

Fischer. Vermessungslehre.



XX
445

~~G. 39~~

77.

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000305634



739

xxx
445



III 33402

**Maurers Verdunstungsmessungen an Alpenseen
und die Verdunstungsmessungen der preußischen Landesanstalt
für Gewässerkunde am Grimnitzsee.**

Von KARL FISCHER.

Mit einer Figur.

In der Meteorologischen Zeitschrift 1911, Seite 545 bis 555, berichtet J. Maurer-Zürich über Verdunstungsmessungen, die er während der großen Hitze- und Dürrezeit 1911 auf zwei Seen am Nordfuß der Alpen, nämlich dem Züricher und dem Greifensee, vorgenommen hat. Maurer sah sich zu diesen Messungen durch die Überzeugung veranlaßt, daß die in der Literatur zu findenden Angaben nicht als Maß der wirklichen Verdunstung von freien Wasserflächen gelten können. Die Zahlen, die er anführt, rechtfertigen dieses ungünstige Urteil. Durch seine eigene Untersuchung glaubt Maurer den Höchstbetrag der Verdunstung festgestellt zu haben, mit dem für freie Seeflächen in unserem klimatischen Bereich überhaupt zu rechnen ist. Hiermit wäre ein offenbar recht wichtiger Teil der Gesamtaufgabe gelöst. Ist er es aber wirklich? Maurer hat die Verdunstung für jeden der

untersuchten beiden Seen aus dem Wasserhaushalt des Sees abgeleitet, also aus seinen Zuflüssen, dem Regen auf die Seefläche, dem Abfluß des Sees und der Veränderung der im See enthaltenen Wassermenge. Wie Maurer mit Recht hervorhebt, hat dieses Verfahren den Vorzug, daß es den See als ein Ganzes erfaßt, wogegen die an einer bestimmten Stelle des Sees gemessene Verdunstung sich nicht ohne weiteres auf die ganze Seefläche übertragen läßt. Dieser Vorzug läßt sich aber nur dadurch erkaufen, daß in die Rechnung auch der unterseeische Wasseraustausch zwischen Seebecken und Erdboden eingeht, und hier verliert sich die Untersuchung gewöhnlich im Unbekannten. Maurer verschließt sich diesem Einwande nicht; aber er glaubt, sich über ihn hinwegsetzen zu können. Er weist ausdrücklich auf gewisse unterseeische Quellflüsse des Züricher Sees hin. „Bei Richterswil z. B. entspringen am Seegrund mehrere Quellen, die beim Zufrieren des Sees in der Eisdecke immer ebenso viele Löcher entstehen lassen.“ Für eine dieser Quellen wird die Ergiebigkeit bei 7° auf 1500 Liter in der Minute angegeben. Da der Wasserspiegel des Züricher Sees bei den untersuchten Wasserständen aber eine Fläche von 87.7 qkm einnimmt, so würden erst 60000 Liter in der Minute ihn im Laufe eines Tages um 1 mm (genauer 0.985 mm) heben. Eine derartige unterirdische Zufuhr hält Maurer für durchaus unwahrscheinlich. Aber warum denn? Sicher ist, daß zu den von Maurer erwähnten Quellen bei Richterswil noch weitere kommen. Nicht nur dort mündet ein alter Tallauf vom Sihlgebiet her unterseeisch aus, sondern auch bei Ufenau-Hurden, wo ebenfalls bedeutende Quellen erscheinen, die sich durch Verhinderung des Zufrierens des Sees verraten¹⁾. Aber durchaus nicht alle Quellen brauchen sich so zu äußern; denn an anderen Stellen ist der See tiefer. Der See kann außerdem aus den mächtigen Gletscherschuttwällen, die sich in seiner Umgebung finden, erheblichen Grundwasserzufluß haben. Nach Maurer hat die Hitze und Trockenheit, die von Anfang Juli bis zum 20. August ununterbrochen herrschte, zwar auch die letzten Wasserreserven in den wasserhaltigen Schichten am Nordfuß der Alpen aufgezehrt. Aber er hebt selbst hervor, wie große Wassermengen hierbei aus diesen Schichten kamen. „Mitte August betrug die Niederwassermenge der Birs noch 5 cbm sekundlich.“ Bei 920 qkm Gebietsfläche ergibt das 5.4 Liter auf Sekunde und qkm, also eine Wasserführung, welche viele Flüsse des norddeutschen Flachlandes bei Mittelwasser haben. Zu bedenken ist auch, daß ein See, in den Grundwasser aus der Umgebung eintritt, bei fallendem Wasserspiegel diese Zufuhr gewöhnlich in verstärktem Maße empfängt, wogegen ein Steigen des Wasserspiegels mit einem Rückstau in die Umgebung verbunden zu sein pflegt. Nun stimmt das Gesamtergebnis für den Greifensee mit dem für den Züricher See allerdings fast überein. Aber kann nicht auch die unterseeische Zufuhr bei beiden Seen im Vergleich zur Seefläche annähernd gleich groß sein? Der Greifensee liegt in einer Talfurche, deren Breite zu den oberirdischen Wasserläufen, die sich in ihr bewegen, in keinem Verhältnis steht²⁾. In solchen vorzeitlichen Tälern strömen vielfach aber ganz erhebliche Grundwassermengen.

