

**Naturraumpotential Neusiedler See
Auswirkungen des Grünschnittes auf den Schilfgürtel**

**DAS PROBLEM DER EUTROPHIE
IM NEUSIEDLER SEE**

von Dr. L. Hammer

Anschrift der Verfasserin: Biologische Forschungsstation Illmitz, 7142 Illmitz

In den letzten 10 — 15 Jahren zeigte der Neusiedler See alle Anzeichen eines stark belasteten Ökosystems. Im Gegensatz zur Eutrophieproblematik herkömmlicher, tiefer Seen temperierter Gebiete, ergibt sich jedoch bei der Hypertrophie flacher Seen für ihre limnologische Erforschung in vielfacher Hinsicht eine vollkommenen neue Ausgangssituation. Eine der Ursachen liegt in der historischen Entwicklung der limnologischen Forschung selbst die ihre Erkenntnis an tiefen Seen erarbeitet hat, während langfristige, kontinuierliche Untersuchungen an flachen Seen nahezu völlig fehlen.

Auch der Neusiedler See — mit einer offenen Wasserfläche von 100 km² Österreichs größter See — wurde erst in den vergangenen 20 Jahren intensiver limnologisch untersucht. Vor allem das IBP (International Biological Program) — das beim XV. Internationalen Limnologenkongress 1962 in Madison (Michigan, USA) für die aquatischen Lebensräume Gestalt annahm — zusammen mit seinem Nachfolgeprogramm MAB (Man und Biosphere) wurde zum Motor zahlreicher Forschungsvorhaben und 1979 erschien unter der Redaktion H. LÖFFLER'S eine Monographie zur Limnologie des Neusiedler Sees: ed. LÖFFLER: Neusiedler See: The limnology of a shallow Lake in Central Europe (JUNK, den HAGUE).

Veränderungen im Phytoplankton als Eutrophiehinweis

Zu den frühesten Untersuchungen gegen Ende des vergangenen Jahrhunderts zählen taxonomische Arbeiten über die artenspezifische Zusammensetzung des Phytoplanktons des Neusiedler Sees und die klassischen Meister der Systematik wie SCHILLER und HUSTEDT lieferten grundlegende Erkenntnisse zur Phycologie des Sees (SCHILLER 1955, HUSTEDT 1959 vergl. DOKULIL 1979 sowie KUSEL FETZMANN, beide in ed. LÖFFLER 1979). So waren es denn auch vor allem die eklatanten Veränderungen im Artenspektrum des Phytoplanktons, das Aufkommen und die Massenentfaltung der Cyanophycea: *Microcystis aeruginosa* et spec. in allen Teilen des Sees (KUSEL FETZMANN 1983), sowie die Zunahmen mehrerer Arten der Chlorophyceae, die als Ökoindikatoren einer „rasanten Seeneutrophierung (OHLE 1953)“ gewertet werden konnten. Auch war eine vermehrte Biomassenentfaltung des Phyto- und Zooplanktons (DOKULIL 1979 in ed. LÖFFLER, HAMMER 1979) zu beobachten, wenn auch einschränkend bemerkt werden muß, daß die Gesamtmenge der pflanzlichen Biomasse im Augenblick noch hinter jenen Werten zurückbleibt, die auf Grund des Nährstoffangebots möglich wären. Trotzdem waren diese Anzeichen schwerwiegend genug, daß eine Entlastung des Ökosystems des Neusiedler Sees (wozu auch der Schilfgürtel zu zählen ist) geboten schien.

1980 wurde auf Grund einer Initiative der Bgld. Landesregierung unter der Leitung von Landesrat Dr. MADER eine interdisziplinäre Wissenschaftler Gruppe von ungefähr 40 Wissenschaftlern gegründet, deren Arbeitsziel sein sollte eine Studie eines Gesamtkonzeptes des Neusiedler Sees zu erstellen, um letztendlich einen Weg zu einer Entlastung des aus dem Gleichgewicht geratenen Ökosystems zu finden (vergl. GROSINA 1980). Innerhalb dieses vorgegebenen Rahmens umfaßte ein Teilbereich der Studie in seiner Fragestellung die Möglichkeit über gezielte Eingriffe in den Verlandungsgürtel den See so zu entlasten, daß seine Produktivität reduziert würde und water blooms in Zukunft verhindert werden könnten (vergl. Beitrag KUSEL-FETZMANN und HOFBAUER).

Der Schilfgürtel in seiner Bedeutung zum See

Anders als bei tiefen Seen werden in Flachgewässern durch die Polymixis die limnologischen Faktoren raschesten Wechseln unterworfen und in immer neuen Graduierungen und Kombinationen miteinander verknüpft. Vor allem aber haben die Wechselwirkungen des sich ohne nennenswerte Halde in den Litoralbereich fortsetzenden

Wasserkörpers mit dem Seewasser im Gesamthaushalt eine prozentual weitaus größere Bedeutung als im tiefen See. Hier beträgt das Wasservolumen des Pelagials ein Vielfaches gegenüber dem geringen Volumen stehenden Wassers innerhalb der schmalen Säume der Helophytenbestände. Im Neusiedler See ergibt sich zusätzlich aus der besonderen Wuchsstruktur des *Scirpo-Phragmitetum utricularietosum* eine völlig neuartige Biotopentfaltung limnologischer Kleinsysteme innerhalb der Verlandungszone.

Ein Charakteristikum des Neusiedler See Schilfgürtels ist die besondere Bestandesentwicklung im Laufe einer mehrjährigen Vegetationsperiodik. Grundsätzlich fehlt dem Neusiedler See ein Schwimmblattpflanzengürtel (*Nuphar*, *Nymphaea*) ebenso wie ein seeseitiger *Scirpus*-Saum. Die Verlandungszone beginnt sofort mit einzelnen Pionierpflanzen von *Phragmites australis* und bis zu einem Alter von zwei Jahren entstehen Reinbestände von *Phr. australis* mit einer geschlossenen Pflanzendecke. Vom 2. Jahr des Bestehens an lockert sich der Bestand völlig unregelmäßig auf und dazwischen entstehen kleine Wassertümpel geringer Wassertiefe (vergl. Beitrag GRÜLL und ZWICKER, S.).**

Mit der eingangs erwähnten Monographie zur Limnologie des Neusiedler Sees wurde erstmals ein Überblick über zahlreiche Teilgebiete ökologischer Prozesse im See sowie die Beziehung des Sees mit seinen hydrographischen Bedingungen umfassend dargestellt, Untersuchungsdaten zu den limnologischen Abläufen innerhalb einzelner Huminwasserbiotope waren jedoch auch Anfang der 70er Jahre noch immer Mangelware. Ebenso fehlte eine klare Aussage über die Funktion des Schilfgürtels innerhalb des Ökosystems. Eine der Ursachen für die spärliche Kenntnis limnologischer Prozesse in den einzelnen Huminwasserbiotopen ist die unabdingliche Notwendigkeit hölzerner Stegsysteme, um das Untersuchungsareal zum Arbeiten betreten zu können. Ihre Konstruktion scheitert meist an den exorbitanten Kosten. Zudem wechseln in den einzelnen Huminwasserbiotopen mit den abiotischen Faktoren auch die trophogenen wie die -lytischen Abläufe in kürzester Zeit und biotopeigen, die nur dann vollständig erfaßt werden können, wenn die Untersuchungen in kurzen Intervallen mindestens im 24 h Rhythmus durchgeführt werden und sofort die nötigen labortechnischen Arbeiten erfolgen. Neben einem ausgedehnten Stegsystem in unterschiedliche Gebiete des Schilfgürtels ist also die unmittelbare Nähe eines Labors eine *conditio sine qua non* für derartige Untersuchungen.

Das Produktionsproblem

Zweifelsohne steht im Mittelpunkt jedes Hypertrophieprozesses das Produktionsproblem, das zwar mit der Erfassung der Primärproduktion und der sie steuernden Faktoren beginnen muß, aber durch die besonderen Beziehungen der pflanzlichen zur tierischen Biomasse im aquatischen Lebensraum langfristig die Gesamtkette der Produktivität erfassen muß. Der grundlegende Unterschied zwischen einem tiefen See und einem Flachgewässer ist vor allem darin zu sehen, daß trophogene und tropholytische Prozesse nicht räumlich auf verschiedene Wasserkörper eines Epi- und Hypolimnions durch eine thermische Schichtung über längere Zeiträume getrennt ablaufen, sondern gleichzeitig in ein und demselben Wasserkörper stattfinden. Natürlich wird die planktische Primärproduktion wie die terrestrische pflanzliche Produktion vom Nährstoffangebot, dessen biologischer Verfügbarkeit gesteuert und das LIEBIG'sche Gesetz vom „Minimumstoff“ gilt ebenso im aquatischen Milieu wie auf dem Festland. Während jedoch im tiefen See die Produktionsprozesse im freien Wasserkörper nur

** Vorläufig ist die Ursache dieser „Bestandeslichtung“ nicht untersucht. *Phr. australis* vermehrt sich im Neusiedler See Gebiet nur vegetativ. Ob die besonderen genetischen Bedingungen, die mit der Klonbildung verbunden sind, bei der Bestandesauflockerung eine Rolle spielen ist unbekannt.

durch die stete **N a c h l i e f e r u n g** der Nährstoffe — vorrangig der Phosphor- und Stickstoffverbindungen — vom Lande her zur Eutrophie führen, genügen im Flachsee weitaus geringere Mengen da die Umsatzgeschwindigkeiten des Sees selbst kurz sind und die Nährstoffe von einer Planktongeneration direkt auf die nächste übergehen.

Neben den raschen turn over rates des Nährstoffkreislaufs im Flachsee kommt aber auch stetig ein Konglomerat von Abbauprodukten aus sterbenden Phyto/Zooplanktongemeinschaften zusammen mit den bakteriellen Umsetzungen ins Seewasser und der gesamte Wasserkörper wird zum „**W i r k s t o f f r a u m**“ (HAMMER 1984).

In diesem Zusammenhang soll nur kurz erwähnt werden, daß neben der Gruppe der Abbauprodukte — die meist als gelöste Kohlenstoffverbindungen vorliegen dürften — zwei weitere Stoffgruppen wirksam werden können. Einmal verlieren Phytoplankter durch Exosmose oft schon während der Photosynthese substantielle Mengen der Aufbauprodukte (nach ALLEN 1971 bis zu 80 %) passiv an das Milieu, andererseits kann die aktive Ausscheidung bestimmter Stoffe gerade wasserblütbildender Algen zur Allelopathie führen und ganze systematische Gruppen aus einer Population herauskatapultieren. Bei Untersuchungen auf diesem Gebiet ist es natürlich nötig die chemische Identität gefundener Substanzen nachzuweisen, aber ohne detaillierte Untersuchungen der Mechanismen, die zu ihrer Freisetzung führen, können kaum nützliche ökologische Folgerungen gemacht werden. Auf lange Sicht könnte gerade hier ein Hebel liegen, um in polymiktischen Flachgewässern biologisch in die Populationsdynamik einzugreifen und unerwünschten Entwicklungen gegenzusteuern.

Da durch die in neuerer Zeit verbesserten chemischen Nachweismethoden heute Phosphor- und Stickstoffkomponenten in natürlichen Wässern serienmäßig nicht nur rasch, sondern auch bis zu geringsten Konzentrationen nachweisbar sind, wird das Trophieproblem nur zu oft einseitig allein aus der Nährstoffsituation beurteilt.

Natürlich ist in hypertrophen aquatischen Ökosystemen die Erfassung des Nährstoffkreislaufs unerlässlich und es **m ü s s e n** Maßnahmen zur Reduktion/Entlastung der/-von im Wasser vorhandenen produktionsanheizenden Nährstoffe gesetzt werden. Auch im Neusiedler See kann die Verminderung der Phosphor- und Stickstoffverbindungen im Seewasser keine Frage der Diskussion sein; jedoch ergibt sich — zusätzlich zur spezifischen Limnologie eines Flachsees — durch seinen außergewöhnlichen Wasserhaushalt eine ganz besondere Situation.

Die Belastungsquellen

Der See ist bekanntlich mit Ausnahme der Wulka im NW und einigen Zubringerkanälen (Golser Kanal, Frauenkirchner Kanal, Ruster Kanal ect.) ohne nennenswerten, in seiner Wasserführung **m e s s b a r e n** direkten Zustrom und besitzt nur im Einser Kanal einen — regulierbaren Abfluß, der nur fallweise bei sehr hohem Wasserstand geöffnet wird und dann natürlich durch eine spürbare Volumensminderung automatisch zum out put von im Seewasser enthaltenen Stoffen führt⁰⁰. Die größte Wasserzufuhr erfolgt durch Niederschläge im direkten Eintrag resp. durch abfließende Oberflächenwässer durch den Schilfgürtel. Der große Unterschied des Zuflußsystems des Neusiedler Sees im Vergleich zu Seen mit natürlichen Zuflüssen in Form von Bächen oder Gebirgsflüssen liegt in der geomorphologischen Struktur des Durchgangsgebietes der Kanäle/Wulka bis zum Eintritt in den See. Mit Ausnahme des Ruster Höhenzuges — einem Ausläufer des Leithagebirges — ist das Einzugsgebiet des Sees durchwegs ohne nennenswerte Höhendif-

⁰⁰Soll gleichzeitig ein wirksamer Entzug von Phosphaten bewirkt werden, muß die Schleusenöffnung an windigen Tagen erfolgen, damit auch genügend Suspensioide verloren gehen.

ferenz und Zubringerkanäle haben kaum Gefälle. Eine Folge ist, daß auch im sogenannten „Bachbett“ bereits vielfach Phragmites-Bestände ausgebildet sind und das dem See zufließende Wasser je nach Wasserführung eine unterschiedlich lange Verweilzeit im Gerinne hat und hier bereits Sekundärprozesse ablaufen, die zwar kurzfristig durch Hochwassersituationen unterbrochen werden können. Eine Erfassung chemischer Zustandsgrößen der Zuflußsysteme auf ihrem Weg zum landseitigen Seerand kann daher nur eine grobe Orientierung ermöglichen, jedoch eine Beurteilung einer ökologischen Valenz der Beeinflussung des Sees a priori kann nicht gemacht werden. Wenngleich der wulka eine bestimmte unterschiedliche Strömungsgeschwindigkeit eigen ist, so liegt ihr landseitiges Mündungsgebiet nahezu 5 km vom Seeufer entfernt und schon bald nach dem Eintritt in den Verlandungsgürtel durchsickert ihr Flußwasser ohne definiertes Bachbett ähnlich einem Tropfkörper den Helophytengürtel.

