

**Zeitschrift:** Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Bern  
**Band:** 39 (1982)

**Artikel:** Bewegungen in Seen  
**Autor:** Nydegger, Paul  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-318474>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 18.10.2024

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

Paul Nydegger<sup>1</sup>

## Bewegungen in Seen

Sprechen wir von Wasserbewegungen in Seen, so denken wir unwillkürlich an die vom Wind verursachten Oberflächenwellen. Weit wichtiger sind aber die bis in grösste Tiefen reichenden Schaukel- und Strömungsbewegungen, die nur mit geeigneten Messmethoden nachgewiesen, und die von blossem Auge nicht erkannt werden können.

Um dies zu verstehen, müssen wir uns vorerst kurz mit dem thermischen Geschehen befassen. Im Spätwinter ist der See homotherm, d. h. es herrscht von der Oberfläche bis zum Grund einheitliche Temperatur. Durch intensiver werdende Sonnenstrahlung wird die Oberfläche erwärmt, und diese Wärme wird durch den Wind allmählich in die Tiefe "gearbeitet". Weil wärmeres Wasser meist leichter ist, gleicht dieses Hinunterarbeiten dem Hinunterdrücken einer Korkschiicht gegen ihren Auftrieb. So kommt eine Schichtung des Sees zustande. Zuoberst finden wir eine Warmwasserschicht, das Epilimnion; in der Tiefe findet sich die Kaltwasser-Schicht, das Hypolimnion. Diese beiden Schichten sind durch die sogenannte Sprungschicht (Metalimnion) getrennt, die durch ein sehr ausgeprägtes Temperaturgefälle charakterisiert ist.

Abbildung 1 zeigt diesen Zustand schematisch und durch Temperaturmessung nachgewiesen.

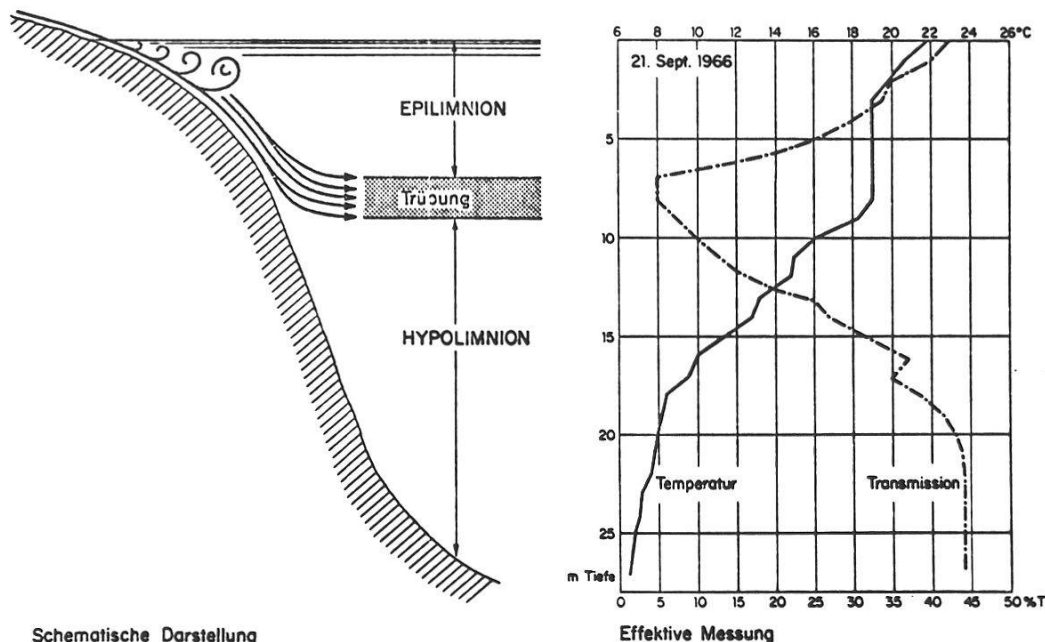


Abb. 1

1 Adresse des Verfassers: Prof. Dr. Paul Nydegger, Hofstattweg 4, 3422 Kirchberg.

Wir erkennen gleichzeitig wie das Zuflusswasser absinkt und sich in der, seiner Dichte entsprechenden Tiefe, einschichtet. Weil Zuflüsse meist beträchtliche Mengen Trübstoffe führen, bildet sich in ihrer Einschichtungstiefe normalerweise ein ausgeprägter Trübungshorizont, anhand dessen der Lauf des Zuflusswassers verfolgt werden kann.

