

**Zeitschrift:** Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Bern  
**Herausgeber:** Naturforschende Gesellschaft in Bern  
**Band:** 38 (1981)

**Artikel:** Primärproduktion und Phytoplankton im Bielersee : Berechnung der Tagesprimärproduktion aus Kurzzeitmessungen  
**Autor:** Friedli, Peter / Tschumi, Pierre-André  
**Kapitel:** 1: Einleitung und Problemstellung  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-318469>

### **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:** 30.03.2025

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

### *Abstract*

In the eutrophic Lake Biel, Switzerland, 3 short period primary production experiments (sunset-sunrise; sunrise-noon; noon-sunset) were carried out at 3 week intervals from March 1975 to March 1976. Daylight production and 24 hour production were estimated by summing the results of the short period experiments. On the same day gross and net primary production and respiration were also measured between 0900–1500 (standard exposure period). Using total incident radiation values and assuming a constant respiration rate the standard production results were extrapolated to the daylight and the 24 hour periods. These values clearly underestimate the values obtained from the short period experiments. Simultaneously to the primary production experiments other important biotic and abiotic parameters were measured – temperature, Secchi disk depth, total incident radiation, vertical transmission, O<sub>2</sub>, PO<sub>4</sub>-P, NO<sub>3</sub>-N, chlorophyll a, algal fresh weight, and phytoplankton succession. In the course of the last 50 years the trophic state of Lake Biel has changed from oligo-mesotrophic to eutrophic conditions due to increasing nutrient inflow. Following the onset of phosphorus elimination in most plants within the drainage area of Lake Biel a marked decrease in its oxygen consumption rates and phosphorus concentrations could be measured.

## 1. EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG

An vielen Schweizer Seen wurde im Laufe dieses Jahrhunderts eine rasch fortschreitende Eutrophierung (Überdüngung) der Gewässer festgestellt, eine direkte Folge der zunehmenden Besiedlungsdichte und der wirtschaftlichen Aktivität. Als Ursache wurde der erhöhte Nährstoffeintrag ermittelt, wobei insbesondere dem in den meisten Seen für das pflanzliche Wachstum als Minimumfaktor wirkenden Phosphor eine entscheidende Rolle zukommt. Die drei wichtigsten Quellen sind die menschlichen Ausscheidungen, polyphosphathaltige Waschmittel und die Erosion bzw. Auswaschung landwirtschaftlich intensiv genutzter Böden. Der relative Anteil dieser Hauptquellen variiert von Region zu Region beträchtlich und ist vom Reinigungsgrad der Siedlungsabwässer und von der Intensität der landwirtschaftlichen Nutzung des Einzugsgebietes eines Sees abhängig. So stammten 1973/74 im Bielersee 87 % des Phosphors und 45 % des Stickstoffs aus den durch Gewässerschutzmassnahmen relativ gut erfassbaren Siedlungsabwässern und 13 % des Phosphors bzw. 55 % des Stickstoffs aus den mit Kläranlagen nicht erfassbaren landwirtschaftlich genutzten Böden [66].

Die zunehmende Belastung stehender Gewässer mit anorganischen Nährstoffen äussert sich in einer erhöhten Primärproduktion, also in einer starken Vermehrung und einem gesteigerten Wachstum der Algen und submersen Wasserpflanzen. Damit verbunden ist eine ganze Reihe von direkten und indirekten Folgeerscheinungen: Veränderung der Wasserfarbe von blau zu bräunlich-grün, Abnahme der Transparenz,

Auftreten von Algenblüten, sommerlicher Sauerstoffschwund im Tiefenwasser, Faulschlamm- und Sulfidbildung sowie Freisetzung von Schwefelwasserstoff und Methan am Grund der Gewässer, Rücklösung von Nährstoffen aus dem Seebodenschlamm, qualitative und quantitative Veränderungen beim Phytoplankton, Zooplankton und Fischbestand, Beeinträchtigung der Qualität von Trink- und Gebrauchswasser, Behinderungen des Badebetriebes und der Schifffahrt durch Veralgung und Verkrautung der Seeufer, Gefährdung der Schönheit und des Erholungswertes einer Seenlandschaft.

Der Bielersee wird seit über 20 Jahren vom Kantonalen Laboratorium für Gewässerschutz in Bern regelmässig untersucht. Seit 1972 wird an der Universität Bern zudem ein teilweise vom Schweizerischen Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung finanziertes Projekt bearbeitet, dessen Ziel die Erforschung der Produktionsbiologie und der Chemie des Ökosystems Bielersee ist<sup>1</sup>.