Der Schilfgürtel des Neusiedler Sees als natürliches Filter

Unter der Annahme, daß der direkte Eintrag aus dem Niederschlag von den See belastenden produktionssteuernden Komponenten mengenmäßig gering ist, wäre in der Gesamtheit aller Oberflächenwässer das eigentliche „Verursacherprinzip“ der steigenden Trophie zu sehen. Aus dieser Hypothese ergeben sich einige grundlegende Fragestellungen, aber auch im Hinblick der zu fordernden Maßnahmen zur Entlastung des Sees eine erste d e n k b a r e Funktion des Schilfgürtels in seiner Wirkung auf das Geschehen im See.

- 1) Die Funktion des riesigen — aus einer nahezu einheitlichen Monokultur von Phragmites australis bestehend — Verlandungsgürtels besteht in einer „Filterwirkung“
- 2) Die vom Lande abfließenden Oberflächenwässer verarmen sukzessive auf ihrem Weg vom Land zum See substantiell an Nährstoffen, weil Phr. australis seinen Nährstoffbedarf ü b e r w i e g e n d durch die ins Huminwasser eintauchenden Adventivwurzeln, also oberirdisch, deckt.
- 3) Nach der Nährstoffaufnahme wandern die Minimumstoffe größtenteils in die Schilfblätter, wo sie b i s z u m L a u b f a l l lokalisiert bleiben.
- 4) Ab August setzt der Blattwechsel ein und bis zum Herbst (Okt., Nov.) werden mit allen abgefallenen Blättern auch die aufgenommenen Nährstoffe zum natürlichen recycling ins System zurückgebracht. Den Winter über werden bei der Remineralisierung die Phosphate und N-Verbindungen in das aquatische oberirdische System zurückgebracht, wobei durch einen unvollständigen Abbau des gesamten organischen Materials auch die Huminstoffe entstehen.
- 5) Durch die veränderte Landwirtschaftsstruktur — vor allem der „totale“ Wandel von einer Weidewirtschaft zur Weinbaulandschaft mit einer enormen künstlichen Düngung — erhöhte sich die Fracht an Phosphor- und Stickstoffverbindungen der Oberflächenwässer so enorm, daß die Kapazität der Phragmites-Bestände in ihrer Wirkung eines dem See vorgeschalteten „natürlichen Vorfluters“ überfordert ist.
- 6) Dem See fließen daher ungehindert große Mengen an Nährstoffen, vor allem aus der künstlichen Düngung im Weinbau herrührend, zu, wobei durch die fehlende natürliche Grasnarbe auch eine erhöhte Bodenersosion zum out put führt.
- 7) Eine großflächige Entfernung vollbelaubter Schilfpflanzen während der Vegetationszeit mittels einer sommerlichen Mahd würde so zu einer allmählichen Verarmung zunächst des innerhalb der Schilfbestände anstehenden Huminwassers führen und letztendlich werde auch eine Entlastung des Sees erreicht. Eine mechanische Schädigung der Pflanzendecke wird dabei a priori ausgeschlossen.

Zusammenfassend sollen hier nur einige allgemeine Gesichtspunkte angeführt werden, da diese Untersuchungen nur insofern wichtig waren, als evtl. Veränderungen in der Phytoplanktonbesiedlung oder Produktion erfasst werden sollten, wie sie in einem Grünschnittgebiet auftreten könnten. Der „Grünschnitt“ ist auf lange Sicht nicht zielführend, weil die Stoffaufnahme von *Phr. australis* nicht diesem Denkschema folgt. *Phr. australis* ist — wie die meisten Gräser — physiologisch dadurch ausgezeichnet, daß es bei ihm eine interne „Stoffverschiebung“ während der Vegetationsperiode gibt (FIALA 1973 b). Sofort nach der Blüte (Mai/Juni) werden vorrangig die Minimumstoffe ins Rhizom verlagert und die oberirdischen Teile (Halm und Blätter) verarmen langsam an eben jenen Stoffen, die man durch eine sommerliche Ernte dem System entnehmen will. Wenn also im Spätsommer erneut ein Austreiben der Schilfpflanze zu beobachten war, so deckt das Schilf seinen Nährstoffbedarf aus den *unterirdischen* Rhizomen und da die Vegetationsperiode zu kurz ist, kann aus der Zwischengeneration keine weitere erneute Verlagerung nach unten erfolgen. Zusammen mit der Verarmung an Reservekohlehydraten ist die Zwergwüchsigkeit der im 2. Folgejahr wachsenden Schilfbestände dadurch bedingt. Auch ist ein solcher Eingriff zur Zeit der höchsten Produktivität des Schilfes schon aus Gründen der mechanischen Schädigung großer weitausgedehnter Rhizomflächen undurchführbar. Es kommt zum Zusammenpressen der weichen, empfindlichen Rhizome, die ja nur knapp unter der Oberfläche verlaufen (FIALA 1973 a) und das Gewebe wird infiltriert. Wie GESSNER an *Helianthuskeimlingen* zeigen konnte, ist der Verlust des Interzellularensystems eine irreversible Schädigung. Limnologisch gesehen, werden chemische Komponenten aus dem Rhizom zurückgebracht, die normal nicht in den oberirdischen Huminwasserbereich kämen (HAMMER 1982).

Der Schilfgürtel des Neusiedler Sees als eine „Nährstoffalle“

Neben der eben diskutierten hypothetischen Annahme einer „Filterwirkung“ des Schilfgürtels gibt es seit langem eine weitere konkrete Vorstellung über die Funktion des Schilfgürtels im Gesamtökosystems des Neusiedler Sees (LÖFFLER 1974, HAMMER 1982). Im Gegensatz zur These der „Filterwirkung“, die eine Entlastung im in put bedeuten würde, geht die Vorstellung der seeseitigen Verlandungszone als einer „Nährstoffalle“ von einer — freilich langfristigen — Verminderung des vorhandenen Nährstoffdepots im See selbst aus. Da bei stark auffrischendem Wind mit dem zunehmenden Trübstoffgehalt die Menge an gelösten Phosphorverbindungen langsam aus dem Wasser abnimmt jedoch der Gesamtphosphor hoch bleibt, postulierte LÖFFLER (1974), daß ähnlich der *Varzea* im Solimoes, die Trübeartikel als Adsorbens für Phosphate wirken (METZ 1981). Für die Produktion des Phytoplanktons wird nicht nur die euphotische Schicht durch den steigenden Sestonengehalt bei stürmischen Bedingungen rasch geringer, sondern auch die biologische Verfügbarkeit des Phosphates vermindert sich rasch (HAMMER in Prep.). Nach LÖFFLER wird das trübehaltige Wasser bei anlandigen Winden etwa 400 bis 500 m weit in den Schilfgürtel verdriftet und innerhalb des Helophytenbestandes — in einem Stillwasserbereich — kommt es zur Sedimentation. Dadurch wird dem See in unregelmäßigen Abständen an den unterschiedlichsten Stellen seiner Uferzone immer wieder substantiell Phosphor entzogen und durch diesen Mechanismus habe sich der See immer wieder weitgehend selbst reguliert. Unter dieser Voraussetzung ergeben sich für die derzeitige steigende Nährstoffbelastung zwei Arbeitshypothesen.

Eine erste denkbare Erklärung liegt in der Annahme, daß sich in der Sedimentationszone einige grundlegende Änderungen ergeben haben und der Mechanismus eines „Nährstoffdepots“ nicht mehr funktioniert.

Freilich läßt sich aber auch denken, daß alle Voraussetzungen der LÖFFLER'schen Theorie noch immer gegeben sind, jedoch ist der dadurch erreichbare output nicht mehr ausreichend. Die praktische Konsequenz wäre daher eine Vergrößerung des Einzugsgebietes der Sedimentation für den Trübstoff, die einmal durch eine Ausdehnung der Sedimententzugszone landwärts mit gleichzeitiger Oberflächenvergrößerung mittels feiner Kanäle erzielt werden kann. Freilich ist auch ein Verhindern des zu raschen Abflusses aus dem Sedimentationsgebiet nötig, sodaß eine Art Buhnen in die Kanäle hineinreichen müßte, ähnlich einer umgekehrten Landgewinnung (WOHLENBERG in GESSNER 1957).

Untersuchungsstandorte

In jedem Fall — ob „Filterwirkung“ oder „Nährstoffalle“ — ergeben sich für limnologische Untersuchungen im Gesamtökosystem: Neusiedler See: Verlandungsgürtel zur Lage der Untersuchungsstandorte zuerst jene Einteilungsprinzipien, die einerseits der Größe des Untersuchungsareales andererseits der Vielfalt ökologischer Kleinökosysteme gerecht werden müssen. Es gilt daher Untersuchungen so durchzuführen, daß die Erfassung einzelner Parameter (abiotischer wie biotischer) aussagekräftig ist für das gesamte Seegebiet. Demgegenüber müssen gezielte vergleichende Untersuchungen in engbegrenzten Gebieten des Sees und in Klein-Biotopen des Schilfgürtels dem raschen Wechsel der physikalisch chemischen und biologischen Bedingungen Rechnung tragen. Es sind daher vor allem — mindestens im 24 h Rhythmus, wenn nicht mehrere Tage nacheinander in nur 2 — 4 stündigem Abstand in situ-Experimente (z. B. 14 C) oder Probenahmen notwendig, um die physikalisch-chemischen Veränderungen gemeinsam mit den biologischen Prozessen zu erfassen. Oft lösen die biologischen Stoffwechselvorgänge (Photosynthese oder Atmung) die Veränderungen im ambiente erst aus, aber natürlich werden sie auch umgekehrt von den phys. chem. Zustandsgrößen gesteuert. Punktuelle Untersuchungen in einem derart riesigen Ökosystem blieben aber sinnlos, würde man nicht gleichzeitig nach Ökoindikatoren suchen, die eine — wenn auch nur annähernd — Übertragbarkeit gefundene Gesetzmäßigkeiten auf weite Areale erlaubt (HAMMER 1982 b). Durch entsprechende Standortwahl muß auch jene Zone (Austauschzone) erfaßt werden, in der durch Eindriften von trübe-hältigem Seewasser innerhalb der Huminwasserbiotope biotische Gesetzmäßigkeiten durchbrochen oder evtl. verändert werden oder wo beim Austritt von Schilfwasser aus dem Verlandungsgürtel — unter dem Einfluß ablandiger Winde — in die Seerandzone deren limnologische Abläufe kurz- oder langfristig beeinflusst, induziert oder gestoppt werden. Abschließend muß noch erwähnt werden, daß mit der wachsenden Einsicht in die Abläufe in den einzelnen Biotopen die laufenden Untersuchungen bzw. das Netz der Untersuchungsstellen/Probenahmepunkte angepasst werden muß.

Problemstellung

Die im Rahmen der AGN durchgeführten Untersuchungen sind nur verständlich, wenn man die ersten Ergebnisse eines 1976 begonnenen Forschungsprogrammes (HAMMER 1978, 1979, 1980) zur Limnologie von Huminwasserbiotopen innerhalb des Verlandungsgürtels des Neusiedler Sees als Basis voranstellt und jene Ergebnisse, die aus den laufenden Forschungsprogrammen der Biol. Station Illmitz im Rahmen der hydrobotanischen Problematik stammen, mit in eine synökologische Betrachtung einbezieht.

Das Ziel der 1976 begonnenen limnologischen Untersuchungen im Neusiedler See und in seinem Schilfgürtel war über die Ermittlung der biologischen sauerstoffproduzierenden wie — konsumierenden Prozesse unter Einbeziehung atmosphärischer Austauschgrößen den Sauerstoffhaushalt des Neusiedler Sees unter Berücksichtigung der limnischen Abläufe in Schilfwasserstandorten zu erarbeiten.

Vor allem die — zunächst nur in einem Huminwasserbiotop der Austauschzone See: Schilfrand ausgeführt — Ergebnisse der Tag/Nachtverteilung des Sauerstoffgehaltes des Huminwassers innerhalb von Schilfbeständen in Jahresablauf wurden zentraler Ausgangspunkt für ein breitangelegtes Untersuchungsprogramm. So hatte sich ergeben, daß im Laufe des Frühjahrs in einem kleinen Huminwasserbiotop innerhalb eines alten dichten Schilfbestandes langsam eine Anaerobie entsteht, die dann im Sommer tagelange Perioden von Sauerstofffreiheit im Schilfwasser bedingt. Eine der Folgen anaerober Bedingungen in aquatischen Lebensräumen ist die von EINSELE (1938) gefundene Freisetzung/Rücklösung von Phosphaten unter gleichzeitiger Reduktion von Fe^{+++} zu Fe^{++} , wobei zusätzlich in der Anaerobie die Nitrifikation eine Verschiebung der Nitrate zu NH_4 bewirkt (SCHRÖDER 1975 ref. HAMMER 1978, NEUHUBER und HAMMER 1979, HAMMER 1982).

Für den Fragenkomplex regulativer Eingriffe in den Schilfgürtel mit dem Endziel einer verringerten Produktivität des Sees ergab sich daher zunächst die Frage nach der Relevanz der ersten Ergebnisse für weite Gebiete — also räumlich weit entfernte Standorte unterschiedlichster Größe. Vor allem mußte geklärt werden, ob diese chemischen Umsetzungen allein biologisch bedingt und daher auch beeinflussbar sind. So wurden Messungen in der Austauschzone in zueinander nahegelegenen Standorten (auf einer Linie von 30 m) durchgeführt im Vergleich zu einem Untersuchungsgebiet, das soweit landwärts gelegen ist, daß kein Einfluß des Seewassers erwartet werden konnte. Zusätzlich wurde auch ein repräsentativer Standort in einer Versuchsfläche, wo Phragmites im Juli/August 1980 grün gemäht worden war, ausgewählt. Bei vergleichenden Untersuchungen limnologischer Prozesse innerhalb verschiedener Schilfwasserstandorte wurden gleichzeitig auch alle Parameter im Seewasser in der Uferrandzone erfaßt (vergl. HAMMER 1982). Da Schilfwässer — oder ganz allgemein Schwarzwässer (HAMMER 1962) charakterisiert sind durch einen unterschiedlich hohen Gehalt an Huminstoffen, sind durch deren kolloidale Beschaffenheit viele chemische Nachweismethoden nicht ohne weiteres anwendbar und z. B. die Erfassung des COD (chemical oxygen demand) nur unter großem Zeitaufwand möglich. Es wurde daher versucht nicht nur den biologischen Ein- und Austrag über Produktionsmessungen (O_2 -Methode wie auch ^{14}C) im 24 h Tag/Nachtgang zu erfassen, sondern zusammen mit Löslichkeitsmessungen des Sauerstoffs in den einzelnen Wässern, die Frage einer Beeinflussung der Anaerobie durch den atmosphärischen Eintrag zu eruieren. Die Schilfwasserstandorte sind sehr oft auch der Biotop der frei schwimmenden submersen Phanerogame *Utricularia vulgaris*, die etwa ab April in den meisten Blänken zur Massenentfaltung kommt und — je nach Belichtung — bis Ende September in der obersten 0 — 15 cm Huminwasserschicht lebt. Durch ihre besondere Art der Sauerstoffabscheidung während der Photosynthese wie ihren von der Sauerstoffkonzentration des Aussenmediums und in ihrem eigenen Interzellularensystem abhängigen Atmungsstoffwechsel dominiert sie weitgehend alle anderen Teilprozesse des Sauerstoffhaushaltes ihrer Standortsgewässer innerhalb der Verlandungsgebiete. Die durchgeführten Untersuchungen sollten den „Ist-Zustand“ in einzelnen charakteristischen Huminwasserblänken erfassen vor allen aber sollten die limnologischen Untersuchungen als Entscheidungshilfe dienen, wobei die vordergründige Problematik zur Entlastung des Sees selbst anstand: Belassen der Anaerobie und damit Duldung der Freisetzung und Rückführung größerer Mengen an gelöstem Phosphor oder — wenn möglich — eine Veränderung der Anaerobie und damit auch eine Veränderung der Nitrifikation. Dann wäre über verbesserte Sauerstoffverhältnisse eine evt. Belastung durch Rücklösung substantieller Phosphorverbindungen aus dem Schilfgürtel geringer aber an Stelle einer vermehrten NH_4 -Anreicherung müßte mit einer Belastung von Nitraten der verschiedenen Seerandgebiete gerechnet werden.