### *Windinduzierte Wasserbewegungen*

Winde schieben durch Tangentialschub die oberflächennahen Wassermassen mit nach unten abnehmender Geschwindigkeit vorwärts. Die Bewegungsrichtung des Wassers weicht dabei bereits in den obersten Schichten um etwa  $45^\circ$  nach rechts ab. Diese Abweichung, welche eine Folge der Erdrotation ist, nimmt mit der Tiefe zu. Sie ist auf der südlichen Hemisphäre nach links gerichtet und spielt vor allem bei zuflussbedingten Strömungen eine grosse Rolle. Bei windinduzierten Bewegungen wollen wir sie der Einfachheit halber vernachlässigen.

Wie Abbildung 2a schematisch zeigt, prallen die Wassermassen am Seeende gegen das Ufer und sind gezwungen abzutauchen. Dadurch kommt eine Kreisbewegung mit horizontaler Achse zustande.

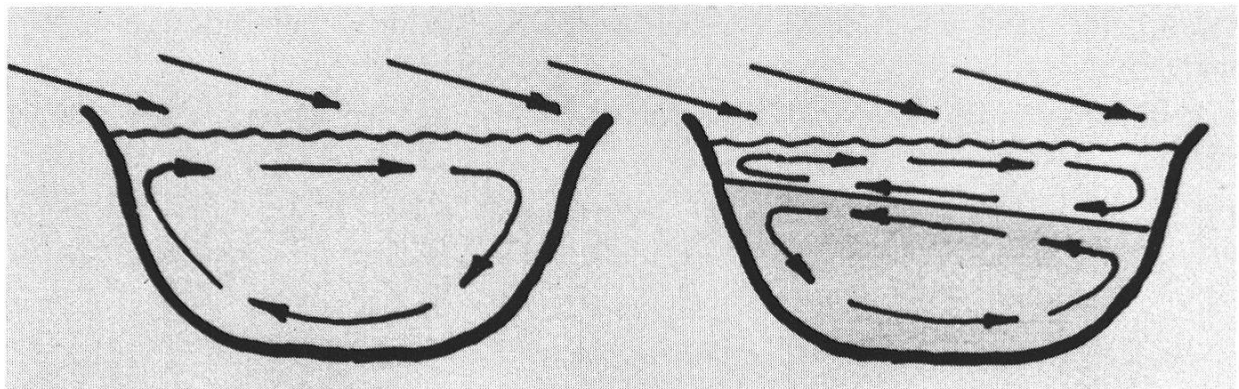


Abb: 2a

Abb: 2b

Sind die Wassermassen geschichtet, so findet diese Rotation im Epilimnion statt, während das Hypolimnion aus begrifflichen Gründen eine Strömungswalze mit entgegengesetztem Drehsinn beschreibt (Abb. 2b).

Dieses Schema erfährt natürlich in der Wirklichkeit zahlreiche Abweichungen, auf die hier nicht eingegangen werden kann.

### *Schaukelbewegungen – Seiches internes*

Wie Abbildung 2b erkennen lässt, wird die Temperatursprungschicht durch Windeinwirkung schräg gestellt, wodurch eine instabile Lage entsteht (mehr warmes und daher leichteres Wasser rechts, mehr kaltes und daher schwereres Wasser links, siehe Abb. 3).

