

**Bau- Umwelt- und Wirtschaftsdepartement  
Kanton Luzern  
Umwelt und Energie UWE  
Abteilung Gewässer  
Libellenrain15  
Postfach 3439  
6002 Luzern**

Dübendorf, Dezember 2007

**Betreff: Algenwachstum 2007, SAP-Auftrag 602351**

**Begutachtung der Luzerner Seen 2007 wegen erhöhtem Algenwachstum und  
Algenblüten gemäss Auftragsvergabe vom 4. Oktober 2007-  
Projektleiter R. J. Schocher**

**Ausgangslage:**

Ende Juli trat im Luzerner Teil des Hallwilersees eine ausserordentliche Algenblüte auf, sie wurde verursacht durch Dinoflagellaten. Seit Mitte August wurde eine Massenvermehrung eines aufrahmenden Cyanobakteriums („Blaualge“ *Lyngbya*) im Rotsee beobachtet. In beiden Seen traten in letzter Zeit keine derartigen Algenblüten im Sommer auf. Die beiden Seen sind zwar immer noch nährstoffreich, die Nährstoffgehalte sind aber abnehmend. In den benachbarten Mittellandseen Baldeggersee und Sempachersee waren in dieser Periode keine aussergewöhnlichen Phänomene zu beobachten. Es stellt sich die Frage nach den Ursachen. Dazu sollen die vorhandenen Daten zur Wasserqualität und zum Plankton ausgewertet und interpretiert werden. Im Hallwilersee (Stelle Mosen) und im Rotsee wurden dazu zusätzliche Proben erhoben.

**Expertenfragen:**

Der Bericht soll aufzeigen:

- welche Arten wurden in den jeweiligen Seen beobachtet?
- wie kam es zur Algenblüte, warum Hallwilersee und Rotsee, warum nicht Sempachersee und Baldeggersee?
- Zusammenhang zu Nährstoffsituation und Nährstoffverhältnisse (P/N)
- muss in den kommenden Jahren bei ähnlicher Ausgangslage wieder mit derartigen Algenblüten gerechnet werden?
- Vorschläge, was für ein Frühwarnsystem hinsichtlich der Massenvermehrung von Cyanobakterien (Blaualggen) und deren möglichen Folgen (Toxinfreisetzung, Fischsterben) beachtet werden muss.

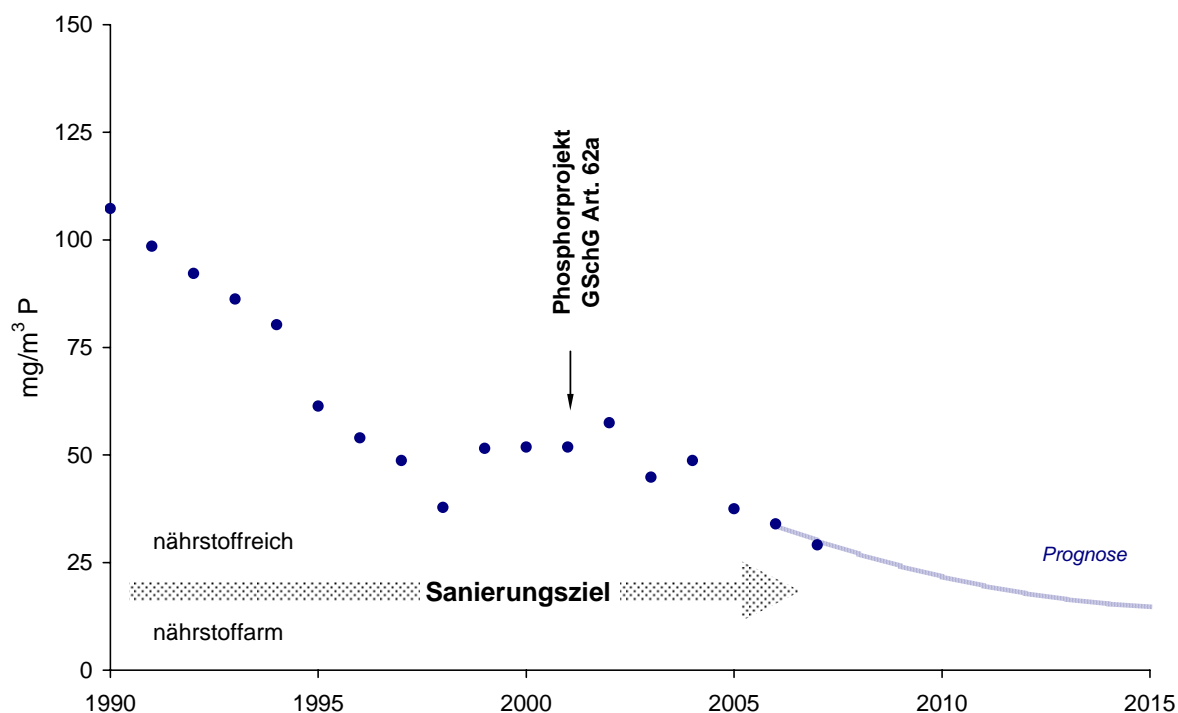
## Grundlagen:

Die folgenden Daten sollen in die Arbeit einfließen und werden vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt:

See	Daten	Datenherr
Sempachersee	Monatliche Profile Chemie	Eawag/Kt LU
	Monatliche Planktonproben	Eawag/Kt LU
Baldeggersee	Monatliche Profile Chemie	Eawag/Kt LU
	Monatliche Planktonproben	Eawag/Kt LU
Hallwilersee	Monatliche Profile Chemie	Kt AG
	Monatliche Planktonproben	Kt AG
	Planktonproben Mosner Becken	Kt AG
Rotsee	Profil Chemie Frühjahr 2007	Kt LU
	Profile Chemie monatlich	Eawag (Ruth Stierli)
	Weitere Proben (siehe unten)	Kt LU

## Langfristige Entwicklung verschiedener Mittellandseen

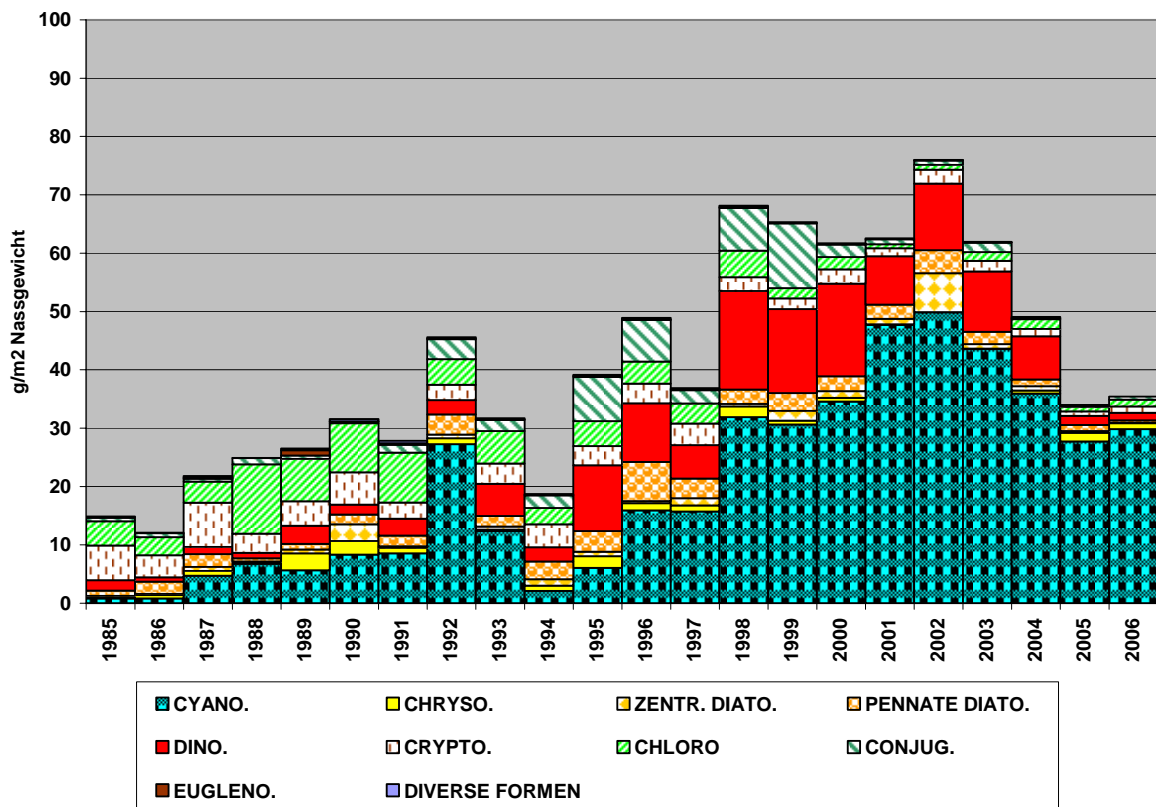
### P- Entwicklung im Hallwilersee (Daten AfU Kt. Aargau, Dr. A. Stöckli)



Nach einer steten Abnahme der Nährstoffgehalte seit Beginn der seeinternen Massnahmen bis 1998 kam es 1999 unerwartet zu einer Zunahme des P- Gehaltes, der erst dank den Anstrengungen des Phosphorprojektes im Einzugsgebiet bzw. beim Baldeggersee wieder nach unten korrigiert werden konnte. Gemäss den Prognosen sollte der P-Gehalt weiter abnehmen und in weniger als 10 Jahren das Sanierungsziel erreichen. Der Hallwilersee wird dann noch nicht oligotroph sein, aber er wird gemäss Gewässerschutzgesetz den Zustand mit mittlerer Produktion (mesotroph) erreichen. Der Baldeggersee bringt rund die Hälfte der Phosphor-

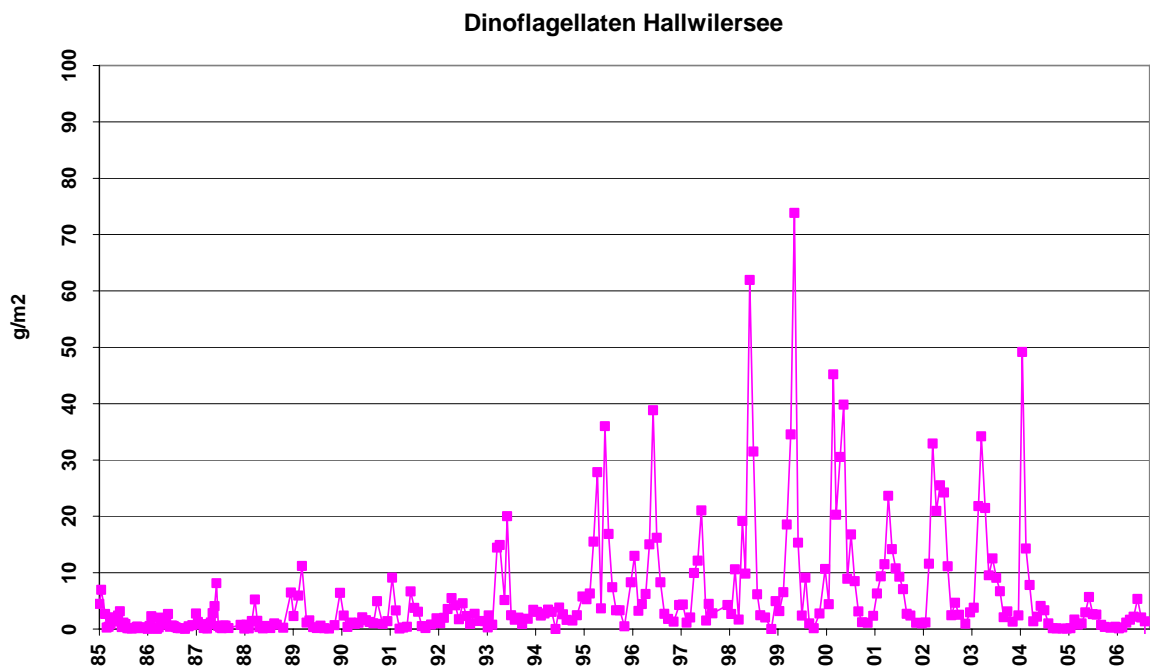
fracht zum Hallwilersee. Dieser reagiert mit rund 3-4 Jahren Verzögerung auf die Entwicklung des Baldeggersees. Der P- Gehalt des Baldeggersees reduzierte sich zwischen 1999 und 2002 auf rund die Hälfte. Die Trendumkehr ab 2000 wurde durch das Überhandnehmen des Cyanobakteriums *Planktothrix rubescens* („Burgunderblutalge“) dokumentiert. Diese Form ist auf die Ausnützung von grünem Schwachlicht, wie es in rund 10 m Wassertiefe auftritt, spezialisiert. Mit roten Pigmenten wird dieses Restlicht absorbiert und für die Photosynthese benutzt. *Planktothrix* kann sich im Metalimnion durch feine Tarierung mittels Auftriebskörpern (Aerotope/Gasvakuolen) einschichten. Gegenüber den Formen im Epilimnion ist *Planktothrix* zuwenig konkurrenzstark, ausserdem fehlt dort eine stabile Dichteschichtung für die vertikale Einnischung. Das massive Auftreten der Burgunderblutalge war daher erst möglich, als die andern Algen nährstoffbedingt abnahmen, so dass genug Licht in die Wohnzone von *Planktothrix* eindringen konnte. Vorher war diese Zone zu dunkel (Beschattung durch die andern Algen) selbst für eine Schwachlichtform. Mit der Etablierung von *Planktothrix rubescens* hat sich die Sanierung verzögert, weil die absinkenden Algen mehrheitlich dort sterben und abgebaut werden, wo die Burgunderblutalge dominiert. Die beim Abbau freiwerdenden Nährstoffe bleiben nun nicht mehr ungenutzt liegen, sondern werden sofort von *Planktothrix* aufgenommen und in Biomasse umgesetzt. Die gesamte Produktion stieg dadurch an und verursachte auch einen höheren Sauerstoffbedarf für den Abbau der *Planktothrix* . Ohne die Biomasse der *Planktothrix* hingegen wäre die Gesamtbiomasse in den letzten Jahren drastisch eingebrochen (vergl. Graphik unten). Die Kieselalgen (zentrische Diatomeen, und pennate Diatomeen), die Schlundflagellaten (Cryptomonaden), die Grünalgen (Chlorophyceen) und Jochalgen (Conjugaten) hatten ihren Höhepunkt vor der Jahrtausendwende, seither gingen sie auf wenige g/m<sup>2</sup> Biomasse zurück. Einzig die Goldalgen (Chrysoflagellaten) konnten ihren Anteil (auf tiefem Niveau) halten.

