

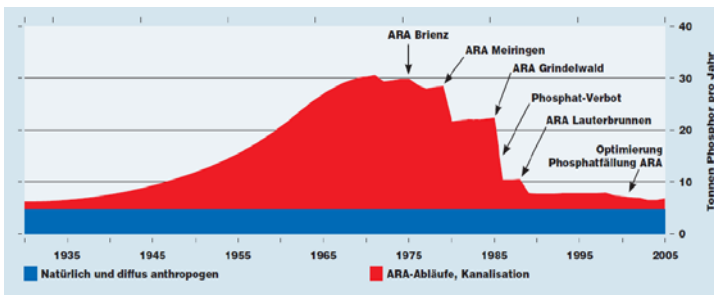
## Fakten zum Phosphor im Brienersee

### Ausgangslage

Phosphor ist einer der limitierenden Nährstoffe für das Algenwachstum in Seen. Der Phosphatgehalt ( $\text{PO}_4\text{-P}$ ) hat im Brienersee in den vergangenen drei Jahrzehnten auf rund 1 Milligramm pro Kubikmeter abgenommen und sich seither auf diesem tiefen Niveau eingependelt. Zogen Berufsfischern während der Phase der starken Düngung jährlich noch 10 kg Felchen pro Hektar Seefläche aus dem See, sind es heute nur noch knapp 2 kg pro Jahr. Fischereikreise fordern nun, die Nährstoffelimination in Kläranlagen rund um den Brienersee sei einzuschränken, in der Hoffnung, wieder mehr Fischertrag zu erreichen. Die Vertreter dieser Idee schlagen einen unteren Phosphat-Grenzwert (2 bis 5  $\text{mg/m}^3$ ) vor, der ihrer Ansicht nach «ein ökologisch erstrebenswertes Pflanzen- und Fischwachstum» erlauben würde.<sup>1</sup> Mit dem Ziel, die Algenproduktion und die Fischereierträge wieder zu erhöhen, sind im National- und im Ständerat Motionen eingereicht worden, die einen Pilotversuch verlangen mit einem teilweisen oder vollständigen Verzicht auf eine Phosphatfällung in den Abwasserreinigungsanlagen rund um den Brienersee.<sup>2</sup>

Der Bund macht bezüglich Phosphor-Elimination in der Gewässerschutzgesetzgebung<sup>3</sup> klare Vorgaben. Im Einzugsgebiet von Seen müssen die Kläranlagen 80% des Phosphors aus dem Abwasser eliminieren und das gereinigte Abwasser darf maximal 0,8 mg Phosphor pro Liter enthalten. Dank effizienter Kläranlagen und des Phosphatverbots (1985) in Waschmitteln konnte die Überdüngung der Schweizer Seen in den letzten Jahrzehnten rückgängig gemacht werden. Die Gewässerqualität und somit die natürlichen Lebensbedingungen für alle Gewässerorganismen, einschliesslich der Fische haben sich dadurch deutlich verbessert. Die Schweiz konnte auch internationale Verpflichtungen einhalten.

### Phosphor im See

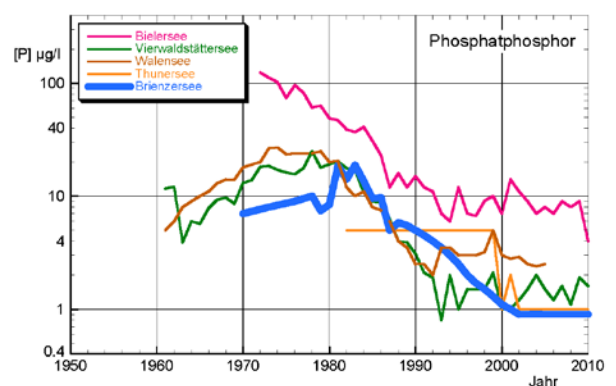


Eintrag von biologisch verfügbarem Phosphor in den Brienersee. Die Fortschritte der Abwasserentsorgung im Einzugsgebiet sind eindeutig sichtbar. Grafik aus 4)

