© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Versuche über den Einfluss von Temperaturschwankungen auf homogene und geschichtete Wassermassen.

Von

Klaus Grein (Neapel).

Mit 17 Abbildungen im Text.

Einleitung.

Bei der großen Anzahl verschiedener Meinungen, welche von Autoritäten[1]) der Oceanographie über die Entstehungsursachen der Strömungen in Gewässern ausgesprochen werden, schien es mir nicht uninteressant, die Wirkung einseitiger Temperaturveränderungen auf homogene und geschichtete Wassermassen näher zu untersuchen.

Zu diesem Zweck verwendete ich ein aus planparallelen Glasplatten hergestelltes Gefäß des Inhaltes: 50 : 10 : 6 cm, dessen Wände durch ein Messinggestell zusammengehalten wurden. Zur Erwärmung diente mir ein durch Bunsenbrenner erhitzter Messingstreifen, der mit seinem Ende, einer runden Kupferplatte, die Oberfläche des Wassers berührte, zur Abkühlung ein Blechgefäß mit Eis, welches durch eine Blechklammer an beliebiger Stelle des Gefäßes befestigt werden konnte. Eine Erwärmung des Gefäßes durch die Bunsenbrenner direkt, wurde nach Möglichkeit durch zwischengeschaltete Asbestplatten und eine mit Wasser gefüllte Glascuvette verhindert; auch wurde die Temperatur an der den Bunsenbrennern zugekehrten Seite des Gefäßes von Zeit zu Zeit controllirt (Abb. 1). Die entstehenden Strömungen machte ich durch eingeführte Farbstoffe verschiedenen specifischen Gewichtes kenntlich.

---

[1]) Boguslavsky-Krümmel, Handbuch der Ozeanographie, 1887, Bd. 2. Seite 342 ff.

Carl Forch, Zur Theorie der Meeresströmungen. in: Annal. Hydrographie 1906 Heft 2.

W. Ekman, Beiträge zur Theorie der Meeresströmungen. in: Annal. Hydrographie 1906 Heft 9 u. ff.

F. Nansen, Die Ursachen der Meeresströmungen. in: Petermann's Mitt. 1905.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Zuerst versuchte ich durch mehrere suspendirte Thermometer die Temperatur in den einzelnen Wasserschichten zu messen, bald aber sah ich, dass die Thermometer, so dünn sie auch waren, doch die Strömungen ganz wesentlich beeinflussten. Die höchste gemessene Temperatur betrug in der Nähe der erwärmten Kupferplatte 28,6° C.

