Mitt. POLLICHIA	68	101—110	10 Abb.	1 Tab.	Bad Dürkheim/Pfalz 1980
					ISSN 0341—9665

Burkhard W. SCHARF

Zur Morphometrie und Hydrodynamik der Eifelmaare*

Kurzfassung

SCHARF, B. W. (1980): Zur Morphometrie und Hydrodynamik der Eifelmaare. — Mitt. POLLICHIA, **68**: 101—110, Bad Dürkheim/Pfalz.

Die Echogramme von neun Eifelmaaren werden abgebildet. Einige morphologische Eigenschaften der Seebecken lassen sich durch windbedingte Zirkulationsströmungen erklären. Die Meromixis des Gemündener Maares ist eine Folge der Eutrophierung.

Abstract

SCHARF, B. W. (1980): Zur Morphometrie und Hydrodynamik der Eifelmaare [Morphometry and hydrodynamics of the Eifel Maars (Germany)]. — Mitt. POLLICHIA, **68**: 101—110, Bad Dürkheim/Pfalz.

The echograms of nine maars are figured. Some morphological features of the lake basins can be explained by wind-induced circulation. The meromixis of the Gemünden Maar is caused by eutrophication.

Résumé

SCHARF, B. W. (1980): Zur Morphometrie und Hydrodynamik der Eifelmaare [Morphométrie et hydrodynamique des maars de l'Eifel]. — Mitt. POLLICHIA, **68**: 101—110, Bad Dürkheim/Pfalz.

Les échogrammes de 9 maars de l'Eifel sont représentés. On peut expliquer quelques propriétés morphologiques des bassins des maars par la présence de courants de circulation d'eau provoqués par le vent. La méromixis du maar de Gemünden est une suite de l'eutrophication.

1. Einleitung

BRÖNSTED & WESENBERG-LUND (1911/12), BIRGE (1916, zit. in ELSTER & SCHMOLINSKY 1954), ELSTER & SCHMOLINSKY (1954), BERGER (1971), MORTIMER (1974), HOLLAN (1974) und andere haben auf die Bedeutung der vom Winde hervorgerufenen Zirkulationsströmungen für die Durchmischung der Wassermassen in einem See hingewiesen. RICHTER (zit. in THIENEMANN 1914/15) machte auf die Konvektionsströmungen, die durch Dichteunterschiede entstehen, aufmerksam. Bezeichnenderweise sind die Theorien über die Zirkulation und die Konvektion in sehr verschiedenen geographischen Regionen entwickelt worden. „Die ‚Konvektionstheorie' ist in den Alpen aufgestellt und begründet worden, wo die Seen in windgeschützten Tälern ruhen und die große

*Der 68. Band der „Mitt. POLLICHIA" ist überwiegend den Maaren der Eifel gewidmet.

Amplitude der Tages- und Jahrestemperatur die Konvektion zur kräftigsten Entwicklung gelangen läßt. . . . 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" (MERZ, zit. in THIENEMANN 1914: 292).

THIENEMANN (1914/15) entschied sich für das Vorherrschen von Konvektionsströmungen in den Eifelmaaren, wobei er den Laacher See nicht mit in seine Betrachtung einbezog. Anhand der hier vorgelegten Befunde soll die Aussage von THIENEMANN überprüft werden. Außerdem bietet diese Studie eine Möglichkeit, auf die durch die Zirkulationsströmungen im Wasserkörper bedingten, morphologischen Änderungen der Beckengestalt einzugehen.

2. Methode

Über die physikalisch-chemischen Untersuchungsmethoden berichten SCHARF & STABEL (1980).

Die Echolotprofile wurden mit Hilfe eines transportablen Echolotschreibers, Fabrikat: KODEN SR 385 A, aufgenommen. Die Aufzeichnung erfolgte an windstillen Tagen, so daß die Geschwindigkeit des von einem Elektromotor getriebenen Bootes möglichst konstant war. Bei den Echolotaufnahmen des Laacher Sees half uns Pater Ewald vom Kloster Maria Laach mit seinem schnell laufenden Boot, so daß trotz der Größe des Sees ein anschauliches Echogramm entstand. Ihm und seinem Mitarbeiter Joachim sei an dieser Stelle herzlich gedankt.

