

Zeitschrift: Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft Luzern
Herausgeber: Naturforschende Gesellschaft Luzern
Band: 38 (2007)

Artikel: Zustandsentwicklung des Sempachersees und getroffene Gewässerschutzmassnahmen
Autor: Lovas, Robert / Stadelmann, Pius
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-523524>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 10.07.2025

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

Zustandsentwicklung des Sempachersees und getroffene Gewässerschutzmassnahmen

Robert Lovas und Pius Stadelmann

Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft Luzern Band 38 2007

ZUSAMMENFASSUNG

Der 87 Meter tiefe Sempachersee wird seit 1984 künstlich belüftet. Ab 1950 wurde der See durch die Einleitung von ungereinigten Abwässern und ab 1965 zusätzlich durch intensive Landwirtschaft mit hohen Tierbeständen mit Phosphor überdüngt. Die Geschichte der Eutrophierung wird mittels Sedimentanalysen für die Jahre 1585 bis 2002 illustriert. Dank der Kombination von externen Massnahmen im Einzugsgebiet und der see-internen Belüftung hat die Phosphorkonzentration in den Jahren 1984 bis 2004 von 160 auf 30 mg P/m³ abgenommen. Im Winter 2007 betrug die Phosphorkonzentration sogar 21 mg P/m³. Seit der künstlichen Belüftung konnte der Zielwert von mindestens 4 mg Sauerstoff pro Liter zu jeder Zeit und in jeder Tiefe eingehalten werden. Der heutige Handlungsbedarf gemäss den neuen gesetzlichen Anforderungen wird aufgezeigt. Aufgrund der über 20 Jahre andauernden Überwachung der Gewässer und den Erfahrungen mit der Seesanie- rung wird ein Leitbild mit neuen Zielsetzungen für die Gesundung der Gewässer im ganzen Einzugsgebiet vorgelegt.

ABSTRACT

The 87 m deep Lake Sempach has been artificially aerated since 1984. Already in 1936, the lake exhibited anaerobic conditions in the deep sediments. Starting 1950 the lake was polluted by untreated sewage from settlements and industry. About 1965, intensive farming and high animal stocking have caused an additional phosphorus loading. The history of eutrophication is illustrated by sediment analysis relating to the years 1585 to 2002 and in addition by chemical analysis of phosphorus and nitrogen since 1950. With the combination of external and lake internal measures the concentration of phosphorus has decreased from 160 to

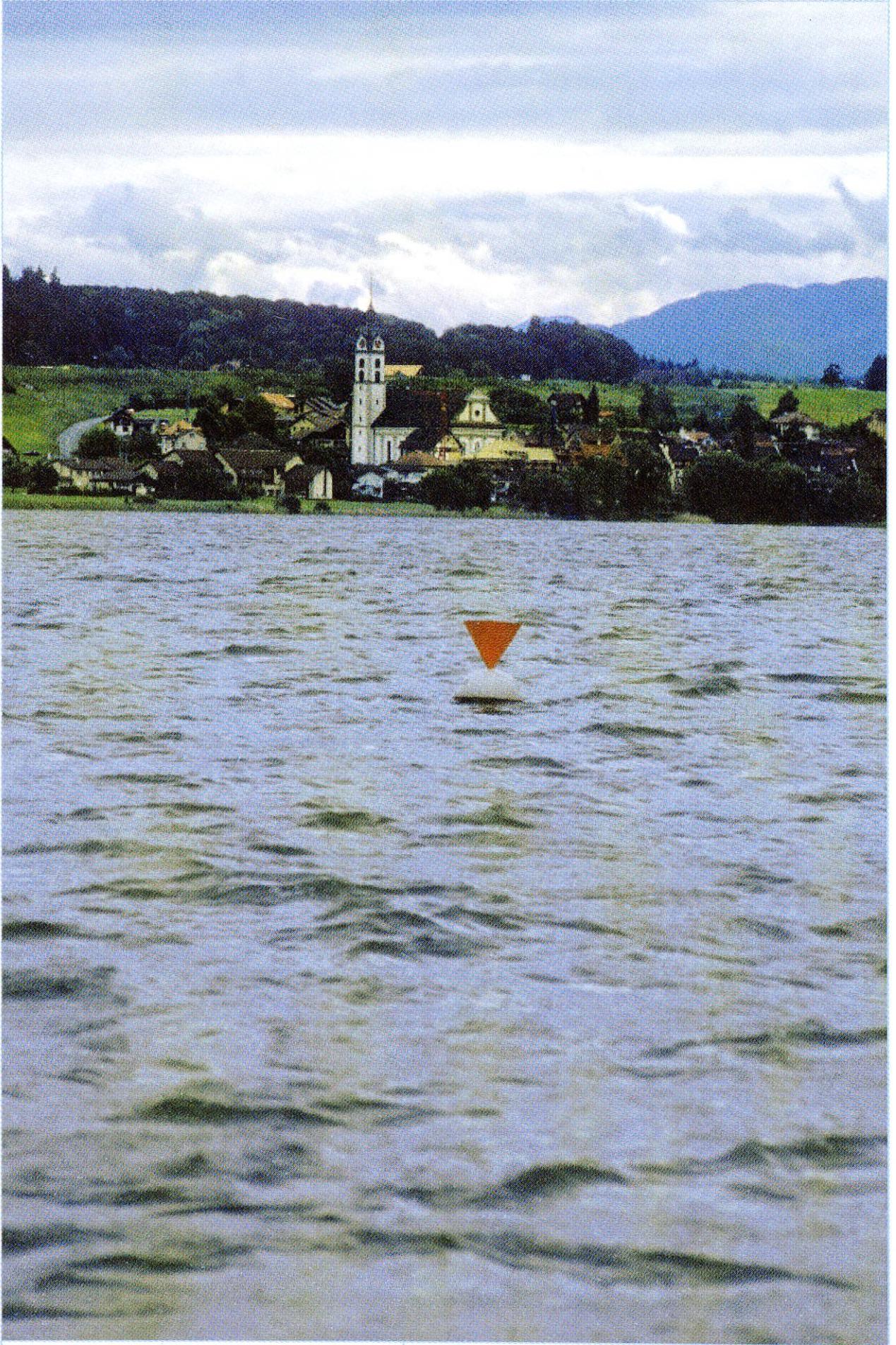


Abb. 1: Sempachersee. (Foto: Pius Stadelmann)

21 mg P/m³ during the period 1984 to 2007. Species diversity of phytoplankton increased and the water became more clear. The target value of at least 4 mg of oxygen per litre at any time and any depth in the lake could be reached by artificial oxygenation of the hypolimnion. Benthic animals such as *Oligochaeta* and *Chironomidae* were able to live at greater depths and caused bioturbation of the sediments. The consequences of cessation the artificial mixing in winter and the hypolimnetic oxygenation in summer are discussed. New objectives for the recovery of the entire lake drainage basin are proposed, based on long-term monitoring of the lake and its tributaries, on new research results as well as on new legislation for sustainable water protection.