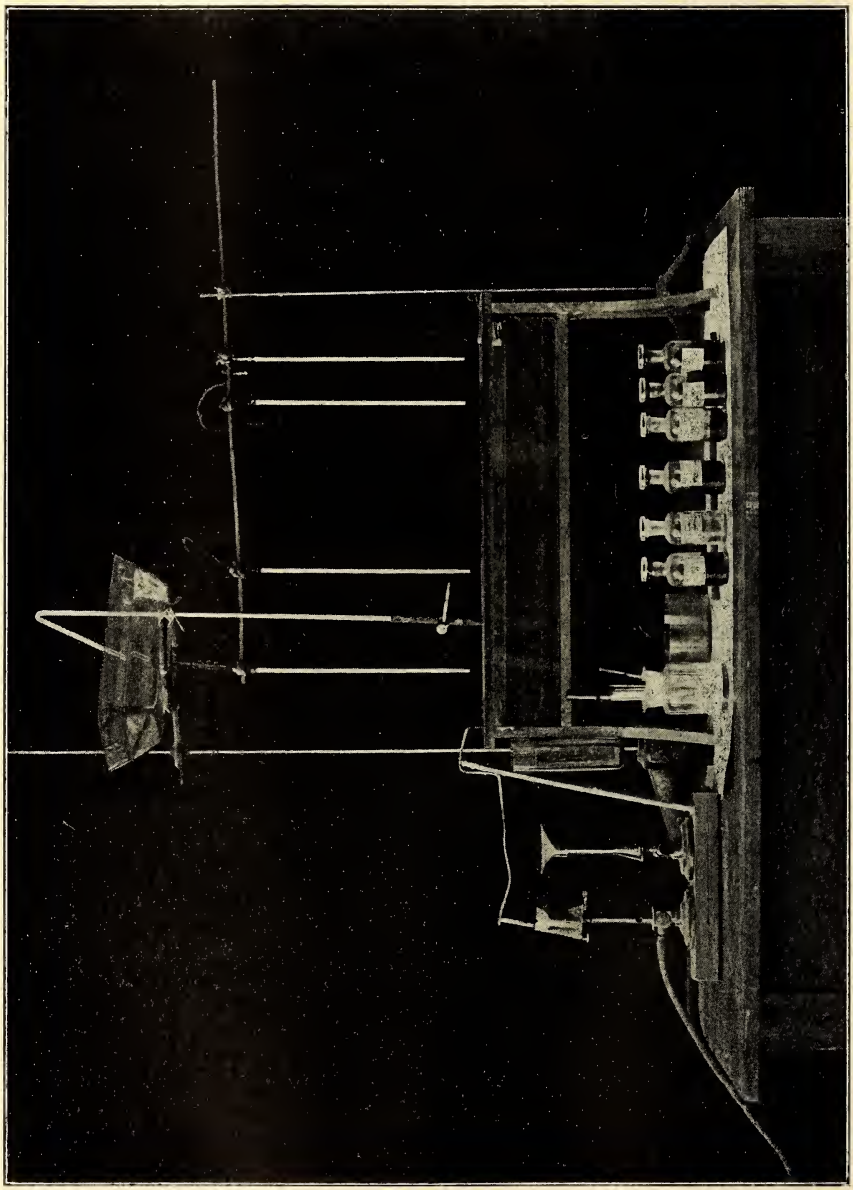

Abb. 1.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Dem etwa zu gewärtigenden Einwand, es ginge nicht an, von Befunden aus künstlich und in sehr kleinen Dimensionen hergestellten Verhältnissen auf wirklich in der Natur vorkommende Phänomene Schlüsse zu ziehen, möchte ich mit der Bemerkung begegnen, dass es mir fern lag, einen bestimmten in der Natur vorkommenden Fall copiren zu wollen. Meine Absicht war, aus der großen Summe möglicher Combinationen einige wenige herauszugreifen und näher zu untersuchen.

Um die Begriffe zu definiren, sei erwähnt, dass ich unter »Strömung« eine einfache gerichtete Bewegung des Wassers verstehe, während ich von einer »Circulation« spreche, wenn zu einem einfachen Strom der dazu gehörige Compensationsstrom deutlich sichtbar erscheint.

In der Versuchsreihe mit Wassermassen von ein bis fünf Schichten ist immer einmal erwärmt, ein andermal auch auf der entgegengesetzten (rechten) Seite mit Eis gekühlt worden. Dies hatte lediglich den Zweck, zu untersuchen, ob die Vergrößerung der Temperaturdifferenz die Erscheinungen nur steigere, oder auch modificire. Im allgemeinen machte sich nur quantitativ eine Steigerung der Vorgänge bemerkbar. Wohl aber waren die Bewegungen, da alles schneller von statten ging, viel schärfer und deutlicher abgegrenzt.

Wenn ich von einer Circulation spreche, ohne den Drehsinn besonders anzugeben, so erfolgte dieselbe immer im Sinne des Uhrzeigers von links nach rechts, dann abwärts und wieder zurück.

Dem etwaigen Einwand, dass bei der Enge des Gefäßes die Reibung an den Wandungen nicht vernachlässigt werden dürfe, habe ich dadurch zu begegnen versucht, dass ich dieser Erscheinung besondere Aufmerksamkeit zollte und sie immer berücksichtigte, wo es not zu tun schien. Die Stirn eines Stroms, z. B. Abb. 2, hat von oben betrachtet etwa folgende Form: . — Die Reibung kann also keine gar große sein.

Im folgenden will ich die Versuche beschreiben, wie ich sie mit einer einfachen und mehreren (bis zu fünf) übereinander gelagerten Wasserschichten ausführte.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Versuch 1.

Eine einzige Schicht Salzwasser. Links erwärmt.

Gleich nach Beginn der Erwärmung schiebt sich ein Keil erwärmten Wassers von links nach rechts*) (Abb. 2). Und zwar ist die Strömung im oberen Teil des Keiles der Wärmequelle ab-, im unteren Teil zugekehrt**). Etwa eine halbe Stunde später hat der Keil die gegenüberliegende Wandung des Gefäßes erreicht (Abb. 3), indem er etwas an Dicke zunimmt. Sobald dies geschehen, werden immer tiefer liegende Schichten in den Kreislauf einbezogen, bis nach etwa dreistündiger Dauer des ganzen Versuches eine einzige einheitliche Circulation im Gefäß herrscht. Keinerlei horizontale Bewegung.

