

# Untersuchungen zur Massenentwicklung von Wasserpflanzen in den Ruhrstauseen und Gegenmaßnahmen

– Kurzfassung –



F & E-Vorhaben des Ruhrverbands  
im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und  
Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz  
des Landes NRW (MUNLV)



**Untersuchungen zur  
Massenentwicklung  
von Wasserpflanzen  
in den Ruhrstauseen  
und Gegenmaßnahmen**

*– Kurzfassung –*

F & E-Vorhaben des  
Ruhrverbands im Auftrag des  
Ministeriums für Umwelt und  
Naturschutz, Landwirtschaft  
und Verbraucherschutz des  
Landes NRW (MUNLV)



Prof. Dr.-Ing. Harro Bode  
Vorstandsvorsitzender des Ruhrverbands

## Sehr geehrte Damen und Herren,

im Jahr 2000 tauchte im Harkortsee erstmals eine aus Nordamerika stammende Wasserpflanze mit dem Namen *Elodea nutallii* auf. Im Folgejahr bildeten sich zusätzlich auf dem Hengsteysee und dem Kemnader See massenhafte *Elodea*-Bestände aus. 2008 hat das Naturphänomen schließlich auch den Baldeneysee erreicht.

Dass *Elodea* sich in den Stauseen des Ruhrverbands heimisch fühlt, ist aus ökologischer Sicht durchaus positiv zu bewerten. Denn nur weil das Wasser in der Ruhr in den letzten Jahren so sauber geworden ist, dass die Sonnenstrahlen bis auf den Grund dringen können, findet die Pflanze hier überhaupt ausreichende Wachstumsbedingungen. Doch da *Elodea* bis an die Wasseroberfläche wächst und dabei große Flächen bedeckt, stellt ihr massenhaftes Auftreten in unseren Stauseen für Wassersportler verständlicherweise ein großes Ärgernis dar.

Wir vom Ruhrverband wissen um die Bedeutung, die die Seen entlang der Ruhr für die Menschen in der Region haben. Die Freizeitnutzung unserer Talsperren und Stauseen unterstützen wir, soweit es in unseren Kräften steht und mit dem wasserwirtschaftlichen Zweck unserer Anlagen in Einklang zu bringen ist. Daher sind uns die Probleme, die den Wassersportlern durch das Auftreten der *Elodea* entstehen, keineswegs gleichgültig.

Aus diesem Grund hat der Ruhrverband bereits im Jahr 2003 beim Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (MUNLV) des Landes Nordrhein-Westfalen ein dreijähriges Forschungsvorhaben beantragt, um die Faktoren,

die das Massenaufreten von Wasserpflanzen begünstigen, zu untersuchen und mögliche Gegenmaßnahmen zu analysieren. Für die finanzielle Unterstützung, die diese Forschungen ermöglicht hat, danken wir dem MUNLV ausdrücklich.

Die Ergebnisse dieses Forschungsvorhabens, dessen genauer Titel „Untersuchungen zur Massenentwicklung von Wasserpflanzen in den Ruhrstauseen und Gegenmaßnahmen“ lautet, werden Ihnen in der vorliegenden Broschüre in knapper und übersichtlicher Form dargestellt. Den vollständigen Abschlussbericht des Projekts finden Sie auf der CD, die in dieser Broschüre enthalten ist.

Auch wenn es für Segler, Kanuten, Ruderer und andere Nutzer der Stauseen unbefriedigend ist, aufgrund des *Elodea*-Wachstums in der Ausübung ihres Sports behindert zu werden, kann der Ruhrverband nach derzeitigem Kenntnisstand mit vertretbarem Aufwand keine uneingeschränkte Freizeitnutzung der von *Elodea* betroffenen Seen gewährleisten.

Denn: Die Erfahrungen mit dem Mähboot „Manati“, das der Ruhrverband bereits im Jahr 2002 angeschafft hat, zeigen, dass das Abmähen von *Elodea* einem Kampf gegen Windmühlenflügel gleicht. *Elodea* wächst so schnell, dass sie vier Wochen nach dem Mähen erneut die Wasseroberfläche erreicht. Um ein Viertel der Fläche des Baldeneysees alle vier Wochen zu mähen, bräuchte man eine Flotte von sechs Mähbooten. Die Kosten pro See würden je nach Größe des Befalls rund ein bis zwei Millionen Euro pro Jahr verschlingen. Der Ruhrverband, der sich letztlich vorwiegend aus den Abwassergebühren von 2,3 Millionen Menschen im Ruhreinzugsgebiet finan-

ziert, kann dieses Geld schon aus gebührenrechtlichen Gründen nicht zur Verfügung stellen.

Es bedarf also gemeinsamer Anstrengungen, um die Interessen der verschiedenen Nutzergruppen mit ökologischen Belangen in Einklang zu bringen. Daher sind auch die Anrainerstädte und nicht zuletzt die etwa 10.000 Wassersportler an den Ruhrstauseen aufgerufen, im eigenen Interesse mögliche Finanzierungsquellen für Maßnahmen zur Bekämpfung von *Elodea* aufzuzeigen. Der Ruhrverband wird dabei unterstützend tätig sein, so weit dies mit seinem gesetzlichen Auftrag, die Wasserversorgung für fünf Millionen Menschen sicherzustellen, vereinbart werden kann.

## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
2	Lebenszyklus und Verbreitung von <i>Elodea nuttallii</i>	6
3	Bestandsentwicklung	8
4	Effekte der Massenentwicklung von <i>Elodea nuttallii</i>	9
4.1	Auswirkungen auf den Stoffhaushalt	9
4.2	Auswirkungen auf andere Makrophyten	10
4.3	Auswirkungen auf die Wirbellosenfauna	12
4.4	Auswirkungen auf Fische	12
4.5	Auswirkungen auf die Freizeitnutzung	12
4.6	Fazit	13
5	Verbreitungsregulierende Faktoren	14
5.1	Licht	14
5.2	Strömung	15
5.3	Fazit	16
6	Methoden der Bestandskontrolle	17
6.1	Pestizideinsatz	18
6.2	Ablassen der Seen und Ausfrieren	18
6.3	Vertiefung der Seen durch Sedimententnahme	19
6.4	Erhöhung der Phytoplanktondichte durch P-Zufuhr (Trübung)	20
6.5	Erhöhung der Trübung durch gründelnde Schuppenkarpfen	21
6.6	Abdecken der Pflanzenbestände mit schwarzer Folie	21
6.7	Hydraulischer Stress durch Hochwasser	22
6.8	Biomanipulation (Herbivorie)	22
6.9	Mahd	24
7	Verwertung des Pflanzenmaterials	26
8	Schlussfolgerungen	27

### **Anlage:**

**CD-ROM des Abschlussberichtes zum F&E-Vorhaben  
„Untersuchungen zur Massenentwicklung von Wasserpflanzen  
in den Ruhrstauseen und Gegenmaßnahmen“**

#### **Inhalt:**

- *Elodea* Abschlussbericht
- *Elodea* Power Point Präsentation
- Video zur *Elodea*-Problematik

## 1 Einleitung

Wasserpflanzen, sogenannten „Makrophyten“, kommen unter geeigneten Lebensbedingungen in Seen, Flüssen, Teichen und Gräben vor. Erst ihr Massenvorkommen kann Probleme verursachen und hierdurch z. B. die Freizeitnutzung am und auf dem Wasser stark einschränken oder sogar unmöglich machen. Aber auch andere Nutzungen wie Wasserkraftgewinnung und Schifffahrt können hier von betroffen sein. In Gräben führt der sogenannte „Krautstau“ zu einer Vernässung oder Überschwemmung landwirtschaftlich genutzter Flächen.

Dabei sind Massenentwicklungen von Wasserpflanzen prinzipiell ein natürliches Phänomen, das in der Natur als Folge der Pionierbesiedlung neu entstandener Biotope auftreten kann. Auch in einigen der Ruhrstauseen zeigten sich kurz nach ihrem Aufstau in der Mitte des 20ten Jahrhunderts

die ersten Makrophytenmassenentwicklungen. Diese gingen in den 40er Jahren infolge einer zunehmenden Eutrophierung durch Nährstoffeinträge zurück.

Im Jahr 2000 trat im Harkortsee die Wasserpest-Art *Elodea nuttallii* erstmals massenhaft in flächigen Beständen, die bis zur Oberfläche reichten, auf. Im darauf folgenden Jahr wurde sie ebenfalls in Massen im Hengsteysee und Kemnader See nachgewiesen. Als Ursache hierfür ist die Optimierung der Reinigungsleistungen der Kläranlagen zu sehen, die zu einem Rückgang der Nährstoffkonzentrationen und zu einem damit verbundenen Verschwinden der Algenblüten führten. Hierdurch wurden geeignete Bedingungen für das Aufkommen von Makrophyten geschaffen. Bild 1 gibt einen fotografischen Eindruck vom Ausmaß der Massenbestände im Harkortsee im Sommer 2004.



Bild 1: Makrophytenmassenentwicklung im Harkortsee 2004

Im Vergleich zu den Massenvorkommen heimischer Arten stellt das Aufkommen von *Elodea nuttallii*, eine aus Nordamerika neu eingewanderte Pflanzenart, jedoch ein anders geartetes Problem dar: Invasive Arten, d. h. Arten, die bei ihrer Einwanderung sich sehr schnell ausbreiten können und dabei hohe Dichten erreichen, sind in ihrem Ausbreitungsverhalten nur schwer einschätzbar. In der Regel fehlen auf diese Art spezialisierte Schädlinge oder Fraßfeinde, welche die Entwicklung kontrollieren können. Die Reaktion der neu eingewanderten Art auf die sie umgebenden Lebensraumbedingungen, die sich in der Regel zumindest graduell von den Bedingungen an ihrem Ursprungsort unterscheiden, sind kaum zu prognostizieren. Massenbestände in der Goitsche, einem extrem nährstoffarmen Tagebausee in Sachsen-Anhalt, aber auch in einem durch sehr kalkhaltiges Quellwasser gespeisten neugeschaffenen Altgewässer der Altmühl sind weitere Beispiele für das unerwartete massenhafte Auftreten von *Elodea* unter Bedingungen, die sich bezüglich Naturraum, Gewässerform und Wasserqualität sehr stark unterscheiden.