EINLEITUNG

Der Sempachersee liegt im Luzerner Mittelland und ist ein bedeutendes Gewässer für die Trinkwassergewinnung und die Fischerei sowie ein beliebtes Naherholungsgebiet für die Bevölkerung. Er war schon im Mittelalter als reiches Fischgewässer bekannt. Bis Anfang der 1950er Jahre galt er als ein nährstoffarmes (oligotrophes) Gewässer mit einer mittleren Algenproduktion, relativ klarem Wasser und guten Sauerstoffverhältnissen bis in grosse Tiefen. In den folgenden Jahren nahmen die Phosphorkonzentrationen stetig zu, bis in den 1980er Jahren Werte von bis zu 160 mg P/m³ gemessen wurden. Am 7./8. August 1984 bewirkten toxische Ausscheidungen von Blaualgen ein katastrophales Fischsterben im Sempachersee, das die Bevölkerung stark beunruhigte (STADELMANN et al. 1985). Der Kanton Luzern startete 1984 verschiedene externe und see-interne Massnahmen, um die Zielvorstellung des schweizerischen Gewässerschutzgesetzes zu erfüllen und eine schnellere Abnahme der Phosphorbelastung des Sees zu erreichen (STADELMANN

1988, STADELMANN und GÄCHTER 1993, WEHRLI und WÜEST 1986). Ein ausführlicher Bericht über die Sanierung des Sempachersees wurde vom Amt für Umweltschutz im Auftrag des Gemeindeverbandes Sempachersee erstellt (STADELMANN et al. 2004, BLUM 2004). Der vorliegende Beitrag fasst die Ergebnisse aus diesem Bericht und die Entwicklung der Sanierung des Sempachersees in den letzten zwanzig Jahren zusammen und versucht, ein Leitbild für die langfristige Gesundung aller Gewässer im Einzugsgebiet des Sempachersees und des Surentals zu entwickeln.

1 KENNDATEN ZUM SEMPACHERSEE

Der Sempachersee ist nach der Würm-Eiszeit vor rund 15 000 Jahren entstanden. Das hydrologische Einzugsgebiet des Sempachersees (Abb. 1) umfasst 61,9 km², davon sind 74% landwirtschaftlich genutzte Flächen, 16% Wald und 10% Siedlungsflächen. Der See wird von 16 Bächen gespeist, und über die Suhre fließen im Mittel 1,28 m³ pro Sekunde ab (Abb. 2). Im Verhältnis zur Seeoberfläche (14,4 km²) ist der See relativ tief (maximale Tiefe 87 m, mittlere Tiefe 44 m). Der Sempachersee hat mit einer mittleren theoretischen Wasseraufenthaltszeit von 15 Jahren die längste Aufenthaltszeit aller schweizerischen Seen.

Die Nährstoffbelastung mit Phosphor und Stickstoff ist in den letzten Jahrzehnten durch die zunehmende Bevölkerung und die landwirtschaftliche Nutzung massiv angestiegen. Die Wohnbevölkerung rund um den Sempachersee hat sich in den Jahren 1950 bis 2000 von 10 700 auf 22 300 verdoppelt. Mit dem Ausbau der Kanalisation und der Abwasserreinigungsanlagen wurde in den 1960er Jahren begonnen. Um 1990 war die Abwassersanierung so weit fortgeschritten, dass 82% der Einwohner im hydrologischen Einzugsgebiet des Sempachersees an eine Kläranlage angeschlossen waren. 17% der Einwohner entsorgten ihre Abwässer landwirtschaftlich über abflusslose Güllengruben, und nur 1% (rund 120 Personen) waren noch nicht an eine Kläranlage angeschlossen. Heute ist praktisch bei allen 13 000 Einwohnern im Einzugsgebiet des Sempachersees die Abwasserentsorgung gesetzeskonform. Die Landwirtschaft zeichnet sich durch eine intensive Tierhaltung, insbesondere durch Schweinehaltung, aus. Im Einzugsgebiet des Sempachersees ist die Tierintensität mit 2,6 Düngergrossviehein-

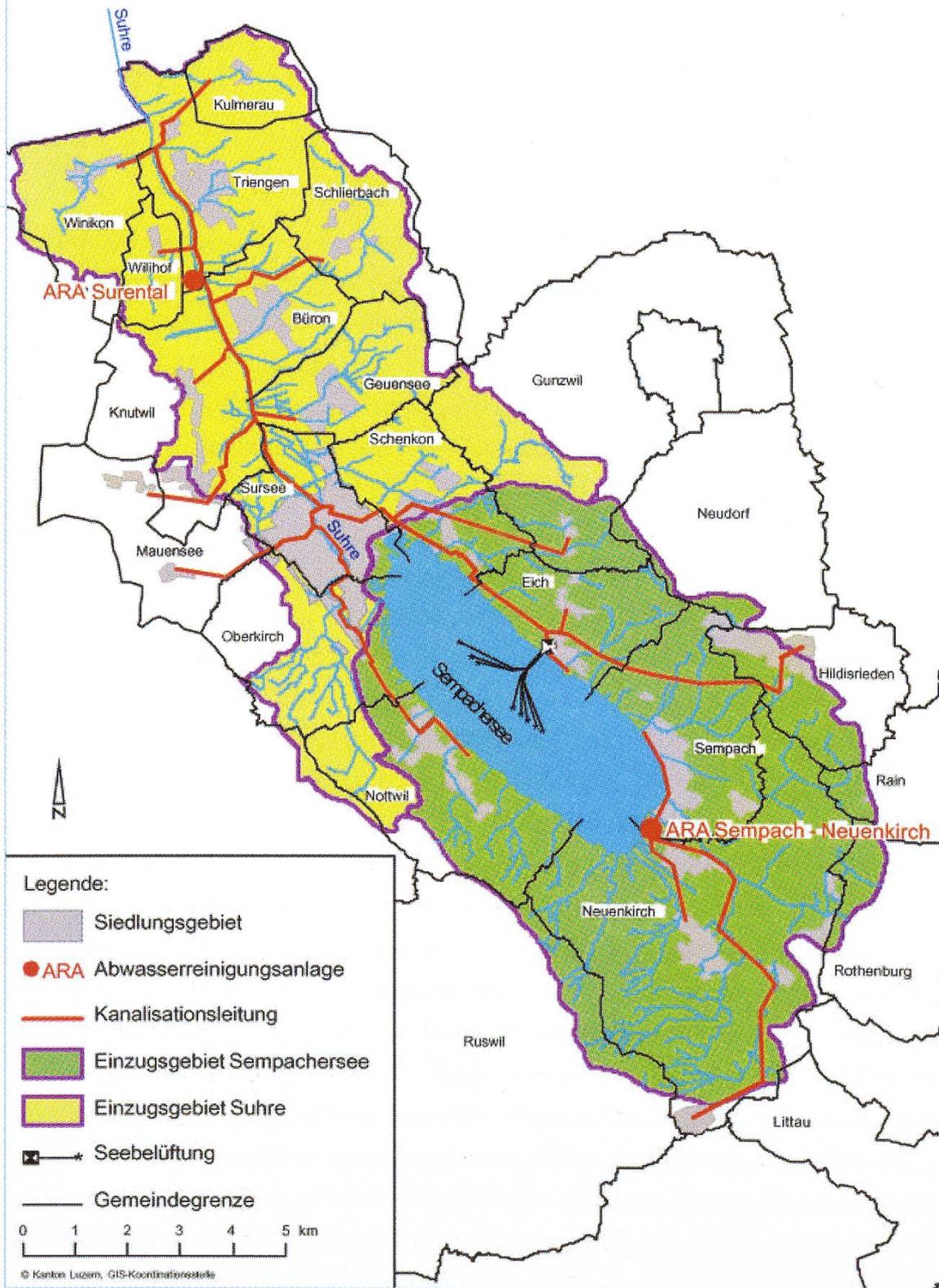
heiten (DGVE) pro Hektare sehr hoch. In der Periode von 1951 bis 1983 nahm der Rindviehbestand um 21% auf 12 175 Rinder und der Schweinbestand um 358% auf 48 014 Schweine zu.