Über den trophischen Zustand des Sees vor 1960 sind nur spärliche Angaben vorhanden. Der See muss zu Beginn dieses Jahrhunderts noch oligotroph gewesen sein. So schreibt Schneider [72], dass um 1900 der See eine "tiefblaue Färbung" aufgewiesen und der Schlamm noch "wie blauer Lehm" ausgesehen habe. Heute ist der See häufig bräunlichgrün, und der Schlamm ist schwarz-grau. Der Berner Biologe Louis [41] stellte im Jahre 1920 in der Region zwischen der St. Petersinsel und Ligerz Sichttiefen von 8 m (März) und 12 m (Oktober) fest. In den vergangenen Jahren wurden im Frühjahr und Herbst höchstens noch halb so grosse Werte gemessen. Weitere für eine Beurteilung des Eutrophierungsprozesses äusserst wertvolle Untersuchungen stammen von 1930/31 (Minder [47]), von 1951 (Thomas [85]) und von 1953 bis 1955 (Nydegger [54]). Der Vergleich rezenter Seedaten mit den Messwerten dieser Autoren zeigt, dass der Trophiegrad des Sees in den vergangenen 50 Jahren stark zugenommen hat (vgl. Kapitel 4.9). Wie schnell sich Gewässerschutzmassnahmen auf den Zustand des Bielersees auswirken, kann unser materiell und personell aufwendiges Forschungsprogramm zum Teil abklären. Neben Messungen möglichst vieler für den Trophiegrad relevanter Parameter an einer oder mehreren Probestellen des Sees sind auch regelmässige Untersuchungen an den wichtigsten Zuflüssen und am Abfluss erforderlich. Zahlreiche Probleme methodischer Art mussten vorerst gelöst werden. Aus dem routinemässig durchgeführten Programm seien hier nur einige Parameter und ihre Aussagekraft aufgeführt:

Die Messung der Sichttiefe und der Lichtintensität unter Wasser erlauben Aussagen über die Trübung des Wassers. Vertikale Temperaturprofile geben Auskunft über die Schichtungsverhältnisse im See. Sie erlauben auch Rückschlüsse auf die Einschichtungstiefe der Zuflüsse. Nährstoffprofile helfen mit, die trophischen Bedingungen im See zu charakterisieren. Regelmässig aufgenommene Sauerstoffprofile zeigen den Abbau des anfallenden organischen Materials an. Aus den Chlorophyllkonzentrationen und den unter dem Mikroskop bestimmten, ausgezählten und vermessenen Algen wird die

1 Eine Zusammenstellung verschiedener im Rahmen dieses Projektes entstandener Arbeiten und Publikationen findet sich im Literaturverzeichnis und in der daran anschliessenden Liste.

Biomasse der Primärproduzenten ermittelt. Aus dem ebenfalls mikroskopisch bestimmten und ausgezählten Zooplankton lassen sich die Sekundärproduktion und damit die Nahrungsgrundlage der Fische errechnen. Die Basis aller quantitativen Berechnungen zur Erstellung einer Nahrungspyramide und zur Beurteilung des Trophiegrades eines Sees bilden genaue Messungen der Primärproduktion. Über damit zusammenhängende methodische Untersuchungen und unsere wichtigsten Ergebnisse soll in der folgenden Arbeit berichtet werden.

Primärproduktionsmessungen werden am Bielersee erst seit 1972 durchgeführt. In den Jahren 1972/73 wurden gleichzeitig an bis zu vier Probestellen in monatlichen Abständen die Bruttoproduktion, Nettoproduktion und Respiration der Planktonbiozönose während einer sechsständigen, mehr oder weniger symmetrisch zum Mittag liegenden Expositionsperiode gemessen [13/58]. Aufgrund der Resultate dieser Messungen wurde die Primärproduktion ab 1974 nur noch an der tiefsten Probestelle vor Tüscherz (Abb. 1) während einer Standardexpositionsperiode von 09.00 bis 15.00 Uhr gemessen [14/87]. Diese Expositionsperiode hat sich für die Verhältnisse am Bielersee und bei Verwendung der von Tschumi et al. [88] modifizierten Sauerstoffmethode nach Gaarder und Gran [15] bewährt. Ein Einfluss versuchsbedingter Artefakte während der Vegetationszeit (z. B. Bakterienwachstum an den Flaschenwänden, Erschöpfung vorhandener Nährstoffe, Hemmung der Assimilation durch Exkretionsprodukte, Verhinderung der Planktonmigration und Wasserzirkulation) konnte nicht nachgewiesen werden, und auch die im Winter gemessenen Produktions- und Respirationswerte erwiesen sich als signifikant.

