©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

Laufener Seminarbeitr. 3/97, S. 7-10 • Bayer.Akad.Natursch.Landschaftspfl. - Laufen/Salzach 1997

Unbeabsichtigte und gezielte Eingriffe in aquatische Lebensgemeinschaften

Zusammenfassung des Symposions

Otto SIEBECK

Reaktionen eines Seeökosystems auf kontinuierliche Zu- und Abnahme von Phosphatimporten - dargestellt am Beispiel des Bodensees
(SIMON)

1. Die Phosphorimporte in den Bodensee stiegen insbesondere unter dem Einfluß der landwirtschaftlichen Entwicklung ab Beginn der 50er Jahre besonders schnell an (rasante Eutrophierung). Die während der Frühjahrsvollzirkulation gemessenen **Gesamtphosphorkonzentrationen** erreichten 1979/80 mit ca. 90 mg/m^3 ihr Maximum.

2. Im Zuge vielfältiger Sanierungsmaßnahmen (Bau von Kläranlagen, Reduzierung phosphathaltiger Waschmittel etc.) im Einzugsgebiet des Bodensees ist es gelungen, die rasante Eutrophierung nicht nur zu stoppen, sondern erheblich zurückzufahren: Die während der Frühjahrsvollzirkulation gemessenen **Gesamtphosphorkonzentrationen** lagen im Jahre 1995 nur noch bei 20 mg/m^3. Die Verminderung der Gesamtphosphorkonzentration wurde ab 1980 nachgewiesen. Sie hält auch Mitte der 90er Jahre noch nahezu uneingeschränkt an.

3. Die biologischen Reaktionen des Bodensees folgten dieser Entwicklung unterschiedlich zeitverzögert und jeweils in Schüben. Zwischen 1961/62 bis 1967 verdoppelte sich das **Phytoplanktonfrischgewicht** (Jahresmittelwerte) von 8 auf 16 g/m^2, blieb bis 1975 im wesentlichen gleich, erhöhte sich aber schon im folgenden Jahr - vor allem durch sommerliche Vegetationsblüten - auf 25 g/m^2 Während der Vegetationsblüte wurden 1979-1981 sogar Werte von über 100 g/m^2 überschritten. Eine Reduktion des mittleren jährlichen Phytoplanktonfrischgewichts wurde ab 1982 nachgewiesen, doch ohne eindeutigen Trend zu fortlaufend niedrigeren Werten. In zeitlich begrenzten Entwicklungsphasen, wie z.B. während der Vegetationsblüte im Frühjahr, während des Klarwasserstadiums oder im Herbst wurden keine wesentlich veränderten Werte gefunden. Der Rückgang der Jahresmittelwerte beruht vor allem auf den niedrigeren Werten während der Phase der allgemeinen Nährstofflimitierung im Epilimnion der sommerlichen Schichtung.

4. Im Gegensatz zu deutlich nachweisbaren Veränderungen in der Phytoplankton-Artenzusammensetzung war zwischen 1980 bis 1991 mit Werten zwischen 250-330 g C/m^3 x Jahr kein wesentlicher Unterschied in der Jahressumme der phytoplanktischen **Primärproduktion** nachweisbar. Seit 1992 liegen die Werte um 230-250 g C/m^3 x Jahr. Während die mittlere jährliche Phytoplanktonbiomasse zwischen 1979 bis 1993 um 50 % abgenommen hat, hat sich die phytoplanktische Primärproduktion nur um ca. 25 % vermindert. Man führt diesen Unterschied darauf zurück, daß sich die Biomasse des Nanophytoplanktons erheblich weniger stark verringert hat als die des Micro- und Netzplanktons.