2 ZUSTANDSENTWICKLUNG DES SEMPACHERSEES

Die Folgen der Überdüngung des Sempachersees zeigten sich der Bevölkerung Anfang der 1990er Jahre schlagartig: Im Juni 1983 verunstalteten starke Algenblüten von Burgunderblutalgen die Seeufer und beeinträchtigten die Badewasserqualität. Am 7./8. August 1984 starben rund 350 000 Fische mit einem geschätzten Gewicht von 26 Tonnen. Wie kam es dazu?

Ursprünglich waren die Seen der Schweiz nährstoffarm und wiesen geringe Phosphorkonzentrationen auf. In niederen Konzentrationen von weniger als 20 mg P/m^3 begrenzt Phosphor als Minimumstoff das Wachstum der mikroskopisch kleinen Algen. Wird Phosphor dauernd nachgeliefert, vermehren sich die Algen massenhaft. Wenn die Algen ins Tiefenwasser absinken, werden sie unter Sauerstoffverbrauch (aerob) bakteriell abgebaut. Je grösser die Algenproduktion im See ist, desto mehr Sauerstoff wird bei deren Abbau im Tiefenwasser aufgezehrt. Ist aller Sauerstoff aufgebraucht, bilden sich giftige Fäulnisprodukte wie Ammoniak, Schwefelwasserstoff und Methan. Höher entwickelte Organismen wie Würmer, Insektenlarven oder Fische können in diesen Wasserschichten nicht überleben. Zudem wird unter sauerstofflosen (anaeroben) Verhältnissen im Seeboden eingelagerter Phosphor wieder zurückgelöst (P-Rücklösung). Ein Kilogramm Phosphor ermöglicht eine Algenproduktion von 114 kg Trockensubstanz, deren Abbau im Tiefenwasser 140 kg Sauerstoff verbraucht. Mit zunehmender Phosphoranreicherung im See ändert sich

Abb. 2: Das Einzugsgebiet des Sempachersees und der Suhre mit Siedlungsentwässerung und Abwasserreinigungsanlagen (ARA) sowie Belüftungsanlagen im See (Stand 2003).



auch die Zusammensetzung der Algenarten. Verschiedene Blaualgenarten wie die Grünspanalge *Aphanizomenon flos-aquae* oder die Burgunderblutalge *Planktothrix rubescens* können toxische Stoffe ausscheiden, die für Fische sowie in hohen Konzentrationen auch für Säugetiere giftig wirken können (MEZ 1998). Bei starkem Algenwachstum im Frühjahr können hohe Sauerstoffkonzentrationen und schneller Anstieg der Temperatur zu Gasübersättigungen und zu Fischsterben führen (STADELMANN 1988; VENTLING-SCHWANK und MÜLLER 1991). Mit Ausnahme des Vierwaldstättersees waren alle Seen des Kantons Luzern um 1980 stark überdüngt: An der Oberfläche waren die Seen öfters von unästhetischen Algenteppichen überzogen, einige Male machten Fischsterben Schlagzeilen, sowohl die Trinkwassergewinnung als auch die Badewasserqualität waren beeinträchtigt.

Aufgrund der Rekonstruktion des Gesamt-Phosphorgehalts mit Hilfe von Kieselalgen im Sediment (HÜRLIMANN 2004) hat der Sempachersee von 1585 bis 2002 verschiedene limnologische Zustände erlebt (Abb. 3), von anfangs nährstoffarm (oligotroph) bis zu nährstoffreich (eutroph bis hypertroph). Seit der künstlichen Belüftung 1985 (Abb. 3) haben die Phosphorkonzentrationen deutlich abgenommen, und der See weist heute einen mesotrophen Zustand auf. Mit der Nährstoffanreicherung nahm die Algenproduktion zu, und im Tiefenwasser trat ein markanter Sauerstoffschwund auf. Die Fischfänge nahmen seit dem Jahr 1600 mit der höchsten Fangzahl von 894 600 Felchen ab. So schwankten die jährlichen Fänge im 17. und 18. Jahrhundert zwischen 50 000 und 220 000. Um 1890 war der Rückgang der Felchenerträge so deutlich, dass von 1895 bis 1902 grosse Mengen an Jungbrut eingeführt wurden (HEER 1993). Die heutigen hohen Fischerträge von 60 bis 100 kg Felchen pro Hektare können im Sempachersee nur dank künstlichem Besatz mit Jungfischen aus Brutanstalten der Berufsfischer aufrechterhalten werden (MUGGLI 1993).

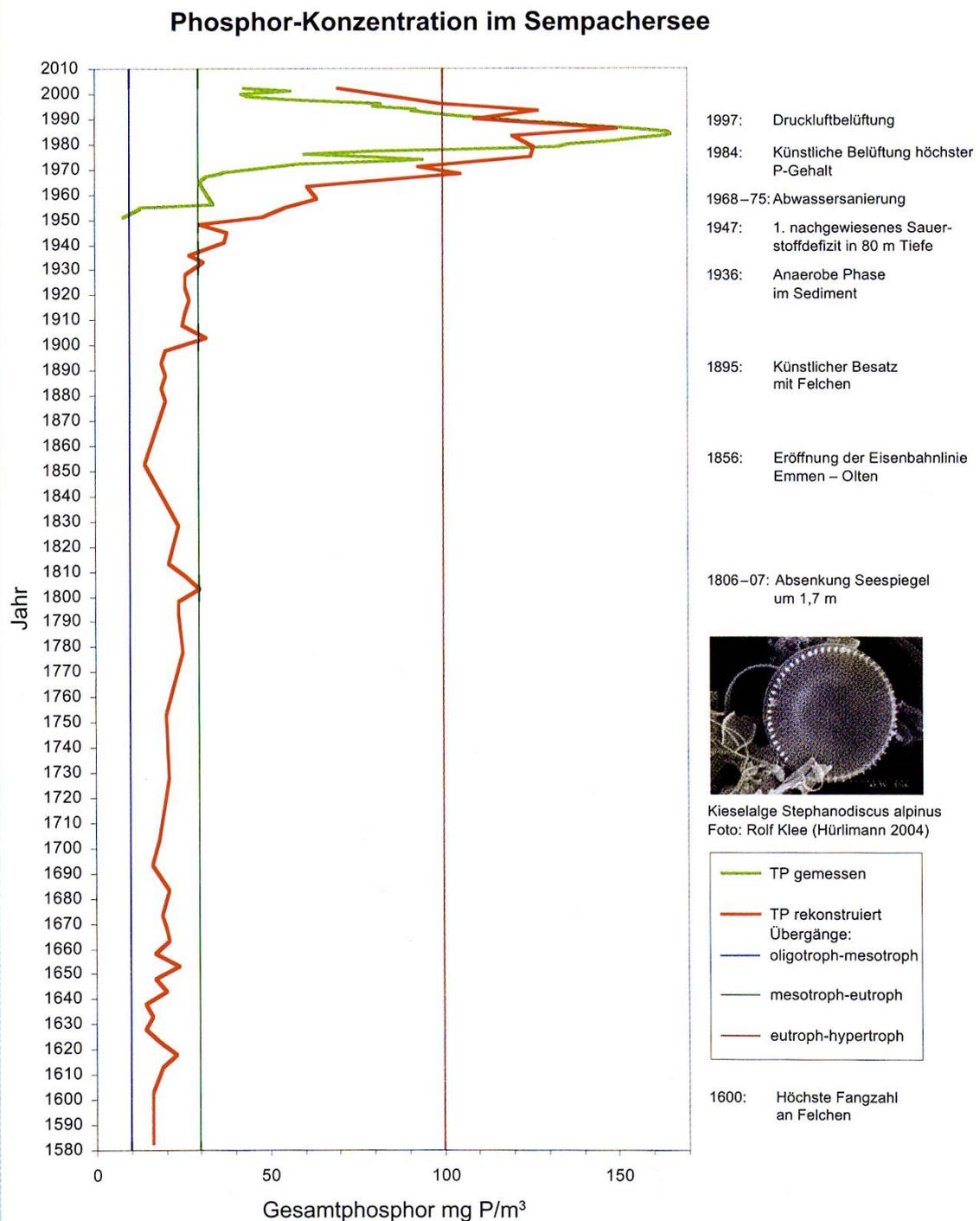


Abb. 3: Eutrophierungsgeschichte des Sempachersees. Ermittlung der Konzentrationen an Gesamt-P (TP) von 1585 bis 2002 mit Hilfe der Kieselalgenzusammensetzung durch HÜRLIMANN (2004) und chemische Messdaten ab 1951 in mg P/m³.