Über die unterirdischen Zu- und vielleicht auch Abflüsse ist also mit der bloßen Annahme, sie seien jedenfalls nur geringfügig, nicht hinwegzukommen. Das fehlende Beweisglied muß entweder beigebracht werden oder die Folgerung ist nicht schlüssig.

¹⁾ Gogarten, Über alpine Randseen und Erosionsterrassen, Ergänzungsheft 165 zu Petermanns Mitteilungen, S. 30. — ²⁾ Nach Penck und Brückner, Die Alpen im Eiszeitalter.

Aber auch wenn sich erweisen ließe, daß Maurers Zahlen den vollen Betrag der Verdunstung darstellen, so brauchen sie noch immer nicht Höchstwerte der Verdunstung freier Seeflächen in unserem klimatischen Bereiche zu sein. Denn wenn, wie Maurer selbst so nachdrücklich betont, schon von einer Stelle eines Sees nicht auf die ganze Seefläche geschlossen werden darf, so ist doch eine Verallgemeinerung vom Zürich- und Greifensee auf alle Seen in unserem Klimagebiet um so weniger zulässig.

Diese Bedenken werden durch die von der preußischen Landesanstalt für Gewässerkunde veranstalteten Verdunstungsmessungen verstärkt. Schon bei der Gründung dieser Anstalt im Jahre 1902 waren die Beteiligten darin einig, daß man bei den bisherigen Messungen der Verdunstung nicht stehen bleiben könne. Man war sich aber auch darin einig, daß die herrschende Unsicherheit nur durch ein Verfahren zu überwinden sein würde, bei dem sich die Wirkung jeder Fehlerquelle wenigstens annähernd bestimmen läßt. Deshalb wurde das Verfahren beibehalten, zur Messung der Verdunstung vom Wasserspiegel eines Sees ein Gefäß anzuwenden, das in den See eintaucht. Die Einrichtung und Leitung der Beobachtungen übernahm Herr Geh. Baurat Bindemann unter meiner Beteiligung. Unser Versuchssee ist der Grimnitzsee. Er hat annähernd die Gestalt einer Ellipse, deren Achsen 4 und 2.5 km lang sind, und liegt auf der uckermärkischen Hochfläche nach allen Seiten ziemlich frei. Der See bietet durch Lage und Gestalt so einheitliche Verhältnisse, daß die Verdunstung an allen Stellen in einiger Entfernung vom Ufer wahrscheinlich ziemlich gleich groß ist. Sollten aber z. B. zwischen Luv- und Leeseite der vorherrschenden Winde doch Unterschiede bestehen, so werden diese durch Parallelbeobachtungen am Ufer erkennbar werden. Bisher sind solche allerdings nur am Westufer vorgenommen worden. Nachdem sich aber in mehrjähriger Fortführung der Messungen gezeigt hatte, daß die Ergebnisse am Ufer und auf dem See in gesetzmäßigem Zusammenhang miteinander stehen, sind im Herbst 1911 auch Messungen