

# Das Plankton zeigt die Gesundung des Hallwilersees

Arno Stöckli | Abteilung für Umwelt | 062 835 33 60

**Das Plankton – mikroskopisch kleine Lebewesen – sind ein wichtiger Indikator für den Zustand des Hallwilersees. Es nimmt eine zentrale Rolle im Ökosystem ein. Der Rückgang der Überdüngung mit Phosphor hat seine Zusammensetzung verändert. Biologisch gesehen kann der Hallwilersee heute wieder als mässig mit Nährstoffen belasteter See gelten. Lassen Sie sich von der Vielfalt und der Schönheit des Lebens in einem Tropfen Seewasser faszinieren.**

Während einer Schiffsfahrt auf dem Hallwilersee oder bei Spaziergängen entlang dem Ufer fällt dem Beobachter unterschiedlich klares Wasser auf. Trübung und Wasserfarbe entstehen in der Regel durch mikroskopisch kleine Lebewesen, welche im Wasser schweben. Fachleute sprechen vom Plankton, was im Altgriechischen «das Umherirrende» bedeutet. Diese Lebewesen werden mit den Wasserbewegungen mitgetrieben. Zudem vermögen sie sich durch verschiedenste Eigenschaften in Schwebelage zu halten. Abhängig davon, ob es sich um pflanzliche oder tierische Lebewesen handelt, spricht man von Phytoplankton oder Zooplankton. Dieser Beitrag soll die Vielfalt und die Schönheit des Planktons am Beispiel des Hallwilersees aufzeigen. Zudem geben Menge und Artenzusammensetzung wichtige Hinweise auf den Gesundheitszustand des Ökosystems See.

Phytoplankton, wie alle Pflanzen, braucht Licht und Nährstoffe zum Wachsen. Es vermehrt sich also in den hellen, oberflächlichen Wasserschichten. Dort bildet es die Nahrungsgrundlage für das Zooplankton, meist Kleinkrebse und Mückenlarven, aber auch urtümliche tierische Ein- oder Mehrzeller wie Wimpertiere oder Rädertiere. Vor allem für die im freien Wasser lebenden Felchen ist das Zooplankton die Hauptnahrung.

## Seezustand und Sanierungsmassnahmen

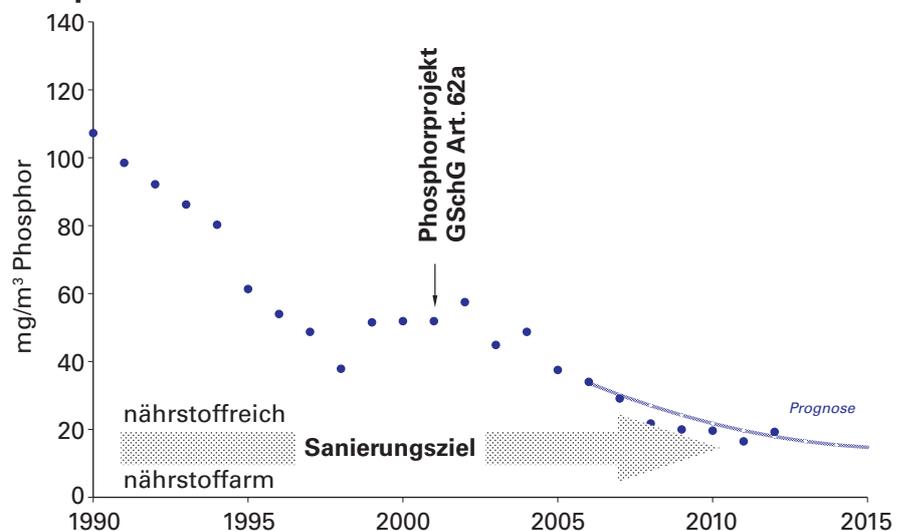
Bei den meisten Seen der gemässigten Klimazone ist Phosphor der das Wachstum limitierende Nährstoff. Die jahrzehntelange Überdüngung des Hallwilersees mit Phosphor aus Siedlungen und Landwirtschaft führte bis Mitte der 1970er-Jahre zu Massenentwicklungen von Phytoplankton. Das Wasser des Hallwilersees wurde trüb. Oft bildeten sich an der Wasseroberfläche unansehnliche Algenblüten. Für die Felchen im See hatte dies fatale Folgen. Fehlender Sauerstoff in der Tiefe schränkte ihren Lebensraum auf die obere erwärmte Wasserschicht ein. Die Veralgung und Verschlammung der Laich-

plätze in der Uferzone verhinderten eine natürliche Fortpflanzung der Felchen. Nur durch Erbrütung von Felcheneiern in Fischzuchten konnte ihr Bestand erhalten werden.

Systematische Untersuchungen des Planktons aus der frühen Überdüngungsphase fehlen. Bekannt ist aber, dass seit 1898 die Burgunderblutalge – eine rötlich gefärbte Blaualge – im Hallwilersee auftrat und häufig Algenblüten bildete. Bereits in den 1920er-Jahren ging der Felchenbestand zurück und im Tiefenwasser entstanden sauerstofflose, tote Zonen. Überraschenderweise verschwanden Burgunderblutalgen Anfang der 1960er-Jahre wieder.