Der limnologische Zustand des Sempachersees vom 16. bis ins 21. Jahrhundert kann wie folgt beschrieben werden (Abb. 3):

- 1600 – 1900: Oligo- bis mesotropher Zustand mit 20 mg Gesamt-P/m³,
aerobe Sedimentschichten
- 1900 – 1950: Mesotropher Zustand mit 30 mg Gesamt-P/m³, ab 1936 erstmals
anaerobe Sedimentschichten
- 1950 – 1984: Eu- bis hypertropher Zustand, Anstieg von 30 auf 150 mg
Gesamt-P/m³, ständig anaerobe Sedimentschichten
- 1985 – 2007: Wechsel vom hypertrophen über eutrophen zum mesotrophen
Zustand, Abnahme von 150 auf 21 mg Gesamt-P/m³, teilweise
anaerobe Sedimente, aber Überleben von unempfindlichen
Würmern und Insektenlarven

3 URSACHEN DER PHOSPHORBELASTUNG

Um 1977 stammte von den rund 15 Tonnen Gesamt-Phosphor rund die Hälfte aus Kläranlagen und ungereinigtem Abwasser, die andere Hälfte aus den landwirtschaftlich genutzten Flächen (bodenbürtig) und dem Niederschlag auf den See (Abb. 4). Erst mit der Abwassersanierung in den Siedlungsgebieten (GSA 1984) und dem vom Bundesrat ausgesprochenen Phosphatverbot in Textilwaschmitteln im Jahr 1986 konnte der Abwasseranteil bis 1990 auf 1,0 Tonnen P pro Jahr vermindert werden. Heute stammt der Grossteil der Phosphorzufuhren aus den landwirtschaftlich genutzten Böden über Abschwemmung, Auswaschung und Bodenerosion (Abb. 5 und 8).

4 GEWÄSSERSCHUTZMASSNAHMEN

Die Gewässerschutzfachstelle des Kantons Luzern erstellte im Jahr 1980 ein Sanierungskonzept, das sich auf fünf Pfeiler abstützte. Dieses Konzept umfasste folgende externe und see-interne Massnahmen:

1. Vollständige Sammlung der Abwässer im Siedlungsgebiet und deren Reinigung in zentralen Kläranlagen mit einer Phosphoreliminationsstufe (Abb. 2)
2. Sanierung aller Abwassereinleitungen im ländlichen Raum sowie Nutzungs- und Düngebeschränkungen im Uferbereich des Sees und der Fließgewässer
3. Verminderung der Überdüngung der Böden und Verhinderung des Düngestoff-Austrages aus den landwirtschaftlichen Flächen in die Gewässer
4. Künstliche Belüftung der Seen mit Sauerstoffeintrag ins Tiefenwasser im Sommer und durch Zwangszirkulation mit Druckluft im Winter
5. Aufklärung und Einbinden der Bevölkerung durch Gründung des Seesanieverbandes «Gemeindeverband Sempachersee (GVS)»

Unter externen Massnahmen werden alle Gewässerschutzmassnahmen im hydrologischen Einzugsgebiet zusammengefasst, um die Beeinträchtigung und Belastung der Gewässer mit Dünge- und Schadstoffen zu vermindern sowie die Funktion und Struktur der Gewässer zu verbessern. Als see-interne Massnahme wird der Sempachersee seit dem 8. Juli 1984 künstlich belüftet. Im Sommer wurde bis 1997 feinblasiger Sauerstoff ins Tiefenwasser eingeleitet, um auch die untersten Schichten des Sees ausreichend mit Sauerstoff zu versorgen (Abb.1 und 4). Die natürliche Temperaturschichtung im Sommer bleibt erhalten, somit wird ein Nährstofftransport aus der Tiefe ins Oberflächenwasser – und damit ein verstärktes Algenwachstum – verhindert. Im Winter wird der See mit grobblasiger Druckluft zur Zirkulation gebracht. Die Dichteschichtung im Tiefenwasser wird dabei gezielt zerstört (JOLLER 1985), und es kommt zu einer vollständigen Durchmischung und Anreicherung der Wassermassen mit Sauerstoff.

Ausgehend vom Gutachten der Eawag (1979) und den gesetzlichen Bestimmungen zum Schutz der Gewässer wurden mit den externen und see-internen Massnahmen folgende acht Zielsetzungen angestrebt, die nach 20 Jahren zum grössten Teil erreicht wurden:



Abb. 4: Belüftungsanlage im Sempachersee. Aus den Diffusoren perlte von 1985 bis 1997 Reinsauerstoff. (Foto: Pius Stadelmann)

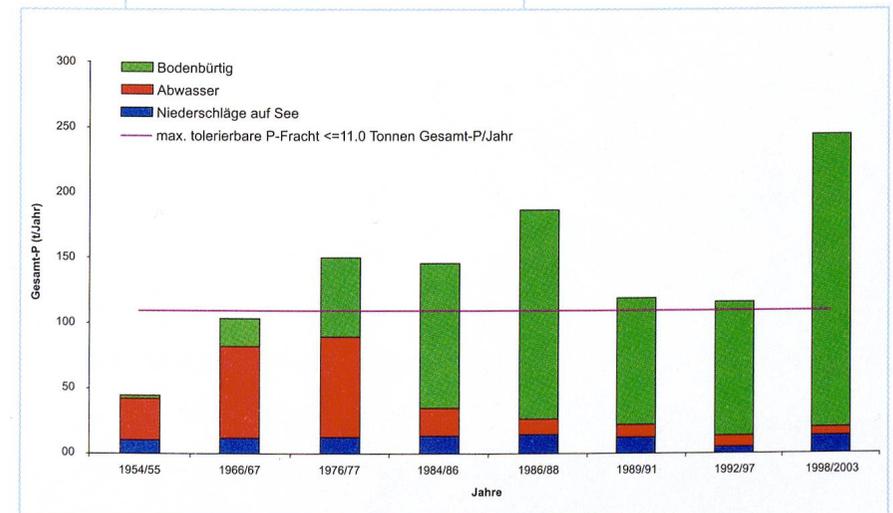


Abb. 5: Zufuhren an Gesamt-Phosphor für die Jahre 1954, 1967, 1976/1977, 1984/1988, 1989/1991, 1982/1997, 1998/2003 in Tonnen pro Jahr mit Aufschlüsselung auf Abwasser, bodenbürtigen Anteil und Niederschläge direkt auf den See.