Lässt die Windwirkung nach, sucht der See durch Zurückpendeln seine stabile Lage wieder zu finden, "schaukelt" aber dabei analog einem Pendel, in die entgegengesetzte instabile Lage usw. Diese Schaukelbewegung, die beim Brienersee eine Schwingungsdauer von etwa 22 Stunden zeigt (je nach Dichtedifferenz der Wassermassen) ist in Abbildung 3 schematisch dargestellt.

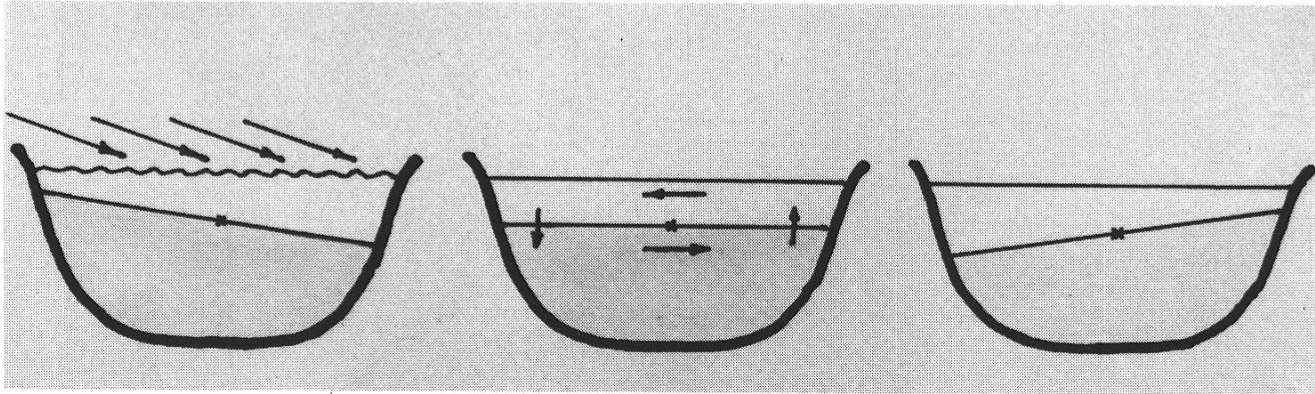


Abb. 3: Schematische Darstellung von Schaukelbewegungen (Seiches internes)

Die Wassermassen von Epi- und Hypolimnion bewegen sich dabei in entgegengesetzter horizontaler Richtung (Schwingungsknoten in der Mitte), während die Bewegungen des Metalimnions an den Seeenden vertikal verlaufen (Schwingungsbäuche). Diese Schwingungen können sich über mehrere Tage erstrecken. Im Bieler- und Thunersee konnten wir an den Seeenden Vertikalbewegungen des Metalimnions bis zu 15 m feststellen. Temperaturfühler am Seeende in entsprechender Tiefe montiert, werden abwechslungsweise durch die Vertikalbewegung von kälterem (Aufsteigen des Metalimnions) und wärmerem Wasser (Absinken des Metalimnions) berührt. Diese Temperaturschwankungen können registriert werden, und auf dem Registrierstreifen lassen sich die Bewegungen leicht erkennen (Abb. 4).

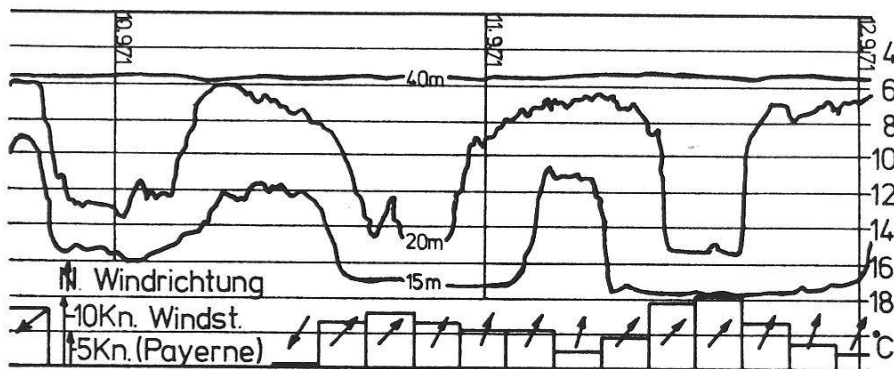


Abb. 4: Durch „seiches internes“ bewirkte Temperaturschwankungen im Bielersee bei Ipsach. Die rechteckigen Felder geben die Windgeschwindigkeit in Knoten (Payerne) und die Pfeile die Windrichtung an.