3. Ergebnis

Es scheint ein Zusammenhang zwischen den unterschiedlichsten Wasserströmungen und der Gestalt der Maarbecken zu bestehen. Bevor hierauf näher eingegangen wird, sollen die Befunde im einzelnen beschrieben werden.

3.1. Muschelkrebsbefunde am Grunde der Maare

Bei der Untersuchung der rezenten und subfossilen Muschelkrebsfauna (Crustacea: Ostracoda) der Eifelmaare stellte sich heraus, daß an der tiefsten Stelle des Laacher Sees leere Ostracodenschalen obligatorischer Flachwasserbewohner, z. B. *Herpetocypris reptans,* gefunden wurden (SCHARF 1980). Die Schalen konnten nicht durch einen Bach bis hierher eingeschwemmt sein. Der Transport zur Fundstelle konnte zeitlich nicht lange zurückliegen, da die Kalkschalen der Muschelkrebse in der Tiefe des Laacher Sees rasch einer Auflösung durch Entkalkung unterliegen. Auch in Profundal des Meerfelder Maares ließen sich leere Schalen von Ostracodenformen des Litorals nachweisen. Im Weinfelder und im Pulvermaar hingegen fehlten sie auf der Sohle. Hier konnten nur die leeren Schalen der profundalen Muschelkrebsarten festgestellt werden.

3.2. Trübung eines Wasserkörpers im Laacher See

MATTERNE & SCHARF (1977) haben über eine Trübung des unteren Wasserkörpers nördlich des Barschbuckels im Laacher See berichtet. Die Untersuchung fand am 12. Dezember 1973 nach einem starken Sturm statt. Es ließ sich damals nicht klären, ob dieser getrübte Wasserkörper der Rest des sommerlichen Hypolimnions war oder ob es sich um einen Totraum handelte, der wegen seiner Lage vor dem Barschbuckel von der Zirkulation des Wasserkörpers ausgeschlossen war und in den sich das durch den Sturm aufgewirbelte und transportierte Sediment absetzte.

3.3. Echolotprofile

Bei der Interpretation der in Abb. 1—10 wiedergegebenen Echogramme ist zu berücksichtigen, daß der Schreibstift des Echolotes eine kreisförmige Bewegung ausführt. Dadurch entsteht eine leichte Verzerrung in den Abbildungen, d. h. es werden zu steile bzw. zu flache Hänge vorgetäuscht. Die uns hier besonders interessierende Gestalt des Maarbodens ist jedoch klar zu erkennen. Auf dem Echogramm sind drei oder mehr Linien von oben nach unten zu sehen: Die Null-Meter-Linie, die gemessene Tiefe und darunter noch eine oder mehrere Linien, deren Deutung unklar ist.

Alle mit Wasser gefüllten Maare haben, sieht man von dem nur etwa 2 m tiefen Immerather Maar ab, eine steile Böschung. In der Form des Bodens und der Übergänge zu den Hängen unterscheiden sie sich jedoch zum Teil erheblich. Das Pulvermaar (Abb. 1) und das Weinfelder Maar (Abb. 4) haben eine ebene Sohle und scharfe Übergänge zu den Seiten hin. Beim Laacher See (Abb. 10) sind zwar die Hänge von der Sohle deutlich abgesetzt, aber die Sohle ist nicht eben. Sie steigt zu den Rändern hin leicht an. Der sich in Abb. 10 im Südwesten deutlich heraushebende „Berg" ist der Barschbuckel, der als Grat zwischen einem großen und einem kleinen Auswurftrichter stehen geblieben ist. Das Gemündener Maar (Abb. 5) hat eine ebene Sohle, die sich von den Hängen scharf absetzt. An der Westseite befindet sich im Übergangsbereich eine örtlich begrenzte Erhöhung der Sohle (Rutschung?) Das Ulmener Maar (Abb. 8 und 9) hat kein so einfaches Echolotprofil wie die übrigen Eifelmaare.

Abb. 1—10: Echogramme einiger Maare in der Eifel.

