Ber. Naturhist. Ges. Hannover	137	203–216	Hannover 1995

Untersuchungsergebnisse und Möglichkeiten einer Restauration an ausgewählten Stillgewässern

von

JOCHEN FRÖBRICH UND HERWIG LEHMANN

mit 6 Abbildungen

Zusammenfassung. Stillgewässer sind höchst schützenswerte Elemente unserer Landschaft und leisten einen besonders wichtigen Beitrag zu den Naherholungsmöglichkeiten der Städte. Die meisten der Gewässer weisen jedoch einen stark eutrophierten Zustand auf, der insbesondere der naturräumlich jeweils vorkommenden Artengemeinschaften keine oder nur beschränkte Lebensbedingungen ermöglicht. Insgesamt ist ein erheblicher Handlungsbedarf zur Verbesserung der Wasserqualität der Stillgewässer zu verzeichnen. Diese Verbesserungen lassen sich durch Sanierungs- und Restaurierungsmaßnahmen herbeiführen. Es werden einige der wichtigsten Restaurierungsmaßnahmen in ihren grundsätzlichen Bestandteilen erläutert.

In der Vergangenheit wurden im Vorfeld derartiger Restaurierungs- und Sanierungsmaßnahmen umfangreiche Messungen durchgeführt. Anschließend wurden die Verfahren festgelegt und ausgeführt, zeigten aber nur in etwa der Hälfte aller Fälle Erfolg. Dies ist darauf zurückzuführen, daß keine Möglichkeit bestand, im voraus die Auswirkungen der Maßnahmen quantitativ zu beschreiben.

Entsprechend der in den Ingenieurwissenschaften üblichen Vorgehensweise, wurde vom Arbeitsbereich Wassergüte und Umwelttechnik, der Universität Hannover, im Rahmen des ökologischen Forschungsprogrammes ein Simulationsmodell entwickelt, das in der Lage ist, komplexe hydraulische, hydrothermale und biologische Prozesse in einem Stillgewässer nachzuvollziehen. Methodik und Modell wurden auch für die besonderen Verhältnisse in Flachseen erstellt.

Mit Hilfe der Modelle wurden unter anderem für den Dreiecksteich in Hannover und für den Kleinen See in Lübeck Untersuchungen zur Beeinflußbarkeit der Wasserqualität durchgeführt. Durch den Einsatz derartiger Simulationsmodelle lassen sich die Auswirkungen von Restaurierungs- und Sanierungsmaßnahmen vor der Durchführung prognostizieren und die Verfahren entsprechend dimensionieren. Neben einer wirtschaftlicheren Betriebsweise, wird erst hierdurch der anschließende Erfolg einer Maßnahme gesichert. Damit stehen die Hilfsmittel für die Planung und Dimensionierung der Restaurierungsmaßnahmen der Stillgewässer bereit und es kann eine Umsetzung der Verfahren zur dringend erforderlichen Verbesserung der Gewässerqualität erfolgen.

Summary: Research Restults and Possibilities of Restauration of Still Waters. As an element of our local environment, still waters contribute to the recreational quality of modern cities and are therefore worth protecting. The majority of these waters, however, is overfertilized and offers only limited living conditions for natural inhabitant species. This very fact gives rise to the necessity of improving the quality of such waters. However, this goal may be approached reducing effluents and with the aid of restoration activity, some of which are mentioned here. In the past, the most promising measures were chosen rather arbitrarily based on large-scale measurements – with success in only half the cases. This is due to the fact the little chances to predict quantitatively the effects of planned measures. As part of the Hannover Program of Ecological research, the Department of Water Quality and Environmental Engineering (Univ. of Hannover) developed a model to simulate complex hydraulic, hydrothermic and biological processes usually found in still waters. The model and the applied methods suit also the conditions in shallow lakes, and they were used as an important tool in examining possible influences on the water quality of two lakes in Germany (Dreiecksteich at Hannover, and Kleiner see at Lübeck). Apparently, predicting the effects of effluent reduction and restoration and putting these measures into appropriate dimensions can only be done using such models.

1 Einleitung

Stillgewässer sind besonders in dicht besiedelten Regionen einer Vielzahl von Nutzungsformen unterworfen. In Naherholungsgebieten dienen sie je nach ihrer Größe zum Baden, Paddeln, Surfen und Segeln. Gleichzeitig können Stillgewässer zur Fischerei und häufig auch für die Gewinnung von Trinkwasser genutzt werden. All diese Nutzungsformen weisen unterschiedliche und zum Teil gegensätzliche Anforderungen an die Wasserbeschaffenheit auf.

Für eine Verbesserung der Wassergüte von Stillgewässern kommen eine Reihe möglicher Sanierungs- und Restaurierungsmaßnahmen zum Einsatz. Ihre Auswahl richtet sich einerseits nach der Art und Beschaffenheit des Gewässers und andererseits nach der Ursache und dem Ausmaß der vorliegenden Verschmutzung.

Nachdem in der Vergangenheit auf der Grundlage von Messungen und deren Auswertung, Maßnahmen zur Verbesserung der Gewässerqualität mehr oder minder willkürlich ausgewählt wurden, führten diese nur in ca. 50% aller Fälle zum Erfolg. Es empfiehlt sich also, die Wirkung der Maßnahmen im voraus zu berechnen. Auf einer solchen Grundlage sind dann die Verfahren zu bemessen.

In diesem Beitrag sollen zum Verständnis zunächst die wichtigsten limnologischen Grundlagen, die in diesem Zusammenhang von Bedeutung sind, zusammengestellt werden. Danach wird eine Übersicht über die wesentlichen Restaurierungsverfahren und ihre jeweiligen Besonderheiten gegeben. Da im Gegensatz zur früheren Vorgehensweise vorhergehende Modelluntersuchungen ein unverzichtbarer Bestandteil bei der Maßnahmenplanung sind, werden hier die grundsätzlichen Arbeitsschritte beschrieben. Im Anschluß werden exemplarisch die Ergebnisse der Untersuchungen an einem Stadtgewässer in Hannover vorgestellt.

2 Limnologische Grundlagen

Wie bereits erwähnt, dienen Restaurierungsmaßnahmen der Verbesserung der Wassergüte. Hierbei bleibt die Frage offen, was unter dem Begriff Wassergüte eigentlich verstanden werden soll, zumal die Wassergüte nicht als eine Größe meßbar ist, wie beispielsweise die Wassertemperatur. Für die Beschreibung eines Gewässerzustandes stehen chemische Analysen über den Gehalt an Wasserinhaltsstoffen zur Verfügung und biologische Untersuchungen

bieten Angaben über die Zusammensetzung und Häufigkeit der in einem Gewässer lebenden Tier- und Pflanzenarten. Bewertet man nun den beschriebenen Zustand nach zuvor definierten Kriterien, so gelangt man zu einer Einschätzung der Gewässergüte. Die Aufstellung der Bewertungsmaßstäbe kann unter Umständen problematisch sein. Ein ehemaliges Salmonidengewässer, in dem nachfolgend eine starke Verkrautung eingetreten ist, bietet beispielsweise Karpfen hervorragende Lebensbedingungen. Allgemein wird unter der Verschlechterung des Gütezustandes jedoch eine Abweichung vom ursprünglichen, dem „natürlichen" Gewässerzustand verstanden. Hiermit ist häufig eine Steigerung des Gehaltes an gelösten Nährstoffen, eine Verringerung der Sichttiefe, eine Zunahme der Biomasse und einer deutlichen Verschiebung der Artenzusammensetzung des Planktons verbunden. Baden wird dann unangenehm und der fehlende Sauerstoff beeinträchtigt oder vermindert die Lebensbedingungen der Fische.

