VII dargestellt. Wir ziehen jetzt auch das Ulmener Maar in den Kreis unserer Betrachtung, ohne jedoch die in den Kurven zum Ausdruck kommende

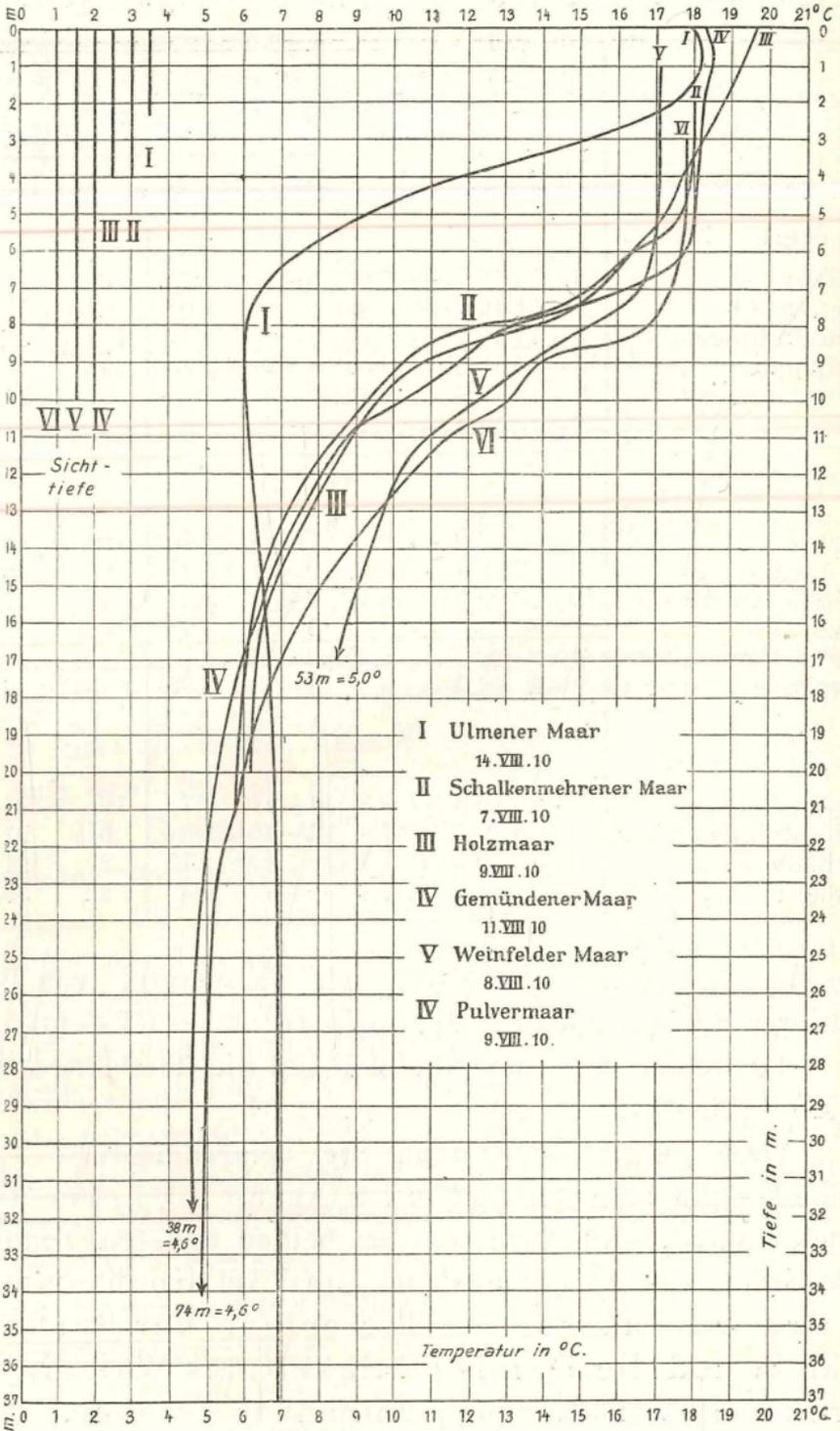
Tabelle 11. Thermokline und Sprungschicht.

Name des Maares; Zeit	Sprungschicht		Thermokline		Sichttiefe in m	Tiefe des Maares in m
	Tiefen- lage in m	Grenztem- peraturen in °C	Tiefen- lage in m	Betrag °C		
August 1910						
Pulver	8—13	16,75— 9,6	8—9	2,95	9	74
Weinfelder	7—11	16,5 —10,9	8—9	1,6	10	53
Gemündener	6—11	17,7 — 8,75	7—8	3,0	10	58
Holzmaar	5—10	17,25— 9,5	8—9	2,85	4	21
Schalkenmehrener	5—10	17,6 — 9,25	7—8	3,25	4	21
Ulmener	2—7	17,5 — 6,4	3—4	3,6	2,25	37
August 1911						
Pulver	7—12	22,2 —10,7	7—8	3,45	10	74
Gemündener	5—10	22,75—10,4	7—8	4,05	9	38
Schalkenmehrener	5—10	22,3 — 8,4	6—7	3,6	7	21
Holzmaar	4—8	21,3 — 9,3	4—5	3,7	3,5	21
Meerfelder	3—8	22,7 — 8,15	3—4	4,7	1,8	17
Ulmener	2—5	22,9 — 9,2	3—4	6,85	1,0	36
Oktober 1912						
Pulver	14—15	10,5 — 8,8	14—15	1,7	12	74
Schalkenmehrener	14—15	9,2 — 7,4	14—15	1,8	5	21
Holzmaar	12—13	9,5 — 7,75	12—13	1,75	2	21
Ulmener	6—7	9,5 — 7,1	6—7	2,4	2,2	35,5