In den Ruhrstauseen ermöglichte es erst die deutliche Verbesserung der Wasserqualität, dass Makrophytenarten sich ansiedeln konnten. Diese ökologisch als positiv zu bewertende Entwicklung führt jedoch auch zu Konflikten mit den Nutzern der Seen. Während Schwäne, Blesrallen und Enten noch von dem erhöhten Nahrungsangebot an Wasserpflanzen profitieren und in zunehmenden Dichten die Flusseen besiedeln, wird die Freizeitnutzung der Seen für Ruderer, Kanuten, Segler und Surfer in den Sommermonaten, bis hin zur Absage von Regatten, durch die dichten, bis zur

Wasseroberfläche reichenden Bestände deutlich eingeschränkt. Waren bis 2007 „nur“ die oberen drei Ruhrstauseen von den *Elodea*-Massenentwicklungen betroffen, bildete diese Art 2008 erstmals auch im Baldeneysee in mehreren Abschnitten ausgedehnte Bestände, die den Wassersport dort einschränkten. Und auch im Kettwiger Stausee zeigten sich 2008 erstmals Pflanzenpolster dieser Art und belegen die kontinuierliche Eroberung neuer Lebensräume durch *Elodea nuttallii* Ruhrabwärts.

Neben der Freizeitnutzung wird aber auch die Wasserkraftgewinnung durch abtreibendes Pflanzenmaterial in ihrer Effektivität beeinträchtigt, da dieses sich vor den Rechen ansammelt und den Wasserdurchsatz durch die Turbinen reduziert, sowie den Wartungsaufwand deutlich erhöht.

Das Ausmaß der Probleme vorausahnend, die die Massenentwicklung der Wasserpest für die Nutzung bedeuten kann, beantragte der Ruhrverband daher bereits im Jahr 2003 beim Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW (MUNLV) ein dreijähriges Forschungsvorhaben zur Untersuchung der Faktoren, die ein solches massenhaftes Auftreten von Makrophyten begünstigen, und zur Analyse möglicher Maßnahmen, die wirksam hiergegen getroffen werden können.

## 2 Lebenszyklus und Verbreitung von *Elodea nuttallii*

Die Schmalblättrige Wasserpest *Elodea nuttallii* ist eine aus Nordamerika stammende Wasserpflanzenart, die 1939 erstmals auf dem europäischen Festland außerhalb von botanischen Gärten nachgewiesen wurde. Im Einzugsgebiet der Ruhr wird heute fast jedes geeignete Gewässer von *Elodea nuttallii* besiedelt: Die Art findet sich in Vorsperren der Talsperren, wie z. B. der Lister-Talsperre, aber auch in großen Talsperren mit deutlichen Schwankungen der Wasserspielellagen, wie z. B. in der Hennetalsperre. In Fließgewässern besiedelt sie langsam durchströmte Bereiche wie z. B. die Bereiche zwischen Buhnen oder aber rückgestaute Bereiche wie die Ruhrstauseen

oder die staugeregelten Abschnitte der Lenne. Zudem ist sie in kleinen Tümpeln, Teichen und Weihern im Ruhr-Einzugsgebiet weit verbreitet.

Die Pflanze ist zweihäusig, d. h. es gibt männliche und weibliche Pflanzen. In Deutschland kommen jedoch – mit Ausnahme eines kleinen isolierten Vorkommens in Ostdeutschland – nur rein weibliche Bestände vor. Daher kann keine geschlechtliche Vermehrung mit Samenbildung erfolgen, sondern *Elodea nuttallii* vermehrt sich hier nur durch Pflanzenfragmente, die Wurzeln und neue Triebe bilden. Die Pflanze ist winterhart und durch ihren speziellen Lebenszyklus (Bild 2) daran angepasst, in einmal besiedelten Gewässern zu überdauern und sich möglichst auch weiter zu verbreiten; Nach herbstlichen Hochwässern und Stürmen ver-

bleiben meist nur kurze braune Pflanzenreste, die auf dem Gewässergrund liegen oder aus ihm herausragen. Bereits nach der Frostperiode, ab 4°C Wassertemperatur können diese Reste grüne Seitentriebe ausbilden. Diese wachsen sehr langsam, können aber einen niederliegenden grünen Teppich bilden. Dabei wachsen lose auf der Oberfläche liegende Triebe schneller als solche, die im Sediment verwurzelt sind. Dies begünstigt ihre Verbreitung auch in durch Mahd makrophytenfreie Bereiche.

Übersteigt die Wassertemperatur 10°C, bilden die niederliegenden Triebe Seitentriebe, die unverzweigt schnell bis zur Oberfläche wachsen. Haben sie diese erreicht, beginnt die Pflanze sich zu verzweigen und im Bestand dichter zu werden. Ein weiteres Längenwachstum des Hauptsprosses erfolgt, gehemmt durch die UV-Strahlung des Sonnenlichtes, nicht. In dem Stadium der Verzweigung bildet die Pflanze zudem Wurzeln entlang der Sprossachse.

Damit sind bei dem herbstlichen Zerfall in Bruchstücke alle Seitentriebe in der Lage, als neue, eigenständige Pflanze wieder Fuß zu fassen. Da das Wachstum von *Elodea* durch Streckung der sogenannten Internodien, d. h. der Stängelabschnitte zwischen den Blattwirteln, erfolgt und nicht nur auf die Pflanzenspitzen beschränkt ist, wird die Pflanze durch die Mahd zwar in ihrer Länge reduziert, jedoch nicht in ihrem Wachstum behindert. Vor allem die Seitentriebe zeigen nach der Mahd ein verstärktes Längenwachstum, um wieder die Oberfläche zu erreichen.

Im Herbst nimmt die Brüchigkeit der Pflanzen zu und bereits mäßige Abflussschwankungen sind ausreichend, um Teile oder ganze Pflanzen abzubrechen und mit der Strömung abwärts zu transportieren. Diese Ausbreitungsstrategie der Pflanze führt zu Ansammlungen ganzer Pflanzenteppiche vor den Rechen der Kraftwerke und vor Brückenpfeilern (Bild 3) und verursacht damit Probleme bei ihrer Beseitigung.

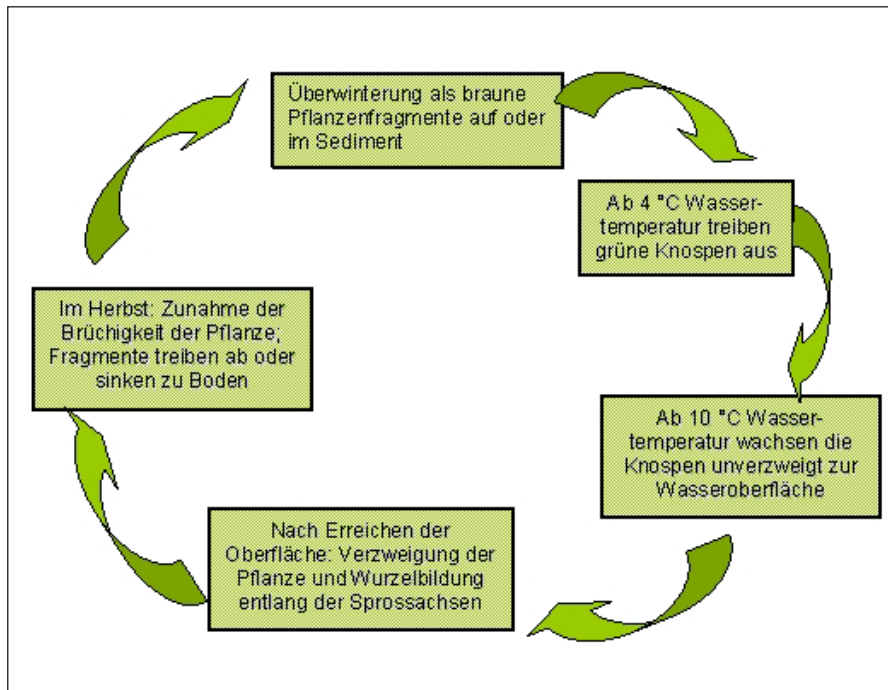


Bild 2: Schematische Darstellung des Lebenszyklus von *Elodea nuttallii*



Bild 3: Herbstliches Abtreiben von *Elodea nuttallii* und Rückstau der Pflanzenmatten vor Brückenpfeilern und der Rechenanlage eines Kraftwerks

### 3 Bestandsentwicklung

In Bild 4 ist ein typischer Jahresverlauf der Makrophyten-Bestandsentwicklung am Beispiel eines Querschnitts durch den Hengsteysee im Jahr 2005 dargestellt (Kartierungsabschnitt [Transekt] vom rechten Seeufer bis zur Seemitte). Deutlich erkennbar ist das ehemalige Ruhrbett in der Nähe des rechten Ufers mit seinen größeren Tiefen als die anderen Bereiche des Stausees.