am Ostufer beschlossen und inzwischen begonnen worden. Da wir aber überzeugt sind, daß die an diesem einen See erlangten Ergebnisse nicht ohne weiteres eine Verallgemeinerung auf andere Verhältnisse erlauben, so lassen wir in diesem Sommer außerdem Beobachtungen am Ufer des Werbellinsees ausführen. Dieser ist vom Grimnitzsee nur durch einen schmalen Moränenriegel getrennt, ist aber ein in das Gelände eingeschnittener Rinnensee, dessen Wasserspiegel 22 m niedriger liegt als der des Grimnitzsees. Außerdem trägt das Gelände beiderseits vom Werbellinsee Hochwald. Die gleichzeitigen Beobachtungen an beiden Seen werden also erweisen, wie stark bei gleichem Allgemeinklima die örtlichen Verschiedenheiten auf die Verdunstung einwirken können. Dazu treten ähnliche, von anderer Seite durchzuführende Beobachtungen an der großen Edertalsperre bei Waldeck und am Goplosee, also in einer niederschlagreichen Gebirgslandschaft und in der trockensten Gegend von Norddeutschland.

Unsere Meßgefäße umfassen im kreisförmigen Querschnitt $\frac{1}{3}$ qm und sind am Rande 20 cm, in der Mitte 25 cm tief. Das auf dem Grimnitzsee selbst verwendete Meßgefäß taucht bis auf 4 cm Bordhöhe in das Wasser des Sees ein und wird anfangs etwa bis 2,5 cm unter den Rand gefüllt. Um ein Hineinschlagen der Wellen in das Gefäß, ebenso ein Hinausspritzen des Wassers aus diesem zu verhüten, wird das Gefäß von einem floßartigen Gerüst getragen. Weil die Wellenbewegung manchmal recht lebhaft ist, haben die Hauptbalken des Floßes 14.5 m Länge erhalten müssen. Das Floß ist aber derart durchbrochen gebaut, daß die

Temperaturen im Meßgefäß nicht allzuerheblich von denen des freien Wassers abweichen. Die Thermometer zur Feststellung der Abweichungen zeigen außer der Temperatur bei der Ablesung auch die Extreme an. Solche Thermometer befinden sich in jedem Gefäß, ferner im freien Wasser am Rande des Floßes und im See am Ufer in der Nähe der auf dem Lande aufgestellten Gefäße. Zur Messung der Wasserspiegelhöhe im Meßgefäß wird über dessen scharf abgedrehten Rand eine Schiene gelegt, durch welche eine in eine Spitze auslaufende Mikrometerschraube geführt ist. Hierdurch ist eine Genauigkeit bis zu 0.1 mm erzielt. Die vom Winde hervorgerufenen leichten Kräuselungen der Wasserfläche in den Meßgefäßen werden für die Messungen dadurch ausgeschaltet, daß diese in Glasröhren erfolgen, die in der Mitte der Gefäße angebracht sind und mit ihnen nur durch kleine Löcher in Verbindung stehen.