5. Die **Zooplanktondichten** und die **Fischerträge** haben sich (nach Angaben aus der älteren Literatur: Nüman, Kiefer, Elster !) im Bodensee schon seit den 20er Jahren im Sinne einer auffälligen Zunahme verändert (beim Zooplankton zwischen 1920-1959 im Mittel um den Faktor 10), hinsichtlich der mittleren Jahresfänge der Blaufelchen *(Coregonus lavaretus)* von 120 t zwischen 1910-1915 auf 640 t zwischen 1957-1960. In den entsprechenden Zeitabschnitten ergab sich für die Weißfische (Cypriniden) ein Zuwachs von 30 t auf 115 t. Trotz der weiterhin anhaltenden Zunahme der P-Importe bis 1980 gingen die Fangerträge der Blaufelchen ab Anfang der 60 er Jahre wieder dramatisch zurück (statt der erwähnten 640 t nur noch 220 t zwischen 1961-1964). Nach SIMON hielt die Dichtezunahme der wichtigsten herbivoren Crustaceen bis etwa zur Mitte der 70 er Jahre an, um von dann ab ebenfalls schon wieder zurückzugehen, obgleich die Eutrophierung noch anstieg. Daraus folgt, daß es keinen einfachen Zusammenhang zwischen dem zunehmenden Nährstoffangebot und der Reaktion der Glieder des pelagischen Nahrungsnetzes gibt (vgl. BENNDORF, ARNDT, GÜDE, KOSCHEL).

Allgemeine Schlußfolgerung: Die Beziehungen zwischen Nährstoffangebot und den diversen Gliedern des pelagischen Nahrungsnetzes sind wesentlich komplexer als früher auf der Basis der einfachen Nahrungskette und ohne Berücksichtigung der Protisten und Bakterien angenommen. Aus diesem Grunde spielt die Analyse der Interaktionen im gesamten pelagischen Nahrungsgewebe eine zunehmend wichtigere Rolle in der limnologischen Forschung. Das zeigen die folgenden Referate anhand verschiedener Forschungsansätze, bei welchen sich die Nahrungskettenmanipulation als wichtiges Werkzeug dieser Analysen erweist.

©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

Nahrungskettenmanipulation: Die Rolle von Kompensationsmechanismen für Top-down-Prozesse
(LAMPERT)

1. **Nahrungsnetze** beschreiben die funktionelle Organisation von Lebensgemeinschaften, deren Mitglieder nicht etwa an konstante, sondern an variable Umweltbedingungen angepaßt sind, die für die betreffenden Lebensräume typisch sind (vgl. BENNDORF, GÜDE, ARNDT).

2. Jede Nahrungskettenmanipulation bedeutet eine gewisse Störung in der funktionellen Organisation des Nahrungsnetzes. Solange diese Störungen nicht größer sind als die gewöhnlicherweise vorkommenden Veränderungen, können die betroffenen Arten durch Anpassungen darauf reagieren. Dabei kommen unterschiedliche Mechanismen zum Tragen, je nachdem, ob es sich um **vorhersagbare** z.B. periodische oder **nicht-vorhersagbare Störungen** handelt. In ersterem Falle werden die störanfälligen Arten oder Klone eliminiert und durch resistente ersetzt. Im zweiten Fall bleiben diejenigen Arten bzw. Klone erhalten, deren Individuen in Anpassung an die Art der Störung mit einer Veränderung ihrer Gestalt, ihres Lebenszyklus oder ihres Verhaltens reagieren. Reaktionen der Organismengesellschaft auf Nahrungskettenmanipulation (= unvorhersagbare Störung) sind somit durch vorübergehende phänotypische Veränderungen gekennzeichnet. Auf vorhersehbare Störungen antworten die Arten vermutlich mit der Evolution permanenter Verteidigungsmechanismen (vgl. WILDERER)

3. In ihrer Gesamtheit wirken die verschiedenartigen Reaktionen der Organismen eines Nahrungsnetzes auf eine Nahrungskettenmanipulation der damit provozierten Störung entgegen: Effekte, die an der Spitze des Nahrungsnetzes zum Tragen kommen, werden daher auf den verschiedenen Trophieebenen in Richtung der Basis des Nahrungsnetzes durch **Kompensationsvorgänge** zunehmend gedämpft. Integrale Eigenschaften des Systems, wie z.B. die gesamte Algenbiomasse, bleiben im Grenzfall unverändert erhalten (Abpufferung der Störeffekte). Das praktische Ziel der Nahrungskettenmanipulation kann aus diesem Grunde - vor allem in tiefen Seen häufig nicht erreicht werden (vgl. BENNDORF, GÜDE, ARNDT)