Die Phosphatwerte im Brienersee im Vergleich mit anderen grossen Seen der Schweiz. Die Übereinstimmung der Wende mit dem Bau der Kläranlagen und dem Phosphatverbot ist deutlich. Neben dem zeitlichen Verlauf unterscheidet sich der Brienersee auch bezüglich Phosphatwerte nur unwesentlich von den vergleichbaren Vierwaldstättersee oder Thunersee. In den Mittellandseen (z.B. Greifensee, Sempachersee) stiegen die Phosphatwerte in den 1970er Jahren auf 250 bis 500  $\mu\text{g/l}$ .

Grafik – Brienersee hervorgehoben – aus 5).

Der Brienersee mit seinem alpin geprägten Einzugsgebiet ist natürlicherweise sehr nährstoffarm mit entsprechend geringer Algenbiomasse. Zwar stiegen die Phosphor-Einträge auch am Brienersee bis Mitte der 1980er Jahre an, im Vergleich zu allen anderen grösseren Schweizer Seen jedoch am wenigsten stark. Der Brienersee blieb oligotroph. Heute gelangen jährlich im Mittel 7 Tonnen an bioverfügbarem Phosphor in den See. Davon stammen 1,3 t aus Kläranlagen.<sup>4</sup>



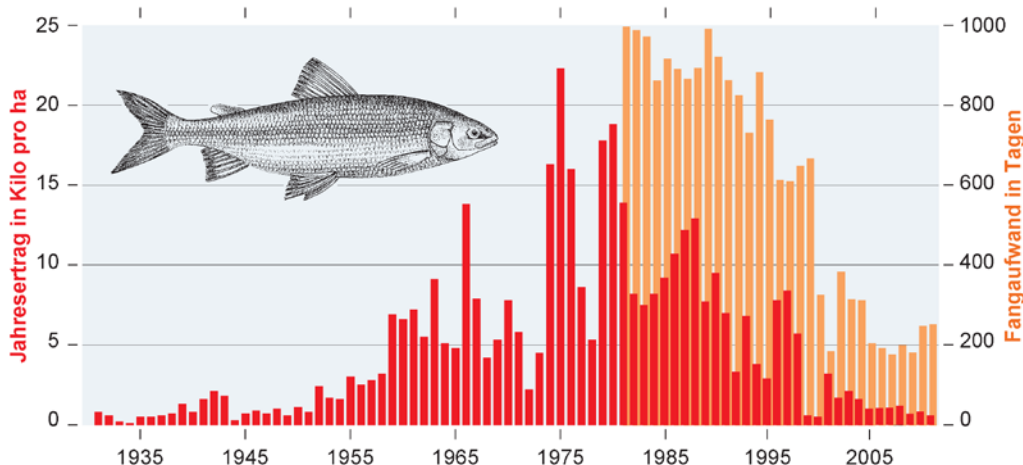
### Was würde ein «Phosphatmanagement» bedeuten?

Um eine spürbare (mit 2 bis 5 mg/m<sup>3</sup> deutlich über den natürlichen Schwankungen liegende) Veränderung des Phosphatgehalts im Brienersee zu erzielen, müssten dem See jährlich 25 bis 30 Tonnen Phosphor zugegeben werden. Derart hohe Frachten entsprechen den Bedingungen zu Beginn der 1970er Jahre und sind mit einem Verzicht auf die weitergehende Phosphorelimination nicht zu erreichen. Die Gewässerschutzverordnung<sup>3</sup> verlangt (Anhang 3.3) bezüglich Phosphorelimination: Ablauf der Kläranlagen: < 0.8 mg/Liter, bzw. 80% Reinigungsleistung in Bezug auf Zulaufkonzentration. Heute betragen die Reinigungsleistungen der Kläranlagen rund um den Brienersee 90 bis 95%. Würde diese Elimination auf 80 bis 85% reduziert, würde dies den Phosphor-Input in den See um rund 1.5 Tonnen/Jahr steigern. Diese Zunahme an Phosphat wäre im See kaum messbar, bzw. könnte die Fischfangerträge nicht über die natürlichen Schwankungen hinaus erhöhen.