Phytoplankton Hallwilersee



Parallel zur *Planktothrix* entwickelte sich in der zweiten Hälfte der 90er Jahre des vorigen Jahrhunderts auch die Dinoflagellatenbiomasse. Sie erreichte schon einige Jahre vor den Cyanobakterien ihren Höhepunkt, seither gingen auch die Dinoflagellaten zurück. Neben den Cyanobakterien stellten sie zu dieser Zeit gewichtsmässig die zweitwichtigste Algengruppe im Hallwilersee dar.

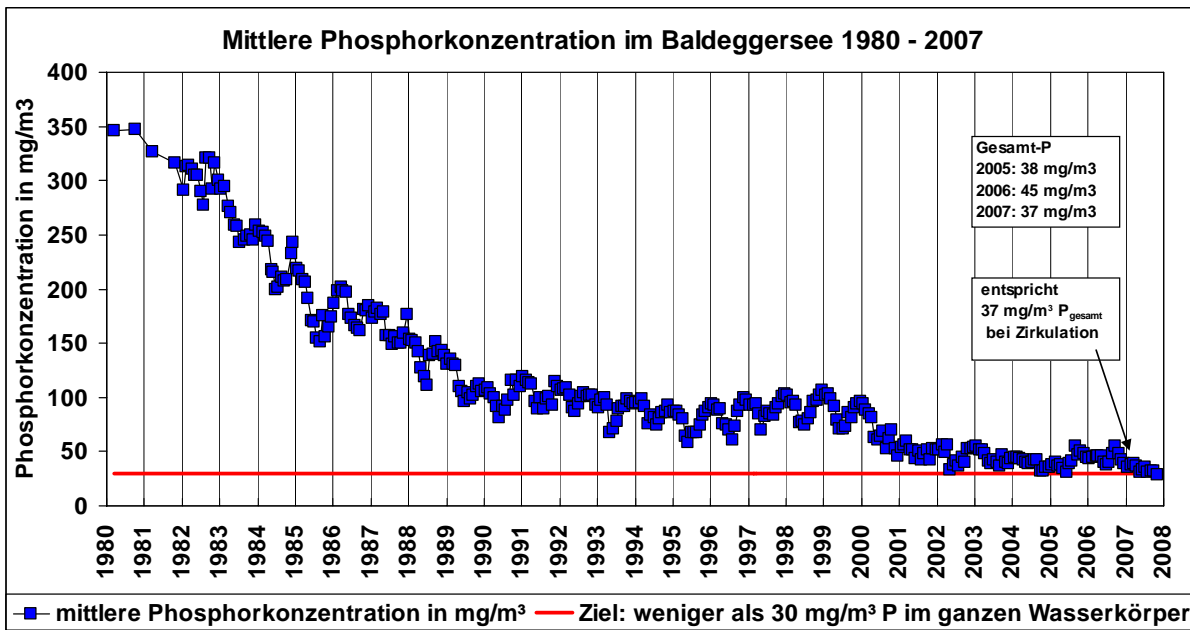
Im Spätsommer 2007 wurde nun eine Wasserblüte im luzernischen Teil des Hallwilersees vor Mosen festgestellt. Die mikroskopische Analyse ergab, dass es sich um Dinoflagellaten handelte. Insofern war dies zu früheren Planktonanalysen keine grundsätzlich neue Situation, denn die Dinoflagellaten kommen immer zu dieser Zeit. Verschieden zum Zustand vor 3 bis 8 Jahren war hingegen die Artenzusammensetzung der Dinoflagellaten. In der ersten Jahreshälfte dominierten üblicherweise *Peridinium*- und *Gymnodinium*- Arten die Dino-Biomasse, während in der zweiten Jahreshälfte die Schwälbchenalge *Ceratium hirundinella* für die Biomassespitzen verantwortlich war. Die übrigen Dinoflagellaten waren nur von untergeordneter Bedeutung. Die im Spätsommer 2007 im südlichen Hallwilersee aufgetretenen Dinoflagellaten enthielten hingegen in bedeutender Menge die Gattung *Peridiniopsis*. Diese war zwar schon früher im See vertreten, allerdings vermochte sie nie derart grosse Biomassen zu generieren. Der Vergleich der Biomasse von Mosen mit den Standard-Proben von der tiefsten Stelle relativiert die Bedeutung der *Peridiniopsis* im See. Es scheint sich eher um ein lokales Problem zu handeln. Die Details dieser lokalen und zeitlich begrenzten Entwicklung werden unter dem Kapitel Wasserblüten weiter hinten in diesem Bericht erläutert.



2007 erreicht die Gesamt-Zehrung des Sauerstoffs einen neuen Rekord (rund 2500 t), davon wurden 793t Sauerstoff künstlich eingetragen. Zusammen mit dem Vorrat aus der Winterzirkulation (rund 1750t) reichte dieser Eintrag nicht aus, um die bodennahe Wasserschicht oxisch zu halten. Die kritische Sauerstoffsituation wurde massgeblich durch den milden Winter und der frühen stabilen Schichtung des Sees (geringerer Sauerstoffvorrat) und den Starkniederschlägen ab Mai bis August mit entsprechend erhöhtem P-Eintrag beeinflusst.

## Langfristige Entwicklung im Baldegersee

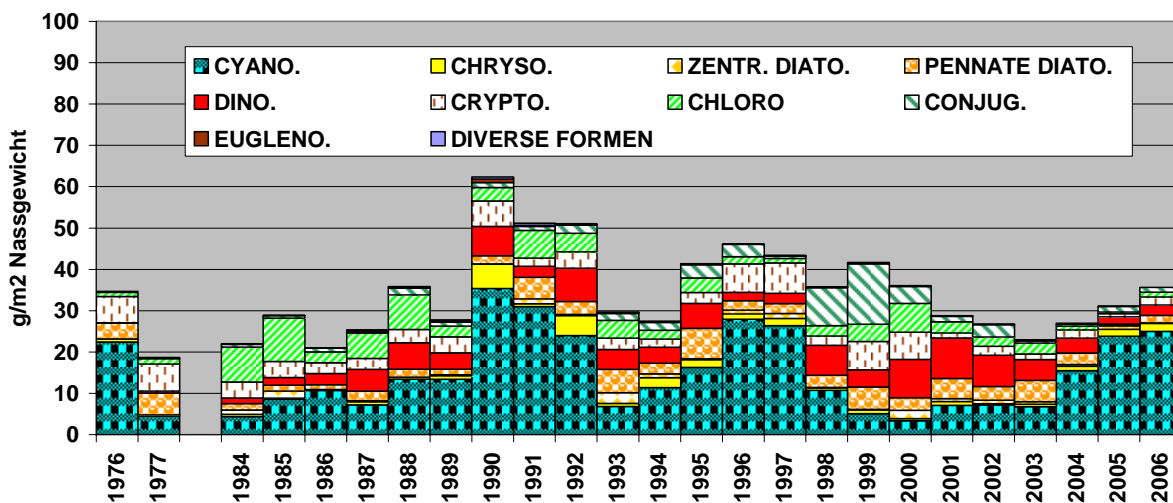
Die Nährstoffentwicklung seit 1980 zeigt eine deutliche Abnahme des P- Gehaltes, die nach Einführung der seeinternen Massnahmen 1982 zunächst beschleunigt verlief und nach wenigen Jahren zu einer Halbierung der P- Konzentration führte. In den 90er- Jahren stabilisierte sich der P- Gehalt um die 0.1 mg/l . Intensivierte Anstrengungen führten zu Beginn des neuen Jahrtausends zu einer weiteren P- Reduktion, welche dem Zielzustand schon sehr nahe kommt.



## Biomasse-Entwicklung im Baldegersee

Ein langfristiger Trend der Planktonbiomasse, welcher dem verminderten Nährstoffangebot folgt, ist nicht erkennbar. Analog zum unterliegenden Hallwilersee ist auch die Phytoplanktonbiomasse des Baldegersees von Cyanobakterien dominiert. Erst die Nährstoffentlastung, welche den See vom hypertrophen Zustand in einen eutrophen Zustand brachte, schaffte die Bedingungen, dass *Planktothrix* in grösserer Dichte aufkommen konnte.

Phyto Baldegersee

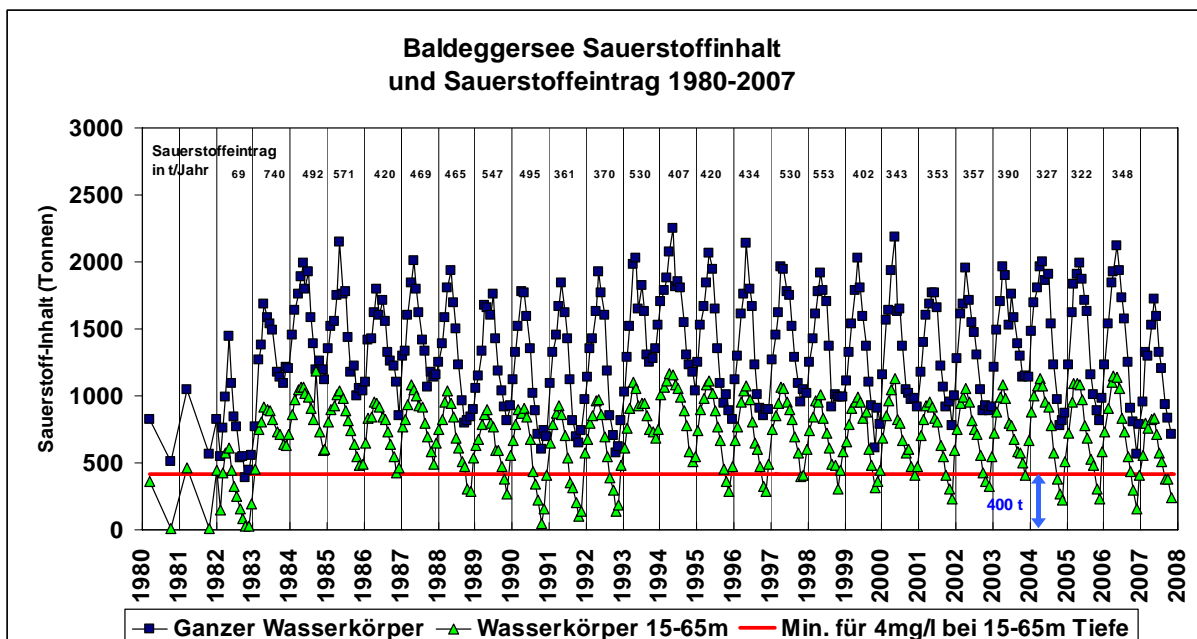


Die Cyanobakterienbiomasse in den 80er- Jahren war noch von *Aphanizomenon* und *Microcystis*- Arten dominiert.

Wie im Hallwilersee muss daher das Aufkommen der „Burgunderblutalge“ *Planktothrix rubescens* als ein Zeichen der P- Entlastung gewertet werden. Aehnlich wie im Hallwilersee fällt der Rückgang der Grünalgen (Chlorophyceen /Conjugaten), Kieselalgen (Diatomeen), Schlundflagellaten (Cryptomonaden) und Dinoflagellaten in den letzten drei Jahren auf. Ohne die Cyanobakterien wäre die Biomasse auf rund 10 g/m<sup>2</sup> zusammengeschrumpft. Die Entwicklung des Baldeggerseeplanktons ist keine Kopie vom Hallwilersee. Obwohl der Hallwilersee täglich mit Baldeggerseeplankton geimpft wird, zeigen die beiden Seen trotz vieler Ähnlichkeiten deutliche Unterschiede. So war die *Planktothrix* im Baldeggersee genau zu der Zeit untervertreten, in der sie im Hallwilersee Höchstwerte erreichte. Obwohl der Hallwilersee hydrologisch dem Baldeggersee nachfolgt, ist seine Plankton-Entwicklung dem Baldeggersee aus trophischen Gründen voraus. Es darf daher davon ausgegangen werden, dass sich auch die gegenwärtig zunehmenden *Planktothrix*biomassen des Baldeggersees wieder auf tiefere Gehalte einpendeln werden, sobald auch der Baldeggersee auf das Nährstoffniveau des Hallwilersees gesunken ist.