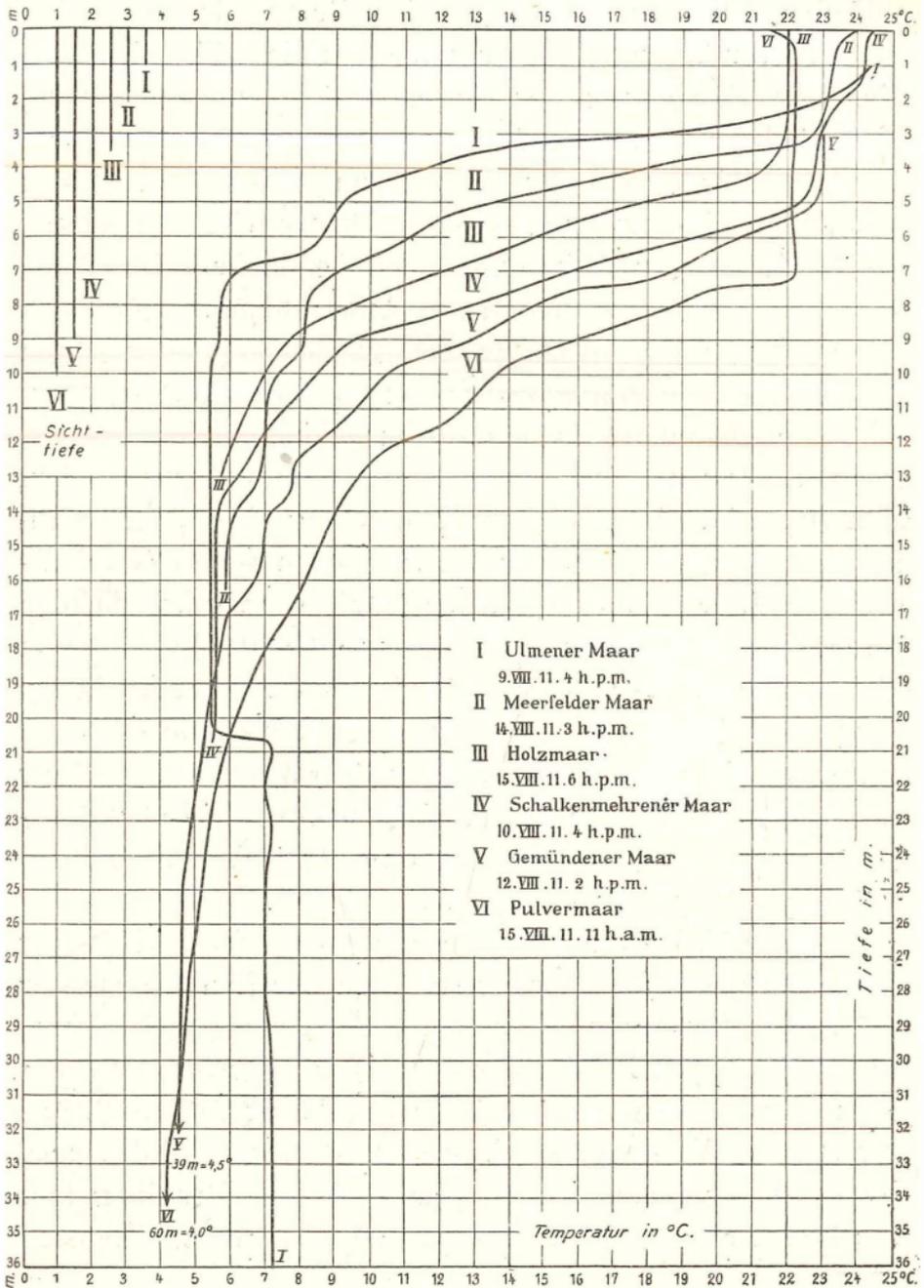
Temperaturanomalie (Erhöhung der Temperatur von den mittleren Schichten bis zur Maximaltiefe) zu berücksichtigen.

Es kommt uns ausschließlich auf die Tiefenlage der Sprungschicht an.

Dabei ergibt sich denn die bemerkenswerte Tatsache — die besonders schön im August 1911 zum Ausdruck kommt, aber auch bei den beiden anderen Temperaturserien klar zu erkennen ist, daß im Hochsommer in den Eifelmaaren die Tiefenlage der Sprungschicht und die Durchsichtigkeit des Wassers in direktem Verhältnis zueinander stehen. Je durchsichtiger ein Maar, um so tiefer liegt die Sprungschicht, je trüber ein Maar, um so höher liegt sie.



Kurventafel Nr. V. Thermik der Eifelmaare im August 1910.



Kurventafel Nr. VI. Thermik der Eifelmaare im August 1911.

Man kann wohl auch so formulieren: das Eindringen der Lichtstrahlung und der Wärmestrahlung in den verschiedenen Maaren steht in geradem Verhältnis zueinander.

Dieser Befund legt es nahe, zu den Theorien, die über die Entstehung der Sprungschicht aufgestellt sind, hier Stellung zu nehmen¹⁾.

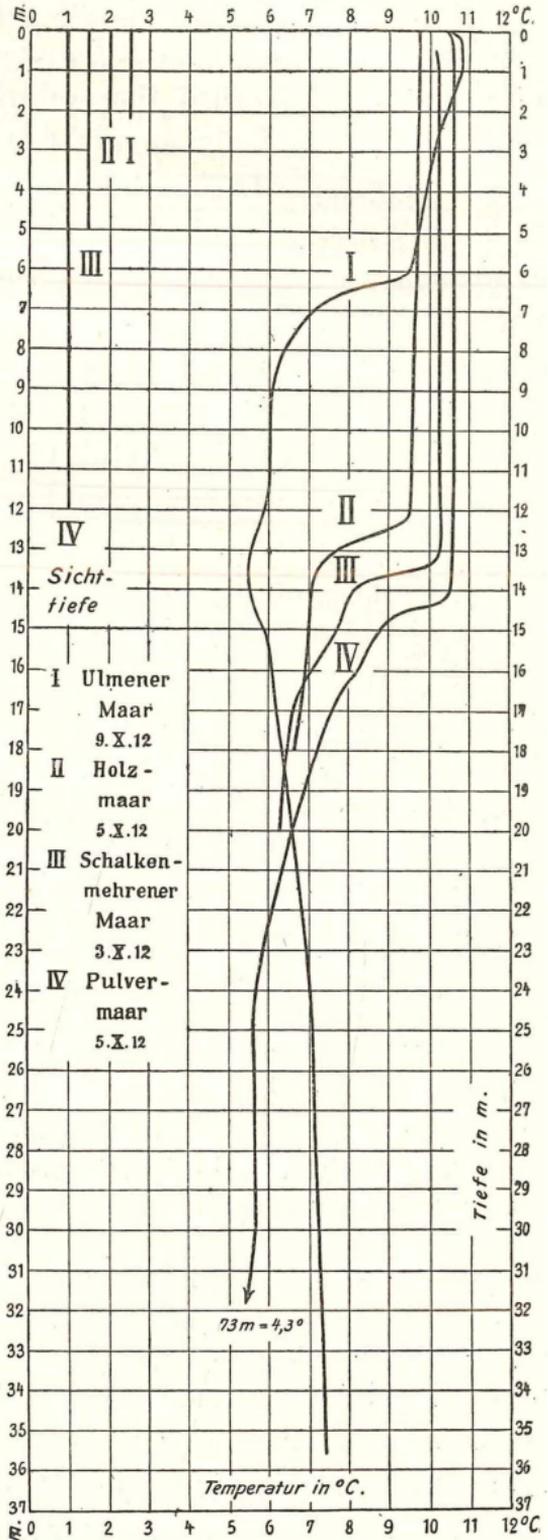
E. Richter, der die Sprungschicht bei seinen bekannten Untersuchungen im Wörther See entdeckte, führte sie auf die Abkühlung der Oberfläche zurück, die vor allem durch die nächtliche Ausstrahlung, aber auch durch eine längere Kälteperiode im Sommer oder durch die allgemeine Temperaturabnahme im Herbst herbeigeführt wird. So entstehen in den oberen Schichten Konvektionsströme: „Die auf- und absteigenden Teilchen vermischen sich so innig, daß sie eine gleichmäßige Temperatur annehmen. Diese ist an der oberen Grenze der Zirkulationsschicht tiefer als die Temperatur des vorübergehenden Tages, an der unteren aber höher und statt der früheren gleichmäßigen Abnahme findet nun ein Sprung statt“ (Supan, Grundzüge der physischen Erdkunde, 4. Auflage, Leipzig 1908, S. 337). Das Charakteristische dieser Erklärung ist dies, „daß die Konvektion die Temperatur an der unteren Grenze dieser Bewegung erhöhe“ (Merz 1911 l. c. S. 1).

