

Der See als Ökosystem und die Rolle der Wasservögel

Von Josef Reichholf

1. Einleitung

Die Seenforschung als Teilgebiet der Limnologie befaßt sich mit den Eigenschaften und Gesetzmäßigkeiten stehender Gewässer des Binnenlandes. Die ökologische Forschung nimmt darin eine zentrale Position ein. Sie hat insbesondere im seenreichen Gebiet des Alpen- und Voralpenraumes einen ihrer geographischen Schwerpunkte. Nach einem halben Jahrhundert beschreibender und analytischer Limnologie gewinnt in neuerer Zeit vor allem die Synthese der Forschungsergebnisse an Bedeutung. Sie erfolgt in erster Linie mit Hilfe des 'System-Ansatzes', also der Erfassung eines Sees als ein 'Ökosystem'. Die einzelnen belebten (biotischen) und unbelebten (abiotischen) Bestandteile sind nach der Ökosystemtheorie als Untersysteme (Subsysteme) zu betrachten, die durch raum-zeitliche Strukturmuster funktionell miteinander verbunden sind. Sie bilden eine 'Ganzheit', deren Funktionieren sich nicht allein aus den Eigenschaften der Subsysteme ableiten läßt. Denn zahlreiche Wirkungen werden im Rahmen des Systems zu Rück-Wirkungen, zu Wechselwirkungen oder - anders ausgedrückt - sie unterliegen inneren Regelungsprozessen, die sich aus der besonderen Struktur des Gewässer-Ökosystems ergeben.

Die Vorgänge im 'Ökosystem See' lassen sich daher, bedingt durch die enge Verflechtung über vielfältige Wechselwirkungen, anhand der Reaktionen von Teil- oder Subsystemen verfolgen. Diese Grundeigenschaft macht man sich dadurch zunutze, daß man Organismen ausfindig zu machen versucht, die als solche 'Subsysteme' durch ihr Vorkommen oder leicht erkennbares Verhalten bestimmte - für den Menschen und seine Nutzungsansprüche interessante - Vorgänge oder Verhältnisse im Ökosystem See anzeigen,

also als Bioindikatoren wirksam werden. Da jede Art oder Gruppe von Organismen im Prinzip ihr speziell zu eigene Umweltansprüche stellt (also eine bestimmte 'ökologische Nische' oder 'ökologische Zone' einnimmt), könnten theoretisch alle Organismen als lebendige Indikatoren gelten. Viele davon sind jedoch nur schwer bestimmbar oder nur mit erheblichem apparativen Aufwand einhol- und verwertbar. Es eignen sich daher nur relativ wenige Gruppen von Organismen als Bioindikatoren. Für die speziellen Ausführungen werden die Wasservögel beispielhaft herausgegriffen, weil sie verschiedene, noch näher zu erläuternde Voraussetzungen erfüllen, die sie in der Tat zu brauchbaren Bioindikatoren machen. In entsprechender Weise können aber durchaus auch weitere Gruppen von Tieren, Pflanzen oder Mikroorganismen verwendet werden. Je nach Lage der Problemstellung wird man auf sie zurückgreifen können oder müssen, wie z.B. auf den Gehalt an Coli-Bakterien als Bemessungsgrundlage für die Trinkwasserqualität. Doch zunächst kurz zum Konzept des Sees als Ökosystem.

2. Der See als Ökosystem

2.1. Begriffsinhalt

Der Begriff des Ökosystems gliedert sich in zwei Hauptsystemteile, den unbelebten (anorganischen) (Nähr)Stoffvorrat und den belebten (biotischen) Systemteil, der sich aus den aufbauenden (Produzenten), umsetzenden (Konsumenten) und abbauenden (Reduzenten oder Destruenten) Organismen zusammensetzt. Die Tätigkeit der Organismen geht, wie auch viele Vorgänge im anorganischen Systemteil auf die treibende Kraft der eingestrahlten Sonnenenergie zurück, die im Systemteil der Organismen in vielfältig gebundenen Formen die Umsetzungsvorgänge bewerkstelligt. Die Verknüpfung der Energie-Umsetzungen untereinander bewirkt eine geregelte Abfolge von Produktion und Verbrauch der organischen Substanzen, die aus den anorganischen mit Hilfe der Sonnenenergie synthetisiert werden.