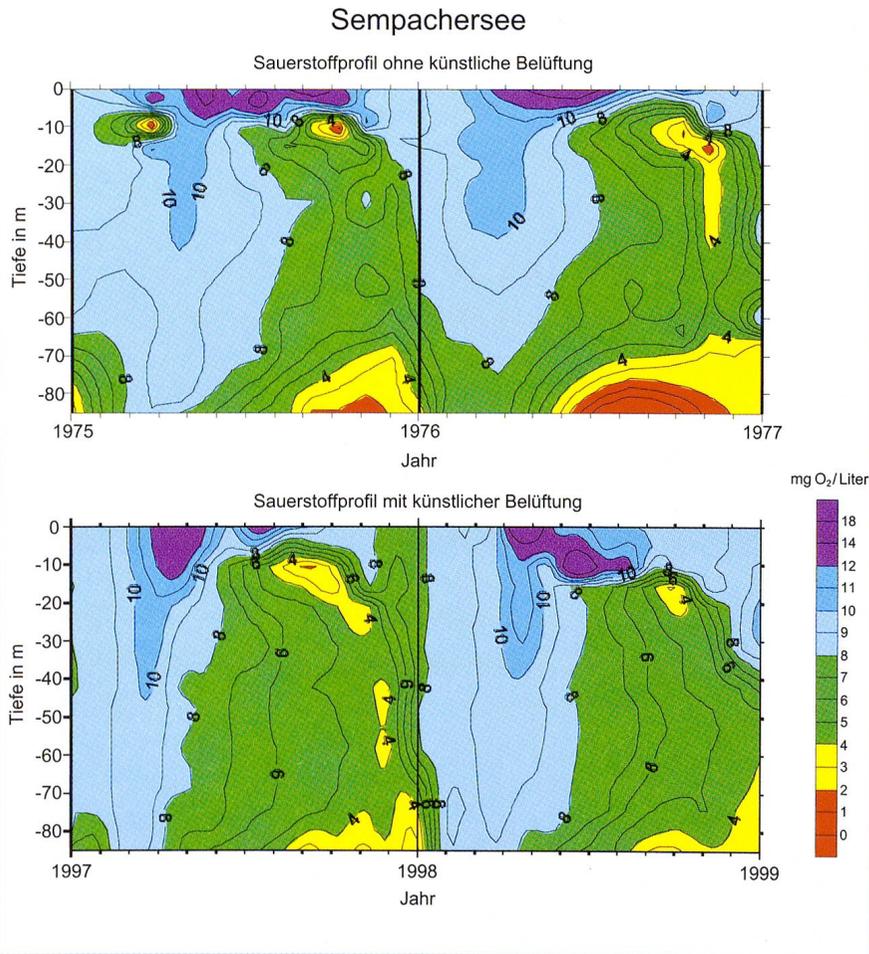


Abb. 6: Sauerstoffverteilung an der tiefsten Stelle des Sempachersees: 1975/1976 vor der künstlichen Belüftung (oben), 1997/1998 mit Druckluft-Belüftung (unten).

1. Innerhalb von 10 Jahren Verminderung der im Jahr 1976/1977 ermittelten jährlichen Phosphor-Zufuhren von 14,7 Tonnen Gesamt-P bzw. 11,8 Tonnen gelöstem P um mindestens 50%: **nicht erreicht**

Nach 10 Jahren wurden für die Untersuchungsperiode 1992 bis 1997 immer noch mittlere Phosphor-Zufuhren von 11,7 Tonnen Gesamt-P bzw. 5,7 Tonnen gelöstem P pro Jahr ermittelt (MATHIS 1997). Der bodenbürtige Anteil (Landwirtschaft) machte 82% des Gesamt-P bzw. 77% des gelösten P aus. Das Ziel einer 50-prozentigen Reduktion der Phosphorzufuhren wurde somit innerhalb von 10 Jahren nicht erreicht. GÄCHTER (1999) hat für den Sempachersee eine kritische Belastung von maximal 4,7 Tonnen gelöstem Phosphor festgelegt, da hauptsächlich dieser Phosphor-Anteil für die Algen im See verfügbar ist. Die Auswertung der neuesten Untersuchung der Periode 1998 bis 2003 (HERZOG 2004) ergab eine Zufuhr von bis zu 24,3 Tonnen Gesamt-Phosphor pro Jahr. Der Anteil des gelösten Phosphors lag im Mittel hingegen nur noch bei 4,6 Tonnen pro Jahr, also gerade bei der kritischen Belastung (Abb. 4).

2. Einhaltung einer Sauerstoff-Konzentration von mindestens 4 Milligramm pro Liter in jeder Tiefe und zu jeder Zeit: **erreicht**

Der Vergleich der Sauerstoff-Profile vor der künstlichen Belüftung in den Jahren 1975/1976 mit denjenigen der Jahre 1997/1998 in Abbildung 5 beweist, dass mit dem künstlichen Sauerstoffeintrag im Sommer mindestens 4 mg O₂/l auch in grossen Tiefen ganzjährig erreicht werden konnten. Nach der Winterzirkulation wird jeweils im März eine gleichmässige Sauerstoffverteilung von 8 bis 10 mg O₂/l festgestellt (Abb. 6). Dank der Zwangszirkulation durchmischt sich der See wieder jedes Jahr. Wegen der Abnahme der Phosphorkonzentrationen und der verminderten Algenproduktion konnte ab dem Sommer 1997 auf den Reinsauerstoffeintrag

ins Tiefenwasser verzichtet werden. Heute wird der Sempachersee im Sommer nur noch mit feinblasiger Druckluft belüftet und im Winter mit grobblasiger Druckluft zwangszirkuliert.

3. Ausweitung des Lebensraumes für sauerstoffbedürftige Wasserorganismen:
erreicht

Den Seeboden bewohnende Tiere, wie Würmer und Insektenlarven, stellen eine wichtige Nahrung für Fische dar. Diese Tiere sind auf Sauerstoff angewiesen. Sie können als Indikatoren für die Sauerstoffverhältnisse an der Sedimentoberfläche genutzt werden. Vor der künstlichen Belüftung waren die Sedimente in grösseren Tiefen mit Schwefelbakterien *Beggiatoa sp.* belegt, und Fischnährtiere fehlten. Mittlerweile finden sich in den Sedimenten bis in grosse Tiefen verschiedene Würmer *Oligochaeta* und Insektenlarven *Chironomidae*, die das Sediment lockern und so eine bessere Mineralisation von organischem Material ermöglichen (RODRIGUEZ 1995 und 1996). Ein Verzicht auf die künstliche Belüftung würde diese Tiere vernichten.

4. Ermöglichung einer natürlichen Fortpflanzung der Fische, insbesondere der boden-laichenden Felchen: **nicht erreicht**

Felchen lassen ihre befruchteten Eier auf den Seeboden fallen. Studien im Sempachersee ergaben, dass die Felcheneier von 2 Millimetern Durchmesser auf dem Seeboden nicht überleben können, weil in dieser Grenzschicht zwischen dem Sediment und dem überstehenden Wasser der Sauerstoff durch den Abbau des organischen Materials aufgezehrt wird. Eine Naturverlaichung der Felchen konnte nicht festgestellt werden (MÜLLER UND STADELMANN 2004). Auch heute noch wird die Felchenpopulation durch künstlichen Besatz aufrechterhalten.

5. Verbesserung der Mineralisation und Erhöhung des Phosphor-Rückhaltes:
z.T. erreicht

Eine Annahme der Limnologen bei der künstlichen Seenbelüftung war, dass bei Sauerstoffkonzentrationen von mindestens 4 mg O₂/l über dem Sediment die Rücklösung von Phosphor aus dem Seeboden unterbunden werde, d.h. der Phosphor-Rückhalt bzw. die Nettosedimentation zunehme (EAWAG 1979). Nach einem Phosphor-Rückhalt von 58% in den Jahren 1984 bis 1994 stieg der Rückhalt zwi-

schen 1994 und 2001 auf über 90% an. Ähnliche Werte wurden auch in den Jahren 1954 und 1966/1967 ermittelt (HERZOG 2005).

