Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 90 (1998)
Heft: 5-6

Artikel: 10 Jahre Seesanierung Hallwilersee : die Reaktion des Planktons
Autor: Bürgi, Hans Ruedi / Jolidon, Christa
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-939392

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: 02.10.2025

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

10 Jahre Seesanierung Hallwilersee Die Reaktion des Planktons

Hans Rudolf Bürgi und Christa Jolidon

Keywords: Oligotrophierung, Ökotechnologie, Plankton, Langzeitentwicklung

1. Einleitung

Erste Anzeichen einer Überdüngung wurden schon im ausgehenden letzten Jahrhundert beobachtet. Zeitgleich mit vielen andern Schweizer Seen traten mit der Einführung der Schwemmkanalisation Algenblüten auf. 1898 wurde eine erste Blüte der Burgunderblutalge *Oscillatoria rubescens* registriert. Schwefelwasserstoff im Sediment bzw. Tiefenwasser beeinträchtigte den Felchenbestand (Verlust der Laichgründe). Nachdem die Ursachen der Verschlechterung des Seezustandes und des damit verbundenen Rückgangs des Fischbestandes (insbesondere der Coregonen) seit der Jahrhundertwende in der Belastung durch Abwässer und dem Mangel an Sauerstoff erkannt worden waren *(Brutschy* und *Güntert,* 1923; *Keller,* 1945), wurden Gewässerschutzmassnahmen eingeleitet.

Die Sanierung des Hallwilersees erfolgte nun in drei Abschnitten: 1961 bis 1964 bauten die aargauischen Seetalgemeinden eine Gabelleitung, die das Abwasser aus dem aargauischen Teil des Seeneinzugsgebietes sammelte und in einer Kläranlage unterhalb des Sees (ARA Seengen) reinigte (*Baldinger,* 1957). Die für die damalige Zeit pionierhafte Anlage entlastete den See nach ihrer Inbetriebnahme (1963) und zeitigte insbesondere im Uferbereich deutliche Verbesserungen der hygienischen Situation. Nach einer kurzfristigen Abnahme der Nährstoffgehalte bis 1970 setzte eine erneute Eutrophierungsphase aus dem rund fünfmal grösseren luzernischen Einzugsgebiet mit dem oberliegenden Baldeggersee ein. Erst durch die gemeinsamen Anstrengungen beider Kantone konnte in einem zweiten Schritt der erneute Aufwärtstrend der Nährstofflast gebrochen werden. Durch externe Sanierungsmassnahmen im Einzugsgebiet des Hallwilersees (bzw. des oberliegenden Baldeggersees) mit fortschrittlichen Abwasserreinigungsanlagen mit hocheffizienter P-Elimination konnte die P-Konzentration gesenkt werden: Von rund 250 mg/m^3 (1980) wurde vor Beginn der seeinternen Massnahmen fast eine Halbierung auf 150 mg/m^3 (1985) erreicht. Um die Sanierung zu beschleunigen, wurden 1985/86 in einem dritten Sanierungspaket seeinterne Massnahmen (Unterstützung der Winterzirkulation und Sauerstoffbegasung in der Stagnationsphase) in Betrieb genommen (*Stöckli* und *Schmid,* 1987). Die Startphase dieser Massnahmen deckte sich zeitlich mit dem gesamtschweizerischen Verbot der P-haltigen Textilwaschmittel, welches nach 1986 wirksam wurde.

Mit der seeinternen Therapie, welche auf sanfter Ökotechnologie basiert, wurden zwei wesentliche Ziele verfolgt:

- *Verbesserung der Sauerstoffbedingungen, um den Phosphorrückhalt im Sediment zu erhöhen;*
- *Rückführung des Sees in ein aerob funktionierendes Ökosystem mit oxischem Tiefenwasser.*

Mit der Zufuhr von Sauerstoff in die Seetiefe wurde der Lebensraum sehr schnell erweitert und auch von Plankton und Nekton besiedelt. Die Rückeroberung des Seebodens als Lebensraum benötigte mehr Zeit und ging allmählich vor sich (*Stössel,* 1992). Nach der Rückkehr der bodenbewohnenden Insekten und Würmer konnte auch eine Veränderung der Beschaffenheit der obersten Sedimentschichten beobachtet werden. Sorgfältig erhobene Sedimentstiche zeigten eine fortschreitende Störung der Frischsedimente an, welche auf die Bioturbation der Organismen zurückgeführt wurde (*Akeret,* 1993; *Ambühl,* 1995). Die «schöne» Schichtablagerung, wie sie vor 1986 im Hallwilersee aufgrund des Wechselbades von oxischen Verhältnissen im Winter (helle Kalkschicht) und Faulschlammbildung im Sommer (dunkle Schicht: Kalk und organische Reste durch Eisensulfid schwarz eingefärbt) alljährlich entstand, wurde von einer bräunlich eingefärbten undeutlichen Varvenstruktur überdeckt, die die Jahresschichtung nur noch undeutlich erkennen liess. Allerdings zeugen schwarze Bänder immer noch von zeitweise ungenügenden Sauerstoffgehalten im Frischsediment. Die Sauerstoffzugabe im Tiefenwasser reichte bislang offenbar nicht aus, um auch das Sediment oxisch zu halten. Dies dürfte auch der Grund dafür sein, dass der P-Rückhalt im Sediment nicht wesentlich erhöht werden konnte. Die Störungen der Sedimentschichten durch wühlende Organismen sind einerseits als Zeichen einer Verbesserung zu werten, andererseits wird dadurch der Stoffaustausch durch die aufgelockerte und vergrösserte Oberfläche zwischen Sediment und Wasser vergrössert (Bild 1). Solange aus der

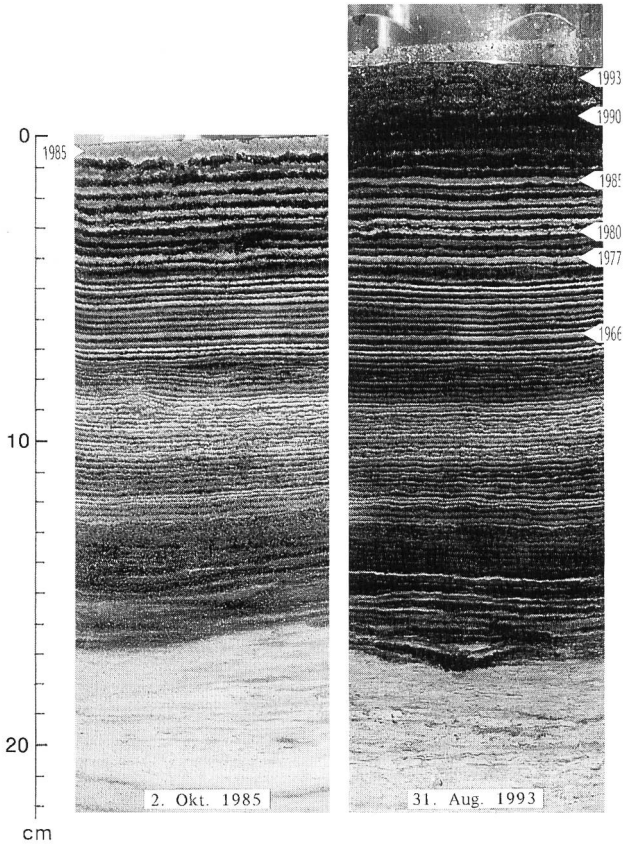


Bild 1. Die obersten 25 cm des Hallwilersee-Sedimentes im geschnittenen Sedimentstich. Gut erkennbar ist der Beginn der Eutrophierung vor rund 100 Jahren (Übergang von heller Seekreide zu Hell-Dunkel-Jahresschichten). Die schwarze Einfärbung des Sedimentes erfolgte immer im Sommer/Herbst, wenn der Sauerstoff im Sediment verbraucht war und gelöstes Sulfid und Eisen relativ stabiles Eisensulfid bildeten. Die Winter-/Frühjahresschichten blieben hell, sofern während der Zirkulationsphase wieder Sauerstoff an den Seeboden gelangte. Die leichte Tönung der hellen Schichten durch unterschiedliche Algenpigmente zeugt von der wechselnden Dominanz einzelner Phytoplanktonarten. Seit Beginn der internen Seesanierung (1986) sind die obersten Schichten durch Bioturbation zunehmend verwischt. Dokumentation: *H. Ambühl* (IAD 1995).