4. Die Glieder des Nahrungsnetzes müssen sich auf jeder Trophiestufe mit **Bottom-up** und **Top-down-Prozessen** auseinandersetzen, um Lösungen zur Sicherung ihrer Existenz zu finden. Bottom-up - Prozesse erfordern Lösungen zur Sicherung einer Ernährung, welche die Mortalität durch Top-down - Prozesse (Fraßdruck durch Räuber) mittels Produktion einer hinreichenden Nachkommenschaft ausgleicht. Darüber hinaus können Mechanismen entwickelt werden, welche die Mortalität vermindern, indem sie dem Fraßdruck durch Verwirklichung verschiedener Verteidigungsstrategien (Erschwerung des Gefressenwerdens) entgegengesteuern, z.B. Bildung hoher Rücken bei Karauschen unter dem chemischen Einfluß des Hechtes, Bildung von Dornen bei Rädertieren, vertikale Ausweichwanderungen des Zooplanktons unter dem chemischen Einfluß von Fischen. Der chemische Einfluß entsteht somit durch räuberbürtige Substanzen (=Kairomone), die bei der Beute Abwehrreaktionen auslösen.

Randbedingungen für eine wirksame Biomanipulation: Die Rolle der Phosphatbelastung
(BENNDORF)

1. In der Diskussion der Folgen von Nahrungskettenmanipulationen spielen zwei Theorien eine besondere Rolle: 1. die "**Kaskadentheorie**", nach welcher sich die Folgen der an der Spitze des Nahrungsnetzes provozierten Änderungen ohne wesentliche Hemnisse nach der Basis ausbreiten (z.B. Förderung der Raubfische - weniger zooplanktonfressende Fische - mehr Zooplankton - weniger Algen) und 2. die "**Top-down / bottom up - Theorie**", nach welcher die entsprechenden Folgen von Änderungen an der Spitze des Nahrungsnetzes in Richtung Basis zunehmend gedämpft werden. Im Grenzfall würde die Entwicklung der phytoplanktischen Biomasse auch nach der Nahrungskettenmanipulation nur vom Angebot an Nährstoffen und Strahlungsenergie abhängig sein. Der in der Praxis der Seenrestaurierung erwünschte Effekt einer starken Reduktion der phytoplanktischen Biomasse würde einen Prozeß voraussetzen, welcher der Kaskadentheorie entspricht (vgl. LAMPERT, GÜDE).

2. Aus der **kritischen Überprüfung von Ergebnissen der Nahrungskettenmanipulation**, die an ganzen Seen durchgeführt worden sind, folgt, daß sie nicht eindeutig nur nach einer der beiden unter 1 genannten Theorien interpretierbar sind. Es hat aber den Anschein, als ob die Ergebnisse der Nahrungskettenmanipulation in kleinen Seen mit geringer Tiefe (5m) eher der Kaskadentheorie entsprechen, in großen tiefen Seen eher der Top-down / bottom up Theorie (vgl. LAMPERT).

3. Es wird die von BENNDORF entwickelte Hypothese von der **Biomanipulations-Effektivitäts-Schwelle der Phosphatbelastung (BESP)** vorgestellt, welche die "Top-down / bottom up - Theorie" erweitert. Nach dieser Hypothese setzt der Erfolg einer Nahrungskettenmanipulation in großen Seen voraus, daß die Durchflußrate (= Wassererneuerungsrate) niedrig ist und eine kritische Schwelle des Phosphatangebots unterschritten wird. Es ist denkbar, daß dieser Vorgang durch Förderung des herbivoren Zooplanktons im Zuge einer Nahrungskettenmanipulation durch Erhöhung der Sedimentationsrate phosphathaltiger Partikel (Zooplanktonfaeces, abgestorbene Zooplankter, Kalzit-Aggregate) verstärkt wird. Die Reduzierung der Phytoplanktonbiomasse erfolgt demnach nicht nur auf direktem Wege durch Fraß, sondern auch indirekt durch eine interne Reduktion des Phosphatangebots.

