

INTERNE TEMPERATURWELLEN IM VRANA-SEE (INSEL CRÉS).

Von Dr. A. G a v a z z i.

Erst vor einigen Monaten ist es mir geglückt, die letzte 10-jährige Serie des »Archiv für Hydrobiologie« zu durchsehen. Im XIII. Bande (1921.) ist der Aufsatz von R. D e m o l l »Temperaturwellen (= seiches) und Planktonwellen« erschienen, wo (Seite 314) der Autor schreibt: »Zum erstenmal wurde wohl von R i c h t e r darauf hingewiesen, dass von Stunde zu Stunde die Wassertemperatur in den Seen in bestimmten Tiefen sich ändert. Eingehend wurde dies Phänomen an schottischen Seen von W a t s o n 1904 und W e d d e r b u r n 1907/8 untersucht«.

Vier Jahre vor Watson wurde diese Erscheinung in dem Vrana-See auf der Insel Cres (Quarnero) von mir verfolgt. Die diesbezüglichen Resultate sind in kroatischer Sprache veröffentlicht,¹⁾ und wohl deshalb bis jetzt unbekannt geblieben.

Ich will hier die damals erhaltene Zahlen und insbesondere die Methode der Untersuchungen kurz reproduzieren.

Der Vrana-See hat in der Horizontale eine ovale Form von 5,6 km² Flächeninhalt. Nur eine einzige, aber sehr kleine Quelle ist sichtbar, und zwar im nördlichsten Winkel der Wanne; auch ein Abfluss ist nicht sichtbar, so dass der See eine echte Karstwanne darstellt. Der längliche Boden ist 60 m tief, nur im südwestlichen Winkel liegt ein kleiner Trichter von 84 m Tiefe. Die Wasseroberfläche steht für gewöhnlich 16 m über dem Niveau des Adriatischen Meeres, steigt in Ausnahmefällen um ca. 2 m; der See ist also eine tiefe Kryptodepression. In diesem See, dessen Wasser weder in seinen Bewegungen noch in seinen Temperaturverhältnissen von einem Flusse gestört wird, führte ich die Untersuchungen aus und zwar in den Jahren 1900 und 1901.

Nachdem mir Richter's Hinweis bekannt war, stand ich vor der Frage: sind die (damals) anderswo erzielten Temperaturwerte untereinander vergleichbar oder nicht? Man arbeitete zu jener Zeit mit einem Thermometer, was natürlich viel Zeit in Anspruch nimmt, ehe man die Temperaturen in den einzelnen Wasserschichten nach und nach misst. Für eine jede Messung sind wenigstens 10 Minuten nötig; bei der Messung in der sechsten Schichte ist bereits eine Stunde verflossen. Hat sich nicht inzwischen in der ersten, zweiten oder auch in der dritten, event. in der vierten Schichte die Temperatur geändert? Ein Nachdenken darüber führte mich dazu, eine vollkommen andere Methode anzuwenden.

¹⁾ »Rad« der Akademie d. Wissenschaften, Zagreb, Bd. 151, 1902.

Mit Unterstützung der Zagreber Akademie der Wissenschaften erwarb ich von der damals bekannten Fabrik H. Kappeller, Wien, 10 Minimum-Thermometer, zu denen noch 4 Max.-Min. meines Eigentums gebrauchsfertig standen. Alle wurden vor und nach der Reise mit dem Stationsthermometer Calderoni in Karlovac kontrolliert.

So ausgerüstet fuhr ich am 4. Juli 1900 nach Vrana, um den nächsten Tag mit den Untersuchungen zu beginnen.

An einer mit Firnis imprägnierten Leine wurden in Abständen von 0,5 m an Ort und Stelle zehn Thermometer befestigt und ins Wasser hinabgelassen; am Ende der Leine war ein Gewicht von 4 kg angebracht.

Am 5. VII. 1900 war die Sprungschicht vormittag zwischen 11 m und 12 m mit Amplituden von $4,0^\circ$, $4,5^\circ$ und $4,5^\circ$; sämtliche Isothermenflächen zwischen 10 m und 14 m (wahrscheinlich auch 14,5 m) senkten sich, um ein Wellental zu bilden.²⁾ Nachmittags aber (17,15 h) sind sie oberhalb der Sprungschicht weiter gesunken, unterhalb derselben aber gehoben, so dass der vormittägige Sprung zwischen 11 und 12 m von $4,5^\circ$ auf $2,1^\circ$ sich erniedrigt hat.