Die Entstehung der Anaerobie in Huminwasserbiotopen des Schilfgürtels des Neusiedler Sees

Die ökologische Wirkung der abiotischen Faktoren auf die sauerstoffzeugenden — wie konsumierenden Prozesse — vorrangig das Unterwasserklima zusammen mit dem Temperaturfaktor und der Wasserbewegung — ist im See und in den Huminwasserbiotopen innerhalb der Verlandungszone außerordentlich unterschiedlich wenn nicht in Einzelfällen konträr.

1) Strahlungsbedingungen in Schilfwasserbiotopen

Die in Schilfwasserbiotopen photobiologisch wirksame Strahlungsmenge wird über Wasser durch den vegetativen Zyklus des Phragmites-Bestandes, dessen Halmdichte/m² und Halmhöhe in Relation zur offenen Wasseroberfläche bestimmt. Daher weist das Lichtklima innerhalb der Schilfbestände sowie in den Huminwasserbiotopen einen markanten Jahresgang auf. Im Frühjahr und im Spätherbst vermindert der blattlose standing crop von *Phr. australis* die Strahlungsenergie auf ihrem Weg zur Wasseroberfläche kaum, jedoch ist insgesamt eine Verkürzung der Tageslänge zu beobachten. Mit der Laubentwicklung von Mai an wird die Strahlung durch den Bestand rapide abgeschwächt und ab Juni etwa erreichen in dichten Beständen ($\gg 50 \text{ H./m}^2$ und 3 m Halmhöhe) nur mehr 10 — 15 % der auf den Bestand auftreffenden Strahlungsenergie die Wasseroberfläche kleinerer Blänken. Da der Schilfgürtel nicht nur durch die Auflockerung der Pflanzendecke allmählich mit Schilfwasserbiotopen durchsetzt wird, sondern auch die Halmdichte von $\gg 100/\text{m}^2$ bis zu sehr schütterten oft nur büschelartig ausgebildeten *Phr.*-Beständen reichen kann, ergeben sich enorme Unterschiede in seiner strahlungsfilternden Wirkung. Der Phragmites-Gürtel rund um den Neusiedler See ist in seiner Flächenausdehnung daher mit Tausenden kleinen und größeren Wasserflächen sehr unterschiedlicher Belichtungsgrade durchsetzt, wobei die Lichtverhältnisse durch die leichte Beweglichkeit der Schilfhalmes oft einem „Flackerlicht“ entsprechen (ONDOK 1977, HAMMER 1983). Demgegenüber steht das Unterwasserlichtklima, das zusätzlich zur quantitativen Veränderung durch die optischen Eigenschaften der gelb-bräunlichen Huminstoffe qualitativ eklatant verändert wird. So gilt für alle Huminwasserbiotope, daß in der allerersten 0 — 3 cm Wasserschicht bereits 60 % der PhAR (photosynthetic active radiation) absorbiert werden und spätestens in einer Tiefe von 15 cm sind nur mehr 80 % der PhAR vorhanden (HAMMER 1983). Zusätzlich erfolgt in Schilfwasserblänken mit *U. vulgaris* eine weitere quantitative Abschwächung, wobei allerdings durch die lose schwimmenden Pflanzen immer wieder Flecke der Durchlässigkeit bis zum Grund entstehen, wo das Licht bis zum Grund durchdringt. Der Boden derartiger Schilfwasserblänken ist daher lichtklimatisch durch „Sonnenflecken“ charakterisiert. Während also die vertikale qualitative Lichtverteilung nahezu einheitlich ist — in der Mischzone See: Verlandungsrand erfolgt durch die Zumischung von Seewasser der Absorptionsabfall von 0 — 15 cm langsamer — unterscheiden sich die Blänken untereinander zusätzlich zur variierenden Gesamtmenge der Strahlung auch durch ihre Belichtungsdauer. Je kleiner die Blänkenoberfläche und je dichter und höher der sie umrandende Schilfbestand ist, desto kürzer wird die Tageslänge der einzelnen Blänken.

2) Die Temperaturverhältnisse in Schilfwasserbiotopen

Die direkte Folge dieser besonderen lichtklimatischen Bedingungen ist die jahreszeitliche Verteilung der Wassertemperaturen in der horizontalen Ausbreitung in der Schilfgürtelzone, wie die Tag/Nachtgänge der Temperatur an der Oberfläche und ihre Vertikalverteilung in einzelnen Blänken. Vor der Blattentwicklung bei

Phr. australis erfolgt durch die geringe Transmissionshemmung des alten Stengelbestandes in allen Huminwasserbiotopen gleichzeitig die qualitative und quantitative Absorption der Strahlung in der allerobersten Wasserschichte. Alle Blänken sind daher sofort nach der Eisschmelze an sonnigen kalten Wintertagen durch hohe Oberflächentemperaturen und große Amplituden im Tagesgang ausgezeichnet, kühlen jedoch durch die geringen Lufttemperaturen auch rasch und stark ab. Die Amplituden vom Mittelwert (24 h) sind sowohl für die Maxima wie die Minima etwa gleich. In Standorten mit schütterem, niedrigen Schilfbeständen (« 50 Halme/m² und 2,5 m) steigt mit zunehmender Sonneneinstrahlung im Jahresverlauf die Absoluttemperatur des Wassers, jedoch bleibt die 24 h Rhythmik mit großen \pm Amplituden um den Mittelwert bis zum Herbst erhalten. Im Gegensatz hiezu verringert sich in kleineren Blänken, die vor allem in der jüngeren, an den offenen See anschließenden Verlandungszone zu finden sind, nicht nur die bis zur Schilfwasseroberfläche durchdringende Strahlungsmenge, sondern dichte Bestände verkürzen durch ihre Morphometrie die „Tageslänge“ jeder einzelnen Blänke erheblich, vor allem aber auch individuell. Während die Tagesgangdifferenzen der Oberflächenwerte der Wassertemperatur im Frühjahr aller Huminwässer leicht 5 — 10⁰ C erreichen können, erwärmt sich die Wasseroberfläche innerhalb dichter Schilfbestände im Sommer im Tagesgang nur wenige ⁰C und im Laufe des Sommers weist diese Zone sowohl dem See gegenüber wie auch der landwärts anschließenden Areale des Gesamtwasserkörpers zunehmend tiefere Temperaturen auf.

Da durch die Klimabedingungen des pannonischen Raumes die Absolutwerte der Wassertemperaturen im Sommer mehr als 25⁰ C betragen können, entstehen viele Situationen, wo sich die Dichteanomalie des Wassers als Isolationseffekt für die einzelnen Schilfwasserblänken untereinander flächenmäßig auswirkt oder vertikal markante Temperaturschichtungen auf kleinstem Raum entstehen können (HAMMER 1983 a, 1983 b). Bekanntlich bedeutet eine Temperaturdifferenz von 1⁰ C zwischen 25⁰ und 26⁰ eine etwa 30 mal größere Stabilität als bei 1⁰ C Differenz zwischen 4⁰ und 5⁰ C (HAMMER 1982). Da sich jedoch die Differenzen ebenso rasch abbauen wie sie sich aufbauen ist die Dauer der Horizontalabgrenzungen zeitlich und räumlich immer wieder aufs neue verschieden. Flächenmäßig thermisch getrennte Huminwasserbiotope bilden sich rein zufällig aus momentanen meteorologischen Situationen. Durch die rapide Absorption der PhAR in den allerobersten Zentimetern in den einzelnen Schilfstandorten entsteht im Tagesgang auch eine vertikale Temperaturschichtung mit einer markanten und äußerst stabilen Sprungschichte in 15 cm Wassertiefe (HAMMER 1981, 1982). Ihr nächtlicher Abbau hängt unter anderem von der Einstrahlungsdauer sowie den Maxima des Tagesganges ab. Im Moment der Homothermie resp. einer gegenüber der Tiefentemperatur niedrigeren Oberflächentemperatur kommt es zur Vertikalzirkulation.

- 3) Der Stagnationseffekt in Huminwasserbiotopen
 Generell gilt für die Windverteilung innerhalb von Phragmites-Beständen, daß in einem Standort mit einer Entfernung von 30 m zum freien Wasser/Land bei einer Halmhöhe von 3 m und einer Halmdichte von mehr als 50/m² die Windbewegungen 0,5 m über der Wasserfläche eliminiert sind. Dies bedeutet, daß Gaswechsellvorgänge in Huminwasserbiotopen weitgehend der gegenüber der Luft 35.000-fach verringerten Diffusionsgeschwindigkeit unterliegen (HAMMER 1978). In offeneren Schilfbeständen oder bei größerer Blänkenoberfläche wird der Wind erst bei etwa 4 m/sec. gebremst und unterhalb dieser Windgeschwindigkeit herrscht dann auch

hier über dem Wasser keine meßbare Windbewegung mehr (HAMMER 1982). Wenn die Auswirkungen der Einstrahlung auf die Wassertemperaturen so markant hervortreten so ist der Grund dafür, daß in die Wasserschichtenverteilung resp. ihren vertikalen Schichtenaufbau keine Luftbewegung direkt eingreift.

Der biologische Sauerstoffeintrag und -konsum in Huminwasserstandorten des Schilfgürtels des Neusiedler Sees

Betrachtet man den Jahresgang der Sauerstoffverhältnisse einzelner Schilfwasserstandorte, so zeigt sich nach dem Eisbruch, daß im Gegensatz zu den anaeroben Bedingungen während der Eisbedeckung durch substantielle Phytoplanktonproduktion und das Eindriften sehr sauerstoffreichen Wassers unmittelbar beim Auftauen des Sees der ganze Wasserkörper mit gelöstem Sauerstoff angereichert ist. Auch läßt sich bereits eine schwach ausgeprägte Tag/Nachtrhythmik des Sauerstoffgehaltes in der oberflächennahen Schilfwasserblänke sowohl in der Austauschzone wie auch landwärtsgelegener Schilfwasserstandorte feststellen. In allen Blänken mit *Utricularia vulgaris* — ihre Entwicklung setzt je nach den Verläufen der Frühjahrserwärmung etwa ab April ein — entsteht in der obersten 0 — 15 cm Schichte eine deutliche Tag/Nachtrhythmik im Gegensatz zu Blänken, ohne *U. vulgaris*, wo mit der langsamen Lichtverschlechterung auch die pflanzliche Biomasse des Phytoplanktons abnimmt und manchmal nahezu unter die Nachweisbarkeitsgrenze absinkt. Die Tageswerte des Sauerstoffgehaltes in der obersten Wasserschichte steigen unter der Einwirkung von *U. vulgaris* stark an, aber bereits im Mai sinkt der nächtliche Sauerstoffgehalt auf 1 — 2 mg/l ab (NEUHUBER und HAMMER 1979 in ed. LÖFFLER). Mit dem absinkenden Lichtwerten wird auch der biologische Sauerstoffeintrag zusehends geringer, zumal *U. vulgaris* gegen Ende Mai ihre größte Wachstumsphase abschließt (MAIER 1973, DRAXLER 1973). Mit dem verlangsamten Längenwachstum beginnt die Besiedelung der Oberfläche von *U. vulgaris* mit epiphytischen Aufwuchsalgen, wobei durch einen self shading effect ihre Sauerstoffproduktion wesentlich erniedrigt wird, wieviel die Epiphyten selbst produzieren ist nicht bekannt (SAND-JENSEN et al. 19). Im Sommer bleibt in allen Blänken der biologische Sauerstoffeintrag weit hinter dem von den biologischen Komponenten benötigten Sauerstoffbedarf zurück und es treten in allen Schilfwasserblänken innerhalb dichter Schilfbestände immer längere Perioden der Anaerobie auf. Schütterere Schilfbestände mit *U. vulgaris* Pflanzen zeigen auch weiterhin im Schilfwasser eine deutliche Tag/Nachtrhythmik ihres Sauerstoffgehaltes, jedoch genügt auch hier der biologische Eintrag nicht mehr um den bei den sommerlichen Temperaturen exorbitanten Bedarf für den Atmungsstoffwechsel bei Windstille zu decken und es tritt auch hier während der Nacht — freilich viel kürzer — Anaerobie auf. Gegen Ende der Vegetationszeit bessern sich die Lichtbedingungen und es stellt sich erneut in allen Schilfwasserstandorten eine schwach ausgebildete Tag/Nachtperiodik ein, die durch eine Zunahme im standing crop des Phytoplanktons hervorgerufen wird. Während also im zeitigen Frühling und Herbst die biologische Sauerstoffproduktion des Phytoplanktons den Sauerstoffgehalt des Schilfwassers bedingt, liefert ab April/Mai *U. vulgaris* den größten Teil des biogenen Sauerstoffeintrages. In die Schilfwasserblänken, verursacht aber zusammen mit einer geringen bakteriellen Tätigkeit die nächtliche Sauerstoffgehaltserniedrigung. Durch den Stagnationseffekt liegen die *U.*-Pflanzen lose verteilt und bewegen sich im Standortwasser und der während der Assimilation gebildete Sauerstoff verbleibt innerhalb der feinen Fiederblättchen und wie ein Gasmantel in der unmittelbaren Wasserhülle. An sonnigen Tagen kann dies zu hohen Sauerstoffübersättigungen führen und es sind dann große Gasblasen innerhalb der ausgebreiteten Pflanzen zu beobachten.