Die Meßgefäße am Lande sind frei aufgestellt. Daneben lassen wir jedoch auch einen Wildschen Verdunstungsmesser in einer Hütte beobachten, und zwar in den Wintermonaten diesen allein. Die Apparate am Lande werden im Sommer täglich dreimal, die auf dem Floß täglich einmal beobachtet. Während in der Wildschen Schale täglich durch Nachfüllung ein bestimmter Wasserstand wiederhergestellt wird, lassen wir die frei aufgestellten Gefäße erst nachfüllen, wenn das Wasser etwa um 2 cm gefallen ist. Auf diese Weise bleibt ein etwaiger Ablesefehler bei den Beobachtungen zwischen zwei Füllungen für die Berechnung der Gesamtverdunstung unschädlich. In dem einen Landgefäß (I) wird der Wasserspiegel annähernd zwischen denselben Grenzabständen vom Rande gehalten wie in dem Gefäß auf dem See. Die Verdunstungsunterschiede zwischen diesen beiden Gefäßen beruhen also lediglich auf Unterschieden der Wassertemperatur und der meteorologischen Faktoren. Für ein zweites Landgefäß (II), das nahe bei dem anderen steht und diesem völlig gleicht, haben wir die Grenzwasserstände 4 cm niedriger gewählt, um auf diese Weise Aufschluß zu erhalten, wie die Höhe des Wassers im Gefäß die Verdunstung beeinflusst. Wenn sich die Gefäße durch Regen über die Sollhöhe füllen, läuft das überschüssige Wasser in besondere verdeckte Sammelgefäße. Zur Ermittlung der Verdunstung werden auch die Regen- und die Überlaufmengen gemessen.

Nach Vorversuchen im Jahre 1907 haben wir vom Sommer 1908 ab brauchbare Ergebnisse gewonnen. Die Hauptergebnisse für 1908 sind im Führer durch die Sammelausstellung aus dem Gebiete des Wasserbaues mitgeteilt, die bei der Weltausstellung in Brüssel 1910 vom Königl. Preußischen Ministerium der öffentlichen Arbeiten veranstaltet worden ist. Eine zusammenfassende Bearbeitung aller bisherigen Messungen ist für eines der nächsten Hefte der „Besonderen Mitteilungen“ zum Jahrbuch für die Gewässerkunde Norddeutschlands geplant. Wir beschränken uns hier deshalb auf die Zahlen, die zur Vergleichung mit Maurer in Betracht kommen. Die in unserer Tabelle angegebenen Zeiträume sollen also möglichst denen in Maurers Tabelle, Met. Zeitschr. 1911, S. 554, entsprechen. In die dort angewendete Datierung muß sich aber ein Versehen eingeschlichen haben. Die fünf- oder sechstägigen Zeiträume in der Tabelle sollen doch wohl dieselben sein wie die, für die in der Abbildung Seite 553 die Verdunstungswerte angegeben sind. Die Tabelle enthält dabei aber nur zwei Zeitspannen zu sechs Tagen, nämlich die erste und die letzte, die Zeichnung jedoch außerdem noch eine Ende August bis Anfang September. So kommt es, daß mitten in der Tabelle eine Abweichung zwischen dieser und der Zeichnung eintritt. Da Maurer seine Zahlen graphisch ermittelt hat, haben

wir die Zeichnung als maßgebend angesehen. In unserer Tabelle haben wir nun so datiert, daß z. B. unter dem Zeitabschnitt vom 30. Juli bis 5. August die Zeit von der Beobachtung am 30. Juli bis zur Beobachtung am 5. August, also ein Zeitraum von sechs Tagen, zu verstehen ist. Unsere Beobachtungen erstrecken sich dabei immer von Morgen zu Morgen. Maurer rechnet dagegen Anfangs- und Endtag ganz in den Zeitraum ein, umfaßt also z. B. mit 31. Juli bis 5. August sechs Tage. Bei der Zusammenfassung zu Gesamtbeträgen haben wir demgemäß z. B. mit den Zahlen, die Maurer für den Monat August gefunden hat, die am Grimnitzsee vom Morgen des 1. August bis zum Morgen des 1. September gemessene Verdunstung verglichen. Die fünf- oder sechstägigen Tagesmittel sind auch in der Abbildung wiedergegeben (wobei im Zeitmaßstab der Wechsel zwischen fünf und sechs Tagen nicht ausgedrückt ist).