Noch im April finden sich im Querschnittsprofil nur wenige kurze Fragmente und Reste von *Elodea nuttallii*. Diese sind im gesamten Querschnitt präsent. Zu dieser frühen Zeit im Jahr dominieren jedoch wintergrüne, niederwüchsige Arten wie z.B. die Armleuchteralge *Nitella mucronata*. Mit zunehmender Bestandsentwicklung werden diese Pflanzen von *Elodea nuttallii* immer weiter zurückgedrängt und spielen ab Juli, wenn

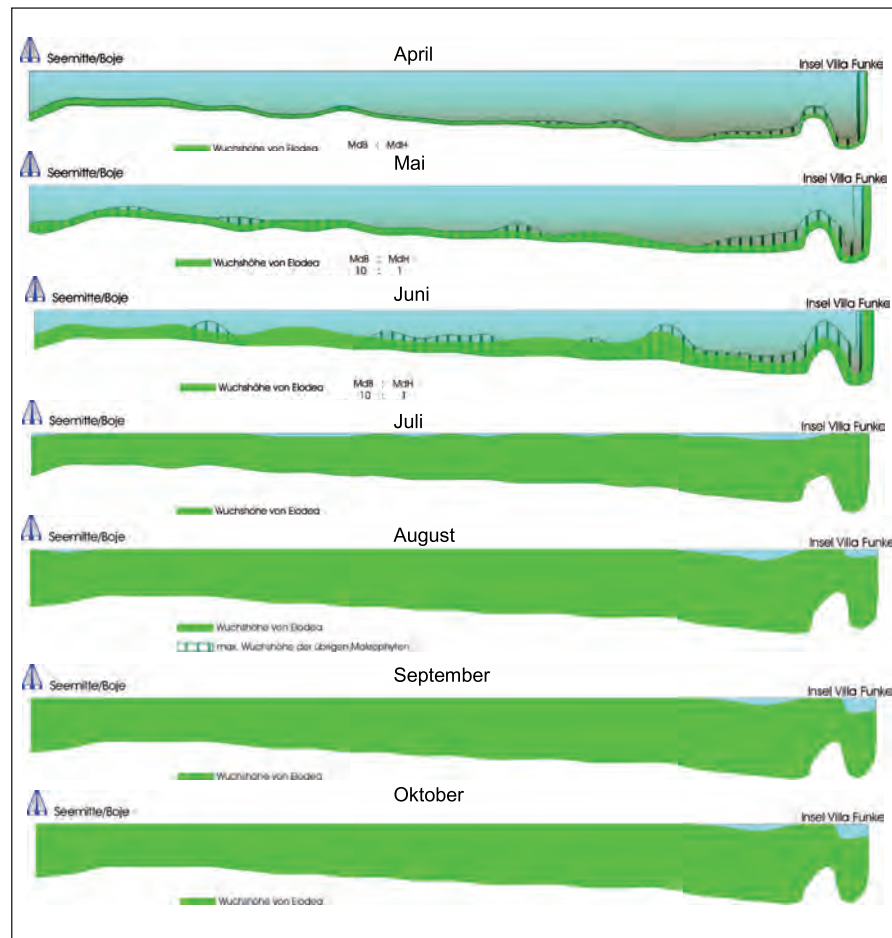


Bild 4: Ergebnisse der Transektkartierung im Hengsteysee im Jahr 2005  
grün = Wuchshöhe von *Elodea nuttallii*, schraffiert = Wuchshöhe anderer Makrophytenarten

*Elodea* – außer im ehemaligen Ruhrbett – die Wasseroberfläche erreicht hat, mengenmäßig keine Rolle mehr. Diese Massenentwicklung hat dann Bestand, bis – zumeist erst ab Dezember – erhöhte Abflüsse der Ruhr die Bestände zusammenbrechen lassen und sich eine Situation wie im zeitigen Frühjahr einstellt.

Bei Betrachtung der gesamten Seeflächen zeigt sich, dass im Harkort-, Hengstey- und auch Kemnader See die Makrophytenbestände in ihrer maximalen Ausdehnung über 50 % der Fläche einnehmen können. 2008 bedeckten die *Elodea*-Bestände erstmals im Baldeneysee ca. 15 % der Seefläche.

### 4. Effekte der Massenentwicklung von *Elodea nuttallii*

#### 4.1 Auswirkungen auf den Stoffhaushalt

Die Makrophytenmassenentwicklung könnte grundsätzlich den Stoffhaushalt der Ruhr positiv aber auch negativ beeinflussen. Regelmäßige Untersuchungen der Wasserqualität haben jedoch gezeigt, dass dies bisher nicht der Fall ist.

Bild 5 a und b zeigt die Entwicklung der Jahresfrachten von Nitrat-N und Phosphat-P in der Ruhr (Essen-Rellinghausen), unterschieden nach Sommer- und Winterhalbjahren. Die Abbildungen 5 a und b zeigen jedoch keine solche Änderung, was bedeutet, dass die Makrophytenmassenentwicklungen keinen erkennbaren Einfluss auf die Nährstofffrachten der Ruhr haben.

Würde *Elodea nuttallii* durch ihren Stoffwechsel große Mengen an Nährstoffen fixieren und hierdurch den Nährstoffhaushalt der Ruhr signifikant positiv beeinflussen, müssten ab dem Jahr 2000 die Frachten des Stickstoffs und Phosphors im Sommerhalbjahr, zum Zeitpunkt des Pflanzenwachstums, deutlich unter denen der Vor-

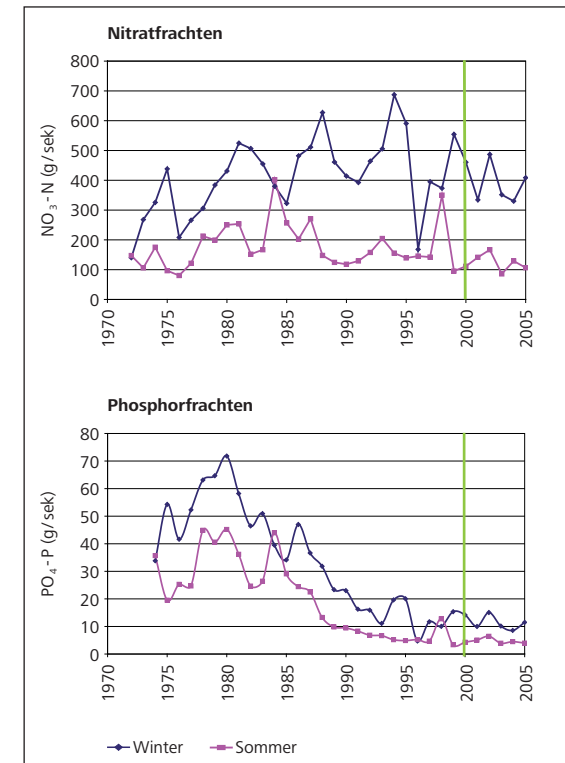


Bild 5: Zeitreihen der Jahresfrachten von Nitrat-N und Phosphat-P in der Ruhr (Essen-Rellinghausen) in den Sommer- und Winterhalbjahren. Die senkrechte grüne Linie markiert den Zeitpunkt, ab dem im Sommerhalbjahr Makrophytenmassenentwicklungen in den Ruhrstauseen auftreten können

jahre liegen. In den Winterhalbjahren ohne Makrophytenmassenentwicklungen dürfte hingegen eine solche Änderung nicht gegeben sein. Die Abbildungen 5 a und b zeigen jedoch keine solche Änderung, was bedeutet, dass die Makrophytenmassenentwicklungen keinen erkennbaren Einfluss auf die Nährstofffrachten der Ruhr haben.

Als weiterer Aspekt wurde geprüft, ob durch den herbstlichen Rückgang der Pflanzenbestände und deren teilweise Zersetzung der Sauerstoffhaushalt



der Ruhr belastet wird. Kontinuierliche Messungen des Sauerstoffgehaltes der Ruhr belegen, dass dies, anders als in den Jahren zuvor, als das Phytoplankton noch dominierte, nicht der Fall ist. Daher konnte auch seit dem Auftreten der Makrophytenmassenbestände auf eine zusätzliche Belüftung der unteren Ruhrstauseen verzichtet werden. Experimentelle Untersuchungen im Labor zum Sauerstoffverbrauch von herbstlich braun gefärbter *Elodea* bestätigen das nur sehr geringe Sauerstoff-Zehrungspotenzial dieses Pflanzenmaterials.

Für den Stoffhaushalt der Ruhr bedeutet das, dass die Massenentwicklung von *Elodea* weder durch Nährstofffixierung einen positiven Effekt, noch durch Sauerstoffzehrung einen negativen Einfluss auf die Wasserqualität der Ruhr hat. Die Sauerstoffproduktion durch die Makrophyten ist selbst im Sommer eher moderat, so dass die tagesperiodischen Schwankungen

im Sauerstoffhaushalt der Ruhr gedämpft sind als zu den Zeiten, als die Seen noch durch das Phytoplankton geprägt wurden.

#### 4.2 Auswirkungen auf andere Makrophyten

In den Ruhrstauseen können aktuell 22 verschiedene Wasserpflanzenarten nachgewiesen werden (Tab. 1), unter denen sich auch mehrere Vertreter finden, die auf der Roten Liste der in NRW gefährdeten Pflanzenarten geführt werden.

Auch wenn die Wasserpest *Elodea nuttallii* die Wasserpflanzenbestände der Ruhrstauseen dominiert, bildet sie keinen reinen Ein-Arten-Bestand bzw. Monokultur aus, sondern wächst vergesellschaftet mit anderen Arten.

Bild 6 zeigt exemplarisch für den Kemnader See das Vorkommen der verschiedenen Makrophytenarten in ihren relativen Anteilen.