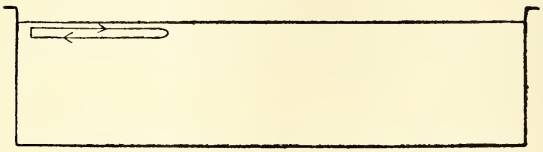

Abb. 2.

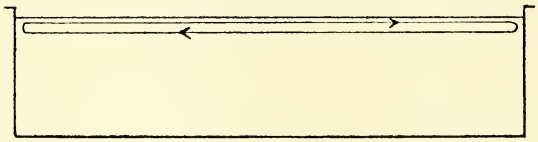

Abb. 3.

Die Strömungen stellen sich, solange die Wärmequelle Wärme abgibt, immer etwas schräg zur Horizontalen ein, links höher, rechts etwas tiefer, gehen aber gleich in die Horizontale zurück, wenn die Bunsenflammen ausgelöscht werden. Ich habe diese Erscheinung in die Abbildungen nicht eingezeichnet, da der Winkel zur Horizontalen nicht immer konstant ist und die Bilder daher nur unverständlich würden.

Versuch 2.

Schicht wie bei Versuch 1. Links erwärmt, rechts gekühlt.

Die Circulation setzt sogleich nach Zufügung von Eis in großer Stärke auf der rechten Seite ein, erstreckt sich bis auf den Grund und erfüllt innerhalb einer Stunde das ganze Gefäß (Abb. 4). Die Strömung ist so stark, dass im ganzen Gefäß die gleiche Temperatur herrscht. Der

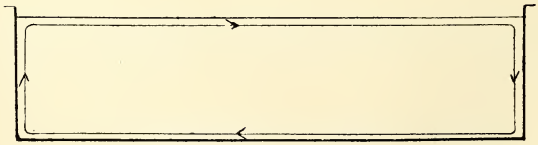

Abb. 4.

*) Rechts und links vom Beschauer.

**) Wenn nichts anderes bemerkt, zeigen die Abbildungen das Gefäß immer von der Seite.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Mittelteil des Wassers bleibt dabei relativ ruhig und zeigt streifige Structur. Die Streifen erscheinen gegen die rechte Seite gehoben. Keinerlei horizontale Bewegung.

Versuch 3.

Eine Süßwasserschicht über einer gleich mächtigen Salzwasserschicht gelagert. Links erwärmt.

Ganz kurze Zeit nach Beginn des Versuches erfasst eine links beginnende Circulation die gesamte Masse des Süßwassers (Abb. 5). Hierbei gilt es aber erst eine kleine gegensinnige Strömung zu überwinden, die gleich zu Beginn des Versuches an der rechten Seite der Süßwasserschicht entsteht. Wenig später beginnt auch eine kleine Circulation in der Salzwasserschicht links unten am Grund des Gefäßes (Abb. 5 *b*). Da sich die zuletzt gegannte Circulation rasch vergrößert,

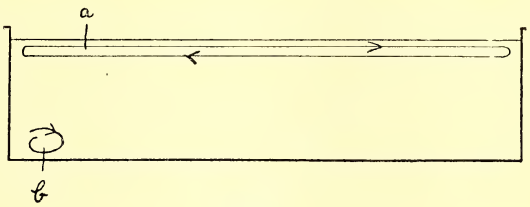

Abb. 5.

entstehen an der Grenze der beiden entgegengesetzten Strömungen (der unteren der Süßwasser- und der oberen der Salzwassercirculation) kleine Strömungen nach rechts und links, Wirbel, und endlich infolge der starken Vermischung von Süß- und Salzwasser eine Mittelschicht von Brackwasser, mit einer der oberen und unteren Circulation gleich gerichteten Bewegung (Abb. 6). Die Grenzgebiete zweier entgegengerichteter Strömungen werden durch Wirbel und horizontale Strömungen verschiedener Gestalt ausgefüllt, von denen eine hier wiedergegeben sein mag (Abb. 7).

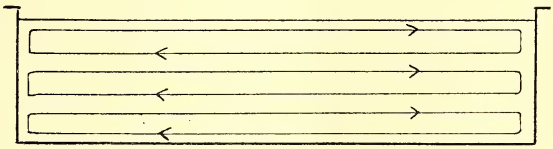

Abb. 6.

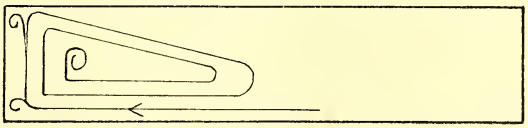

Abb. 7.