Abb.	Name	Aufnahmedatum	Lage des Profils	Länge des Profils (m)
1	Pulvermaar	03.09.1975	N—S	690
2	Holzmaar	10.05.1979	N—SSE	300
3	Meerfelder Maar	31.10.1978	S—N	475
4	Weinfelder Maar	10.09.1975	S—N	510
5	Gemündener Maar	03.04.1979	W—E	325
6	Schalkenmehr. Maar	11.09.1975	W—E	500
7	Schalkenmehr. Maar	11.09.1975	S—N	525
8	Ulmener Maar	17.05.1979	E—W 200 m S des Einlaufs	225
9	Ulmener Maar	17.05.1979	E—W 150 m S des Einlaufs	240
10	Laacher See	16.03.1979	NE—SW	2200

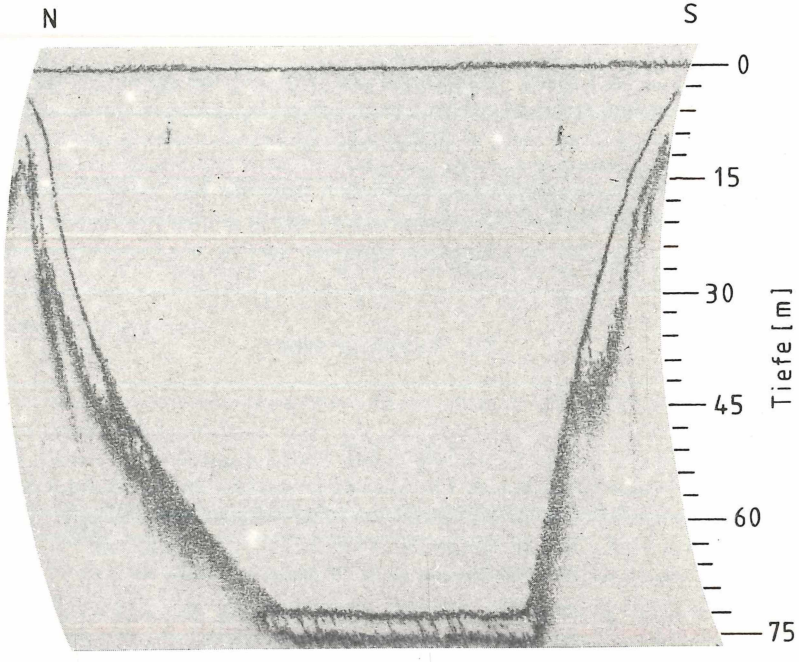


Abb. 1. Pulvermaar

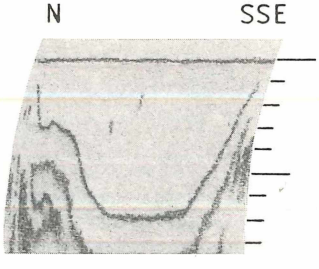


Abb. 2. Holzmaar

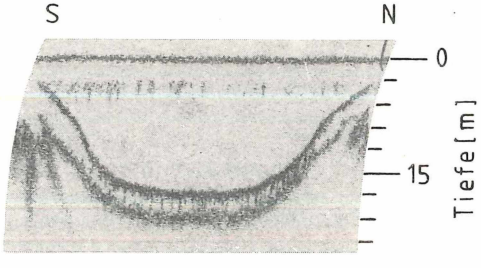


Abb. 3. Meerfelder Maar

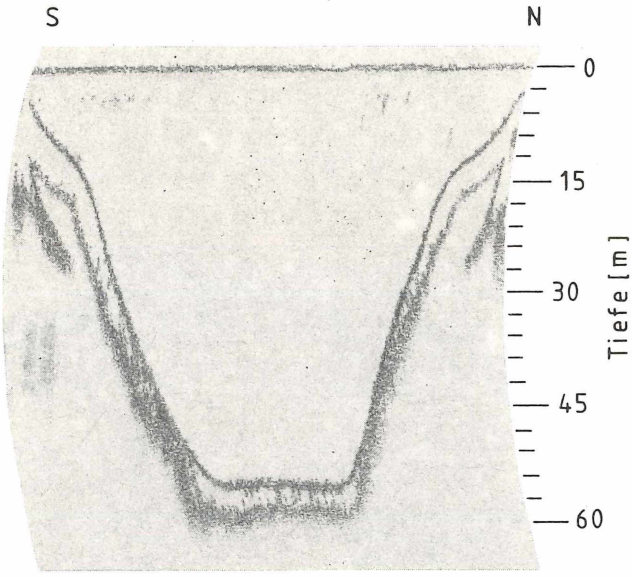


Abb. 4. Weinfelder Maar

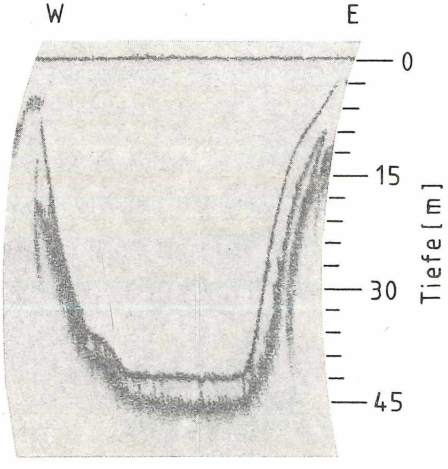


Abb. 5. Gemündener Maar

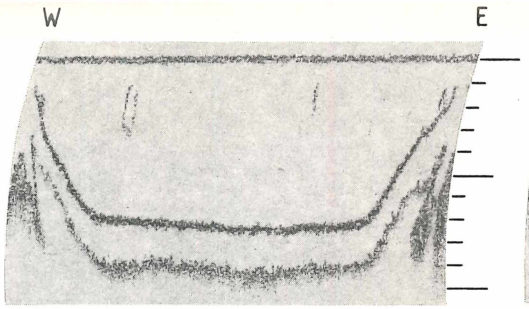


Abb. 6. Schalkenmehrener Maar

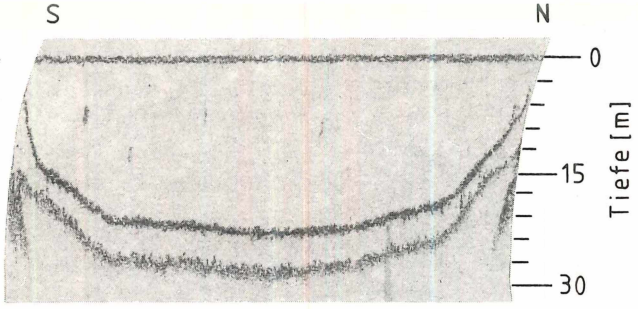


Abb.7. Schalkenmehrener Maar

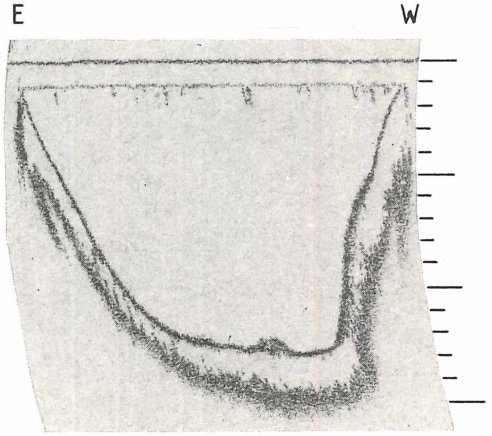


Abb. 8. Ulmener Maar

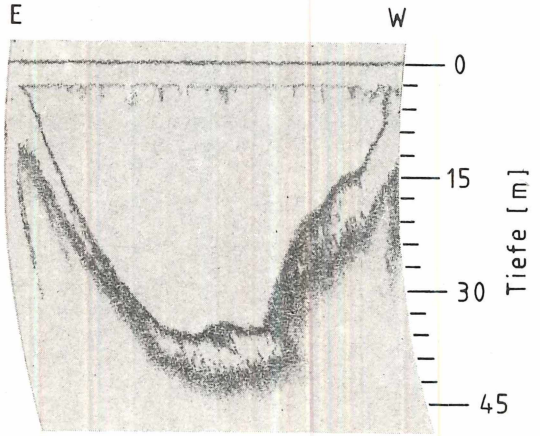


Abb. 9. Ulmener Maar



Abb. 10. Laacher See

Aus der ohnehin schon schief stehenden Sohle ragt noch eine Erhebung heraus. Beim Schalkenmehrener Maar (Abb. 6 und 7) setzt sich der flache Boden in der Ost-West-Richtung deutlich von den Hängen ab. Jedoch in der Nord-Süd-Richtung gehen die Seehänge ohne eine scharfe Grenze in die Sohle über. Auch das Holzmaar (Abb. 2) verfügt