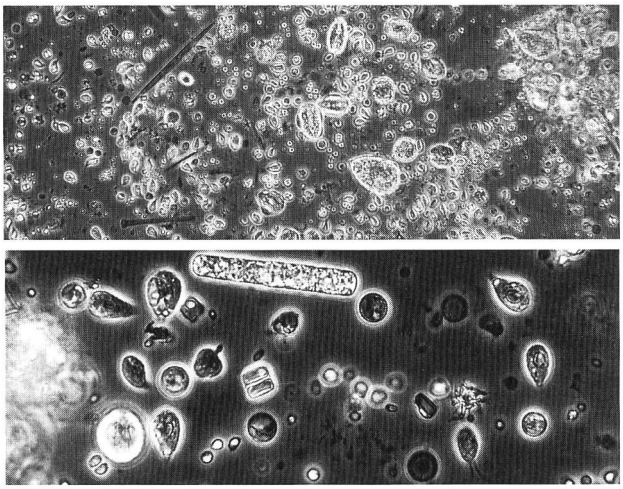


Bild 2. Mikrofotografie des pflanzlichen Planktons (Phytoplankton) im Hallwilersee, April 1987. Die kleinsten Formen (Zwergplankter) dominieren. Neben einzelnen Kieselalgen sind Schlundflagellaten und Panzerflagellaten vertreten. Bei stärkerer Vergrösserung (unten) sind zahlreiche Rhodomonas-Zellen (leicht gekrümmte Flagellaten) zu erkennen. Diese rund 0,01 mm langen Zellen sind die bevorzugte Futterquelle für die millimetergrossen filtrierenden Kleinkrebse des «Zooplanktons».

trophogenen Zone noch soviel abbaubares Material (mit inkorporierten Nährstoffen) wie heute absinkt, dürfte sich die Sedimentbeschaffenheit nicht grundlegend ändern. Die seeinternen Massnahmen können daher nur eine nachhaltige Wirkung erzielen, wenn es gelingt die Algenproduktion im See zu limitieren. Die Kontrolle der untersten Stufe der Nahrungspyramide kann durch bottom up (Limitierung der Nährstoffe) und durch top down (Maximierung der herbivoren Zooplankter bzw. Dezimierung deren Feinde) erfolgen. Für die Planktonbiologie brachte die seeinterne Therapie zusätzliche Impulse auf die Überdauerungsstadien und veränderte die vertikale Ausdehnung des Lebensraumes. Nach rund 10 Jahren Erfahrungen mit den seeinternen Sanierungsmassnahmen ist es an der Zeit, über die bisherigen Reaktionen des Planktons zu berichten, selbst dann, wenn – wie anzunehmen ist – die Entwicklung noch nicht abgeschlossen ist und keine stabile Klimaxgesellschaft etabliert ist.

Die vorliegende Arbeit soll die Entwicklung der Biologie (Plankton) im Hallwilersee seit Einführung der seeinternen Massnahmen in Relation zu einer Status-quo-ante-Untersuchung (1982, 1985) dokumentieren und die Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Gliedern der Nahrungskette aufzeigen.

2. Methodik

Der Hallwilersee wurde in der Nähe seiner tiefsten Stelle (ungestört von den Diffusoren) beprobt. Die Probenerhebung erfolgte in monatlichen bis vierzehntäglichen Intervallen mit summierenden Wasserschöpfern nach *Schroeder* (1969) bzw. mittels Schlauch von 0 bis 13 m für das Phytoplankton und die Mikrozooplankter.

Die Crustaceen wurden mit einer Kippnetzgarnitur (Bürgi, 1983) aus 0 bis 13 m und 13 bis 45 m mit insgesamt je sechs Netzzügen quantitativ erhoben und im Stereomikroskop mit 50- bis 75facher Vergrösserung gezählt.

Die Phytoplanktonproben wurden sofort mit Lugol'scher Lösung fixiert und in Röhrenverbundkammern im invertierten Mikroskop gezählt (*Utermöhl,* 1958).

Für die Zählung des Mikrozooplanktons wurden 500 ml aus der Phytoplanktonprobe (1 l Lugol-fixierte Summenprobe 0 bis 13 m) schonend filtriert (*Dodson* und *Thomas,* 1964) und in Röhrenverbundkammern angesetzt und anschliessend im Umkehr-Mikroskop gesamthaft gezählt.

Die Biomasse wurde bestimmt anhand der Zähldaten durch Multiplikation mit mittleren Zellvolumina unter Annahme einer spezifischen Dichte von 1,06 mit Hilfe von Computerprogrammen nach *H. Bührer* (unpubl.), welche den Auszug nach funktionellen Kriterien und systematischen Gruppen erlauben.

3. Resultate

3.1 Entwicklung des Phytoplanktons seit 1982

Die für die Algenentwicklung wesentlichen Faktoren (Licht, Nährstoffe, Temperatur) unterliegen insbesondere in den Oberflächenschichten der Seen jahreszyklischen Schwankungen. Da verschiedene Algenarten aufgrund artspezifischer Merkmale unterschiedliche Ansprüche an die Umgebungsfaktoren stellen, kommt es zu periodischen Veränderungen in der Planktonbiozönose. Eine Eigenheit des Planktons besteht im Umstand, dass es keine Reservation bzw. Besetzung des Raumes gibt, wie dies z.T. durch wurzelnde Pflanzen in terrestrischen Systemen möglich ist. Im Pelagial eines Sees hat es immer freien Platz für Neuankömmlinge. Die heftigen Wechselwirkungen mit höheren Gliedern der Nahrungspyramide sind im komplexen Wirkungsgefüge des Planktons sehr ausgeprägt.

Veränderungen in einem System, das sich einerseits durch Reduktion in der externen Belastung und zusätzlich durch interne Massnahmen im See selbst auszeichnet, können deshalb nicht kausal einer bestimmten Ursache zugeordnet werden. Die Überlagerung der Planktondynamik aufgrund der Saisonalität mit zusätzlichen saisonalen Impulsen der internen Massnahmen macht eine klare Zuordnung von Ursache und Wirkung schwierig. Die Effekte, welche sich unmittelbar nach Einführung der Massnahmen abzeichneten (also bevor die anderen trendmässigen Veränderungen voll durchschlagen konnten), sind mit einiger Sicherheit als Folgen der internen Seesanierung zu betrachten. Der Artenkatalog vor und nach Einführung der Massnahmen war deshalb der gleiche, das Verhalten und die saisonale Dynamik hingegen waren verschieden (Bild 2). Die Artenliste ist in *Bürgi* et al. (1985) für den Hallwilersee, Untersuchung 1982/83, enthalten.

Die Algen-Dynamik im Jahresablauf hat sich gegenüber der Periode ohne seeinterne Massnahmen insgesamt verändert (*Bürgi,* 1995). Das Frühjahresmaximum setzt erst gegen Ende April ein und dauert nur kurze Zeit. Bereits im Mai sorgen hohe Grazingverluste durch herbivore Crustaceen für ein mehr oder weniger deutliches Klarwasserstadium (*Bürgi* & *Stadelmann,* 1991).

Seit Inbetriebnahme der seeinternen Sanierungsmassnahmen im Hallwilersee haben sich im wesentlichen zwei grundlegende Entwicklungen im Plankton abgezeichnet:

1. Die Relation der kleinen Algen (Nannoplankter = Zwergplankter) zu den grossen Algen (Netzplankter genannt, da sie nicht durch die Maschen der Planktonnetze schlüpfen können) hat sich zugunsten der Netzplankter verschoben. Während die Zwergalgen zu Beginn der internen Sanierung noch über 50 % der gesamten Algenbiomasse ausmachten, sind sie in den letzten drei Jahren auf weniger als 25 % gesunken (Bild 3).