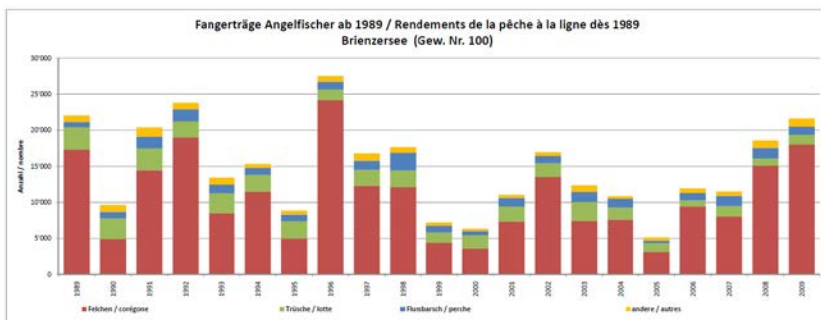
Der gesamte Phosphat-Inhalt in den für die Plankton-Produktion massgebenden oberen Seeschichten beträgt aktuell im Frühling weniger als 1 t, der Zufluss übers Jahr hingegen rund 7 t, wovon rund 1.3 t aus den Abwasserreinigungsanlagen stammen.<sup>4</sup> Für die Plankton-Produktion massgebend sind daher die Phosphor-Zuflüsse während der produktiven Sommersaison. Ein Phosphor-Management mit einem unteren Phosphat-Grenzwert («Startwert») für das Frühjahr, wie er von Fischereikreisen vorgeschlagen wird, ist für den Brienersee daher nicht geeignet.

### Fischfangerträge

Die natürliche Nährstoffarmut des Brienersees spiegelt sich in den Fischereierträgen vor der Phase der starken Düngung, die ebenso niedrig oder noch niedriger waren als heute. Im naturnahen See vor 1950 lag der Felchenfang pro Hektar immer unter 2 kg/ha. Die Anzahl der Berufsfischerpatente betrug 1936-1951 vier, dann bis 1995 fünf, 1996-1999 vier, 2001-2005 drei und seit 2006 noch zwei.



Felchenfangerträge der Berufsfischer am Brienersee. Der Rückgang der absoluten Zahlen (rot) seit Ende der 1980er-Jahre erklärt sich zumindest teilweise mit einem markanten Rückgang des betriebenen Aufwandes der Fischer (orange, Anzahl Tage, an denen die Berufsfischer Netze gesetzt haben – Daten erst ab 1980). Daten: Fischereinspektorat Kanton Bern; Grafik: ergänzt aus <sup>6</sup>



Fangerträge der Hobbyfischer am Brienzersee 1989-2009; Quelle: Amt für Landwirtschaft und Natur, Fischereiinspektorat, Kanton Bern

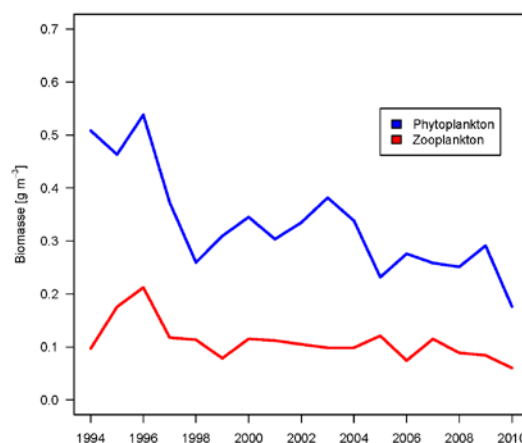
Im Unterschied zu den Erträgen der Berufsfischer am Brienzersee sind die Fänge der Sportfischer offensichtlich nicht zurückgegangen. Interessant ist ausserdem der Vergleich mit dem Thunersee: 2008-2010 waren die Felchenfangerträge der Berufsfischer dort mehr als zehnmal so hoch wie im Brienzersee. Den Sportfishern gingen jedoch in der selben Zeit in beiden Seen ungefähr gleich viele Felchen an die Angel (rund 15'000 Felchen/Jahr), und zwar ohne dass die Zahl der Sportfischer gestiegen wäre. Das sind weitere Hinweise, dass der Rückgang des Fangertrags bei den Berufsfischern teilweise durch einen verminderten Fangaufwand erklärt werden kann.