Abb. 5: Einmündung der Aare bei Hagneck

### *Durch Zuflüsse bewirkte Wasserbewegungen*

Während die durch Windeinwirkungen ausgelösten Bewegungen meist rhythmischen Charakter haben und vor allem für den vertikalen Austausch von Nährstoffen und Gasen im See verantwortlich sind, verlaufen die zuflussbedingten vornehmlich als horizontale und nicht rhythmische Strömungen. Wie Abbildung 1 zeigt, sinken die in den See einfließenden Wassermassen bis in die ihrem spezifischen Gewicht entsprechende Tiefe ab und schieben sich dort meist zwischen Epi- und Hypolimnion ein. Zuzufolge der Corioliskraft werden alle bewegten Körper auf der nördlichen Hemisphäre nach rechts, auf der südlichen nach links abgelenkt. Diese Ablenkung ist eine scheinbare und kommt durch die Erdrotation zustande. In Wirklichkeit dreht sich die Erde unter dem bewegten Körper, wodurch dieser scheinbar einen Kreis beschreibt. Diese Kreisbewegung der in den Bielersee einfließenden Aare ist auf Abbildung 5 sehr schön zu erkennen. Es handelt sich hier um eine Luftaufnahme der Eidg. Landestopographie aus sehr grosser Höhe.

Der Wirbeldurchmesser beträgt etwa 1000 m. Weiter ist auf dem Bild zu erkennen, wie Zuflusswasser durch nachdrängendes weitergeschoben wird und sich dabei dem Ufer entlang drängt, weil es weiterhin nach rechts "ausbrechen" möchte. Das Ufer übt also eine Zwangskraft aus und zwingt die Wassermassen den See der Berandung entlang links zu umlaufen. Diese Strömung bewegt sich im geschichteten See in etwa 5 bis 30 m Tiefe fort, wird also durch den Abfluss, welcher vorwiegend wärmeres Oberflächenwasser "absaugt", nur unwesentlich beeinflusst.