über einen flachen Boden mit einer zum Teil deutlichen Grenze zwischen dem Boden und der Böschung. Vor dem Nordufer befindet sich eine Untiefe (Rutschung?). Beim Meerfelder Maar (Abb. 3) ist der Übergang von der Sohle zu den Seehängen fließend. Der Boden des Immerather Maares ist bei einer Maximaltiefe von etwa 2,2 m über weite Bereiche eben und steigt zu den Ufern hin ohne eine scharfe Abgrenzung an.

4. Diskussion

THIENEMANN (1914/15) stellte die Frage, welche Art der Wasserströmungen in den Eifelmaaren vorherrschend sei und entschied sich aufgrund von Überlegungen für die Konvektionsströmung, besonders für die tieferen Maare. Allerdings konnten Messungen der Strömungen von ihm nicht durchgeführt werden. Der Laacher See wurde in die Überlegungen nicht mit einbezogen.

Direkte Messungen von Wasserströmungen — wie sie etwa HOLLAN (1974) am Bodensee durchgeführt hat — liegen für die Eifelmaare nicht vor. Jedoch gibt es indirekte Hinweise für die Existenz von Zirkulationsströmungen, besonders an dem großen Laacher See und den kleineren landschaftsoffenen Maaren. — Hier wären zuerst die in der Mitte des Laacher Sees und des Meerfelder Maares gefundenen Schalen litoraler Muschelkrebsarten zu nennen (s. 3.1.). Es ist schwer vorstellbar, daß Konvektionsströmungen leere Muschelkrebsschalen aus dem Flachwasser bis in die größte Tiefe transportieren können, also in horizontaler Richtung noch über den Schnittpunkt von Hang und Sohle hinaus. Es ist vielmehr naheliegend, diese Erscheinung mit Hilfe von bei Sturm ausgelösten, energiereichen Zirkulationsströmungen zu erklären.