6. Raschere Abnahme der Phosphor-Konzentrationen im See mit Hilfe von externen und see-internen Massnahmen: **erreicht**

Die externen Gewässerschutzmassnahmen wie die Abwassersanierungen durch das Fernhalten der Abwässer vom See und die verbesserte Düngepraxis in der Landwirtschaft sowie die künstliche Belüftung bewirkten in den letzten 20 Jahren eine markante Abnahme der Phosphor-Konzentrationen im Sempachersee von 160 mg P/m^3 auf unter 30 mg P/m^3 . Abbildung 7 zeigt den Phosphorverlauf des Baldegger-, Hallwiler-, Sempacher- und Vierwaldstättersees von 1951 bis 2007. Überraschenderweise wurden im Sempachersee im Frühjahr 2007 sogar 21 mg P/m^3 gemessen.

7. Sicherung und Erhöhung der Artenvielfalt von Pflanzen und Tieren: **erreicht**

Sowohl die Zahl der Algenarten als auch der Bodentiere vergrösserte sich im Verlauf der Seesanieung. Die Zahl der Algen-Taxa verdoppelte sich bis 2002 auf 60 Taxa (BÜRGI und STADELMANN 2002). Beim Zooplankton hingegen fanden als Reaktion auf die Veränderung der Algenzusammensetzung eine Abnahme der Artenzahl und eine Verschiebung von ursprünglich pflanzenfressenden zu räuberischen Arten statt (BÜRGI 2007).

8. Einbinden der Bevölkerung im Einzugsgebiet des Sempachersees für die Gesundheit und die nachhaltige Nutzung der Gewässer: **erreicht**

Von 1970 bis 1980 waren vor allem die Berufsfischer und die Organisation Pro Sempachersee, die sich zusammen mit dem Kantonalen Amt für Gewässerschutz

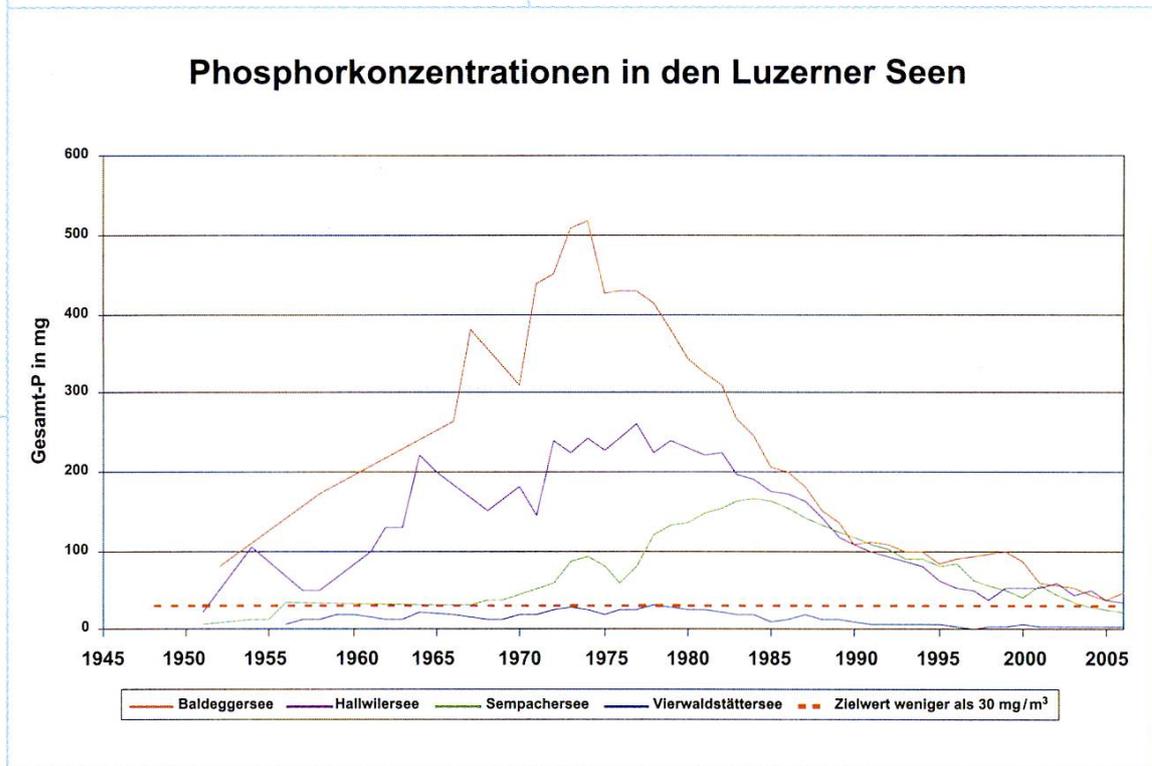


Abb. 7: Phosphorkonzentrationen im Baldegger-, Hallwiler-, Sempacher- und Vierwaldstättersee von 1951 bis 2007, jeweils gemessen im Frühjahr nach der Winterzirkulation.

und den Wissenschaftlern der Eawag für den Seenschutz engagierten. Nachdem die künstliche Belüftung unter der Projektleitung der Kantone Luzern und Aargau im Baldeggersee erfolgreich ausgetestet worden war, kam es 1983 zur Gründung des Gemeindeverbandes Sempachersee (GVS). Ihm gehören 13 Gemeinden im Einzugsgebiet des Sempachersees an (STADELMANN und GÄCHTER 1993). Der Verband koordiniert, unterstützt und fördert gemeinsam mit den Gemeinden und kantonalen Stellen die Massnahmen zur Sicherung, Erhaltung und Verbesserung aller Gewässer. Mit verschiedenen Publikationen und seiner Internet-Seite www.gvsempachersee.ch informiert er über den Seezustand und seine Aktivitäten.

5 WEITERER HANDLUNGSBEDARF

Die Sanierung des Sempachersees hat sich fast ausschliesslich auf die Verbesserung der chemischen Wasserqualität ausgerichtet, wobei die Reduktion der Phosphor-Belastung und die Erniedrigung der Phosphorkonzentrationen im See im

Zentrum aller Massnahmen lagen. Mit Hilfe einer Kombination von externen und see-internen Massnahmen konnte die bis ins Jahr 1985 fortschreitende Phosphoranreicherung im Sempachersee gestoppt werden. Dies ist ein grosser Erfolg. Dem ökologischen Ziel, eine naturnahe und standortgerechte Artenvielfalt von Pflanzen und Tieren zu erreichen, sind wir näher gekommen. Der Sempachersee ist dank den Gewässerschutzmassnahmen am Übergang von einem eutrophen zu einem mesotrophen Zustand. Als Hauptproblem verbleibt die Überdüngung der Böden durch die landwirtschaftliche Nutzung und somit der Eintrag von Düngestoffen in die Gewässer. Aus den landwirtschaftlich genutzten Böden wurden um 1999 jährlich durchschnittlich 10,3 Tonnen Gesamtphosphor über die Zuflüsse in den Sempachersee eingetragen (Abb. 8). Dies war deutlich mehr, als der See verkraften konnte. Daraus ist ersichtlich, dass eine intensive Landwirtschaft mit hohen Tierbeständen sowie eine andauernde Bevölkerungszunahme im Einzugsgebiet ein fast unüberbrückbarer Gegensatz zu einem nährstoff- und schadstoffarmen See bildet.