2.1 Einteilung der Standgewässer

Stillgewässer unterscheiden sich von Fließgewässern in vielfältiger Hinsicht. Gleichzeitig lassen sie sich selbst nach unterschiedlichen Kriterien in mehrere Gruppen einteilen. Allerdings weisen nicht alle Seen Merkmale auf, die eine eindeutige Zuordnung in eine bestimmte Gruppe zulassen. Die folgende Einteilung soll daher nur einer groben Übersicht dienen. Grundsätzlich lassen sich natürlich entstandene und künstlich angelegte Gewässer unterscheiden. Sie sind in ihren Eigenschaften und ihren Besiedlungsformen häufig jedoch sehr ähnlich, so daß sie hier gemeinsam behandelt werden sollen.

Bezüglich der in einem Standgewässer ablaufenden Stoffkreisläufe ist die Wassertiefe ein wichtiges Unterscheidungsmerkmal. Flache Seen sind dadurch gekennzeichnet, daß das einfallende Sonnenlicht den Gewässergrund erreicht und deshalb bis zur Sohle die Photosynthese ermöglicht wird. Zusätzlich bewirkt die geringe Wassertiefe, daß infolge der Windeinwirkung eine vollständige Umwälzung des Wasserkörpers zu allen Jahreszeiten auftreten kann. Eine über längere Zeit festzustellende Schichtung der Wassertemperatur kann hier nicht beobachtet werden. Natürliche flache Seen werden als Weiher oder Flachseen bezeichnet, künstliche dagegen als Teiche, wenn sie ablaßbar sind. Weisen derartige künstliche Gewässer keine Ablaßmöglichkeiten auf, so wie es beispielsweise bei gefluteten früheren Kiesabbauflächen der Fall ist, werden sie als flache Restseen bezeichnet.

In tiefen Stillgewässern ist demgegenüber auf dem Gewässergrund wegen der geringen oder nicht mehr vorhandenen Sonnenstrahlung keine Photosynthese mehr möglich. Außerdem läßt sich im Sommer eine Temperaturschichtung nachweisen, auf die noch näher eingegangen werden soll. Als Seen werden allgemein natürlich entstandene, tiefe Gewässer bezeichnet. Künstlich geschaffene und ablaßbare Gewässer werden unter den Begriffen Stausee oder Talsperre, nicht ablaßbare unter Bagger- oder Restseen zusammengefaßt.

2.2 Stillgewässer als Ökosystem

Bei der Beurteilung des Gewässergütezustandes sind vor allem die Zusammenhänge des Ökosystems Stillgewässer zu untersuchen. Aufgrund der in der Natur zu beobachtenden großen Komplexität sollen hier nur einige wesentliche Merkmale beschrieben werden. Seen lassen sich in unterschiedliche Lebensräume unterteilen. Zum einen wird die Bodenzone (Benthal) von der Freiwasserzone (Pelagial) unterschieden. Die Bodenzone kann wiederum in den durchlichteten Bereich (Litoral) und in die lichtarme Tiefenzone (Profundal) gegliedert werden. Innerhalb des Litorals ist aufgrund der Strahlungsenergie ein photosynthetischer Aufbau von Biomasse möglich, in dem darunterliegenden Profundal nicht mehr. Entsprechend wird das Pelagial in das durchlichtete obere Pelagial und das unbelichtete untere Pelagial unterteilt, die durch die sogenannte Kompensationsebene voneinander getrennt sind. Die Kompensationstiefe kennzeichnet diejenige Wassertiefe, bei der die pflanzliche photosynthetische

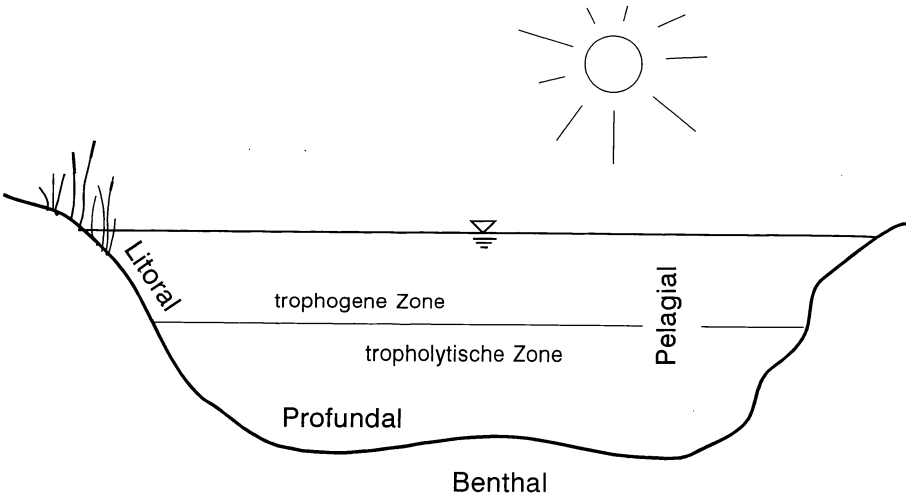


Abb.1: Einteilung der Lebensräume in einem Stillgewässer

Produktion genau der tierischen und mikrobiellen Konsumption entspricht. Die Kompensationstiefe unterliegt dabei je nach Sonneneinstrahlung tages- und jahreszeitlichen Schwankungen.

2.3 Temperatur und Stoffhaushalt

Die Besonderheit aquatischer Lebensräume wird durch die Dichteanomalie des Wassers entscheidend geprägt. Kühlt ein Wasserkörper ab, so erhöht sich die Dichte und das kühlere, spezifisch schwerere Wasser sinkt ab. Wasser besitzt jedoch bei 4 °C seine größte Dichte, bei zunehmender Abkühlung verringert sich die Dichte wieder. Dies hat zur Folge, daß Gewässer stets von der Oberfläche her zufrieren. Gleichzeitig lassen sich hierdurch in einem See jahreszeitlich unterschiedliche Temperaturschichtungen beobachten.