2. Als wichtigste Form unter den Blaualgen und sämtlichen Netzplanktern hat sich die Burgunderblutalge Oscillatoria rubescens erneut etabliert. Sie erreichte 1992/93 ein Maximum (Bild 4), ist aber auch aktuell in den neuesten Proben Winter 1997/98 wieder häufig vertreten.1898 trat erstmals die Burgunderblutalge in Massen auf (*Baldinger,*

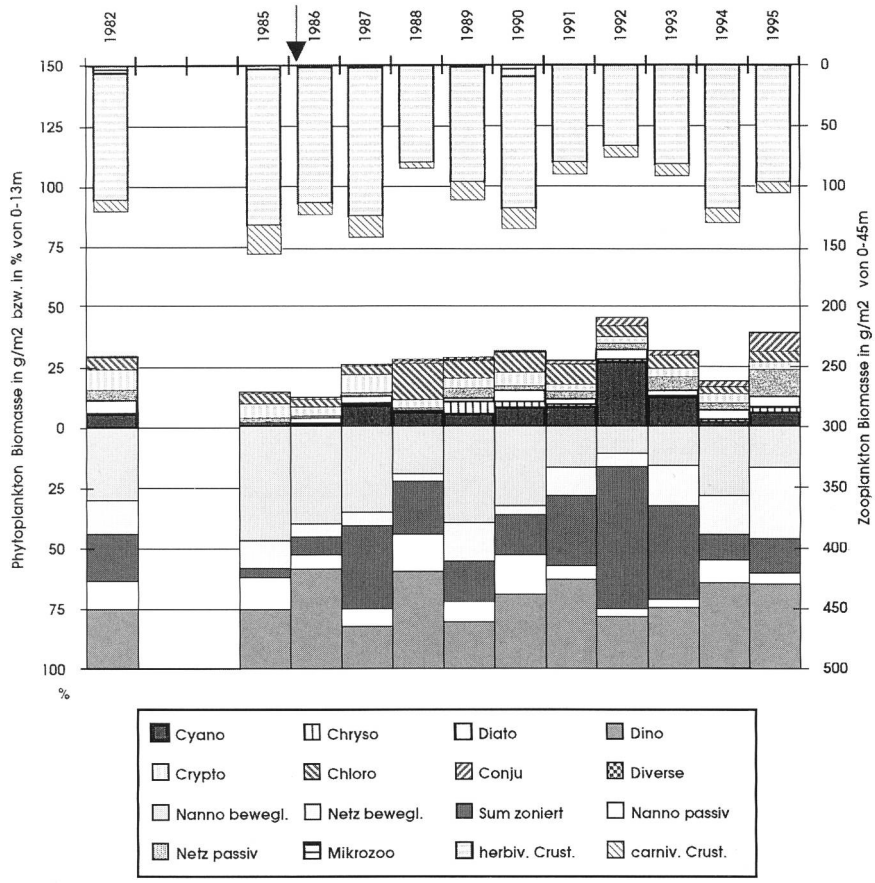
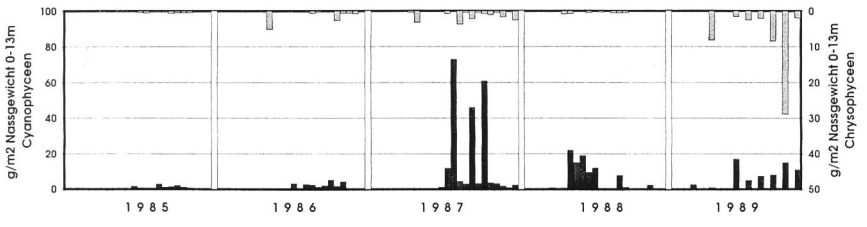


Bild 3. Langfristige Entwicklung des Planktons (Jahresmittel der Biomasse) im Hallwilersee.
Das Phytoplankton ist systematisch (absolut in Frischgewicht der Algenklassen) und funktionell nach den Kriterien Beweglichkeit und Grösse (relativ in %) im untersten Teil dargestellt.
Nanno = Nannoplankton = Zwergplankton geht durch die Maschen der Planktonnetze durch. Netz = grösseres Phytoplankton (> 30 µm) bleibt in Planktonnetzen hängen. Sum zoniert umfasst alle Arten, welche sich mit Auftriebskörpern einschichten können z. B. *Oscillatoria rubescens.*
Im obersten Teil ist das Zooplankton dargestellt (mit inverser Skala); aufgeschlüsselt in Mikrozooplankton (= Protozoen und Rotatorien), herbivore und carnivore Crustaceen.
Der Trend beim Zoo- und Phytoplankton ist gegenläufig. Gute Futterqualität (viel Zwergalgen) fördert das Zooplanktonwachstum (damit auch den Frassdruck auf die Algen); schlechtes Futter (Netzplankter inkl. eingeschichtete Formen) ergibt geringere Ausbeute beim Zooplankton und höhere Algenbiomasse.



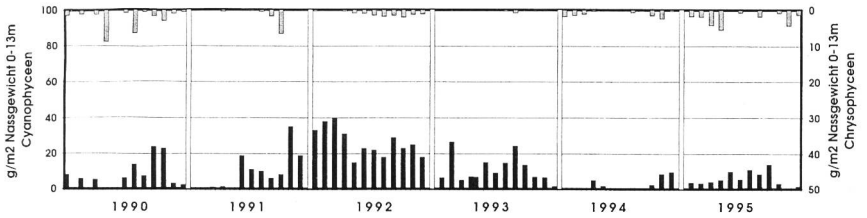
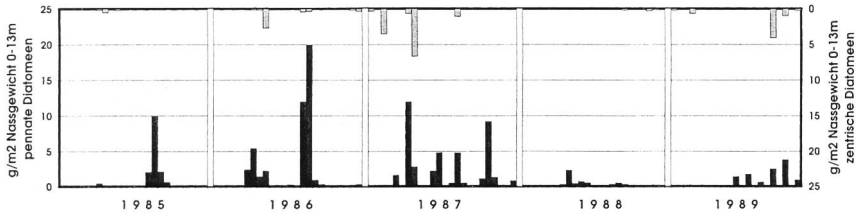


Bild 4. Langjährige Entwicklung der Blaualgen (Cyanophyceen) und Goldalgen (Chrysophyceen, inverse Skala) im Hallwilersee in halbmonatlichem/monatlichem Probenahmerhythmus.
Die Blaualgen gewinnen durch die internen Seesanierungsmassnahmen an Bedeutung, insbesondere im Winterhalbjahr. Goldalgen sind eher typisch für nährstoffarme Gewässer, sie sind im Hallwilersee von untergeordneter Bedeutung.



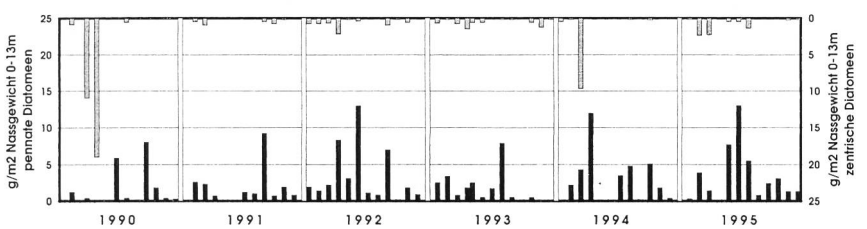
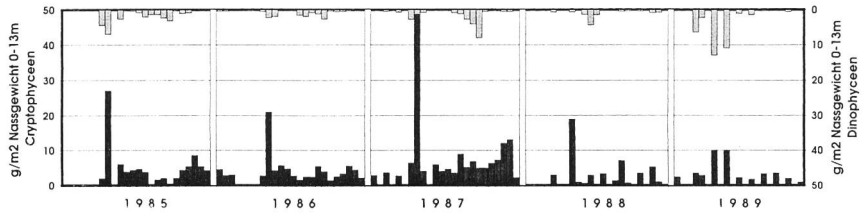


Bild 5. Langjährige Entwicklung der Kieselalgen (Diatomeen) im Hallwilersee; aufgeschlüsselt in zentrische und pennate Formen. Die meist kleinen zentrischen Formen können im Frühjahr kurzfristig hohe Biomassen aufbauen. Sie werden aber bevorzugt vom Zooplankton filtriert, weshalb nach Erscheinen der Zooplankter sparrige pennate Formen (werden kaum gefressen) aufkommen.