Am 6. VII. 1900 lag die Sprungschicht in den Vormittagstunden zwischen 12 und 13 m, also um $0,5^\circ$ niedriger als am Vortage; in der ersten Serie (7,10 h) war die Differenz $1,9^\circ$, in der zweiten (10,50 h) sogar $2,7^\circ$; die oberen, wärmeren Schichten hatten sich gesenkt. Aber in den Tiefen 12,5—14,5 m war eine zweite Sprungschicht entwickelt mit Differenzen von $2,5^\circ$. Ich nehme an, dass die untere Sprungschicht im Frühjahr, die obere im Frühsommer sich ausgebildet hat. — Am Vortage war diese untere Sprungschicht tiefer, unter 14,5 m; am 6. VII. war sie höher. Danach sieht man, dass an diesem Tage u. zw. am Nachmittag die obere Sprungschicht sich senkt, die untere aber sich hebt.

Am 7. VII. sind die beiden vortägigen Sprungschichten aneinandergedrückt, so dass die Differenz zwischen der oberen (12 m) und der unteren (13,5 m) Isothermenfläche beider Sprungschichten (1,5 m) um 6,50 h $4,3^\circ$ beträgt; also auf 1 m rund $2,9^\circ$ C; um 8,10 h sogar $3,3^\circ$.

Am 7. um 9 h begann ein schwacher Regen, der bis 15 h dauerte, und eine milde Bora (»burin«) wehte durch die ganze Nacht; die Temperatur an der Oberfläche sank infolgedessen.

Am 8. VII. Vormittag waren die kälteren Isothermenflächen höher, am Nachmittag aber viel tiefer.

Da auf eine Besserung der Witterung keine Aussicht war, unterbrach ich die Messungen, um sie im nächsten Jahre zu vervollständigen.

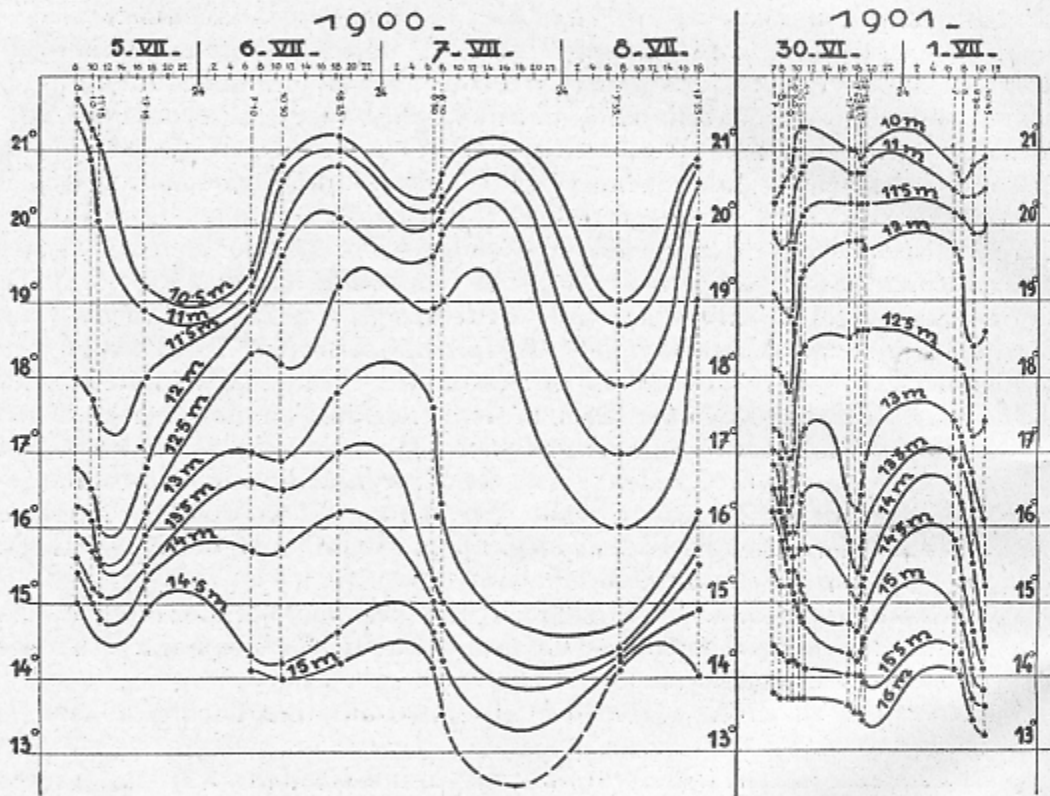
Am 30. Juni und am 1. Juli 1901 war die Witterung ziemlich gut; dennoch — wie gewöhnlich — das Seewasser war unruhig von etwa 11 h bis 17 h wegen der lokalen Winde, welche in der Wanne wehen. Sobald sich nämlich die Sonne ihrer Kulmination nähert, beginnt der Wind, der 4, 5 und auch 6 Stunden dauert. Gegen Abend vor Sonnenuntergang tritt Stille ein.