Erwärmt sich im Sommer die Wasseroberfläche eines Sees, so verbleiben die warmen Wasserschichten infolge ihres geringeren spezifischen Gewichtes an der Oberfläche. Dadurch wird die Oberfläche relativ schnell erwärmt, das kühle Tiefenwasser verändert nur langsam die Temperatur. Ab einer gewissen Erwärmung ist der hieraus resultierende Dichteunterschied so groß, daß das Oberflächenwasser wie ein getrennter Wasserkörper über dem Tiefenwasser schwimmt. Selbst die durch den Wind hervorgerufene Durchmischung vermag nun nicht mehr diese Grenze zu durchbrechen. Die Schichtung (Stratifikation) bewirkt, daß das Tiefenwasser im Sommer nicht an die Oberfläche gelangt. Dieser Zustand entspricht dann der Sommerstagnation. Der warme oberflächennahe Wasserkörper wird als Epilimnion und der Bereich des kalten Tiefenwassers als Hypolimnion bezeichnet, dazwischen befindet sich das sogenannte Metalimnion, in dem sich ein starkes Temperaturgefälle ausbildet.

Erst wenn sich im Herbst die Oberflächenschicht stark abgekühlt hat und die Stärke des Windes zunimmt, kann der Dichteunterschied überwunden werden und es kommt zu einer vollständigen Zirkulation des Wasserkörpers, der Herbstzirkulation. Die Temperatur erreicht jetzt über die gesamte Tiefe Werte von 4 °C. Nimmt die Wassertemperatur im Verlauf des Winters noch weiter ab, so daß sich eine Eisdecke bildet, kann der Wind keine Umwälzung des Wasserkörpers mehr hervorrufen und es kommt zu der Winterstagnation. Im Frühjahr schmilzt das Eis und es setzt mit der Frühjahrszirkulation wieder eine vollständige Durchmischung des Gewässers ein.Die im Sommer infolge der Stratifikation auftretende Trennung

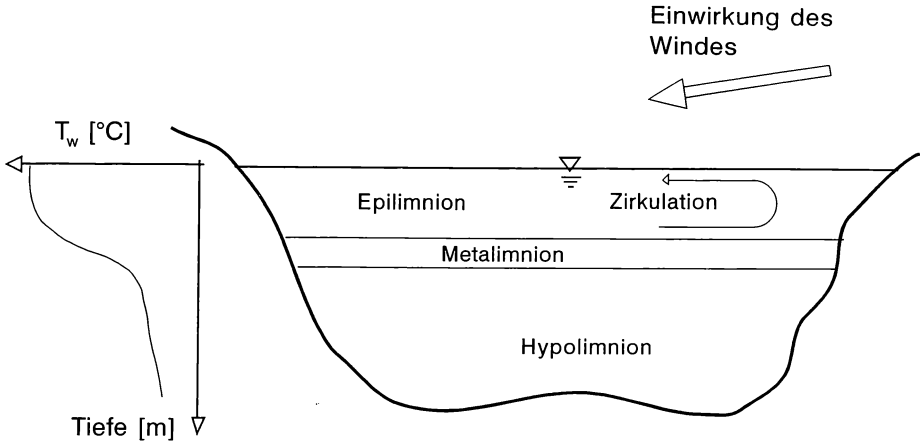


Abb.2: Schichtungsverhältnisse während der Sommerstagnation in einem See

von Epi- und Hypolimnion besitzt eine ganz entscheidende Bedeutung für die Betrachtung der in einem See auftretenden Stoffkreisläufe.

Reicht die verfügbare Lichtintensität aus, so legen Algen (Phytoplankton) und die höheren Wasserpflanzen über die Photosynthese die Strahlungsenergie im Aufbau von Biomasse fest, wobei zusätzlich die mineralischen Nährstoffe Stickstoff und Phosphor benötigt werden. Alleine die Pflanzen sind als autotrophe Organismen in der Lage, ihren Energiebedarf ausschließlich aus dem Sonnenlicht zu decken. Die nachfolgenden Konsumenten, das Zooplankton und die Fische beispielsweise, sind auf die in der Nahrung gespeicherten Energie angewiesen und werden daher als heterotrophe Organismen bezeichnet.

Unter dem Begriff Eutrophierung wird strenggenommen nur die Steigerung der pflanzlichen Produktion in einem Gewässer verstanden, die durch ein erhöhtes Nährstoffangebot verursacht wird. Liegen von Natur aus geringe Nährstoffeinträge vor, so stellt sich eine geringe Primärproduktion ein. Derartige Gewässer weisen dann einen oligotrophen Zustand auf, Zwischenformen werden als mesotrophe Gewässer bezeichnet.

In der trophogenen Zone, innerhalb des oberen Pelagials und des Litorals, erfolgt durch das Pflanzenwachstum daher eine Verringerung der Pflanzennährstoffe. Stickstoff wird in Form von Nitratstickstoff NO_3–N oder als Ammoniumstickstoff NH_4–N aufgenommen. Manche Blaualgen sind zudem in der Lage, elementaren Stickstoff N_2 aufzunehmen. Phosphor wird als Ortho-Phosphat PO_4–P benötigt.

Während der Sommerstagnation kommt es im Epilimnion eutropher Seen infolge der hohen photosynthetischen Sauerstoffproduktion zu einem Sauerstoffüberangebot. Durch die stabile Schichtung des Wasserkörpers wird jedoch kein sauerstoffreiches Oberflächenwasser in die Tiefe geführt. Im Hypolimnion findet eine sauerstoffzehrende mikrobielle Zersetzung des abgestorbenen und sedimentierten organischen Materials statt. Da eutrophierte Seen ein großes Biomassewachstum aufweisen, führen die im Hypolimnion auftretenden Abbauvorgänge dazu, daß der Sauerstoff nahezu vollständig aufgebraucht wird. Infolge der Zersetzung der organischen Substanz kommt es zu einer Rücklösung des in der Algenbiomasse gebundenen Stickstoffs und Phosphors. Der Bereich in dem die Abbauprozesse überwiegen, wird daher auch als tropholytische Zone bezeichnet. Sinkt der Sauerstoffgehalt im Hypolimnion unter etwa 1 mg/l, so kommt es außerdem zu einer Freisetzung des bis dahin in dem Sedi-

ment des Gewässergrundes gebundenen Phosphates. Hierdurch erfährt die Eutrophierung zusätzlich eine Selbstverstärkung.

Erst in der darauffolgenden Herbstzirkulation wird der in den oberflächlichen Schichten gelöste Sauerstoff in den gesamten Wasserkörper eingemischt. Gleichzeitig stehen die im Hypolimnion remineralisierten Nährstoffe zu Beginn der nächsten Wachstumsperiode im gesamten Wasserkörper zur Verfügung. Oligotrophe Seen sind vor allem dadurch gekennzeichnet, daß die Produktion von Biomasse so gering ist, daß die Zersetzung der organischen Substanz keine wesentliche Abnahme des Sauerstoffgehaltes hervorruft und daher auch im Hypolimnion ganzjährig ein ausreichender Sauerstoffgehalt zur Verfügung steht.