©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

4. Es werden Methoden und Ergebnisse von experimentellen **Langzeituntersuchungen** vorgestellt, welche bei Einstellung unterschiedlicher Randbedingungen der Phosphatbelastung eine Prüfung der BESP-Hypothese zum Ziele haben. Darüber hinaus wird das mathematische Model SALMO (**S**imulation by an **A**nalytical **L**ake **Mo**del) vorgestellt, welches zur weiteren Analyse der Freilandbefunde eingesetzt wird.

5. Bezüglich der **Praxis der Seenreinhaltung** wird herausgestellt, daß Nahrungskettenmanipulation und Reduzierung der Phosphatbelastung durch Sanierungsmaßnahmen keine Alternativen sind, sondern eher kombiniert werden müssen, um die erwünschten Wirkungen zu erreichen. Nahrungskettenmanipulation allein führt jedenfalls höchstens zu kurzzeitig anhaltenden Wirkungen, wenn sie nicht mit einer hinreichenden Reduktion der Nährstoffbelastung verbunden sind.

Kalzitfällung und Nahrungskettenmanipulation (KOSCHEL)

1. Die bei übersättigten Lösungen von $CaCO_3$ unter den Bedingungen der biogenen Entkalkung zustandekommende Kalzitfällung steht in enger Beziehung zum Phosphatangebot und zur Photosyntheserate. Da die Photosyntheseraterate unter anderem von der phytoplanktischen Biomasse und diese von der Grazingrate des herbivoren Zooplanktons abhängig ist, sind bei einer **Nahrungskettenmanipulation** auch Wirkungen auf die Kalzitfällung und damit auch auf das pflanzenverfügbare Phosphatangebot zu erwarten: Da eine Abnahme der Grazingrate eine Zunahme der phytoplanktischen Biomasse bewirkt und nun größere Photosyntheseraten möglich sind, steigt der Bedarf an Phosphat, durch dessen Verminderung die Kalzitfällung gefördert wird.

2. Kalzitkristalle werden vom filtrierenden Zooplankton auch direkt aufgenommen. Es gibt daher Fälle, in welchen eine durch Kalzitkristalle in Seen hervorgerufene mineralische Trübung durch das Grazing filtrierender Planktoncrustaceen verschwunden sind. Da die Kalzitkristalle zusammen mit den nährstoffhaltigen Fäkalpellets ausgeschieden werden und deren Sedimentation beschleunigen, kommt es unter diesen Bedingungen zu einer rascheren **Nährstoffverarmung** in den oberen Wasserschichten.

Spielen Protozoen bei der Manipulation pelagischer Nahrungsnetze eine Rolle? (ARNDT)

1. Es wird herausgestellt, daß die **Rolle der Protisten** im Zusammenhang mit der Nahrungskettenmanipulation bisher kaum berücksichtigt worden sind, weil sich allein schon aus dem Kenntnisstand zur klassischen Nahrungskette erfolgversprechende Eingriffe in das pelagische Nahrungsnetz ableiten ließen. Der Biomasseanteil der Hauptvertreter des Protozooplanktons bestehend aus Ciliaten, heterotrophen Nano- und Mikroflagellaten - am gesamten Zooplankton liegt im Mittel aber immerhin zwischen 15 - 50 %. Unter besonderen Bedingungen ist ein Anteil von bis zu 90 % nicht ausgeschlossen. Bedenkt man die gegenüber den Metazoen vielfach höhere Stoffwechselrate, so wird deutlich, daß die Gruppe der Protisten nicht ohne weiteres vernachlässigbar ist. Das bestätigen quantitative Untersuchungen, nach welchen der Kohlenstoffluß über das mikrobielle Nahrungsnetz einen wesentlichen Teil der bei der Primär- und Mikrobensekundärproduktion gebundenen Energie an höhere trophische Niveaus überträgt.