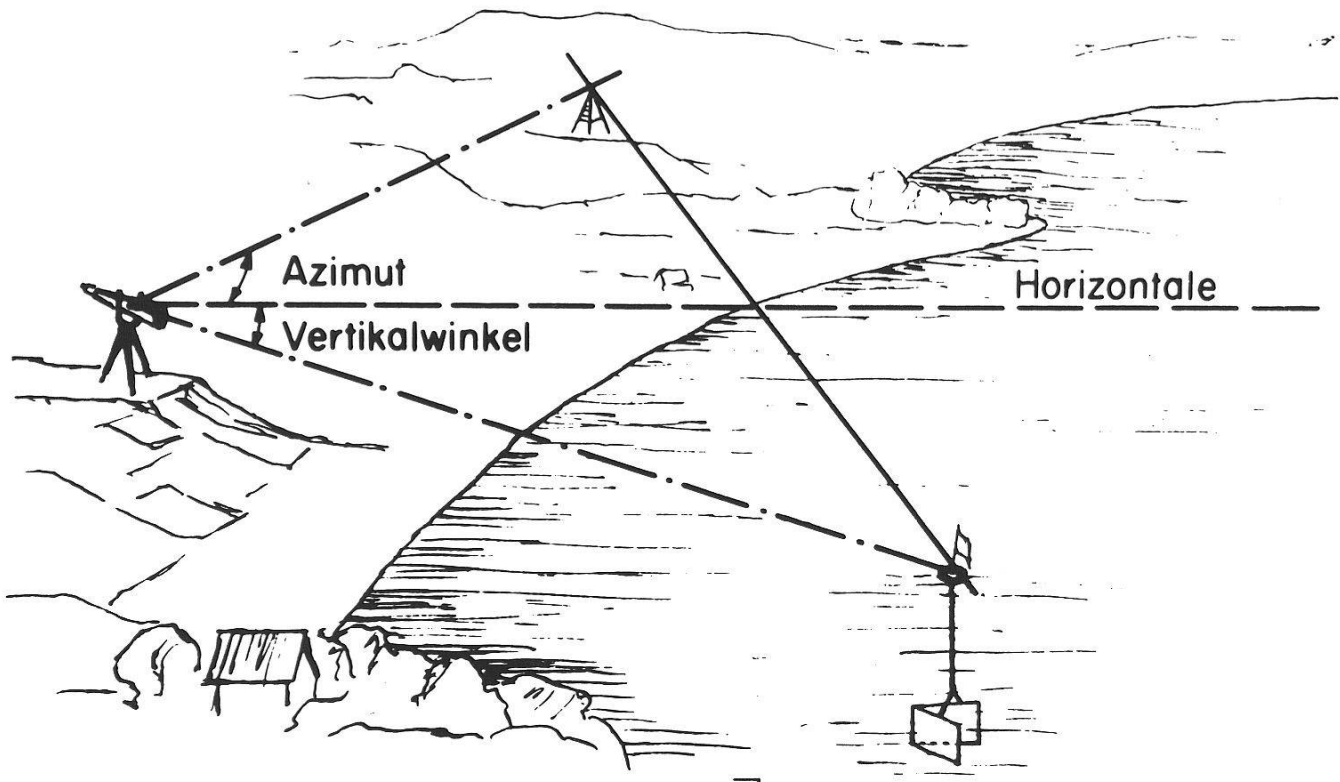


Abb. 6: Bestimmung von Strömungsbahnen

Abbildung 6 zeigt wie wir diese Strömungsbahnen mit Hilfe von Theodolithen und Driftkörpern verfolgten. An Eisenrahmen aufgespannte Plastikfolien von etwa 6 m<sup>2</sup> Fläche wurden in die gewünschte Messtiefe versenkt und hingen mittels einer Schnur an einem Schwimmer (z. B. Sagexquader). Durch Vorwärts- oder Rückwärtseinschnitt konnten die Bahnen der Schwimmer auf der Seeoberfläche, die den Bahnen in der Tiefe entsprechen müssen, eingemessen und dann aufgezeichnet werden. Zahlreiche Versuche ergaben, dass der Einfluss des Windes und die Wasserbewegungen an der Oberfläche gegenüber dem Widerstand, den die Plastikfolien in der Tiefe finden, ausser bei Sturm, vernachlässigt werden dürfen.

Abbildung 7 zeigt einige im Bielersee eingemessene Strömungsbahnen und das sich daraus ergebende Strömungsschema.