Die Ökosysteme sind jedoch - und dies ist eine ihrer wichtigsten Eigenschaften - offen. Dies bedeutet, daß die Stoffe in diesen Systemen ein- und ausgetragen werden, häufig Kreis-

läufe bilden, und daß die treibende Energie durch das Ökosystem hindurchfließt. Dabei bildet jedes einzelne 'Ökosystem' als System wiederum nur einen Teil der nächst höheren Integrationsstufe, bis schließlich in der umfassenden Verbindung aller Ökosysteme der Erde die Biosphäre erreicht wird. In diese belebte Hülle der Erdoberfläche strömt von außen Sonnenenergie ein und der winzige, vom Leben genutzte Anteil verläßt als Wärmestrahlung dieses globale Ökosystem wieder.

Daraus ergibt sich für unsere spezielle Betrachtungsweise die Feststellung und zugleich die Problematik, daß selbst ein gut umgrenzter, in sich weitgehend abgeschlossener Wasserkörper, der als 'Ökosystem See' betrachtet werden soll, an sich nicht isoliert sondern vielmehr als Teilsystem einer größeren Einheit zu sehen ist. Die Abgrenzung ist auch dann nicht eindeutig gegeben, wenn man den See zusammen mit seinem Einzugsgebiet betrachtet, denn es kommen auf dem Luftweg ebenfalls - unter Umständen sogar recht beträchtliche und wirkungsvolle - Stoffe und Energien von außerhalb hinein. Da diese Außeneinflüsse zeitlichen Schwankungen unterworfen sind und zudem jeder See als Wasserkörper eine Geschichte hat, ist das 'Ökosystem See' keinesfalls als statisches Gebilde zu betrachten. Vielmehr befindet es sich ständig in dynamischen Veränderungen, deren Ausmaß und Geschwindigkeit allerdings vom Menschen - zusätzlich zu den sonstigen Faktoren der natürlichen Umwelt - mehr oder minder stark beeinflußt oder beschleunigt werden. Im Hinblick auf diese grundsätzlichen Eigenschaften entspricht das 'Ökosystem See' vollinhaltlich dem Ökosystemkonzept.

2.2. Spezielle Eigenschaften des 'Ökosystems See'

Verschiedene Eigenschaften und Funktionen unterscheiden Seen als Ökosysteme deutlich von den sie umgebenden terrestrischen. Die wichtigsten werden hier kurz zusammengestellt, weil sich daraus bedeutsame Konsequenzen für die Arbeit mit Bioindikatoren und für die Beurteilung zentraler ökologischer Prozesse ergeben, die im See ablaufen.

a. Die Primärproduktion der grünen Pflanzen wird im 'Ökosystem See' - abgesehen von der unmittelbaren Uferzone (Litoral)

oder bei Seen mit sehr geringer Wassertiefe - in Form von mikroskopisch kleinen Algen mit extrem geringer individueller Biomasse geleistet.

b. Diese Primärproduktion ist durch sehr hohe Umsatzraten gekennzeichnet (Die Umsatzrate sinkt mit zunehmender Körpergröße bei Pflanzen wie Tieren und umgekehrt!).

c. Daraus folgt ein rapider Energiedurchzug, da dieser der Umsatzrate direkt proportional ist.

d. Die pflanzliche Biomasse (Phytomasse) ist - wiederum mit Ausnahme des Litorals beweglich und auf die durchlichtete (=euphotische) Zone des Wasserkörpers beschränkt. Die Struktur des Seebeckens beeinflusst daher in starkem Maße die Produktionsverhältnisse.

e. Auch die Nährstoffe sind mobil. Sie werden von den Wasserströmungen, durch Diffusionsprozesse und durch Temperaturschichtungen im Wasserkörper verteilt. Sie können direkt Einfluß auf die Verfügbarkeit des Lichtes nehmen.

f. Eingebraachte Stoffe können sich daher im See-Ökosystem ungleich stärker ausbreiten und verteilen als unter terrestrischen Verhältnissen.

g. Die Abgeschlossenheit des Seebeckens bringt es mit sich, daß je nach Stärke des Wasseraustausches der Wasserkörper mehr oder weniger stark zur Anreicherung von Nährstoffen (Eutrophierung) neigt. Nur wenn der Durchfluß groß ist im Vergleich zum Seevolumen, können sich Nährstoffzufuhr und -austrag die Waage halten.

h. Der Energiedurchzug im 'Ökosystem See' wird häufig weitgehend oder in weitaus überwiegendem Maße von der eingestrahelten Lichtenergie bestimmt. Im Gegensatz zum Fließgewässer tritt die kinetische Energie der Strömung stark zurück; dafür gewinnen aber Temperaturschwankungen und Wind an Bedeutung.

