

# Die physikalischen Umweltbedingungen im See

Objektyp: **Chapter**

Zeitschrift: **Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Bern**

Band (Jahr): **57 (2000)**

PDF erstellt am: **14.08.2024**

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Aus hydrologisch-limnologischer Sicht hatte die Juragewässer-Korrektion folgende Konsequenzen:

- Das Einzugsgebiet des Bielersees wurde von ursprünglich 3165 km<sup>2</sup> auf 8305 km<sup>2</sup> vergrössert, durch das dazugekommene Einzugsgebiet der Aare von 5140 km<sup>2</sup>. Es stellt heute >20% der Fläche der Schweiz dar. Dadurch wurde, mit Blick auf die Zukunft, die Belastung des Sees durch menschliche Abfälle und Aktivitäten massiv erhöht: Im heutigen Einzugsgebiet des Bielersees leben rund 1 Mio. Menschen.
- Die Durchflutung des Sees wurde stark beschleunigt. Betrag der Eintrag des ursprünglichen Einzugsgebietes etwa 55 m<sup>3</sup>/s, erhöhte sich dieser nach Einleitung der Aare auf die heutigen 244 m<sup>3</sup>/s. Dadurch wurde die Auffüllzeit oder theoretische Wassererneuerungszeit von 253 Tagen auf 58 Tage herabgesetzt. Dies ist die kürzeste Auffüllzeit unter allen grösseren Schweizer Seen.

## 4. Die physikalischen Umweltbedingungen im See

### 4.1 Licht

Licht ist der Motor sämtlicher Lebensvorgänge und zahlreicher physikalischer und chemischer Prozesse im See.

#### 4.1.1 Die Globalstrahlung

Das Sonnenlicht erreicht die Erd- bzw. Wasseroberfläche als direkte Sonnenstrahlung und als diffuse Himmelsstrahlung (die vom blauen Himmel und von den Wolken stammt). Beide bilden die Globalstrahlung mit Wellenlängen von 300 bis 3000 nm (1nm =  $\frac{1}{1\,000\,000}$  mm). Der für das menschliche Auge sichtbare Bereich liegt zwischen 380 nm (violett) und 780 nm (rot). Das sind rund 50% der Energie der Globalstrahlung.

Wir haben die Globalstrahlung am Bielersee für die Jahre 1973 bis 1988 kontinuierlich mit einem Schwarzflächen-Pyranometer oder Solarimeter gemessen und registriert. In diesem erwärmt das Licht unter einer Glasglocke eine mattschwarze Fläche. Der Temperaturunterschied zwischen dieser und einer nicht absorbierenden Bezugsfläche erzeugt an einer Reihe von Thermoelementen elektrische Spannung, die, in Joule/cm<sup>2</sup> umgesetzt, aufsummiert und halbstündlich ausgedruckt wird. Auf *Abbildung 4* ist für die Jahre 1980 und 1981 der Jahresverlauf der Globalstrahlung aufgetragen. *Abbildung 5* stellt die Tagesverläufe eines sommerlichen und eines Wintertages dar.

Im Mittel der Jahre 1974 bis 1988 wurden an unserer Messstation Nidau rund  $3,62 \cdot 10^9$  J/m<sup>2</sup> pro Jahr gemessen, mit einem Maximum 1976 von  $3,97 \cdot 10^9$  J/m<sup>2</sup> und einem Minimum 1987 von  $3,41 \cdot 10^9$  J/m<sup>2</sup> und Jahr. Die am Observatorium Neuchâtel gemessenen Werte waren im Mittel um einen Faktor von 1,13–1,14 höher.