Die drei gleichsinnigen Circulationen in den nun vorhandenen drei Wasserschichten: Süß-, Brack- und Salzwasser, werden immer schärfer ausgeprägt, während Wirbel und horizontale Strömungen allmählich verschwinden. Sind alle diese kleineren Bewegungen aufgezehrt, so beginnen die obere und die untere Schicht sich auf Kosten der Mittelschicht zu vergrößern. Hierbei

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

zeigt sich ein offenkundiges Überwiegen der jeweilig größeren Schicht über die beiden andern. Gewöhnlich ist der Ausgang des Versuchs der, dass die obere Schicht, an Ausdehnung mehr und mehr zunehmend, die beiden andern Schichten in sich aufnimmt und endlich das ganze Gefäß mit einer einzigen gleichmäßigen Circulation ausfüllt.

Dauer des ganzen Versuches: Mehrere Tage.

Versuch 4.

Schichten wie bei Versuch 3. Links erwärmt, rechts gekühlt.

Während bei Versuch 3 der Strom in der Salzwasserschicht etwas auf sich warten läßt und erst erscheint, wenn die Bewegung in der Süßwasserschicht schon weiter fortgeschritten ist, erscheint in diesem Versuch (4) der Strom in der Salzwasserschicht zuerst. Und zwar setzt er an allen Orten mit fast gleicher Intensität ein und erfüllt binnen kurzem die ganze Schicht.

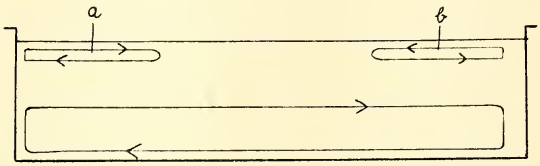

Abb. 8.

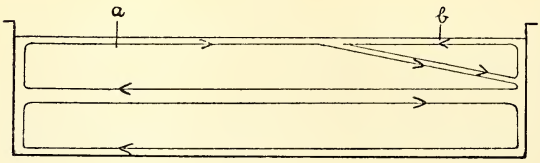

Abb. 9.

In der Süßwasserschicht entstehen aber nach kurzer Zeit rechts und links zwei gegensinnige Circulationen, die sich keilförmig gegen die Mitte des Gefäßes zu vorschieben (Abb. 8). Die von links (dem erwärmten Teil) fortschreitende Circulation *a* hat eine höhere Geschwindigkeit und schiebt sich unter die rechte, erreicht auch bald das rechte Ende des Gefäßes, während die gegensinnige Circulation *b* ihre Ausdehnung nicht wesentlich verändert (Abb. 9). Dieser Befund errinnert an eine Erscheinung, die I. W. Sandström[1]) im Gullmarfjord beobachtet hat (Abb. 10). Dort sah er, wie

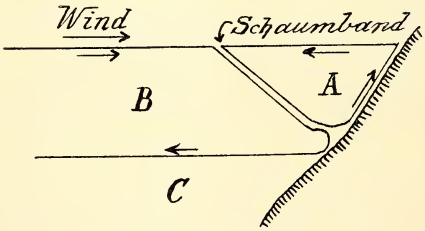

Abb. 10.
Aus: W. Ekman, Beiträge zur Theorie der Meeresströmungen. Annal. Hydr. 1906 Heft 12. Nach I. W. Sandström.

[1]) I. W. Sandström, Windströme in Gullmarfjord. in: Svenska hydrografisk-biologiska Kommissionens Skrifter II. 1905 (citirt aus: W. Ekman, Beiträge zur Theorie der Meeresströmungen. in: Annal. Hydrographie 1906. Heft 12).

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

leichtes Oberflächenwasser vom Wind gegen die Küste gedrängt und an der Oberfläche in eine, der Windrichtung entgegengesetzte Circulation versetzt wurde. Dies schien ihm eine Wirkung der Reibung an der Grenze des schwereren und des leichteren Wassers zu sein.

Bei der relativ geringen Geschwindigkeit meiner durch Wärmedifferenzen in Bewegung gesetzten Wassermassen ist erklärlicherweise bei diesen Versuchen ein Schaumband nicht sichtbar.

Diese gegensinnig bewegte Wassermasse *b* (Abb. 9) wird von *a* langsam verdrängt und in diese aufgenommen. Bei dieser Gelegenheit, wie auch bei Versuch 5 (Abb. 11) konnte ich beobachten, wie Wasser, welches sich in *b* an der Oberfläche befand, bei *a* in die Tiefe gelangte.