Solange die Böden im Seeinzugsgebiet überdüngt werden und die Zuflüsse zu hohe Phosphorkonzentrationen aufweisen, darf auf die künstliche Belüftung des Sempachersees keinesfalls verzichtet werden. Bei einem abrupten Abstellen der Zwangszirkulation und des künstlichen Sauerstoffeintrages ins Tiefenwasser würde der Sempachersee im Winter nicht jedes Jahr vollständig zirkulieren, und die am Seeboden lebenden Würmer und Insektenlarven, die auch der Fischnahrung dienen, würden schlagartig vernichtet. Weiter würde der im Seeboden abgelagerte Phosphor bei Abstellen der Belüftung reaktiviert. Um einen nachhaltigen Schutz und eine langfristige Nutzung des Wasserschatzes im Einzugsgebiet des Sempachersees zu gewährleisten, besteht daher weiterhin ein Handlungsbedarf. Folgende Massnahmen sind dabei zu ergreifen:

- Weitere Verbesserung des chemischen und biologischen Zustandes aller Gewässer.
- Erhaltung und Wiederherstellung eines gesunden Wasserkreislaufs im gesamten Einzugsgebiet, einschliesslich im ländlichen Raum. Dazu gehören auch Grundwasser und Quellen.
- Gewässer schonende Siedlungsentwässerung mit optimierter Abwasserreinigung inklusive Phosphorelimination gemäss einem Generellen Entwässerungsplan (GEP).
- Planung und Umsetzung der Wasserbewirtschaftung und Abwasserentsorgung unter Berücksichtigung der gesamten Region sowie der Belastungsgrenzen der Gewässer mit Hilfe eines Regionalen Entwässerungsplanes (REP).
- Verbesserung des strukturellen Zustandes durch Aufwertung und Vernetzen der Wasserlebensräume, Revitalisierungen von Gewässern (PARAVICINI 1997) und Ermöglichung der Fischwanderung.
- Extensivierung und Ökologisierung der Landwirtschaft mit Massnahmen zur Verminderung der Phosphoranreicherung im Boden und Verhinderung der Erosion von Böden sowie gegen Abschwemmung und Auswaschung von Düngestoffen und Schadstoffen aus den landwirtschaftlich genutzten Flächen. Vermehrte Förderung des Biolandbaus.
- Weiterbetrieb der installierten see-internen Anlagen, d.h. künstliche Belüftung im Sommer und Zwangszirkulation im Winter.
- Weiterführung der Überwachungsprogramme im See und an den Zuflüssen als Erfolgskontrolle der getroffenen Massnahmen (LUBINI und VICENTINI 2003).

6 NACHHALTIGER SCHUTZ DER GEWÄSSER

Je nach Standpunkt und Wertung haben öffentliche und private Interessenvertreter verschiedene Sichtweisen, was für sie ein gesunder See bedeutet. Aufgrund der naturwissenschaftlichen Kenntnisse, der Erfahrungen mit der Seesanieung und der gesetzlichen Bestimmungen gelten als Leitplanken zur Erreichung eines gesunden Sees folgende Zielsetzungen:

1. Erreichen eines guten ökologischen Zustandes der Gewässer im ganzen Einzugsgebiet unter Berücksichtigung ihrer individuellen Belastungsgrenzen sowie der gesetzlichen Anforderungen

2. Herstellen eines gesunden Wasserkreislaufs mit einem naturnahen Abflussregime sowie Erhalt einer guten physikalischen, chemischen und biologischen Wasserqualität
3. Ermöglichen einer andauernden Nutzung der Gewässer als Trinkwasserreservoir, Badegewässer, Fischgewässer und geruhsame Erholungsräume
4. Vermindern der beeinträchtigenden Einwirkungen und schädigenden Belastungen von Wasser, Boden und Luft
5. Erhalten von naturnahen Ufern mit einem naturnahen Gewässergrund
6. Sicherung und Wiederherstellung von Lebensräumen für eine vielfältige einheimische und standortgerechte Pflanzen- und Tierwelt
7. Befähigen des Gewässers zur Selbstregulation und Selbstreinigung
8. Schutz des Sees als Natur- und Kulturerbe, als eigenständiges Landschaftselement und als naturnaher Erlebnisraum

Ein See ist das unmittelbare Spiegelbild für das Wirtschaften und die Lebensweise der Bevölkerung in seinem Einzugsgebiet. Da der Bevölkerung mit dem Gemeindeverband Sempachersee die Verantwortung für das ganze Gewässereinzugsgebiet des Sees übertragen wurde, kann in dieser Region konkret nachhaltiges Handeln und Verhalten gelebt werden. Als Vision bleibt ein sich selbst regulierender Sempachersee, in dem sich die Felchen auf natürliche Weise fortpflanzen können.

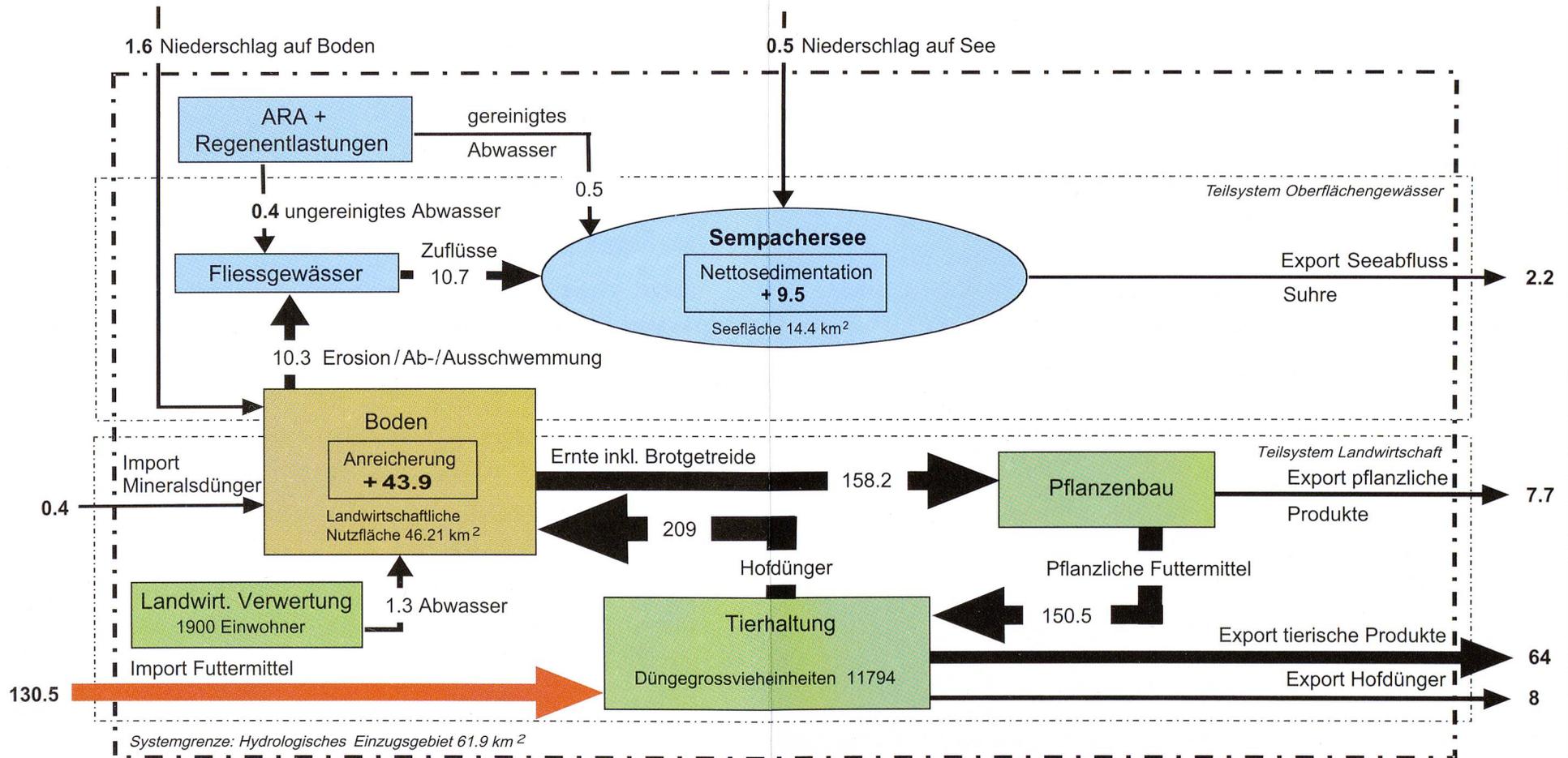


Abb. 8: Phosphor-Bilanz im Einzugsgebiet des Sempachersees (1999) in den Teilsystemen Landwirtschaft/Boden und Oberflächengewässer. Phosphor-Stoffflüsse in Tonnen Gesamt-P pro Jahr.