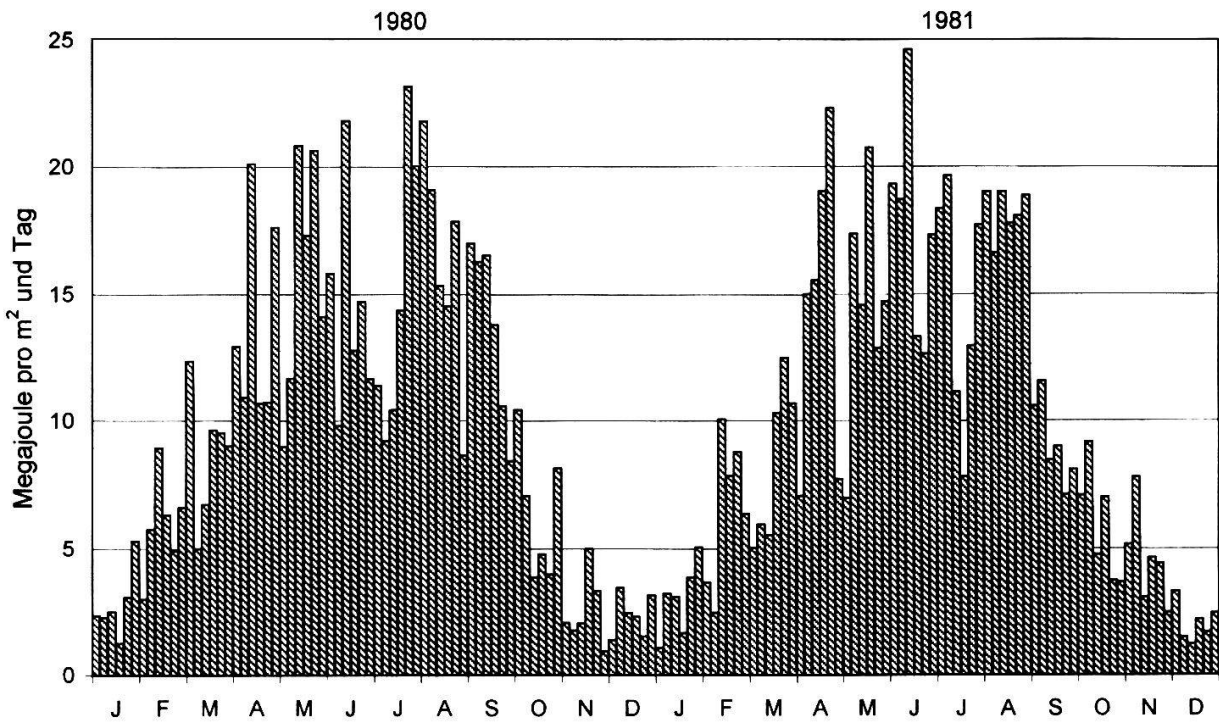


Abbildung 4: Der mit einem Solarimeter in Nidau gemessene Lichteinfall auf die Bielersee-Region. Jede Säule ist ein Mittelwert aus jeweils 5 Tagen. 1 Megajoule = 1 Mio. Joule.