Sobald jedoch am frühen Nachmittag — je nach Beschattungsgrad — der Kompensationspunkt für *U. vulgaris* unterschritten wird, sinkt der Sauerstoffgehalt um die Utricularia-Pflanzen rapide ab. Da die Atmungsintensität bei submersen Phanerogamen von der Sauerstoffkonzentration des umgebenden Wassers abhängt (GESSNER 1937) nimmt der Sauerstoffgehalt um die Pflanzen in der oberen 0 — 15 cm Wasserschicht rasch ab und durch die geringe Diffusionsgeschwindigkeit der Gase im Wasser entsteht um die Pflanzen ein sauerstoffreicher Wassermantel, selbst dann, wenn im Wasser noch $1 - 2 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$ nachweisbar sind. Kommt es während der Nacht zum Eindriften sauerstoffhaltigen Seewassers beginnt sofort die Atmung und der Zustand der Anaerobie im Oberflächenwasser stellt sich innerhalb kürzester Zeit ein.

Obleich bislang keine detaillierten physiologisch-ökologischen Untersuchungen zur Anaerobie von *U. vulgaris* vorliegen, läßt sich doch bereits feststellen, daß ein in ihrem Umgebungswasser erhöhter Gehalt an gelösten Kohlenstoffverbindungen mit dem Beginn der Anaerobie während der Nacht nachzuweisen ist (Summenbestimmung mit Carbonanalyser). Die nächtliche Anreicherung gelöster Kohlenstoffe im Umgebungswasser der Pflanzen darf jedoch nicht mit dem — oft in besonders schattigen Standorten zu beobachtenden — prägnanten Tagesgang gelöster Kohlenstoffe verwechselt werden (HAMMER 1981). Die Ursache der Anhäufung derartiger Substanzen ist eine erhöhte Exosmose von Photosyntheseprodukten, die bei submersen Phanerogamen dann einsetzt wenn sie infolge sehr geringer Lichtintensitäten über längere Zeiträume nahe ihrem Kompensationspunkt verbleiben^{**}. In gut belichteten Standorten ist auch während der Sommermonate der Sauerstoffeintrag durch *U. vulgaris* hoch, wobei eine erhebliche Sauerstoffabscheidung durch den dichten Epiphytenbewuchs selbst erfolgen und nicht so sehr von Utricularia stammen dürfte. Durch die nur unwesentlich verkürzte Tageslänge in besser besonnten Standorten unterschreitet *U. vulgaris* viel später ihren Kompensationspunkt. Zudem werden in offeneren Standorten die *U. vulgaris* Pflanzen durch den Wind — wenn auch nur leicht — bewegt bzw. erschüttert und folglich wirkt der Stagnationseffekt nur fallweise resp. über kürzere Zeiträume. Eine Folge ist die geringere Anhäufung von gelösten Kohlenstoffen, sowie eine weitaus geringere Freisetzung von Phosphaten und Eisen (HAMMER 1980, 1981, 1982). Der Sauerstoffverbrauch entsteht in diesen Biotopen im Sommer durch die hohe Atmung von *U. vulgaris*, wenn auch durch die jahreszeitliche Zunahme in gelöstem Kohlenstoff die mikrobielle ¹⁴C-Dunkelfixation auf eine erhöhte Tätigkeit der Bakterien schließen läßt.

Offensichtlich verläuft der mikrobielle Kreislauf im Sommer vorwiegend anaerob. Für die unmittelbar an den See anschließende Austauschzone des Verlandungsgürtels mit seinen vielen kleineren stark beschatteten Huminwasserbiotopen komplizieren sich durch den Einstrom trübe-hältigen Seewassers die Abbauprozesse. Wie RHEINHEIMER (1971 in ed. KINNE: Marine Ecology) für das Elbe-Estuar zeigen konnte, dienen anorganische Sestonpartikel als Anheftungsunterlagen für Bakterien⁰⁰. Mischt man anaerobem Schilfwasser See-

^{**} Ein erster Hinweis auf die chemische Natur der Anaerobie-Abbauprodukte ergibt sich aus der Tatsache, daß mit steigendem Gehalt an gelösten Kohlenstoffverbindungen während der Nachtstunden ab Juli die Anwendung der Winkler-Reaktion gestört wird. Bei früheren Untersuchungen an benthischen Meerestalgarten konnte nachgewiesen werden, daß in Gegenwart gelöster Kohlenstoffverbindungen mit reduzierenden Eigenschaften die Winkler Methode versagt (GESSNER und HAMMER 1971). In früheren Versuchen zeigte KLEIN (1955) daß bei vermindertem CA-Gehalt bei Submersen ein großer Verlust an Photosyntheseprodukten auftritt, die aber die Winkler-Reaktion nicht beeinflussen.

⁰⁰ Bekanntlich beruht eine der Fehlerquellen bei der Anwendung der ¹⁴C Methode nach STEEMANN NIELSEN (1952) auf dem sogenannten „Wandeffekt“. Ein Charakteristikum aquatischer Bakterien (ZO BELL 1936) ist, daß sie sich im Falle einer festen Unterlage besonders rasch und oft vermehren. Zu kleine Flaschenvolumina können durch das Verhältnis einer großen Oberfläche zum kleinen Volumen zu erheblichen Fehlmessungen führen.

wasser mit Trübstoffen zu, so schnell die heteridrophe Kohlenstoffixation um das 3 — 4fache des Schilfwassers hinauf. Aus den Untersuchungen RHEINHEIMER's ist weiters ersichtlich, daß mit dem Absetzen der „Mud-Teilchen“ die bakteriellen Umsetzungen im überstehenden Wasser abrupt abbrechen. Auch im anaeroben Schilfwasser dem trübes Seewasser zugemischt wurde, ist die heterotrophe ^{14}C Fixation bzw. der ökologische Sauerstoffverbrauch (HAMMER 1979) in ruhig liegenden Flaschen gegenüber gleichen Proben, in denen durch die Wellenbewegung keine Sedimentation der Trübeartikel stattfindet, wesentlich geringer.

Wie schon DOKULIL (197) in Untersuchungen der Primärproduktion in Huminwasserbiotopen bei Neusiedl feststellte, lassen sich die mit der ^{14}C -Methode ermittelten Dunkelfixationswerte im Jahresverlauf in verschiedene Gruppen einteilen. Während sofort nach der Eisschmelze die Dunkelwerte wirklich der Dunkelreaktion der Photosynthese entsprechen dürften, ist in den Sommermonaten kaum eine derartige Beziehung ersichtlich. Auch die im Untersuchungsgebiet bei der Biologischen Station Illmitz durchgeführten 24 h Messungen zur planktischen Primärproduktion zeigten, daß in allen Biotopen-Austauschzone und außerhalb der Mischzone gelegen — mit einsetzender Anaerobic ab Juli die Dunkelwerte erheblich zunehmen.

Die Werte schwanken jedoch außerordentlich stark. Die Ursache liegt im biotopeigenen Tag/Nachtgang der gelösten Kohlenstoffe zusammen mit dem Zumischen trüben Seewassers und dem Schwebevermögen der anorganischen Suspensoide. Nach ersten orientierenden Untersuchungen über die Sinkgeschwindigkeit der Trübe-Partikel dauert es etwa 2 h bis 90 % der Teilchen abgesetzt sind, eine Beeinflußung der Sinkgeschwindigkeit durch das Schilfwasser/seinen Anaerobiegrad gegenüber Seewasser scheint nicht gegeben.

Der chemische Sauerstoffverbrauch im Huminwasserbiotopen des Schilfgürtels des Neusiedler Sees

Mit der Erkenntnis der Unbrauchbarkeit des sommerlichen, großflächigen Grünschnitts von *Phragmites australis* als einem Mittel den Neusiedler See in seiner Eutrophie entlasten zu können, ergibt sich die zwingende Notwendigkeit vor irgendwelchen weiteren Eingriffen in das Gesamtökosystem alle limnologischen Teilprozesse zu einem Kreislauf zusammen zu fassen, wie er in der unmittelbar an den See anschließenden Schilfgürtelrandzone abläuft. Gleichgültig ob durch die geringere wirtschaftliche Nutzung des Schilfs weite Gebiete überalteter dichter *Phragmites*-Bestände entstanden sind und revitalisiert werden müssen oder ob eine arealmäßige Vergrößerung der Sedimentationszone notwendig werden wird, setzt eine angestrebte Änderung der Anaerobie Zustände die Kenntnis der sauerstoffproduzierenden wie — verbrauchenden Abläufe voraus. Eine wirksame Beeinflußung der Anaerobie kann nur erfolgreich sein, wenn der chemische Sauerstoffbedarf anteilmäßig viel geringer ist, als die biologischen Prozesse und diese durch gezielte Eingriffe (etwa in die Struktur der Schilfbestände) ohne Beeinträchtigung des Gesamtsystems gesteuert werden können.

Im Allgemeinen gestaltet sich die Sauerstoffbilanzierung in aquatischen Lebensräumen sehr kompliziert, da der „Austausch“ durch die Wasserbewegung — vor allem in der Oberflächenschicht — zu einem raschen Verlust des O_2 aus der Photosynthese resp. einer Nachlieferung aus der Atmosphäre für den Sauerstoffkonsum führt⁰⁰.

⁰⁰ Bekanntlich ist der „Austausch“ ein Grund dafür, daß sich aus der „in situ“ Messung des Sauerstoffgehaltes allein keine Aussage machen läßt über die Assimilation oder Atmung der Phytoplanktons, sondern noch immer auf Flaschen- oder Tankversuche zurückgegriffen werden muß, wo ein bestimmtes Wasservolumen isoliert wird und der Austausch unterbunden wird. Daß derartige Versuchsanordnungen zusammen mit in situ Messungen des aktuellen Sauerstoffgehaltes auch dazu dienen können eben den „Austausch“ mathematisch zu erfassen, wird an anderer Stelle gezeigt werden (HAMMER 1983).

Bekanntlich muß wegen des „Austausch's“ für die Erfassung der biologischen Sauerstoffproduktion während der Photosynthese resp. des Sauerstoffverbrauchs durch die Atmung planktonhältiges Wasser in Flaschen eingeschlossen werden und „in situ“ oder im Tankversuch exponiert werden. Da in den Schilfbeständen des Neusiedler See Schilfgürtels dieselben Windbedingungen gelten, wie sie von RODEWALD RUDESCU für das Donaudelta (1974) ermittelt wurden, ist über den kleineren Schilfwasserblänken 1/2 m über dem Huminwasser der Wind ausgeschaltet und die Gaswechselfvorgänge zwischen Wasseroberfläche und Luftraum verlaufen über die Diffusion. Die Schilfwasserblänken stellen daher riesige „Flaschenversuche“ dar und die Erfassung der biologischen sauerstoffproduzierenden zusammen mit den sauerstoffkonsumierenden heterotrophen Abläufen gestattet eine Evaluierung des chemischen Sauerstoffbedarfs.

Da 1982 einmal monatlich an 5 Standorten in Tag/Nachtserien auch die Primärproduktion „in situ“ in (überlappenden) Flaschenversuchen mittels der 14-C-Methode erfaßt wurden, konnte aus den Stundenwerten der Produktion/Dunkelfixation als mg C/h/m^3 gemessen werden — der biologische Sauerstoffeintrag bzw. heterotrophe -konsum in $\text{mg O}_2/\text{h}/1^{-1}$ umgerechnet werden. Setzt man den experimentell ermittelten Stundenwert des biologischen Sauerstofftrages (Summe aus Hell- und Dunkelwert) in Beziehung zum momentanen aktuellen Gehalt an Sauerstoff der Oberflächenschichte des jeweiligen Standortes kann die Differenz als der chemische Sauerstoffverbrauch angesehen werden. Einer direkten Ermittlung des chemischen Sauerstoffverbrauches (COD) stehen vielfältige methodische Schwierigkeiten entgegen, da neben den anoxischen Reaktionen im Huminwasser auch aus dem „Sediment“ ein starker Zustrom von Schwefelwasserstoff erfolgt.

Für alle Standorte, in denen *U. vulgaris* ab April zur Entwicklung kommt, wurden mehrere Tageskurven ihrer Photosynthese sowie ihre Atmung bestimmt, sodaß ein Gesamtkreislauf des Sauerstoffs erstellt werden konnte (HAMMER 1983, HAMMER, POKORNY und ONDOK in prep.)

Im Zusammenhang mit der Frage einer Beeinflussung der Aerobie: Anaerobie Perioden zu gunsten einer verlängerten Aerobie-Phase erhebt sich die Frage nach einem Sauerstoffeintrag aus der Luft innerhalb schütterer Schilfbestände. Wie DOBESCH (1982 mdl. Mitt.) zeigen konnte, wird der Wind in lockerern Schilfbeständen erst unterhalb von 4 m/sec. ausgeschaltet. In früheren Untersuchungen (HAMMER 1962) konnte gezeigt werden, daß tropische Schwarzwässer, wie der Rio Negro oder der Rio Caroni ein geringes Sauerstofflösungsvermögen besitzen und auch deshalb meist stark untersättigt sind. Um bestimmen zu können, ob der Wind bei einer Strukturänderung der Schilfbestände etwa in Form einer Halmverringerng/ m^2 substantielle Mengen Sauerstoff eintragen könnte, wurden Versuche zur Löslichkeit des Sauerstoffes in den einzelnen Huminwässern im Tag/Nachtzyklus durchgeführt. Hierzu wurden kleinere Mengen Standortswasser in Flaschen mit mindestens doppelt so großem Volumen kräftig mit der Luft geschüttelt und danach der Sauerstoffgehalt ermittelt und in Beziehung zum aktuellen Sauerstoffgehalt des jeweiligen Standortswassers gesetzt. Es zeigt sich, daß mehrmaliges Schütteln mit den Luftvolumina nur im Frühjahr und Herbst annähernd Sättigung erbringt, jedoch im Sommer für eine volle Sättigung ein erheblicher Lufteintrag nötig sein würde, um die Sauerstoffverhältnisse in schütterten Schilfbeständen merkbar zu beeinflussen. Da bare (oder mit spärlichen Phragmites Bestand durchsetzt) Huminwasserflächen geringer Tiefe länger eingestrahlt werden, sind sie auch viel länger thermisch mit einer hohen Stabilität geschichtet und nur kurze Perioden homotherm. Eine durchgreifende Änderung die das g a n z e Wasservolumen nachhaltig beeinflussen würde, ist daher schon von der Thermik her nicht zielführend. Kurzfristig wird in aufgelockerten Schilfbeständen in der Oberflächenschichte (0 — 10 cm) durch die darüberstreichende Luftbewegung die PO_4 Freisetzung und die Eisenreduktion hintangehalten (HAMMER 1981).