2. Bei hinreichend hohen Dichten des **herbivoren Crustaceenplanktons** - vor allem der Daphnien - ist der Fraßdruck auf das gesamte Mikroplankton so hoch, daß die Vertreter des mikrobiellen Nahrungsnetzes unterdrückt werden. Diese Bedingungen sind in Seen aber nur phasenweise verwirklicht (vgl. GÜDE)

3. Das **Nahrungsspektrum der Protisten** reicht von gelöster organischer Substanz, Detrituspartikeln und Viren bis zu großen Protisten und kleinen Metazoen. Von kleineren Amöben ist bekannt, daß sie in kurzer Zeit Massenentwicklungen von Cyanobacteriaceen vernichten konnten. Ob die Freßaktivität bei hinreichender Dichte jemals ausreicht, um in Seen durch Phytoplanktonfraß auch Klarwasserstadien herbeizuführen, erscheint, von Einzelhinweisen abgesehen, sehr fraglich. Zur Erklärung nimmt man an, daß bei den Protisten gegenüber den Daphnien selektives Fressen stärker ausgeprägt ist. Das bedeutet, daß nur ein Teil des Phytoplanktons als Nahrung akzeptiert wird und daß infolge des rascheren Stoffumsatzes ein erheblicher Anteil der Nährstoffe relativ rasch wieder zur Ausscheidung gelangt. Diese Nährstoffe stehen der Regeneration der Algen zur Verfügung.

4. Infolge ihrer Heterogenität hinsichtlich ihrer Ernährungsweise und damit auch hinsichtlich ihrer Funktion in einem Nahrungsgewebe, aber auch wegen der vergleichsweise kurzen Populationszyklen lassen sich die Protisten keineswegs als funktionell einheitliche Gruppe in das **Konzept der trophischen Kaskade** einordnen, die ja auch eine gewisse Beständigkeit hinsichtlich der Abundanz ihrer Glieder voraussetzt. Diese Unterschiede gegenüber dem Crustaceenplankton bieten den Protisten aber die Möglichkeit einer kurzfristigen Einstellung auf Veränderungen in der Abundanz und Zusammensetzung z.B. des herbivoren Crustaceenplanktons und des Phytoplanktons. Auf diese Weise könnte durch die Übernahme von Leistungen, die zuvor von Vertretern des Crustaceenplanktons erfüllt worden sind, eine gewisse Pufferung zustandekommen: Eine solche wäre denkbar, wenn nach einem Zusammenbruch der Daphnienpopulation der zuvor von dieser Gruppe geleistete Stoffluß in einem

©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

hinreichenden Anteil von den Protisten übernommen werden würde.

Biomanipulation und das mikrobielle Nahrungsnetz
(GÜDE)

1. Daphnia Arten beeinflussen durch Fraß und durch Nahrungskonkurrenz die **Zusammensetzung der Mikrobengesellschaft** und damit auch deren Funktion im Nahrungsgewebe. Ohne Fraßdruck auf Protozoen ändert sich die Struktur der bakteriellen Lebensgemeinschaft in Richtung zu komplexeren Wuchsformen (z.B. Filamente, Zellaggregate), um dem unter diesen Bedingungen starken Fraßdruck durch die Protozoen entgegenzuwirken. Werden die Protozoen bei hinreichend hohen Daphniaabundanzen zurückgedrängt, dominieren in den Bakterienpopulationen frei suspendierte Einzelzellen.

2. Die **Vernachlässigung des Studiums der Interaktionen** zwischen den Vertretern der klassischen Nahrungskette einerseits und den Protisten und Bakterien andererseits wird in jüngerer Zeit zunehmend als Mangel empfunden, weil die Interpretation der Ergebnisse der Nahrungskettenmanipulation auf der Grundlage der " klassischen" Nahrungskette (z.B. Phytoplankton herbivores Zooplankton planktivore Fische - Raubfische) und der Kaskaden - bzw. Top-down / Bottom up -Theorie in der Regel viele Fragen offen läßt (vgl. GÜDE, LAMPERT, BENNDORF, ARNDT).