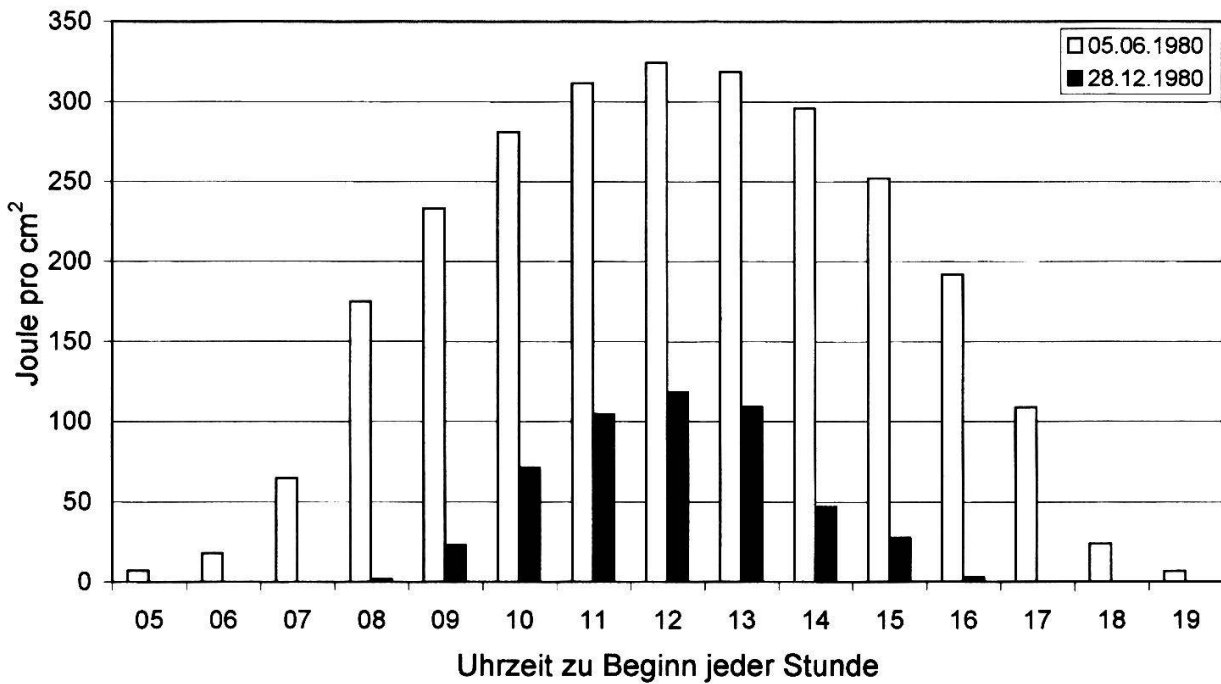


Abbildung 5: Die Globalstrahlung im Sommer und im Winter. Weisse Säulen: Stündliche Einstrahlung eines wolkenlosen sonnigen Junitages (5.6.1980) mit einem Tagestotal von 2613,3 Joule/cm<sup>2</sup>. Schwarze Säulen: Stündliche Einstrahlung eines wolkenlosen sonnigen Dezembertages (28.12.1980) mit einem Tagestotal von 504,8 Joule/cm<sup>2</sup>.

Die auf den ganzen Bielersee einfallenden  $1,44 \cdot 10^{14}$  kJ oder  $3,44 \cdot 10^{13}$  kcal pro Jahr entsprechen der Energie, die bei der Verbrennung von 5 Mio. t Kohle oder 3,6 Mio. t Erdöl freigesetzt würde. Dies entspricht auch der jährlichen Stromproduktion eines 4500-MW-Kernkraftwerkes. Damit liesse sich der ganze Wasserkörper des Sees von  $1,2 \text{ km}^3$  um fast  $30 \text{ }^\circ\text{C}$  erwärmen, was freilich infolge rascher Wassererneuerung, Schichtung und Abstrahlung von Wärme an die Atmosphäre nicht eintritt.

Diese Befunde veranschaulichen das umfangreiche Angebot an Sonnenenergie. Sie zeigen, dass bei 20%igem Wirkungsgrad photovoltaischer Kollektoren für ein 900-MW-Sonnenkraftwerk eine Auffangfläche wie die des Bielersees erforderlich wäre, das heisst  $40 \text{ km}^2$ . Unsere Aufzeichnungen der Globalstrahlung dienen freilich vor allem der Auswertung unserer Messungen der Algenproduktion im Bielersee (s. 10.4.3/10.4.4).

#### 4.1.2 Das Licht unter Wasser

Ein Teil der Globalstrahlung wird an der Wasseroberfläche reflektiert, je nach Sonnenhöhe, Wellen und Bewölkungsgrad unterschiedlich stark. Für praktische Zwecke gilt, dass an Sommertagen 5–6%, im Winter 10–14% und bei bedecktem Himmel 6–8% reflektiert werden. Das in den See eindringende Licht wird vom Wasser und von darin gelösten Stoffen sowie suspendierten Teilchen (Algen, Trübstoffen usw.) absorbiert, so dass seine Intensität mit Zunahme der Wassertiefe rasch abnimmt.

Die Lichtintensität unter Wasser wurde mit einem Unterwasser-Photometer gemessen. In einem Metallgehäuse liegt dicht hinter einer Glasscheibe ein Selen-Photoelement, welches, wie ein fotografischer Belichtungsmesser, bei Belichtung einen schwachen elektrischen Strom erzeugt. Dieser wird mit einem empfindlichen Amperemeter gemessen, und die angezeigten  $\mu\text{A}$  ( $1/1\,000\,000$  Ampere) dienen als relatives Mass für die Lichtstärke. Die Lichtintensität dicht unterhalb der Wasseroberfläche wird mit 100% = 1 gleichgesetzt. Mit Farbfiltern (rot, gelb-orange, grün, blau u.a.) vor der Fozelle erfolgt die Lichtmessung nach verschiedenen Wellenlängenbereichen getrennt. Nach 1980 wurden für Lichtmessungen über und unter der Wasseroberfläche auch Quantensensoren verwendet, welche im Wellenlängenbereich von 400–700 nm die Zahl der Lichtquanten pro Flächen- und Zeiteinheit zählen.