Demgegenüber zeigen terrestrische Ökosysteme 'festgewachsene Primärproduktion' (Gräser, Kräuter, Sträucher und Bäume) bei ebenfalls weitgehend festliegenden (nur durch Kapillarströme des Wassers bewegten) Nährstoffen. Die Pflanzen sind 'groß' im terrestrischen Bereich und der durch sie bewirkte Energie-Umsatz ist entsprechend geringer (die Umtriebszeiten sind größer). Eingebraachte Stoffe können sich im Boden viel weniger rasch

ausbreiten als im Wasser und dementsprechend verläuft auch die Eutrophierung ungleich langsamer. Auch können die Humusstoffe des Bodens viel stärker Nährstoffe binden als bei gelöstem Vorkommen im Wasser.

2.3. Nahrungsketten

Ausgehend von der pflanzlichen Primärproduktion lassen sich für das 'Ökosystem See' zwei Hauptkanäle des biologischen Energieflusses unterscheiden: die unabhängige (autotrophe) und die abhängige (heterotrophe) Nahrungskette.

Erstere basiert auf der Primärproduktion der grünen Pflanzen im Wasser, die von Primärkonsumenten (den Erstverbrauchern) umgesetzt wird in tierische Biomasse. Diese können ihrerseits wieder weiteren Konsumentenstufen zur Nahrung dienen. Bei jedem Umsetzungsschritt gehen etwa 90 % des Energiegehalts verloren (für die nächste Nutzungsstufe), so daß die Biomasse der Konsumentenpopulationen höherer Ordnung rasch abnimmt, während die Umsatzzeiten zunehmen. Den Konsumenten höherer Ordnung kommen daher aus der Sicht des gesamten Funktionsgefüges in erster Linie 'Verzögerungsfunktionen' bei der Abgabe und Freisetzung der Nährstoffe zu. Die biologisch gebundene Energie bleibt durch die Tätigkeit der Konsumenten höherer Ordnung länger im System als ohne deren Existenz möglich wäre. Mit jeder biologischen Nutzung sind aber Verluste im Nährstoffkreislauf unvermeidbar!

Die heterotrophe Nahrungskette funktioniert im Prinzip genauso. Nur begründet sie sich auf die beim Zerfall der Pflanzen oder aus den Tierkadavern freigesetzten organischen Substanzen, die noch nicht vollständig mineralisiert worden sind. Diese als 'organischer Detritus' bezeichneten Stoffe dienen vor allem einem reich differenzierten Bakterienrasen als Lebensgrundlage. Die dabei von den Bakterien synthetisierten Eiweiße, Fette und Kohlehydrate können von anderen Organismen, wie z.B. den Kleinlebewesen des Bodenschlammes, genutzt werden. Diese dienen ihrerseits den größeren Fischen oder manchen Wasservögeln als Nahrung, so daß sich auf dem organischen Detritus ebenfalls eine reich differenzierte Nahrungskette aufbauen kann.

Der Detritus entstammt häufig dem von den Zuflüssen eingeschwemmten Material, während die autotrophe Nahrungskette sich fast ausschließlich auf die interne Produktion des 'Ökosystems See' selbst gründet. Mit der Detritus-Nahrungskette verbindet sich daher der See besonders eng mit dem Umland, aber der Eintrag anorganischer Nährstoffe kann genauso bedeutsame Werte in mengenmäßiger Hinsicht für die Gesamtproduktion eines Sees erreichen. Die Art der Nahrungsketten läßt allerdings schon bei verhältnismäßig oberflächlicher Betrachtungsweise erkennen, ob die Produktionsleistungen eines Sees überwiegend dem Zustrom anorganischer oder organischer Substanzen entspringt.