3. Mit wachsender Abundanz der Daphnien erhöht sich der Fraßdruck nicht nur auf das Phytoplankton, sondern auch auf das Mikrozooplankton, wodurch sich dessen Fraßdruck auf das **Bakterienplankton** verringert. Eine wichtige Funktion des Bakterienplanktons besteht darin, daß es den durch die Freßtätigkeit des Zooplanktons entstehenden phytoplanktischen Abfall (z.B. ausgelaufene Zellbestandteile durch die mechanische Zerstörung der Zellen, und Ausscheidung von Faeces) in bakterielle Biomasse umsetzt, die über die Zwischenstation Protozoen oder - ohne diese Zwischenstation - direkt vom Crustaceenplankton genutzt werden kann. Das Nahrungsangebot für die Bakterien und damit auch deren Produktion wachsen mit der Daphnienabundanz. Der Abnahme der Bakterienbiomasse durch verstärkten Fraßdruck der Daphnien kann auf diese Weise wirksam entgegengesteuert werden.

4. Die vorrangige Bedeutung des mikrobiellen Nahrungsnetzes besteht nicht in der Bereitstellung eines zusätzlichen Nahrungsangebots für das filtrierende Crustaceenplankton, sondern in der Sicherung einer hohen Primärproduktion durch die **Freisetzung von Nährstoffen.** Bakterien können jedoch als Nährstoff-Falle wirken und somit die Primärproduktion von unten nach oben (bottom-up) steuern.

5. **Nahrungskettenmanipulation** mit dem Ziel der Förderung des algenfressenden Zooplanktons führt zu einfacher strukturierten mikrobiellen Lebensgemeinschaften mit erhöhten Auf- und Abbauraten.

Einfluß periodischer Veränderungen von Milieubedingungen auf mikrobielle Lebensgemeinschaften
(WILDERER)

1. Die **Manipulation mikrobieller Lebensgemeinschaften** durch Änderung der Milieubedingungen ist wegen der raschen Reaktion der Mikroorganismengesellschaft ein hervorragendes Instrument zur Analyse ihrer Anpassung (" Climax-Lage " = stationärer Zustand) und deren funktionelle Konsequenzen. Sie beschleunigt den Erkenntnisfortschritt in der ökologischen und biochemischen Grundlagenforschung, deren Ergebnisse für die Technik der modernen Abwasserreinigung unentbehrlich sind.

2. Zusammensetzung und Leistung einer mikrobiellen Lebensgemeinschaft werden durch viele Milieufaktoren bestimmt. Unter diesen spielt der **periodische (= vorhersagbare) Wechsel (= Störung, Streß)** eine bedeutende Rolle. Er kann daher zur Kontrolle von Funktion und Konformität mikrobieller Lebensgemeinschaften eingesetzt werden. So zwingt beispielsweise periodischer Wechsel zwischen ausreichender Versorgung mit Sauerstoff und Mangel an Sauerstoff aerobe und anaerobe Mikroorganismen (z.B. Nitrifikanten und Denitrifikanten) in eine Biozönose. Ihre Diversität nimmt zu und infolgedessen auch ihre Anpassungsfähigkeit. In modernen Anlagen der biologischen Abwasserreinigung, in welchen der Kreislauf von Belebtschlamm in einer Kaskade erfolgt, könnte die besondere Wirkung des periodischen Wechsels bestimmter Milieubedingungen zur Optimierung der erwünschten Leistungen ausgenutzt werden.

3.Periodische Wechsel werden durch die Größen **Frequenz** (Häufigkeit, mit der die Mikroorganismen bestimmten Milieubedingungen - z.B. reichliches und mangelhaftes Angebot an Sauerstoff, hohe und niedrige Nährstoffkonzentration ausgesetzt werden) und **Amplitude** (z.B. Konzentrationsunterschiede) beschrieben. Infolge witterungsabhängiger unperiodischer Wechsel im Zulaufvolumen des Abwassers sind die Möglichkeiten, Frequenz und Amplitude wichtiger Umweltfaktoren zu kontrollieren, jedoch begrenzt.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Laufener Spezialbeiträge und Laufener Seminarbeiträge (LSB)

Jahr/Year: 1997

Band/Volume: 3_1997

Autor(en)/Author(s): Siebeck Otto

Artikel/Article: Unbeabsichtigte und gezielte Eingriffe in aquatische Lebensgemeinschaften 7-10