Gemäss einer einmaligen Jahresuntersuchung des Phytoplanktons 1973 dominierten im Frühjahr Kieselalgen. Im Sommer wurde der See durch verschiedene Grünalgen sowie Jochalgen getrübt und ab August bis Dezember vermehrte sich eine Blaualgenart massenhaft. Giftig aussehende Algenblüten verfärbten die Seeoberfläche blaugrün. Gemäss einer weiteren Untersuchung im Jahr 1982 traten Burgunderblutalgen während einiger Monate im Sommer auf, je-

## Phosphorkonzentration



Die Phosphorkonzentration im See gilt als Leitindikator für den Zustand des Hallwilersees. Viel Phosphor führt zu übermässigem Algenwachstum.

## Sanierungsziele und Ist-Zustand Hallwilersee

Kriterien	Sanierungsziele	Situation 2012
Phosphorgehalt	10–20 Milligramm pro Kubikmeter	19 Milligramm pro Kubikmeter
Phosphorbelastung	2,5 Tonnen pro Jahr	2,5 Tonnen pro Jahr
Algenproduktion	mässig, wenig Burgunderblutalgen	weniger Burgunderblutalgen, weniger Algenblüten
Sauerstoffversorgung des Seegrunds	natürlicherweise ausreichend für Überleben von Würmern	Belüftung noch erforderlich im Sommer und Winter
Fortpflanzung der Felchen	Felcheneier können sich am Sediment entwickeln	vereinzelt natürliche Fortpflanzung möglich

Gewisse Sanierungsziele (Phosphorbelastung) wurden bis heute bereits erreicht.

doch ohne Algenblüten zu bilden. Die übrigen Algengruppen entwickelten sich hingegen ähnlich wie neun Jahre früher.

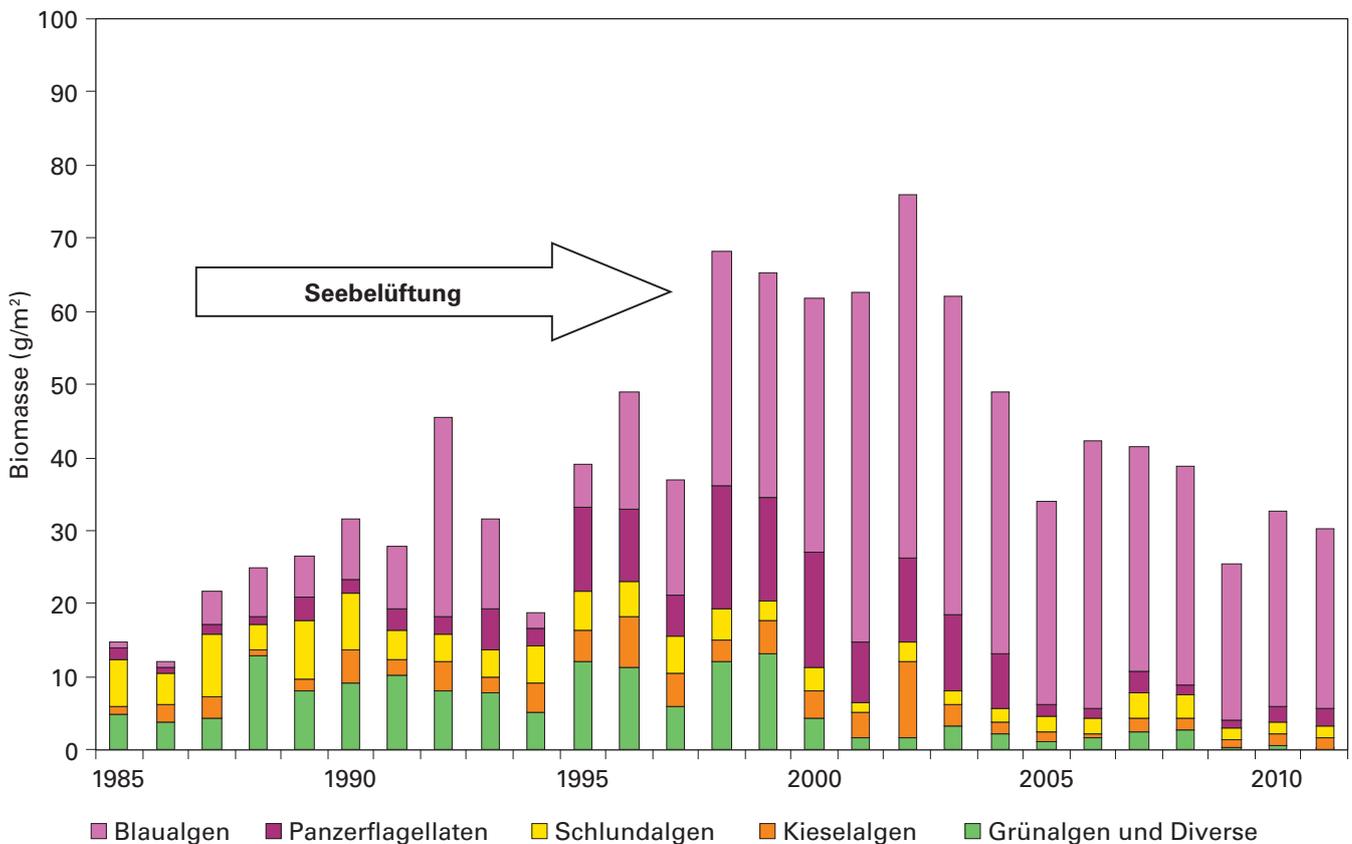
Die Trendwende beim Phosphorgehalt im Hallwilersee setzte 1975 ein, nachdem sich der Zustand des oben liegenden Baldeggersees zu bessern begann. Aus diesem stammt rund die Hälfte des Wassers des Hallwilersees. Der Bau von Abwasserreinigungsan-

lagen in den Kantonen Aargau und Luzern und später Massnahmen in der Landwirtschaft reduzierten bis heute die Phosphorbelastung auf ein für die nachhaltige Gesundheit des Hallwilersees erträgliches Mass. Der UMWELT-AARGAU-Artikel «Dem Hallwilersee geht es immer besser!», Nr.49, August 2010, berichtete ausführlich darüber. Der Phosphorgehalt des Hallwilersees liegt seit 2009 im

Bereich des Sanierungszieles von 10 bis 20 Milligramm Phosphor pro Kubikmeter Seewasser.