Tabelle 1: Liste der in Harkortsee, Hengsteysee und Kemnader See vorkommenden Wasserpflanzenarten (⊗ = als gefährdet in der Roten Liste NRW [Stand Sept. 1999] geführt)

Makrophyten	Rote Liste NRW
<i>Nitella mucronata</i> (stachelspitzige Glanzleuchteralge)	⊗
<i>Fontinalis antipyretica</i> (Quellmoos)	
<i>Ceratophyllum submersum</i> (Glattes Hornkraut)	⊗
<i>Ceratophyllum demersum</i> (Rauhes Hornkraut)	
<i>Myriophyllum spicatum</i> (Ähriges Tausendblatt)	⊗
<i>Myriophyllum alterniflorum</i> (Wechselblütiges Tausendblatt)	⊗
<i>Potamogeton pectinatus</i> (Gewöhnliches Kamm-Laichkraut)	
<i>Potamogeton berchtoldii</i> (Kleines Laichkraut)	
<i>Potamogeton alpinus</i> (Alpen-Laichkraut)	⊗
<i>Potamogeton crispus</i> (Krauses Laichkraut)	⊗
<i>Ranunculus fluitans</i> (Flutender Hahnenfuß)	⊗
<i>Callitriche cf. obtusangula</i> (Nußfrüchtiger Wasserstern)	
<i>Callitriche hamulata</i> (Haken-Wasserstern)	⊗
<i>Elodea canadensis</i> (Kanadische Wasserpest)	
<i>Elodea nuttallii</i> (Nuttall's Wasserpest)	
<i>Sparganium emersum</i> (Einfacher Igelkolben)	
<i>Sagittaria sagittifolia</i> (Pfeilkraut)	
<i>Lemna gibba</i> (Buckelige Wasserlinse)	
<i>Lemna turionifera</i> (Rote Wasserlinse)	
<i>Spirodela polyrhiza</i> (Vielwurzelige Teichlinse)	⊗
<i>Nuphar lutea</i> (Teichrose)	
<i>Zannichellia palustris</i> (Sumpf-Teichfaden)	⊗

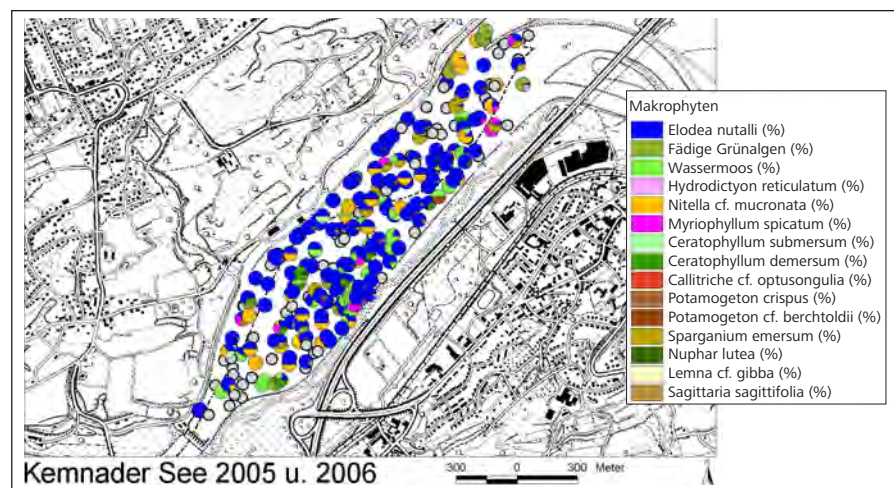


Bild 6: Makrophytenvorkommen 2005-2006 im Kemnader See: Ergebnisse der Bestandserfassungen mit Angabe der relativen Anteile der nachgewiesenen Taxa

Hier wird deutlich, dass *Elodea nuttallii* zwar den Kernbereich des Sees dominiert, begleitet von anderen Wasserpflanzenarten, dass jedoch im Zulaufbereich und in Wehrröhre andere Arten wie Wassermoos, fädige Grünalgen und die Glanzleuchteralge *Nitella mucronata* in den Pflanzengemeinschaften überwiegen.

Von besonderer Bedeutung ist hierbei das Vorkommen der Glanzleuchteralge. Diese Pflanze hat ähnliche Standortansprüche wie *Elodea nuttallii*, wird jedoch nur ca. 30 cm hoch. Da das Vorkommen von Makrophyten ökologisch positiv zu sehen ist, könnte das Verdrängen von *Elodea* und die Dominanz in der neuen Besiedlung

durch *Nitella* ein anzustrebender Zielzustand sein, da hierdurch weder der Wassersport noch die Energiegewinnung durch Wasserkraft negativ beeinflusst würden.

#### 4.3 Auswirkungen auf die Wirbellosenfauna

Für das Zooplankton, z. B. Wasserflöhe und Ruderfußkrebse, stellen die dichten Pflanzenbestände ein Versteck vor ihren Fraßfeinden dar. Ihre Dichten sind daher dort höher als in den nicht-verkrauteten Bereichen. Da das Zooplankton sich vor allem von Phytoplankton, d. h. Schwebalgen, ernährt, ist in den Makrophytenbeständen daher das Wasser besonders klar. Dies rührt daher, dass die Zooplanktonorganismen dort besonders effektiv die das Wasser trübenden Schwebalgen fressen können. Die auch vom Boot aus auffällig zu erkennende fehlende Trübung des Wassers in den Pflanzenbeständen und die große Sichttiefe begünstigen, dass Licht bis auf den Seegrund fällt und damit das Pflanzenwachstum fördert.

Das Makrozoobenthos, d. h. die Wirbellosen am Gewässergrund, nutzen die Wasserpflanzenbestände ebenfalls als Versteck vor Fraßfeinden, einige Arten verwenden jedoch *Elodea nuttallii* selbst als Nahrung. Auf Grund der für das Makrozoobenthos in den Pflanzenbeständen günstigeren Lebensbedingungen erreichen z. B. die auch *Elodea*-fressenden Flohkrebse (Amphipoda) dort höhere Individuendichten als in den unbewachsenen Bereichen der Stauseen und leisten mit ihrem Fraßdruck einen wenn auch geringen Beitrag zur Reduktion der Makrophytenbestände.

#### 4.4 Auswirkungen auf die Fische

Die dichten Wasserpflanzenbestände im Sommer wirken sich für die Fischpopulationen positiv aus. Fraßfeinde wie der Kormoran können in den Massenbeständen nicht nach Fischen jagen. Jungfische sind im Schutz der Pflanzen sicher vor größeren Räubern und finden dort zudem in höheren Dichten geeignete Nahrung, nämlich Zooplanktonorganismen (siehe 4.3). Auch viele erwachsene Fische profitieren von dem reichen Nahrungsangebot an Zooplankton und Makrozoobenthos in den Makrophytenbeständen. Nur wenigen Fischarten (Graskarpfen, Rotfedern, vgl. Kap. 5.3) dient *Elodea nuttallii* selbst direkt als Nahrung.

Die in den Ruhrstauseen vorkommenden Fische sind zudem für ihre Vermehrung zum überwiegenden Anteil auf Makrophytenbestände angewiesen. Erst das Auftreten der Makrophytenmassenbestände ermöglicht daher die natürliche Fortpflanzung dieser Arten in größerem Umfang.

Nachteile ergeben sich jedoch z. T. lokal für die Nutzung der Ruhrstauseen als Angelgewässer: ausgeworfene Angelschnüre verwickeln sich in den dichten Makrophytenbeständen, Fische, die angebissen haben, sind nur schwer durch das Pflanzendickicht der Makrophyten hindurch an Land zu ziehen.

#### 4.5 Auswirkung auf die Freizeitnutzung

Nach dem Rückgang der Bedeutung der Flusstauseen zur Reinigung des Ruhrwassers wuchs ihre Bedeutung für die Naherholung des angrenzenden dicht besiedelten Ruhrgebietes stetig an (Bild 7). Speziell die Anlage des Kemnader Sees spiegelt diese Bedeutung für die Region wider. Auf den Seen sind ca. 50 verschiedene



Bild 7: Essener Segelwochen auf dem Baldeneysee

Yacht-, Segel-, Ruder-, Kanu- und sonstige Wassersportvereine aktiv, Ruder-, Paddel-, Tret- und Elektroboote können ausgeliehen werden.

Die Fahrgastschiffe der „Weißen Flotte“ sind ein wichtiger Beitrag zur Personenschiffahrt auf der Ruhr. Der Baldeneysee ist Landes-Leistungstützpunkt der Kanuten und Ruderer, hier werden internationale Regatten und Turniere ausgerichtet.

Makrophytenmassenentwicklungen, wie sie seit 2000 im Harkortsee, Hengsteysee und Kemnader See und seit 2008 auch im Baldeneysee auftreten, gefährden diese Nutzungen. Bereits ab Juni können die wachsenden Wasserpflanzenbestände Segelboote mit größerem Tiefgang in ihrem Fahrverhalten beeinflussen, ab Juli erreichen die Wasserpflanzenbestände in der Regel die Wasseroberfläche.

Dann wird das Segeln und Rudern in den stark verkrauteten Bereichen unmöglich. Einzelne Regatten mussten bereits abgesagt werden, da die Regatten-Strecken nicht frei passierbar waren. Finanzielle Einbußen entstehen bei Vereinen und Betreibern, da Schiffseigentümer ihre Boote zu anderen Gewässern ohne Makrophytenproblematik umsetzen. Der Umsatz für Leihboot-Betreiber geht ebenfalls zurück, da die Seen entweder nur teilweise befahren werden können, bzw. Touristen die Pflanzenteppiche als unattraktiv empfinden und auf Bootsfahrten verzichten. Gleiches kann sich auch auf die Nutzung der Fahrgastschiffe auswirken.

#### 4.6 Fazit

Die Makrophytenmassenentwicklungen wurden erst durch die Verbesserung der Wasserqualität der Ruhr

durch den Aus- und Neubau vieler Kläranlagen möglich. Die Wasserpflanzen haben dabei jedoch selber weder einen positiven noch negativen Einfluss auf die Wasserqualität der Ruhr und deren Bedeutung als Trinkwasserlieferant. Die Makrophytenmassenbestände werden von der Wasserpest-Art *Elodea nuttallii* dominiert, jedoch verdrängt diese Art andere Wasserpflanzen nicht vollständig, sondern ermöglicht eine artenreiche Koexistenz der Wasserpflanzenarten in den Ruhrstauseen. Aus gewässerökologischer Sicht wirken sich die Makrophytenbestände positiv auf die Zooplankton-, Makrozoobenthos- und Fischgemeinschaften aus.

Für die Freizeitnutzung der Seen sind die ausgedehnten Makrophytenbestände jedoch negativ zu bewerten. Nicht nur, dass Boote ihre Anlegeplätze nicht verlassen können, da die Pflanzenbestände kaum zu passieren sind, auch die grün-verkrautete Oberfläche, die das Wasser kaum erkennen lässt, wirkt unansehnlich und stößt z.T. sogar Erholungssuchende ab, die Seeufer in der Freizeit zu nutzen.