Ist die ganze Circulation *b* durch *a* verdrängt, und haben sich nun die drei gleichsinnig bewegten Wasserschichten Süß-, Brack- und Salzwasser gleichmäßig übereinander gelagert, so endigt dieser Versuch genau gleich dem Versuch 3, weshalb er hier abgebrochen wurde.

Wie bei Versuch 3 entstehen auch in diesem Falle an den Grenzflächen zwischen den Schichten einzelne Wirbel und horizontale Strömungen.

Die zu Beginn des Versuches 3 erwähnte kleine gegensinnige Strömung, welche von der von links kommenden erst zu überwinden war, ist jedenfalls analog der Circulation *b* (Abb. 9), nur dass sie bei Versuch 3 nicht zur Ausbildung gelangen konnte, da die Temperaturdifferenz nicht groß genug war.

Versuch 5.

3 gleichdicke Schichten von Süß-, Brack- und Salzwasser übereinander gelagert. Links erwärmt.

Während in der obersten Schicht kurz nach Beginn des Versuches die Circulation, links entstehend, rasch bis an das rechte Ende des Gefäßes vordringt, und auch die Circulation auf der linken Seite des Bodenwassers bald erscheint, entstehen in der Mittelschicht verschiedene Wirbel, von denen ein sehr großer und langsamer auf der rechten besonders hervortritt.

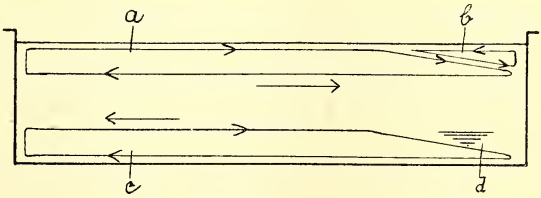

Abb. 11.

Der von der Wärmequelle abgekehrte obere Teil der Circulation in der Süßwasserschicht (Abb. 11 *a*) verlässt etwa in der Mitte des Gefäßes die Oberfläche und erreicht, allmählich immer tiefer sinkend, wie schon

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

oben erwähnt, rasch die rechte Gefäßwandung. Zugleich erscheint auch die schon bei Versuch 4 (und in rudimentärer Form bei Versuch 3) beschriebene dreieckige gegensinnige Circulation *b* im rechten oberen Teil des Gefäßes (Abb. 9 *b*).

Die Circulation im Bodenwasser (Abb. 11 *c*) hat, sobald sie die rechte Gefäßwandung erreicht, eine ähnliche Gestalt wie *a*, doch wird der *b* entsprechende Teil nicht durch eine gegensinnige Circulation, sondern durch kleine Wirbel *d* und auch gänzlich bewegungslose Wassermassen ausgefüllt.

In dieser Zeit haben sich die Wirbel in der Mittelschicht nach und nach vermindert, und eine scheinbar bewegungslose Wassermasse erfüllt diese Schicht.

Während nun die linke Circulation *a* (Abb. 11) die ihr gegensinnige Circulation *b*, und die linke Circulation *c* im Bodenwasser das Gebiet *d* allmählich in sich aufnehmen, kommt auch wieder Bewegung in die Mittelschicht, und nach etwa 24stündiger Dauer des Versuches erhalten wir in allen drei Schichten drei gleiche Circulationen, deren weiteres Schicksal schon bei Versuch 3 beschrieben wurde.

Versuch 6.

Schichten wie bei Versuch 5. Links erwärmt, rechts gekühlt.

In allen drei Schichten, in der obersten aber zuerst, setzt rasch eine gleichsinnige Bewegung ein (Abb. 12).

Gleich zu Beginn sieht man, wie ziemlich viel Brackwasser in die oberste Schicht einbezogen wird.

Nach etwa einer halben Stunde haben sich zwischen den einzelnen Circulationen Gebiete unbeweglicher und in kleinen Wirbeln befindlicher Wassermassen gebildet, die aber allmählich von der oberen und unteren Circulation wieder in den Kreislauf einbezogen werden.

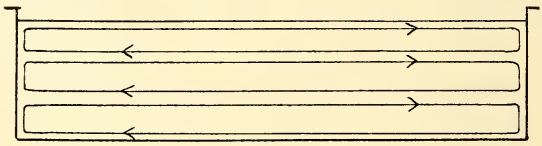

Abb. 12.