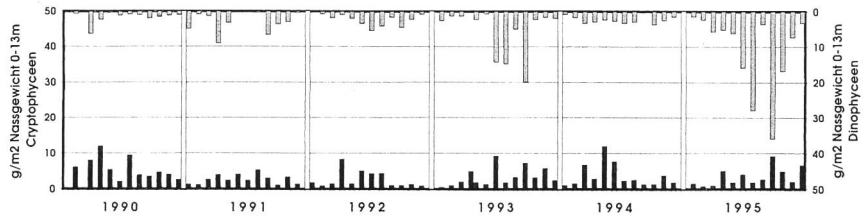
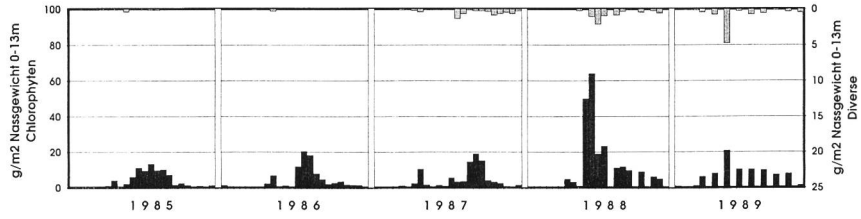


Bild 6. Langjährige Entwicklung der Panzerflagellaten (Dinophyceen) und Schlundflagellaten (Cryptophyceen) im Hallwilersee. Diese meist braunroten Dinoflagellaten erscheinen nach stabilen Mustern kalenderartig. Zuerst kommen die farblosen nackten «Gymnodinien», welche dann im August/September den gepanzerten Formen Peridinium und Ceratium Platz machen. Die Schlundflagellaten sind typische «Lückenbüsser», welche dank ihrer schnellen Vermehrung innerhalb kurzer Zeit hohe Biomassen aufbauen können. Sie profitieren von hohen Nährstoffgehalten im Frühjahr und können auch die von der Herbstzirkulation nachgelieferten Nährstoffe im November in Biomasse umsetzen.



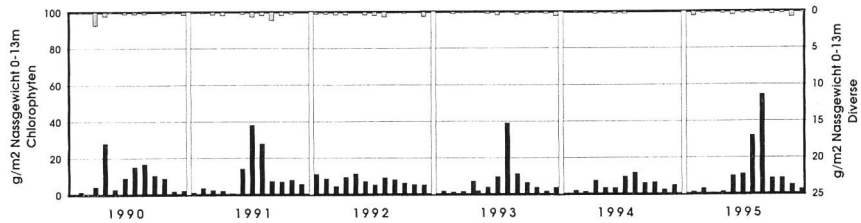


Bild 7. Langjährige Entwicklung der Grünalgen und diverser Formen (z. B. Augenflagellaten) im Hallwilersee. Die Grünalgen (Chlorophyceen) im engeren Sinn und die Jochalgen bilden den artenreichen Stamm der Grünalgen. Sie sind typisch für warmes nährstoffreiches Wasser und erscheinen deshalb regelmässig ab Juli. Die Konkurrenz mit den anderen wichtigen Biomassebildnern (Blaualgen und Kieselalgen) kommt im Vergleich mit den Bildern 4 und 5 zum Ausdruck: In Jahren mit wenig Kieselalgen oder Blaualgen dominieren Grünalgen. Die diversen Formen gehören zu Randgruppen des Phytoplanktons und haben keine signifikante Bedeutung.

1957). Sie gilt als Eutrophieanzeiger auf tiefem Niveau. Das Wiedererscheinen der Art könnte deshalb als Zeichen der Besserung verstanden werden, nachdem auf dem Weg zurück wieder tiefere Nährstoffgehalte erreicht worden sind. Die jährliche Entwicklungslinie der Blaualgen zeigt aber gegenüber früheren Ganglinien einen erheblichen Unterschied: 1988 nahm deren Konzentration speziell im Frühjahr zu, was zu ihrer traditionellen Verbreitung in früheren Jahren (Maxima im Herbst) kontrastierte. In einer zweiten Welle gewann sie ganzjährig hohe Biomasseanteile und war schliesslich im Winter dominant. Das Vorkommen im invers geschichteten See ist bereits von 1914 bekannt. *Brutschy* (1921) beobachtete damals unter der sich bildenden Eisschicht dichte blutrote Watten von Oscillatoria, die während der ganzen «Seegfrörne» erhalten blieben.

Im langjährigen Trend lassen sich 2- bis 4jährige Kohorten erkennen, die im Frühjahr/Sommer starten und dann in den nachfolgenden Jahren zu Maxima im Herbst und Winter führen (Bild 4). Ob es sich hierbei um eine Gesetzmässigkeit handelt oder ob die Wiederholung des gleichen Musters auf zufällige Konstellationen (z. B. Wetter) zurückzuführen ist, muss sich erst noch weisen. Eine zehnjährige Beobachtungsphase ist dafür zu kurz. Neben der Oscillatoria dürfen auch andere Blaualgen nicht vergessen werden: *Aphanizomenon flos-aquae* bildete 1987 gleich drei Massenentfaltungen. Sie erreichte dabei im Juli 1987 höhere Fadendichten als drei Jahre zuvor im Sempachersee, wo sie mit hoher Wahrscheinlichkeit die Ursache für das grösste Fischsterben in der Schweiz war (*Stadelmann,* 1984). Damals war im August innerhalb weniger Tage der ganze Bestand an Aphanizomenon zerfallen, nachdem sie vermutlich hochwirksame Neurotoxine freigesetzt hatte. Auch im Hallwilersee verschwand die Art jeweils innerhalb kurzer Zeit nach ihrem Auftreten, ohne allerdings sichtbare Folgen für das Ökosystem zu hinterlassen. Die in der Voruntersuchung 1982 noch häufige *Anabaena solitaria F. planctonica* trat in den Folgejahren etwas in den Hintergrund. Allerdings vermochte die Art sporadisch kurzfristige Biomassemaxima zu etablieren. Neben der Burgunderblutalge scheinen auch chrookokkale Blaualgen (*Aphanocapsa, Coelosphaerium*) vom neuen Regime zu profitieren. Ihre Hauptvegetationszeit ist – wie bei Blaualgen typisch – der Spätsommer/Herbst.

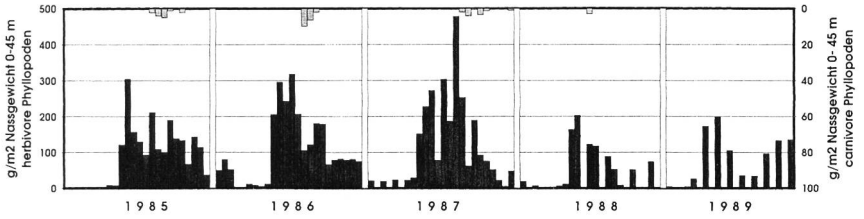
Die Chrysophyceen (Goldalgen, in Bild 4 mit umgekehrter Achse dargestellt) erreichen selten Biomassen > 10 g/m^2. Einzig 1989 konnten diese Algen, welche viele zarte Formen umfassen, wesentliche Anteile am Planktonkuchen gewinnen. Die Vorherrschaft solcher Algen ist auch nicht erwünscht, da sie mit ihrem tranigen Geruch die Wasserqualität beeinträchtigen können.