Als weitere Sanierungsmassnahme versorgt seit 1987 eine Seebelüftung den Hallwilersee künstlich mit Sauerstoff. Seither weist das Tiefenwasser genügend Sauerstoff auf, sodass Würmer wieder den ganzen Seegrund besiedeln. Somit haben auch die Felchen in ihrem gesamten Le-

## Hallwilersee Phytoplankton (0–13 m Tiefe)



Die Entwicklung des Phytoplanktons im Hallwilersee zeigt seit 1985 eine Zunahme der jährlichen Biomasse bis 2002. Seither nimmt die Algenbiomasse ab, da der abnehmende Phosphorgehalt des Sees das Algenwachstum begrenzt. Heute dominiert die Blaualge *Planktothrix rubescens* (Burgunderblutalge).

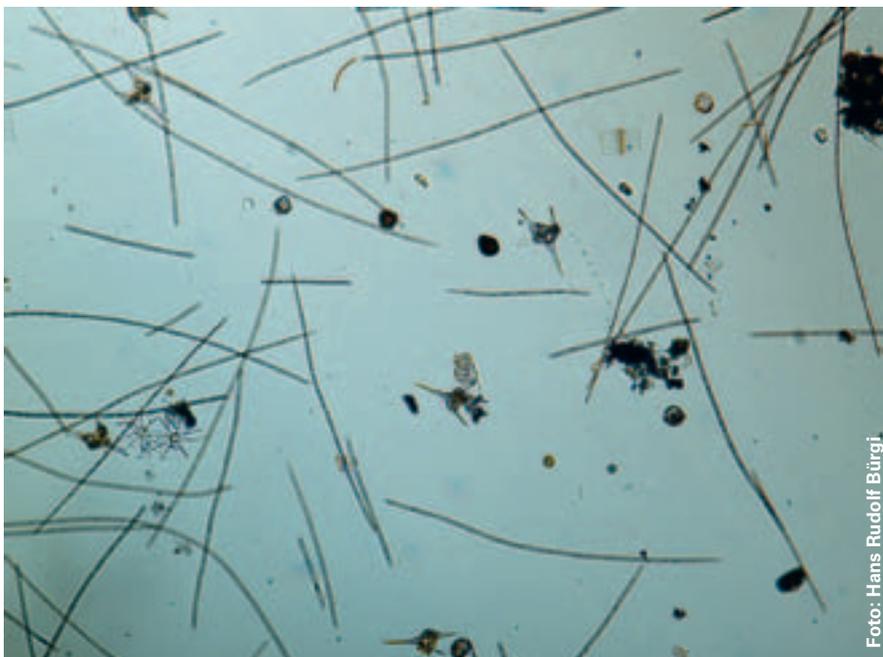


Foto: Hans Rudolf Bürgi

*Mikroskopische Übersicht des Hallwilersee-Planktons im Juli 2012: Die bis zwei Millimeter langen Fäden von Burgunderblutalgen dominieren. Daneben sind bizarre Panzerflagellaten und Kieselalgenkolonien sichtbar. Andere Algengruppen sind so klein, dass sie bei geringer Vergrösserung nicht auffallen. Vereinzelt sind Rädertiere und Wimpertiere sichtbar. Grössere Krebstiere sind hingegen selten.*

bensraum ausreichend Sauerstoff. Erste Anzeichen bestehen, dass auch ihre natürliche Fortpflanzung wieder möglich wird. Die Belüftung mit reinem Sauerstoff im Sommer muss wohl während einigen Jahren noch betrieben werden, da früher abgelagerte Sedimente noch immer viel Sauerstoff zehren. Auch die Zirkulationshilfe im Winter wird aber wegen der Klimaerwärmung langfristig in Betrieb bleiben müssen. Mit der erheblichen Reduktion der Phosphorbelastung hat auch die Algenproduktion im See abgenommen. Algenblüten der Burgunderblutalge treten nur noch im Spätwinter auf.