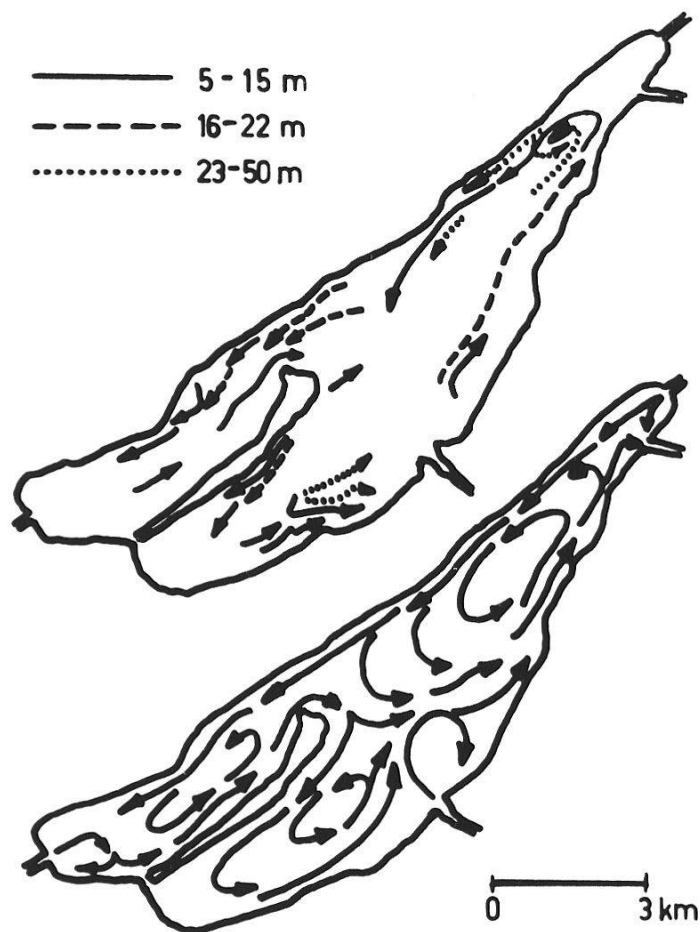


Abb. 7: Gemessene Strömungsbahnen und Strömungsschema des Bielersees

*Modellversuche*

Um die Erdrotation und damit die Wirkung der Corioliskraft zu simulieren, wurde eine runde Holzplatte von 140 cm Durchmesser so montiert, dass sie um eine senkrechte Achse rotierte; der See drehte sich also um eine Achse, die ihrerseits einen Kreis beschrieb (siehe Abb. 8). Die Seen wurden aus Polyester nachgebildet, und durch eingebaute Röhren konnte verschieden gefärbtes Wasser zu- und abfließen. Eine Kamera, auf der Platte montiert, filmte die Bahnen der Zuflüsse im Modellsee. In dieser Publikation müssen selbstverständlich Momentaufnahmen anstelle des Films treten (1–6 auf Abb. 9).