Die Diatomeen (Bild 5) sind alle kokkal und im Plankton unbeweglich. Sie erleiden dadurch grosse Sedimentationsverluste. Insbesondere die grossen pennaten (federförmigen) Kieselalgen weisen ungünstige Schwebe-Eigenschaften auf. Ihre Maxima sind deshalb immer von kurzer Dauer. Ihr langfristiges Überleben verdanken sie der sparrigen Form, welche sie für die Algenfresser uninteressant macht. Ausserdem sind die Diatomeen mit ihrer Pigmentgarnitur

(hohe Carotinoid-Gehalte) in der Lage, das vom Chlorophyll ungenutzte Grünspektrum der Lichtenergie auf das Photosynthesezentrum zu übertragen. Dadurch können sie bis etwa 15 m Wassertiefe, wo Grünlicht vorherrscht, überleben. Die zentrischen Kieselalgen (in Bild 5 mit umgekehrter Achse dargestellt) können dank Schwebehilfen und geringen Abmessungen besser schweben, sie sind aber wiederum bevorzugte Nahrung für filtrierende Zooplankter. Im Jahresablauf sind oft zwei bis drei Wellen zu erkennen. Die erste Entwicklung wird meist von kleinen zentrischen Algen ausgelöst. Diese verschwinden dann allmählich, wenn die algenfressenden Zooplankter kommen. Sie werden nun durch sternförmige Kolonien der *Asterionella formosa* und etwas später von der Doppelkammalge *Fragilaria crotonensis* abgelöst. Regelmässig, aber in kleineren Dichten, sind auch nadelförmige *Synedra*-Arten und kettenbildende *Melosira*-Arten vertreten.

In verschiedenen Bestimmungswerken wurden die Dinophyceen und Cryptophyceen als Pyrrhophyta (Feueralgen) zusammengefasst (*Pascher,* 1931; *Bourrelly,* 1968). Beide Gruppen weisen vorwiegend begeisselte Typen auf, wobei die Anordnung der Geisseln sehr typisch (und bei den beiden Klassen unterschiedlich) ist. Die meisten Schlundflagellaten (Cryptophyceen) sind sehr klein und wurden deshalb in früheren Netzzügen übersehen. Sie kommen im Jahresablauf (Bild 6) ganzjährig vor; ihre bevorzugte Jahreszeit scheint im April zu sein. Typisch ist der rasante Einbruch der Population im Mai/Juni, wenn sie als bevorzugte Futterpartikel von den filtrierenden Zooplanktern gefressen werden. Ihre schnelle Vermehrung erlaubt es den Schlundflagellaten, auch kurzfristige Verbesserungen der Wachstumsbedingungen zu nutzen und grosse Biomassen aufzubauen. Sie können daher als typische r-Strategen bezeichnet werden (siehe Kästchen). Die kleinen beweglichen Cryptophyceen können täglich mehrere Meter vertikal wandern und dabei die günstigsten Lichtkonditionen aufsuchen. Beim Messen der Sichttiefe mit der weissen Secchi-Scheibe erkennt man nicht selten scharf eingeschichtete Algenhorizonte mit dominierenden Schlundalgen als dezimeterdünne Wolken. Die meisten Cryptophyceen sind ockerfarbig, doch kommen auch blaue und rote Formen vor. Letztgenannte sind auch mit wenig Licht zufrieden. Man findet diese Formen daher auch im Winter. Analog zur *Oscillatoria rubescens* fand man z. B. *Rhodomonas lacustris* (ein roter Schlundflagellat, Name!) im Rotsee unter einer schneebedeckten Eisdecke. Gegenüber den Schlundflagellaten sind die Panzerflagellaten (Dinophyceen, in Bild 6 mit umgekehrter Achse dargestellt)

> Für das langfristige Überleben von Arten haben sich zwei gegensätzliche Strategien entwickelt:
>
> r-Strategen mit hoher Wachstumsrate (r) produzieren viele Nachkommen. Es sind meist kurzlebige, kleine Organismen, die Verbesserungen der Nährstoffsituation usw. schnell zum Wachstum nutzen, aber auch katastrophale Verluste erleiden können.
>
> K-Strategen investieren mehr ins Überleben einzelner weniger Nachkommen. Sie richten sich dabei nach den Grenzen (K = Kapazität) des Lebensraumes. Es sind meist grosse, langlebige Organismen mit ausgeklügelten Anpassungen an den Wohnraum.



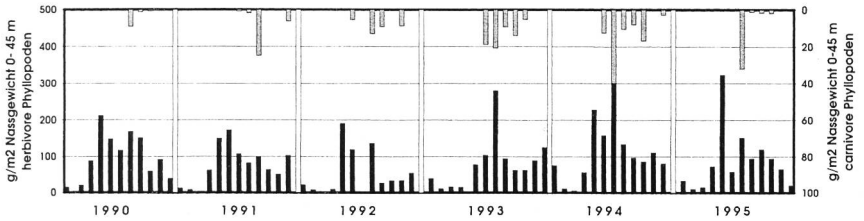
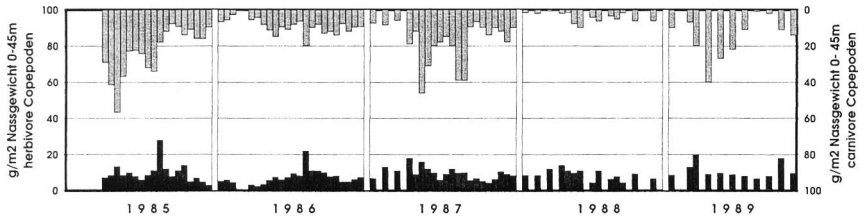


Bild 8. Langjährige Entwicklung der Blattfusskrebse (Phyllopoden) im Hallwilersee. Die Verteilung der Blattfusskrebse ist streng rhythmisch. Im Mai vermehren sich die herbivoren «Wasserflöhe» explosionsartig und sorgen mit ihrem enormen Appetit für das alljährliche «Klarwasserstadium». Mit dem fast vollständigen Ausfressen des Sees entziehen sie sich die eigene Lebensgrundlage. In dieser Hungersituation bilden sie Dauerstadien, um dann in einer pendelartigen Auf-und-ab-Bewegung, die einer gedämpften Schwingung entspricht, wieder zu verschwinden. Ihre Feinde sind neben Felchen die durchsichtigen planktischen Glaskrebse. Deren gepulstes Auftreten beruht auf der Keimung von Dauereiern, die am Grunde des Gewässers überwintert haben. Im Herbst erfolgt eine erneute Bildung solcher Dauereier, womit sich der Glaskrebs jeweils wieder verabschiedet.



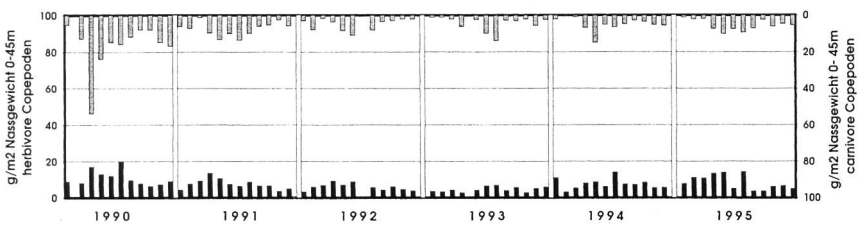


Bild 9. Langjährige Entwicklung der Ruderfusskrebse (Copepoden, Hüpferlinge) im Hallwilersee.
Der früher mit einer Wintergeneration stark vertretene räuberische *Cyclops vicinus* verliert an Bedeutung. Die anderen Hüpferlinge sind ganzjährig in ähnlicher Dichte vorhanden. Sie sind genügsame Organismen, welche sich die Nahrungsgrundlage nicht selbst zerstören.

streng periodisch im Wasser und eher den K-Strategen zuzuordnen: Sie vermehren sich langsam und passen sich der Kapazität des Lebensraumes an. Sie erscheinen oft im August, wenn für die anderen Algenklassen zuwenig Nährstoffe vorliegen. Farblose Dinoflagellaten sind nicht selten auch im Frühjahr und Sommer in grösserer Dichte vertreten. Diese «Geisseltiere» ernähren sich von anderen Algen. In ungünstigen Situationen bilden viele Dinoflagellaten Zysten aus, welche an den Grund sinken und dort bessere Bedingungen abwarten. Der Stimulus für das Keimen der Zysten beruht vermutlich auf Impulsen, die im saisonalen Ablauf regelmässige Zyklen aufweisen (z. B. Temperatur, Sauerstoffgehalt), weshalb die Dinoflagellaten selbst streng saisonale Zyklen aufweisen. Gelegentlich konnten in den Abendstunden mitunter sogar in oligotrophen Seen (Urnersee, Walensee) grössere Gehalte von rotbraun gefärbten «Feueralgen» vom Ufer aus beobachtet werden. Ein rötlicher Schimmer des Oberflächenwassers (keine Reflexion der untergehenden Sonne) wies auf eine strenge Einschichtung an der Wasseroberfläche hin.