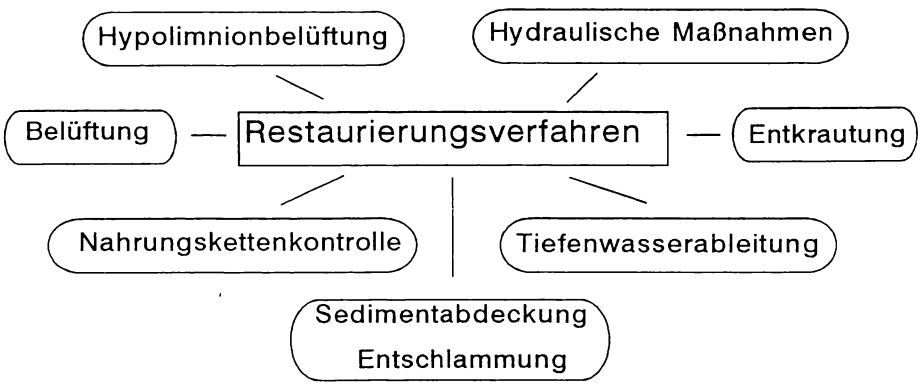
Nachfolgend sollen die wesentlichsten Auswirkung der Eutrophierung noch einmal zusammengefaßt werden:

- verstärkte Entwicklung der Algen (Algenblüten) und der höheren Wasserpflanzen (Verkrautung).
- Abnahme der Sichttiefe infolge des hohen Biomassewachstums und Abnahme der Wasserpflanzenbesiedlung am Gewässergrund.
- Auftreten einer Sauerstoffübersättigung in der trophogenen Zone.
- Sauerstoffschwund in der tropholytischen Zone, Rücklösung von Phosphat aus dem Sediment, Bildung von Schwefelwasserstoff (Faulgas).
- Veränderung der in einem Gewässer auftretenden Lebensgemeinschaft (Biozönose), Rückgang von Edelfischen, Auftreten von Fischsterben.

Die Eutrophierung der Stillgewässer ist an und für sich ein natürlicher Prozeß und äußert sich in der Verlandung von Seen. Die Eutrophierung ist jedoch durch die menschlichen Eingriffe in den Naturhaushalt extrem verstärkt worden. An dieser Stelle sind insbesondere die Einleitungen von industriellem und häuslichem Abwasser, oberflächliche Abspülungen von Bodenteilchen und daran gebundenen Phosphaten sowie der diffuse Eintrag von landwirtschaftlichen Düngemitteln zu nennen.

3 Mögliche Restaurierungsverfahren an Stillgewässern

Als Restaurierungsverfahren werden diejenigen Maßnahmen bezeichnet, die in dem Gewässer selbst vorgenommen werden. Sie sind jedoch nie unabhängig von Maßnahmen im Einzugsgebiet des Sees zu betrachten, die als Sanierungsverfahren bezeichnet werden. Maßnahmen im Einzugsgebiet dienen vornehmlich der Minderung der zukünftig eingetragenen Nähr- und Schadstoffe und sichern damit langfristig die Verbesserung der Wasserqualität, die durch eine Restaurierung hervorgerufen worden ist.



Es existieren vielfältige Möglichkeiten einzelner Restaurierungsverfahren und insbesondere daraus abgeleitete Maßnahmenkombinationen. Die meisten Ansätze sind vorwiegend darauf ausgerichtet, die Sauerstoffverhältnisse im Tiefenwasser zu verbessern. Welche Verfahren einzusetzen sind, ist vor allem von der Ausgangssituation abhängig. Hierbei spielen Morphologie, Seetiefe, Schichtungsverhältnisse und das Ausmaß der Eutrophierung eine Rolle. Ganz entscheidend ist jedoch, die Belastungsquellen zu erkennen und die Menge der eingetragenen Nährstoffe festzustellen, da Restaurierungsmaßnahmen häufig einer reinen Symptombehandlung entsprechen.

In der obigen Übersicht sind einige der wichtigsten Restaurierungsverfahren zusammengestellt, die im Anschluß erläutert werden.

3.1 Belüftung

Bei diesem Verfahren wird entweder Druckluft oder reiner Sauerstoff über Düsen in das Seewasser eingetragen. Entsprechend den vorherrschenden Sauerstoffverhältnissen, sollten die Belüftungseinrichtungen in möglichst großer Wassertiefe installiert werden. Durch die Belüftung kann kurzfristig einem Sauerstoffmangel begegnet werden. Daneben werden unerwünschte Wasserinhaltstoffe wie Schwefelwasserstoff, Eisen und Mangan oxidiert. Die Ausbildung einer sauerstoffreichen Schicht über der Gewässersohle wirkt zudem ähnlich einer Barriere, die die Rücklösung von Nährstoffen aus dem Sediment verhindern kann. Allerdings kann der Einsatz von reinem Sauerstoff für die Belüftung zu hohen Betriebskosten führen, wenn dieses Verfahren über längere Zeit durchgeführt wird.

3.2 Hypolimnionbelüftung

Dieses Verfahren setzt eine ausgeprägte Schichtung des Wasserkörpers (vgl. Abschnitt 2.3) voraus und wird dann eingesetzt, wenn der Sauerstoffgehalt im Hypolimnion unter einen festgelegten Schwellenwert, z. B. 4 mg/l absinkt. Das besondere Kennzeichen dieses Verfahrens besteht darin, daß der Sauerstoffeintrag ausschließlich im Hypolimnion erfolgt und die vorhandene Schichtung nicht zerstört wird. Technisch arbeiten die eingesetzten schwimmenden Geräte nach dem Prinzip der Mammutpumpe. Das sauerstoffarme Wasser wird dem Hypolimnion entnommen und in einem Steigrohr Luft eingeblasen. Während das Wasser-Luftgemisch aufsteigt, erfolgt eine intensive Durchmischung und es erfolgt ein Sauerstoffeintrag in das Wasser. Eine andere Möglichkeit zur Belüftung des Hypolimnions ist die Entnah-

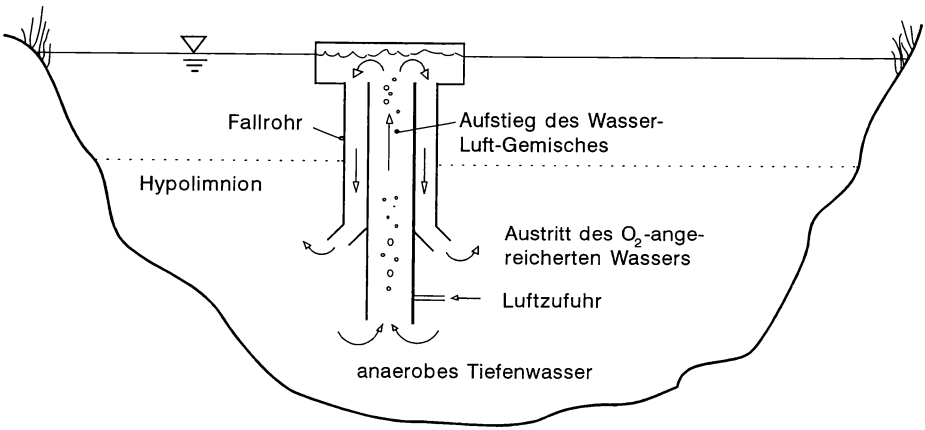


Abb. 3: Schematische Darstellung der Wirkungsweise einer Hypolimnionbelüftung

me des anaeroben Wassers durch eine Rohrleitung vom Ufer aus. Dort kann es durch einen Kaskadenüberfall belüftet und wieder in das Hypolimnion eingetragen werden.