7 LITERATUR

BLUM, J. 2004. Massnahmen in der Landwirtschaft für die Gesundung des Sempachersees, Dienststelle Landwirtschaft und Wald des Kantons Luzern. – Unveröffentlichter Bericht, 70 S.

BÜRGI, H. R., STADELMANN, P. 2002. Change of phytoplankton composition and biodiversity in Lake Sempach before and during Restoration. – *Hydrobiologia*, 469: 33–48.

BÜRGI, H. R. 2007. Plankton-Verlauf im Sempachersee 1972 bis 2006. – Vortrag am 26.04.2007, Pro Sempachersee, unveröffentlicht.

EAWAG (Eidg. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz) 1979. Gutachten über die Sanierungsmöglichkeiten des Sempachersees. – Unveröffentlichter Bericht Auftrag-Nr. 4564, 67 S. und Anhang.

EAWAG 1979. Gutachten über die Sanierungsmöglichkeiten für den Baldegger- und Hallwilersee. Im Auftrag des Militär-, Polizei- und Umweltschutzdepartementes des Kantons Luzern und der Baudirektion des Kantons Aargau. – Eawag-Auftrag Nr. 4559, 110 S.

GÄCHTER, R. 1999. Beantwortung der Expertenfragen zum Sempachersee und Baldeggersee, Prof. Dr. B. Wehrli «Abteilung für Biogeochemie», EAWAG Dübendorf. – Brief an Kantonales Amt für Umweltschutz vom 26. Februar 1999, 8 S.

GSA (Gewässerschutzamt Kanton Luzern) 1984. Sanierung Sempachersee: Überprüfung und Sanierung der Zuflüsse, Kost + Nussbaumer + Partner, Sursee, im Auftrag des Kantonalen Amtes für Gewässerschutz, März 1984, 84 S.

HEER, L. 1993. Geschichte der Fischerei. – *Mitteilungen Naturforschende Gesellschaft Luzern* 33: 230–240.

HERZOG, P. 2005. Sanierung des Sempachersees. Auswertung der Zufluss-Untersuchungen 1998–2003. – Dienststelle Umwelt und Energie des Kantons Luzern, 43 S.

HÜRLIMANN, J. 2004. Entwicklung des Gesamt-Phosphors im Sempachersee anhand der im Sediment eingelagerten Kieselalgen, Aquaplus, CH–6300 Zug. – Im Auftrag der Dienststelle Umwelt und Energie des Kantons Luzern, 21. April 2004, 73 S.

JOLLER, T. 1985. Untersuchung vertikaler Mischungsprozesse mit chemisch-physikalischen Tracern im Hypolimnion des eutrophen Baldeggersees. – Dissertation ETH Zürich Nr. 7830, 94 S.

LUBINI, V. und VICENTINI, H. 2003. Biodiversität Wirbellose Kleintiere: Region Surental, Sempachersee, Wynental und Seetal, Arbeitsgemeinschaft Dres. V. Lubini & H. Vicentini, Zürich. – Im Auftrage des Amtes für Umweltschutz des Kantons Luzern, Dezember 2003, 16. S. mit Anhang.

MATHIS, B. 1997. Zufluss-Untersuchungen Sempachersee 1992/97. – Amt für Umweltschutz des Kantons Luzern, 78 S. und 6 Anhänge.

MEZ, K. 1998. Erste Untersuchungen über toxische Cyanobakterien in den Schweizer Mittelland- und Voralpenseen. Bericht des Instituts für Pflanzenbiologie/Mikrobiologie. – Universität Zürich, 46 S.

MUGGLI, J. 1993. Fischereiwirtschaft heute. – *Mitteilungen Naturforschende Gesellschaft Luzern* 33: 241–250.

MÜLLER, R. and STADELMANN, P. 2004. Fish habitat requirements as the basis for rehabilitation of eutrophic lakes by oxygenation. – *Fisheries Management and Ecology* 11, 251–260

PARAVICINI, G. 1997. Aufwertung (Revitalisierung) der Fliessgewässer Grosse Aa und Lippenrütibach und der Seeufer. *Mitteilungen Naturforschende Gesellschaft Luzern*, 35:29–4.

RODRIGUEZ, C. 1995. Artenvielfalt und Tiefenabfolge der Bodentiere im Sempachersee. – Amt für Umweltschutz des Kantons Luzern, Dezember 1995, 70 S. und 2 Bestimmungsschlüssel.

RODRIGUEZ, C. 1996. Die Besiedlung des Sempachersee-Bodens mit Zuckmückenlarven. Amt für Umweltschutz des Kantons Luzern, 32 S. und Anhang.

STADELMANN, P. 1988. Der Zustand des Sempachersees. Wasser-energie-luft 80 (3/4), 81–96.

STADELMANN, P.; BÜRGI H. R.; GÄCHTER, R.; GEIGER, W.; IMBODEN, D.M.; JOLLER, TH.; STAUB, E und TUOR, A. 1985. Bericht der Expertengruppe über das Fischsterben im Sempachersee vom 7./8. August 1984 mit Kommentar. – Amt für Umweltschutz des Kantons Luzern, 40 S.

STADELMANN, P. und GÄCHTER, R. 1993. Wege zur Genesung des Sempachersees. – Mitteilungen Naturforschende Gesellschaft Luzern, 33:467–474.

STADELMANN, P.; HERZOG, P.; LOVAS, R. 2005. 20 Jahre Sempachersee-Sanierung – Zustandsentwicklung des Sempachersees und getroffene Gewässerschutzmassnahmen. – Umwelt und Energie sowie Landwirtschaft und Wald (uwe, lawa), Kanton Luzern, 87 S.

VENTLING-SCHWANK, A.R. and MÜLLER, R. 1991. Survival of coregonid (*Coregonus* sp.) eggs in Lake Sempach. Switzerland. Verh. Internat. Verein. Limnol 24: 2451–2445.

VSA, 2000. Der regionale Entwässerungsplan (REP), Empfehlungen für die Bearbeitung des REP im Rahmen einer ganzheitlichen Gewässerplanung. – Verband Schweiz. Abwasser- und Gewässerschutzfachleute (VSA), Zürich, 78 S.

WEHRLI, B. und WÜEST, A. 1996. Zehn Jahre Seenbelüftung: Erfahrungen und Optionen. Schriftenreihe EAWAG Dübendorf Nr. 9, ISBN: 3-906484-14-9, 127 S. und Anhang.

Robert Lovas | dipl. Natw. ETH | Weinberglistrasse 9 | CH-6005 Luzern |
robert.lovas@lu.ch | www.umwelt-luzern.ch

Pius Stadelmann | Dr. sc. nat. ETH | Sternmattstrasse 141 | CH-6005 Luzern |
pius.stadelmann@hispeed.ch | www.sempachersee.ch