Die Tiefenlage der Sprungschicht ist bei dieser Auffassung bedingt „durch die Tiefe des Eindringens der Wärmeentwicklung“, allerdings nicht „einzig und allein“, wie von Aufseß (Die physikalischen Eigenschaften der Seen S. 100) schreibt. Denn sehr richtig führen Brönsted und Wesenberg-Lund (l. c. S. 263—264) aus, „eine Sprungschicht würde, wenn nur die Strahlung hier von Bedeutung wäre, überhaupt nicht auftreten. Nehmen

1) Vgl. hierzu Brönsted und Wesenberg-Lund, l. c. S. 263—265. — Merz, Die Sprungschicht der Seen. Mit. Ver. d. Geogr. Universität Leipzig, 1911, Sep., S. 1—13. — Wedderburn, zitiert nach Merz, Die schottische Seenforschung. Zeitschr. d. Ges. f. Erdkunde. Berlin 1912, Sep., S. 1—31.

wir an, daß eine Wasserschicht von 1 m den Bruchteil x von der in die Schicht eintretenden Strahlung absorbiert, dann wird in der Tiefe n Meter die Absorption von 1 m durch den Ausdruck $x(1-x)^{n-1}$ bestimmt werden; die aufgenommene Wärmemenge und somit die Temperatursteigerung wird also mit steigender Tiefe stetig abnehmen, und die Temperaturtiefenkurve¹⁾ würde in diesem Falle ohne Andeutung von einem Inflexionspunkte, das heißt ohne Andeutung von Sprungschicht, verlaufen. Das Auftreten einer solchen wird erst ermöglicht, wenn die oberen Schichten durch irgendwelche Faktoren in Zirkulation gesetzt werden.“

1) „Eine nach unten konvexe, hyperbolische Kurve“ (Hergesell u. Langenbeck nach Merz 1911 S. 3).



Kurventafel Nr. VII. Thermik der Eifelmaare im Oktober 1912.

Gegen die Richtersche Erklärung wendet Merz (1911, S. 2) ein, daß Konvektion eine Temperaturerhöhung an der unteren Grenze ihrer Wirkung nicht herbeiführen könne, da ja die Teilchen nicht tiefer hinabsinken können, als es ihrem spezifischen Gewicht entspricht, d. h. nur bis zu einer Wasserschicht mit gleicher Temperatur. „Aber“, so bemerkt er weiter, „das Auftreten der nächtlichen Konvektion führt auch dann, wenn wir von einer Erwärmung an der unteren Konvektionsgrenze absehen, zur Entstehung einer Sprungschicht, wenngleich in anderer Weise, als Richter ausgeführt hat.“

Die Wärmestrahlung im Frühling wird vom Wasser absorbiert, an der Oberfläche am stärksten, mit der Tiefenzunahme stetig und rasch vermindert (vgl. Brönsted und Wesenberg-Lunds Formel). Die Abkühlung der Nacht wird aber nur einen Teil der zugeführten Wärme wieder wegnehmen, da die Wärmeabgabe im Frühling und Sommer im allgemeinen ja von der Wärmezufuhr übertroffen wird. Durch die Abkühlung „werden in der Tat Konvektionsströme erzeugt, die zur Ausbildung einer homothermen Schichte führen, deren Mächtigkeit vom Ausmaße der Oberflächenabkühlung und von dem durch die Einstrahlung erzeugten vertikalen Temperaturgefälle abhängt. An der unteren Begrenzungsfläche wird aber nach unserer obigen Ausführung die Temperatur nicht verändert; nur oberhalb tritt eine Änderung, und zwar ausnahmslos eine Abnahme der Temperatur (sc. gegenüber der Temperatur des vorhergehenden Tages, Th.) ein“ (Merz l. c. S. 3). „Der durch die Strahlung erzeugte Verlauf der Temperaturkurve unterhalb der durch Konvektion gebildeten homothermen Schichte bleibt unberührt.“ Am folgenden Tage wird in der homothermen Deckschicht durch die Einstrahlung wieder das Temperaturgefälle entstehen, nur werden die Temperaturen etwas höhere sein; dann tritt die Wirkung der nächtlichen Konvektion wie vorher ein. „Unterhalb dieser Schicht wird dagegen die

erneute Zustrahlung das noch vom Vortage vorhandene, durch Konvektion nicht gestörte Temperaturgefälle verschärfen, und zwar in einem mit der Tiefe abnehmenden Betrage.“

So steigt „die Temperatur der Oberschicht (in der sich die nächtliche Konvektion abspielt) allmählich an, jedoch nur an ihrer unteren Grenze um den vollen Betrag, der sich aus der Summierung der täglichen Einstrahlung ergibt; denn nur hier tritt eine Verminderung der Wärme durch Konvektion nicht ein. Dagegen bleibt die Temperatur mit Annäherung an die Oberfläche immer mehr hinter dem Betrage zurück, den die Summierung der täglichen Wärmezufuhr ergibt. Die Ursache ist die nächtliche Konvektion.“

So ergibt sich nach Merz die folgende Erklärung:

„1. Die Sprungschicht entsteht durch Verschärfung des Temperaturgefälles **unterhalb** der Grenze der nächtlichen Konvektion infolge der ungestörten, andauernden Wirkung der Einstrahlung.“

„2. Eine Tieferlegung der Sprungschicht erfolgt nur während einer längeren Kälteperiode und im Herbst, wenn die Ausstrahlung die Einstrahlung übersteigt. Denn nur dann kann eine immer mächtigere Wasserschicht in die Konvektion einbezogen werden.“

Weiter schließt Merz aus dem Vorhergehenden, „daß im Frühling auftretende Sprungschichten häufig tiefer liegen und weniger ausgebildet sein werden als sommerliche. Denn im Frühling übertrifft die Einstrahlung die Ausstrahlung noch nicht so stark als im Sommer; daher wird die nächtliche Abkühlung eine homotherme Deckschicht von größerer Mächtigkeit schaffen.“

Ehe wir eine weitere zum Verständnis der Sprungschicht und ihrer jährlichen Wanderung aufgestellte Theorie betrachten, wollen wir untersuchen, ob sich in unseren Beobachtungen in den Eifelmaaren Bestätigungen der Merzschen Anschauungen finden.