Die Sohle des Laacher Sees setzt sich wie bei dem Pulver, Weinfelder und Gemündener Maar deutlich von den Seiten ab, ist aber nicht wie bei diesen eben. Es bietet sich dafür folgende Erklärung an: Die durch Stürme erzeugten Zirkulationsstörungen wirbeln am Leeufer (beim Laacher See wohl allermeist das NE-Ufer) Sediment auf und führen es mit sich. Dieses wird sich an ruhigeren Stellen wieder absetzen. Die bei MATTERNE & SCHARF (1977) postulierten Toträume (s. 3.2.) bieten sich dafür an. Die nach dem Sturm vom 11. Dezember 1973 unterhalb von 30 m Tiefe nördlich des Barschbuckels beobachtete Trübe wäre als das sich absetzende Sediment zu sehen. Eine Folge hiervon müßte eine Erhöhung des Seebodens vor dem Barschbuckel sein. Sie ist tatsächlich vorhanden (s. Abb. 10). Auch die Entstehung eines kleineren Sedimentationsgebietes vor der NE-Seite ist zwanglos durch die hier aufgestellte Hypothese zu erklären. Hier konnte sich eine leichte Erhöhung im Seeboden bilden, weil hier ebenfalls ruhigere Wasserzonen vorherrschen.

Bestärkt würde diese Theorie durch Sedimentuntersuchungen. Am NE-Hang des Laacher Sees müßte die Auflage limnischer Sedimente dünner sein als beim Barschbuckel. Erste Untersuchungen scheinen die Richtigkeit der Annahme zu bestätigen.