### Die Veränderung des Phytoplanktons

Mit dem Projekt Sanierung Hallwilersee wurde 1984 auch ein umfassendes Monitoring des Seezustandes beschlossen, um den Erfolg der seeinternen (Belüftung, Zirkulationshilfe) und seeexternen (Verminderung Dünggeeintrag) Massnahmen zu kontrollieren. Parallel zu den monatlichen chemischen Untersuchungen wird

auch das Plankton beprobt, da dessen Biomasse als indirekter Indikator für die Algenproduktion gut quantifizierbar ist. Die Bestimmung und Zählung erfolgt durch externe Spezialisten. Im Jahresverlauf werden im Hallwilersee zwischen 100 und 200 Arten von Phyto- und Zooplankton gezählt. Für einen Überblick über die Entwick-

lung sind die Arten des Phytoplanktons wie folgt zusammengefasst:

- Grünalgen und diverse
- Kieselalgen
- Schlundalgen
- Panzerflagellaten
- Blaualgen

Aufgrund wissenschaftlicher Kenntnisse wurde erwartet, dass die Algenproduktion und damit die Biomasse des Phytoplanktons bei weniger als 50 Milligramm Phosphor pro Kubikmeter abnimmt. Gemäss der Phosphorkurve wäre dies ab Mitte der 1990er-Jahre der Fall gewesen. Im Hallwilersee aber trat eine paradoxe, erst später verstandene Entwicklung ein. Trotz abnehmendem Phosphor nahm die Biomasse bis 2002 laufend zu. Als Folge musste der See gar mit mehr Sauerstoff belüftet werden.

Im Winter 1993 wurden seit vielen Jahren erstmals wieder Algenblüten von Burgunderblutalgen beobachtet. In den Folgejahren setzte sich diese **Blaualge** im Plankton immer mehr durch. Wie wir heute wissen, erlaubte ihr das im Sommer wegen den abnehmenden Nährstoffen klarere Wasser, sich in der Sprungschicht (Grenze zwischen warmem und kaltem Wasser) in 8 bis 15 Metern Tiefe einzuschichten. Die Alge braucht wenig Licht zum Wachsen und hat dort genügend Nährstoffe und wenig Konkurrenz durch andere Algen. Rückblickend kann diese Entwicklung als



Foto: Arno Stöckli

Algenblüte von Burgunderblutalgen am Ufer des Hallwilersees, März 2002

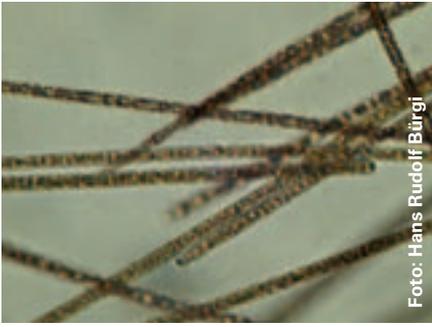


Foto: Hans Rudolf Bürgi

*Detailaufnahme dichter Fäden der Burgunderblutalge (Planktothrix rubescens). Der rote Farbstoff Phycoerythrin erlaubt diesen Blaualgen, bei geringem Licht im Winter oder im Sommer in der Sprungschicht zu wachsen. Mittels Gaseinschlüssen können sie ihre Dichte subtil regulieren.*



Foto: Hans Rudolf Bürgi

*Kleiner Panzerflagellat der Gattung Peridinium. Dauerstadien solcher Algen enthalten Öle als Energiereserve. Im August 2007 bildete sich aus diesen im südlichen Seeteil eine auffällige Algenblüte.*

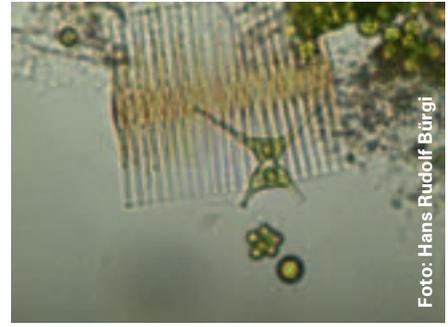


Foto: Hans Rudolf Bürgi

*Die Kieselalgenkolonie Fragilaria crotonensis überdeckt im Bild eine Jochalge der Gattung Staurastrum. Daneben befinden sich schwierig bestimmbare kokkale Grünalgen (ohne Geisseln).*

positives Zeichen der Gesundheit des Hallwilersees gedeutet werden, da in der ersten Hälfte des letzten Jahrhunderts Burgunderblutalgen ebenfalls dominierten und erst mit den stark ansteigenden Phosphorgehalten Anfang der 1960er-Jahre durch andere rascher wachsende Algen verdrängt wurden. Mit der Abnahme des Phosphorgehalts trat die Burgunderblutalge nun wieder auf und stellt einen Beleg für den Gesundungsprozess dar. Seit 2002 ist der Phosphorgehalt im Hallwilersee bereits so tief, dass die Algenbiomasse laufend abnimmt. Algenblüten treten im Winter und im Frühjahr zwar noch auf, jedoch mit geringerer Intensität und während kürzerer Zeit.

**Panzerflagellaten** – Einzeller mit zwei Geisseln zur Fortbewegung und oft mit panzerartigen Platten geschützt – fanden nur während neun Jahren, von 1995 bis 2004, optimale Bedingungen im See vor. Sie entwickeln sich vorwiegend im Herbst. Dann, wenn in den obersten Wasserschichten kaum mehr Phosphat verfügbar ist, können sie sich diesen Nährstoff dank ihrer Beweglichkeit in tieferen Zonen holen. Seit 2005 fehlt im Herbst Phosphat bis in so tiefe Zonen, dass sie sich nur noch beschränkt entwickeln können.

**Schlundalgen** – kleine Flagellaten – vermehren sich rasch, vor allem im Frühjahr, wenn genügend Nährstoffe verfügbar sind. Heute fehlt ihnen die-

se Ressource, da Burgunderblutalgen im Winter praktisch alles Phosphat aufbrauchen. In einzelnen Jahren können sie mit ihrem grossen Vermehrungspotenzial nach starken Niederschlägen von eingeschwemmten Nährstoffen profitieren.