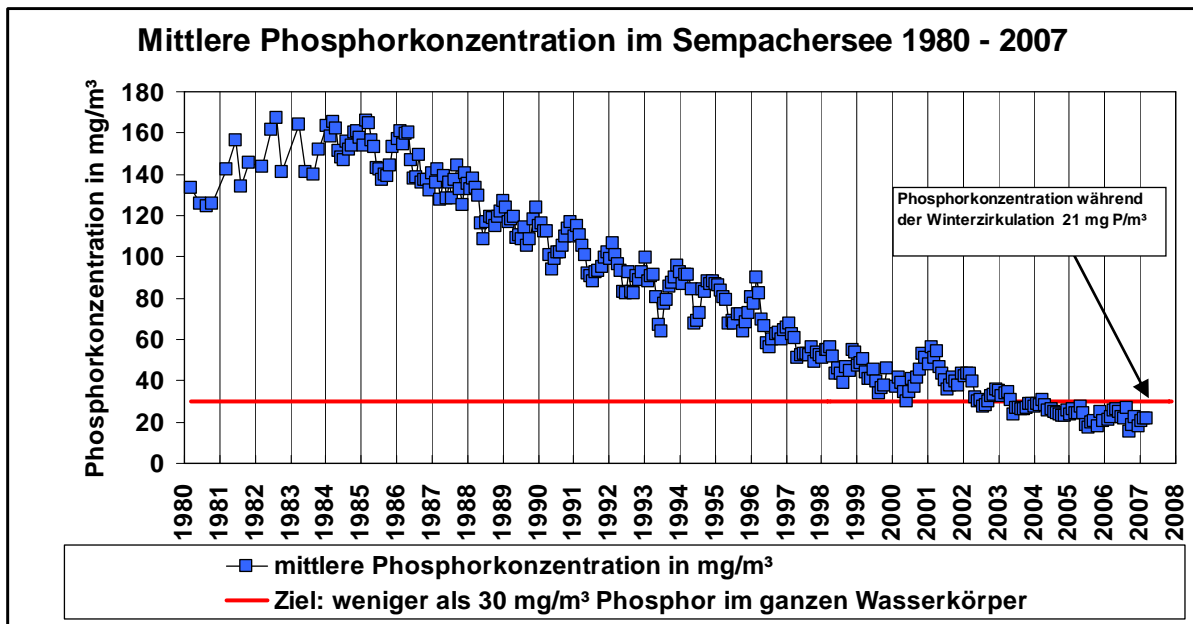
Die in den Hallwilersee eingetragenen Keime treffen dort auf eine etablierte Plankton-gesellschaft, die zumeist alle möglichen ökologischen Nischen abdeckt. Die plötzliche Veränderung der Umweltbedingungen (z. B: durch Sturm und Hochwasser) führt meist nur zu einer Verschiebung der bereits vor Ort vorhandenen Formen, in Ausnahmefällen können aber auch eingetragene Keime davon profitieren und invasiv eine neue Population aufbauen.

Die Produktion im See ist immer noch derart hoch, dass auf die künstliche Sauerstoff -zufuhr vorerst nicht verzichtet werden kann. Selbst mit dieser Stützungsmaßnahme konnten die minimalen Sauerstoffgehalte (überall und zu jeder Zeit 4 mg/l) nicht eingehalten werden. Die Unterschreitung der Limite für Sauerstoff variiert aufgrund der Produktion an Plankton-biomasse und der Eintragsmenge an Sauerstoff. Dieser Eintrag wurde in den letzten Jahren gegenüber den anfänglichen Zufuhren erheblich verringert. Wie beim Hallwilersee zeigen sich auch beim Baldeggersee die Folgen des milden Winters in einem stark verminderten Sauerstoffvorrates im Frühjahr 2007. Die O<sub>2</sub>-Defizite dürften bis Ende Jahr noch weiter zunehmen.



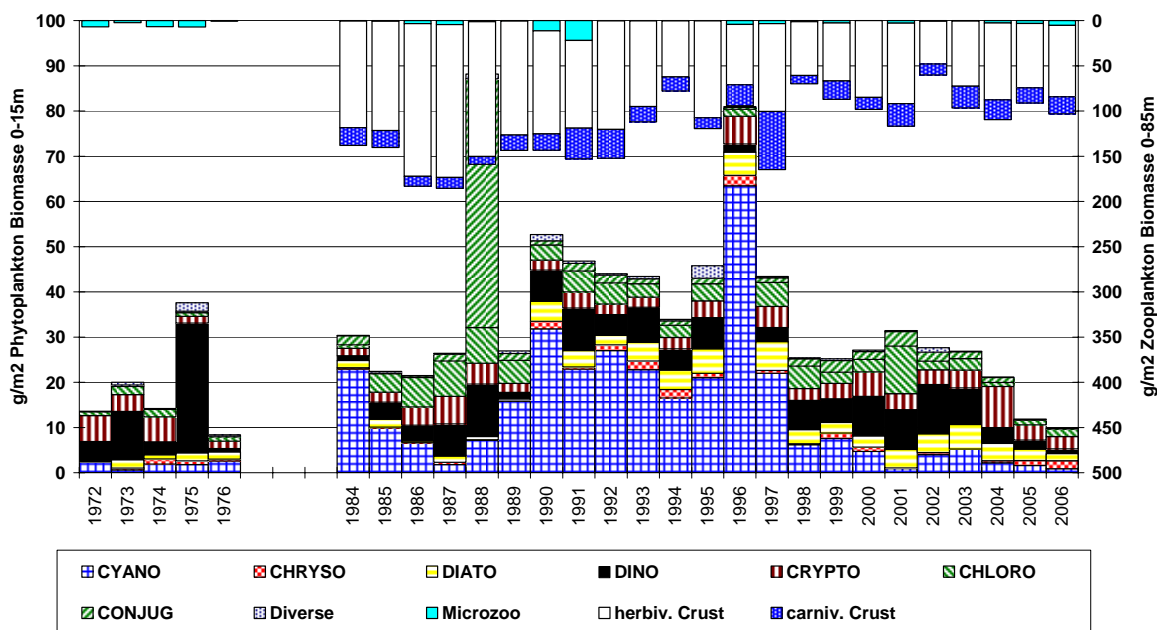
## Langfristige Entwicklung des Sempachersees

Die P- Entlastung im Sempachersee startete exakt mit der Inbetriebnahme der seeinternen Sanierungsmassnahmen im Jahre 1984. Allerdings wurde dieser Start durch ein grosses Fischsterben vergrößert. Ausgelöst durch die N- Limitierung in den frühen 80er- Jahren nahm die Biomasse der Cyanobakterien, welche zur Stickstoff-Fixierung fähig waren drastisch zu. *Aphanizomenon flos-aquae* erreichte im August 1984 eine dominierende Rolle. Die Biomasse löste sich aber pulsartig auf, wodurch toxische Inhaltsstoffe dieser Cyanobakterien frei wurden und fast alle Fische im Epilimnion (nicht hingegen im Hypolimnion, wo es keine *Aphanizomenon* gab) töteten. Eine Stickstofflimitierung war deshalb möglich geworden, weil die P- Zufuhr zum See lange Zeit ungebremst stattfand und den See hocheutroph werden liess. Erst die koordinierten Anstrengungen im Einzugsgebiet und ergänzt mit seeinternen Sanierungsmassnahmen (Zirkulationsunterstützung im Winter und Sauerstoff-Begasung des Tiefenwassers im Sommer) führten zu einer schlagartigen Trendumkehr im Sempachersee. Dieser 88m tiefe See weist heute im Vergleich zu den andern Mittellandseen den besten Zustand auf. Bereits konnte auf die teure Begasung mit Reinsauerstoff verzichtet werden. An ihre Stelle ist eine Begasung mit Luftsauerstoff getreten.

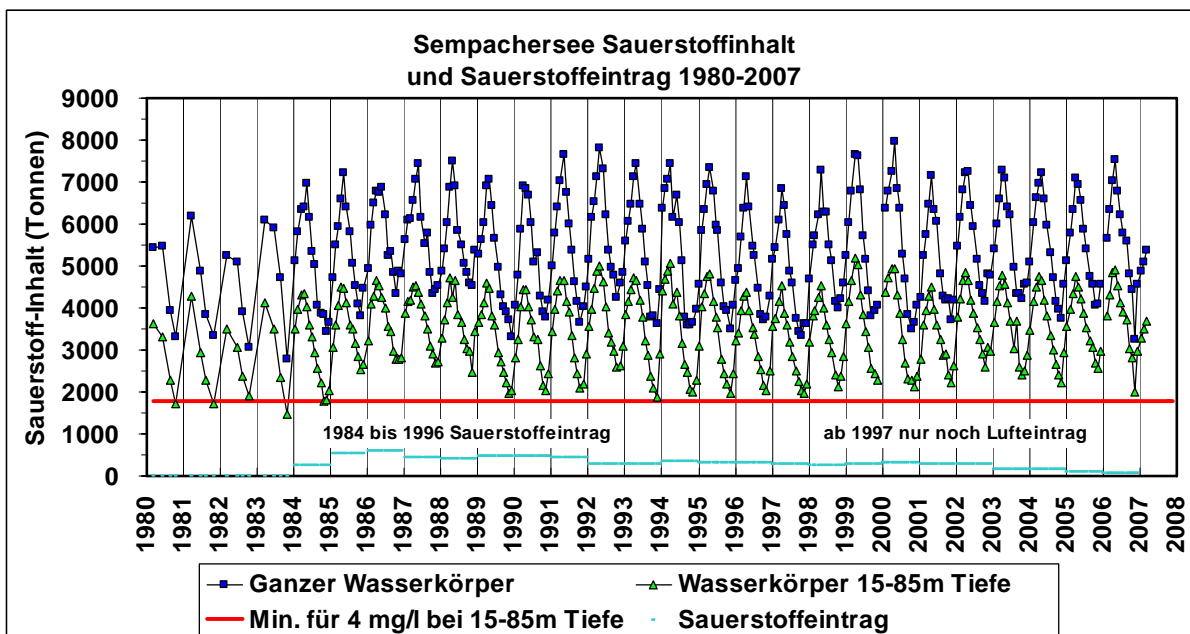


Die Antwort des Sempachersee-Planktons auf die Nährstoff-Entlastung verlief nicht geradlinig. Weil der See noch lange hoch eutroph war, wurde das Wachstum der Phytoplankton- Biomasse nicht durch P limitiert. Erst mit dem Unterschreiten der Ziellinie (30 mg/m<sup>3</sup> P) ab 2005 reagiert die Planktonbiomasse signifikant. Die Cyanobakterien, welche noch 10 Jahre zuvor das Plankton dominiert hatten, verloren weitgehend ihre Bedeutung. Die Algenbiomasse sank auf 10 g/m<sup>2</sup> ab. Auch *Planktothrix*, welche als Anzeiger einer moderaten Eutrophierung gilt, trägt in diesem See im Moment nicht viel zum Umsatz bei. Ob auch Hallwilersee und Baldeggersee dem Beispiel Sempachersee folgen werden, ist noch unsicher. Die Voraussetzungen für die *Planktothrix*- Produktion sind im Hallwilersee mit seiner maximalen Tiefe von 46 m deutlich besser als im fast doppelt so tiefen Sempachersee. Wenn im Winter mit künstlich unterstützter Zirkulation die *Planktothrix*-Fäden eingemischt werden, verbleibt im Hallwilersee ein Grossteil der Population im euphotischen Teil, während im Sempachersee die meisten Fäden zu lange in der dunklen Tiefenzone verbleiben und zugrunde gehen. Da die Form mit wenig Licht auskommt und Nährstoffe im Winter nicht

limitierend sind, kann die *Planktothrix* im Hallwilersee im Winter regelmässig an Biomasse zulegen, während sie in andern Seen ausgedünnt wird.



Dank der deutlichen Verbesserung der Nährstoffsituation und der geringeren Algenbiomasse in den letzten Jahren, konnte der Sauerstoffeintrag vermindert werden. Seit 1997 wird nur noch Luft (im Sommer feinblasig, zur Zirkulation grobblasig) eingetragen, ohne dass sich dadurch die Sauerstoffsituation verschlechtert hätte. Der Sempachersee zeigt daher das Ziel vor, das auch der Hallwilersee und verzögert der Baldeggersee erreichen können.

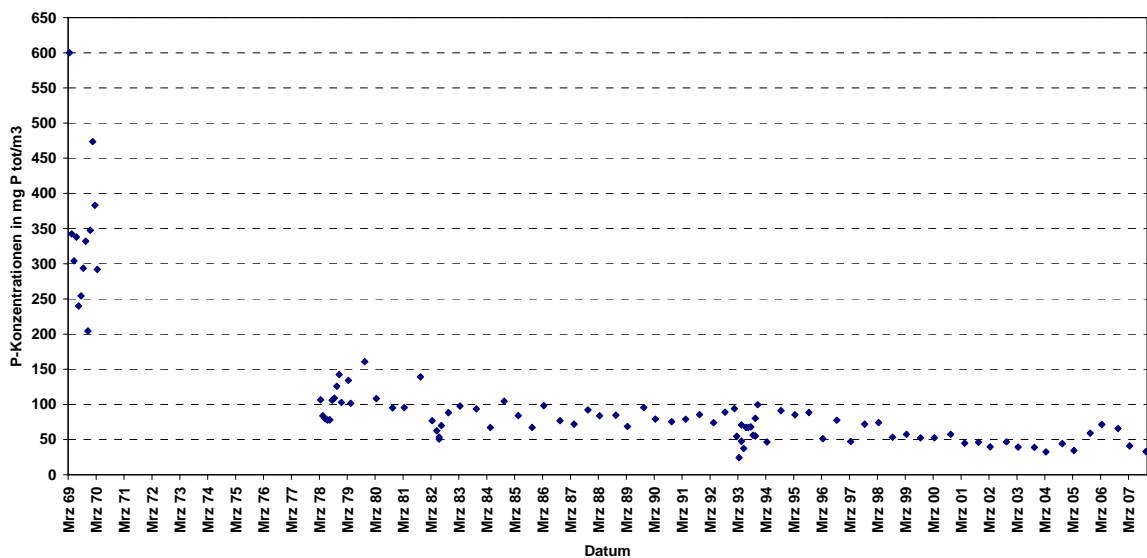




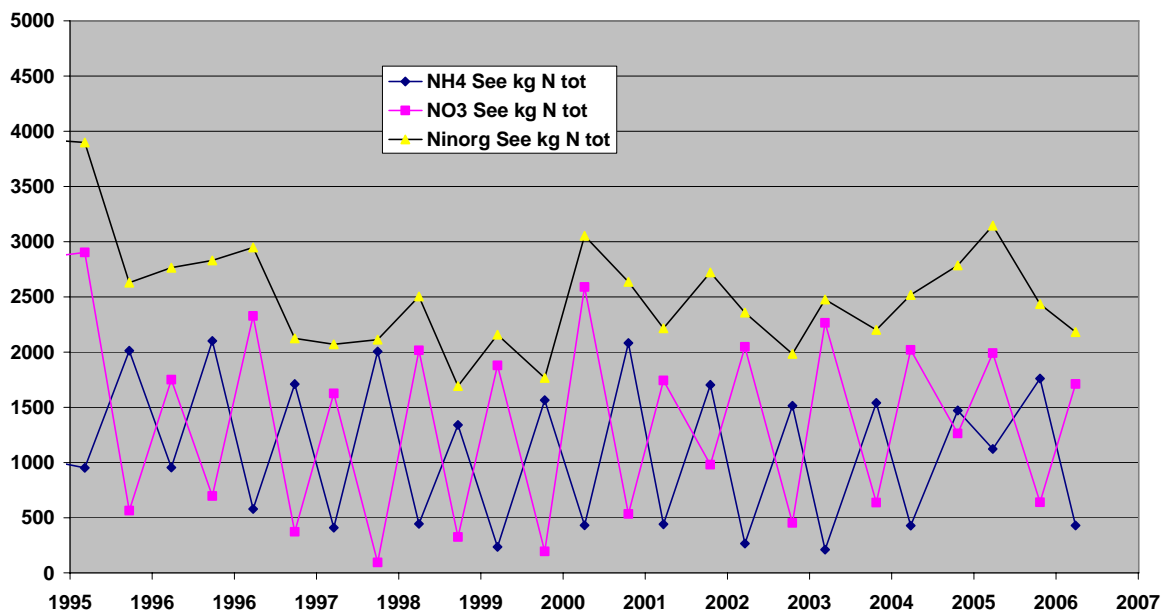
### Rotsee Entwicklung:

Der Rotsee ist eutroph und weist während der Sommermonate eine stabile Schichtung auf, die in Wassertiefen ab 9 m zu anaeroben Bedingungen überleitet. Die langfristige Entwicklung des Rotsees ist anhand der Phosphorkonzentrationen (Frühjahrszirkulation) ersichtlich. Nach einer soliden Restaurierungsphase in den Siebzigerjahren der den See vom hypertrophen Zustand in moderate eutrophe Verhältnisse zurückführte, schien es während den folgenden 15 Jahren kaum mehr zu Veränderungen zu kommen. Die Verbesserung der Wasserqualität nach 1970 war eine Folge der schon viel früher (1922) errichteten Spülung mit Reusswasser. Da erst die weiterführende Abwasser-Reinigung die P- Gehalte in der Reuss markant sinken liess, hatte die Erhöhung der Durchflussrate on 0.1 auf 0.7% pro Tag erst in den Siebzigerjahren eine Wirkung auf den Rotsee. In den letzten 10 Jahren sank die P- Konzentration erneut und erreichte Werte knapp über 30 mg/m<sup>3</sup>, was schon fast dem Zielzustand entsprach. Da in der Zwischenzeit der Vierwaldstättersee oligotroph geworden war, verbesserte sich damit auch der Effekt des flushings im Rotee. In den vergangenen zwei Jahren stieg der P- Gehalt kurzfristig sprunghaft an, um dann 2007 wieder in die Nähe von 30 mg/m<sup>3</sup> zu kommen. Die wissenschaftliche Datenbasis (meist nur zwei Probenahmen pro Jahr) vom Rotsee reicht nicht aus, um die limnologischen Prozesse genau zu beschreiben. Die Zickzackkurven von Nitrat und Ammonium signalisieren immerhin eine regelmässige REDOX- Reaktion auf Grund der Sauerstoffverhältnisse. Nitrat wird während der Hauptvegetationsperiode im Tiefenwasser bei fehlendem Sauerstoff reduziert. Das Ammonium steigt damit an. Während der Winterzirkulation wird das Ammonium mit Hilfe des (von der Wasseroberfläche nachgelieferten) Sauerstoffs oxidiert. Einzig in milden Wintern (2005 /07) mit ungenügender Nachlieferung von Sauerstoff, bleibt Ammonium in höheren Konzentrationen zurück. Dem Ammonium kommt dadurch eine Indikatorrolle für die anaeroben Verhältnisse zu. Die ungenügende Sauerstoffversorgung dürfte auch für eine vermehrte P- Rücklösung im 2005/2006 verantwortlich sein, wodurch die Bio-Produktivität in der Folge kurzfristig angestiegen ist.

**Rotsee  
Phosphor-Konzentrationen 1969 - 2007**

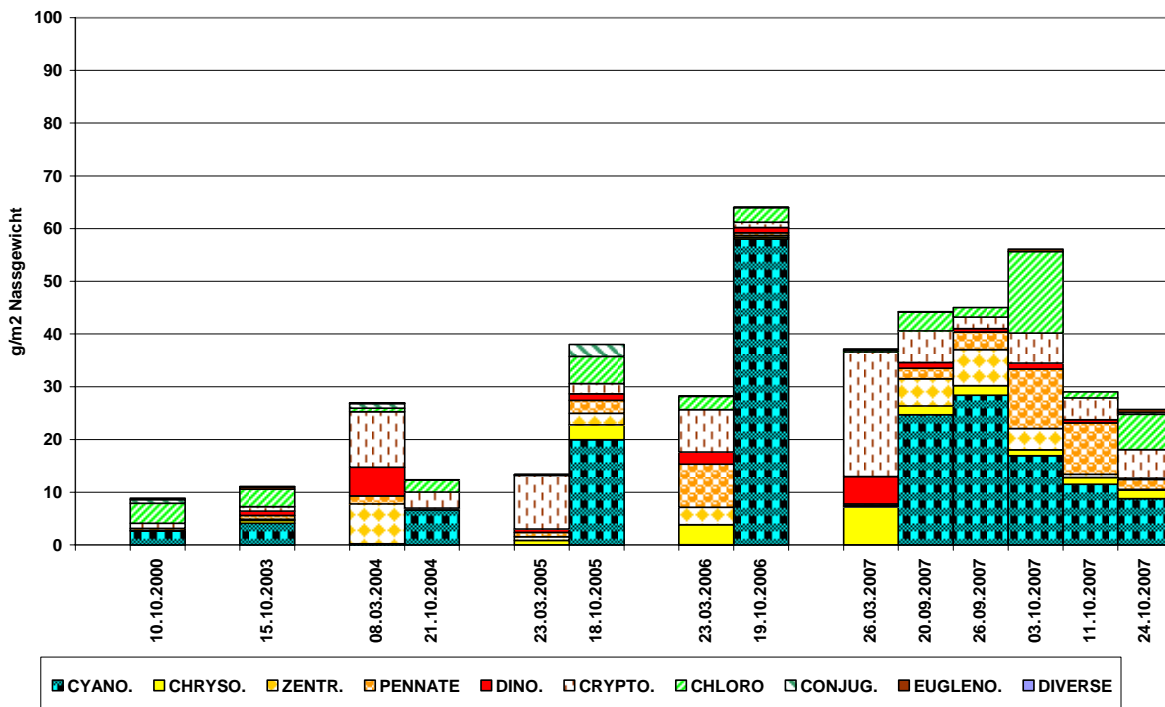


Rotsee  
Stickstoffinhalt 1995-2007



Die Biomasse des Phytoplanktons zur Zeit der Lyngbya - Wasserblüte war nicht aussergewöhnlich hoch, sondern lag im Bereich der Herbstwerte der Vorjahre. Die Cyanobakterien-Anteile waren vor einem Jahre sogar noch deutlich höher, allerdings ist die korrekte Erfassung der Wasserblüte im 2007 schwierig, weil die Lyngbya-Fäden aggregiert am Ufer sind und unsere Probenahmen immer in Seemitte stattfinden.

Rotsee Phytoplankton-Bioamasse



## Wasserblüten im Rotsee und Hallwilersee 2007

In den Monaten Juni bis September gingen vermehrt Meldungen bei der Abteilung für Umwelt AfU, Kt. AG ein, dass sich vor Mosen lokal eine starke Trübung manifestierte. Diese weitete sich in den folgenden Wochen in das zentrale Seebecken aus. Gemäss einer Kontrolle am Freitag 29. Juni, war das Wasser dort sehr trüb. Der Aabach aus dem Baldeggersee floss zu dieser Zeit klar in den Hallwilersee. Feine Trübung kam vor allem via Vorderbach in den See.



Algenblüte am 4. Aug. 2007 morgens vor dem Restaurant „Seerose“ des Hallwilersees ( Photo: René Fritschi)

Die mikroskopische Analyse der Oberflächenproben ergab eine Dominanz der Dinoflagellaten, insbesondere von *Peridiniopsis elpatiewskyi* [Popovsky & Pfiester, 1990] und *Gymnodinium*- Arten. Da verschiedene Dinoflagellaten gefürchtete „Red tides“ (marin) verursachen können und dabei toxische Produkte synthetisieren, welche tausendmal stärker wirken als Cyankali, wurde die Wasserblüte intensiv beobachtet. Insbesondere wurde auf tote Fische geachtet, weil Neurotoxine Fischsterben verursachen können. Die Abklärungen bei Spezialisten (J. Popovsky, R. Kurmayer) ergab keine Auffälligkeiten bezüglich Algentoxinen. Die *Peridiniopsis*- Arten und mehrere *Gymnodinium*- Arten sind in der Regel im Spätsommer-Plankton in verschiedenen Seen vertreten, ohne allerdings Wasserblüten zu verursachen. Mit der gepulsten Entwicklung von Dauerstadien ging die Wasserblüte im September zu Ende.

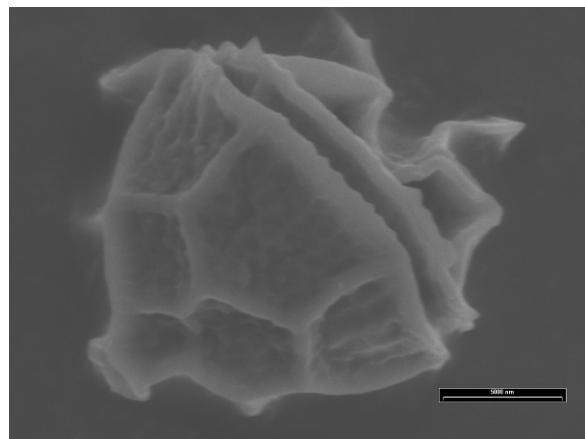
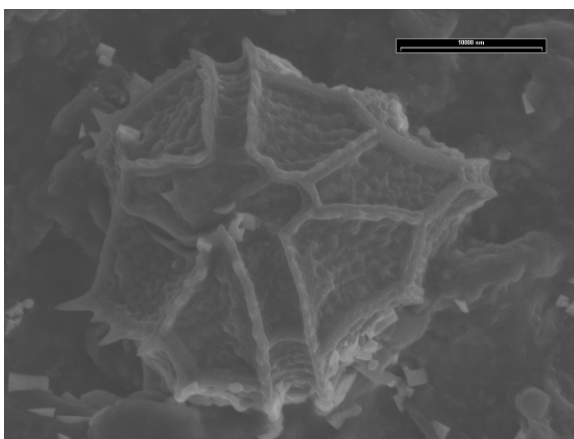


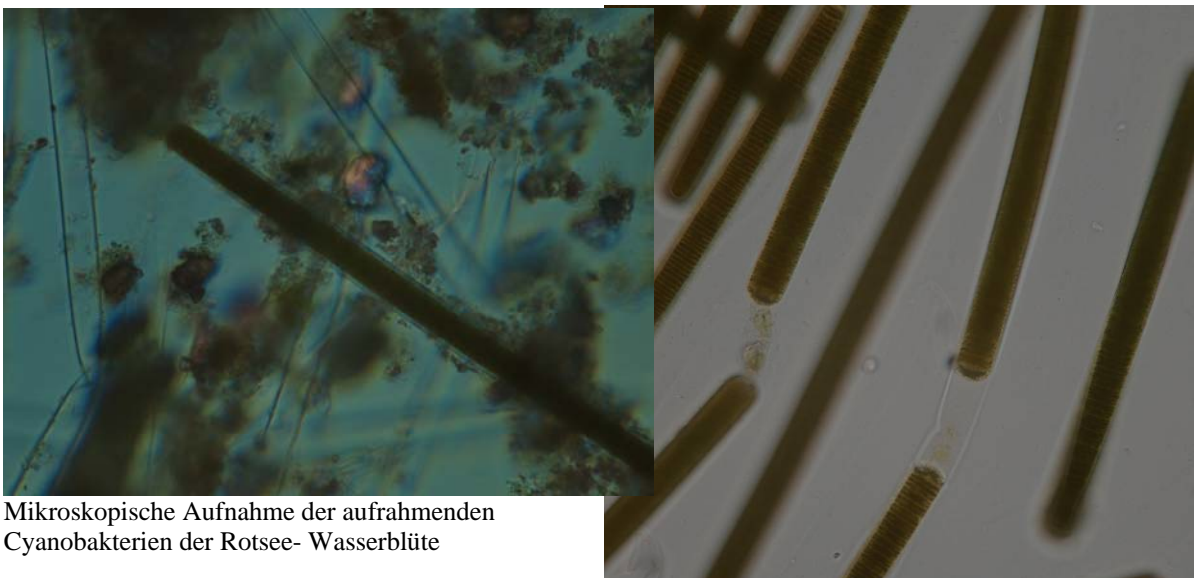
Abb. *Peridiniopsis elpatiewskyi* (links) und *Peridinium inconspicuum* (rechts) (REM-Aufnahmen EAWAG, C. Jolidon)

Im August entwickelte sich auch im Rotsee eine starke Wasserblüte mit aufrahmenden Cyanobakterien. Da viele Cyanobakterien (=„Blualgen“) Gifte produzieren können, welche Haut- Reizungen, Asthma- Anfälle, Leber- Schäden (Hepatotoxine) oder akut toxische Lähmungen (Neurotoxine) verursachen können, wurden vom Kantonalen Amt für Umweltschutz Luzern sofort Proben entnommen und in spezialisierten Labors auf Hepatotoxine bzw. Neurotoxine überprüft. Die Analysen ergaben keine positiven Befunde, so dass sich keine weiteren Sondermassnahmen aufdrängten. Die Möglichkeit von Haut- Irritationen wurde nicht speziell abgeklärt, da die Annahme, dass sich Badegäste in einer solchen Brühe tummeln eher für unwahrscheinlich gehalten wurde.