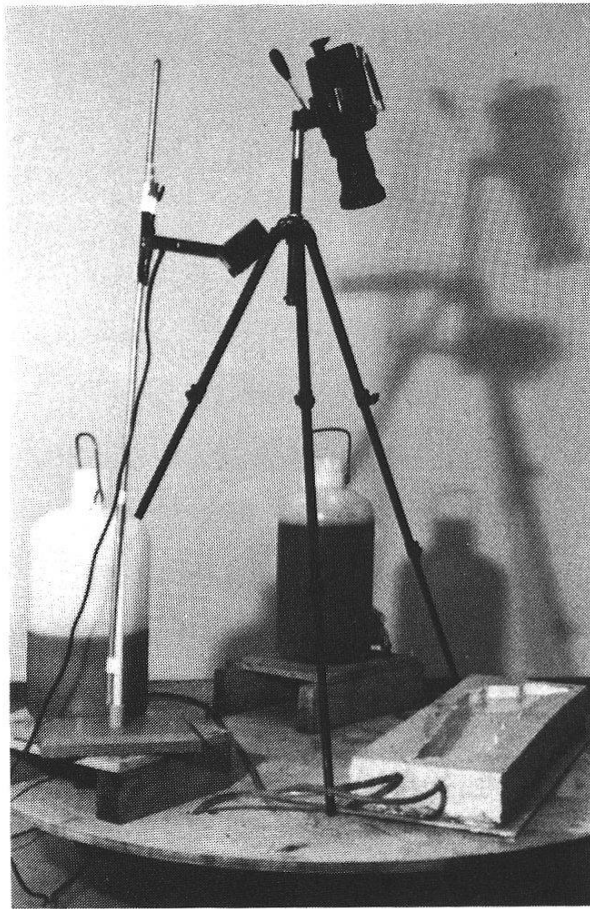


Abb. 8: Versuchsanordnung



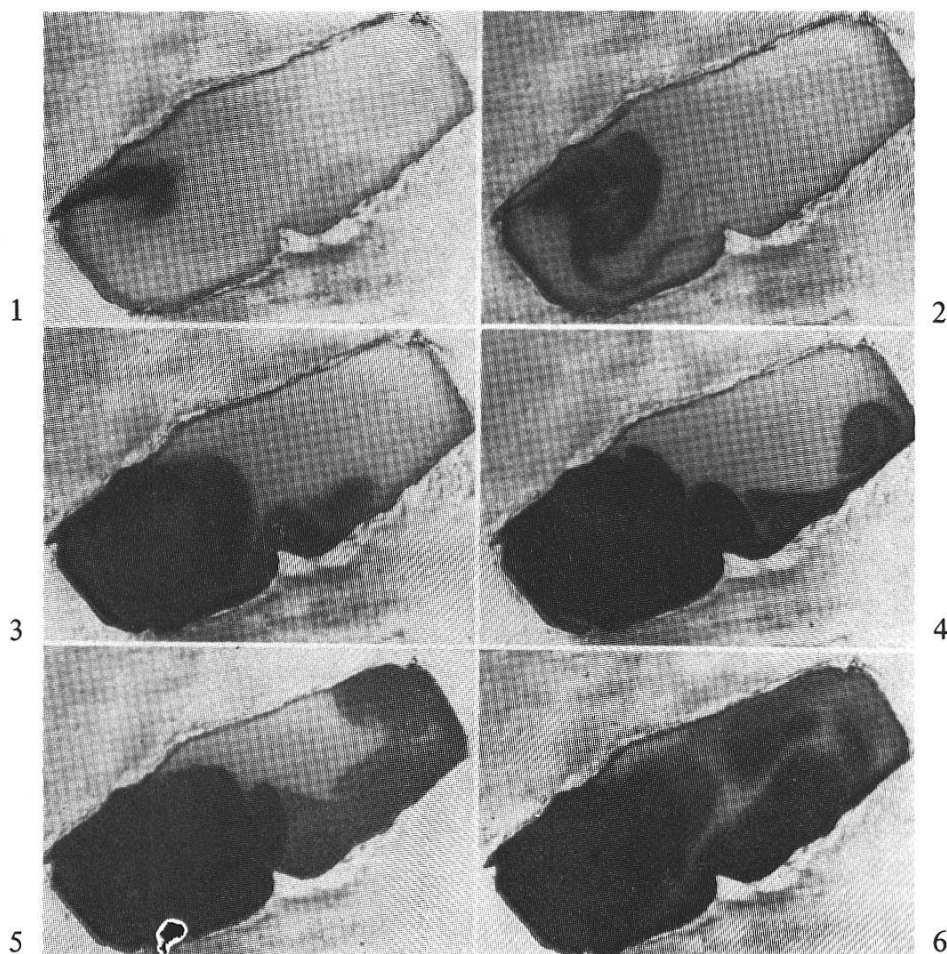


Abb. 9: Momentaufnahmen der „Strömungsbahnen im Murtensee“ (Experiment)

Abschliessend sei erwähnt, dass die vorliegenden Ausführungen nur einen sehr unvollständigen Einblick in die Problematik der Wasserbewegungen in Seen geben konnten. Zudem ist die Forschung auf diesem Gebiet, angeregt durch den Nationalfonds, gegenwärtig in vollem Gange; denn man hat erkannt, dass zur Rettung und Sanierung unserer teilweise katastrophal verschmutzten Seen unbedingt weitere diesbezügliche Erkenntnisse nötig sind. Auch sei erwähnt, dass die zuflussbedingten Strömungen, wie wir sie feststellen konnten, vor allem für unsere sehr stark durchfluteten Alpenrandseen von Bedeutung sind, während diese in Seen mit kleinem Einzugsgebiet von windinduzierten Bewegungen meist fast ganz „überdeckt“ werden.