## 5 Verbreitungslimitierende Faktoren

*Elodea nuttallii* ist in vielen fließenden und stehenden Gewässern im Ruhr-Einzugsgebiet verbreitet, flächenhafte Massenentwicklungen dieser Wasserpest-Art sind jedoch aktuell auf die Ruhrstauseen beschränkt. An Talsperren wie z. B. der Listertalsperre kommt sie nur in den Uferbereichen in höheren Dichten vor. Im frei fließenden Bereich der Ruhr ist sie unregelmäßig in den Zwischenräumen der Bühnen zu finden. Bestimmte Umweltfaktoren verhindern somit, dass *Elodea nuttallii* im Ruhr-Einzugsgebiet flächendeckend

alle Gewässer in hohen Dichten besiedelt. Die wichtigsten verbreitungslimitierenden Faktoren sind hierfür das Licht und die Strömung.

### 5.1 Licht

*Elodea nuttallii* benötigt weniger Licht für ihr Wachstum als die meisten anderen Wasserpflanzen (niedriger Licht-Kompensationspunkt). Dies gibt ihr einen Konkurrenzvorteil gegenüber den anderen Makrophyten und ermöglicht es ihr auch in Bereichen zu wachsen, in denen für andere Wasserpflanzenarten noch nicht genügend Licht vorhanden ist. Aber auch für *Elodea nuttallii* ist zumindest eine gewisse Lichtmenge notwendig, damit sie wachsen kann. In den Jahren noch hoher Phytoplanktondichten trübten diese das Wasser, so dass kaum Licht bis zum Gewässergrund dringen konnte. Aus anderen Gewässern eingetragene *Elodea*-Pflanzen konnten aus Mangel an Licht nicht überdauern. Erst mit Rückgang der Algenblüten verbesserte sich für die Makrophyten das Lichtregime und auch kleine am Gewässergrund liegende Fragmente von *Elodea* waren in der Lage wieder auszutreiben und zu wachsen. Dies war die Situation zum Jahrtausendwechsel in den oberen drei Ruhrstauseen. Auf Grund der größeren Tiefe und der längeren Aufenthaltsdauer des Wassers im Baldeneysee verblieb dieser länger im Phytoplankton-dominierten Zustand, in dem nur Teichrosen mit ihren Schwimmblättern als Wasserpflanzen vorkamen. Mit dem weiteren Rückgang der Nährstoffe und den immer geringer werdenden Phytoplanktondichten bildete *Elodea nuttallii* 2008 aber auch in diesem Stausee erstmals ausgedehnte dichte Bestände.

Neben dem Phytoplankton können aber auch erhöhte Abflüsse mit resus-

pendierten Sedimenten das Wasser trüben und damit ein Wachstum der Pflanzen verzögern oder verhindern. Wirksam wird eine Trübung jedoch nur, so lange die Pflanzen noch klein sind und nicht die Wasseroberfläche erreicht haben. Oberflächennahe Pflanzen bzw. Pflanzen, die die Wasseroberfläche schon erreicht haben, erhalten ausreichend Licht für ihre Photosynthese und Wachstum und sind durch eine Trübung des Wassers in ihrer Vitalität nicht nachhaltig zu schädigen.

### 5.2 Strömung

*Elodea nuttallii* kommt in ihrem Ursprungsland in erster Linie in Stillgewässern vor, in Fließgewässern mit höherer Strömung kann sie nicht überdauern. Für die Situation an der Ruhr wurde ermittelt, dass in Bereichen, in denen auch bei sommerlichen Niedrigwasserabfluss eine Fließgeschwindigkeit größer 0,1 m/s herrscht, entweder *Elodea nuttallii* gar nicht vorkommt

oder zumindest keine dichten Bestände bildet. Bild 6 zeigt deutlich, dass im oberen Bereich des Kemnader Sees, wo die Ruhr in den Stausee mündet, in den noch stärker durchströmten Bereichen *Elodea* fehlt. Die gleiche Pflanzenzonierung zeigt sich auch in den anderen Stauseen.

Aber auch die Abflussdynamik im Jahresverlauf kann für die Bestandsentwicklung von *Elodea* von Bedeutung sein (siehe Bild 8): Im Jahr 2006 war das Frühjahr durch Niederschläge und hohe Abflusssituationen in der Ruhr geprägt. Die *Elodea*-Pflanzen waren zu diesem Zeitpunkt noch kurz, unverzweigt und standen vereinzelt. Die erhöhte Strömung des Hochwassers konnte an den einzelnen Pflanzen angreifen und diese ausreißen oder abbrechen. Zudem führte die hohe Strömung zu einer Bewegung und Umlagerung der Sedimente des Seegrundes. Hierdurch wurden die noch verbliebenen und z.T. geschädigten Pflanzen dann auch noch teilweise

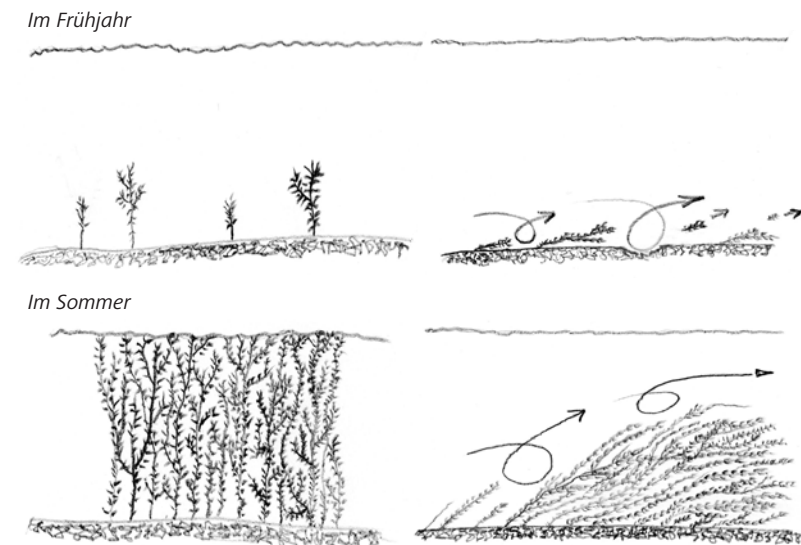


Bild 8: Auswirkungen von Hochwasser auf Makrophytenbestände im Frühjahr bzw. Sommer links = normaler Abfluss, rechts = Hochwasser

überschüttet. Diese Schädigung der *Elodea*-Bestände zum Beginn der Wachstumsphase im Frühjahr warf die zeitliche Entwicklung deutlich zurück. Die erhöhten Abflüsse führten zudem eine hohe Trübstofffracht mit sich, so dass für die verbliebenen Pflanzen bzw. Pflanzenreste das Licht für ein Wachstum nicht ausreichte. Nach Rückgang der Hochwasserwelle konnten dann die planktischen Algen die Nährstoffe der Ruhr nutzen und die entstandene Algenentwicklung verhinderte durch ihre Trübung, dass ein *Elodea*-Wachstum, wenn auch verspätet, hätte einsetzen können. Das Zusammenspiel der klimatischen Bedingungen 2006 führte daher dazu, dass in diesem Jahr in den Ruhrstauseen die Massenentwicklungen von *Elodea nuttallii* ausblieben.

Trifft dagegen, wie im Jahr 2007, im Sommer ein Hochwasser auf dichte Makrophytenbestände, so werden die im Fall der Ruhrstauseen bis zu 2 m langen Triebe lediglich niedergedrückt. Auf Grund der Dichte der Bestände und der Länge der einzelnen Triebe wird durch die niedergedrückten Pflanzen das Sediment bei einem sommerlichen Hochwasser nahezu vollständig bedeckt. Die Strömung hat in den Beständen keine Möglichkeit an den Sedimenten anzugreifen, nur in den in Fließrichtung oberen Bereichen der Makrophytenbestände kommt es zu stärkeren Einbußen durch Abriss oder Ausspülen. Die von der Strömung an den Seegrund gedrückte *Elodea nuttallii* legt sich in ihren dichten Beständen dachziegelartig schützend auf die Sedimente und die benachbarten Pflanzen und bietet selbst nur einen geringen Fließwiderstand, da bei ihr die Blätter bei erhöhten Fließgeschwindigkeiten an den Stängel gelegt werden, um die Pflanze besser

vor Abriss zu schützen. Daher werden die Makrophytenmassenbestände von einer sommerlichen Hochwasserwelle kaum beeinträchtigt.

### 5.3 Fazit

Mäßig nährstoffreiche Flachseen wie die Ruhrstauseen können in zwei ökologischen Zuständen vorkommen: dem Phytoplankton-dominierten und dem Makrophyten-dominierten Zustand. Zwischen diesen beiden Zuständen können solche Seen in Abhängigkeit von der Wetterlage hin- und herwechseln. Bei den Ruhrstauseen als durchflossene Seen spielt zudem die Abflusssituation der Ruhr eine wichtige Rolle bei der Entscheidung, welche der beiden Zustände sich für ein Jahr einstellt.

Dieser Wechsel in den hydrologischen und hydraulischen Bedingungen verhindert, dass sich eine stabile Besiedlung etabliert, und unter diesen fluktuierenden Bedingungen haben opportunistische Arten, wie *Elodea nuttallii*, mit breiten Toleranzspektren gegenüber abiotischen Bedingungen und zudem schnellem Ausbreitungspotenzial, einen besonderen Vorteil. Bei stabilen Umfeldbedingungen würden sich durch Konkurrenz langfristig andere Arten, wie z. B. die Glanzleuchteralge *Nitella mucronata* durchsetzen.

Da die Schwankungen in den Lebensraumbedingungen jedoch für durchflossene Flachseen wie die Ruhrstauseen typisch sind, ist ein solcher Wechsel zu stabilen Makrophytengemeinschaften ohne menschliche Eingriffe und steuernde Maßnahmen kaum möglich.