2.4. Verfügbarkeit der Nährstoffe

Geringes Primärangebot an Nährstoffen und/oder schnelle Umsatzraten bedingen im Wasserkörper zeitweise oder dauerhafte Nährstoffverknappung. Unter solchen Verhältnissen bleibt den Abbauprozessen genügend Zeit, um die im biologischen Stoffkreislauf aufgenommenen Nährstoffe ziemlich vollständig in die mineralische Ausgangsphase zurückzuführen. Der See ist dann funktionell nährstoffarm (oligotroph); eine Eigenschaft die sich mit einer Reihe wichtiger Nutzungsansprüche seitens des Menschen eng verbindet (Trinkwasser, sauberes Badegewässer). Mit zunehmendem Nährstoffeintrag - der natürlicherweise relativ langsam erfolgen würde - geht jeder oligotrophe See mit der Zeit in einen angereicherten (mesotrophen) Zustand über, der immer rascher zur übermäßigen Verfügbarkeit von Nährstoffen (eutropher Zustand) führt und gelegentlich sogar dermaßen hohe Nährstoffwerte erreicht, daß selbst unter günstigen Licht- und Temperaturbedingungen das Wachstum der Primärproduzenten bereits wieder gehemmt wird (polytropher Zustand). Jeder dieser kontinuierlich ineinander übergehenden Zustände wird durch eine besondere, typische Kombination von Organismen und chemischen Reaktionen gekennzeichnet. Als ökologische Zustände sind sie primär natürlich 'wertfrei'. Sie gewinnen aber in Zusammenhang mit den menschlichen Nutzungsansprüchen enorm an Bedeutung. Die Gewässereutrophierung (und stellenweise auch die Anreicherung von Giftstoffen in den Gewässern) ist heute eines der zentralen Probleme des Umweltschutzes geworden.

2.5. Strukturiertheit des Gewässer-Ökosystems

Anders als am Lande ist im Gewässer, insbesondere in der Freiwasserzone (Pelagial) eine räumliche Strukturierung nur schwer oder gar nicht erkennbar. Dennoch zeigen die Organismen im Prinzip genauso starke Unterschiede in Vorkommen und Verteilung im See wie die landbewohnenden. Als allgemeines Maß für die biotische Strukturiertheit eines Lebensraumes hat sich in den letzten Jahren die Diversität eingebürgert. Sie geht von der Erkenntnis aus, daß die Strukturiertheit eines Lebensraumes weniger gut nach menschlichen Gesichtspunkten erfaßbar ist als man dies gemeinhin annimmt. Viel mehr sagen Vorkommen und Häufigkeit der verschiedenen Arten von Organismen über die tatsächliche Unterschiedlichkeit der Lebensbedingungen aus, weil diese sich ja dauerhaft mit eben diesen Bedingungen auseinandersetzen müssen, die wir Menschen nur indirekt über Messungen erfassen können. Es wurde daher eine Reihe von mathematischen Formeln entwickelt, die die natürlicherweise vorhandene Vielfältigkeit des Lebensraumes, die sich in den ihn bewohnenden Organismen abbildet, quantitativ messbar zum Ausdruck bringen sollen. Die weiteste Verbreitung hat die aus der Informationstheorie entnommene "Diversität" nach SHANNON-WEAVER gefunden, die Artenzahl und relative Häufigkeit der Arten gleichermaßen berücksichtigt. Bei entsprechend der Fragestellung geeigneter Auswahl der Organismengruppe kann die mit Hilfe der Diversitäts-Formel ermittelte Größe ein brauchbares Vergleichsmaß für die biologisch-ökologische Vielgestaltigkeit der Lebensbedingungen und für die Aufspaltung der biologischen Energieflüsse auf unterschiedliche 'Kanäle' abgeben. Die Formel wird im Anhang dargestellt und kurz erläutert.