Das „EINSELE-PRINZIP“ der PO_4 -Löslichkeit während der Anaerobie in verschiedenen Huminwasserstandorten des Schilfgürtels

Wenn der Flachsee gegenüber dem meromiktischen See kurze turn over rate's hat, so spielt bei den Umsetzungsgeschwindigkeiten des Neusiedler Sees natürlich die lange Periode hoher Wassertemperaturen vom zeitigen Frühjahr bis zum frühen Herbst eine entscheidende Rolle, jedoch muß bei dem hohen Beweglichkeitsgrad des gesamten Wasservolumens mit den dabei immer aufs Neue zugemischten Trübe-Partikeln als Adsorbens für PO_4 eine beschränkte Verfügbarkeit des Phosphats angenommen werden. Es entsteht daher die Frage, ob nicht aus den in den Schilfgürteln verfrachteten Sestonpartikeln des Sees durch die autochthone Anaerobie eine — substantielle — Rücklösung der dem See bereits entzogenen Phosphate stattfindet.

Bereits in den Enddreißiger Jahren war das „Eutrophie-Problem“ im Zusammenhang mit dem Nährstoffkreislauf ein zentrales Thema der limnischen Produktionsbiologie. Im Mittelpunkt der damaligen Überlegungen stand die Frage nach der Erhöhung der Produktivität stehender natürlicher Gewässer durch gezielte, ein malige künstliche Düngung. Die Ergebnisse der von EINSELE (1937, 1938, 1941) durchgeführten Nachfolgeuntersuchungen über den Verbleib des Superphosphates bzw. über dessen Kreislauf im freien Wasser des Schleinsees wurden zur bitteren Enttäuschung. Nach einer anfänglichen Produktivitätssteigerung verschwand sehr bald der Phosphatüberschuß aus dem freien Wasser. Wie wir heute wissen sind Seen als „offene Systeme“ durchaus in der Lage einmalige Stresssituationen auszugleichen und in Kürze stellt sich wieder der ursprüngliche Zustand her. Und doch fand EINSELE mit seinen Untersuchungen mit den chemischen Umsetzungen der Phosphorverbindungen zusammen mit dem Eisenkreislauf — wie sie zwischen dem überstehenden Wasser des Profundals und dem Sediment stattfinden — den wichtigsten Schlüssel, nicht nur zum Verständnis sondern auch zur Reparatur (!) des eutrophierten tiefen Sees. Es mag vielleicht nützlich sein, sich vor Augen zu führen, daß es oft die theoretischen Ansätze sind, die in der Forschung den direkten Weg in die Praxis weisen können.

EINSELE hatten zeigen können, daß nur unter anaeroben Bedingungen in der dünnen Wasserschicht direkt über dem Sediment des Seebodens eine Freisetzung von PO_4 stattfindet, wobei gleichzeitig eine Reduktion des Fe^{+++} zu Fe^{++} stattfindet. Im Anschluß an die ersten Untersuchungen der jahres- und tagesperiodischen Sauerstoffverhältnisse in verschiedenen Schilfwasserbiotopen des Neusiedler See Verlandungsgürtels (HAMMER 1978, NEUHUBER und HAMMER 1979 in ed. LÖFFLER, HAMMER 1980, 1981, 1982) war er vorrangig zu überprüfen ob in den Untersuchungsorten ebenfalls mit dem Eintritt der Anaerobie eine Freisetzung von PO_4 stattfinden würde und evtl. über Wechselwirkungen die Seerandzone essentiell belastet würden. Im Vordergrund der ersten Untersuchungen (HAMMER 1981) stand daher nicht sosehr die Frage nach den Absolutmengen des freigesetzten Phosphats, sondern vielmehr in wieweit die Perioden einer Anreicherung biologisch verwertbaren Phosphors in Huminwässern mit deren Sauerstoffperiodik coinzidieren würden.

Grundsätzlich ergibt sich für die chemischen Umsetzungen zwischen Wasser und Sedimentschicht in den Huminwasserbiotop des Neusiedler See Schilfgürtels ein fundamentaler Unterschied gegenüber dem Litoral herkömmlicher tiefer Seen. Im Huminwasserbiotop existiert auch eine — wenn auch Mikroschichtung —; wobei die obersten 0 — 15 cm der trophogenen Schicht des Epilimnions tiefer Seen entsprechen. Sie ist aber nicht langperiodisch isoliert wie die euphotische Zone des tiefen Sees, sondern eine Trennung durch eine Thermoschicht findet nur für einige Stunden innerhalb der Tag/Nachtperiodik

der Blänke statt und durch die Homotherapie wird das „Tiefenwasser“ in den 24 h Kreislauf jeder Blänke miteinbezogen. Die Bodenschicht der Schilfwasserbiotope des Verlandungsgürtels des Neusiedler Sees ist jedoch nicht auf weite Strecken, wie etwa der Boden zwischen den Schilfhalmern des Bodensees — solider Untergrund, sondern besteht aus einer „Schwebeschichte“. Unterhalb des klaren Huminwassers befindet sich eine 30 cm und mehr dicke Schicht wo die Pflanzenreste in Schwebelage befindlich sind und eine gigantische „Unterflächenentwicklung“ für bakterielle und fungizide Prozesse sowie die vielfältigsten Ionenaustauscherscheinungen vorhanden ist. Die eindriftende und sedimentierende See-Trübe wird daher nicht beim Absinken durch Übereinanderliegen der Partikel in einer Schicht ihre Oberfläche einbüßen, sondern fällt zufallsmäßig auf die Schwebeteilchen.

Für die PO_4 -Anreicherung im Huminwasser selbst haben indirekte physiologisch-ökologische Untersuchungen des AFS-release von *U. vulgaris* deutlich gezeigt, daß in kleinen beschatteten Blänken innerhalb dichter Phr.-Bestände schon kurz nach dem Einsetzen der Anaerobie in der obersten 0 — 15 cm Wasserschicht substantielle Mengen ($400 \mu g l^{-1}$) biologisch verwertbaren Phosphors verfügbar sind, während in den Oberflächenschichten offener Schilfbestände durch leichte Windbewegung kein Stagnationseffekt eintritt und erst 2 h nach einer Windstille PO_4 nachweisbar ist (HAMMER 1981). In diesem Zusammenhang soll darauf hingewiesen werden, daß ein großer Unterschied zwischen kleinen Blänken mit einer gut entwickelten Streuschicht ist und baren Schilfwasserböden. Wie neuerdings nachgewiesen (HAMMER und POKORNY unpubl.) entsteht über alten Blättern, die als Auflage über der Schwebeschicht liegen bleiben, eine sauerstoffangereicherte Mikroschicht. Auf den alten Blättern siedelt sich mehr oder minder dichter Epiphytenbelag — vorwiegend aus Cyanophyceen zusammengesetzt — an. Durch den Stagnationseffekt bleibt der während der Photosynthese gebildete Sauerstoff über dem Algenrasen und der Boden von Huminwasserbiotopen ist in Wirklichkeit von cm zu cm ein Mosaik von anaeroben über aerobe bis zu sauerstoffübersättigten Kleinflächen, die als eine Art Zwischenschicht zwischen Unterflächenwasser und dem klaren Huminwasserbereich des überstehenden Schilfwassers geschaltet ist. Chemische Bestimmungen, die zwar aus vor Ort gezogenen Proben ermittelt wurden, können schon aus diesem Grund nicht großflächig umgerechnet werden und dann für größere Regionen des Schilfgürtels des Neusiedler Sees angegeben werden. Nach neuesten Untersuchungen hängt die artspezifische Zusammensetzung des Aufwuchs vom Auslagungsgrad der Schilfblätter ab. Fallen zu wenig Blätter an — wie dies etwa bei Strukturänderungen der Schilfbestände durch einen großflächig angelegten Schilfschnitt im Sommer der Fall wäre — kann der PO_4 bzw. vor allem der NO_3 Stoffwechsel über den Bodenalgenrasen so gestört sein, daß der chemische Kreislauf von Huminwasserstandorten nicht mehr funktioniert (GOPAL mdl. Mitt. HAMMER 1984).

Die Rolle des Eisens im anaeroben Schilfwasserbiotop

EINSELE's Untersuchungen hatten die eminente Bedeutung des Eisens im anoxischen Phosphorkreislauf aufgezeigt. In den Huminwässern des Verlandungsgürtels des Neusiedler Sees ist auf mehrfachen Gründen ein komplizierter Ablauf der durch die Anaerobie ausgelosten chemischen Umsetzungen zu erwarten, da durch die kolloidale Beschaffenheit der Huminstoffe zusammen mit den unterschiedlichsten Kohlenstoffen aus dem Stoffwechsel der *U. vulgaris* Eisen u. a. auch als Chelat in Form von Eisenhuminkomplexen vorliegen dürfte. Zusätzlich spielt infolge des hohen Bi-Carbonatgehaltes der hohe pH-Bereich der Wässer und die enorme H_2S Entwicklung aus dem Schweb eine entschei-

dende Rolle, denn FeS-Bildung führt bei ansteigendem pH im alkalischen Bereich zu einer verstärkten Phosphat Freisetzung. Infolge des raschen Wechsels der Sauerstoffkonzentration zusammen mit pH, elektrolytischer Leitfähigkeit, Temperatur ect. im Tag/Nacht-rhythmus in den einzelnen Blänken mußte davon ausgegangen werden, daß die Bestimmung des Eisengehaltes außerordentlich komplex sein würde. Da das Eisen im pflanzlichen Nährstoffwechsel nur die Rolle eines Mikroelements darstellt wurde die Fe-Aufnahme von *U. vulgaris* — die als höhere Pflanze eine lange Vegetationsperiode hat — als Ökoindikator für den Eisenkreislauf in Huminwässern herangezogen.

Wie MISRA (1938) zeigte, nimmt der Eisengehalt bei submersen Litoralpflanzen dann merkbar zu, wenn sie in anaerobem Sediment wurzeln. Da die evolutionäre Anpassung an das aquatische ambiente bei *U. vulgaris* zu einem frei schwimmenden „Typus“ führte, erfolgte ihre Ionenaufnahme ausschließlich aus dem Wasser (die N-Versorgung dürfte durch die Carnivorie erfolgen). Versetzt man daher *U.*-Pflanzen aus Biotopen in denen Anaerobie-Prozesse keine Rolle spielen in Standorte mit unterschiedlich stark ausgeprägten Anaerobie-Zustände, so steigt der Fe-Gehalt so an, daß die biotopeigenen und standortfremden *U.*-Pflanzen gegen Ende der Vegetationszeit kaum Unterschiede aufweisen. Im umgekehrten Fall ist keine nennenswerte Zunahme zu verzeichnen.

Daraus ergibt sich einerseits, daß mit zunehmender Anaerobie größere Mengen biologisch verwertbaren Eisens anfallen, andererseits kann die großräumige Aufsammung von *U. vulgaris* Pflanzen als Indikator für die räumliche Ausdehnung der Anaerobie im riesigen Helophytengürtel dienen (HAMMER).

Wechselwirkung zwischen See und Schilfgürtel

Die vorangestellte Arbeitshypothese der „umgekehrten Landgewinnung“ sieht einen vermehrten Sedimenteintrag in den Schilfgürtel vor. Um die Effektivität eines derartigen Prinzips bestimmen zu können, sind zunächst detaillierte Kenntnisse über die unbeeinflussten Wechselbeziehungen zwischen See und angrenzendem Litoralbereich nötig, denn Eingriffe die die Wasserkörperbewegungen in den Schilfgürtel landeinwärts verstärken, werden auch umgekehrt durch den Ausstrom von Schilfgürtelwasser größere Teilgebiete des offenen Sees erfassen. Wenn bei ablandigen Winden plötzlich das klare, braunefärbte Schilfgürtelwasser in den freien Seebereich einige 100 m „austritt“, handelt es sich um windbedingte Eigenschwingungen, die unperiodisch in Teilgebieten des Neusiedler Sees je nach der dort vorherrschenden Windrichtung entstehen. Die Dauer der seiche kann von wenigen Stunden (12 — 18) bis zu zwei Tagen reichen. Mit der bei der seiche eintretenden Schrägstellung des Wasserkörpers (MORTIMER 1974 in WETZEL: Limnology 1975) erscheinen an Meßstellen, die in Seeufernähe gelegen sind, Huminwässer aus Blänken deren „Standort“ im Ruhestand des Sees im landwärtsgelegenen Teil des Schilfgürtels ist. Durch kurzfristige Messungen der chemisch physikalischen Parameter und der Erfassung der Biomasse des Phytoplanktons an fixen Standorten im Einzugsgebiet einer seiche, läßt sich die Schrägstellung des Wasserkörpers und die horizontale Ausdehnung von einigen hundert Metern besonders gut erkennen. Wenn während der seiche die Biotopabgrenzungen trotz der Wasserströmungen kaum verändert zu sein scheinen, dürfte dies auch aus der horizontal wirksamen thermischen Stabilität herrühren.

Die Wasserbewegung in den Schilfgürtel entsteht vorrangig bei aus einer Richtung wehenden anlandigen Winden. Für den Fall der Ausnutzung der Seewasserverdriftung zur Entlastung des Sees, muß für mehrere Gebiete entlang des gesamten Schilfgürtels die Häufigkeit der seiche resp. der Driften erfaßt werden, sowie das Einzugsgebiet und die Trübstoffmengen der Sedimentation. Da das Gelände außerordentlich schwer zugänglich

ist und die Dichte des Schilfbestandes auch die Strömungsgeschwindigkeit beeinflusst, können Messungen nur über indirekte biologische Parameter erfolgen. Schneisen und Betreten des Schilfrandgebietes würden die natürlichen Verhältnisse der Driften zu sehr verfälschen. Das Seeplankton ist durch zwei Bodendiatomeen, *Surirella peisonis* und *Campylodiscus clypeus* ausgezeichnet, die bei der vollkommenen Aufwirbelung ins freie Wasser eingemischt werden und deren Auffinden im Schilfgürtel die Einzugszone des eindringenden Seewasser anzeigt⁰⁰. Es ist anzunehmen daß nach beendeter seiche im Uferbereich des Sees Reste von Schilfgürtelwasser zurückbleiben und sich mit dem Seewasser vermischen. Chemisch-physikalische Untersuchungen über Mischwässer liegen derzeit nicht vor. Colorimetrische Bestimmungen zur quantitativen Ermittlung des Anteils von Huminstoffen im Seewasser gestalten sich in Flachseen und besonders im Neusiedler See methodisch schwierig. Mit den autochthonen tropholytischen Prozessen im See, fallen auch gelöste Gelbstoffe an, die im Gegensatz zu Huminstoffen in echter Lösung vorliegen und die von den kolloidalen Substanzen getrennt werden müssen (KALLE 19 in DIETRICH: Meereskunde). Es wurde daher versucht im K und Na-Gehalt der Untersuchungswässer einen Indikator zu finden, der zur Charakterisierung der einzelnen Wassertypen und evtl. zum Evaluieren des Anteils von Huminstoffen im Seewasser herangezogen werden könnte. Tatsächlich erwies sich das Verhältnis von K:Na als ein brauchbares Indiz unterschiedliche Huminstoffstandorte zu charakterisieren. Er wurde innerhalb des Schilfgürtels (Gebiet bei der Biol. Station Illmitz, HAMMER 1982) und der ufernahen Seerandzone in einwöchigem Abstand zur Bestimmung des Kalium und Natrium-Gehaltes Proben gezogen. Zunächst zeigt sich, daß in allen Standorten eine markante gleichsinnig verlaufende Jahreskurve des K:Na-Verhältnisses zu beobachten ist, der Unterschied besteht in der Größenordnung der Werte. Dies deutet lediglich auf Konzentrationsunterschiede in den Standorten hin**

In ökologischer Hinsicht ist der Befund von zweifacher Bedeutung. Erstens weist der gleichsinnige Kurvenverlauf in den Huminstoffstandorten und dem Seewasser der Randzone darauf hin, daß substantielle Zumengungen an Schilfwasser in den Seerandbereich stattfinden, die nicht allein als zurückgebliebenes Restwasser aus seiches-Bewegungen erklärt werden können. Zum andern geht aus den geringen Unterschieden im K:Na-Verhältnis zwischen Verlandungsbereich und Seerandzone eindeutig hervor, daß sich keine großen osmotischen Unterschiede im Gesamtgebiet ergeben und daher eine „Salzschranke“ nicht existiert.