Tagesmittel der Verdunstung (mm).

1911 Zeit	1911 Zeit	Tage:	a) Maurer		b) Landesanstalt f. Gewässerkunde (Messungen am Grimnitzsee)		
			1.	2.	3.	4.	5.
			Greifensee	Zürichsee	Floßgefäß	Landgefäß I	Landgefäß II
30. Juli	bis 5. Aug. ¹⁾	6	5.6	5.3	7.1	9.4	8.7
5. Aug.	" 10. "	5	5.4	5.5	7.0	8.0	7.4
10. "	" 15. "	5	5.2	4.8	7.3	9.3	8.6
15. "	" 20. "	5	4.7	4.6	7.0	5.8	5.3
20. "	" 25. "	5	4.3	3.8	4.3	5.3	4.8
25. "	" 30. "	5	3.5	4.0	5.1	8.0	7.0
30. "	" 5. Sept.	6	3.4	3.7	7.1	8.0	7.3
5. Sept.	" 10. "	5	4.5	4.0	4.5	5.1	4.7
10. "	" 15. "	5	3.6	3.0	4.9	6.1	5.6
15. "	" 21. "	6	0.9	1.7	3.2	2.8	2.8

Gesamtbeträge der Verdunstung (mm).

16. Juli	bis 1. Aug.	16	(93)	(93)	95	120	110
1. Aug.	" 1. Sept.	31	145	143	191	227	207
1. Sept.	" 16. "	15	57.5	62	81	96	87
16. Juli	" 16. "	62	295.5	298	367	443	404

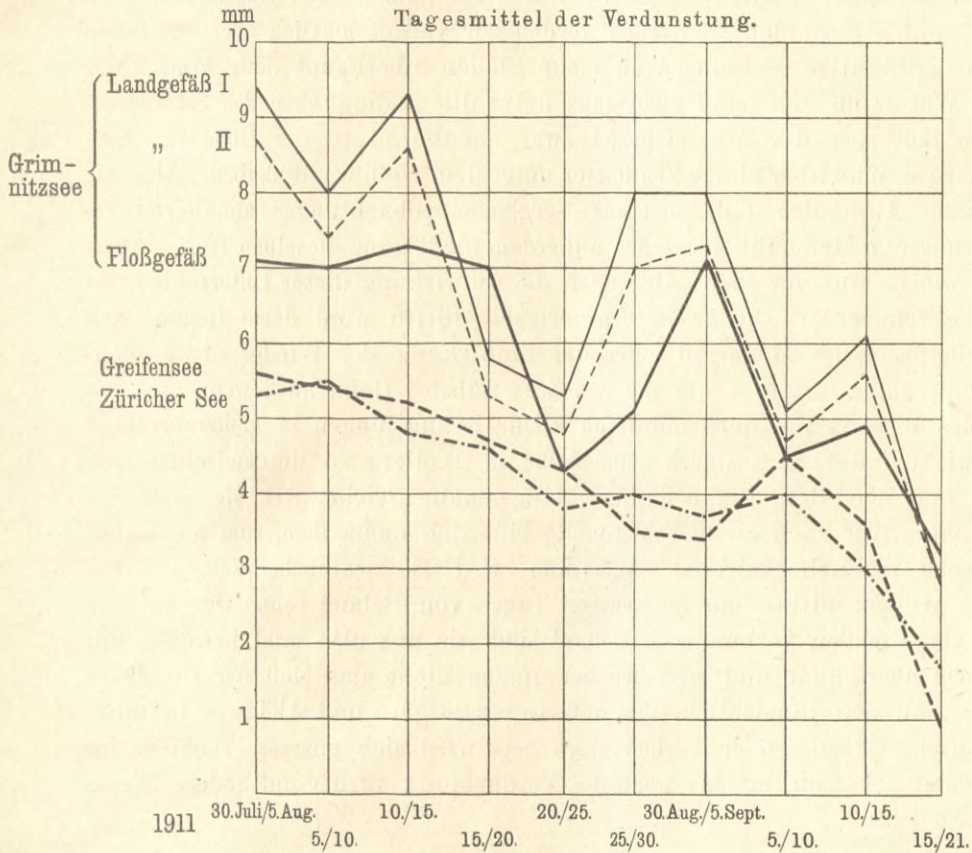
Schon die für 1908 von uns veröffentlichten Verdunstungshöhen gehen zum Teil über Maurers Maximalzahlen für die Hitze- und Dürrezeit 1911 hinaus. Noch entschiedener ist die Überschreitung bei unseren Zahlen für 1911. Als angenähertes Maß der Verdunstung auf dem Grimnitzsee können dabei nur die Zahlen in Spalte 3 der Tabelle (Floßgefäß) in Betracht kommen. Die meist noch größeren Beträge der Verdunstung in den am Lande aufgestellten Gefäßen sind nur beigefügt, um über den allgemeinen Gang der Verdunstung keinen Zweifel zu lassen.