Eine direkte Verbindung zwischen Diversität und Stabilität eines Ökosystems, wie sie gerade für Gewässer-Ökosysteme vielfach vermutet wurde, existiert nicht; zumindest nicht in dem Sinne, daß Diversität Stabilität erzeugen würde. Eher scheint umgekehrt eine relativ hohe Konstanz der Lebensbedingungen Hand in Hand zu gehen mit reicher Entfaltung der biologischen Diversität. Extrem oligotrophe Seen zeigen allerdings in vielen Bereichen ihrer Organismen eher eine verringerte Diversität, die mehr im mesotrophen Bereich ihr Maximum erreicht. Ebenso scheint

Knappheit der Ressourcen die Diversität zu fördern (Spezialisten sind dann überlegen!), während die Vermehrung ursprünglich knapper Grundstoffe (z.B. durch Eutrophierung) zu einer Verminderung der Diversität führt. Die weniger spezialisierten Formen, die rasch ein reiches Nährstoffangebot ausnutzen können, vermehren sich auf Kosten der Spezialisten unter diesen Bedingungen! Die Diversität kann daher durchaus recht empfindlich Stabilitätsveränderungen anzeigen, auch wenn sie selbst nicht die Ursache dafür ist.

3. Bioindikatoren im 'Ökosystem See'

3.1. Allgemeine Eigenschaften von Bioindikatoren

Einleitend wurde bereits darauf hingewiesen, daß jene Organismen besonders als Bioindikatoren geeignet sind, deren Vorkommen oder leicht erkennbares Verhalten für den Menschen bedeutsame Veränderungen im Ökosystem anzeigen. Die Qualifikation ergibt sich daher erst aus der Problemstellung, die der Mensch verfolgt. Grundsätzlich sollten die als Bioindikatoren gewählten Organismen aber verhältnismäßig leicht und exakt bestimmbar sein, denn nahe verwandte oder sehr ähnliche Arten können insbesondere bei den Kleintieren und Mikroorganismen oft recht unterschiedliche Lebensstrategien verfolgen und damit unter Umständen ganz weit auseinanderklaffende Verhältnisse anzeigen. Für die Praxis sind daher entweder standardisierte Tests oder solche Organismen von Interesse, deren systematische Zuordnung keinerlei Probleme schafft. Schließlich muß der Aufwand zur Gewinnung der Daten aus dem Bereich der Bioindikatoren erheblich geringer sein als bei Verwendung - der meist noch viel präziseren - physikalisch-chemischen Meßmethoden.

Der Vorteil der Bioindikatoren besteht in der Tatsache, daß sie als Organismen an der betreffenden Stelle oder im betreffenden Raum dauerhaft leben (können) müssen und daher kontinuierlich 'messen', während die meisten technischen Messungen nur stichprobenhaft in räumlicher und zeitlicher Hinsicht gewonnen werden können. Die Zahl fester Dauermeßstationen ist auf jeden Fall aus finanziellen und zeitlichen Gründen eng begrenzt. Die Daten der Bioindikatoren sollen und können Ergänzungen oder

Vorwarnungen liefern:

3.2. Die Wasservögel als Bioindikatoren

Bezüglich der allgemeinen Vorbedingungen für die Eignung als Bioindikator dürften die Wasservögel von allen wasserbewohnenden oder die Gewässer nutzenden Organismen am besten abschneiden. Sie sind auch für Laien und ohne Vorkenntnisse leicht bestimmbar, im Gegensatz zu allen im Wasser lebenden Organismen praktisch quantitativ (mit vergleichsweise sehr geringer Fehlergrenze) erfaßbar, artenreich vertreten und schließlich in den verschiedensten Abschnitten der Nahrungsketten ökologisch wirksam. Denn ihr Anpassungsspektrum reicht von reinen Pflanzenfressern (Primärkonsumenten) bis zu Arten in Spitzenpositionen der Nahrungsketten (Endkonsumenten) und von der Nutzung der Uferzonen bis zu größeren Wassertiefen (max. 40-50 m). Eines der gängigen Bestimmungsbücher für Vögel genügt bereits, um nahezu fehlerfrei alle wesentlichen Arten, die auf Binnengewässern vorkommen, artmäßig bestimmen zu können. Im Gegensatz zu den Bewohnern des Wassers selbst nehmen sie sich ihren zum Atmen nötigen Sauerstoffvorrat aus dem Luftraum mit ins Wasser hinab. Sie sind daher atmungsphysiologisch vom Wasser unabhängig. Ihr Vorkommen und ihre Häufigkeiten können daher auch auf Seen Hinweise über den ökologischen Zustand geben, die keiner sauerstoffabhängigen Fauna mehr Lebensmöglichkeiten bieten oder wo diese zumindest schon so stark geschädigt ist, daß sie kaum mehr sinnvoll ausgewertet werden kann.