Die Frage nach der Quelle größerer Schilfwasserzumischungen in den ufernahen Seebereich konnte erstmals im Sommer 1983 im Rahmen von Untersuchungen zur vertikalen Sauerstoff- und Temperaturverteilung im Uferbereich der Bucht des Neusiedler Sees bei der Biol. Station Illmitz geklärt werden. Mit der Entwicklung der Blätter des Schilfes wird das Schilfwasser in der noch geschlossenen seeseitigen Schilfgürtelrandzone so wenig erwärmt, daß sich gegenüber dem Seewasser ein thermischer Dichtegradient ausbil-

⁰⁰ Zum Nachweis der Verdriftung von den Großdiatomeen *S. peisonis* und *C. clypeus* wäre die Errichtung von Sinktöpfen wie Ohle sie in Schleswig Holstein'schen See benutzte hilfreich. Da Strömungsmessungen wegen der geringen Wassertiefe und des Phragmites-Bestandes schwierig sind, ist daran zu denken die Gipskugeln von GESSNER (1955) zu benutzen.

** Erste Untersuchungen über den Verlust von Kalium von verschiedenen alten Blättern von *Phragmites australis* ergaben, daß Ende August die untersten Blätter den größten Verlust innerhalb von 5 Tagen zeigten. Die mittleren Blätter hatten die geringste Verlustrate, während das oberste, also jüngste Blatt sofort nach der Exposition im a. dest. einen hohen Verlust aufwies. Bei früheren Untersuchungen des subletalen Sättigungsdefizites von *Phr. australis* zeigte sich, daß das oberste Blatt das größte Defizit aufwies (HAMMER 1955).

det. An heißen relativ windstillen Sommertagen fließt am Spätnachmittag das kühlere Schilfbodenwasser unter das Seewasser und schichtet sich entsprechend der eddy conductivity ein. Sofort nach der Unterschichtung werden bis zu 30 % des vorhandenen Sauerstoffs konsumiert. Die weitaus größte ökologische Bedeutung der Unterschichtung ist jedoch in ihrer Wirkung auf die bakteriologischen Prozesse im See, sowie im Hinblick bestimmter Phytoplankter zu sehen (HAMMER 1983, 1984). Im tiefen See sind während des Sommers (der hohen Temperaturen) durch die thermische Schichtung die trophogenen Abbauprozesse vom Epilimnion getrennt. Erst mit dem Einsetzen der herbstlichen Teilzirkulation beginnt die langsame Zumischung hypolimnischen Wassers. Das Gesamtvolumen des Sees erhält also Bakterien und Abbauprodukte zum Zeitpunkt der tiefen Temperaturen zugemischt. Im Neusiedler See erfolgt zum Zeitpunkt der höchsten Wassertemperaturen durch thermische Unterschichtung die Beimischung einer Wassermenge, die als Bodenwasser über der Schweb-schichte oder aus ihr selbst mit einer Unzahl bakterieller Umsetzungsprozessen und heterotrophen Organismen beladen ist.

Obwohl noch keine ökologische physiologischen Untersuchungen vorliegen darf angenommen werden, daß der besondere Chemismus — vor allem der Eisenhuminkomplex, das NH_4 aus der Anaerobie des Schilfbiotops diese Bodenschichte im See zum Nährboden für Blaualgenentwicklungen macht. Nicht der im Überfluß im ganzen See vorhandene Phosphor steuert vorrangig die Algenblüten, nach dem LIEBIG'schen Gesetz muß es chemische Auslösefaktoren geben, die nicht von allen Algen gleichmäßig ausgenützt werden können und einzelnen Arten zusammen mit ihren besonderen physiologischen Eigenschaften, wie das Speichervermögen, ihre Temperaturtoleranz etc. den Vorteil für ihre Vermehrung geben. Limnologisch wirkt das Schilfwasser wie ein horizontal verlagertes Hypolimnion. Wie in früheren Untersuchungen in der Caribik nachgewiesen werden konnte (HAMMER 1965) sind es die Tiefenwasserschichten, in denen die berüchtigten red tides entstehen. Auch im Süßwasser mehren sich Zeichen, daß das Metalimnion der Entstehungsort von Blaualgenblüten ist. Aus beiden Abbauschichten werden die Algen durch up welling in die euphotische Schichte transportiert. Bei den Peridineen scheint eine positive Phototaxis wirksam zu werden, Cyanophyceen könnten durch ihre Fähigkeit der chromatischen Adaptation einen Vorteil haben, da die Huminwässer ja rasch den PhAR-Anteil verlieren. Auch im Neusiedler See spielt die Wasserbewegung als ökologischer Faktor eine — bislang wenig beachtete — eminente Rolle für die Entwicklung und Evolution der Phytoplantongemeinschaften. Da der offene See durch die große Windhäufigkeit nahezu immer bewegt und durchmischt ist, ist am wahrscheinlichsten, daß Gebiete die etwas abseits vom großräumigen Strömungssystem liegen zur Wiege der Algenentwicklung werden. Hier ist — in Buchten etwa — die Möglichkeit, daß sich bestimmte ökologische Ausnahmesituationen einige Tage halten und in einem derartigen Unterwasserbiotop können sich dann bestimmte Arten gut entwickeln. Erste Untersuchungen zur Frage der Planktonsukzessionen in Schilfwasserbiotopen und vergleichend im See selbst weisen auf die Richtigkeit dieser Arbeitsthese hin (HAMMER 1984). In einem hypertrophen See ist der „struggle for phosphorous“ für Phytoplankter von untergeordneter Bedeutung, die Fähigkeit andere Minimumstoffe ausnützen zu können, ihr Speichervermögen für einzelne Substanzen und ihr rasches Vermehrungsvermögen im entscheidenden ökologischen Augenblick sind in einem Flachsee von größter Bedeutung. Wenn *Microcystis* im Laufe des Sommers dann an allen Stellen des Sees anzutreffen ist, ist ihr Vorhandensein sicher nicht nur eine Windvertriftung. Großräumige Untersuchungen zur Planktonverteilung in der Oberflächenschichte des Neusiedler Sees und direkt über dem Seeboden ergaben, daß im Laufe des Juli schon nach wenigen Stunden Windstille auch in weiten Gebieten des offenen Seereals markante Sauerstoffuntersättigungen über dem Sedi-

ment auftreten (HAMMER 1984). KUSEL FETZMANN und HOFBAUER konnten zeigen, daß in zusammengebrochenen Kulturpopulationen von *Microcystis* plötzlich aus der im Abbau befindlichen organischen Substanz neue Zellkolonien erscheinen.

Es ist daher vor allem dringend geboten die Aerobiphasen im Verhältnis zu den Anaerobiphasen zu verändern, d.h. den biologischen Sauerstoffeintrag zu vergrößern, ohne dabei alle Strukturbedingungen des Schilfs außer acht zu lassen.

Ist der Neusiedler See auf dem Weg in ein anderes Trophie level?

Es würde den Rahmen dieses Beitrages weit übersteigen, wollte man alle Aspekte der Wirkungen einzelner Ökofaktoren resp. ihrer Kombinationen auf die Primärproduktion diskutieren. Für die autochthonen limnischen Prozesse die die Entfaltung, Verteilung und Produktion der planktischen Gemeinschaften im Neusiedler See steuern, sind ebenso wie im tiefen See das Unterwasserlichlima, die Temperatur und vor allem der Bewegungsfaktor vorrangig wirksam. Vor allem ist die rasche Variabilität der abiotischen Faktoren in Raum und Zeit ausschlaggebend zusammen mit ihrer **N a c h w i r k u n g**. Das Untersuchungsgebiet des Neusiedler Sees mit dem Einzugsgebiet ist durch seine geographische Lage im pannonischen Raum sowohl durch — besondere Strahlungsbedingungen und damit direkt verknüpft besondere Temperaturverhältnisse charakterisiert. Von allen Gebieten Österreichs hat diese Region die größten Absolutwerte der Sonnenstrahlung — in beiden Wasserkörpern — dem See und dem Schilfgürtel — erfolgt eine rasche Frühjahrs Erwärmung, die von hohen sommerlichen Temperaturen abgelöst wird, jedoch im Herbst kühlt das See- und Schilfwasser auch sehr rasch aus. Der See ist nicht regelmäßig jedes Jahr zugefroren, kann jedoch mehrere Wochen vollkommen eisbedeckt sein. Die Phytoplanktonentwicklung sofort nach dem Eisbruch zeigt meist bis März/April ein Frühjahrsmaximum — mit der raschen fröhsummerlichen Erwärmung und den „Eisheiligen“ bricht das Maximum zunächst ab und dann folgen Diatomeen-Chlorophyceen und auch etwa ab Juni Cynophyceenmaxima. Gegen Jahresende sind dann nur mehr geringe Biomassewerte an Phytoplankton im ganzen See. Setzt man ein engmaschiges Probenetz über den Seebereich, so stellt man fest, daß trotz der großen Sequenzen durch den Wind der gesamte See doch mehr oder minder gleichsinnig in seinem ständig crop schwingt. Wie DOBESCH (1984) zeigte, hat der See im Frühjahr ein Wärmehaltevermögen von 8 Tagen, während im Sommer nur 2,5 Tage errechnet werden konnten. Die Frühjahrsperiode von 8 Tagen ist natürlich genügend Zeitraum für die turn over rate einzelner Plankter, zumal im niederen Temperaturbereich ein größerer C-Einbau erfolgt (HAMMER 1979). Eine Folge der kurzen Wärmehalteperiode von 2,5 Tagen ist die Vermehrung von temperaturindifferenten Algen-Arten.

Da neben den AGN-Arbeiten auch ein umfangreiches mehrjähriges Untersuchungsprogramm zur Phytoplanktonentwicklung und Verteilung zusammen mit zahlreichen Produktionsmessungen durchgeführt wurde, ist derzeit eine umfangreich Dokumentation in Vorbereitung. Auch wurden taxonomische Untersuchungen in Zusammenarbeit mit Dr. Padisak (Budapest) begonnen um erste Einblicke in die Populationszusammensetzungen des Neusiedler See Phytoplanktons und seines Zooplanktons zu erhalten (HAMMER 1984). Er scheint abschließend nötig zum Ausgangspunkt der Betrachtung der Produktionsproblematik zurückzukehren. Analog zur labortechnischen Verfeinerung der chemischen Nachweismethode für die Nährstoffe vollzog sich in der Planktologie ein Wandel den standing crop des Planktons durch eine Summenbestimmung (Chlorophyl, Eiweiß etc.) weiträumig zu erfassen. Dies mag für tiefe Seen zunächst zielführend sein, denn mit dem Absinken inaktiver Plankter in das Meta- und Hypolimnion wird vorwiegend

intaktes Plankton geschöpft. Im Flachsee erfaßt man mit dieser Methode alle Lebensgrade des Phytoplanktons und zudem wird meist durch den Wind die Phytoplanktonbiomasse schnell verdriftet, sodaß der Aussagenwert ohne zusätzliche Messungen begrenzt bleibt.

Wie eingangs erwähnt scheint die mögliche Biomasseentfaltung im Neusiedler See hinter dem Nährstoffangebot zurückzubleiben. So konnte 1983 gegenüber dem Sommer 1982 eine abnehmende Biomasse des Phytoplanktons als Chlorophyle erfaßt und beobachtet werden. Gleichzeitig war aber eine explosionsartige Vermehrung der Zooplankter zu bemerken. Hier liegt die sich anbahnende Gefahr für die Produktionskette im Neusiedler See. Mit der Zunahme einiger Algenarten oder ihrem Neu-Auftreten und der Steigerung ihrer Biomasse rückt das Problem der Verwertbarkeit durch das Zooplankton in den Mittelpunkt der Betrachtung. Solange die Teilungsrate einer planktischen Alge über ihrer grazing rate durch das Zooplankton bleibt, kann sie durch aus einem starken grazing ausgesetzt sein. Mit dem Auftreten von *Microcystis* und kolonienbildenden Grünalgen wie *Pediastrum* sind potentielle Wasserblütenbildner vorhanden, die offensichtlich andere Algengruppen aus der Biocönose verdrängen und den See in ein anderes Trophie level bringen (HAMMER 1984). Eingehende Untersuchungen zur Populationsdynamik des Phyto- und Zooplanktons sind dringend notwendig.

There is a need to recognize that vastly different species have different morphological and physiological adaptations to survive and grow and that they will therefore respond in different ways to several dimensions of environmental variability. In short, we still need to know much more about the biologies of individual common *organismus*, not convenient correlatives of total biomass (carbon, chlorophyll).
Reynolds 1984

Zusammenfassung

Grundlegende Änderungen in der artspezifischen Zusammensetzung des Phytoplanktons sowie eine vermehrte Biomasse des pflanzlichen und tierischen Planktons im Neusiedler See während der letzten Dekade weisen auf eine starke Hyperthropie des Sees hin. In einer Detailstudie zu einem Gesamtkonzept des Neusiedler Sees sollte geprüft werden ob durch gezielte Eingriffe in den Schilfgürtel eine Entlastung im Nährstoffhaushalt des Sees erreicht werden könnte, um seine Produktivität — vor allem aber water blooms von *Microcystis spec* — hintanzuhalten.