Aus den Messungen im Schalkenmehrener Maar geht hervor, daß im Jahre 1911 das typische Herabsinken der Sprungschicht erst nach Eintritt der herbstlichen Abkühlung beginnt (vgl. Kurventafel I S. 259 sowie Tabelle 2 S. 302b). Und zwar folgt das Herabsinken der Thermokline ganz präzise der zwischen dem 10. und 30. VIII. 1911 einsetzenden Abkühlung. Dies steht durchaus mit der Merzschen Theorie im Einklang.

Die Messung vom 13. V. 11 zeigt fernerhin die eine der Thermoklinen, und zwar die schärfste, zwischen 7 und 8 m, während später, bis zum 10. August, die Thermokline einen Meter höher liegt. Auch das ist im Sinne Merz' wohl zu erklären.

Aber die Messungen von Mai und Juni 1912 lassen erkennen, daß sich doch nicht alle Erscheinungen der Sprungschicht nur mit Hilfe der bis jetzt entwickelten Theorien verstehen lassen. Denn hier ist ein deutliches Hinabsinken der Sprungschicht gleichzeitig mit einer Erwärmung der oberen Wasserschichten festgestellt. Es müssen also noch andere Faktoren neben der Konvektion die Sprungschicht maßgebend beeinflussen.

Nach der Annahme der neueren Hydrographen (Wedderburn, Merz, Brönsted und Wesenberg-Lund) sind dies vor allem die Wellenbewegung und die vom Winde erzeugten Zirkulationsströmungen.

Durch die Wellenwirkung werden die Wassermassen im Gebiete dieser Wirkung gemischt. Ist nun überhaupt ein vertikales Temperaturgefälle vorhanden, so kann die Wellenwirkung durch die Mischung der Oberschichten sehr wohl allein schon eine Sprungschicht erzeugen, und ist eine Sprungschicht schon vorhanden, so kann diese durch die Wellenwirkung tiefer gelegt werden. Merz hat hierfür (cfr. 1911 S. 7) ein schönes Beispiel beigebracht. Diese mischende Wirkung der Wellen hängt von deren Dimensionen, diese wiederum von der Stärke

und Dauer des Windes und von der Größe des Seebeckens ab. Bei solch kleinen Seen, wie es die Eifelmaare sind, kann diese Wirkung des Seeganges nicht hoch eingeschätzt werden.

Wichtiger werden im allgemeinen die durch den Windstau hervorgerufenen Zirkulationsströmungen sein. Weht der Wind über einem See längere Zeit in derselben Richtung, so entsteht ein Oberflächenstrom in der Windrichtung. Das Wasser wird an dem einen Seende aufgestaut; der Überdruck führt von dort Oberflächenwasser in die Tiefe, es entsteht ein dem ersten entgegengerichteter Unterstrom, der an dem anderen Seende wiederum Tiefenwasser nach oben bringt; die Isothermenflächen werden so schräg gestellt in der Richtung des Windes. Ist die ganze Wassersäule ungeschichtet oder das vertikale Temperaturgefälle ein geringes und stetiges, so kann diese Zirkulation bis in die größten Tiefen wirken. Ist eine Sprungschicht vorhanden, so wirkt sie nur bis zu dieser; der Rückstrom läuft auf der oberen Seite der Sprungschicht; dieses Zirkulationssystem aber löst ein sekundäres, schwächeres in der Tiefe aus, das dem ersten entgegengesetzt ist. Das erste führt im Frühjahr und Sommer warmes Wasser nach unten, bis zur Sprungschicht, das zweite kaltes nach oben bis unter die Sprungschicht und so wirken diese Zirkulationsströmungen im Frühjahr gemeinsam mit der Konvektion verschärfend auf die Sprungschicht. Und im Herbst, wenn die Oberschichten sich abkühlen, arbeiten sie gemeinsam mit der Konvektion an der Tieferlegung und Vernichtung der Sprungschicht (Merz).

Welcher Faktor ist nun der ausschlaggebende für die Thermik der Eifelmaare? Zirkulation? Konvektion?, oder wirken sie beide in unserm Untersuchungsgebiet gleichmäßig?

Einen schönen Gedankengang hat Merz kürzlich entwickelt (1912. l. c. S. 15—16). „Die Theorien über die Entstehung der Sprungschicht geben ein lehrreiches

Beispiel, wie die Entwicklung bestimmter Lehrmeinungen geographisch bedingt ist. Die „Konvektionstheorie“ ist in den Alpen aufgestellt und begründet worden, wo die Seen in windgeschützten Tälern ruhen und die große Amplitude der Tages- und Jahrestemperatur die Konvektion zur kräftigsten Entwicklung gelangen läßt. Der in der kontinentalsten Landschaft der Alpen, im Klagenfurter Becken, gelegene Wörther-See, der sommerlich wärmste aller alpinen Seen, war das klassische Arbeitsfeld, wo diese Auffassung gewonnen wurde. Die „Zirkulationstheorie“ wurde in nordischen Ländern entwickelt, wo bei hoher Bewölkung und im maritimen Klima alle Temperaturschwankungen nur gering sind, dagegen häufig die Stürme wandernder Zyklone über das Land hinbrausen. Der in der herrschenden Windrichtung langgestreckte, im Glen-More, einer idealen Zugstraße heftiger Winde gelegene Loch Ness, ist klassisch geworden für ihren Gedankengang, und voll aufgenommen wurde sie in Gebieten, wo ungeschützte Seen häufigen Stürmen preisgegeben sind (Wisconsin, Dänemark).

Diese Tatsachen deuten an, daß wir der Natur nicht ganz gerecht werden, wenn wir einheitlich eine Auffassung auf die verschiedensten Gebiete anwenden. Vielmehr muß von Fall zu Fall auf Grund von Beobachtungen entschieden werden, ob Windströmungen oder Konvektion an der Entwicklung der Sprungschicht mehr beteiligt sind.“

Unsere Eifelbeobachtungen zeigen, was ja eigentlich von vornherein zu erwarten war, daß für die Entstehung und Entwicklung der Sprungschicht in den Eifelmaaren dem Winde nur eine sekundäre Rolle zugesprochen werden kann, daß vielmehr hier Konvektion der ausschlaggebende Faktor ist.