## 6 Methoden der Bestandskontrolle

Auch wenn aus ökologischen Gründen eine Bestandskontrolle der Wasserpest nicht notwendig erscheint, so machen doch die deutlichen Einschränkungen der Wassersportnutzung und die Probleme bei der Wasserkraftgewinnung Maßnahmen zur Bestandskontrolle notwendig. Bild 9 zeigt exemplarisch die Situation im Sommer 2001 am

Harkortsee. Deutlich wird hier, dass die Liegeplätze der Sportboote und ein breiter Streifen entlang der Uferlinie völlig verkrautet sind, so dass ein Passieren nur noch für stark motorisierte Boote möglich ist.

Tabelle 2 stellt mögliche Maßnahmen zur Reduktion von Makrophytenbeständen zusammen, die im Folgenden näher erläutert werden.



Bild 9: *Elodea*-Massenentwicklung behindert die Wassersportnutzung – Luftbild der Yachtschule Harkortsee

Tabelle 2: Zusammenstellung von hydraulischen, physikochemischen, mechanischen und biologischen Maßnahmen zur Reduktion von Makrophytenbeständen

Maßnahmen zur Makrophyten Reduktion
• Pestizideinsatz
• Ablassen der Seen und Ausfrieren
• Vertiefung der Seen durch Sedimententnahme
• Erhöhung der Phytoplanktondichte durch P-Zufuhr (Trübung)
• Erhöhung der Trübung durch gründelnde Schuppenkarpfen
• Abdecken der Pflanzenbestände mit schwarzer Folie
• Hydraulischer Stress durch Hochwasser
• Biomanipulation (Herbivorie)
• Mahd

### 6.1 Pestizideinsatz

Gemäß § 6 Abs. 2 Satz 2 PflSchG ist in Deutschland der Einsatz von Pestiziden zur Reduktion von Makrophytenbeständen nicht zulässig.

In Ländern ohne dieses Verbot werden Total-Herbizide wie Dichlobenil oder Terbutryn eingesetzt, die außer *Elodea nuttallii* auch alle anderen Makrophyten schädigen. Ein ausschließlich gegen *Elodea nuttallii* wirkendes Herbizid gibt es nicht.

Außer durch das gesetzliche Verbot ist auch aus zwei weiteren Gründen der Herbizideinsatz für die Ruhrstauseen zu verwerfen:

- Die Ruhr dient der Trinkwasserversorgung von ca. 5 Mio. Menschen. Eine bewusste Kontamination des Wassers mit Herbiziden würde die Einhaltung der Grenzwerte der Trinkwasserverordnung für Pflanzenbehandlungsmittel gefährden und ist daher zu unterlassen.



- Da die Ruhrstauseen durchflossene Systeme darstellen, würden in den Stauseen eingesetzte Herbizide ausgespült und auch das Gewässer unterhalb belasten. Dies widerspricht dem Verschlechterungsverbot des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG).

### 6.2 Ablassen der Seen und Ausfrieren

Die winterliche Absenkung des Wasserspiegels unterhalb der maximalen Verbreitungstiefe von *Elodea nuttallii* ist eine Methode, die im Ruhrverbandsgebiet an der Listertalsperre bereits einige Male mit Erfolg angewendet wurde. Ein erneutes Absenken der Listertalsperre im Winter 2008/2009 schädigte jedoch, trotz strengem Dauerfrost, die am Ufer trocken gefallenen *Elodea*-Bestände nur geringfügig. Es verblieben trotz mehr als einmonatigem Ausfrieren immer noch viele grüne Pflanzen, deren Zellen keine Frost- und Trocknungsschäden aufwiesen (Bild 10).



Die Ruhrstauseen liegen im Vergleich zu der Listertalsperre in geringerer Höhenlage mit weniger Frosttagen im Winter. Damit ist die Wahrscheinlichkeit für das Erreichen vergleichbarer Temperaturbedingungen wie im Sauerland deutlich verringert. Zudem führt, wie an der Listertalsperre gezeigt, selbst strenger Frost nicht gesichert zu dem gewünschten Erfolg.

Bei den Ruhrstauseen handelt es sich zudem um Flachseen, die, wie z.B. in Bild 4 zu sehen, auf der gesamten Fläche mit *Elodea nuttallii* bewachsen sind. Ein Ablassen bis unterhalb der Verbreitungstiefe ist damit nicht möglich, da die Wasserpest selbst das tiefer gelegene alte Ruhrbett mit besiedelt. Auch bei vollständigem Ablassen der Seen – unter Vernachlässigung der technischen Probleme z. B. für den Betrieb des Pumpspeicherwerks Koepchenwerk am Hengsteysee – würden im alten Ruhrbett *Elodea*-Pflanzen verbleiben und von dort aus eine schnelle Wiederbesiedlung nach erneutem Einstau ermöglichen.

Bei der Maßnahmenoption, die Ruhrstauseen abzulassen, müssen zudem Artenschutzaspekte mit berücksichtigt werden. Ist bei der Listertalsperre auf Grund der steilen Uferneigung nur ein schmaler Ufersaum von der Wasserspiegelabsenkung betroffen, würde durch das Ablassen eines Flusstausees dessen gesamter Boden mit allen dort lebenden Organismen – auch Großmuscheln und Krebse – trocken fallen, was zum Absterben der dort lebenden Organismen führen würde.

### 6.3 Vertiefung der Seen durch Sedimententnahme

*Elodea nuttallii* kann in Tiefen von mehr als 10m vorkommen. Eine Eintiefung der Flusstauseen auf diese Tiefe ist technisch nur schwer umsetzbar und mit unrealistisch hohen Kosten verbunden.

Eine Entnahme der oberen Sedimentschichten mit dem Ziel, hierdurch auch alle Pflanzenteile mit zu entfernen, führt jedoch nicht zu dem gewünschten Erfolg. Am Harkortsee wurde 2001 eine solche Sedimententnahme durchgeführt, mit dem Erfolg, dass während der Saugbagger auf Grund der entstehenden Trübung sich im Bereich der Maßnahme keine *Elodea*-Bestände ausbildeten. Jedoch im darauffolgenden Jahr bildeten sich im Harkortsee wieder Massenbestände vergleichbar zu den benachbarten Ruhrstauseen aus, d. h. die Sedimententnahme hatte keine nachhaltigen Auswirkungen auf die Massenentwicklung.

Vergleichbare Sedimententnahmen in einem Altgewässer der Altmühl, die von der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG, Koblenz) wissenschaftlich begleitet wurden, führten ebenfalls zu keinem Rückgang der *Elodea*-Bestände. Dies ist von besonderer Bedeutung, da das untersuchte Altgewässer nicht mehr durchflossen ist und somit der Eintrag von *Elodea*-Pflanzen aus dem Oberlauf als Quelle der Wiederbesiedlung ausscheidet.

Bild 10: Ufer der Listertalsperre mit abgesenktem Wasserspiegel im Januar 2009. Deutlich sind die trocken gefallenen *Elodea*-Bestände zu erkennen. Die Detailansicht zeigt, dass zwar Teile der Bestände abgestorben und hell gefärbt sind, aber dazwischen vitale, grün gefärbte Pflanzen verblieben sind, aus denen eine Neubesiedlung erfolgen kann

#### 6.4 Erhöhung der Phytoplanktondichte durch P-Zufuhr (Trübung)

Der Rückgang der Phosphorkonzentrationen in der Ruhr (Bild 11) ist der Grund dafür, dass die Ruhrstauseen von einem dauerhaft Phytoplankton-dominierten Zustand in einen Makrophyten-dominierten Zustand, der nur hin und wieder in den erstgenannten Zustand zurückfällt, wechselte.

Eine Erhöhung der Phosphorkonzentrationen der Ruhr könnten diesen Wechsel wieder rückgängig machen. Der Ausbau der Kläranlagen, um den jetzigen Stand der Abwasserreinigung zu erreichen, erforderte Investitionen des Ruhrverbands von ca. 1,6 Mrd. € in den letzten 15 Jahren. Eine reduzierte Reinigungsleistung der Kläranlagen mit Erhöhung der Phosphorkonzentrationen im Ablauf würde einen Großteil dieser Erfolge zunichte machen und den gesetzlichen Anforderungen an die Emissionen aus Kläranlagen widersprechen.

Zudem besitzt der Phytoplankton-dominierte Zustand sowohl für das Ökosystem als auch für die menschliche Nutzung eine Vielzahl negativer Effekte:

- tagesperiodische Sauerstoffschwankungen
- tagesperiodische pH-Wertschwankungen
- erhöhte Partikeldichten mit – in durchflossenen Systemen – Partikelabtrieb
- unansehnliches Erscheinungsbild mit trübem Wasser
- aufschwimmende Algenwatten
- Schaumbildung bei der Zersetzung absterbender Phytoplanktonbiomassen
- Geschmacks- und Geruchsbeeinträchtigung, Bildung von Toxinen in Abhängigkeit von den dominierenden Phytoplankton-Gruppen

Daher sind grundsätzlich Maßnahmen des Gewässermanagements – nicht nur im Ruhr-Einzugsgebiet – darauf ausgerichtet, einen Phytoplankton-dominierten Zustand zu vermeiden bzw. diesen in einen Makrophyten-dominierten Zustand zu überführen.

Seit dem Wechsel der Ruhrstauseen in den Makrophyten-dominierten Zustand konnte auf eine zusätzliche Belüftung der Seen verzichtet werden. Auch das sogenannte „Fronleichnamsfischsterben“ – verursacht v.a. durch pH-Wert-Verschiebungen und deren Auswirkungen auf den Stickstoffhaushalt der Ruhr – tritt nicht mehr in dem Maße auf wie in der Zeit vor dem Jahr 2000 und belegt damit die positiven Effekte der verringerten Phosphor-Konzentrationen in der Ruhr.