Für die Funktion des Schilfgürtels im Gesamtökosystem wurden dabei zwei — in ihrer Wirkung konträre — Arbeitshypothesen angenommen. Einmal ist zu prüfen, ob der nahezu doppelt so große Verlandungsgürtel dem See als ein „vorgeschaltetes Filter“ dient und den input von belastenden Stoffen stoppen kann. Die andere Funktion betrachtet den Schilfgürtel als eine „Nährstofffalle“, wobei durch einen besonderen Sediemententzug der See selbst seinen augenblicklichen Nährstoffgehalt verringert bekäme, also ein forcierter output stattfinden würde. In beiden Fällen wird a priori angenommen, daß vorrangig die Phosphate bzw. N-Verbindungen, die die Produktivität steuernden Faktoren sind.

Die Funktion des „natürlichen Filters“ nimmt an, daß die Belastungsquelle die Oberflächenwässer seien.

Diese seien durch den Wandel von der Weidewirtschaft zur monotypen Weinbaulandschaft derzeit übermäßig mit künstlichen Düngemittelkomponenten angereichert. Die Nährstoffaufnahme von *Phragmites australis* reiche nicht mehr aus, das zum See durchsickernde Wasser ausreichend zu „reinigen“, also an Nährstoffen zu verarmen, umsomehr als mit dem

herbstlichen Laubfall substantielle Mengen an P- und N-Verbindungen zum recycling in den Kreislauf der Huminwasserbiotope zurückkehren würden. Mit einer großflächigen spät-sommerlichen Mahd von *Phr. australis* sollte die Remineralisierung zu unterbinden sein und langfristig eine sukzessive Entlastung des Sees eintreten. Dabei müssen bestimmte Voraussetzungen durch die ökologische Physiologie von *Phragmites* gegeben sein, wie auch im Schilfwasser innerhalb der Verlandungsgebiete entsprechende limnologische Voraussetzungen erfüllt sein.

In nachfolgender Tabelle sind einige der wichtigsten Voraussetzung zusammengefaßt und dem „Ist-Zustand“ gegenübergestellt (Seite 366/367).

Wie aus der kurzen Zusammenstellung zu ersehen ist, kann ein „Grünschnitt“ von *Phr. australis* zum Zwecke einer Reduktion der Eutrophie nicht zielführend sein.

Die 2. Theorie besagt, daß der seeseitige Schilfgürtelrand als eine Sediment/Nährstoff-falle funktioniere, wobei bei anlandigen, stürmischen Winden das Trübe-hältige Seewasser gebietsweise in den Litoralbereich verdriftet wird und dort im Stillwasserbereich eine Sedimentation erfolgt. Da das Seston als Adsorbens für PO_4 wirkt, wenn durch den Wind ein hoher Sauerstoffeintrag gewährleistet ist, bewirkte bislang diese Sedimentation eine natürliche Regulation der produktionssteuernden Komponenten. Die momentane Hypertrophie des Sees sei entweder eine Folge des zu geringen Nährstoffezugs oder Sekundärvorgänge führten zu chemischen Umsetzungen innerhalb des Huminwasserbereichs, die den See bei Zumischung von Schilfgürtelwasser erneut belasten. Es wurden daher in nahebeieinanderliegenden Schilfwasserbiotopen der Austauschzone See:Verlandungsgürtelrand und in einem landwärtsgelegenen seeunbeeinflussten Gebiet limnologische Untersuchungen durchgeführt.

Bei 1976/1977 erstmals durchgeführten Sauerstoffmessungen in einem Huminwasserbiotop der Austauschzone ergab sich im zeitigen Frühjahr eine markante Tag/Nachtperiodik des Sauerstoffgehaltes des Huminwassers, die im Laufe des Sommers in unregelmäßige Aerobie:Anaerobie-Phasen übergeht. Im Untersuchungszeitraum wurden daher detaillierte Tag/Nachtmessungen in Huminwasserbiotopen zur Bestimmung des biologischen Sauerstoffeintrages und -konsums unter gleichzeitiger Erfassung abiotischer Ökofaktoren im Jahresablauf durchgeführt. Die Ergebnisse erlauben grundsätzliche Aussagen zur Limnologie des Schilfgürtels in seiner Funktion als Nährstofffalle. Die Aerobie:Anaerobic Perioden in allen untersuchten Huminwasserstandorten sind vorrangig biologisch ausgelöst und daher beeinflussbar. Während der Anaerobie werden substantielle Mengen an Phosphaten freigesetzt und gleichzeitig erfolgt eine Eisenanreicherung, das zusammen mit verschiedenen gelösten Kohlenstoffen in Form von biologisch nur für einige Organismen verwertbaren Komplexen wie Eisenchelaten vorliegen dürfte. Durch thermische Unterschichtung unter die relevante Seewasserschicht fließt den Seerandgebieten im Sommer stundenweise anaeroben Huminwässer zu. Dieses ist mit vielfältigsten Abbauprozessen schwer belastet (RGT!). Es kann im Sommer zu erheblichen Sauerstoffdefiziten am Seeboden in allen Bereichen des Sees kommen. An anderer Stelle konnte gezeigt werden (HAMMER 1984), daß anaerobe Zustände in Huminwasserbiotopen *Microcystis*-Wachstum auszulösen scheinen, vor allem an Standorten, wo im Sommer gemäht wurde erscheinen Blaualgen. Dem Eisenkomplex dürfte die Rolle eines „initial factors“ zukommen (frdl Comm. GRIMM, Limnol. Tag Hamburg 1984). In Randgebieten des Sees — im Lee der Hauptströmungen — könnten die Entstehungsgebiete von waterblooms liegen

Über regulierende Eingriffe in die Strukturverhältnisse von *Phr. australis* und andere Maßnahmen läßt sich eine bessere Ausgewogenheit der Aerobie zu den Anaerobie Phasen erreichen (Entwicklungsplan für Gesamt-konzept, Prof. Dr. h. c. Ohle. Max Planck Inst. Limnol Plön, 1983) und eine Entlastung der Seerandgebiete.

Bessere biologische Aerobie:Anaerobie Perioden zusammen mit intensiviertem T r ü b e - E n t z u g kann bei sachgerechten Eingriffen den See direkt entlasten.

Phragmites muß/darf

aber/Phragmites

durch die Adventivwurzeln den überwiegenden Teil seines Nährstoffbedarfs oberirdisch decken

deckt vorrangig aus der Rhizosphäre d. Nährstoffe gleichzeitig O₂-Anreicherung um das Rhizom. Eisenröhren (OHLE 1934).

die Nährstoffe vorrangig in die Blätter und Halme einlagern

lagert die Nährstoffe in die Blätter ein

einen großen Transpirationsstrom aufweisen

ist ein Xerophyt mit großem subletalem Sättigungsdefizit

einen großen Nährstoffbedarf über lange Zeiten haben

beendet bis Mai/Anfang Juni seine größte Wachstumsphase

die Nährstoffe bis zum Laubfall oberirdisch lokalisieren

hat sofort nach der Blüte wie alle Gräser eine INTERNE STOFFVERSCHIEBUNG

keine Schädigung durch die Mähmaschinen erfahren

die Rhizome werden teilweise zusammengedrückt irreversible Infiltration, Zerstörung des Luftreservoirs

ohne Produktionsminderung nachwachsen, sowohl Blattfläche wie Halmhöhe müssen gleich bleiben

die sofortige Nachwuchsgeneration erreicht nur halbe Höhe und 1/2 leaf area index

eine gleichbleibende Nährstoffentnahme erfolgen aus dem Schilfwasser (über viele Jahre)

Nährstoffentnahme erfolgt aus Rhizom, starker vorzeitiger Abbau an Kohlehydraten Frostgefahr und hoher Schädlingsbefall

im Huminwasser des
Schilfgürtels muß/dürfen

aber/im Huminwasser biotop

im Oberflächenzuluß die
Auswaschkomponenten in echter
Lösung erhalten

Erdauswaschungen sind meist
kolloidreich

die P- und N-Verbindungen
keinen Veränderungen im
Huminwasser unterliegen

Huminsubstanzen sind kolloidal

Bildung von Chelaten und
Humaten

das Schilfgürtelwasser groß-
räumig chem.-phys. einheitlich
sein

Huminwasserblänken durch
biotopeigene chem.-phys.
Tagesgänge charakterisiert:
Individualökosystem

die entnommene Nährstoff-
menge muß den jährlichen
input weit übersteigen

zunächst nur input Verringerung

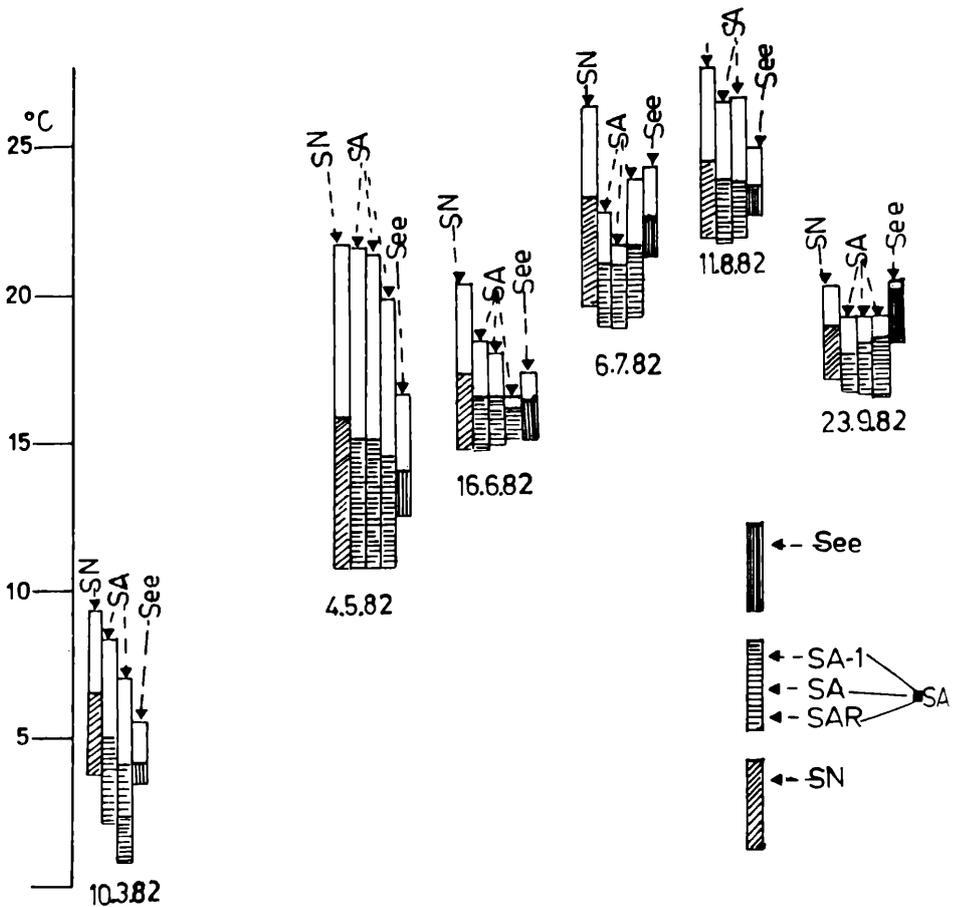
zusätzlich zur Reduktion des
input eine merkbare Entlastung
des Sees erreicht werden

ein output aus dem See durch
Schilfentnahme setzt häufige
Überflutung großer Gebiete
des Schilfgürtels voraus und
lange Verweilzeit des Seewassers

ab Juni fallender Wasserstand
Trockenfallen des Schilfgürtels
kann bis in den Herbst andauern,
seiche meist etwa 20 h

Streuschichte mit Epiphyten
keine Rolle für Mikroschichten
im Adventivwurzelbereich

Mikroschichtung, O₂ angereichert
große Vertikalschichtungsunterschiede,
Mikroschichtung um Adventivwurzeln oft kein
gel. Phosphat.



Tab. 1: Tag/Nachtrhythmik der Oberflächentemperaturen in verschiedenen Huminwasserbiotopen innerhalb des Phragmites-Gürtels des Neusiedler Sees im Untersuchungsgebiet bei der Biologischen Station Illmitz im SO- des Neusiedler Sees.

Alle SA-Standorte befinden sich in der Austauschzone von See und Litoralrand.

- SA-1 = Huminwasserbiotop ohne *Utricularia vulgaris*, *Phr-australis* Halmhöhe 3 m, > 50 Halme/m² groß, 4 – 5 m² groß, 0,5 m tief.
- SA = Huminwasserbiotop mit *U. vulgaris* ~ 1 m² und 0,5 m tief. Meßort aus NEUHUBER und HAMMER 1979 in ed. LÖFFLER.
- SAR = Huminwasserbiotop am Rande eines Grünschnitt-Gebietes 1 – 2 m² groß und in einem dichten Nachwuchsschilf 30 cm tief.
- SN = Landwärtsgelegener Standort außerhalb des Einflusses des Sees, Endpunkt der seiche, nur schütterer Halmbestand und nur 2,5 m hoch, mehrere 100 m² groß und 0,5 m tief. (Mehrmaliger Schnitt vom Eis aus).

Mit der Entfaltung der Blätter von *Phragmites australis* beginnt die thermische Unterkühlung der seeseitigen Randzone in ihrer Beziehung zum See. In besonnten Standorten — wie SN — bleiben das ganze Jahr die Amplituden zum Mittelwert groß, während in beschatteten Blänken die Maxima und Minima dann kaum vom Mittelwert abweichen.