*Abbildung 6* stellt die am 29. März 1976 gemessene Strahlungsintensität in den Wellenlängenbereichen 525 nm (grün), 654 nm (rot) und 445 nm (blau) dar, ausgedrückt in % der Oberflächenwerte (= 100%). Der See befand sich am Ende der Winterzirkulation, mit noch gleichmässiger Verteilung der Temperatur und Wasserqualität. Das Wasser war relativ klar. Eine weisse Scheibe von 30 cm Durchmesser (Secchi-scheibe, s. *Abb. 7*) war in 5 m Tiefe noch gerade sichtbar (Sichttiefe = 5 m). Die Intensität der drei Wellenlängen nahm pro Meter Tiefe um einen konstanten Prozentanteil ab. Die Abnahme war bei Blaulicht am stärksten, am geringsten bei Grün.

Bei in allen Tiefenstufen gleichbleibender Absorption pro Meter ist die Abnahme der Helligkeit exponentiell. Sie lässt sich mit der Gleichung  $I_z = I_0 \cdot e^{-k \cdot z}$  beschreiben, wobei  $I_z$  = Helligkeit in der Tiefe  $z$  (in m),  $I_0$  = Helligkeit in der Tiefe 0,  $e = 2.71828\dots$

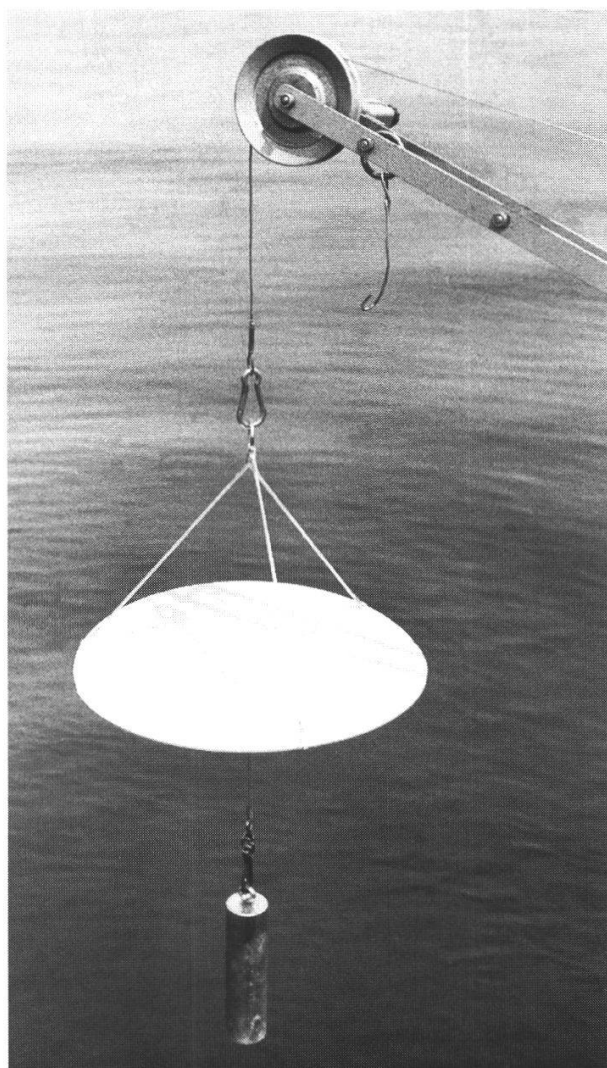


Abbildung 7: Die zum Messen der Sichttiefe verwendete Secchischeibe, eine weiss emaillierte Metallscheibe von 30 cm Durchmesser. Kabelrolle mit Messgerät für Tiefe und Gewicht zum Beschweren der Scheibe. Die Tiefe, in welcher die Scheibe gerade nicht mehr sichtbar ist, heisst Sichttiefe.