Daß der Wind hier auch seine Wirkung entfalten muß, haben wir aus dem Hinabsinken der Sprungschicht des Schalkenmehrener Maares im Frühsommer 1912 geschlossen. Im heißen, ruhigen Sommer 1911 war von

einer solchen Windwirkung nichts zu verspüren¹⁾. Die in den oft allseitig geschlossenen Kratern gelegenen Eifelmaare können ja auch der Wirkung der Winde kaum in hohem Maße ausgesetzt sein.

Bei den thermischen Verhältnissen, wie sie im August 1910 in den verschiedenen Maaren festgestellt wurden (vgl. Tabelle 11 und Kurventafel V), bei denen sich die Abhängigkeit der Tiefenlage der Sprungschicht von der Sichttiefe nicht so schön ausprägte, wie im August 1911, mag vielleicht auch noch Windwirkung im Spiele gewesen sein. Ganz ausscheiden aber muß diese bei den in Kurventafel VI (Tabelle 11) dargestellten Verhältnissen des Augusts 1911 werden. Hier konnte — ebenso wie auch schon im August 1910 und später im Oktober 1912 — festgestellt werden (vgl. oben S. 283), daß im Hochsommer in den Eifelmaaren die Tiefenlage der Sprungschicht und die Durchsichtigkeit des Wassers in direktem Verhältnis zueinander stehen. Je durchsichtiger ein Maar, um so tiefer liegt die Sprungschicht, je trüber ein Maar, um so höher liegt sie.

Wie ist das zu verstehen?

Von vornherein ließe sich ja daran denken, daß in benachbarten Seen gleichzeitig beobachtete Verschiedenheit der Tiefenlage der Sprungschicht auf verschiedene Höhenlage der Seen zurückzuführen sei, aber irgendwelche Beziehung zwischen Meereshöhe der Maare (vgl. die Tabelle auf S. 283 und 257) und der Lage der Sprungschicht ist nicht nachzuweisen.

Die hier beobachtete Gesetzmäßigkeit zwischen dem Eindringen der Lichtstrahlung und der Tiefenlage der

1) Überhaupt spricht die große Gleichmäßigkeit der Sommer-Temperaturkurven, wie sie in den Eifelmaaren und analog in den meisten Alpenseen festgestellt wurde — im Gegensatz z. B. zu Wesenberg-Lunds für den Fursee gegebenen Kurven (l. c. p. 261) wohl stets für ein Vorherrschen der Konvektion als maßgebenden Faktors.

Sprungschicht ist im Rahmen der Konvektionstheorie wohl verständlich. Ist doch die Lage der Sprungschicht nach ihr abhängig von der Tiefe des Eindringens der Wärmestrahlung; das Eindringen von Wärme- und Lichtstrahlung aber in einem See steht in direktem Verhältnis zueinander.

Der Zusammenhang von Sichttiefe und Lage der Sprungschicht in den Eifelmaaren beweist, daß der jährliche Verlauf der Temperaturschichtung in den Maaren der Eifel in erster Linie durch die Konvektion geregelt wird.

B. Optik.

Auf Grund der thermischen Verhältnisse, insbesondere der Schwankungen der Tiefentemperatur, konnten wir (vgl. oben S. 282) bei den von uns untersuchten Maaren drei Gruppen unterscheiden, und die optischen Verhältnisse zeigen, wie berechtigt diese Einteilung ist. (Vgl. Tabelle 12 bis 14.)

Gruppe I: Pulvermaar, Weinfelder Maar, Gemündener Maar; diesen schließt sich der Laacher See an.

Die Farbe dieser Maare ist ein „Meergrün“, also ein bläuliches Grün (mit nur geringem Stich ins Gelbliche). Nach der Forel-Ule-Skala schwankt die Farbe zwischen VI und X¹⁾. Im Pulvermaar schwankte die Farbe zwischen VI und IX, im Gemündener Maar zwischen VIII und X, im Weinfelder Maar zwischen VII und IX, im Laacher See zwischen VII und VIII. Beziehungen zwischen Färbung und Jahreszeit der Beobachtung ließen sich wegen der geringen Anzahl der Beobachtungen hier wie bei den anderen Gruppen nicht sicher auffinden.

1) Die von Halbfuß festgestellten Werte, die fast durchweg niedriger sind, also blau grünere Färbung bedeuten, werden hier nicht berücksichtigt, da die Verschiedenheit von unseren Messungen vielleicht auf der Methode beruhen.

Tabelle 12. Sichttiefe und Farbe der Maare der Gruppe I (sowie des Laacher Sees).

Name	Datum	Sichttiefe in m	Farbe (Forel-Ule- Skala)
Pulvermaar (74 m)	13. X. 96 (Halbfaß)	8,5	IV
	9. VIII. 10	9	VII
	15. VIII. 11	10	VII—VI
	9. III. 12	12	VIII—IX
	5. X. 12	12	VIII
	9. IV. 13	10	VIII—IX
Weinfelder Maar (51 m)	15. X. 96 (Halbfaß)	9	III—IV
	8. VIII. 10	10	VII
	10. IV. 13	10	IX
Gemündener Maar (38 m)	11. X. 96 (Halbfaß)	7	VI
	11. VIII. 10	10	IX
	12. VIII. 11	9	IX
	7. III. 12	mehr als 5	VIII
	4. X. 12	mehr als 7	IX
	11. IV. 13	8	X
Laacher See (53 m)	6. X. 96 } Halbfaß	5,5	IV
	9. X. 96 }	6	IV
	13. II. 10	10	VIII
	15. VIII. 10	10,5	VII
	17. X. 10	7,75	
	23. X. 10	7,5	VIII
	27. VI. 11	8	

Die Sichttiefe schwankte zwischen 5,5 und 12 m. (Pulvermaar 8,5 bis 12 m; Gemündener Maar etwa 7 bis 10 m; Laacher See 5,5 bis 10,5 m.)

Gruppe II: Schalkenmehrener Maar, Holzmaar, Meerfelder Maar.

Die Farbe dieser Maare ist ein gelbliches Grün mit mehr oder weniger starker Beimischung eines braunen Tones; Forel-Ule-Skala XI bis XVII; Schalkenmehrener Maar XI bis XIII; Holzmaar XII bis XVI, Meerfelder Maar XVI bis XVII. Diese Maare bilden also eine Reihe mit immer bräunlicherem Wasser. Die Sichttiefe schwankt zwischen 1,25 und 7 m; Schalkenmehrener Maar 2,75 bis

Tabelle 13. Sichttiefe und Farbe in den Maaren der Gruppe II.