Wichtig ist bei allen Formen der Hypolimnionbelüftung, daß sich das aufsteigende Wasser nicht erwärmt. Es ermöglicht dann nach der Belüftung eine optimale Einschichtung, da es wieder die gleiche Dichte aufweist, wie das Wasser der Schicht aus dem es entnommen wurde.

3.3 Zwangszirkulation

Unter den Begriff Zwangszirkulation fallen zwei Restaurierungsverfahren mit unterschiedlicher Zielsetzung. In Seen, Reservoiren und Speicherbecken, vor allem wenn sie der Trinkwassergewinnung dienen, kann die Zwangszirkulation darauf ausgerichtet sein, während der sommerlichen Schichtung des Gewässers, eine Destratifikation zu bewirken. Wird die Auflösung der thermischen Schichtung erreicht, so wird zum einen photosynthetisch gewonnener Sauerstoff in das Tiefenwasser eingetragen und zum anderen erfolgt eine Verminderung der Algenbiomasse sobald das Phytoplankton in lichtarme Tiefenzonen verlagert wird und abstirbt. Gleichzeitig besteht jedoch die Gefahr, daß durch das Einmischen des nährstoffreichen Tiefenwassers in die durchlichteten Oberflächenschichten die Biomasseproduktion gesteigert wird.

Eine andere Zielsetzung liegt vor, wenn eine Zwangszirkulation meromiktischer (trotz der Stürme im Herbst und im Winter nicht vollständig durchmischter) Seen durchgeführt wird. Durch die Zwangszirkulation sollen die Tiefwasserbereiche ebenfalls mit in die Zirkulation einbezogen werden.

Eine Zwangszirkulation kann beispielsweise dadurch hervorgerufen werden, daß aus einer sohlnahen, entlang der Längsachse des Sees verlegten Druckluftleitung Luftblasen aufsteigen. Hierdurch bildet sich ein Blasenschleier, der bewirkt, daß sich zwei parallel zu einander befindliche rotierende Wasserkörper ausbilden, deren Bewegung die Auflösung der vorhandenen Schichtung bewirkt.

3.4 Tiefenwasserableitung

Eine Tiefenwasserentnahme hat zum Ziel, die im Hypolimnion infolge der bakteriellen Zersetzung freigewordenen und angereicherten Nährstoffe mit der Ableitung des Wassers zu entfernen. Während der Entnahme ist dafür zu sorgen, daß der natürliche Wasserspiegel des Sees nicht so weit absinkt, daß die Lebensgemeinschaften der umliegenden Ufer- und Feuchtbereiche nachhaltig beeinträchtigt werden.

Die Entnahme des Tiefenwassers erfolgt entweder durch den Einsatz von Pumpen oder durch Ausnutzung des Heberprinzipes bei einem gegebenen natürlichen Höhenunterschied. Bei Talsperren läßt sich die Entnahme durch den Grundablaß erreichen.

In den meisten Fällen kann das abgeführte Wasser in ein nahegelegenes Fließgewässer eingeleitet, und falls es sich um einen durchflossenen See handelt, mit dem natürlichen Ablauf vermischt werden. Allerdings ist im Vorfeld die Beeinträchtigung der Wasserqualität des Vorfluters zu beurteilen und gegebenenfalls das Tiefenwasser, das neben seinem Nährstoffreichtum zusätzlich einen geringen Sauerstoffgehalt und erhöhte Konzentrationen von Schwefelwasserstoffaufweisen kann, vorher aufzubereiten. Hierfür bieten sich Belüftungskaskaden und -teiche oder die Mitbehandlung in einer in der Nähe gelegenen Kläranlage an. Ansonsten ist auch eine Verregnung auf landwirtschaftlich genutzten Flächen denkbar.

3.5 Hydraulische Maßnahmen

Unter der Bezeichnung Hydraulische Maßnahmen können folgende Verfahren zusammengefaßt werden: Verdünnung, Spülung und Wasseraustausch. Verdünnung und Spülung sind bei durchflossenen und Wasseraustausch bei nicht durchflossenen Gewässern durchführbar.

Hierbei wird die Verringerung der Nährstoffkonzentration durch eine längerfristige Zugabe von geeignetem Zuschußwasser als Verdünnung bezeichnet. Wird der Wasserstrom so stark, daß eine Algenmassenentwicklung oder eine Ansammlung von Schwimmpflanzen damit aus dem Gewässer verdrängt werden können, so spricht man von Spülung. Dabei ist allerdings notwendig, daß die abtreibende Biomasse am Seeauslauf aufgefangen und entnommen werden kann.

Für Stillgewässer, die keinen ober- oder unterirdischen Zufluß aufweisen, besteht grundsätzlich auch die Möglichkeit einen Wasseraustausch durch Abpumpen und Wiederauffüllen des Wassers hervorzurufen. Grundsätzliche Voraussetzung ist hier natürlich auch die Verfügbarkeit geeigneten Auffüllwassers.

3.6 Entkrautung

An eutrophierten Stillgewässern mit entsprechender Ausbildung der Uferzone kann neben einer Massenentwicklung der Algen ein starkes Wachstum höherer Wasserpflanzen (Makrophyten) auftreten. Sie entwickeln sich vor allem in den Flachwasserbereichen mit ausreichendem Lichtangebot und können den Bade- und Wassersportbetrieb erheblich beeinträchtigen. Um die Pflanzen zu entfernen, werden von Land oder von schwimmenden Mähgeräten aus Entkrautungen durchgeführt. Durch die Entnahme der Pflanzen werden gleichzeitig die in ihnen festgelegten Nährstoffe exportiert und kurzfristig eine Vergrößerung des Freiwassers erreicht.

Verlandungsgebiete mit starkem Pflanzenwachstum stellen jedoch ein wichtiges Fischlaichgebiet dar, sie sind als wichtiger Lebensraum für viele Tier und Pflanzenarten zu erhalten, was bei der Erwägung von Entkrautungsmaßnahmen zu berücksichtigen ist. Mindestens sind jedoch Restbestände vorzusehen, von denen eine spätere Wiederbesiedlung ausgehen kann.

3.7 Sedimentabdeckung

Wie bereits erwähnt, tritt in sauerstofffreien Sedimenten die Reduzierung des Eisen III-Phosphates auf, wodurch Phosphat-Ionen freigesetzt werden und in den darüberliegendem Wasserkörper in Lösung gehen. Diese Rücklösung und der Übergang der Nährstoffe soll durch die Sedimentabdeckung verhindert werden. Zur Abdeckung eignen sich tonige Materialien, Sand ist ungeeignet, da er im Schlamm des Gewässergrundes versinkt. Sedimentabdeckungen als Restaurierungsverfahren eignen sich nur dann, wenn die Nährstoffbelastung vorwiegend auf eine Remobilisierung zurückzuführen ist. Bei flachen Seen ist die Abdeckung unwirksam, da durch die windinduzierte Umwälzung die Abdeckung aufgewirbelt und zerstört wird.