3.3. Ergebnisse

Die Wasservögel werden im Rahmen der Internationalen Schwimmvogelzählung seit mehr als einem Jahrzehnt auf allen größeren Gewässern Bayerns jeweils am mittleren Sonntag des Monats von September bis April (also außerhalb der Brut- und Mauserzeit) regelmäßig und systematisch gezählt. Die Auswertung dieses umfangreichen Datenmaterials durch H.UTSCHICK (Diplomarbeit an der Universität München) ergab klare Abhängigkeiten von den Wassergüteverhältnissen. So nimmt die Biomasse aller Wasservögel pro Flächeneinheit mit abnehmender Wassergüte zu. Die Diversität dagegen sinkt klar ab und zeigt, wie mit zunehmender Biomasse

sich diese auf einige wenige Arten konzentriert. Wichtiger als absolute Zahlen sind dabei die Veränderungen. Steigen auf einem See Jahr für Jahr die Wasservogelmengen, die sich dort zu den Zugzeiten und/oder zur Überwinterung einfinden, kontinuierlich an, so gibt das Ausmaß der Zunahme einen deutlichen Hinweis auf die Geschwindigkeit, mit der sich die Wassergüte verschlechtert. Noch deutlicher wird dies, wenn sich innerhalb der Wasservogelgemeinschaft das Verhältnis von spezialisierteren Kleintier- und Pflanzenfressern zu Allesfressern (insbesondere zu Bläßhühnern und Stockenten) hin verschiebt. Konzentrationen von Lachmöwen oder Bläßhühnern, die sich sogar von Abwasserpilzen ernähren können, deuten stets auf Einleitung von Abwässern hin, die reich an organischem, fäulnisfähigem Material sind. Massenansammlungen von Höckerschwänen und Bläßhühnern an Seeufern ohne direkte Zuflüsse bedeuten, daß sich im Litoral große Wasserpflanzenbestände und fädige Algen entwickelt haben, die von diesen Pflanzenfressern genutzt werden. Die Zunahme von Hautbentauchern signalisiert das Aufkommen von größeren Mengen kleiner Oberflächenfische, wie sie für Seen, die vom meso- zum eutrophen Zustand überwechseln, typisch sind.

Entscheidend erscheint dabei aber, daß sich die Wasservögel verhältnismäßig leicht überwachen und kontrollieren lassen. Erschwerend wirkt allerdings, wenn sie einer mehr oder weniger intensiven Bejagung ausgesetzt sind, die sie von den für sie potentiell geeigneten Plätzen an den Gewässern vertreibt. In manchen Gebieten können daher vor allem im Herbst die Wasservögel nur mit Einschränkungen Hinweise auf Entwicklungen im Gewässerökosystem geben. Dafür 'funktionieren' sie im Frühjahr in aller Regel ganz gut als Bioindikatoren.

Für eine feinere Analyse ist ihre Untergliederung in nahrungsökologische Gruppen notwendig. Es lassen sich 'Allesfresser', 'Pflanzenfresser', 'Verwerter der Bodenschlammfauna', 'Fischfresser' (kleine und/oder größere), 'Ufer- und Freiwasserjäger' sowie 'Endverbraucher' unterscheiden. Die relativen Häufigkeiten der einzelnen Gruppen zeigen dann die relative Bedeutung der jeweiligen nahrungsökologischen Stufe im Gewässerökosystem an. Besonders bedeutsam ist es, wenn jene Wasservogelarten deutlich zunehmen oder dominant werden, die die gleiche Nahrung wie die Fische verwerten ('Schlammfaunafresser' - also Verwerter der

Würmer und Mückenlarven des Bodenschlammes!). Denn ihre Zunahme signalisiert massive Schädigungen oder den Zusammenbruch der Fischbestände.