Name	Datum	Sichttiefe in m	Farbe (Forel-Ule- Skala)
Schalkenmeh- rener Maar (21 m) (vergl. hierzu auch Tab. 4 auf S. 268 und Kurventaf. IV)	11. X. 96 (Halbfaß)	4	VIII
	7. VIII. 10	4	XIII
	10. VIII. 11	7	XI
	7. III. 11	3,6	XI
	3. X. 12	5	XII
	5. IV. 13	4,5	XI—XII
Holzmaar (21 m)	13. X. 96 (Halbfaß)	1,75	XVIII
	9. VIII. 10	4	XIII
	15. VIII. 11	3,5	XIII—XIV
	5. X. 12	2	XV—XVI
	8. IV. 13	4	XII—XIII
Meerfelder Maar (17 m)	14. X. 96 (Halbfaß)	1,25	XV
	14. VIII. 11	1,8	XVI—XVII

Tabelle 14. Sichttiefe und Farbe des Ulmener Maares (37 m).

Datum	Sichttiefe in m	Farbe ¹⁾ (Forel-Ule- Skala)
14. VIII. 1910	2,25	XVII—XVIII
8. VIII. 1911	1,0	XVI
5. III. 1912	3 ²⁾	XVI
2. X. 1912	2,2	XVII
5. IV. 1913	3	XVII

1) Das Braun des Ulmener Maares enthält mehr Gelb, als in den betreffenden Nummern der Forel-Ule-Skala vorhanden ist.

2) Am Zufluß (Regengüsse!) 0,4 m.

7 m, Holzmaar 1,75 bis 4 m, Meerfelder Maar 1,25 bis 1,8 m; also eine Reihe mit immer abnehmender Durchsichtigkeit.

Die Maare der Gruppe I zeigen demnach in optischer Beziehung eine größere Gleichförmigkeit als die Maare der Gruppe II.

Gruppe III: Das Ulmener Maar, dem seine Thermik eine Sonderstellung einräumt, schließt sich in optischer Hinsicht eng an das Meerfelder Maar an. Seine Farbe ist ein Braungrün mit starker Beimischung eines gelben Tones; der grüne Ton ist sehr wenig entwickelt. Forel-Ule-Skala XVI bis XVIII; Sichttiefe 1 bis 3 m.

Aufseß (die physikalischen Eigenschaften der Seen S. 89) teilt die Seen nach ihrer Farbe in vier Gruppen ein:

1. Gruppe: Blau wird nicht absorbiert; Farbe: blau.
2. Gruppe: Blau wird schwach absorbiert; Farbe: grün.
3. Gruppe: Blau wird stark absorbiert; Farbe: gelblich-grün.
4. Gruppe: Blau wird vollständig absorbiert; Farbe: gelb oder braun.

Unsere Maare des Typus I gehören zur zweiten Gruppe nach Aufseß; die des Typus II zur Gruppe 3 und bilden hier eine Reihe, deren Ende sich der Gruppe 4 schon stark nähert; Typus III (und vielleicht auch schon das Meerfelder Maar) kann man zur Gruppe 4 rechnen.

Die Wasserfarbe wird zum großen Teil bedingt durch die im Wasser gelösten organischen Stoffe, die in natürlichen, nicht verunreinigten Gewässern Humussubstanzen sind. Chemisch reines Wasser ist — in großen Schichten — blau; je mehr Humusstoffe im Wasser gelöst sind, um so mehr geht der blaue Ton durch blaugrüne, grüne und gelbgrüne Farben in einen braunen über.

Es wird also eine Beziehung bestehen zwischen der Farbe eines Gewässers und der Menge der gelösten organischen Stoffe (die durch den zur Oxydation dieser Stoffe verbrauchten Sauerstoff oder den Permanganatverbrauch bestimmt wird).

Kolkwitz¹⁾ gibt an, daß der Permanganatverbrauch grüner Seen (d. h. der Seen der Aufseßschen zweiten und dritten Gruppe) „etwa 14 mg meist nicht übersteigen dürfte“. Außerdem pflegen nach ihm „zwischen Permanganatverbrauch, Sichtscheibenbestimmung und Planktonmenge normalerweise enge Beziehungen zu bestehen“. Je mehr organische Stoffe ein natürliches Wasser gelöst enthält, um so mehr weist es grünlich-braune Töne auf, um so stärker pflegt die Planktonentwicklung, um so geringer die Sichttiefe zu sein.

Dieser Zusammenhang zeigte sich schön in den Eifelmaaren bei der Augustuntersuchung 1910. Natürlich können hier nur gleichzeitig und unter denselben Bedingungen angestellte Beobachtungen verglichen werden, da ja all die genannten Faktoren im Laufe des Jahres veränderlich sind:

Tabelle 15.

	Farbe	Sichttiefe	Sauerstoffverbrauch in mg pro Liter
Weinfelder Maar (53 m)	VII	10	3,0
Pulvermaar (74 m)	VII	9	3,9 ²⁾
Gemündener Maar (38 m) . . .	IX	10	2,4
Schalkenmehrener Maar (21 m)	XIII	4	2,6
Holzmaar (21 m)	XIII	4	2,9
Ulmener Maar (37 m)	XVII—XVIII	2,25	6,1

1) Kolkwitz, Die Farbe der Seen und Meere. Deutsche Vierteljahrsschrift für öffentliche Gesundheitspflege, **42**, 1910, Heft 2.

2) Die Bestimmung des Sauerstoffverbrauches wurde in dem gleich an Ort und Stelle durch Filtration vom Plankton befreiten Wasser vorgenommen. Der Wert für das Pulvermaar ist sicher zu hoch, da die Probe, im Gegensatz zu den anderen, ziemlich nahe am Ufer genommen wurde. Wie stark Ufernähe auf die Menge der organischen Substanzen im Wasser einwirkt, geht auch aus einer Angabe Brutschys (l. c. p. 61) hervor.

Die auffallend braune Farbe des Ulmener Maares fällt hier mit ganz geringer Sichttiefe und hohem Sauerstoffverbrauch zusammen; die Unterschiede, die die Maare der Gruppen I und II in optischer Beziehung zeigen, prägen sich allerdings nicht in der Bestimmung des Sauerstoffverbrauches aus; um diese nachweisen zu können, müßten zahlreichere chemische Analysen vorhanden sein. Blaue Seen der Aufseßschen Gruppe I, wie der Genfer See, haben nach Kolkwitz einen Maximal-Permanganatverbrauch von etwa 3 mg; das entspricht einem Sauerstoffverbrauch von weniger als 1 mg; grüne Seen (Aufseß' Gruppe 2 und 3) verbrauchen im Maximum 14 mg Permanganat = 3,5 mg Sauerstoff. Die Beobachtungen in den Eifelmaaren zeigen die Richtigkeit dieser Grenzwerte.

Inwiefern auch die Planktonmengen in den einzelnen Maaren mit den hier gegebenen Zahlen in Beziehung stehen, kann erst die Untersuchung der quantitativen Planktonproben dartun.

Die Färbung der Planktonten scheint auf die Färbung der Maarwässer von viel geringerem Einfluß zu sein, als die durch die Menge der Humusstoffe bewirkte Eigenfarbe der Wässer.