Nach zweistündiger Dauer des Versuches sind wieder drei deutliche gleichsinnige Circulationen vorhanden, doch ist die Mittelschicht etwas dünner geworden.

Versuch abgebrochen.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Versuch 7.

4 gleich dicke Schichten von Süß- und Salzwasser: reines Süßwasser, $^2/_3$ Süßwasser, $^1/_3$ Süßwasser, reines Salzwasser. — Links erwärmt.

In der obersten und der untersten Schicht entstehen die üblichen Circulationen sehr bald nach Beginn des Versuches, während sie in den beiden Mittelschichten erst nach etwa drei Stunden deutlich ausgeprägt sind; die horizontalen Strömungen und Wirbel, welche sonst zwischen den genannten Circulationen aufzutreten pflegen, sind kaum sichtbar.

Nach 24 Stunden sind die beiden Mittelschichten zu einer einzigen, der oberen und unteren Circulation gleichsinnig bewegten Schicht verschmolzen.

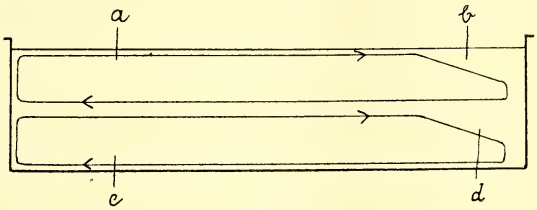

Abb. 13.

Der Oberstrom verlässt auch in diesem Fall etwa in der Mitte des Gefäßes die Oberfläche, aber das so entstehende keilförmige Gebiet zeigt nicht, wie in den meisten übrigen Fällen ein gegensinniges Stromsystem, sondern schwache Wirbel. Die diesem letztgenannten Gebiet entsprechende Wassermasse in der untersten Schicht ist überhaupt unbeweglich (Abb. 13).

Nach 72stündiger Dauer des Versuches erfüllt eine einheitliche Circulation das ganze Gefäß*).

Versuch 8.

Schichten wie bei Versuch 7. — Links erwärmt, rechts gekühlt.

Wie bei Versuch 7 setzt die Circulation in der obersten und der untersten Schicht zuerst ein. Später entstehen auch die Circulationen in den beiden Mittelschichten und auch die kleinen horizontalen Strömungen zwischen den Circulationen; doch sind alle Bewegungen unterhalb des Eisbehälters etwas gestört, vermutlich durch die außerordentlich heftige Bewegung des Wassers an der Oberfläche in der Nähe des Eisbehälters.

Nach 48 Stunden sind die Mittelschichten vereinigt und von der obersten und untersten Schicht beinahe ganz aufgezehrt.

Versuch abgebrochen.

---

*) Dieser Versuch wurde seines etwas abweichenden Verhaltens wegen bis zum Ende geführt.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Versuch 9.

5 gleich dicke Schichten von Süß- und Salzwasser: reines Süßwasser, $^3/_4$ Süßwasser, $^1/_2$ Süßwasser, $^1/_4$ Süßwasser, reines Salzwasser. — Links erwärmt.

Die Bewegung setzt bald nach Beginn des Versuches links an der Oberfläche ein, wenig später auch im Bodenwasser. Die Mittelschichten zeigen geringe Bewegung links, während sie rechts gänzlich unbeweglich liegen. Unterhalb der Circulation im Süßwasser ist links ein schwacher Wirbel sichtbar. Man sieht bald, wie das Wasser der zweiten Schicht in die oberste einbezogen wird. So vergrößern sich die oberste, und später auch die unterste Schicht auf Kosten der mittleren, ohne dass in diesen eine sichtbare Circulation platzgreifen würde. Dieselben scheinen sich vielmehr, vielleicht durch Diffusion, zu vereinigen, da die Farbenunterschiede immer undeutlicher werden; bis nach 24stündiger Dauer des Versuches drei gleich dicke Schichten vorhanden sind, von denen allerdings die mittlere keine gerichtete Circulation besitzt. Nach 72 Stunden sind links drei, rechts 2 Schichten sichtbar (Abb. 14), mit gleichsinnigen Circulationen (in der Mittelschicht sehr schwach entwickelt).

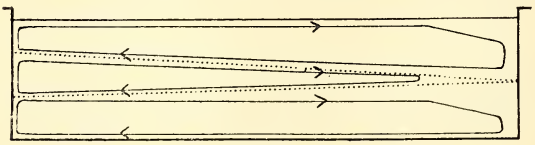

Abb. 14.
Die punktierte Linie deutet die Schichtgrenzen an.