Als typische Sommerformen, welche viel Licht benötigen und höhere Nähstoffgehalte bevorzugen, erscheinen Chlorophyten (Grünalgen inklusive Jochalgen, Bild 7). Sie stellen neben den Blaualgen die wichtigsten Biomassebildner dar. Gelegentlich erscheinen im Frühjahr kleinere Spitzen, welche oft von beweglichen Grünalgenkolonien (*Pandorina, Eudorina*) gebildet werden. Im Hochsommer sind dann eher kokkale bis fädige Grünalgen bzw. Jochalgen vertreten. Im langfristigen Trend scheinen die Sommerspitzen der Chlorophyten gegenüber der Situation unmittelbar vor Einführung der seeinternen Massnahmen (1985) zuzunehmen. Weitere Algengruppen (z. B. Euglenophyceen und farblose Flagellaten sind als Diverse in Bild 7 (von oben nach unten orientiert) aufgeführt. Sie haben im Hallwilersee keine grosse Bedeutung.

3.2 Entwicklung des Zooplanktons

Die Struktur des Zooplanktons (tierisches Plankton aus Urtieren, Rädertieren, Kleinkrebsen und Mückenlarven aufgebaut) hat sich von algenfressenden Formen (sog. herbivores Zooplankton) zu Räubern verschoben. Unter den Räubern ist besonders die Larve der Büschelmücke Chaoborus zu erwähnen; sie erreichte 1991 ihren Höhepunkt, seitdem geht sie anteilmässig wieder zurück (*Akeret,* 1993).

Die Krebstiere des Planktons gehören zwei Ordnungen an: Phyllopoden (Blattfusskrebse mit den Wasserflöhen, Bild 8) und Copepoden (Hüpferlinge, Bild 9). Beide Ordnungen sind mit algenfressenden (herbivoren) und räuberischen (carnivoren) Arten vertreten. Im Laufe der individuellen Entwicklung gehören viele Organismen verschiedenen Ernährungstypen an. Phasenverschobene Räuber-Beute-Zyklen erscheinen daher zwangsläufig als Folge des Wachstums von ganzen Populationen.

Das Auftreten der Phyllopoden mit den algenfiltrierenden Wasserflöhen und den Raubcladoceren ist streng periodisch (Bild 8). Im Frühjahr erscheinen die algenfressenden Formen fast explosionsartig. Diese Entwicklung wird durch ihren Fortpflanzungsmodus (Jungfernzeugung = Parthenogenese) ermöglicht. Genug Futteralgen und leicht höhere Temperaturen lassen innerhalb weniger Wochen bis gegen 500 g/m^2 tierische Biomasse entstehen. Erst die Futtermangelsituation, die durch das übermässige Abweiden der Algen im Mai/Juni entsteht, bricht diese Entwicklung der Daphnien und Bosminen jäh ab. Als Folge der nun ungünstigen Bedingungen erscheinen Männchen. Als Vorbereitung für schlechtere Lebensbedingungen kommt es zu einer Rekombination der Gene und zur Bildung von Dauerstadien (Ephippien), die mehrere Jahre keimfähig bleiben. Selbst wenn die Bedingungen sich kurzfristig wieder erholen, bricht die Daphnienpopulation durch diesen Wechsel auf sexuelle Fortpflanzung zusammen. Im Laufe des Jahres erscheinen aber ein bis zwei weitere Maxima im Hochsommer und Herbst. Die Raubcladoceren (Bild 8, umgekehrte Skala) sind typische Sommerformen. Sie entwickeln sich aus Dauereiern und vermehren sich analog zu den Daphnien über Jungfernzeugung, die dann im späteren Herbst in eine sexuelle Entwicklung wechseln. Im Hallwilersee kommt zurzeit nur noch der Glaskrebs *Leptodora Kindtii* vor. Der räuberische Langschwanzkrebs *Bythotrephes longimanus* verschwand nach 1983 aus dem Plankton und wurde seither nur sporadisch (z. B. im September 1991) als juvenile Form wiedergefunden. Vermutlich ist die Art den Felchen zum Opfer gefallen.

Gegenüber den Phyllopoden vermehren sich die Copepoden unserer Seen immer sexuell. Ihre Entwicklung verläuft vom Ei über sechs Nauplienstadien und fünf Copepodid-Jugendstadien zu den adulten Tieren. Die Entwicklungszeit ist stark von der Wassertemperatur abhängig.

Die Kategorie der herbivoren Copepoden (Hüpferlinge, Bild 9) wird einerseits durch die Jugendstadien der später carnivor lebenden *Cyclops*-Arten und andererseits durch den Schwebekrebs *Eudiaptomus gracilis* gebildet. Die Biomasse der Herbivoren ist ziemlich geglättet, weil es dauernd Jungtiere gibt und deren Entwicklungszeit lang ist. Die einzelnen Cyclops-Arten können im Jahresverlauf deutliche Kohorten bilden. *C. vicinus* beispielsweise erscheint in unseren Seen im Winter und bildet im April Dauerstadien (C4-Stadium) aus. *Cyclops abyssorum* erscheint mit ein bis zwei Generationen im Sommer und Spätherbst. *Eudiaptomus gracilis* hingegen ist perennierend in ähnlich hohen Individuendichten vorhanden. Auch *Mesocyclops leuckarti* scheint in der Hauptvegetationsperiode (April bis November) permanent vorhanden zu sein. Eigentliche Maxima sind nicht zu erkennen. Insgesamt nimmt die Biomasse der räuberisch lebenden Kleinkrebse ab.

4. Diskussion

Die für technische Systeme relativ lange Überwachungsphase (10 Jahre) ist für ökologische Untersuchungen immer noch kurz. Änderungen im Artenkatalog brauchen viel Zeit. Gelegentliches Aufflackern von Arten, die jahrelang zurückgehen, kann von keimenden Zysten im Sediment ausgehen. Diese bleiben lange keimfähig. Auch das Vordringen neuer Arten erfolgt selten wie eine Invasion. Viele Formen sind zunächst im Litoral vorhanden. Meist werden die Formen am Ufer eingebracht (durch gewasserte Boote, Vögel usw.). Dort finden sie meist auch bessere Wachstumsbedingungen vor (höhere Temperaturen, erhöhte Nährstoffgehalte usw.). Die Diskussion der Resultate muss daher im Lichte der relativen Veränderungen von ökologisch wichtigen Schlüsselorganismen erfolgen. Solche Keystone-Arten sind z. B. die *Oscillatoria rubescens* und *Bythotrephes longimanus* bzw. die Larve der Büschelmücke *Chaoborus flavicans.*

Die letztgenannte Form ist für ihre ausgedehnten täglichen Vertikalwanderungen bekannt. In der Morgendämmerung weicht sie in die Tiefe des Sees aus und verbringt den Tag im Sediment oder knapp darüber. Es scheint sie dabei nicht zu stören, dass diese Umgebung zuweilen sehr lebensfeindlich ist (kein Sauerstoff, hohe Ammoniumgehalte und Schwefelwasserstoff). Sie scheint dort hingegen vor Feinden sicher zu sein, denn kein Fisch vermag unter solchen Bedingungen zu überleben. Am Abend, wenn sie ins Epilimnion aufsteigt um zu fressen (und aerob aufzutan-

ken), wird sie von den visuell jagenden Fischen kaum mehr entdeckt. Durch die Ausweitung des Lebensraumes dank Sauerstoffzugabe sind die Chaoborus-Larven in Bedrängnis geraten, weil ihnen die Fische bis in grosse Tiefen folgen konnten. Die Population nahm von 1986 bis 1990 deutlich ab (*Akeret,* 1993). Erst 1991 und 1992 wurden wieder höhere Chaoborus-Bestände beobachtet, seither wurden sie mit den Netzzügen (am Tage) kaum mehr erfasst. Dies bedeutet nicht, dass die Form verschwunden ist, sie musste aber ihr Verhalten anpassen und lebt nun tagsüber im Sediment, welches von unseren Netzen nicht beprobt wird. Bei Sedimentstichen konnte sie in den obersten Sedimentschichten beobachtet werden.