3.8 Entschlammung

Eine Entschlammung ist in erster Linie eine Restaurierungsmaßnahme für flache Seen, deren Verlandungsstadium bereits sehr weit fortgeschritten ist. Hierdurch werden die im Sediment deponierten Nährstoffe und sauerstoffzehrenden Substanzen entfernt, gleichzeitig wird der Freiwasserkörper vergrößert, bzw. im Extremfall wieder hergestellt. Unter den vorgestellten Restaurierungsmaßnahmen gehört eine Entschlammung zu den größten Eingriffen in den Naturhaushalt und ist mit hohen Kosten verbunden. Im Vorfeld der Maßnahme sind mindestens Kenntnisse über:

- Ursache der Verschlammung
- Beschaffenheit der Schlammschicht
- schutzwürdige und erhaltenswerte Uferbereiche
- zur Verfügung stehende Entnahmetechniken
- Entsorgungsmöglichkeiten
- Erfolgsaussichten der Maßnahme

zu erlangen.

3.9 Nahrungskettenkontrolle

Im Gegensatz zu den bisher beschriebenen, überwiegend mechanischen Verfahren, wird bei der Nahrungskettenkontrolle versucht, das Massenwachstum der Algen über eine Steuerung der Räuber-Beutebeziehungen zu beeinflussen. Grundsätzlich liegt diesem Ansatz zu Grunde, daß die Algen dem Zooplankton als Nahrung dienen. Das Zooplankton stellt die Nahrungsgrundlage der planktonfressenden Fische dar. Diese werden wiederum von Konsumenten höherer Ordnung, z.B. von Raubfischen wie dem Hecht gefressen. Tritt jetzt eine Verminderung der Wasserqualität, insbesondere des Sauerstoffgehaltes ein, so verringert sich der Bestand an Raubfischen. Es kommt dann zu einer Vermehrung der planktonfressenden Fische, die ihrerseits eine starke Dezimierung des Zooplanktons hervorrufen. Da dadurch der Fraßdruck auf die Algen gemindert wird, kann eine deutliche Zunahme der Algenpopulation auftreten. In der Realität ist das Nahrungsnetz in einem Stillgewässer erheblich komplexer und kann auf vielfältige Weise auf eine Änderung der Einflußgrößen reagieren. Ein sehr großes Problem bei diesem Ansatz ist vor allem darin zu sehen, daß es bisher nicht gelingt, ein Maß für die optimale Fischbiomasse anzugeben (BENNDORF, 1993).

4 Einsatz von Simulationsmodellen bei der Planung von Restaurierungsverfahren

In allen Bereichen der Ingenieurwissenschaften, wie z. B. in der Luft- und Raumfahrttechnik, aber auch im Bereich des konstruktiven Ingenieurbaus, des Küsteningenieurwesens oder der Hydrologie werden Simulationsmodelle eingesetzt, um die Eignung einer Konstruktion oder eines Verfahrens mit Hilfe des Computers im Vorfeld exakt nachzuweisen. Dies führt zu einer Reduzierung der Versuchskosten, vor allem aber zu dem notwendigen Nachweis der Durchführbarkeit.

Im Rahmen des „Ökologischen Forschungsprogrammes Hannover" wurde vom Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und Landwirtschaftlichen Wasserbau, Arbeitsbereich Wassergüte und Umwelttechnik, der Universität Hannover ein derartiges Simulationsmodell entwickelt. Es ist geeignet, eine detaillierten Beschreibung der hydraulischen, hydrothermalen Vorgänge in einem Stillgewässer vorzunehmen und den Einfluß der biologischen Aktivität auf den Stoffhaushalt zu ermitteln. Mit Hilfe dieses Modelles lassen sich komplexe Verhältnisse sowohl in tiefen als auch flachen Stillgewässern nachbilden. Damit ist die Möglichkeit gegeben, Prognosen über die Auswirkung von Sanierungs- und Restaurierungsmaßnahmen auf den Gütezustand eines Gewässers zu machen und die gewählten Verfahren zu dimensionieren.

Grundsätzlich kommt es bei einem derartigen Modell nicht darauf an, einzelne Phänomene, wie beispielsweise die Wachstumsdynamik einer einzelnen Algenart, exakt zu beschreiben. Es ist vielmehr notwendig, die Summe aller in einem Gewässer stattfindenden Prozesse und ihre Auswirkung auf die Güteparameter richtig zu erfassen.

Die üblichen Verfahrensschritte einer Restaurierungsplanung unter Einsatz eines Simulationsmodelles lassen sich folgendermaßen beschreiben:

- Aufnahme des Untersuchungsgebietes (Auswertung von vorhandenem Kartenmaterial, Klimadaten, Wasserstands- und Abflußmessungen). Messung der als Eingabedaten benötigten physikalischen, chemischen und biologischen Parameter (Innerhalb des Sees und an allen Zu- und Abläufen).
- Interpretation der Meßergebnisse und Beschreibung des Ist-Zustandes.
- Komplexe Modellierung der:
  - hydraulischen Verhältnisse (Abflüsse und Strömungsgeschwindigkeiten, Temperaturschichtung).
  - biologisch-physikalischen Vorgänge (Stoffkreisläufe, Einfluß des Planktons, Stoffaustausch mit Sedimentoberfläche und Atmosphäre).

- Simulation der gewählten Maßnahmen mit dem Ziel, die Wirkungen hinsichtlich einer Verbesserung der Gewässerqualität vorauszusagen.
- juristisch-ökonomische Bewertung der Maßnahmen, die aufgrund der Simulationsergebnisse erfolgversprechend und wirtschaftlich sind.
- Dimensionierung und Betriebsberechnung der gewählten Maßnahme mit anschließender Kostenminimierung.

5 Vorstellung ausgewählter Untersuchungsergebnisse

5.1 Untersuchungen am Dreiecksteich

Neben der Entwicklung des bereits erwähnten Simulationsmodells wurden im Rahmen des „Ökologischen Forschungsprogrammes Hannover" die Möglichkeiten der Verbesserung der Wasserqualität des Dreieckteiches durch eine solarzellenbetriebene Hypolimnionbelüftung untersucht.

Der Dreiecksteich entstand durch Kiesbaggerungen in der Leineaue am südlichen Stadtrand von Hannover. Er gehört zu einem System mehrerer Kiesteiche, die durch Überläufe und Gräben miteinander verbunden sind. Mit einer Oberfläche von etwas mehr als 4 ha zählt er zu den kleineren Seen. Er stellt einen Bestandteil des südlichen Naherholungsgebietes der Stadt Hannover dar und ist ein wichtiges und intensiv genutztes Badegewässer. Damit besteht die Forderung nach einer möglichst guten Wasserqualität.