Im Rahmen des «ProjetLac» (Eawag, UniBern, Naturhistorisches Museum Bern) wurde im Herbst 2011 auch der Brienzersee systematisch befishet. Dabei hat sich gezeigt, dass es bis in grösste Tiefen starke naturverleichende Populationen gibt, welche die im seichteren Wasser eher geringe Fischdichte bezüglich Biomasse mehr als kompensieren (z.B. im Vergleich zum Murtensee). Die tiefen Fangerträge der Berufsfischer weisen also nicht auf eine generelle Fischarmut im See hin. Vielmehr hat der tiefe Nährstoffgehalt daran adaptierte (langsamwüchsige und kleine) Fische gefördert, die aber durch die Maschen der Netze schlüpfen oder an Orten im See leben, wo gar nicht gefischt wird. Der von den Berufsfischern betriebene Aufwand sank seit Ende der 1970er Jahre laufend und beträgt heute nur noch ein Fünftel von damals (siehe Grafik). Die nicht normierte Statistik der kommerziellen Fangerträge zeigt also ein verzerrtes Bild.

### Plankton und Planktonvielfalt

Oft wird gesagt, die tieferen Fischfangerträge seien auf den Rückgang der Planktonproduktion im See zurückzuführen. Tatsächlich zeigen die seit 1994 erhobenen Daten einen gewissen Rückgang der Biomasse bei den Daphnien (Wasserflöhe), nicht aber bei anderem Zooplankton. Dank Analysen von Sedimentproben weiss man ausserdem, dass vor 1955 kaum Daphnien im See vorkamen, denn es lassen sich keine ihrer Dauereier in den älteren Sedimentschichten finden<sup>7</sup>.

Wie bei den Fischen ist auch beim Plankton die Artenzusammensetzung im Brienzersee angepasst an die natürliche Nährstoffarmut. Ein Vergleich der Perioden 1994-1998 und 2006-2010 zeigt, dass etliche Arten verschwunden sind, die tendenziell in nährstoffreicheren Seen auftreten, darunter auch drei Cyanobakterien (Blaualgen), die toxische Stoffe produzieren können.