Der so häufige Gegenstrom (Abb. 11 *b*) ist nicht entwickelt, doch ist an seiner Stelle das Wasser stagnirend und nicht im Stromkreis *a* einbezogen. Nach weiteren 24 Stunden ist bis auf eine kleine Bodenwassercirculation links unten, alles Wasser in einheitlicher Bewegung, und 3 Stunden später ist auch diese letzte, noch selbständige, verschwunden.

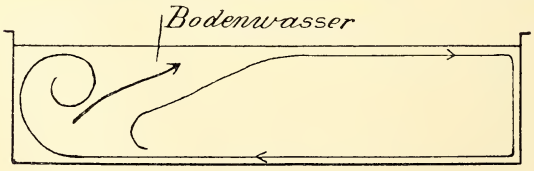

Abb. 15.

Der Versuch 9 wurde mehrmals wiederholt. Einmal gelang es mir, gerade zu beobachten, wie der durch Färbung sehr deutlich gemachte Rest des Bodenwassers vertrieben wurde. Das merkwürdige Bild sei hier wiedergegeben (Abb. 15).

Auch den Gegenstrom (Abb. 9 *b* und Abb. 11 *b*) sichtbar zu machen, gelang mir bei diesen Wiederholungen. Aber nicht so deutlich wie bei Versuch 4 und 5.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Versuch 10.

Schichten wie bei Versuch 9. — Links erwärmt, rechts gekühlt.

Der Strom in der obersten Schicht entsteht bald nach Beginn des Versuches rechts und links zugleich. Kurz darauf auch in der untersten Schicht links. In den drei Zwischenschichten sind links je ein Strom und ein Gegenstrom sichtbar, rechts scheint das Wasser unbeweglich (Abb. 16).

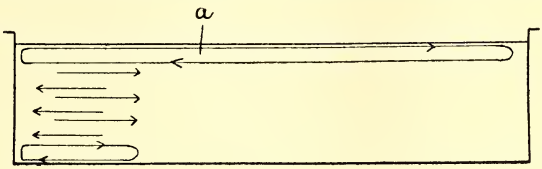

Abb. 16.

Nach 24stündiger Dauer des Versuches sind drei Schichten sichtbar. In der obersten ist die Circulation *a* (Abb. 16) rechts etwas zurückgerückt, und es macht sich der Anfang einer gegensinnigen Circulation bemerkbar (Abb. 11 *b*).

In der Mittelschicht zeigen sich kleine Strömungen.

Im Bodenwasser ist eine Circulation bemerkbar, die sich über die Mitte des Gefäßes nach rechts erstreckt. Rechts unten ist das Wasser beinahe unbeweglich.

Einige Zeit nachher hat sich die Circulation *a* (Abb. 17) bis an die rechte Seite erstreckt, aber mit einer bisher noch nicht beobachteten Knickung, welche wohl auf eine Wirkung des Eises zurückgeführt werden darf. Die Circulation *b* ist deutlich sichtbar und zwar in der in Abb. 17 bezeichneten Form; im Gebiet *c* sind auch einige bisher nicht beobachtete kleine Ströme zu verzeichnen.

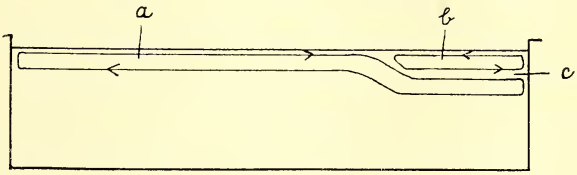

Abb. 17.

Nach 24 Stunden sind drei Schichten mit gleichsinnigen Circulationen sichtbar (Abb. 6). Und nach weiteren 24 Stunden ist das Stadium erreicht, in welchem die Mittelschicht rechts keilförmig zusammengedrückt ist, so dass links drei, rechts aber nur zwei Schichten sichtbar sind (Abb. 14).

Wir sehen also, dass sich die durch Temperaturveränderungen hervorgerufenen Strömungen immer in den Schichten gleicher Dichte abspielen, und zwar in den übereinandergelagerten Schichten in gleichsinniger Richtung, so weit der Temperaturwechsel überhaupt hinabzudringen vermag.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Hierdurch entstehen an den Grenzflächen der einzelnen Wasserschichten naturgemäß gegensinnige Strömungen, welche wiederum kleine Wirbel und schwache horizontale Strömungen hervorrufen.