(Basis der natürlichen Logarithmen  $\ln$ ) und  $V$  = vertikaler Extinktionskoeffizient =  $\ln(1+a)$ .  $a$ , die Absorption pro Meter, zum Rechnen mit negativem Vorzeichen, ist je nach Wellenlänge verschieden und betrug in dieser Messreihe  $-0.30$  ( $-30\%$ ) für Orange,  $-0.32$  für Grün,  $-0.45$  für Rot,  $-0.48$  für Blau und  $-0.70$  für Violett. Blau wurde vom Bielerseewasser stärker absorbiert als Orange, Grün und Rot, im Unterschied zu reinstem Wasser, welches blaugrünes, das heisst kurzwelliges Licht am wenigsten absorbiert. Reines Wasser sieht deshalb bei Streulicht oder in Durchsicht, besonders über hellem Grund (saubere Meere, Blausee, Badewanne), blau aus. Die davon abweichende Farbe des Bielerseewassers rührt von seinem Gehalt an Algen, ihren Abbauprodukten und andern suspendierten und gelösten Stoffen her.

Die für Rot, Grün und Blau gemittelten, in bestimmten Tiefen noch verbleibenden Lichtintensitäten (genannt Transmission,  $t_r$ ) sind ein gutes Mass für die Eindringungstiefe der gesamten Lichtenergie [134]. Am 29.03.76, am Ende der Winterzirkulation, war der Mittelwert von  $t_r^{\text{rot/grün/blau}}$  in 10 m Tiefe rund 0.01 oder 1%. Hier herrschte somit noch 1% der Oberflächen-Strahlungsintensität.

Wenn bei Sommerstagnation die Algen an der Oberfläche dichter werden und die Trübung erhöhen, ist die Eindringungstiefe des Lichtes geringer und die Abnahme

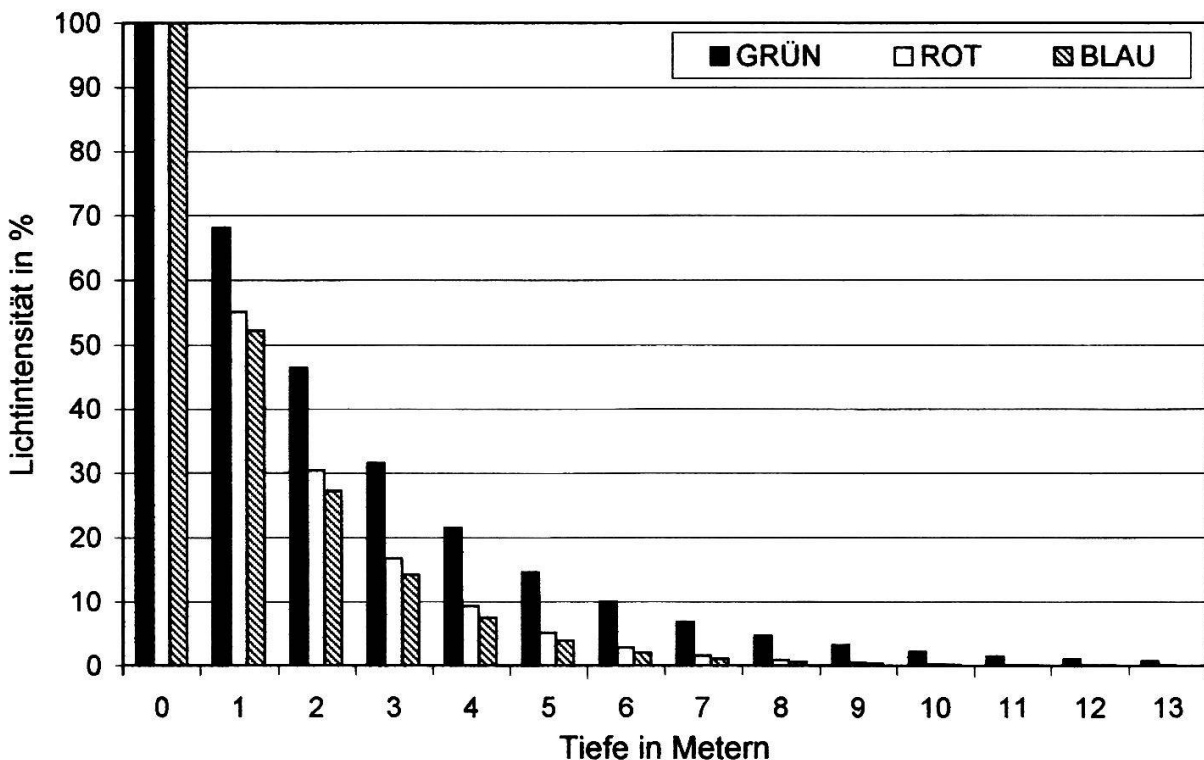


Abbildung 6: Lichtabsorption unter Wasser am Ende der Winterzirkulation.