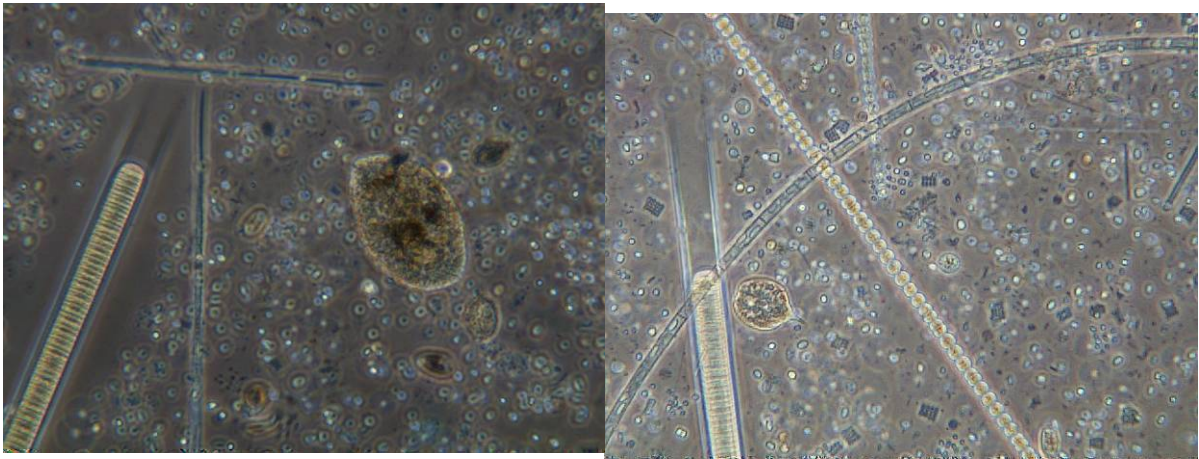


Algenblüte im Rotsee vom 21. August 2007

Die mikroskopische Analyse ergab hier eine Dominanz einer Oscillatorialen (*Lyngbya birgei* mit starker Scheidenbildung) neben verschiedenen anderen Cyanobakterien (*Oscillatoria limosa*, *Anabaena solitaria*).



Mikroskopische Aufnahme der aufrahmenden Cyanobakterien der Rotsee- Wasserblüte



Rotsee- Plankton vom 20. Sept. 2007 mit *Lyngbya birgei*, *Anabaena* und vielen chroococcalen Cyanobakterien  
Abbildung aus den quantitativen Zählproben mit zahlreichen Nannoplanktern.

**Herkunft der Wasserblüten.**

Die Frage, wie es zur Wasserblüte kam, ist im Nachhinein nie vollständig aufzuklären. Die *Lyngbya* aus dem Rotsee wurde noch nie in der Schweiz in Wasserblüten beobachtet. Wegen ihrer Aehnlichkeit mit *Oscillatoria limosa* ist sie vermutlich schon früher als eben solche aufgeführt worden. So ist 2006 in den Zählungen aus dem Rotsee *O. limosa* aufgeführt. Im Rotsee kommen aber beide Formen zusammen vor. Auch in den Archiv-Proben vom 2005 fanden sich einzelne Trichome von *O. limosa* (siehe Photo unten)

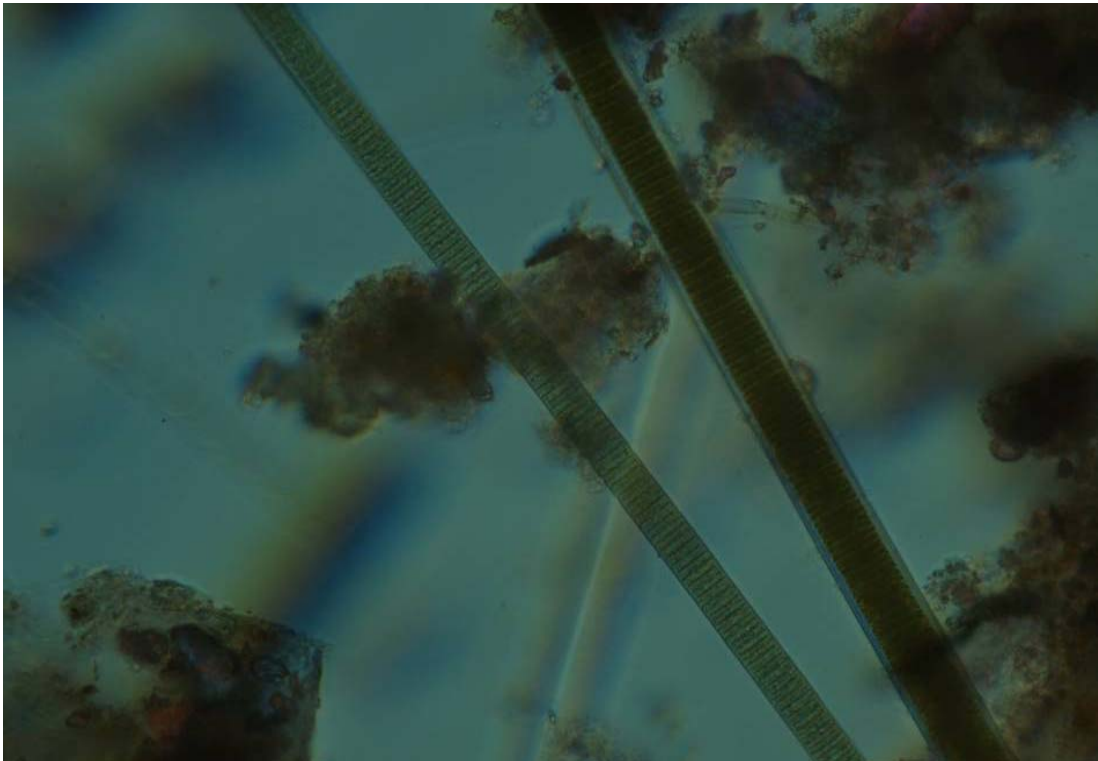
Da die *Lyngbya* ihre Scheide verlassen kann, sieht das reine Trichom, das dann auch oscilliert, wie eine *Oscillatoria* aus. Anhand der Abmessungen führt der Schlüssel zu *L. birgei*. Eine ähnliche Art beschreibt Komarek & Komarkova-Legnerov, (2007) als *Lyngbya robusta* comb. nov. abgeleitet von *L. hieronymusii* f. *robusta* Parakutti. Dies ist eine tropische Art aus Brasilien.

*Oscillatoria limosa* zwei Jahre früher im Rotsee: 18. Juli 2005

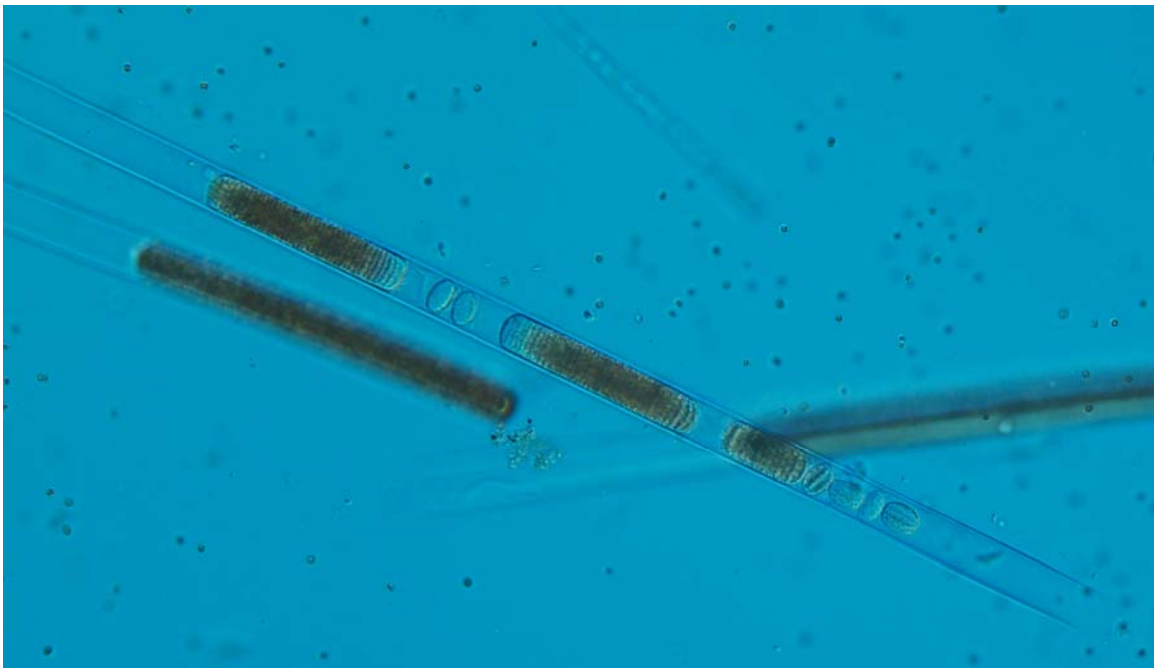


Die Art *L. birgei* wird in der Literatur kontrovers diskutiert. Von G.M. Smith aus dem L. Oneida USA beschrieben, gleicht sie der marinen Form *Lyngbya majuscula* (Harvey), [Bourelly 1970] unterscheidet sich aber von dieser durch die Oekologie (Süßwasserform) und die Aerotope (Gasvesikel im Zentrum der Zellen). In den USA wurde vermehrt eine sehr ähnliche Form, die *L. wollei* beobachtet, die mit der *Plectonema wollei* identisch sein dürfte

(*Plectonema* müsste aber Scheinverzweigungen aufweisen). Diese invasiv in den USA immer weiter verbreitete *L. wollei* ist auch wasserblütenbildend. Speziale & Dyck [1992] kombinieren unter *L. wollei* auch *Lyngbya birgei*. Die Wurzeln der Rotseeform dürften so oder so in den USA oder in den Tropen liegen; wie sie von dort zu uns kam ist unklar. Immerhin könnten mit den vielen Booten bzw. deren Zusatzausrüstung, welche bei jeder Regatta von der ganzen Welt in den Rotsee kommen, vitale Keime eingebracht worden sein. Da genügt auch schon ein sehr kleines Inokulum.



*Oscillatoria limosa* neben *Lyngbya birgei* im Rosee- Sediment am 24. 9. 2007



*Lyngbya birgei* im Rotsee 20. 9. 2007 Bildung von Hormogonien

Am Grunde des Rotsees finden sich noch zahlreiche verlassene Scheiden, die nur bis zu einer Tiefe von 7.7m (Probe vom 24. 9. 07) im Sediment nachgewiesen wurden.

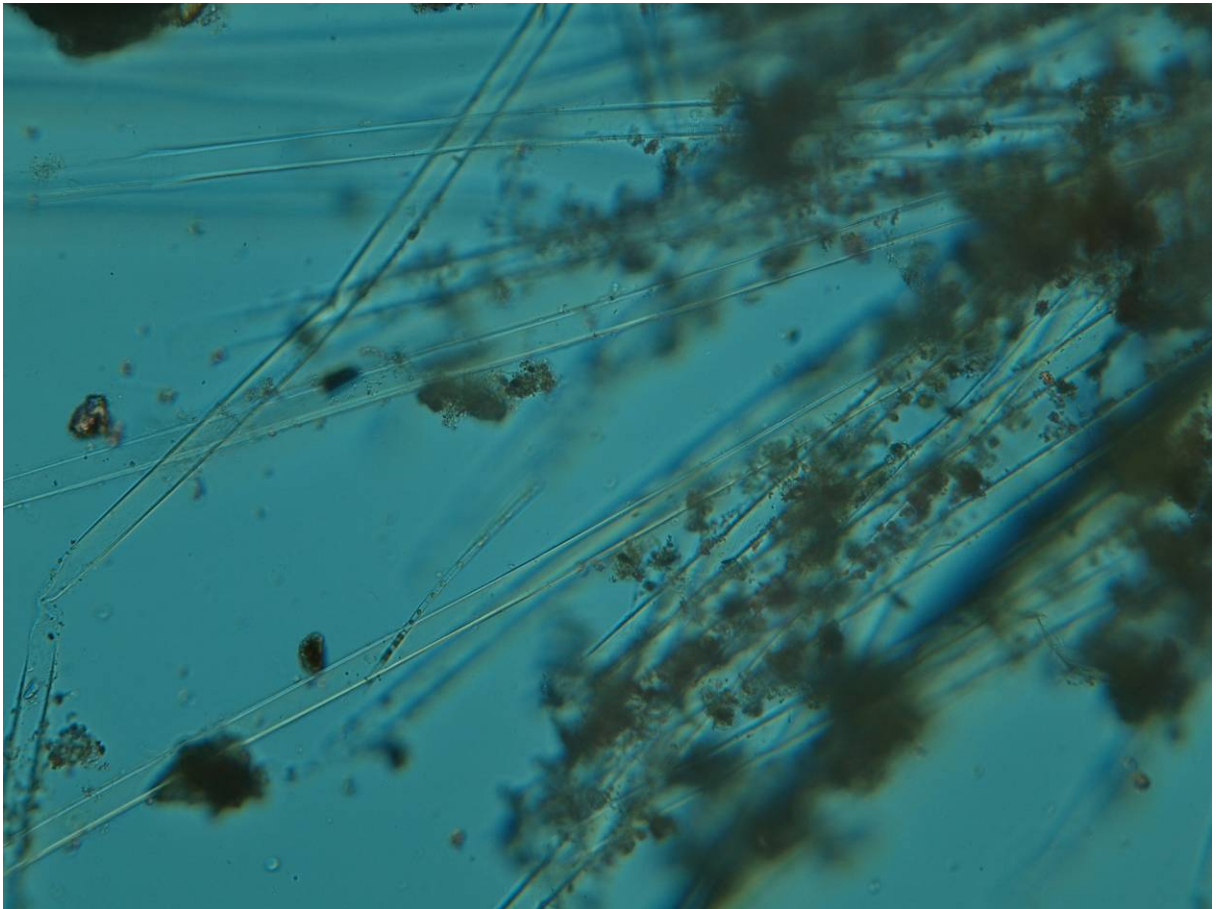


Abb. verlassene Scheiden im Benthos des Rotsees aus 6 m Tiefe

In den tieferen Zonen (bis 10.9m) wurden nur noch Diatomenschalen, *Beggiatoa alba* (ein farbloses Schwefelbakterium) und Reste von *Phacotus* in grösserer Dichte gefunden. Die im oberen Teil verteilten Scheiden sind daher nicht ein Produkt der Sedimentation. Wären die Scheiden aus dem Epilimnion von den dort aufruhenden *Lyngbya* sedimentiert, müssten wir sie in allen Sedimentregionen finden.