**Kieselalgen** verfügen über zwei Schalenhälften aus Kieselsäure. Daher benötigen sie zusätzlich Silikat. Nur bei einer Massentwicklung von Kieselalgen kann dieser Nährstoff ihr Wachstum begrenzen. Heute fehlen noch Kieselalgenarten, welche phosphorarme Bedingungen im See anzeigen.

**Grünalgen** und diverse andere Algenklassen wie **Jochalgen** oder **Goldalgen** dominierten das Phytoplankton



Foto: Hans Rudolf Bürgi

*Hornalgen der Gattung Ceratium. Panzerflagellaten haben Geisseln, mit denen sie sich langsam durchs Wasser bewegen können. Sie bilden Dauerstadien, wodurch sie im Sediment lange auf günstige Wachstumsbedingungen warten können.*



Foto: Hans Rudolf Bürgi

*Die Kieselalge Asterionella formosa (Schwebesternchen) bildet eine sternförmige Kolonie von Einzelzellen. Sie kommt regelmässig auch in nährstoffreichen Seen vor.*



Foto: Hans Rudolf Bürgi

*Die Grünalge Pediastrum boryanum (Warziges Zackenrädchen) ist eine scheibenförmige Kolonie, deren Zellen sich synchron teilen. Diese Kolonie hat 32 Zellen. Beim nächsten Teilungsschritt entstehen 64 Zellen.*

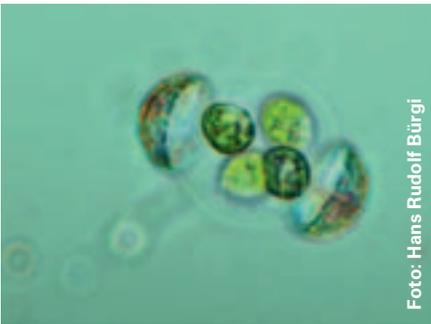


Foto: Hans Rudolf Bürgi

Die Zellen der Grünalgenart *Phacotus* sind sehr klein. Bei der Vermehrung entstehen aus der Mutterzelle vier Tochterzellen. Hier zerplatzt gerade die alte Zellwand und setzt die neuen Zellen frei.

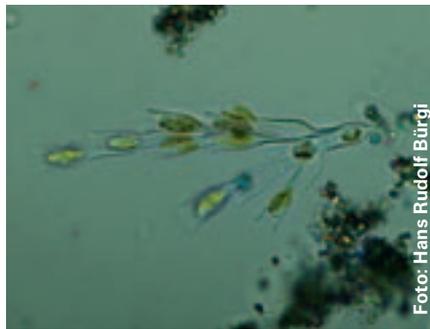


Foto: Hans Rudolf Bürgi

Eine Kolonie der Goldalge *Dinobryon*. Die baumartige Struktur der Zellgehäuse ergibt sich aus der fortgesetzten Teilung.

jeweils stark zur Biomasse bei. Wimpertiere und Rädertiere sind klein. Trotz hoher Vielfalt und Anzahl ist ihre Biomasse unbedeutend.

Die meisten **Blattfusskrebse** ernähren sich von Phytoplankton. Im übertragenen Sinn sind sie die Kühe auf der Weide, welche das Gras kurz halten. Sie filtern das Wasser durch Borsten an den Beinen. Von dort gelangen die Nahrungspartikel zum Mund. Arten der Gattungen *Daphnia* und *Bosmina* bezeichnet man als Wasserflöhe aufgrund ihrer ruckartigen Schwimmbewegung mit dem vergrößerten zweiten Antennenpaar. In einem Becherglas sind die bis zu drei Millimeter grossen, fast durchscheinenden Tiere von Auge sichtbar. Blattfusskrebse haben erstaunliche Vermehrungsstrategien: Sind die Nahrungsbedingungen gut, dann entwickeln sich nur Weibchen durch Jungfernzeugung. Verschlechtern sich die Bedingungen, dann werden auch Männchen gezeugt. Befruchtete Eier werden dann zu Dauereiern, welche am Seegrund bis zur folgenden Saison