#### 6.5 Erhöhung der Trübung durch gründelnde Schuppenkarpfen

Ein reduzierter Lichteinfall durch Trübung, der das Wachstum von *Elodea* verlangsamt oder sogar verhindert (vgl. Kap. 5.1), kann durch Phytoplankton aber auch durch suspendierte mineralische Feststoffe verursacht werden. Um die oben dargestellten negativen Effekte einer Algenblüte zu vermeiden, jedoch über Trübung das Makrophytenwachstum einzudämmen, hat der Ruhrverband 2004 im Harkortsee 7.000 Schuppenkarpfen ausgesetzt. Diese Fischart wühlt bei ihrer Nahrungssuche, dem „Gründeln“, den Seeboden auf und trübt hierdurch das Wasser. Dieser Trübungseffekt ist jedoch nur lokal auf den Aktivitätsbereich des nahrungssuchenden Fisches beschränkt und die Tiere sind nicht in der Lage, den gesamten Wasserkörper des Sees einzutrüben. Ziel war es daher, durch diese Maßnahme eine

wenn auch nur seegrundnahe Trübung hervorzurufen, die in der Lage ist, das Anfangswachstum von *Elodea* im Frühjahr zu behindern. Da die Schuppenkarpfen jedoch bei niedrigen Wassertemperaturen weitgehend inaktiv sind und erst mit steigenden Wassertemperaturen mit der Nahrungssuche beginnen, kommt die durch die Fische verursachte Trübung zu spät, um das Anfangswachstum von *Elodea* zu beeinflussen.

#### 6.6 Abdecken der Pflanzenbestände mit schwarzer Folie

Das Abdecken des Gewässergrunds mit schwarzer Folie ist eine in kleinen Teichen praktizierte Methode, Wasserpflanzenbestände zu eliminieren. Um zu verhindern, dass nach Entfernung der Folie die freien Bereiche wieder durch opportunistische Pioniersiedler wie *Elodea* besiedelt werden, empfiehlt es sich, diese Bereiche mit anderen Wasserpflanzenarten zu bepflanzen.

Für die Ruhrstauseen ist ein Abdecken mit schwarzer Folie auf Grund der Größe der Seen nicht realisierbar. Zudem handelt es sich hierbei um durchflossene Systeme: Bei erhöhtem Abfluss der Ruhr würde die dann herrschende Strömung die Folie erfassen, zerreißen und abtransportieren. Eine strömungssichere Befestigung einer solchen Folie auf dem Grund der Ruhrstauseen ist nicht möglich.

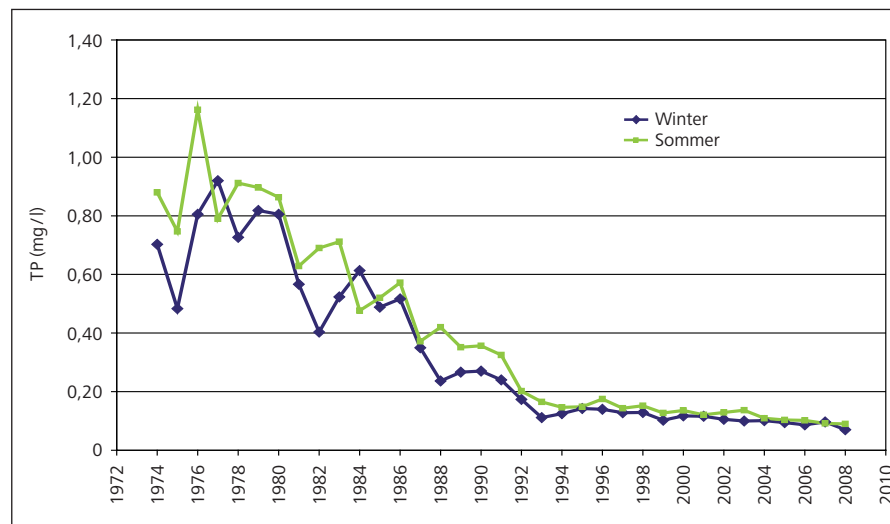


Bild 11: Mittlere Konzentrationen des Gesamt-Phosphors (TP) im Sommer- und Winterhalbjahr in Essen-Rellinghausen („Zornige Ameise“) 1972-2005

## 6.7 Hydraulischer Stress durch Hochwasser

Erhöhte Strömungsgeschwindigkeiten mit Sedimentumlagerungen sind in der Lage zu Beginn der Wachstumsperiode von *Elodea* diese im Wachstum zu schädigen und damit die Bildung von Massenbeständen zu verhindern. Die Entstehung von Hochwässern ist jedoch in erster Linie von der Intensität der Niederschläge abhängig. Eine Beeinflussung durch Maßnahmen der Abflusssteuerung an den großen Talsperren ist nur in geringem Maße möglich und sollte nur unter Berücksichtigung z. B. der Mindestwasserführung bei Trockenwetter zur Aufrechterhaltung der Trinkwasserversorgung erfolgen.

Während Hochwasserwellen in den oberen drei Ruhrstauseen auf Grund der vergleichsweise geringen Profiltiefen noch hydraulisch wirksam werden können, flacht eine Hochwasserwelle im deutlich ausgedehnteren Baldeneysee ab und die Strömung teilt sich in zwei Gerinne auf. Hierbei verbleiben weiterhin weite Bereiche, die kaum durchströmt werden. Eine erkennbare Reduktion der *Elodea*-Bestände ist daher für den Baldeneysee auch bei Hochwasser nicht zu erwarten.

## 6.8 Biomanipulation (Herbivorie)

Bei der Herbivorie, d. h. dem Fressen von Pflanzen, hier v. a. der Wasserpest, ist zwischen Fischen, Vögeln und dem Makrozoobenthos zu differenzieren. Das Makrozoobenthos leistet auf Grund der Größe der Tiere nur einen relativen kleinen Beitrag zur Reduktion der *Elodea*-Bestände und ist zudem durch Maßnahmen kaum weiter zu fördern. Wasservögel, auf den Ruhrstauseen vor allem Höckerschwanne und Blesrallen, nehmen bei bis zur

Oberfläche reichenden *Elodea*-Beständen in ihren Dichten deutlich zu, da sie diese Pflanzen bevorzugt als Nahrung nutzen. Da beides jedoch grünelnde Arten sind, die zur Nahrungsaufnahme nicht abtauchen, sondern Pflanzen nur soweit abfressen, wie sie von der Wasseroberfläche aus erreichbar sind, ist ihr Fraßdruck auf *Elodea* auf den oberflächennahen oberen Teil der Pflanze beschränkt. Schwäne und Rallen sind zudem flugfähig und damit mobil, so dass ihre Bestandsdichte durch Maßnahmen nur schwer beeinflusst werden kann.

Für Maßnahmen der Biomanipulation grundsätzlich geeignet sind jedoch Fische. Von den 19 in den Ruhrstauseen vorkommenden Fischarten ist allerdings nur die Rotfeder (*Scardinius erythrophthalmus*) herbivor. Die Rotfeder ist eine heimische Fischart, die auch in Mischbeständen *Elodea nuttallii* als Nahrung präferiert und von dieser Makrophytenart am meisten aufnimmt. Ein weiterer Vorteil des Einsatzes von Rotfedern zur Makrophytenregulierung ist, dass diese Art ab Wassertemperaturen von ca. 6°C Nahrung zu sich nimmt und damit in der Lage ist, während der gesamten Vegetationsperiode von *Elodea nuttallii* auf diese Art einen Fraßdruck auszuüben.

Rotfedern sind zudem omnivor. Sie präferieren zwar Pflanzenmaterial als Nahrung, nehmen aber auch tierische Nahrung in Form von Zooplankton und Zoobenthos auf. Damit besteht bei Rotfedern nicht die Gefahr der vollständigen Vernichtung von Makrophytenbeständen durch übermäßige Beweidung.

Durch diese Vorteile unterscheiden sich die Rotfedern von chinesischen Graskarpfen, die vor allem in den östlichen Bundesländern lange Zeit

zur Makrophytenkontrolle eingesetzt wurden. Da Graskarpfen nicht heimisch sind, ist deren Besatz in NRW in offenen, durchflossenen Gewässersystemen verboten. Diese Fischart stammt aus wärmeren Gewässern und beginnt mit ihrer Fraßaktivität erst bei Wassertemperaturen größer 20°C, einem Zeitpunkt, zu dem das *Elodea*-Wachstum bereits weit fortgeschritten ist und die Pflanzen schon die Wasseroberfläche erreichen. Zudem frisst der Graskarpfen weitgehend unselektiv und ist in der Lage, in Gewässern die Makrophytenbestände vollständig zu eliminieren. Daher konzentrieren sich die Managementmaßnahmen des Ruhrverbands zur Biomanipulation auf den Besatz mit Rotfedern.

Experimentelle Laborstudien haben ergeben, dass Rotfedern von ca. 12 cm Körperlänge in Abhängigkeit von der Wassertemperatur bis zu 4,4 g *Elodea* pro Tag fressen können. Für den Kemnader See bedeutet dies, dass Rotfedern rechnerisch bei einer Bestandsdichte von 6.259 Tieren pro

ha den Gesamtbestand in der Vegetationsperiode fressen könnten. Von 2002 bis 2007 wurden im Kemnader See in Summe ca. 10.900 adulte und ca. 99.000 juvenile Rotfedern besetzt. Bei einer Mortalität von 5% bei den adulten und ca. 90% bei den juvenilen Fischen resultiert ein Gesamtbestand (ohne Reproduktion) von 11.545 Rotfedern, was einer Dichte von 159 Rotfedern/ha entspricht. Diese sind theoretisch in der Lage 2,54% des *Elodea*-Bestandes zu fressen.

Damit reicht aktuell die Bestandsdichte noch nicht aus, um einen erkennbaren Einfluss auf die Bestandsentwicklung von *Elodea nuttallii* auszuüben. Untersuchungen der Fischfauna belegen jedoch, dass eine natürliche Reproduktion der Rotfedern im Kemnader See erfolgt. Jedoch sind die Reproduktionsraten, d. h. der Nachweis juveniler Fische, gering. Aber auch die Wiederfänge der besetzten Fische sind gering, was auf einen erhöhten Fraßdruck, v. a. durch Kormorane, hinweist.