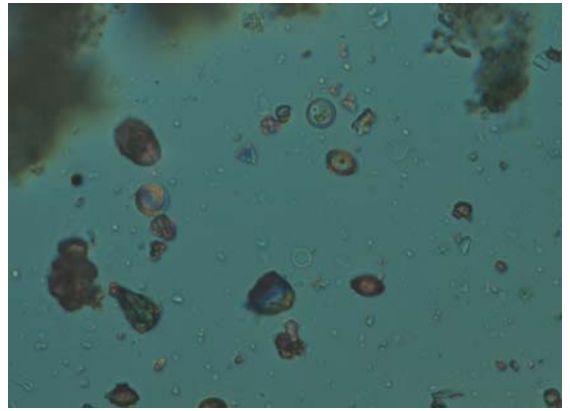
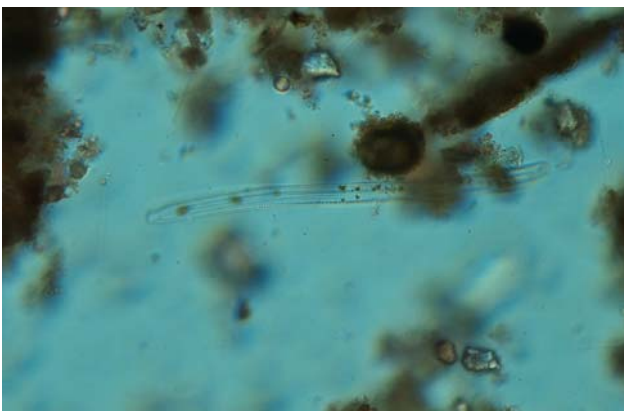


Abb. Rotsee- Sediment aus 10.9m Tiefe mit Kieselalgenresten (ohne *Lyngbya*)

Vor der unmittelbaren Hochproduktion der *Lyngbya* muss daher eine Vermehrung in der euphotischen Zone des Seebodens stattgefunden haben.

In den meisten Seen treiben nach der Zeit des Klarwasserstadiums im Mai/ Juni, wenn die planktischen Algen vom Zooplankton bis auf geringe Restbestände ausfiltriert wurden, sogenannte „Krötenhäute“ auf dem Wasser. Dieser Ausdruck hat überhaupt nichts mit Amphibien zu tun, einzig die Aenlichkeit der fädigen Agglomerationen mit einer drüsigen Krötenhaut hat zu dieser Bezeichnung geführt. Als Folge der besseren Durchlichtung der Wasserschicht im Klarwasserstadium können die Bodenalgeln schneller wachsen. Bei der Photosynthese wird so viel Sauerstoff frei, dass er zwischen den Fäden ausperlt und den ganzen Bodenbewuchs, der nur locker auf dem Schlamm liegt, hochreisst. Die hautartigen Bewuchsfetzen steigen an die Wasseroberfläche. Die Sauerstoffperlen können auch an der Oberfläche nicht aus dem Fadengewirr austreten (Oberflächenspannung) und sie erinnern daher an eine ledrige, drüsige Haut von Kröten. Ueblicherweise gehen die Aufwuchsalgen an der Oberfläche schnell zugrunde, da sie jetzt zuviel Licht erhalten (mit hohem UV- Anteil im Juni). Im Rotsee konnten sich aber offenbar die aufrahmenden Algen weiter entfalten, weil es viele schattige Zonen gab und sich auch die Sonneneinstrahlung im Sommer 2007 in Grenzen hielt. Insbesondere in den regenreichen Monaten August-September, waren die Produktionsbedingungen für die Cyanobakterien recht günstig. Einzelne Fäden hielten sich bis in den November hinein an der Oberfläche. In der Tiefe leben weiterhin Fäden auf dem Sediment. Von dort dürfte das Epilimnion in den nächsten Jahren nach dem Klarwasserstadium erneut besiedelt werden. Je nach Wetterlage dürfte aber eine erneute Wasserblüte früher oder später durch UV- Einwirkung zerstört werden.

Herkunft der Dinoflagellaten bei Mosen.

Die im Hallwilersee gefundenen Dinoflagellaten sind nicht neu für die Schweiz. Sie sind teilweise auch im Baldeggersee und andern Seen beobachtet worden. Die Juliprobe 2007 vom Baldeggersee enthielt zahlreiche *Peridiniopsis* und *Gymnodinium* Flagellaten, die mit den Hallwilerseeformen übereinstimmen. Erst durch die Bildung von Dauerzellen, die offenbar über Auftriebskörper (Fett?) verfügten, wurde die Massenentfaltung an der Seeoberfläche als „Wasserblüte“ wahrnehmbar. Es bringt für die Verbreitung der Dinoflagellaten einen Selektionsvorteil, wenn die Zysten an die Oberfläche treiben und vom Wind ans Ufer befördert werden: Mehr Kontakte mit Wasservögeln, bessere Keimchancen.

Eine Impfung vom oberliegenden See war jederzeit möglich, auch wenn die Algen-gesellschaft im unterliegenden See eine Eigendynamik entwickelte. Im Hallwilersee haben sich in den Vorjahren schon ähnliche saisonale Abfolgen ergeben. Die Formen dürften somit schon viele Jahre im See vorhanden gewesen sein, ohne bisher auffällig geworden zu sein. Wasserblüten von Dinoflagellaten wurden auch schon früher registriert. Selbst der oligotrophe Urnersee war schon mit einer kurzzeitigen roten Vegetationstrübung durch *Ceratium* aufgefallen. Auch im Walensee, der nie zu den eutrophen Seen gezählt werden konnte, führten Dinoflagellaten zu Biomasse-Spitzen. Das Ereignis im Hallwilersee kann daher nicht mit der Eutrophie des Sees erklärt werden. Es ist eher davon auszugehen, dass die ohnehin zu dieser Jahreszeit häufigeren Dinoflagellaten 2007 günstigere Produktionsbedingungen vorfanden und sich einige male zusätzlich teilen konnten. Da sie am Schluss generell wieder Zysten gebildet haben, welche nun über den ganzen See verteilt abgesunken sind, ist ein erneutes Keimen in den Folgejahren sehr wahrscheinlich. Das bedeutet aber nicht zwangsläufig, dass sie dann auch wieder Wasserblüten bilden können.

Die Bildung von Dauerzellen am Schluss der Wasserblüte im September zeigt auch den Weg, den die Zellen vermutlich genommen haben. Wie viele Dinoflagellaten verschwinden sie (fast) vollständig aus dem Plankton durch Bildung von Zysten. Diese gut geschützten Zellen verbringen einen Dauerschlaf am Seegrund. Wenn sie aus dieser Dormanz erwachen bzw. geweckt werden durch Umweltimpulse (z.B. Veränderungen von Sauerstoffgehalt, Temperatur, Licht oder dergl.), verlassen sie als Flagellaten die schützende Hülle und



schwimmen aufwärts ins Epilimnion. Auf ihrem Weg nach oben haben sie genug Zeit von den im Tiefenwasser und speziell im Sediment angereicherten Nährstoffen zu profitieren. Mit den Vorräten, die sie so ins Epilimnion mitbringen, können sie unabhängig vom aktuellen Nährstoff-Angebot des Oberflächenwassers selbst ihre Biomasse vermehren. Eigentlich benötigen sie zunächst nur die Lichtenergie und den anorganischen Kohlenstoff, alles andere bringen sie selbst mit. Die Keimung der Dinoflagellaten bewirkt im August eine messbare inverse Nährstoffbewegung zur Sedimentation. Im Sempachersee wurde durch die EAWAG schon ein Ereignis registriert, bei dem in einer niederschlagsarmen Zeit plötzlich eine Tonne P zusätzlich im Epilimnion gemessen wurde, als Dinoflagellaten in grosser Zahl auftraten. Dieser Phosphor konnte unmöglich von aussen eingetragen worden sein.

Wenn nach der Ankunft an der Oberfläche (viele Dinoflagellaten sind typische Spätsommerformen) noch zusätzliche Nährstoffinputs z.B. durch heftige Gewitter erfolgen, können die Dinoflagellaten wie andere Algen davon profitieren, ohne aber direkt darauf angewiesen zu sein. Dinoflagellaten gehören kaum zu den r- Strategen, die zu hoher Teilungsrate befähigt sind, sie fehlen daher eher im Frühjahr, wenn sich schnellwüchsige Formen über die Nährstoffvorräte aus der Zirkulation hermachen.

### **Vergleichende Analyse der Stellen mit Wasserblüten mit andern Seen / Zeiten**

#### **Vergleich der Stelle Mosen mit der Seemitte Hallwilersee:**

Die 2007 an der tiefsten Stelle erhobenen Daten und Proben ergaben gegenüber dem voran gegangenen Jahr keine auffallenden Abweichungen. Zur Zeit der Wasserblüte ergab die Sestonanalyse fast identische Werte bezüglich partikulärem Phosphor und Kohlenstoff. Auch die Chlorophyllgehalte waren kaum verschieden (Abweichung ca. 10%). In Mosen waren bei gleichem P- Gehalt etwas mehr organische Substanz (POC) vorhanden. Die Nährstoffe wurden hier offensichtlich etwas besser ausgenützt. Stöchiometrische Vergleiche (Verhältnis der chemischen Bestandteile zueinander) zeigen für den Chlorophyllanteil pro POC- Einheit nur geringe Abweichungen der Stellen. Auch die früheren Analysen (2006) mit ähnlichen Wetterbedingungen im Juli/August, zeigen fast identische PP- Gehalte in der euphotischen Zone 0-13m (0.23 bis 0.28 g/m<sup>2</sup> im 2006 gegenüber 0.21 bis 0.26 g/m<sup>2</sup> im 2007). Auch beim partikulären organischen Kohlenstoff (=Summe des schwebenden Materials, insbesondere Plankton) wurden vergleichbare Werte in 2006 und 2007 gemessen: 16.0 bis 23.5 g/m<sup>2</sup> im 2006 und 17.2 bis 18.1 g/m<sup>2</sup> im 2007. Gegenüber 2006 war somit sogar eine leichte Verminderung zu verzeichnen. Die Bedingungen für die Entwicklung sind im Spätsommer und Herbst günstig für Dinophyceen. Bei ausgezehrtem Epilimnion leben die Dinoflagellaten von eigenen gespeicherten Vorräten. Dank der mixotrophen Ernährung, die für viele Dinoflagellaten typisch ist können sie ausserdem alternative Nahrungsquellen nutzen. *P. elpatiewskyi* ist auf höhere pH- Werte angewiesen und meidet humöse Gewässer [Huber-Pestalozzi, 1968].

Der Vergleich der Planktonproben (Mischproben aus 0-13m, siehe Anhang) zeigt ähnliche Grössenordnung sowohl der Gesamtbiomasse (welche an beiden Stellen durch die Cyanobakterien bestimmt wird) und der Dinoflagellaten. Selbst an der Stelle Mosen totalisierten alle Dinoflagellaten nur gerade rund 10 g/m<sup>2</sup> Biomasse. Allerdings ist diese Biomasse vom 18.7.07 bis 12.9.07 abnehmend. Die rückwärts gerichtete Extrapolation in den Juni 2007 würde einen leicht erhöhten Wert ergeben. Von diesem Zeitpunkt liegen aber nur Oberflächenproben vor. Die zusätzlichen Mischproben wurden zu einer Zeit geschöpft, als sich die Blüte schon über den See verteilt hatte. Der Anteil der Oberflächenzone auf die gesamte Schicht 0-13m ist geringer als vermutet. Das Klarwasserstadium fiel 2007 nicht so prägnant aus wie früher, dies mag am Wetterverlauf liegen. Nach einem sonnigen April blieb die Entwicklung des Crustaceen- Planktons im Mai /Juni hinter den Erwartungen zurück. Erst

im Juli wurden die maximalen Biomassen registriert. Die Phytoplanktonbiomasse reagierte darauf kurzfristig, indem sie auf rund 50% der Juniwerte sank. Die verbleibende Biomasse bestand aus grösseren Algen, welche nicht filtrierbar waren (darunter die Dinoflagellaten und Cyanobakterien). Der Vergleich mit dem eutrophen Greifensee (Graphik im Anhang), zeigt, dass Dinoflagellaten und Cyanobakterien im Sommer 2007 auch dort beachtliche Biomassen totalisierten. Das Wetter scheint sich 2007 wie schon 2006 positiv auf die Entfaltung dieser Spätsommerarten ausgewirkt zu haben. Trimbee & Harris [1984] schätzten den Biomassegewinn durch Migration der Algen (einschliesslich der *Lyngbya birgei*) auf 2-4% des standing crop, was nicht unbedeutend ist im Hinblick auf die zusätzliche Produktionskapazität durch die mitgelieferten Nährstoffe.