Um eine eventuelle zweite, tiefere Sprungschicht zu konstatieren, liess ich die Messungen in 10,5 m weg, um sie in der Tiefe von 16 m vorzunehmen.

Am 30. VI. 1901 lag die Sprungschicht bis etwa 10 h zwischen 11,5 und 12,5 m, um sich nachher zu senken bis 12—15 m. Die Wassertemperaturen in 10 m und darüber haben die Tendenz, sich dem Gange der Lufttemperatur

²⁾ Um 8,10 h war in der Tiefe von 20 m die Temperatur $10,9^\circ$ und in 30 m: $9,4^\circ$; um 17,15 h in 20 m: $11,6^\circ$ und in 30 m: $8,5$. Um 10 h begann ein schwacher Regen, der bis 11 h dauerte.

anzupassen; diejenigen aber in 14 m Tiefe und darunter verhalten sich entgegengesetzt. Die Temperaturen in der Sprungschicht selbst partizipieren an beiden Schwankungen. Die untere Sprungschicht befindet sich unter 14,5 m, ist aber schwach entwickelt. — Nachmittags ist die Sprungschicht in derselben Tiefe geblieben, wo sie kurz vor Mittag war, aber mit einer Restriktion. Die darüberliegenden wärmeren Schichten sind gesunken, die darunterliegenden kälteren aber hinaufgerückt, so dass die Differenz zwischen der Temperatur in 12 m (Mittel: $19,8^{\circ}$) und jener in 13 m (Mittel: $16,4$) rund $3,4^{\circ}$ beträgt; diejenige dagegen um 11 h war nur $2,1^{\circ}$: die Dicke der Sprungschicht ist geringer geworden.



Am 1. Juli lag die Sprungschicht bis etwa 9 h wie am vorigen Nachmittage: zwischen 12 und 13 m; nach 9 h sind die tieferen Kälteren Schichten hinaufgerückt, so dass der Sprung von $2,5^{\circ}$ (7 h) bez. $2,1^{\circ}$ (8 h) auf $2,7^{\circ}$ (9.30 h) bez. $2,6^{\circ}$ (10.45 h) sich verstärkt hat.

Aus allen diesen Beobachtungsdaten und Betrachtungen geht hervor, dass im Vrana-See, wie es zu erwarten war, die Sprungschicht während des Sommerhalbjahres entwickelt ist. Ihre Isothermenflächen sind aber vertikalen Schwankungen unterworfen, welche von den Windstärken abhängig sind. Et ist aber bekannt, dass einem kleinen Wellenberge an der Oberfläche ein viel tieferes Wellental im Inneren des Wassers an zwei Grenzschichten entspricht und umgekehrt.³⁾ Dazu sei bemerkt, dass die Oberflächenwellen nie

³⁾ O. Krümmel, Handbuch der Ozeanographie. Bd II, Stuttgart, 1911., S. 187.

schnurgerade in derselben Richtung sich fortpflanzen; dementsprechend müssen auch die internen Wellen sich bewegen, bez. »heben« und »senken«.

Aber noch Eines. Die Winde erzeugen in den obersten Wasserschichten Strömungen, das Wasser wird dadurch fortbewegt; an seine Stelle tritt dann Kompensation aus tieferen, also kälteren Schichten ein, und dieses kältere Wasser schiebt sich wellenförmig in eine höhere Schichtlage vor.

Alle diese Vorgänge können die Lage der Sprungschicht beeinflussen; dementsprechend verschieben sich die Isothermenflächen in vertikalem Sinne: einmal sind sie in einer höheren, nachher in einer tieferen Lage.

Nun einige Worte zur Begründung der Methode. Für eine jede Messung mit einem einzigen Thermometer — wie man für gewöhnlich verfährt — sind etwa 6—10 Minuten nötig. Hätte ich so z. B. am 30. Juni 1901. vormittags gemessen, so wären die Resultate ganz andere: die vierte Messung um 9 h in 12 m Tiefe, für jede Messung 8 Minuten angenommen, wäre $3\frac{3}{4}$ Stunden (nach Beginn um 7 h) später ausgeführt d. h. um 10,40 h; die Temperatur zu dieser Zeit und in 12 m Tiefe war $19,4^{\circ}$, gemessen um 9 h aber nur $17,8^{\circ}$, also eine Differenz von $1,6^{\circ}$. Durch das Verfahren mit einem Thermometer hätten die auf der beigelegten Tafel gezeichneten Linien einen ganz anderen, natürlich unrichtigen Verlauf besonders mit Bezug auf die Temperaturen der Sprungschicht.