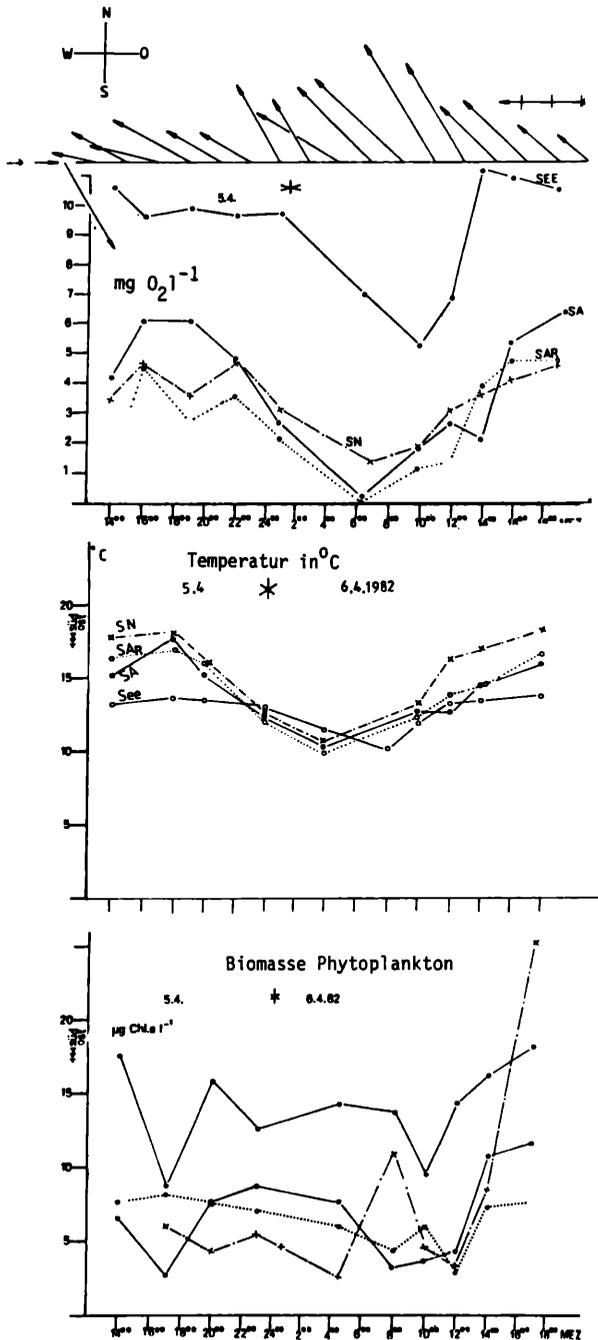


Abb. 2: Beispiel einer windinduzierten, unperiodischen seiche im Untersuchungsgebiet bei der Biologischen Station Illmitz. Die Pfeile geben die Windrichtung und -stärke pro Stunden wieder. Darunter ist der Sauerstoffgehalt, der Temperaturgang und die Verteilung der Biomasse des Phytoplanktons in der obersten 15 cm Schichte der einzelnen Biotope angegeben (Entfernung vom Seeufer zu SN etwa 800 m aus HAMMER 1982 und 1983).

Literaturverzeichnis

DIETRICH, G., & K. KALLE (1957): Allgemeine Meereskunde, Gebrüder Borntraeger Berlin Nikolasee 492. pp.

DOBESCH, H. (1984): Modellierung eines Wärmemodells des Neusiedler Sees. 10. Neusiedlersee-Tagung Biol. Station Illmitz (Vortrag).

DOKULIL, M. (1973): Zur Steuerung der planktischen Primärproduktion durch die Schwebstoffe, 109 — 110 in ed. ELLENBERGER: Ökosystemforschung, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York 280 pp.

DOKULIL, M. (1974): Planktonic primary and bacterial productivity in shallow waters within a large Phragmites community (Neusiedler See, Austria). Verh. Int. Verein. Limnol., 19, 1294 — 1304.

DOKULIL, M. (1979): Seasonal Pattern of Phytoplankton, 203 — 231, in LÖFFLER: Neusiedler See.

DRAXLER, G. (1973): Gaswechselfmessungen an *Utricularia vulgaris*. 103 — 107 in ed. ELLENBERG: Ökosystemforschung Springer Verlag Berlin-Heidelberg-New York.

EINSELE, W. (1936): Über die Beziehungen des Eisenkreislaufes zum Phosphatkreislauf im eutrophen See. Arch. f. Hydrobiol. 29, 664 — 686.

EINSELE, W. (1938): Über chemische und kolloidchemische Vorgänge in Eisen-Phosphatsystemen unter limnochemischen und limnogeologischen Gesichtspunkten. Arch. f. Hydrobiol. 33, 361.

EINSELE, W. (1941): Die Umsetzung von zugeführtem, anorganischem Phosphat im eutrophen See und ihre Rückwirkungen auf seinen Gesamthaushalt. Z. Fischerei, 39, 407 — 488.

FIALA, K. (1973 a): Growth and productions of underground organs of *Typha angustifolia* L., *Typha latifolia* L. and *Phragmites communis* Trin. Po. Arch. Hydrobiol., 20, 59 — 66. — Warszawa.

FIALA, K. (1973 b): Seasonal changes in the growth and total carbohydrate content in underground organs of *Phragmites communis* Trin. — In HEJNY ed.: IBP/PT-PP Report N°III. — Czechoslovak IBP National Committee. — Trebon, pp. 107 — 110.

GESSNER, F., (1933): Die Nährstoffaufnahme der Submersen. Ber. dt. Bot. Ges. 11, 5, 216 — 228.

GESSNER, F. (1937): Untersuchungen über Assimilation und Atmung submerser Wasserpflanzen. Jahresber. wiss. Bot. LXXXV. 267 — 327.

GESSNER, F. (1938): Die Beziehung zwischen Lichtintensität und Assimilation bei submersen Wasserpflanzen. Jb. Wiss. Botan. 86, 491 — 526.

GESSNER, F. (1955): Hydrobotanik. Die physiologischen Grundlagen der Pflanzenverbreitung im Wasser. I. Energiehaushalt VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften Berlin 517 pp.

GESSNER, F. (1959): Hydrobotanik, Die physiologischen Grundlagen der Pflanzenverbreitung im Wasser. II. Stoffhaushalt. VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften Berlin 1959 701 pp.

GESSNER, F. (1960): Untersuchungen über den Phosphathaushalt des Amazonas Int. Rev. ges. Hydrobiol. 45, 339 — 345.

GESSNER F. & L. HAMMER (1971): Physiologische Untersuchungen über die Toleranz von *Fucus virsoides* Intern. Rev. ges. Hydrobiol. 56, 4, 581 — 597.

HAMMER, L. (1962): La concentracion del oxígeno en aguas negras tropicales. Charla en la ASOVAC, Caracas, Venezuela.

HAMMER, L. (1965 a): Photosynthese und Primärproduktion im Rio Negro Intern. Rev. ges. Hydrobiol., 50, 3, 335 — 339.

HAMMER, L. (1965 b): Red Tide Untersuchungen im Caribischen Meer. Bot. Gothenburgensia, III, 93 - 101.

HAMMER, L. (1972): Anaerobiosis in marine algae and marine phanerogams Proc. VII Int. Seaweed Symposium Sapporo, 414 — 425. University of Tokyo Press 646 pp.

HAMMER, L. (1978): Sauerstoffmessungen im Schilfgürtel des Neusiedler Sees. Vortrag. 5. Neusiedlersee-Tagung Biolog. Station Illmitz.

HAMMER, L. (1979): Anaerobiosis in reed water biotops of Lake Neusiedl and its reflections to the adjacent regions of the Lake. Vortrag Shallow Lake Symposium Illmitz Mr. Prof. Ohle hinterlegt.

HAMMER, L. (1979): Die Entwicklung der phytoplanktischen Biomasse im Jahresverlauf und der ökologische Sauerstoffverbrauch des Neusiedler Sees im Verlaufe von 1979. Vortrag 5. Neusiedlersee-Tagung Biolog. Station Illmitz.

HAMMER, L., (1980): Tagesganguntersuchungen an zwei ausgewählten Standorten innerhalb des Schilfgürtels des Neusiedlersees. Vortrag 6. Neusiedlersee-Tagung Biolog. Station Illmitz.

HAMMER, L. (1981): Jahresbericht 1980 BFB-Bericht 40, 31 — 36.

HAMMER, L., (1981 a): Exosmosis and AFS-release von *Utricularia vulgaris*. Ein Schlüssel zum Verständnis chemischer Abläufe in Schilfwasserbiotopen des Neusiedlersees. Vortrag: 7. Neusiedlersee-Tagung Biolog. Station Illmitz.

HAMMER, L., (1981 b): Tätigkeitsbericht Bundesministerium für Wissenschaften Wien.

HAMMER, L., (1982 a): Tätigkeitsbericht ebenda, Mai 1982.

HAMMER, L., (1982 b): hearing vom 18. 11. 1982 in Eisenstadt. Burgenlandhof.

HAMMER, L., (1982 c): AFS-release von *Utricularia vulgaris* — Ein Schlüssel zum Verständnis chemischer Abläufe in Schilfwasserbiotopen des Neusiedler Sees. BFB-Bericht, 43, 273 — 287.

HAMMER, L., (1982 d): Neueste Ergebnisse der Problematik des biologischen Sauerstoffeintrages sowie -verbrauches in verschiedenen Huminwasserbiotopen. Vortrag 8. Neusiedlersee-Tagung Biolog. Station Illmitz.

HAMMER, L., (1983 a): Tätigkeitsbericht Bundesministerium für Wissenschaften Wien.

HAMMER, L., (1983 b): Mathematisches Modell aus Trebon für den Neusiedlersee, Hydrobotanische Brücke der Akademie der Wiss. in „Die Presse“ Wien.

HAMMER, L., (1983 c): Tätigkeitsbericht — Vortrag anlässlich Jahreshauptversammlung der AGN, Landesmuseum Eisenstadt.

HAMMER, L., (1983 d): Die Winklertitration — ein Weg zur modernen Systemanalyse. Vortrag 9. Neusiedlersee-Tagung Biolog. Station Illmitz.

HAMMER, L., (1983 e): Der Schilfgürtel des Neusiedlersees — ein horizontales Hypolimnion. Vortrag Neusiedlersee-Tagung Biolog. Station Illmitz.

HAMMER, L., (1984 a): Tätigkeitsbericht des AGN Bundesministeriums f. Wissenschaften Wien.

HAMMER, L., (1984 b): Tätigkeitsbericht über Arbeitsausenthalt in Trebon (CSSR) und Ergebnisse des Sauerstoffmodell des Neusiedler Sees (ges. Ondok und Pokorny).

HAMMER, L., (1984 c): *Microcystis* im Neusiedler See. Vortrag 10. Neusiedler See Tagung. Biolog. Stat. Illmitz.

HAMMER, L., (1984 d): Zur Problematik der Plankton sukzession, Planktonsequenz und der planktischen Produktion im Neusiedler See. Vortrag 10. Neusiedler Tagung. Biol. Station Illmitz.

HAMMER, L., (1984 c): Das Eutrophieproblem des Neusiedler Sees. Manusk. Ländervertretung der BRD in der SIL (Hamburg/Plön).

- HAMMER, L., (1985): Das Eutrophieproblem des Neusiedler Sees in press und Ländervertretung der BRD.
- HUSTETDT, F., (1959 a): Die Diatomeenflora des Neusiedler Sees im österreichischen Burgenland. Österr. Bot. Z. 106, 390 — 430.
- HOUGH, R. A. (1974): Photorespiration and productivity in submersed aquatic vascular plants. Limnol.—Oceanogr. 19, 912 — 927.
- HUSTETDT, F., (1959 b): Bemerkungen über die Diatomeenflora des Neusiedler Sees und des Salzlackengebietes. In Landschaft Neusiedler See. Wiss. Arb. Bgld. 23, 129 — 133.
- KLEIN, R. H., 1935: Stoffausscheidung und Assimilation bei höheren Wasserpflanzen. Diss. Univ. München unpubl.
- KUSEL-FETZMANN, E., (1979): The algal vegetation of Neusiedler See 171 in ed. LÖFFLER Neusiedler See: The limnology of a shallow lake in Central Europe. Junk The Hague Boston London 543 pp.
- KUSEL-FETZMANN, E., (1983): Über Versuche mit *Microcystis* des Neusiedlersees. Vortrag Jahreshauptversammlung AGN, Eisenstadt, Landesmuseum.
- KUSEL-FETZMANN, E. und B. HOFBAUER, (1983): Untersuchungen an blütenbildenden Blaualgen des Neusiedlersees. Vortrag 9. Neusiedlersee-Tagung Biolog. Station Illmitz.
- LÖFFLER, H., (1974): Der Neusiedlersee, Verlag Molden Wien-München-Zürich 175 pp.
- LÖFFLER, H., (1979): Neusiedlersee: The limnology of a shallow lake in Central Europe ed. LÖFFLER, JUNK, The Hague, Boston London 543 pp.
- MAIER, R. (1973): Produktions- und Pigmentanalysen an *Utricularia vulgaris*, 87 — 101 in ed. ELLENBERG: Ökosystemforschung, Springer Verlag Berlin Heidelberg New York.
- MISRA, R. D. (1938): Edaphic factors in the distribution of aquatic plants in the English Lakes. Journ. Ecol. XXVI, 2, 411 — 451
- NEUHUBER, F. und L. HAMMER, (1979): Oxygen Conditions, 121 — 130 in ed. LÖFFLER: Neusiedlersee: The Limnology.
- OHLE, W. (1953): Der Vorgang rasanter Seenalterung in Holstein. Naturwiss. 40, 153.
- ONDOK, J. P. (1977): Regime of global photosynthetically active radiation in helophyte stands. Studie CSAV. Praha, 10, 1 — 112
- REYNOLDS, C. S., (1984): The Ecology of Freshwater Phytoplankton Cambridge Studies in Ecology. Cambridge University, Cambridge, London, New York, Rochelle, Melbourne Sydney, 384 pp.
- RHEINHEIMER, G., (1971): Turbidity, Bacteria, Fungi and Blue-Green Algae. 1167 — 1180 in ed. KINNE: Marine Ecology, Wiley Interscience a division of John Wiley & Sons, London, New York. Sydney, Toronto.
- SCHILLER, J., (1955): Untersuchungen an den planktischen Protophyten des Neusiedler Sees 1950 — 1954, I. Teil Wiss. Arb. Bgld. 9, 5 — 66.
- SCHILLER, J., (1957): Untersuchungen an den planktischen Protophyten des Neusiedlersees 1950 — 1954, II. Teil Wiss. Arb. Bgld. 18, 4 — 44.
- SCHRÖDER, R., (1975): Release of Plant Nutrients from Reed Borders and their transport into the open Waters of the Bodensee Untersee. Symp. Biol. Hung., 15, 21 — 27.
- WETZEL, R., (1975): Limnology, W. D. Saunders Company, Philadelphia, London, Toronto pp. 743

WOHLENBERG, E., (1954): Stinkstoff, Sediment und Anwuchs im Hindenburgerdamm. „Die Westküste“, II, 33 — 94.

ZOBELL, C. E. and D. Q. ANDERSON, (1936): Observation on the multiplication of bacteria in different volumes of stored sea water and the influence of oxygen tension and solid surfaces. Biol. Bull. mar. biol. Lab. Woods. Hole, 71, 324 — 342.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Wissenschaftliche Arbeiten aus dem Burgenland](#)

Jahr/Year: 1986

Band/Volume: [072](#)

Autor(en)/Author(s): Hammer L.

Artikel/Article: [Das Problem der Eutrophie im Neusiedler See. 341-371](#)