Schwarze Säulen: Mit Grünfilter (Wellenlänge 529 nm) gemessene Lichtintensität. Die Abnahme betrug am Messdatum konstant 31,9% pro Meter (exponentielle Abnahme). In 10 m Tiefe verblieben noch 1,9%, in 13 m 0,6%.

Weisse Säulen: Mit Rotfilter (Wellenlänge 654 nm) gemessene Lichtintensität. Die Abnahme betrug am Messdatum konstant 44,8% pro Meter. In 10 m Tiefe verblieben noch 0,28%, in 13 m 0,05%.

Schraffierte Säulen: Mit Blaufilter (Wellenlänge 445 nm) gemessene Lichtintensität. Die Abnahme betrug am Messdatum konstant 47,8% pro Meter. In 10 m Tiefe verblieben noch 0,12%, in 13 m 0,02%. (nicht mehr dargestellt). Erläuterungen unter 4.1.2.

nicht mehr exponentiell. Am 30. Juli 1975 lag bei einer Sichttiefe von 1,7 m die 1%-Grenze bei 6 m. Im obersten Meter betrug die Absorption 66%, von 1–2 m 63%, 2–3 m 61%, 3–4 m 41%, 4–5 m 37% und 27% von 8–9 m. Die Abnahme der Lichtabsorption mit zunehmender Tiefe zeigt Abnahme der Algendichte an.

#### 4.2 Die Wassertemperatur

Da 99% oder mehr des Lichtes innerhalb der obersten 10 m des Sees absorbiert werden, erwärmt sich im Sommerhalbjahr vor allem das oberflächennahe Wasser. In grösserer Tiefe bleibt das Wasser kalt. So bildet sich die unter 2.3.2 beschriebene thermische Schichtung, die Sommerstagnation.