Die Biologie reagiert verzögert auf das abnehmende P-Angebot. Sparsame Arten, die verschwenderische Formen ablösen, können vorerst mit weniger P noch gleich viel Biomasse herstellen. Das P : C-Verhältnis in der Biomasse hat sich verschoben. Wir sind noch mitten in der Ablösungsreaktion drin. Sofern die P-Entlastung weitergeht, sind auch Änderungen der Biomasse zu erwarten, denn die Sukzession zu noch sparsameren Arten ist irgendwann abgeschlossen. Das Erscheinen der Oscillatoria (Burgunderblutalge) hat als Bremser gewirkt, weil sie mit den vorhandenen Nährstoffreserven auch bei Schwachlicht noch viel Biomasse aufbauen konnte. Aus Laborexperimenten ist bekannt, dass *Oscillatoria rubescens* eine Schwachlichtform ist, die an sich gerne höhere Temperaturen bevorzugt (*Zimmermann,* 1969). Sie findet im See daher ihre bevorzugte ökologische Nische im Metalimnion der Seen. Die hohen Dichtegradienten im Metalimnion sind eine Voraussetzung zur dauerhaften Einschichtung während der Stagnationsphase. Wenn ihre Nische wegrationalisiert wird, dürften die Biomasseverhältnisse drastisch ändern. Die Winterzirkulation hat allerdings ihr Aufkommen noch gefördert. Die gleiche Erscheinung ist auch aus den anderen intern behandelten Seen (Sempachersee, Baldeggersee) bekannt (mit Maxima in den Jahren 1990 bis 1992). In der zirkulierenden Wasserschicht hat diese Blaualge nahezu den ganzen Nährstoffvorrat zur alleinigen Verfügung und kann aufgrund ihrer bescheidenen Lichtansprüche auch im Winterhalbjahr hohe Zelldichten aufbauen. Mit roten Pigmenten (Name Burgunderblut) kann sie auch tiefer eindringende spektrale Anteile des Lichtes (Grünlicht) zur Photosynthese nutzen, welche von anderen Algen nicht umgesetzt werden können. Die Jahre mit erhöhter Sauerstoffzehrung stimmen mit den hohen Biomassen dieser Blaualgen überein.

Erst wenn die Zirkulation tiefer geht, reicht der gemittelte Lichtgenuss pro Alge nicht mehr aus, um die Verluste wettzumachen. Wie weit sich wiederkehrend hohe Biomassen von Oscillatoria bilden können, hängt davon ab, ob sich natürliche Feinde (z. B. *Nassula aurea,* ein Ciliat) entwickeln können. Auch die Entwicklung des Klimas (milde Winter) dürfte für die Art entscheidend sein. Nach vorübergehender Abnahme hat die Burgunderblutalge 1997 wieder stark zugelegt. Es ist daher auch in Zukunft mit ihr zu rechnen, und selbst Wasserblüten (Rotfärbung des Wassers) dürften hin und wieder auftreten.

Die Veränderungen in der Planktonbiologie haben auch Konsequenzen auf die Entwicklung der Fische, insbesondere der zooplanktonfressenden Felchen: Die wichtigste Futterquelle der Fische, die algenfressenden Zooplankter z. B. Daphnien, gehen zurück, weil diese ihrerseits weniger geeignetes Futter finden (oder bei der Futteraufnahme durch Algenfäden behindert werden) und durch die räuberischen Chaoborus-Larven und Felchen dezimiert werden. Felchen bevorzugen – falls vorhanden – den grossen und gut sichtbaren Bythotrephes als Nahrung (*Mookerji* et al., 1997). Die hohen Felchenbestände nach 1985 setzten dieser Form derart zu, dass sie bis auf wenige sporadisch auftretende juvenile Exemplare verschwand. Sie wurde 1991 nur vereinzelt in Felchenmägen, nicht aber in den Planktonzügen selbst gefunden (*Akeret,* 1993). Die glasig durchsichtige Leptodora kann offenbar von den Fischen trotz ihrer Grösse (sie wird mehr als 1 cm lang) nicht gesehen werden und überlebt langfristig im Hallwilersee. Tatsächlich sind die Felchenbestände nach Inbetriebnahme der seeinternen Massnahmen im Hallwilersee sprunghaft angestiegen und erst 1992 (dem Jahr mit der höchsten Oscillatoria-Dichte und der geringsten Zooplanktonbiomasse) wieder zusammengebrochen (*R. Müller,* 1996). Die schlechte Futtersituation für die filtrierenden Zooplankter scheint sich bis zur Stufe der Fische ausgewirkt zu haben.

Beim Plankton bewirkte die Ausweitung des Lebensraumes in die Tiefe *(Deuschel,* 1995) eine teilweise Entkopplung der einzelnen Glieder der Nahrungskette, weil die Distanz zwischen Räuber und Beute zunahm bzw. die Häufigkeit des Zusammentreffens – eine generelle Voraussetzung für das Beutemachen – abnahm.

5. Zusammenfassung, Schlussfolgerungen

Die Populationen der Kleinkrebse haben in den drei Mittellandseen deutlich abgenommen. Nutzniesser dieser Entwicklung sind die Algen, welche heute einem geringeren Frassdruck ausgesetzt sind. Verschiedene Algenklassen konnten von den neuen Bedingungen profitieren: Neben einzelnen Blaualgen nahmen auch Panzerflagellaten, Grünalgen und Jochalgen zum Teil massiv zu.

Die Unterstützung der Winterzirkulation (länger andauernde und tiefergreifende Zirkulation) veränderte den durchschnittlichen Lichtgenuss der pflanzlichen Planktonorganismen (sog. Phytoplankton) im Frühjahr entscheidend. Damit wurde die Zusammensetzung der Lebensgemeinschaft verändert. Lichthungrige Arten verschwanden, während Arten, welche mit wenig Licht leben können (wie z. B. die Burgunderblutalge *Oscillatoria rubescens*), sich speziell in dieser Zirkulationsphase gut entwickeln konnten. Das filtrierende Zooplankton kann diese fädigen Algen nicht verwerten. Weil ausserdem die vielen Fäden die Aufnahme der anderen Nahrungspartikel behindern, erlitt das Zooplankton weitere Biomasse-Einbussen.

Das Seenplankton scheint als elastisches System auf Störungen zu reagieren. Die zu Beginn der Seesanierung vorhandenen Arten wurden durch die neuen physikalischen Bedingungen eher negativ beeinflusst. Die Hektik der Algenentwicklung in den Jahren nach Einführung der seeinternen Massnahmen zeugt von Verdrängungsprozessen mit entsprechenden Ungleichgewichten. Es brauchte einige Jahre, bis die neu geschaffenen ökologischen Nischen durch passende Formen besetzt wurden. Diese konnten sich nun zunächst massenhaft entwickeln, da sie vom Ungleichgewicht profitierten. Mit der Zeit führen negative Rückkopplungen (ausgleichende Steuerungsprozesse) und Konkurrenz unter den neuen Spezialisten zu einem neuen Gleichgewicht.

Die Fortführung der internen Massnahmen stabilisiert die Biologie auf einem bestimmten Niveau. Bei Veränderungen der Randbedingungen ergeben sich stärkere Fluktuationen, weil zufällige unausgewogene Relationen von Räuber- und Beuteorganismen auftreten können. Veränderungen im Artenspektrum sind daher weder grundsätzlich negativ noch positiv zu werten (sie treten auch auf, wenn der See sich bessert). Es gibt keine bestimmten Arten, welche im See einzigartig sind, welche die Stabilisierung eines bestimmten Zustands erfordern, es geht somit nur um die

Vermeidung von unerwünschten Folgeerscheinungen. Dazu ist die Oxidation der Abfallprodukte ebensowichtig wie der übrigbleibende Sauerstoff selbst. Als solches ist ein Lake Management zu vergleichen mit der Bewirtschaftung eines Bergwaldes, wo auch nicht der Ertrag, sondern die Nebenwirkungen (Verhinderung von Erosion usw.) im Vordergrund stehen.