3.4. Rolle der Wasservögel

Die Wasservögel sind wie alle heterotrophen Organismen Verwerter bereits produzierter organischer Substanz. Im Gegensatz zu den anderen wasserbewohnenden Organismen können sie aber leicht ein bestimmtes Gewässer verlassen oder tausende von Kilometern entfernte Gewässer funktionell miteinander verbinden. Für eutrophierte Gewässer haben sie eine besondere Bedeutung, wenn sie die Überproduktion der Vegetationsperiode kurzzeitig nutzenverbrauchen - und dann weiterziehen. Denn dann entnehmen sie dem Gewässer effektiv Nährstoffe und tragen damit zur ausgleichenden Bilanz bei. Wie wirkungsvoll dieser Nährstoffaustrag werden kann, hängt stark von den örtlichen Umständen ab. Befinden sich Rastplätze außerhalb des Gewässers, wird mit den Exkrementen ein unter Umständen bedeutender Teil der Nährstoffe (auch an Phosphor, der im Nährstoffhaushalt eines Sees besonders kritisch ist) dort schon abgesetzt. Ein weiterer Teil verbleibt, festgesetzt als körpereigene Substanz, im Organismus des Wasservogels und schließlich wird auch ein Teil der aufgenommenen Kohlehydrate einfach 'verbrannt' (veratmet). Nur ein Rest wird über die Exkremente dem Wasser zurückgegeben. Sofern es sich bei der Nahrungsaufnahme um potentiell fäulnisfähige Substanzen handelt (und das ist in aller Regel der Fall), dann führt die Beschleunigung der Abbauvorgänge zu einer Verminderung der Anhäufung faulschlamm bildender Substanzen. Dieser Effekt kann jedoch insbesondere bei Parkseen aufgehoben oder sogar ins Negative umgekehrt werden, wenn nämlich die Wasservögel über die menschliche Zufütterung von außen mehr Nährstoffe ins Wasser bekommen, als ursprünglich vorhanden waren. Die Wasservögel können dann indirekt zur 'Wasserverschmutzung' beitragen. An den Seen und Gewässern der freien Landschaft bedeutet dagegen die Entnahme der Nahrung einen Nährstoffentzug, weil die Mehrzahl der Wasservögel nach erfolgter Abweidung der Nahrungsvorräte weg zieht. Ähnliche Effekte ergeben sich bei der Nutzung der Fischbestände durch den Menschen. Leider wird jedoch in vielen Fällen die Produktivkraft der Seen durch die Eutrophierung so stark über-

strapaziert, daß Fische und Wasservögel durch vermehrte Biomasseproduktion den Überschuß nicht abschöpfen können. Die Grenzen der Belastbarkeit müßten daher nicht an chemisch-physikalischen Meßwerten, sondern an der biologischen Leistungsfähigkeit jedes einzelnen Sees bemessen werden. Übermäßige Befischung oder zu starker Jagddruck, der sich in hohen Vertreibungsraten der Wasservögel äußert, können daher durchaus auch zu 'Belastungen' des Sees werden, weil sie die Umsatzraten des Ökosystems negativ beeinflussen.

4. Ausblick

Unsere bayerischen See-Ökosysteme zählen zu den mit am stärksten strapazierten Ökosystemen der freien Landschaft. Zu diesem Ergebnis kommt man genauso bei Betrachtung der Wasservogelfauna der bayerischen Seen, wie bei den viel genaueren limnologischen Messungen und Wassergütebestimmungen. Trotz der prekären Situation läßt sich aber immerhin feststellen, daß die Ringkanalisationen an Wörth- und Pilsensee ganz offensichtlich so effektiv funktionieren, daß sich diese See-Ökosysteme wieder erholen. Mit dem Einsatz der Ringkanalisation sank die Häufigkeit der Wasservögel auf diesen beiden Seen drastisch ab, während die Werte für praktisch alle anderen Seen, insbesondere aber für den Chiemsee, stark im Anstieg begriffen sind. Durch die laufende und intensive Überwachung der bayerischen Seen lassen sich zumindest die Entwicklungen im Auge behalten und Prioritäten setzen für die kostspieligen Maßnahmen, die im Hinblick auf die vielfältigen Ansprüche, die an die Seen-Ökosysteme gestellt werden, auf Dauer nicht vermieden werden können. Die Seenforschung in Bayern ist bei der Ermittlung der wissenschaftlichen Grundlagen hierbei maßgeblich beteiligt. Sie kann aber nur feststellen und die Ergebnisse interpretieren - die Entscheidungen liegen bei den angrenzenden Kommunen, die für den Ausgleich zwischen Be- und Entlastung sorgen müssen.