Als gesamte Verdunstung in den 62 Tagen vom 16. Juli bis 16. September hat Maurer nahezu 300 mm erhalten. Die Messungen auf dem Grimnitzsee ergeben 367 mm. An dem Mehrbetrag sind fast alle fünf- oder sechstägigen Zeitabschnitte beteiligt, für welche Maurer Teilangaben macht. Nur für den 20. bis 25. August und 5. bis 10. September sinkt die Verdunstung auf dem Grimnitzsee auf den Betrag der für den Greifensee ermittelten. Beide Male ist dieses Sinken zugleich ein solches der Grimnitzer Verdunstungshöhe selbst, und beide Male wird es durch die Beobachtungen auf dem Ufer des Sees (Spalte 4 und 5) bestätigt.

Inmitten der Beobachtungsreihe ist die Verdunstung aus den Gefäßen am Ufer des Grimnitzsees nur einmal kleiner als die aus dem in den See eintauchenden Gefäß (15. bis 20. August). Diese Ausnahme ist auf einen Temperatursturz zurückzuführen, der in Norddeutschland erheblich stärker war als in der Schweiz und die verhältnismäßig kleinen Wassermassen in den am Lande aufgestellten Gefäßen beträchtlich, die

¹⁾ Für Spalte 3 bis 5 (Messungen am Grimnitzsee) gelten die Zeiten immer von Morgen bis Morgen.

große Wassermasse des Sees dagegen nur wenig abkühlte. Auf gleiche Weise erklärt sich der Überschuß der Seeverdunstung für den 15. bis 21. September. Daß die Verdunstung aus dem Seegefäß beim Abnehmen der Lufttemperatur gegen den Herbst hin über die Verdunstung aus den Gefäßen am Lande steigt, haben wir in allen Beobachtungsjahren festgestellt. Die Tage stärkster Verdunstung waren am Grimnitzsee der 29. und 30. Juli 1911. Vom Morgen des 29. bis zum Morgen des 31. Juli erreichte die Verdunstung in dem Schwimmgefäß auf dem See 22 mm (in



dem ebenso hoch gefüllten Gefäß am Lande 25.5 mm, in weniger hoch gefüllten 22.7 mm). Für das Halbjahr Mai bis Oktober 1911 beträgt die Gesamtverdunstung aus dem Schwimmgefäß 860 mm.

Die Verdunstung vom Grimnitzsee selbst ist wahrscheinlich noch etwas größer als die am Schwimmgefäß gemessene. Denn in diesem muß der Wasserspiegel etwas unter dem Gefäßbrande gehalten werden, was die Verdunstung verringert. Diese Verringerung hätte ausgeglichen werden können, wenn das Wasser im Meßgefäß infolge der Sonnenbestrahlung im ganzen eine etwas höhere Temperatur angenommen hätte als die obere Wasserschicht des Sees. Dies war aber in der Zeit, auf welche sich unsere Tabelle erstreckt, nicht der Fall. Die volle Seeverdunstung wird im Meßgefäß vermutlich auch deshalb nicht erreicht, weil dieses nicht an jeder Vergrößerung der Wasseroberfläche durch Wellenbewegung teilnimmt.