Literatur

Akeret, B.: Zur Biologie von *Chaoborus flavicans, Leptodora kindtii und Bythotrephes longimanus* unter dem Einfluss interner Restaurierungsmassnahmen in den drei Schweizer Seen. Diss. ETH Nr. 10137 (1993).

Ambühl, H.: Die Nährstoffzufuhr zum Hallwilersee. Schweiz. Z. Hydrol. *22,* 563–597 (1960).

Ambühl, H.: Die Feinstruktur jüngster Sedimente von Seen verschiedenen Trophiegrades und von Seen in technischer Sanierung. Limnolog. Berichte Donau 1994; Band II. IAD, Wien 1995.

Baldinger, F.: Das Hallwilersee-Projekt als Beispiel einer grosszügigen Seesanierung. Schweiz. Z. Hydrol. *19*, 18–36 (1957).

Bourrelly, P.: Les Algues d'eau douce. Editions N. Boubée & Cie, Paris (1968).

Bürgi, H. R.: Seenplankton und Seensanierung in der Schweiz. Limnologische Berichte Donau 1994; Band II. IAD, Wien 1995.

Bürgi, H. R., and *P. Stadelmann:* Plankton succession in Lake Sempach, Lake Hallwil and Lake Baldegg before and during internal restoration measure. Verh. Internat. Verein. Limnol. *24*, 931–936, 1991.

Bürgi, H. R., Pia Weber and *H. Bachmann:* Seasonal variations in the trophic structure of phyto- and zooplankton communities in lakes in different trophic states. Schweiz. Z. Hydrol *47/2*, 197–224, 1985.

Brutschy, A.: Die Vegetation und das Zooplankton des Hallwiler Sees. Internat. Revue 1922; in zwei Teilen, 91–138/271–298.

Brutschy, A., und *A. Güntert:* Gutachten über den Rückgang des Fischbestandes im Hallwilersee. Archiv für Hydrobiologie *14*, 523–571, 1923.

Deuschel, B.: Einfluss der Populationsstruktur, Verteilung und Biomasse des Planktons auf das Community-Grazing im Hallwilersee. Diss. ETHZ (1995).

Dodson, A. N., & Thomas, W. H.: Concentrating plankton in a gentle fashion. Limnol. Oceanogr. *9*, 455–456 (1964).

Keller, R.: Limnologische Untersuchungen im Hallwilersee. Diss. ETH 1945.

Mookerji, N., Heller, C., Meng, H. J., Bürgi, H. R. and *Müller, R.:* Diel and seasonal paterns of flood intake and prey selection by *coregonus* sp. in reoligo trophicated Lake Lucerne, Switzerland. Journal of Fish Biology *52* (1997).

Müller, R.: Fischereiliche Entwicklung in den eutrophen Seen, in: *Wehrli, B.,* und *Wuest, A.* (ed.) Zehn Jahre Seenbelüftung: Erfahrungen und Optionen. Schriftenreihe EAWAG Nr. *9*, 1996.

Pascher, A.: Die Süsswasserflora Mitteleuropas. Verlag Gustav Fischer, Jena 1931.

Schroeder, R.: Ein summierender Wasserschöpfer. Arch. Hydrobiol. *66*, 241–243, 1969.

Stössel, F.: Die Bodenfauna im Hallwilersee dringt vor. EAWAG-news *34D*: 23–26 (1992).

Utermöhl, H.: Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. Mitt. int. Verein. theor. angew. Limnol., *9,* 1–38, 1958.

Zimmermann, U.: Ökologische und physiologische Untersuchungen an der planktischen Blaualge Oscillatoria rubescens D. C. unter besonderer Berücksichtigung von Licht und Temperatur. Schweiz. Z. Hydrol. *31*, 1–58, 1969.

Verdankung

Wir danken *Marcel Schmid* und Dr. *Arno Stöckli* vom Baudepartement des Kantons Aargau, Abteilung Umweltschutz, für die wertvolle Unterstützung bei der Probenerhebung und die hilfreichen Diskussionen. Prof. Dr. *Heinz Ambühl* möchten wir ganz herzlich danken für die Initiierung des Projektes und die tatkräftige Bereitstellung der Infrastruktur sowie für die Überlassung der wertvollen Sedimentdokumentation. Grossen Dank schulden wir *Beatrix Egli* und *Liliane Schmid* für die sorgfältige Quantifizierung der Zoo- und Phytoplanktonproben aus der Untersuchung 1982/83 bzw. 1985/86.

Adresse der Autoren: Dr. *Hans Rudolf Bürgi,* EAWAG, Limnologische Abteilung, Überlandstrasse 133, CH-8600 Dübendorf.
Christa Jolidon, EAWAG, Limnologische Abteilung, Überlandstrasse 133, CH-8600 Dübendorf.

Johann Albert Eytelwein (1764–1848)

Eytelwein wurde am 21. Dezember 1764 in Frankfurt/M geboren. Nach Absolvierung der Militärschule in Berlin legte er 1790 die Prüfung als Staatsbeamter ab. Mit 24 Jahren wurde er Deichinspektor des Oderbruches zu Küstrin und bereits 1794 wurde er als Geheimer Oberbaurat nach Berlin zurückberufen. Er verfasste nun Schriften über die Ingenieurwissenschaften, gründete das Berliner Baujournal (später Journal für Baukunst) und war Mitbegründer der Berliner Bauakademie. Dort hielt er Vorlesungen über Strom- und Deichbau, Hydromechanik und Mechanik. 1803 ernannte man ihn zum Mitglied der Akademie der Wissenschaften. Von 1810 bis 1815 gab er auch Vorlesungen an der Berliner Universität. Das 1824 veröffentlichte Buch «Grundlehren der höheren Analysis» entstand während dieser Zeit.

Neben dieser Lehrtätigkeit war Eytelwein seit 1809 Direktor der Oberbau-Deputation der staatlichen Bauausführungen. 1830 sah er sich infolge Überanstrengung genötigt, die Staatsdienste zu verlassen. Im Alter von 80 Jahren wurde er blind, und am 18. August 1848, also vor 150 Jahren, verschied Eytelwein.

Anhand dieses Lebenslaufes wird die Vielseitigkeit von Eytelweins Karriere aufgezeigt. In der Hydraulik verdanken wir Eytelwein einerseits die Klärung der Fliessvorgänge am Stossheber, andererseits hat er verschiedene Schriften zum Wasserbau verfasst. Erwähnt werden sollen Praktische Anwendungen zur Konstruktion von Faschinenbauten (1800), Praktische Anweisung zur Wasserbaukunst (4 Hefte 1802–1808), Handbuch der Mechanik fester Körper und der Hydraulik (1801, dritte Auflage 1842), Handbuch der Hydrostatik (1826), Untersuchung über die Bewegung des Wassers durch Öffnungen (1814–1819). Von der Bestimmung der Wassermenge eines Stromes (1821) und Über den Ausfluss des Wassers durch vertikale, oben freie Öffnungen (1830). Ein vollständiges Verzeichnis gibt *Rühlmann* (1883). Den Namen Eytelweins findet man vereinzelt noch für eine Gleichung, die den Druckverlust in Rohrleitungen angibt. Eytelwein darf dank seiner Karriere und seiner wissenschaftlichen Gaben als ein ehrenvoller Vorgänger von Gotthilf Hagen bezeichnet werden.

Literatur

- Anonym (1883). Lebensgeschichte Eytelweins. *Deutsche Bauzeitung* 17: 178.
- *Rühlmann, C. M.* (1883). Leben und Wirken Eytelweins. *Zeitschrift des Architekten- und-Ingenieurvereins Hannover* 29: 301–304.

WHH