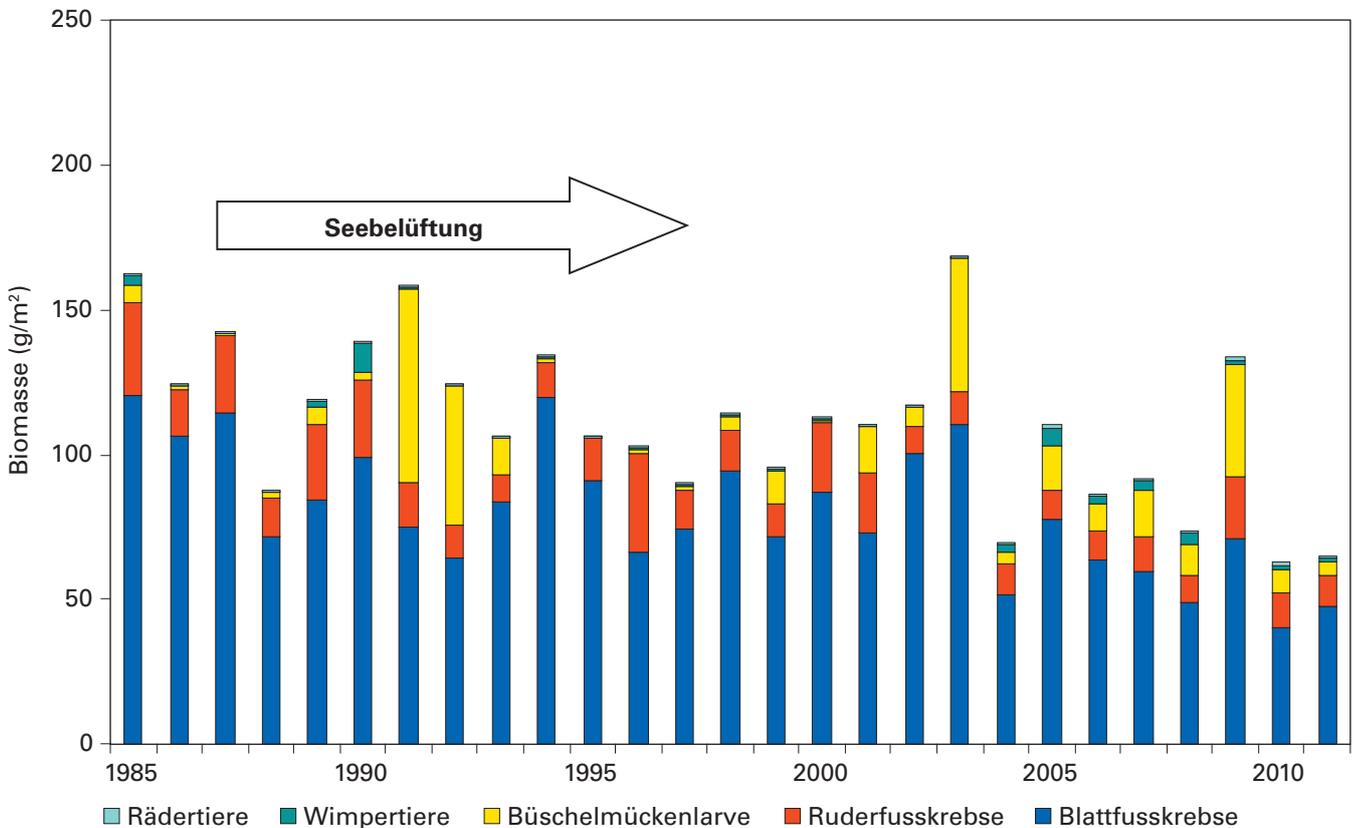
während der Phase der stärksten Überdüngung. Seit 2000 kommen sie zwar in einer breiten Vielfalt von Arten aber nur noch in geringen Dichten vor.

**Das Zooplankton ist die mittlere Ebene der Nahrungspyramide**

Im Gegensatz zum Phytoplankton hat sich beim Zooplankton während der letzten dreissig Jahre keine wesent-

liche Verschiebung der Artenzusammensetzung ergeben. Mengenmässig dominieren die Blattfusskrebse mit bis zu elf Arten. Runderfusskrebse mit bis zu acht Arten sind weniger häufig und machen höchstens 20 Prozent der Biomasse aus. Die Häufigkeit der Larve der Büschelmücke unterliegt von Jahr zu Jahr grossen Schwankungen. Wegen ihrer Länge von bis zu einem Zentimeter trägt sie

**Hallwilersee-Zooplankton (0–43 m Tiefe)**



Die Entwicklung des Zooplanktons im Hallwilersee zeigt während drei Jahrzehnten nur geringfügige Änderungen. Einzig Blattfusskrebse (vorwiegend Wasserflöhe der Gattung *Daphnia*) weisen abnehmende Biomassen auf. Burgunderblutalgen sind für sie eine schlechte Nahrung. Sie entwickeln sich im Frühjahr daher verzögert.



Foto: Hans Rudolf Bürgi

Wasserflöhe der Gattung *Daphnia* gehören zu den Blattfusskrebse. Ein transparenter Panzer bildet eine Körperhöhle. In dieser erzeugen zahlreiche Beinpaare eine Wasserströmung und filtrieren Algen als Nahrung aus dem Wasser.



Foto: Hans Rudolf Bürgi

Dieser Eier tragende Ruderfusskrebse der Gattung *Mesocyclops* lebt räuberisch von kleineren Krebsen. Sie werden als Hüpferlinge bezeichnet.



Foto: Hans Rudolf Bürgi

Das fast durchsichtige Rädertier *Asplanchna* verschlingt alles, was von seinem Schlund – dem Räderorgan – erfasst werden kann. Gut sichtbar in der Leibeshöhle sind auch Darm, Nahrungsreste und ein sich entwickelndes Ei.

überleben. Unter den Blattfusskrebse gibt es auch gefräßige Räuber, die es auf andere Kleinkrebse abgesehen haben. Sie haben lange Fangarme und sind fast durchsichtig, sodass sie von ihren Opfern nicht erkannt werden.

**Ruderfusskrebse** haben lange Antennen. Diese sind vor allem Sinnes- und Schwebeorgan. Im Gegensatz zu den Blattfusskrebse kommt ihre hüpfende Bewegung durch eine gleichzeitig ruckartige Bewegung der Beinpaare am Bauch zustande. Während ihrer Entwicklung durchlaufen sie mehrere Häutungen. Die ausgewachsenen Weibchen tragen die Eiballen am Hinterleib. Die Ruderfusskrebse strudeln sich die Nahrung zum Mund. Ausgewachsene Ruderfusskrebse leben teilweise räuberisch, vorwiegend von Wimpertieren, Rädertieren und ihren eigenen Jugendstadien.