Maurers Zahlen können also nicht als Höchstwerte der Verdunstung von einem See in unserem Klimagebiet gelten, und zwar auch dann nicht, wenn man die Zahlen für den Zürichsee um die 10 Proz. erhöht, die Maurer als vielleicht nötig zugesteht. Hiermit ist aber nicht entschieden, ob die Verdunstung vom

Zürich- und Greifensee wirklich geringer ist als vom Grimnitzsee. Ebensovienig wollen wir die für den Grimnitzsee ermittelten Beträge als größte Seeverdunstung in unserem Klimagebiet hinstellen.

Wägen wir noch einmal Maurers und unser Verfahren gegeneinander ab, so scheinen uns folgende Gesichtspunkte entscheidend zu sein: Maurers Verfahren umfaßt den ganzen See; seine Berechnungsart läßt aber den unterirdischen Teil des Wasserhaushaltes außer acht, der sich bis jetzt der Messung entzieht. Wir messen vorläufig nur an einer Stelle des Sees. Durch gleichzeitige Beobachtungen an einander gegenüber liegenden Uferstellen werden wir voraussichtlich aber beurteilen können, ob gleichzeitige Messungen an mehr Stellen überhaupt nötig sind. Wir können das Wasser im Meßgefäß nicht ganz unter die Bedingungen des Seewassers bringen. So läßt sich der Wasserspiegel zwar annähernd in der Höhe des Seespiegels halten; er muß aber einige Zentimeter unter dem Gefäßrand bleiben. Aber die Wirkung dieses Abstandes läßt sich aus Vergleichsbeobachtungen annähernd ermitteln. In unserem Meßgefäß herrschen außerdem nicht ganz dieselben Temperaturverhältnisse wie im Außenwasser. Aber auch die Einwirkung dieser Unterschiede ist annähernd bestimmbar¹⁾. Die größte Schwierigkeit dürfte wohl darin liegen, daß die Wasseroberfläche im Meßgefäß unter der Einwirkung des Windes nicht ebensolche Veränderungen erleidet wie die des Sees selbst. Denn auch wenn sich die Oberfläche des Wassers im Meßgefäß durch kleine Kräuselungen in gleichem Maße vergrößert wie die des Sees durch seine höheren Wellen, so durchmischen sich Wasser und Luft über dem Gefäß doch nicht in genau gleicher Art wie über der freien Seefläche. Aber auch dieser Fehlerquelle läßt sich nachgehen, zum mindesten durch Versuche im Laboratorium. Außerdem wird sie wahrscheinlich nur bei schäumenden Wellen, mithin nur an wenigen Tagen von Belang sein. Der mit der Anwendung von Gefäßen verbundenen Mängel sind wir uns also wohl bewußt. Sie sind aber doch übersehbar und erreichen bei weitem nicht das Maß der Unsicherheit, in der man sich hinsichtlich des unterirdischen Zu- und Abflusses befindet. Der unterirdische Gewinn oder Verlust eines Sees wird sich unseres Erachtens im allgemeinen erst schätzen lassen, wenn die Verdunstung vorher auf andere Weise ermittelt worden ist.

¹⁾ Wir hegen sogar die Hoffnung, daß die gesetzmäßigen Beziehungen zwischen der Verdunstung auf dem See und am Lande sich in solche Form fassen lassen, daß es genügen wird, die Verdunstung nur noch in Gefäßen am Lande und außerdem die Temperaturunterschiede zwischen Landgefäßen und See zu messen.



WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA



L. inw.

33402

Kdn., Czapskich 4 — 678. 1. XII. 52. 10.000

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000305634