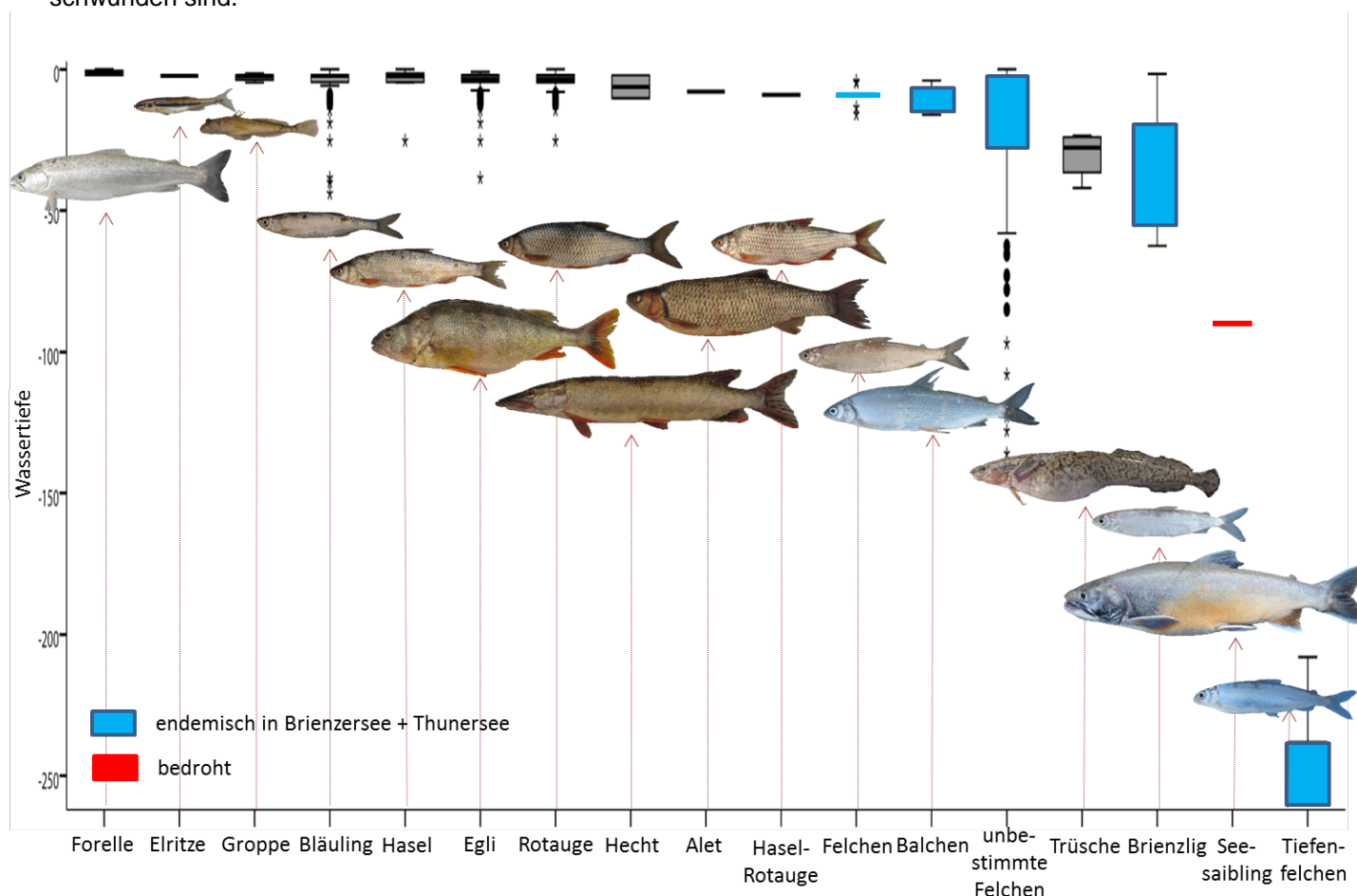


Entwicklung der Plankton-Biomasse im Brienzersee seit 1994.

### Fischbiodiversität

Die nördlichen Alpenrandseen beherbergten einst eine grosse Vielfalt von endemischen Kaltwasserfischarten. Endemisch bedeutet, dass es sich um Arten handelt, die nur an diesem Ort und sonst nirgends vorkommen. Die global einzigartige Fauna findet ihre nächsten Verwandten erst im nördlichen Skandinavien. Der Brienersee gehört mit dem Thuner- und dem Vierwaldstättersee zusammen zu den letzten dieser Seen, wo fast alle endemischen Fischarten überlebt haben. Im Fall des Brienersees sind dies unter anderem drei oder vier endemische Felchenarten, die bis in die allergrössten Tiefen des Sees in guter Populationsstärke vorhanden sind. Auch ist die genetische und ökologisch funktionale Differenzierung innerhalb einzelner Arten im Brienersee deutlich grösser als in nährstoffreicheren Seen.

Der Brienersee ist daher gleichzeitig ein einzigartiges Artenreservoir und ein Ort, wo sich aus Spezialisierungen auch neue Arten entwickeln. In allen anderen Seen hat die viel stärkere Überdüngung dazu geführt, dass ursprünglich eigenständige Arten genetisch näher zusammengerückt sind, vollständig verschmolzen oder verschwunden sind.