Foto: Hans Rudolf Bürgi

Ruderfusskrebse der Gattung *Eudiaptomus* haben lange Antennen, mit denen sie sich im Wasser in Schwebe halten – daher ihre Bezeichnung Schwebkrebse.



Foto: Hans Rudolf Bürgi

Aus einem Jugendstadium – Nauplius – entsteht nach diversen Häutungen schliesslich ein ausgewachsener Ruderfusskrebse.



Foto: Hans Rudolf Bürgi

Die stachelartigen Körperfortsätze des Rädertiers *Keratella cochlearis* dienen dem Schutz vor Fressfeinden.

Insekten sind im Plankton von Seen kaum vertreten. Eine Ausnahme bildet die Larve der **Büschelmücke**. Sie verfügt über einen Fangapparat am Kopf und lebt räuberisch. Durch zwei Luftsäcke kann sie ihren Körper im Wasser ausbalancieren. Um sich vor Fischen zu schützen, sinkt sie während des Tages an den Seegrund oder in sauerstofflose Wasserzonen ab. In der Nacht hingegen steigt sie in Oberflächennähe, wo es viele Kleinkrebse zum Fressen hat.

**Rädertiere** gehören zu den Schlauchwürmern. Die Planktonarten sind meistens weniger als einen Millimeter gross. Sie haben ein Wimpernfeld am Kopf, das sogenannte Räderorgan, mit dem sie Nahrung herbeistrudeln. Die Zellen der Haut sind nicht durch Membranen getrennt und bilden einen Schlauch. Im Hallwilersee bilden sie eine artenreiche Gruppe des Zooplanktons mit rund einem Dutzend Gattungen.

**Wimpertiere** sind Einzeller, deren Oberfläche oft ganz mit Wimpern bedeckt ist. Ihre Nahrung nehmen sie durch Einstülpungen der Zellmembran im Bereich eines Mundfeldes auf. Im Zellinneren wird sie dann ver-



Foto: Hans Rudolf Bürgi

Wimpertiere – hier ein Vertreter der Gattung *Coleps* – sind Einzeller, deren Körperoberfläche mit Hunderten von Haaren bedeckt ist, die sich rhythmisch bewegen. Sie sind so fein, dass sie auf einem normalen Mikrofoto kaum erkennbar sind.

daut. Das sogenannte Pantoffeltierchen kennen die meisten vom Mikroskopieren in der Schule. Im Plankton findet man eine grosse Vielfalt. Je nach Art bewegen sie sich frei oder sitzen an grösseren Tieren oder Partikelansammlungen fest.

Für die Felchen, den wichtigsten Fisch im Hallwilersee, bildet das Zooplankton die Hauptnahrung. Das Zooplankton verwertet als mittlere Ebene der Nahrungspyramide die vom Phytoplankton aus dem Sonnenlicht gebundene Energie und stellt sie den räuberisch lebenden Tieren der obersten Stufen der Nahrungspyramide zur Verfügung.

**Wie reagiert das Plankton auf den Nährstoffrückgang?**

Phytoplankton kann in zweierlei Hinsicht auf Veränderungen des Nährstoffangebots reagieren – im Hallwilersee ausgelöst durch den Rückgang des Phosphorgehalts infolge der Sanierungsmassnahmen: durch Veränderung der Artenzusammensetzung

und durch Abnahme der Biomasse. Dies lässt sich anhand eines schematischen Konzeptes veranschaulichen, welches im Rahmen eines OECD-Kongresses über Seensanierung 1989 entwickelt wurde.

Solange ein Überangebot an frei verfügbarem mineralischem Phosphat im Wasser vorliegt, reagiert das Phytoplankton weder in der Zusammensetzung der Arten noch in der Biomasse auf eine Nährstoffreduktion. Im Hallwilersee war dies bis etwa 1991 der Fall (Phase 1).