Sicher aber besteht noch eine weitere Beziehung: nämlich zwischen der Tiefe der Maare und ihrer Eigenfarbe, oder m. a. W. zwischen der Tiefe der Maare und der Menge der in ihrem Wasser gelösten organischen Stoffe.

Aus den Tabellen 12 bis 15 geht hervor, daß im großen und ganzen die Farbe der Maare um so stärkere braune Töne erhält, je flacher die Maare sind; eine Ausnahmestellung scheint nur das Ulmener Maar einzunehmen; in diesem aber wird die Tiefe bis etwa 20 bis 15 m unter der Oberfläche von einem salzreichen, kohlenensäurehaltigen, azoischen Quellwasser erfüllt; nur die oberen Schichten lassen sich mit der Wassermasse der anderen Maare vergleichen, und so verhält sich das Ulmener Maar in optischer Beziehung so, als wären die Tiefenschichten überhaupt nicht vorhanden, als hätte es nur eine Maximaltiefe von 15 bis 20 m.

Ist diese Beziehung zwischen Menge der organischen Stoffe und Tiefe der Maare verständlich?

Die die Wasserfärbung beeinflussenden organischen Stoffe sind Humussubstanzen; diese aber werden nicht etwa von den im Wasser schwebenden planktonischen Pflanzen oder den Wassertieren gebildet, können auch nicht aus dem anstehenden Gestein ausgelaugt werden. Sie stammen aus den in den Uferpartien eines Sees sich zersetzenden Pflanzenteilen. Es müssen also in den flacheren Maaren im Verhältnis zur Wassermenge mehr Humusstoffe ausgelaugt und dem Wasser zugeführt werden, als in den tieferen. In den flachen Maaren ist die Wassermenge, die ihre auslaugende Wirkung auf die Ufer ausüben kann und die sich zur Zeit der Vollzirkulation mit den tieferen Wasserschichten mischt, im Verhältnis zu diesen, das Ufer direkt nicht angreifenden Tiefenwässern, größer, als — unter im übrigen gleichen Bedingungen — in den tieferen Maaren. Dazu kommt noch, daß in den Maaren der Gruppe I der Abfall der Uferländer ein ganz bedeutend steilerer ist, als bei den Maaren der Gruppe II. Daß also im allgemeinen der Wassermasse der tieferen Maare weniger Humusstoffe zugeführt werden, als der der flacheren, ist erklärlich.

Zusammenfassung der Hauptergebnisse.

1. Auf Grund ihrer thermischen und optischen Verhältnisse lassen sich die von uns untersuchten Eifelmaare in drei Gruppen einteilen:
 - I. Gruppe der tieferen Maare (Pulvermaar 74 m; Weinfelder Maar 51 m, Gemündener Maar 38 m). Farbe meergrün (Forel-Ule-Skala VI bis X). Sichttiefe 5,5 bis 12 m. Tiefentemperaturen: Maximum 5,2° C, Minimum 3,9° C, Schwankungsamplitude 1,3° C.

II. Gruppe der flacheren Maare (Schalkenmehrener Maar 21 m; Holzmaar 21 m; Meerfelder Maar 17 m). Farbe gelbgrün bis braungrün (Forel-Ule-Skala XI bis XVII). Sichttiefe 1,25 bis 7 m. Tiefentemperaturen: Maximum 8°C , Minimum $2,5^{\circ}\text{C}$, Schwankungsamplitude $5,5^{\circ}\text{C}$.

III. Das Ulmener Maar (37 m) nimmt durch die in seiner Tiefe entspringende Mineralquelle eine Sonderstellung ein. In optischer Beziehung schließt er sich an das Meerfelder Maar an: Farbe braungrün mit starker Beimischung von Gelb (etwa XVI bis XVIII der Forel-Ule Skala). Sichttiefe 1 bis 3 m. Seine Thermik wird in Teil II dieser Untersuchungen gesondert behandelt werden.

2. Im Hochsommer steht die Tiefenlage der Sprungschicht und die Sichttiefe in den verschiedenen Maaren in direktem Verhältnis zueinander. Je durchsichtiger ein Maar, um so tiefer liegt die Sprungschicht, je trüber ein Maar, um so höher liegt sie. Dieser Zusammenhang von Sichttiefe und Lage der Sprungschicht in den Eifelmaaren beweist, daß der jährliche Verlauf der Temperaturschichtung in den Maaren der Eifel in erster Linie durch Konvektionsströmungen, nicht durch Zirkulationsströmungen, geregelt wird.
3. Es besteht im allgemeinen ein Zusammenhang zwischen Maximaltiefe, Farbe, Sichttiefe und Menge der gelösten organischen Substanzen in den verschiedenen Maaren. Je flacher ein Maar, um so bräunlicher sein Wasser, um so geringer seine Durchsichtigkeit, um so größer die Menge der gelösten organischen Stoffe. Die scheinbare Ausnahme, die das Ulmener Maar von dieser Regel macht, ist aus seinen sonstigen hydrographischen Verhältnissen verständlich.
4. Der jährliche Temperaturgang im Schalkenmehrener Maar entspricht den für einen temperierten See unserer Breiten normalen Verhältnissen.

5. Mit der Erwärmung des Schalkenmehrener Maares steigt seine Durchsichtigkeit, mit der Abkühlung sinkt sie. Dieser Verlauf in den Schwankungen der Sichttiefe erklärt sich aus der relativ geringen Planktonmenge des Maares, aus der jahreszeitlichen Verteilung der Niederschlagsmengen im Mittelgebirge, sowie aus der größeren Stabilität der Wasserschichten bei ausgeprägter thermischer Stratifikation.
-

Tabelle 1. Temperaturverhältnisse im Schalkenmehrener Maar.