Die aktuelle Fischartenvielfalt im Brienersee ist gross und über die ganze Seetiefe verteilt, wobei die grösseren Tiefen vor allen Dingen von endemischen Arten besiedelt sind.

Grafik: Eawag, ProjetLac, unveröffentlicht

### **Einfluss der Kraftwerke**

In der Vergangenheit wurde die Vermutung geäußert, dass der Kraftwerksbetrieb im Grimselgebiet den Fischfangertrag im Brienersee schmälern könnte. Die Untersuchungen im Rahmen des Brienersee-Projektes<sup>8</sup> haben jedoch gezeigt, dass in den Grimsel- Stauseen jährlich maximal 2 t Phosphat zurückgehalten werden. Das ist eine Menge, die gegenüber einem natürlichen Zustand auch heute durch die Menschen (häusliche Abwasser, Landwirtschaft) kompensiert wird. Der durch den Kraftwerksbetrieb veränderte Partikelhaushalt beeinflusst die jährliche Algenproduktion relativ wenig: Einer etwas geringeren Produktion im Winter steht eine etwas höhere Produktion im Sommer gegenüber.

### **Sterile Brienzlinge**

Seit 2000 werden bei den Felchen im Thunersee Veränderungen der Geschlechtsorgane beobachtet. Seit 2008 werden auch im Brienersee vermehrt Felchen – vor allem Brienzlinge – ohne oder mit verformten Geschlechtsorganen gefunden. Über die Hintergründe dieser Gonadenverformungen sind mehrere Thesen aufgestellt worden. Keine der Thesen konnte aber bisher wissenschaftlich bestätigt werden, auch nicht ein Zusammenhang mit der zeitgleich aufgetretenen Futterknappheit durch einen Einbruch der Daphnienpopulation (Wasserflöhe).

Weitere Auskünfte:

Dr. Piet Spaak, Abteilungsleiter Gewässerökologie, Tel 058 765 5617, piet.spaa@eawag.ch

ab / 31. Januar 2012 / Version 6d

<sup>1</sup> Artikel Wann ist ein See gesund? in PetriHeil August 2011:

<http://www.petri-heil.ch/magazin/fischen-schweiz/fischen-schweiz-einzelansicht/article/8/wann-ist-ein-102016.html>

<sup>2</sup> Phosphatmanagement Brienersee: 11.4091 Motion von Ständerat Werner Luginbühl (BDP); 11.4158 Motion von Nationalrat Erich von Siebenthal (SVP)

<sup>3</sup> Gewässerschutzverordnung, Anhang 3: [http://www.admin.ch/ch/d/sr/814\\_201/app3.html#ahref2](http://www.admin.ch/ch/d/sr/814_201/app3.html#ahref2)

<sup>4</sup> Present and past bio-available phosphorus budget in the ultra-oligotrophic Lake Brienz; Müller B. et al. Aquat. Sci. 69 (2007) 227 – 239; 1015-1621/07/020227-13; DOI 10.1007/s00027-007-0871-8; 2007

<sup>5</sup> Die Entwicklung des Brienersees seit 1999: Zustandsanalyse 2010; AWA und Fischereinspektorat Kanton Bern, 2011

<sup>6</sup> Brienersee: Ein Ökosystem unter der Lupe; Bau-, Verkehrs- und Energiedirektion des Kantons Bern BE. 2006

<sup>7</sup> Antropogenic eutrophication shapes the past and present taxonomic composition of hybridizing Daphnia in unproductive lakes; Rellstab Christian et al.; Limnol. Oceanogr. 56(1), 2011, 292-302

<sup>8</sup> Wüest A., Zeh M., and J.D. Ackerman (2007). Lake Brienz Project: An interdisciplinary catchment-to-lake study. Aquatic Sciences 69: 173-178.