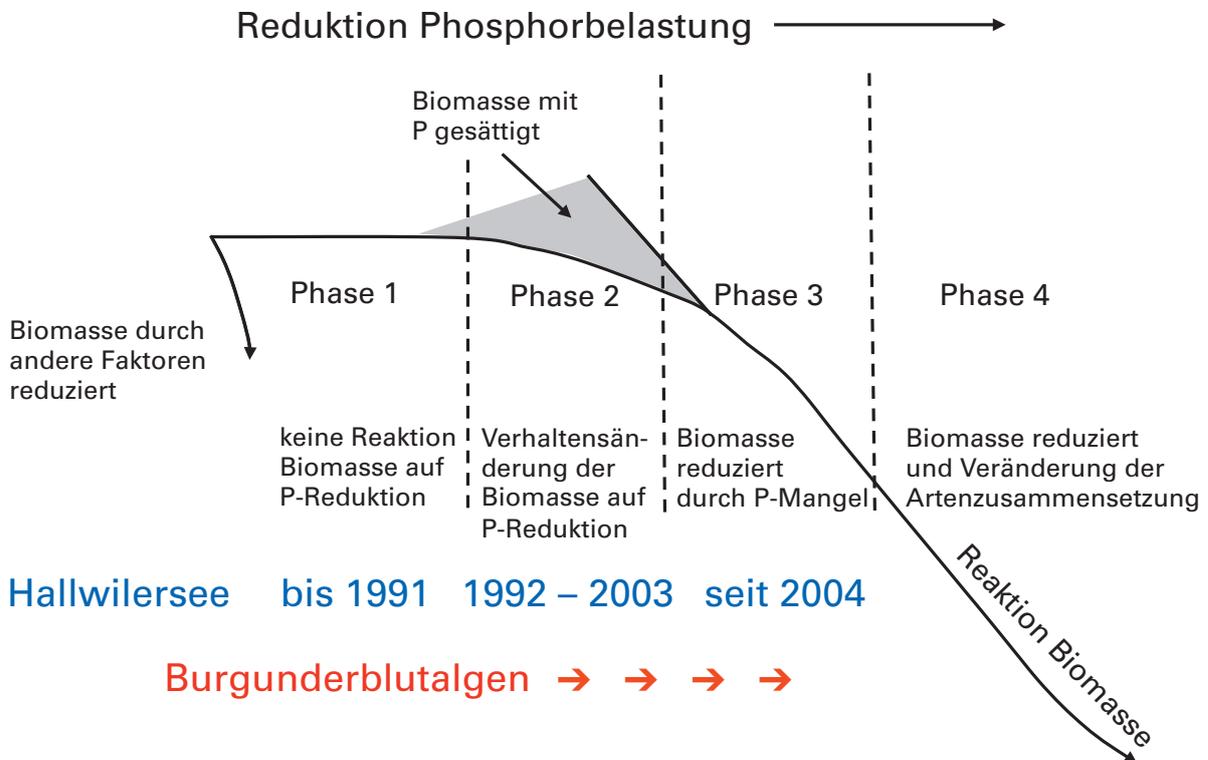
Wird Phosphat in den oberflächlichen Wasserschichten im Sommer zur Mangelware, so profitieren Algen, welche Phosphor im Zellinneren speichern können. Die Burgunderblutalge *Planktothrix rubescens* ist dazu besonders in der Lage. Schnell wachsendes Phytoplankton kann sich aus Nährstoffmangel nicht mehr vermehren und das Oberflächenwasser wird klar. Davon profitiert wiederum die langsam wachsende Burgunderblutalge, da sie sich im Sommer in



Foto: Patricia Stehlin

Das Zooplankton des Hallwilersees wird mit einem Netz, das vom Seegrund bis zur Oberfläche gezogen wird, angereichert und anschliessend untersucht.

## Einfluss der Phosphorreduktion auf die Algenentwicklung



Sas et al. (1989): Lake Restoration by Reduction of Nutrient Loading, Academia Verlag.

Der Zusammenhang zwischen Phosphorgehalt und Algenbiomasse in einem See ist nicht linear. Dieses konzeptuelle Schema lässt sich auch auf die Entwicklung des Phytoplanktons im Hallwilersee anwenden.

der Sprungschicht einschichten kann. Die Sprungschicht ist gekennzeichnet durch eine rasche Temperaturabnahme mit der Tiefe auf weniger als 10°C. Sie teilt die Wassermassen in zwei Schichten: das warme Oberflächen- und das kalte Tiefenwasser. Aufgrund ihres Vorteils, bei schwachem Licht wachsen zu können, vermehrt sich die Burgunderblutalge auch im Winter, sodass zudem im Frühjahr kaum mehr Phosphat für andere Algenarten zur Verfügung steht. So baute sich im Hallwilersee die Burgunderblutalge in den Jahren 1992 bis 2003 eine eindrückliche Dominanz auf (Phase 2). Burgunderblutalgen sinken durch ihre feine Regulation der Dichte kaum zum Seegrund ab. Da sie viel Phosphor speichern, lagert sich somit weniger in Algen gebundener Phosphor am

Seegrund ab. Dies ist sicher mit ein Grund, dass der Rückgang des Phosphors im See während der Jahre 1998 bis 2003 stagnierte. Seit 2004 war die Verfügbarkeit von gelöstem Phosphat im gesamten Wasserkörper des Hallwilersees so weit reduziert, dass die Burgunderblutalgen vorerst im Sommer, dann auch allmählich im Winter unter Nährstoffmangel litten. Nun nimmt deren Biomasse mit dem sich fortsetzenden Rückgang der Phosphorbelastung von Jahr zu Jahr ab (Phase 3).

Die letzte Phase, während der die Artenvielfalt unter knappen Nährstoffressourcen zunimmt, ist im Hallwilersee noch nicht erreicht. Burgunderblutalgen werden noch weitere Jahre die Zusammensetzung des Phytoplanktons prägen, aber immer weniger optisch in Erscheinung treten.

Das Zooplankton reagiert nur wenig auf die veränderte Zusammensetzung und Menge des Phytoplanktons. Es gibt zwar gewisse Verschiebungen innerhalb der Jahreszeiten, insgesamt bildet es aber weiterhin ausreichende Nahrungsgrundlage für die Felchen. Dies wird durch die seit vielen Jahren laufenden fischereibiologischen Untersuchungen bestätigt. Der Hallwilersee weist heute wieder einen Zustand auf wie vor rund hundert Jahren. Er gilt wieder als See mit einer mässigen Nährstoffbelastung. Das Ökosystem See reagiert in komplexer Weise aber nur langsam auf die veränderten Nährstoffressourcen. Die regelmässige Überwachung des Planktons bleibt daher weiterhin ein unerlässlicher Indikator für den Gesundheitszustand des Hallwilersees.



Foto: Patricia Stehlin

Während der Probenahme auf dem Hallwilersee wird Wasser für die Phytoplanktonuntersuchung in Flaschen abgefüllt.