Das Gewässer Meerfelder Maar ist nach Südosten hin nicht von Bergen umgeben, so daß die Winde von dieser Seite her ungehindert einfallen können. Wegen der vergleichsweise geringen Tiefe (s. unten) dürften sich die Zirkulationsströmungen stärker

auswirken als bei den meisten anderen Maaren der Eifel. Abb. 3 läßt erkennen, daß die Ebene in der Sohle angedeutet ist, die Übergänge zu den Hängen aber ,,verfüllt'' sind. Der fließende Übergang auf der Südseite des Gewässers könnte auch durch den Sedimenttransport des Meerbaches erklärt werden, denn dieser Hang des Sees ist nicht die einstige Kraterwand, sondern dürfte den Abhang des Meerbach-Deltas im Maar darstellen.

Das Schalkenmehrener Maar gehört zu den landschaftsoffeneren Maaren. Aus den Ablagerungen am Fuße des Nord- und des Südufers wäre zu schließen, daß das Gewässer in der NS-Richtung stärker windexponiert ist als in der EW-Richtung.

Ungeklärt bleiben die Fragen, warum der Boden der Maare primär eben zu sein scheint und warum das Ulmener Maar hier eine Ausnahme macht.

Berger (1955, 1971) hat auf den Zusammenhang zwischen Wind, mittlerem Durchmesser eines Sees und der Tiefe der Durchmischung aufmerksam gemacht. Er fand, ,,daß die Windarbeit imstande sein wird, einen Dichtegradienten bis zu einer Tiefe zu beseitigen, die der Quadratwurzel aus dem mittleren Durchmesser proportional ist, oder, was dasselbe bedeutet, der vierten Wurzel aus dem Areal'' (Berger 1971: 34). Diese Feststellung kann nach Berger zumindestens als Arbeitshypothese dienen. Der Quotient aus der größten Tiefe und der errechneten Durchmischungstiefe (= vierte Wurzel aus dem Areal) ergibt eine dimensionslose Zahl, die Berger die ,,reduzierte Tiefe'' nennt.

Je größer die reduzierte Tiefe ist, umso eher neigt das Gewässer zur Meromixis, vor allem wenn die reduzierte Tiefe Werte über 1,0 annimmt. Bei den Eifelmaaren tritt nun das erstaunliche Phänomen auf, daß die beiden Maare mit der größten reduzierten Tiefe nicht meromiktisch sind (Pulvermaar, Weinfelder Maar, s. Tab. 1). Die Ursache hierfür dürfte in der Oligotrophie beider Gewässer zu suchen sein. Beim oligotrophen See — zumindestens in unseren Breiten — ist die chemische Schichtung gering, so daß nach Aufhebung der temperaturbedingten Dichteunterschiede, also bei Homothermie, leicht die Vollzirkulation einsetzen kann. Das Gemündener Maar war zu Beginn dieses Jahrhunderts noch oligotroph und holomiktisch (s. Kurventafel 4 in Thienemann 1915: 291). Heute ist es eutroph und meromiktisch. Ab 30 m nimmt der Salzgehalt und damit die Dichte sprunghaft zu (Scharf & Stabel 1980). Die Ursache für den erhöhten Salzgehalt und die sich daraus ergebende Meromixis dürfte in der Eutrophierung liegen: Mit beginnender Nährstoffanreicherung ist es während der Stagnationsphasen zu einem Anstieg verschiedener Salze über dem Grunde gekommen. Zirkulierte der See in einem Jahr während der Zeit der Homothermie nicht vollständig, z. B. durch Ausbleiben eines Sturmes, so entstand bereits ein Monimolimnion. Vielleicht ist das Gemündener Maar anfangs nur zeitweilig meromiktisch gewesen. Mit fortschreitender Eutrophierung hat sich aber das Monimolimnion derart stabilisiert, daß unter den jetzt vorgefundenen Verhältnissen eine Vollzirkulation unwahrscheinlich ist. — Das Ulmener Maar, das auch eine reduzierte Tiefe mit einem Wert über 2,0 aufweist, war bereits zu Thienemanns Zeiten eutroph und meromiktisch.

Beim Ulmener Maar muß neben der Zirkulation und Konvektion für die Durchmischung auch der Zufluß von dem nahe gelegenen Jungfern-Weiher berücksichtigt werden. Die meisten Maare sind ohne einen bedeutenden oberirdischen Zufluß. Nur das Ulmener Maar macht hier eine Ausnahme. Über die Einschichtung des Wassers aus dem Jungfern-Weiher haben Stewart & Hollan (1975) ausführlich berichtet.