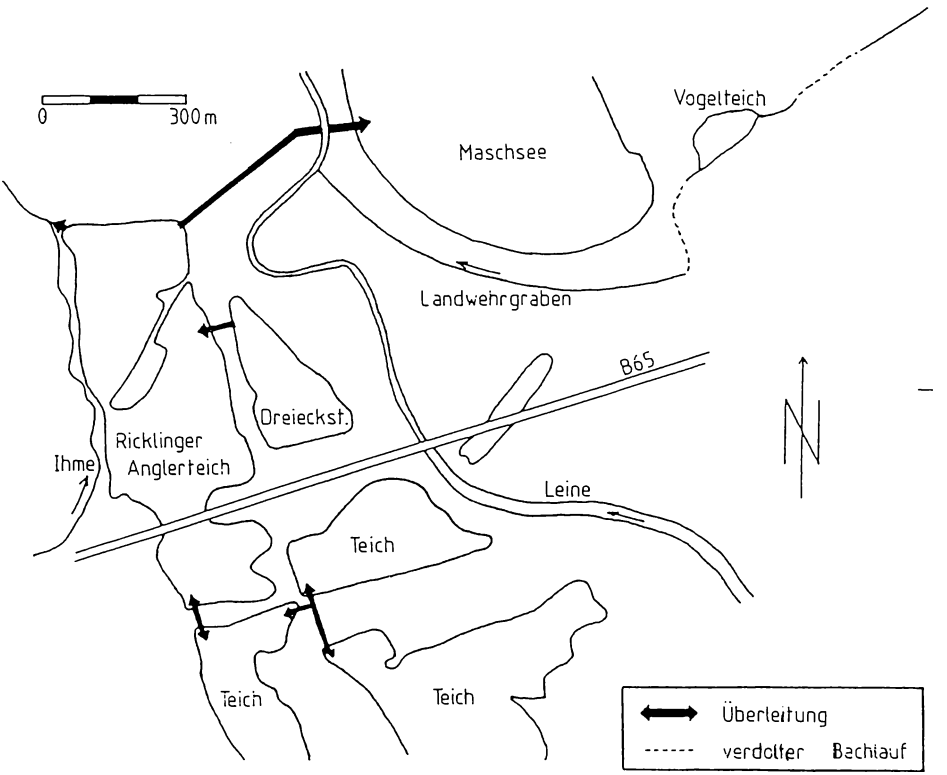


Abb. 4: Gewässersystem in der Leineaue südlich von Hannover und Lage des Dreieckteiches

Die maximale Tiefe beträgt sieben Meter. Ein oberirdischer Zufluß existiert nicht, lediglich bei größeren Leinehochwässern wird die gesamte Niederung und somit auch der Dreiecksteich überflutet. Die Verdunstungsverluste werden daher in der Regel durch den Zustrom aus dem Grundwasser und durch den Niederschlag ausgeglichen. Bei hohen Wasserständen wird Wasser durch einen Überlauf in den benachbarten tiefer gelegenen Ricklinger Anglerteich abgegeben.

Während der Messungen im Sommer 1990 wies der Dreiecksteich eine ausgeprägte thermische Schichtung und ein sauerstoffreiches Hypolimnion auf. Mit der Tiefe stiegen auch die Ammonium- und Phophatwerte an. Dieser Zustand war über mehrere Monate stabil. In dieser Zeit nahm die Sichttiefe von anfänglich etwa 4,5 m auf etwa 2 m als Ergebnis einer ausgeprägten Phytoplanktonentwicklung ab.

Es zeigte sich, daß die Planktonentwicklung im Dreiecksteich durch einen Phosphattransport aus dem Sediment in die euphotische Zone stark begünstigt wird. Der Transportmechanismus wird durch einen Wechsel von thermisch geschichteten Phasen und voll durchmischten Zuständen aufrecht erhalten. Die Analyse dieses Vorganges wurde erst infolge der Modelluntersuchung möglich, da die Messungen in verschiedenen Tiefen in wöchentlichem Rhythmus zu weit auseinanderlagen, um die Stoffströme im Wasserkörper qualitativ und quantitativ zu erfassen. Weiterhin wurde durch das Modell der Einfluß des Grundwassers auf die thermische Stabilität des Gewässers deutlich.

Durch die Entwicklung des Phytoplanktons nahm die Konzentration der Nährstoffe im Pelagial deutlich ab, so daß das Algenwachstum durch den Stickstoff als Minimumfaktor gesteuert wurde. Die stickstoffixierenden Algen erlangten in dieser Situation einen entscheidenden Konkurrenzvorteil, da sie den im Wasser gelösten molekularen Stickstoff für den Aufbau ihrer

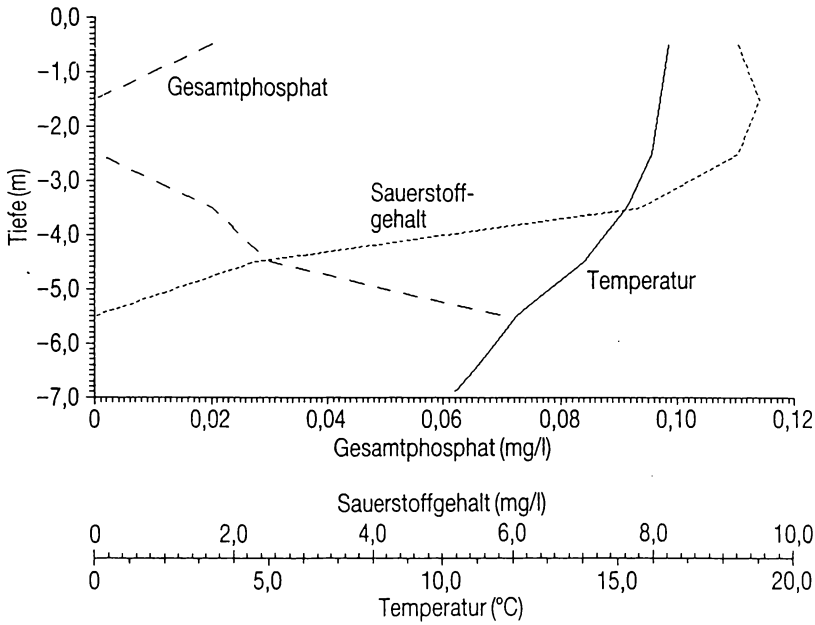


Abb. 5: Verlauf der Meßergebnisse am 26. 06. 1990

Zellsubstanz benutzen können. Hierdurch wurde ein Massenwachstum dieser Arten ermöglicht. Die Simulation einer Restaurierung mit einer solarbetriebenen Hypolimnionbelüftung ergab, daß durch einen relativ geringen Sauerstoffeintrag in die bodennahe Wasserzone der Phosphattransport aus dem Sediment während anaerober Phasen deutlich gesenkt werden konnte. Insbesondere die Konzentrationsspitzen der Nährstoffe wurden gemindert, so daß sich in der Folge eine deutlich verringerte Algenentwicklung einstellte.