Tiefe in m	11. X. 18 ⁹⁶ 4 ^h 20-5 ^h 20 p. m.	7. VIII. 1910 4 h. p. m.	10. VIII. 10 3 h. p. m.	1. X. 10 4 h. p. m.	12. XI. 10 1 h. p. m.	9. XII. 10 Dohm	4. III. 11 11 h. a. m.	1. IV. 11 11 h. a. m.	15. IV. 11 5 h. p. m.	13. V. 11 4 h. p. m.	18. VII. 11 4 1/2 p. m.	10. VIII. 11 4 h. p. m.	30. VIII. 11 4 h. a. m.	30. VIII. 11 4 h. p. m.	16. IX. 11 11 h. a. m.	29. IX. 11 10 h. a. m.	17. X. 11 5 h. p. m.	2. XI. 11 5 h. p. m.	15. XI. 11 1 h. p. m.	16. XII. 11 12 h. m.	16. I. 12 4 h. p. m.	21. II. 12 12 ³⁰ -2 h. p. m.	7. III. 12 2 h. p. m.	18. III. 12 12 h. m.	15. IV. 12 5-6 ³⁰ p. m.	19. V. 12 8 1/2-10 h. a. m.	17. VI. 12 5 1/2-7 h. p. m.	3. X. 12 4-5 h. p. m.	7. X. 12 11-12 h. a. m.	5. IV. 13 5 h. p. m.	
	Halbfafs (Kipp- thermom.)	Thiennemann (Schöpf- flasche)	Thiennemann (Schöpf- flasche)	Dohm (Schöpf- flasche)	Dohm (Schöpf- flasche)	Dohm (Schöpf- flasche)	Sausen (Schöpf- flasche)	Sausen (Schöpf- flasche)	Sausen (Schöpf- flasche)	Dohm (Schöpf- flasche)	Sausen (Schöpf- flasche)	Thiennemann (Kipp- thermom)	Dr. Schneider (Schöpf- flasche)	Dr. Schneider (Schöpf- flasche)	Sausen (Schöpf- flasche)	Thiennemann (Kipp- thermom.)	Sausen (Schöpf- flasche)	Sausen (Schöpf- flasche)	Sausen (Schöpf- flasche)	Sausen (Schöpf- flasche)	Thiennemann (Kipp- thermom.)	Thiennemann (Kipp- thermom.)	Thiennemann (Kipp- thermom.)								
0	12,6	18	18	14,3	6,5	4,4	4,5	—	5,6	14,5	19,4	24,5	19,5	20,1	17,5	14,8	11,5	8	6,5	4,5	2,5	2	4	4,1	6,0	14,1	15,5	—	9,25	6,7	
0,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	24,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1	12,6	18,1	18,4	14,3	6,7	4,3	3,1	5,2	5,5	14,5	19,4	24,2	19,9	20	17,5	15	11	8,5	6,6	4,5	2,5	2	4,1	4,1	6,0	13,9	15,5	10,1	9,25	6,7	
2	12,5	—	—	14,2	6,7	4,3	3	5	5,5	13,5	19,3	23,45	19,9	20	17,5	15	11	8,5	—	4,5	2,5	2	4,1	4,1	5,8	13,9	15,5	—	—	—	
3	12,4	18	18,1	14	6,6	4,3	3	4,9	5,4	12	19,3	22,9	19,9	20	17,5	15	—	8,5	—	4,5	2,5	2	—	4,1	5,8	13,7	15,5	10,2	—	6,7	
4	12,4	—	—	—	—	4,3	3	4,8	5,3	11,2	19,3	22,75	19,9	20	17,5	15	—	8,5	—	—	—	—	—	—	—	12,8	—	10,2	—	—	
5	12,4	17,6	17,6	13,5	6,6	4,3	3	4,8	—	10,7	19,3	22,3	19,9	20	17,5	15	11	8,4	—	4,5	2,5	2	4,1	4,1	5,8	15,5	10,3	9,25	6,6		
6	12,2	16,4	16,1	13,4	—	—	—	4,6	—	—	15,2	19,4	19,9	20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7	12,2	15,25	14,1	13,2	6,6	4,3	3	4,6	5,3	9,6	10,5	15,8	18,2	17,5	17,5	14,8	11	8,4	—	—	2,6	2	—	4,1	5,8	9,0	15,5	10,2	—	6,6	
8	12,2	12	11,9	13	—	—	—	4,6	—	7,5	9,1	12,75	13,5	13,5	12	14,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6,1
8,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	11,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
9	12,2	10,2	10,0	10,7	6,6	4,3	3	4,6	—	6,7	8,5	9,4	11	11,3	9,7	12,1	11	8,4	6,6	—	—	—	—	—	4,1	5,8	—	—	—	5,8	
10	12,2	9,25	9,1	9	—	4,3	3	4,5	5,1	—	—	8,4	9,5	9,7	8,6	8	10,7	—	—	—	—	2	4,1	4,1	5,8	7,8	8,1	10,2	9,2	5,7	
11	11,6	—	8,3	7,9	6,6	—	—	—	—	—	—	7,5	7,7	7,8	7,5	—	9,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
12	8,6	7,7	—	—	—	4,3	3	4,5	4,9	5,4	6,3	6,75	7,1	7,1	6,8	6,5	—	—	—	—	2,6	2	—	4,1	5,8	6,7	7,0	—	—	—	
13	7,8	—	—	—	6,6	—	3	4,5	4,7	—	—	6,2	6,3	6,5	—	—	—	—	—	—	2,6	—	—	—	—	—	—	10,25	—	—	
14	7,0	—	—	—	—	4,3	—	—	—	—	—	5,55	6,1	6,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8,0	9,2	—	
15	6,8	6,4	6,5	6,2	—	4,3	3	4,5	—	5	5,9	5,5	6,0	6,1	6	5,6	5,7	—	—	—	—	2	4,0	4,1	5,6	6,4	6,5	7,75	7,4	5,6	
16	6,7	—	—	—	6,6	4,3	3	—	4,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	7,0	6,7	—	
17	6,4	—	—	—	—	—	—	4,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6,6	6,7	—	
18	6,3	—	—	—	6,6	4,3	3	4,4	—	5	5,9	—	—	—	6	5,6	5,5	—	—	—	—	2,2	—	4,1	5,6	6,2	6,2	—	—	—	
19	6,2	—	—	—	—	—	3,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
20	—	—	—	—	—	4,3	3,1	—	4,5	5	5,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2,5	4,0	4,1	5,5	5,8	6,0	6,25	6,25	5,5	
20,5	—	—	5,8*	5,6	5,8	—	—	—	—	—	—	5,4*	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
21	6,0	5,75*	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Luft- tempe- ratur	9,8-13	7 h. p. m. 14	3 h. p. m. 19,5	4 h. p. m. 18	1 h. p. m. 4	—	11 h. p. m. 5,5	11 h. p. m. 11,6	5 h. p. m. 14,1	4 h. p. m. 20	4 1/2 p. m. 22,8	4 h. p. m. 29	4 h. a. m. 11,6	4 h. p. m. 15,2	11 h. a. m. 13	10 h. a. m. 9,5	5 h. p. m. 12,5	5 h. p. m. 3,5	1 h. p. m. 3,5	12 h. m. 2,4	4 h. p. m. -4,9	2 h. p. m. 2,9	—	12 h. m. 4,5	5 h. p. m. 5,7	11,7	14,8	5 h. p. m. 6	12 h. m. 7,5	—	

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen des naturhistorischen Vereines der preussischen Rheinlande](#)

Jahr/Year: 1914

Band/Volume: [70](#)

Autor(en)/Author(s): Thienemann August

Artikel/Article: [Physikalische und chemische Untersuchungen in den Maaren der Eifel. 249-302](#)