Je nach Gewässertyp und verwendeter Messmethode haben sich an anderen Seen kürzere, längere oder ähnliche Expositionsperioden als optimal erwiesen (vgl. z. B. Zusammenstellung bei Anderson [2] oder bei Jones und Ilmavirta [31]). Unabhängig von der Dauer der Expositionsperiode müssen derartige Kurzzeitversuche jedoch auf die Tagesprimärproduktion und auf die Primärproduktion in 24 Stunden extrapoliert werden. Zur Extrapolation werden verwendet: Empirisch ermittelte Umrechnungsfaktoren [26], das Verhältnis der Expositionsdauer zur Tageslänge [7], das Verhältnis der Globalstrahlung während des Kurzzeitversuches zur Globalstrahlung des ganzen Tages [z. B. 28/30/34/38/70], die Verdoppelung von Resultaten aus Halbtagesmessungen [23/36/45] und theoretische Modelle [z. B. 11/83/93]. Am genauesten lässt sich die Tagesproduktion durch Aufsummieren von Produktionswerten aufeinanderfolgender Kurzzeitmessungen ermitteln [16/76/86]. Diese aufwendige Methode ist jedoch für regelmässige Routinemessungen kaum anwendbar und muss meist auf wenige, exemplarische Versuchstage pro Jahr beschränkt bleiben [24/26/95].

Am Bielersee wurden die Bruttoproduktion bisher proportional zur Globalstrahlung und die Respiration proportional zur Zeit auf die Tageswerte umgerechnet (Kapitel 2.5.1.). Dabei stellten sich folgende Fragen:

1. Wie gross ist die Produktion und Respiration der Biozönose a) von Sonnenaufgang bis Sonnenuntergang? b) von Sonnenuntergang bis Sonnenuntergang (24 Stunden)?

2. Unterscheiden sich die aus dem Standardversuch extrapolierten Tageswerte von den effektiv gemessenen Tageswerten?
3. Gibt es Möglichkeiten, die Tageswerte aus den Resultaten des Standardversuches genauer zu berechnen als bisher?

Zur Abklärung dieser Fragen wurden während eines Seejahres von März 1975 bis März 1976 in dreiwöchigem Abstand die Primärproduktion und die wichtigsten produktionsbestimmenden Faktoren an der Probestelle vor Tüscherz (Abb. 1) über jeweils 24 Stunden gemessen.

## 2. MATERIAL UND METHODEN

### 2.1. *Physikalische Parameter*

Die Globalstrahlung wurde mit einem Schwarzflächenpyranometer (Solarimeter CM 6) bei Nidau gemessen und von einem Integrator (CC 1; beide Geräte von Kipp & Zonen, Delft, Holland) aufsummiert und halbstündlich ausgedruckt. Der photosynthetisch aktive Energieanteil der Globalstrahlung (400–700 nm) wurde gleich wie bei Gächter [16] unter Berücksichtigung des vom Sonnenstand und vom Bewölkungsgrad abhängigen Reflexionsverlustes berechnet [67].

Die Extinktions- und Transmissionsmessungen wurden stets zwischen 10 bis 15 Uhr mit einem Unterwasserfotometer der Firma Philipp Schenk, Wien, in Kombination mit Farbfiltern der Firma Schott, Mainz, durchgeführt. Als Messgerät diente ein Multi-meter "Model 45 4 Digit" der Firma Data Technology Corporation, Santa Ana, Cal., USA. Die Messungen wurden in Meterabständen bis zu maximal 23 m vorgenommen. Während der Stagnation wurden die prozentualen Transmissionen auf den unmittelbar unter der Wasseroberfläche gemessenen Wert bezogen. Während der Zirkulation beziehen sich die Transmissionswerte dagegen auf einen Oberflächenwert, der durch Regression aus den Messwerten ab 1 m Tiefe ermittelt wurde [97].

Die Sichttiefe wurde mehrmals täglich nach den Empfehlungen von Sauberer [67] mit einer Secchischeibe ( $\emptyset$  30 cm) und einem ins Wasser getauchten Rohr gemessen.

Die Temperatur des Wassers wurde während der Stagnationsperiode fünfmal und während der Zirkulationsperiode mindestens dreimal in 24 Stunden in den Tiefenstufen 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12,5, 15, 17,5, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70 m und mit zusätzlichen Messungen im Bereich der Sprungschicht gemessen. Die Werte des elektrischen Temperaturmessgerätes wurden mit einem Kippthermometer der Firma Büchi, Bern, in 0 und 70 m geeicht.

Die meteorologischen Daten wurden fünfmal in 24 Stunden nach den Empfehlungen von Sauberer [67] registriert und durch Angaben der Meteorologischen Zentralanstalt (Messstation Biel) ergänzt.

Die hydrologischen Daten wurden uns vom Eidg. Amt für Wasserwirtschaft [9] und von den Bernischen Kraftwerken zur Verfügung gestellt.