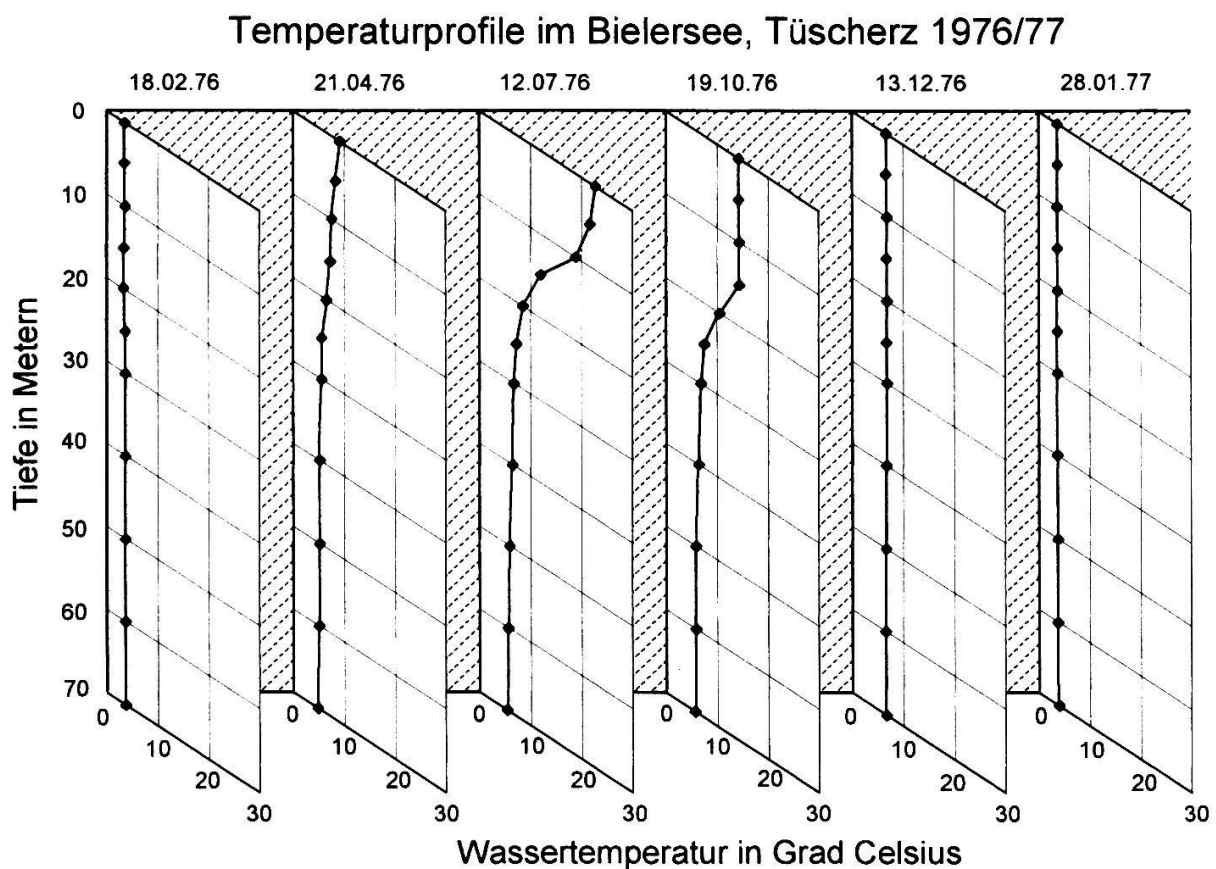
Die Wassertemperatur verschiedener Tiefen wird mit einem Tiefsee- oder Kippthermometer gemessen, welches, Quecksilberreservoir nach unten, mit Kabelrolle und dünnem Drahtseil in die gewünschte Tiefe hinuntergelassen wird. Nach einigen Minuten (Temperaturausgleich) wird das Thermometer mit einem vom Kabel geführten Fall-

gewicht zum Kippen um  $180^\circ$  gebracht. Der Quecksilberfaden löst sich an einer vorbestimmten Stelle vom Reservoir, und die Abrissstelle zeigt die Temperatur in der Messtiefe an auf  $0,1^\circ\text{C}$  genau, unbeeinflusst von den Temperaturen weiter oben.

Rascher und ebenfalls präzise kann die Unterwassertemperatur mit Thermistoren gemessen werden, deren elektrischer Widerstand mit zunehmender Temperatur abnimmt. Der Fühler wird am elektrischen Kabel in die gewünschte Tiefe versenkt, und ein Messgerät im Boot zeigt nach wenigen Sekunden die Temperatur an.

Auf *Abbildung 8* sind einige charakteristische Temperaturprofile des sonnenreichsten Jahres unserer Untersuchungen, 1976, dargestellt:

- 18.2.1976: Einheitliche Wassertemperaturen von  $3,6\text{--}3,8^\circ\text{C}$  (Homothermie). Ohne Dichteunterschied kann das Wasser zwischen Oberfläche und Grund zirkulieren: Winterzirkulation.
- 21.4.1976: Erwärmung des Oberflächenwassers und Beginn der Sommerstagnation. Beschränkte Fortsetzung der Zirkulation hat das Tiefenwasser noch leicht erwärmt.
- 12.7.1976: Starke Sonneneinstrahlung und Durchmischung im Oberflächenbereich erwärmt das Wasser bis in 10 m Tiefe auf  $19\text{--}23^\circ\text{C}$  (Epilimnion). Zwischen 10 und 25 m ist der Temperaturabfall steil (Sprungschicht, Metalimnion). Unterhalb 25 m liegt die Wassertemperatur zwischen  $5,5$  und  $7^\circ\text{C}$ .