Literaturhinweise

- HUTCHINSON,G.E. (1957/1967): A Treatise on Limnology Vol. I & II.
J.Wiley, New York.
- ILLIES,J. (1978): Limnofauna Europaea.
G.Fischer, Stuttgart.
- LAMPERT,K. (1910): Das Leben der Binnengewässer. Tauchnitz, Berlin.
- McNAUGHTON,S.J. & L.L.WOLF (1973): General Ecology.
Holt, Rinehart & Winston, New York.
- NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES (1969): Eutrophication:Causes,
Consequences, Correctives. Washington,D.C.
- REICHHOLF,J. (1976): Die Wasservogelfauna als Indikator für den
Gewässerzustand. Daten u. Dokumente zum Umweltschutz 16:181-186
(Universität Hohenheim).
- REMMERT,H. (1978): Ökologie - ein Lehrbuch. Springer, Berlin.
- RHEINHEIMER,G. (1971): Mikrobiologie der Gewässer. VEB Fischer, Jena.
- RUSSELL-HUNTER,W.D. (1970): Aquatic Productivity.
Collier-Macmillan, New York und London.
- RUTTNER,F. (1962): Grundriß der Limnologie. de Gruyter, Berlin.
- THIENEMANN,A. (1955): Die Binnengewässer in Natur und Kultur.
Springer, Berlin.
- UTSCHICK,H. (1976): Die Wasservögel als Indikatoren für den öko-
logischen Zustand von Seen.
Verh.orn.Ges.Bayern 22:395-438.

Anschrift des Verfassers:

Dr.Josef Reichholf
Zoologische Staatssammlung
Maria-Ward-Str. 1 B
8000 München 19

AnhangBestimmung der Diversität

Die der Informationstheorie entnommene Grundformel zur Quantifizierung der Diversität enthält als Teilkomponenten die relative Häufigkeit der einzelnen Arten (p_i) als Anteil (N_i) an der Gesamtsumme der Individuen (N) der Artengemeinschaft, aus der die Diversität berechnet werden soll.

$$p_i = \frac{N_i}{N}$$

Der Wert der Diversität (H') errechnet sich dann nach folgender Formel:

$H' = - \sum p_i \cdot \log p_i$ wobei als Logarithmus entweder der Log. dualis (zur Basis 2) oder der Log. naturalis (\ln) verwendet wird. Im ersteren Falle erhält man die Diversität als Informationsgehalt pro Individuum (in 'bits' nach der Nomenklatur der Informationstheorie).

Der Wert der Diversität steigt mit zunehmender Artenzahl (n) und mit zunehmender Gleichmäßigkeit der Verteilung der Häufigkeiten der einzelnen Arten. Den ermittelten Wert für die Diversität kann man dem maximal möglichen ($H'_{\max} = \log n$) gegenüberstellen und damit ein Maß für den Ausbildungsgrad der Diversität bekommen.

Ausbildungsgrad (A) = $\frac{H'}{H_{\max}}$ für die gegebene bzw. ermittelte

Artenzahl n . Ein hoher Ausbildungsgrad zeigt ein hohes Maß an Ausgeglichenheit der Lebensbedingungen an und vermittelt oft mehr bioindikatorischen Wert als die Diversität alleine. Grundsätzlich ist jedoch auf Vergleichbarkeit der erzielten Werte zu achten, denn nur dann können sinnvolle Aussagen damit verbunden werden.

Literatur:

BEZZEL, E. & J. REICHHOLF (1974): Die Diversität als Vergleichsmaß zur Bewertung von Wasservogel-Lebensräumen. Journ. Ornithol. 115:50-61.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Laufener Spezialbeiträge und Laufener Seminarbeiträge \(LSB\)](#)

Jahr/Year: 1979

Band/Volume: [3_1979](#)

Autor(en)/Author(s): Reichholf J.

Artikel/Article: [Der See als Ökosystem und die Rolle der Wasservögel 69-82](#)