Tab. 1: Fläche, größte Tiefe (t_{max}), errechnete Tiefe, bis zu der die windbedingte Durchmischung reicht (t_{mix}) und reduzierte Tiefe $\left(\frac{t_{max}}{t_{mix}}\right)$ der Eifelmaare.

Maar	Fläche ($\times 10^3$ m²)	max. Tiefe (m)	errechnete Durchmischungstiefe (m)	reduzierte Tiefe
Pulvermaar	350	70	24,3	2,9
Weinfelder Maar	156	52	19,9	2,6
Gemündener Maar	75	39	16,5	2,4
Ulmener Maar	63	35	15,8	2,2
Laacher See	3315	54	42,7	1,3
Holzmaar	58	20	15,5	1,3
Schalkenmehr. Maar	219	21	21,6	1,0
Meerfelder Maar	248	18	22,3	0,8
Immerather Maar	50	2	15,0	0,1

Danksagung:

Ich danke Herrn Prof. Dr. R. G. WETZEL, Michigan, für die kritische Durchsicht des Manuskriptes.

Literaturverzeichnis

BERGER, F. (1955): Die Dichte natürlicher Wässer und die Konzentrationsstabilität in Seen. — Arch. Hydrobiol. Suppl., **22**: 286—294, Stuttgart.

— (1971): Zur Morphometrie der Seebecken. — Carinthia II, Sonderheft **31**: 29—39, Klagenfurt.

BRÖNSTED, J. N.; WESENBERG-LUND, C. (1911/12): Chemisch-physikalische Untersuchungen der dänischen Gewässer. — Internat. Rev. ges. Hydrobiol. Hydrogr., **4**: 251—290 und 437—492, Leipzig.

ELSTER, H.-J., SCHMOLINSKY, F. (1954): Morphometrie, Klimatologie und Hydrographie der Seen des südlichen Schwarzwaldes. I. — Arch. Hydrobiol. Suppl. **20**: 157—211 und 375—441, Stuttgart.

HOLLAN, E. (1974): Wenn der Bodensee aufgewühlt wird. — Umschau, **74**: 152—154, Frankfurt/M.

MATTERNE, M., SCHARF, B. W. (1977): Zur Eutrophierung und Restaurierung des Laacher Sees. — Arch. Hydrobiol., **80**: 506—518, Stuttgart.

MORTIMER, C. H. (1974): Lake hydrodynamics. — Mitt. Internat. Verein., Limnol., **20**: 124—197, Stuttgart.

SCHARF, B. W. (1980): Zur rezenten Muschelkrebsfauna der Eifelmaare (Crustacea: Ostracoda). — Mitt. POLLICHIA, **68**: 111—128, Bad Dürkheim/Pfalz.

SCHARF, B. W. & STABEL, H.-H. (1980): Physikalische und chemische Eigenschaften des Wassers der Eifelmaare. — Mitt. POLLICHIA, **68**: 111—128, Bad Dürkheim/Pfalz.

STEWART, K. M., HOLLAN, E. (1975): Meromixis in Ulmener Maar (Germany). — Verh. Internat. Verein. Limnol., **19**: 1211—1219, Stuttgart.

THIENEMANN, A. (1914/15): Physikalische und chemische Untersuchungen an den Maaren der Eifel. — Verh. Naturhist. Ver. preuß. Rheinl. Westf., **70**: 249—302 und **71**: 273—389, Bonn.

(Bei der Schriftleitung eingegangen am 25. 10. 1979, verbessert eingegangen am 8. 4. 1980)

Anschrift des Verfassers:

Dr. Burkhard Scharf, Landesamt für Gewässerkunde, Am Zollhafen 9, D-6500 Mainz 1.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Mitteilungen der POLLICHIA

Jahr/Year: 1980

Band/Volume: 68

Autor(en)/Author(s): Scharf Burkhard W.

Artikel/Article: Zur Morphometrie und Hydrodynamik der Eifelmaare 101-110