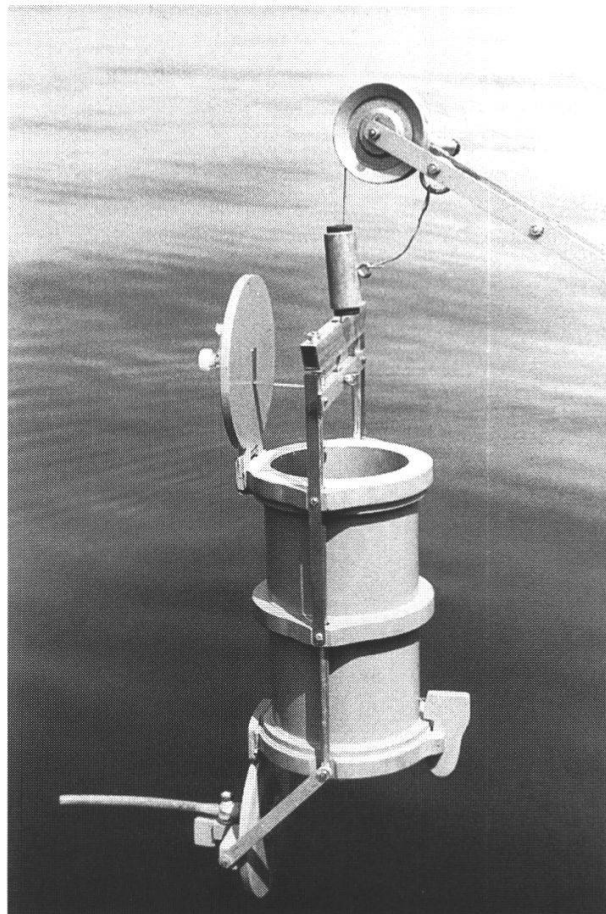


*Abbildung 8*: Die im Jahresverlauf mit einem Tiefsee- oder Kippthermometer bei Tüscherz gemessenen Temperaturen in 0 bis 70 m Tiefe. Temperaturschichtung bei Sommerstagnation und gleichmässige Temperaturen bei Wintervollzirkulation. Erläuterungen unter 4.2.

- 19.10.1976: Herbstliche Abkühlung des Oberflächenwassers mit einsetzender Zirkulation bis in 15 m Tiefe.
- 13.12.1976: Die ganze Wassersäule hat wieder gleiche Temperatur von 6,5–6,9 °C und zirkuliert: Winterzirkulation. Von der Oberfläche her wird noch kälteres Wasser bis zum Grund verfrachtet werden.
- 28.1.1977: Die ganze Wassersäule wurde durch Winterzirkulation auf 3,8–4,0 °C abgekühlt. Ab März 1977 wird sich eine neue thermische Schichtung nach leichter Erwärmung der noch zirkulierenden Wassermassen ausbilden.

## 5. Die chemischen Umweltbedingungen im See

In natürlichen Gewässern sind stets kleinste Mengen lebenswichtiger Stoffe gelöst, wie Sauerstoff ( $O_2$ ), Kohlendioxid ( $CO_2$ ), Kohlensäure ( $H_2CO_3$ ), Bikarbonat ( $HCO_3^-$ ) und Karbonat ( $CO_3^{--}$ ), Phosphat ( $PO_4^{--}$ ), Nitrat ( $NO_3^-$ ), Sulfat ( $SO_4^{--}$ ) und andere. Die Analyse im Wasser gelöster oder auch suspendierter Stoffe (z.B. Algen) erfolgt an Wasserproben, die vom Boot aus mit Schöpfflaschen gewonnen werden. Es sind dies Metall- oder Kunststoffzylinder von 1–5 l Inhalt, mit oben und unten angebrachten schwenkbaren Deckeln (s. *Abbildung 9*). Die Flasche wird offen mit einer Kabelrolle in die gewünschte Tiefe versenkt, und ein dem Kabel entlang hinuntergelassenes Fallgewicht löst den Verschluss der Deckel aus. Nach dem Herausholen der verschlossenen Flasche wird ihr Inhalt in kleinere Flaschen aus Glas oder Kunststoff abgefüllt und im Labor untersucht.



*Abbildung 9:* Eine Schöpfflasche eigener Konstruktion mit 5 Liter Inhalt. Die schwenkbaren, vor dem Hinunterlassen offenen Deckel schliessen sich in der gewünschten Tiefe beim Aufprall des Fallgewichtes. Das Messgerät an der Kabelrolle zeigt die Entnahmetiefe an.