### **Gefahr durch Toxine**

In unseren Gewässern sind insbesondere Cyanobakterien mit toxischen Formen vertreten. Das grösste Fischsterben der Schweiz im August 1984 im Sempachersee wurde der *Aphanizomenon flos-aquae* angelastet. Auch die weit verbreitete Burgunderblutalge *Planktothrix rubescens* kann das „Microcystin“ produzieren, welches lebertoxisch ist. Die Dinoflagellaten sind zwar im marinen Bereich durch stark toxische *Gonyaulax* Spezies vertreten, im Süsswasser sind von Dinoflagellaten nur Vegetationstrübungen bekannt, ohne weitere Auswirkungen.

*Lyngbya wollei* (Farlow ex Gomont) comb.nov., die sich in den USA invasionsartig verbreitete, wurde von Carmichael et al. [1997] getestet, ob sie Toxine bilden kann. In Tests mit Mäusen wurden ähnliche Symptome festgestellt wie beim PSP (paralytic shellfish poisoning), was auf Saxitoxine schliessen lässt. 72 % aller 91 Proben aus 10 Standorten waren toxisch. Verwandte marine Arten (*L. majuscula*) sind bekannt dafür, dass sie Lyngbyatoxin A produzieren, welches Hautreizungen verursacht [Abal, 2001]. Die Produktion von Cylindrospermopsin oder Debromoaplysiatoxin durch *L. wollei* erklärt die Asthma-ähnlichen Symptome und die Hautreizungen, welche *Lyngbya* in Florida verursachte.

Die Analyse der Toxine erfolgt heute oft indirekt, indem das Genom nach Sequenzen durchgesucht wird, welche bei toxischen Arten auftreten. Bei neuen Arten oder Toxinen könnte diese Technik versagen.

Eine Bekämpfung von *L. wollei* sehen Doyle & Smart [1998] in der Lichtkonkurrenz durch Laichkräuter *Potamogeton*. Auch eine Sauerstoffzugabe oder pH- Senkung in der benthalen Region fördert die Zersetzung der *Lyngbya*. Auch technische Einrichtungen welche mit Druck die Aerotope kollabieren lassen, sind geeignet die aufrahmenden Cyanobakterien zu zerstören. Allerdings werden beim Zelltod die Toxine erst frei und bleiben ausserhalb des Körpers wochenlang aktiv [Menday & Buck 1972].

### **Beantwortung der Expertenfragen:**

- welche Arten wurden in den jeweiligen Seen beobachtet?

Die Problemalgen im Hallwilersee und Rotsee gehören ganz unterschiedlichen Gruppen an. Im Hallwilersee sind es Dinoflagellaten: *Peridinium inconspicuum* (*umbonatum*- Gruppe), *Peridiniopsis elpatiewskyi* und *Gymnodinium* spp.; im Rotsee ist es eine *Lyngbya*, die je nach Literatur als *L. birgei* oder *L. robusta* bzw. *L. wollei* bezeichnet wird. Diese Art ist eingeschleppt worden.

- wie kam es zur Algenblüte, warum Hallwilersee und Rotsee, warum nicht Sempachersee und Baldeggersee?

Kleinere mesotrophe bis eutrophe Gewässer sind für Gründer-Arten, welche hier Fuss fassen, besser geeignet als grosse Systeme. Sie können die andern Formen schneller dominieren. Der euphotische benthale Litoralraum ist im schmalen Rotsee viel wichtiger als in einem See mit mächtigem Pelagial. Die „Krötenhäute“ stammen aus der euphotischen Benthoszone der Seen. Die aufsteigenden Algen werden nur wenig verdünnt. Die Baum-geschützten Uferzonen am Rotsee bewahren die Algenblüten vor UV- Licht.

Die Dinoflagellaten waren in ähnlicher Grössenordnung auch im Baldeggersee vorhanden, ohne dort aufzufallen.

Der Hallwilersee weist steile Seitenufer und relativ flache Ufer am südlichen und nördlichen Ende auf. Im Flachufer können mehr Dauerformen keimen. Die Häufung der Dinophyceen im südlichen Teil des Hallwilersees kann auf windverfrachtete Dauersporen aus früheren Zeiten zurückgeführt werden. Dinoflagellaten, welche vom Sediment aufsteigen sind dort häufig, wo der See nicht zu tief ist. Im Flachufer kommen mehr Weck- Impulse zu den Zysten als in der Tiefe.

Bei den Dinophyceen gelten auch grössere Seen als typische Lebensräume; der Baldeggersee weist die gleichen Arten auf wie der Hallwilersee. Aufgrund des Auftretens von Dinoblüten wird vermutet, dass Abwasser (bzw. Harnstoff) das Wachstum von Dinoflagellaten fördert (Glibert & Terlizzi, 1999). Die vermehrte Zufuhr solcher Substanzen durch Regenüberläufe im Juli- September 2007 könnte mitentscheidend gewesen sein, dass in mehreren Seen hohe Dinoflagellatenbestände beobachtet wurden.

- Zusammenhang zu Nährstoffsituation und Nährstoffverhältnisse (P/N)?

Die chemische Analytik gibt keine Hinweise auf veränderte Bedingungen in der Bucht bei Mosen gegenüber dem zentralen Seebecken im Hallwilersee. Eine leichte Erhöhung der P-Gehalte könnte auf die Zufuhr aufgrund heftiger Regenfälle (Ausschwemmung von Abwasser und vermehrte Erosion) zurückgeführt werden, welche primär die unmittelbare Umgebung im Zuflussbereich der Bäche beeinflusst.

- muss in den kommenden Jahren bei ähnlicher Ausgangslage wieder mit derartigen Algenblüten gerechnet werden?

Ja, zumal die Formen wiederum Zysten gebildet haben oder noch im Benthos leben.

- Vorschläge, was für ein Frühwarnsystem hinsichtlich der Massenvermehrung von Cyanobakterien (Blualgen) und deren möglichen Folgen (Toxinfreisetzung, Fischsterben) beachtet werden muss.

Die monatliche Analyse des Planktons und die aufmerksame Beobachtung der Seeoberfläche durch Schiffahrt und Fischer können genug früh eine Massenvermehrung anzeigen. Die zusätzliche Analyse von Proben sollte den Verlauf dokumentieren. Gefahr droht insbesondere, wenn sich eine Massenfaltung an der Oberfläche durch Einwirkung von Aussen auflöst. Die Analyse der Toxine sollte durch ein spezialisiertes Labor erfolgen. Die jetzigen Tests sind nicht vollständig und decken insbesondere die dermatologischen Befunde nicht ab.

### **Literatur:**

Abal, EG. 2001: Managing the Brisbane River and Moreton Bay: an integrated research/management program to reduce impacts on an Australian estuary. Water Science and Technol. **43**(9), 57-70.

Bourelly, P. 1970: Les Algues d'eau douce, Tom III, Les algues bleues et rouges. Editions N. Boubée & Cie, Paris.

Burns, J. 2004: Blue-Green Algae *Lyngbya wollei*: Organism and toxin monitoring and evaluation. Report PBS&J, Florida Dept. of Health.

Carmichael, WW., WR. Evans, QQ. Yin, P. Bell and E. Moczydlowski, 1997: Evidence for paralytic shellfish poisons in the freshwater cyanobacterium *Lyngbya wollei* (Farlow ex Gomont) comb. nov.; Appl. environ. Microbiol. **63** (8), 3104-3110.

Doyle, R.D. & Smart, R.M.; 1998: Competitive reduction of noxious *Lyngbya wollei* mats by rooted aquatic plants. Aquatic Botany, **61** (1), 17-32.

Patricia M. Glibert<sup>1\*</sup> and Daniel E. Terlizzi, 1999: Cooccurrence of Elevated Urea Levels and Dinoflagellate Blooms in Temperate Estuarine Aquaculture Ponds. Appl Environ Microbiol. **65**(12): 5594–5596<sup>‡</sup>

Huber-Pestalozzi, G., 1968: Das Phytoplankton des Süßwassers Teil 3 in: Elster, H.-J. & Ohle, W. (Eds.) Die Binnengewässer, Vol **16**

Komarek, Jiri and Raroslava Komarkova-Legnerova (2007): Several rare freshwater planktic Cyanobacteria (Cyanoprokaryotes) from reservoirs in South America. Hoehnea, **34** (1), 49-58.

Menday, D.C. & Buck, A.A., 1972: A shock-wave technique to collapse the vacuoles of blue-green algae. Water Research, **6**(3), 279-284.

Popovsky, J & Pfiester, L.A. 1990: Dinophyceae in: Ettl, H., J. Gerloff, H. Heynig, D. Mollenhauer (Eds.) Süßwasserflora von Mitteleuropa vol **6**.

Speziale, Barbara, J. & L.A. Dyck, 1992: *Lyngbya* infestations: Comparative Taxonomy of *Lyngbya wollei* comb. nov. (Cyanobacteria). J. Phycology **28**(5), 693-706

Trimbee, Annette, M. & G.P. Harris, 1984: Phytoplankton population dynamics of a small reservoir: use of sedimentation traps to quantify the loss of diatoms and recruitment of summer bloom-forming blue-green algae. Journal of Plankton Research, **6**, 897-918.

Dübendorf, 30. Nov. 2007

Sachbearbeiter:

Direktion EAWAG

Dr. HR. Bürgi

Limnologe

## Anhang: Planktondaten 2007

### Rotsee 2007 Phytoplankton Biomasse in g/m<sup>2</sup>

Zusammenfassung	CYANO.	CHRYSO.	ZENTR. DIATO.	PENNATE DIATO.	DINO.	CRYPTO.	CHLORO.	CONJUG.	EUGLENO.	DIVERSE FORMEN	KOL-SUMME
26. 3.2007	0.0072	7.1688	0.2700	0.3427	5.1840	23.6268	0.3194	0.2528	0.0000	0.0000	37.1717
20. 9.2007	24.6780	1.6788	5.1768	1.9867	1.0778	5.9916	3.6158	0.0111	0.0244	0.0000	44.2410
26. 9.2007	28.3891	1.8347	6.8160	3.3449	0.6528	2.1696	1.7995	0.0124	0.0000	0.0000	45.0189
3.10.2007	16.9002	1.1304	4.0434	11.2805	1.1328	5.6911	15.4500	0.0044	0.4686	0.0000	56.1014
11.10.2007	11.5008	1.3051	0.5987	9.7272	0.6274	4.1160	1.1585	0.0053	0.0106	0.0000	29.0495
24.10.2007	8.8056	1.5586	0.1813	1.8951	0.2388	5.4156	6.6648	0.3858	0.5362	0.0000	25.6818
MITTEL	13.0202	3.9467	2.7471	2.0475	2.7425	13.1567	2.5667	0.1236	0.0441	0.0000	40.3952
PROZENT	32.23	9.77	6.80	5.07	6.79	32.57	6.35	0.31	0.11	0.00	

### - Rotsee 2007 Crustaceen Biomasse in g/m<sup>2</sup>

Zusammenfassung	HERBIV. PHYLLLO.	CARNIV. PHYLLLO.	HERBIV. COPEP.	CARNIV. COPEP.	DIPTEREN	HERBIV. CRUST.	.CARNIV. CRUST.	Diaphano. Summe	Thermo-cyclops
20. 9.2007	19.3615	0.0000	0.7384	1.9806	98.2800	20.0999	1.9806	4.5840	0.
26. 9.2007	18.6418	0.0000	0.7621	1.3002	43.2000	19.4039	1.3002	4.4040	0.
3.10.2007	19.6812	0.0000	1.1584	1.7502	10.8000	20.8396	1.7502	1.2960	0.
11.10.2007	13.1409	0.0000	0.8929	0.9977	69.1200	14.0338	0.9977	2.0280	0.
24.10.2007	55.3760	0.0864	1.4697	2.9907	18.3600	56.8457	3.0771	1.4040	0.
MITTEL	24.2585	0.0165	1.0231	1.6893	44.1688	25.2816	1.7058	2.4270	0.0

### Hallwilersee 2007 Phytoplankton Biomasse in g/m<sup>2</sup>

Zusammenfassung	CYANO.	CHRYSO.	ZENTR. DIATO.	PENNATE DIATO.	DINO.	CRYPTO.	CHLORO.	CONJUG.	EUGLENO.	DIVERSE FORMEN	KOL-SUMME
10. 1.2007	32.8583	0.6380	0.2700	0.0083	0.2218	0.4306	0.0000	0.0421	0.0000	0.0000	34.4692
21. 2.2007	31.1389	0.4320	0.0089	0.1945	0.1240	0.2491	0.0494	0.0719	0.0000	0.0000	32.2686
28. 3.2007	66.6640	1.2019	0.0111	0.6385	0.3432	1.4847	0.0000	0.0366	0.0000	0.0000	70.3801
20. 4.2007	69.4174	1.1930	0.5239	2.5446	1.1089	1.2714	0.0309	0.0175	0.0000	0.0000	76.1076
23. 5.2007	42.8355	2.3062	0.0084	5.1022	1.2909	1.5671	0.4360	0.1061	0.0000	0.0000	53.6525
20. 6.2007	23.6600	2.4999	0.0750	0.0572	5.8617	1.0145	1.1054	0.7801	0.0000	0.0000	35.0539
18. 7.2007	24.6028	1.4352	0.0140	0.9736	5.9449	1.5668	5.8901	0.4616	0.0000	0.0000	40.8891
15. 8.2007	15.5837	2.5303	0.0435	0.0577	3.7739	1.5262	3.2829	0.3871	0.0000	0.0000	27.1854
12. 9.2007	15.5851	2.2797	0.7735	0.8980	8.0314	7.9924	11.6588	0.2766	0.0000	0.0000	47.4955
MITTEL	37.0538	1.5575	0.1461	1.2086	2.6061	1.5183	1.9065	0.2364	0.0000	0.0000	46.2333
PROZENT	80.15	3.37	0.32	2.61	5.64	3.28	4.12	0.51	0.00	0.00	