Es wurde gezeigt, daß zur Belüftung des Hypolimnions des Dreiecksteiches eine Solarzellenfläche von etwa 7,5 m^2 ausreicht, um den Betrieb einer Anlage zum Eintrag von Sauerstoff in das anaerobe Hypolimnion in einem ausreichenden Maße zu gewährleisten. In dieser Bemessung sind Sicherheiten, die die Ungenauigkeiten bei der Abschätzung des Sauerstoffeintrages durch Überfälle berücksichtigen, bereits enthalten.

Bei den derzeitigen Kosten für die Energie aus solarelektrischen Anlagen ist eine Hypolimnionbelüftung mit Hilfe der Sonnenenergie in erster Linie für kleinere Gewässer sinnvoll. Das eröffnet neue Anwendungsmöglichkeiten in urbanen Räumen, da die Gewässer hier meist eine bestimmte Größe nicht überschreiten, und eine Verbesserung der Wasserqualität neben der Belüftung, häufig auch durch eine Verlegung der Zu- und Abläufe erreicht werden kann. Liegt in derartigen Fällen kein natürliches Gefälle in der gewünschten Richtung vor, so ist der Einsatz solarbetriebener Pumpen vorzusehen (SCHWERDHELM, 1992).

5.2 Mögliche Beeinflussung des Systems Leineaue

Die Oberflächengewässer Hannovers sind in ihren hydraulischen, chemischen und biologischen Eigenschaften sehr unterschiedlich. Ein gemeinsames Charakteristikum ist jedoch die räumliche Nähe vieler Gewässer zueinander. Obwohl sich Handlungsvorschläge zur Verbesserung der Gewässergüte immer an den speziellen örtlichen Gegebenheiten orientieren müssen, ist es oft nicht sinnvoll, ein Gewässer isoliert zu betrachten und aus diesem Blickwinkel heraus, Maßnahmen zur Verbesserung seiner Qualität zu erarbeiten.

Es ist meist nicht nur leichter, sondern auch wirtschaftlicher, ganze Gewässersysteme in die Überlegungen mit einzubeziehen, um so die vorhandenen Randbedingungen im Sinne einer optimalen Maßnahme zu nutzen.

Die Kiesteiche in der Leineaue südlich von Hannover sind durch ein System von Überläufen, kleinen Bächen und Flutmulden miteinander verbunden, so daß hier von einem Teichsystem gesprochen werden muß. Dieses System ist in Abbildung 4 dargestellt.

Belastungen der Kiesteiche sind Stoffströme aus dem Sediment während der Stratifikationsphase, diffuse Einträge aus kleinen Bächen und dem Grundwasser sowie die Auswaschung von Stickstoff aus der Atmosphäre bei Niederschlagsereignissen. Außerdem kann

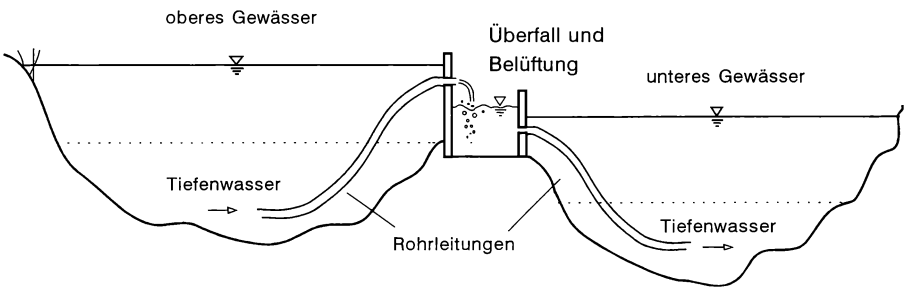


Abb. 6: Kombination aus Tiefenwasserabzug und Hypolimnionbelüftung zweier Gewässer mit unterschiedlich hohen Wasserspiegellagen

durch die Leinehochwässer ein Schadstoffeintrag in die Teiche erfolgen. Wesentlich ist in diesem Zusammenhang die Rolle eines anaeroben Tiefenwassers, das eine Nährstofffreisetzung aus dem Sediment ermöglicht. Die Nährstoffe regen dann wiederum das Wachstum des Phytoplanktons an.

Eine Verbesserung der Wasserqualität benachbarter Stillgewässer mit einem Höhenunterschied zwischen beiden Wasserspiegeln kann durch die Ausnutzung des natürlichen Gefälles erzielt werden, so wie es in Abbildung 6 dargestellt ist.

Durch ein Rohr wird dem oberen Teich anaerobes Tiefenwasser abgezogen. Dieses Wasser wird belüftet und dem Hypolimnion des unteren Teiches zugeführt. Der unter Umständen schon vorher vorhandene Austausch sauerstoffreichen Oberflächenwassers wird so durch die Überleitung von anaerobem Tiefenwasser ersetzt.

Dem oberen Teich wird mit dem anaeroben Tiefenwasser eine bestimmte Nährstofffracht entzogen, was sich hemmend auf die Primärproduktion und somit verbessernd auf den gesamten Gütezustand auswirkt.

Der untere Teich erhält durch die Einleitung zusätzliche Nährstoffe. Da das übergeleitete Wasser mit Sauerstoff angereichert wurde, wird die Festlegung dieser eutrophierten Stoffe im Sediment unterstützt, so daß sie nicht mehr im Stoffkreislauf des Wasserkörpers zur Verfügung stehen. Dadurch wird auch in dem unteren Teich die Wasserqualität verbessert (SCHWERDHELM, 1992).

Literatur

SCHWERDHELM, R. & LEHMANN, H. (1992): Modellentwicklung eines kommunalen Umweltinformationssystemes im Rahmen des Ökologischen Forschungsprogrammes Hannover, Teilprojekt: Gewässergüteverbesserung. – Berichtsband.

SCHWERDHELM, R. & LEHMANN, H. (1992): Güteverbesserung von Stadtgewässern. gwfWasser/Abwasser 133, H.1, S. 29–33.

SCHWERDHELM, R. (1992): Der Einfluß einer photovoltaisch betriebenen Hypolimnionbelüftung auf die Gewässerqualität. – Dissert. Universität Hannover.

Manuskript eingegangen am: 18. August 1994

Anschrift der Autoren:
Dipl.-Ing. J. Fröbrich und Prof. Dr. H. Lehmann, Universität Hannover
Wassergüte und Umwelttechnik
Oeltzenstraße 9
30169 Hannover
Fachgebiet Gewässergütemodellierung
Im Lah 18, 21275 Lehrte, Tel. 0 51 75 12 75

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Berichte der Naturhistorischen Gesellschaft Hannover

Jahr/Year: 1995

Band/Volume: 137

Autor(en)/Author(s): Fröbrich Jochen, Lehmann Herwig

Artikel/Article: Untersuchungsergebnisse und Möglichkeiten einer Restauration an ausgewählten Stillgewässern 203-216