Letztere Erscheinungen, vielleicht mit der in der Seemannssprache als Stromkabbelung bezeichneten identisch, vermitteln aber die langsame Vermischung der verschiedenen Wasserschichten, und zwar in der Weise, dass die unterste und die oberste Schicht auf Kosten der mittleren an Größe zunehmen, sich treffen, gewöhnlich neuerdings eine Zwischenschicht mit starken Stromkabbelungen hervorrufen, und sich endlich zu einer großen, gleichförmigen Circulation vereinigen. In diesem Falle wird gewöhnlich die geringere Schicht von der mächtigeren verdrängt.

Mit dem Eintreten der großen, das ganze Gefäß erfüllenden Strömung ist auch die Mischung sämtlicher verschiedener Wassermassen vollendet.

Man dürfte künftig bei der Beurteilung der Tiefe einer Strömung mehr Rücksicht auf die Dichte des Wassers zu nehmen haben, denn es scheint nunmehr die Annahme unzutreffend zu sein, dass ein vom Wind oder von Temperatureinflüssen erzeugter Oberflächenstrom imstande wäre, eine tiefer liegende Schicht anderer Dichte mit sich fortzureißen. So habe ich bisher eine Salzgehaltsdifferenz von 7 pro mille als vollkommen ausreichend befunden, das Übergreifen der Bewegung zu verhindern.

Schwierig erscheint mir die Erklärung der Tatsache, dass in den tieferen Schichten Strömungen entstehen, welche die Reibung an den ihnen angrenzenden, entgegengerichteten Strömungen zu überwinden haben, und deren Entstehungsursache, der Größenordnung nach, die mechanischen, in den Strömungen wirkenden Kräfte um ein Beträchtliches übertreffen muss, um diesen Effekt hervorbringen zu können.

In dem Kapitel über »Das Eindringen der Wärme in die Tiefe« sagt Krümmel in seinem Handbuch der Oceanographie[1]), dass die Leitung der Wärme in die Tiefe nur außerordentlich langsam vor sich gehe. So solle nach G. Wegemann[2]) in einer durchwegs auf 0° temperirten Wassermasse von 5000 m Tiefe bei einer konstanten Erwärmung mit 30° C von der Oberfläche aus, in 100 m Tiefe und nach 100 Jahren noch kein Bruchteil der Oberflächentemperatur angelangt sein.

Nun entstehen in meinen Versuchen die Strömungen in der Tiefe gewöhnlich gleich nach Einsetzen der Oberflächencirculation, ja bei einem (Versuch 4) sogar einen Augenblick vorher. Die Leitung der Wärme

---

[1]) Handbuch der Ozeanographie Bd. 1. Stuttgart 1907 Seite 391 ff.

[2]) in: Wiss. Meeresuntersuchungen Kiel 1905 Bd. 8, Seite 137—143 und in: Annal. Hydrographie 1905 Seite 206 u. 281.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

dürfte also kaum eine Rolle spielen. Sollte aber vielleicht die im gleichen Kapitel des KRÜMMELschen Handbuches behandelte Wärmestrahlung — über deren thermischen Effekt noch nichts zu sagen sei — verantwortlich gemacht werden dürfen? Ich wage diese Frage nicht zu entscheiden und möchte die Beantwortung lieber Jenen überlassen, die Erfahrung auf diesem Gebiete haben.

Sollte aber tatsächlich die Wärmestrahlung in Frage kommen, so würde das Phänomen der Bewegung in tiefen, rings abgeschlossenen Meeresbecken, zu dessen Erklärung F. NANSEN[1]) die Wirkung der Erdwärme heranzieht, von einer neuen Seite beleuchtet werden.

Verticalströmungen endlich sind in diesem Falle in größerem Maße kaum die Ursache des Wärmetransports, da dieselben, dort wo sie wirklich auftraten, immer gut sichtbar waren.

Die Frage nach der geringsten Dichtedifferenz, welche imstande ist, das Übergreifen einer Bewegung von einer Schicht auf eine andere zu verhindern, und die Wirkung von Windtriften auf die durch Temperaturunterschiede erzeugten Stromsysteme, sollen den Inhalt weiterer Versuche bilden.

---

[1]) in: PETERMANN's Mitteilungen 1905.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Mittheilungen aus der Zoologischen Station zu Neapel

Jahr/Year: 1910-1913

Band/Volume: 20

Autor(en)/Author(s): Grein Klaus

Artikel/Article: Versuche über den Einfluss von Temperaturschwankungen auf homogene und geschichtete Wassermassen. 157-169