### PHYTOPLANKTON Hallwilersee Mosen Biomasse g/m<sup>2</sup>

Zusammenfassung	CYANO.	CHRYSO.	ZENTR. DIATO.	PENNATE DIATO.	DINO.	CRYPTO.	CHLORO.	CONJUG.	EUGLENO.	DIVERSE FORMEN	KOL-SUMME
18. 7.2007	34.7087	1.5800	0.0035	1.2953	10.4611	3.1292	2.7644	0.3434	0.0000	0.0000	54.2856
15. 8.2007	21.0587	2.0076	0.0000	0.0341	4.1535	0.8464	2.1627	0.5326	0.0000	0.0000	30.7957
12. 9.2007	10.1408	4.8696	0.2015	0.1669	4.6657	5.7915	0.5628	0.3686	0.0000	0.0000	26.7674
MITTEL	21.7417	2.6162	0.0512	0.3826	5.8585	2.6534	1.9132	0.4443	0.0000	0.0000	35.6611
PROZENT	60.97	7.34	0.14	1.07	16.43	7.44	5.36	1.25	0.00	0.00	

### Crustaceenbiomasse Hallwilersee

Zusammenfassung	HERBIV. PHYLLLO.	CARNIV. PHYLLLO.	HERBIV. COPEP.	CARNIV. COPEP.	DIPTEREN	HERBIV. CRUST.	.CARNIV. CRUST.
10. 1.2007	43.3406	0.0000	1.9030	1.2813	1.2150	45.2437	1.2813
21. 2.2007	51.0734	0.0000	1.5193	2.4967	6.4800	52.5927	2.4967
28. 3.2007	6.9755	0.0000	4.4550	1.5804	0.0000	11.4305	1.5804
20. 4.2007	21.1208	0.0000	6.4627	2.5936	0.0000	27.5834	2.5936
23. 5.2007	71.3898	0.0000	4.8011	10.3853	7.6950	76.1908	10.3853
20. 6.2007	124.3670	27.7290	6.4881	19.8887	32.4000	130.8550	47.6176
18. 7.2007	135.9220	22.1220	3.6790	24.2417	18.6300	139.6010	46.3637
15. 8.2007	42.8557	12.1500	2.6809	14.9544	29.5650	45.5367	27.1044
MITTEL	63.2977	7.2163	4.0426	9.2315	10.8407	67.3404	16.4478
PROZENT	35.32	4.03	2.26	5.15	6.05	37.57	9.18

### Phytoplankton Baldeggersee Biomasse g/m<sup>2</sup>

Zusammenfassung	CYANO.	CHRYSO.	ZENTR. DIATO.	PENNATE DIATO.	DINO.	CRYPTO.	CHLORO.	CONJUG.	EUGLENO.	DIVERSE FORMEN	KOL-SUMME
15. 1.2007	21.4200	1.2805	0.0050	0.0107	0.6063	0.4033	1.0603	0.0477	0.0004	0.0000	24.8342
12. 2.2007	11.7810	1.5540	0.3468	0.0583	0.1785	0.5064	0.7697	0.0273	0.0004	0.0000	15.2223
12. 3.2007	29.8620	2.4559	0.3598	0.2595	0.4457	1.8990	0.1626	0.0354	0.0000	0.0000	35.4800
10. 4.2007	31.2060	1.6603	1.2203	10.3276	1.4610	1.8420	1.0429	0.2074	0.0000	0.0000	48.9674
10. 5.2007	58.1700	0.8446	0.0418	1.4175	0.5715	1.4790	0.1974	0.2613	0.0004	0.0000	62.9835
4. 6.2007	28.6650	0.9952	0.1391	10.1430	2.6805	3.0762	0.7889	0.1244	0.0000	0.0000	46.6123
2. 7.2007	32.2509	4.7640	7.6050	0.7248	5.0040	9.0300	6.9921	1.1930	0.0023	0.0000	67.5662
27. 8.2007	63.3660	2.3430	0.8625	0.3025	28.0951	6.9330	3.1438	0.5794	0.0047	0.0000	105.6301
24. 9.2007	56.4301	5.5950	2.3446	1.5240	6.5528	2.4750	4.6930	5.0058	0.0000	0.0000	84.6204
MITTEL	37.9628	2.4081	1.7830	2.7226	6.4998	3.7920	2.3395	0.6491	0.0013	0.0000	58.1581
PROZENT	65.28	4.14	3.07	4.68	11.18	6.52	4.02	1.12	0.00	0.00	

PHYTOPLANKTON Sempachersee Biomasse g/m<sup>2</sup>

Zusammenfassung +Mittelwertbildung zeitl.gewichtet											
	CYANO.	CHRYSO.	ZENTR. DIATO.	PENNATE DIATO.	DINO.	CRYPTO.	CHLORO	CONJUG.	EUGLENO.	DIVERSE FORMEN	KOL-SUMME
8. 1.2007	0.5355	0.6502	0.1554	0.3957	0.4749	2.1339	0.2324	0.2306	0.0004	0.0000	4.8089
5. 2.2007	0.0882	0.6273	0.6066	0.4861	0.1791	1.5976	0.5354	0.1163	0.0004	0.0000	4.2371
6. 3.2007	0.3570	1.1415	2.1489	0.0715	0.4485	4.7865	0.0850	0.1583	0.0000	0.0000	9.1972
2. 4.2007	0.5355	4.5507	0.1231	0.0893	3.0765	57.0240	0.3164	0.0143	0.0000	0.0000	65.7299
30. 4.2007	0.6195	2.4616	0.7551	0.1479	3.2940	19.1710	0.2720	0.0067	0.0000	0.0000	26.7279
30. 5.2007	11.1000	9.8432	0.5100	0.1004	0.8205	1.1298	0.2463	0.0119	0.0000	0.0000	23.7621
25. 6.2007	0.5355	4.3599	2.8005	0.2128	1.1100	2.0191	1.6452	1.2006	0.0000	0.0000	13.8836
16. 7.2007	1.5078	6.1923	0.4030	1.1826	7.4034	2.3220	1.0320	0.1216	0.0000	0.0000	20.1648
MITTEL	2.0736	3.6961	1.0013	0.2559	1.7526	12.8942	0.4967	0.2190	0.0001	0.0000	22.3895
PROZENT	9.26	16.51	4.47	1.14	7.83	57.59	2.22	0.98	0.00	0.00	

MIKROZOOPANKTON -BIOMASSE Rotsee g/m<sup>2</sup> 0-12m

Zusammenfassung +Mittelwertbildung zeitl.gewichtet				
	PROTOZOA	HERBIVORE	CARNIVORE	KOL-SUMME
		ROTATORIA	ROTATORIA	
26. 3.2007	6.0562	2.1720	0.0000	8.2282
20. 9.2007	1.9872	0.9936	0.0000	2.9808
26. 9.2007	1.6200	0.6672	0.0000	2.2872
3.10.2007	2.6117	0.6768	0.0000	3.2885
11.10.2007	4.5365	0.6960	0.4320	5.6645
24.10.2007	2.9969	0.0000	0.0000	2.9969
MITTEL	3.8634	1.4219	0.0214	5.3067
PROZENT	72.80	26.79	0.40	

MIKROZOOPANKTON -BIOMASSE Hallwilersee Mosen g/m<sup>2</sup> 0-13m

Zusammenfassung +Mittelwertbildung zeitl.gewichtet				
	PROTOZOA	HERBIVORE	CARNIVORE	KOL-SUMME
		ROTATORIA	ROTATORIA	
18. 7.2007	4.2445	0.9438	0.4680	5.6563
15. 8.2007	4.1587	2.0774	1.1700	7.4061
12. 9.2007	2.4529	1.4664	0.0000	3.9193
MITTEL	3.7537	1.6413	0.7020	6.0970
PROZENT	61.57	26.92	11.51	

MIKROZOOPANKTON -BIOMASSE Baldeggersee g/m<sup>2</sup> 0-15m

Zusammenfassung +Mittelwertbildung zeitl.gewichtet				
	PROTOZOA	HERBIVORE	CARNIVORE	KOL-SUMME
		ROTATORIA	ROTATORIA	
15. 1.2007	0.8490	0.4260	0.0000	1.2750
12. 2.2007	2.0427	0.7860	0.0000	2.8287
12. 3.2007	1.5180	0.4290	0.0000	1.9470
10. 4.2007	2.4768	0.7440	0.3900	3.6108
10. 5.2007	0.6195	0.5730	0.2700	1.4625
4. 6.2007	1.3014	0.9720	0.0000	2.2734
2. 7.2007	5.9730	2.3280	2.1600	10.4610
27. 8.2007	1.7940	1.2060	0.0000	3.0000
24. 9.2007	3.6603	2.1750	0.0000	5.8353
MITTEL	2.4381	1.1212	0.4351	3.9944
PROZENT	61.04	28.07	10.89	

MIKROZOOPANKTON -BIOMASSE Hallwilersee g/m<sup>2</sup> 0-13m

Zusammenfassung +Mittelwertbildung zeitl.gewichtet				
	PROTOZOA	HERBIVORE	CARNIVORE	KOL-SUMME
		ROTATORIA	ROTATORIA	
10. 1.2007	0.5044	0.2574	0.0000	0.7618
21. 2.2007	0.2236	0.0858	0.0000	0.3094
28. 3.2007	0.8300	0.6552	0.2340	1.7192
20. 4.2007	2.1947	0.8632	0.0000	3.0579
23. 5.2007	5.6118	0.4160	0.0000	6.0278
20. 6.2007	7.6326	1.3312	0.0000	8.9638
18. 7.2007	3.6755	1.0322	1.1700	5.8777
15. 8.2007	3.5420	1.1206	0.7020	5.3646
MITTEL	2.9590	0.6748	0.2275	3.8613
PROZENT	76.63	17.48	5.89	

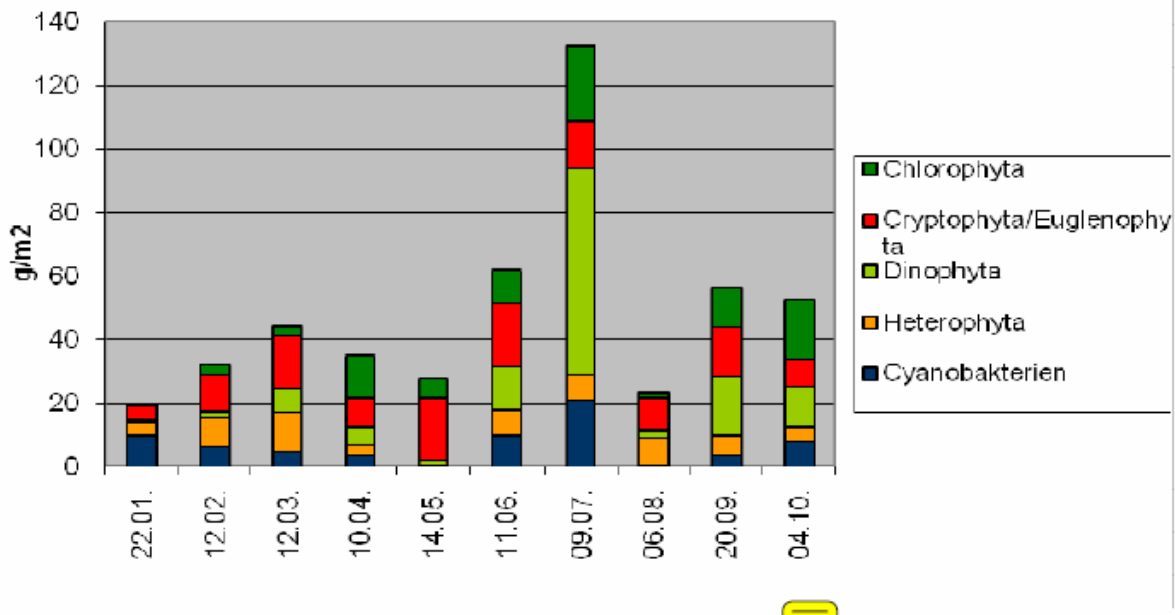
CRUSTACEENPLANKTON Sempachersee Biomasse g/m<sup>2</sup> NG

Zusammenfassung +Mittelwertbildung zeitl.gewichtet				
	HERBIV. PHYLLO.	CARNIV. PHYLLO.	HERBIV. COPEP.	CARNIV. COPEP.
8. 1.2007	9.1283	0.0000	8.5242	22.0000
5. 2.2007	15.8295	0.0000	10.7502	9.0267
6. 3.2007	2.1589	0.0000	5.6043	4.1315
2. 4.2007	9.1866	0.0000	26.7132	18.6913
30. 4.2007	38.0603	0.0000	20.1294	41.7090
30. 5.2007	128.0306	0.0000	13.4677	42.8928
25. 6.2007	131.7233	21.5700	11.3052	32.1607
16. 7.2007	65.6443	49.4500	6.5579	35.0423
20. 8.2007	154.4111	10.8000	10.6660	21.0974
17. 9.2007	122.0175	12.9360	12.3929	12.4507
MITTEL	67.8030	9.5746	12.8447	24.5423

MIKROZOOPLANKTON -BIOMASSE Sempachersee g/m2 0-15m

Zusammenfassung +Mittelwertbildung zeitl.gewichtet

	PROTOZOA	HERBIVORE ROTATORIA	CARNIVORE ROTATORIA	KOL-SUMME
8. 1.2007	0.6600	0.0870	0.0000	0.7470
5. 2.2007	1.3571	0.0000	0.0000	1.3571
6. 3.2007	1.1940	0.0000	0.0000	1.1940
2. 4.2007	4.6125	0.0000	0.0000	4.6125
30. 4.2007	2.2095	0.4920	0.0000	2.7015
30. 5.2007	1.8597	3.6840	0.0000	5.5437
25. 6.2007	3.2358	4.4250	7.8300	15.4908
16. 7.2007	3.6117	1.4130	0.0000	5.0247
<b>MITTEL</b>	<b>2.3191</b>	<b>1.2564</b>	<b>0.9736</b>	<b>4.5490</b>
<b>PROZENT</b>	<b>50.98</b>	<b>27.62</b>	<b>21.40</b>	



Phytoplankton -Biomasse Greifensee 2007 mit Dominanz von Dinoflagellaten im Juli (analog zu Hallwilersee)