Bild 12: *Elodea nuttallii* – gedungen-verzweigte Wuchsform im Sommer 2006. Die Pfeile markieren fehlende Triebspitzen

Bild 12 zeigt Fraßspuren an einer *Elo-dea*-Pflanze. Die roten Pfeile markieren Stellen, an denen Pflanzenspitzen und Knospen von Rotfedern abgeissen wurden. Die Pflanze wurde aus mehr als 1 m Wassertiefe entnommen, so dass diese Fraßspuren nicht auf Wasservögel zurückzuführen sein können. Dies belegt, dass Rotfedern auch unter Freilandbedingungen *Elo-dea* als Nahrung nutzen und damit potenziell in der Lage sind, die Makrophytenbestände zu kontrollieren. Erst ein weiterer Besatz und ein allmählicher Aufbau einer ausreichend großen Population durch weitere natürliche Vermehrung kann in Zukunft zu dem gewünschten Effekt führen. Flankierende Maßnahmen zum Schutz der Rotfedern z. B. durch Unterstände in Totholz für das makrophytenfreie Winterhalbjahr zum Schutz vor dem

Kormoran und eine Vergrämung der Kormorane v. a. vor und während deren Brutzeit können sich dabei positiv auf den Populationsaufbau der Rotfedern auswirken.

### 6.9 Mahd

Die Mahd stellt eine mechanische Methode zur Reduzierung bestehender Makrophytenbestände dar. Sie kann mittels Mähboot oder mittels einer hinter einem Boot hergezogenen Schleppsense erfolgen. Vorteil des Mähbootes, wie das vom Ruhrverband eingesetzte Boot MANATI (Bild 13), ist es, dass das abgeschnittene Pflanzenmaterial bei diesem Vorgang gleichzeitig mit entnommen wird und nicht abtreibt und z. B. Probleme an den Rechen der Wasserkraftanlagen verursacht.



Bild 13: Mäh-Sammelschiff MANATI auf dem Hengsteysee

Die Mahd mittels Mähboot ist sinnvoll erst dann einzusetzen, wenn die Makrophyten eine ausreichende Länge erreicht haben und quantitativ auch entnommen werden können. Der Einsatz von Schleppsensen, um die bereits aufwachsenden Bestände zu reduzieren, hat nach ersten Versuchen keine Auswirkungen auf die weitere Bestandsentwicklung erbracht.

Weitere Untersuchungen in Testfeldern zur besseren Quantifizierung der Effekte bestätigen die Aussagen der Vorversuche, dass der Einsatz von Schleppsensen auch früh im Jahr keinen reduzierenden Effekt auf die Bestandsentwicklung von *Elodea nuttallii* hat. Bei dem Vergleich zwischen der Wirkung von Mahd und Schleppsensen-Einsatz konnten weder in der akuten Wirkung noch in der Nachhaltigkeit der Effekte Unterschiede nachgewiesen werden.

Bild 14 zeigt exemplarisch für den Kemnader See die Makrophytenbestände als Biomassen-Frischgewicht

für die Jahre 2004 und 2005. Da zwischen den einzelnen Terminen der Bestandserhebung die Makrophyten gemäht wurden, sind die jeweils zwischenzeitlich bei der Mahd entnommenen Pflanzenmassen zusätzlich dargestellt.

Es wird deutlich, dass in den jeweiligen Zeiten zwischen den Bestandserhebungen ca. 10 % bis 25 % der Bestände durch Mahd entnommen wurden. Da *Elodea nuttallii* jedoch in der Lage ist, pro Woche ca. 15 % bis maximal 40 % Zuwachs zu erbringen, werden die Verluste der Mahd durch Wachstum schnell wieder ausgeglichen. Zudem wird *Elodea nuttallii* auch durch mehrfache Mahd nicht geschädigt, sondern der Spross treibt Seitenknospen und verzweigt sich. Dies führt dazu, dass die Bestände in der Vegetationsperiode trotz regelmäßiger Mahd weiterhin zunehmen.

Diese Ergebnisse machen deutlich, dass ein Freihalten der verkrauteten Ruhrstauseen durch Mahd nur mit

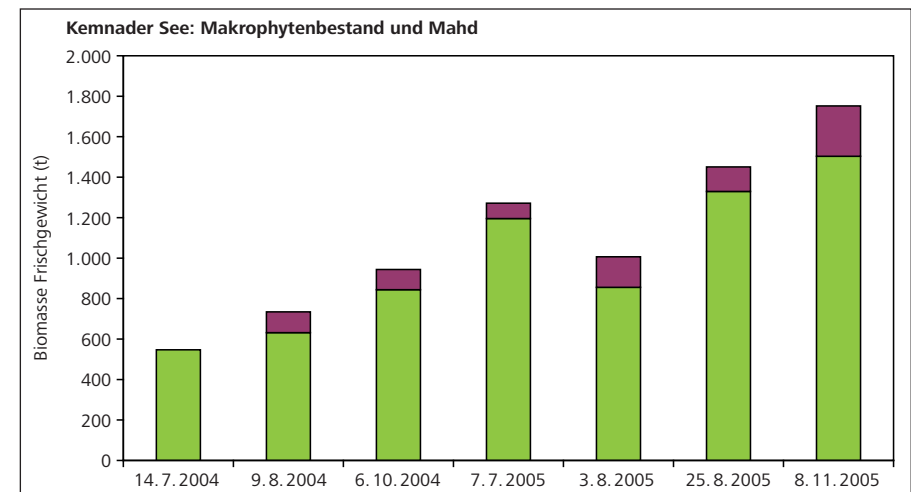


Bild 14: Bilanzierung der Makrophytenbestände des Kemnader Sees (grüner Balken) für 2004 und 2005 mit Darstellung der vor der jeweiligen Bestandsaufnahme durch Mahd entnommenen Biomasse (violetter Balken)



einem deutlich höheren Aufwand möglich wäre. Nach Kostenfeststellungen aus den Jahren 2005 und 2008 belaufen sich die Kosten für die Mahd auf 2.200,- €/Arbeitstag (Schicht) je Mähboot. Ein Mähboot erreicht dabei am Tag durchschnittlich eine Leistung von 0,5 ha gemähter Fläche = 4.400 €/ha gemähter Fläche. Diese Kosten setzen sich wie folgt zusammen:

Abschreibung	15 %	330,- €/Ad	bzw.	660,- €/ha
Betrieb/Instandhaltung	25 %	550,- €/Ad	bzw.	1.100,- €/ha
Personal	30 %	660,- €/Ad	bzw.	1.320,- €/ha
Entsorgung	30 %	660,- €/Ad	bzw.	1.320,- €/ha
Gesamt:		<u>2.200,- €/Ad</u>		<u>4.400,- €/ha</u>

In der viermonatigen Saison, in der der Wassersport durch die Makrophytenmassenbestände behindert wird, sind die Seeflächen (Hengsteysee 1,36 km<sup>2</sup>; Harkortsee 1,37 km<sup>2</sup>; Kemnader See 1,25 km<sup>2</sup>; Baldeneysee 2,64 km<sup>2</sup>) aufgrund der hohen Wuchsleistung von *Elodea nuttallii* ca. monatlich einmal zu mähen. Unter der Annahme, dass der Baldeneysee zu ca. 25 % von der Verkrautung betroffen ist, die anderen Seen dagegen auf ca. 50 % der Fläche Makrophytenmassenbestände aufweisen, müssen monatlich auf jedem See ca. 0,65 km<sup>2</sup> bzw. 65 ha gemäht werden. Bei einer Tagesleistung eines Mähboots von 0,5 ha und 22 Arbeitstagen pro Monat sind 6 Mähboote notwendig, um die Fläche von 65 ha monatlich zu mähen. Dies würde pro See Tageskosten von 13.200,- € bzw. von 1.452.000,- € pro Saison verursachen.

Da die Bereitstellung dieser Mittel bei vier von Makrophytenmassenentwicklungen betroffenen Seen unrealistisch ist, bedeutet dies, dass die Mahd nur

eingeschränkt als Maßnahme zur Bestandskontrolle geeignet ist. Dies gilt in erster Linie für die Übergangsphase, bevor nachhaltige Managementstrategien der Biomanipulation wirksam werden, und dann nur, um lokal Bereiche von Makrophyten frei zu halten. Sinnvoll ist der Einsatz im Bereich von Hafenanlagen, um den Zugang zu noch unverkrauteten Seebereichen zu

ermöglichen, oder um gezielt Regattastrecken makrophytenfrei zu halten.

## 7 Verwertung des Pflanzenmaterials

Im Herbst abtreibendes Pflanzenmaterial (vgl. Bild 3), das an Rechenanlagen entnommen wird, sowie das Mähgut müssen zeitnah entsorgt werden. Dies wird notwendig, da *Elodea nuttallii* einen hohen Wassergehalt von > 90 % aufweist und bei ihrer Lagerung schnell anfängt zu faulen. Dabei treten Sickersäfte mit hohen BSB<sub>5</sub>-Konzentrationen aus und das faulende Material führt zu Geruchsbelästigungen.

Möglichkeiten der Entsorgung sind zum einen die Kompostierung und zum anderen die anaerobe Co-Vergärung in Faultürmen der Kläranlagen. Beide Verfahren sind technisch durchführbar, weisen prinzipiell eine hohe Entsorgungssicherheit auf, sind jedoch bei der praktischen Umsetzung mit Schwierigkeiten verbunden.

Für die Co-Vergärung muss das Pflanzenmaterial in eine pumpfähige Masse zerkleinert werden, um in die Faultürme eingefüllt zu werden. Der hohe Anteil an Fremdstoffen (Holz, Wohlstandsmüll) behindert das Pumpen und verursacht Verstopfungen der Zuleitung. Auf Grund des hohen Wassergehalts und nur geringen Kohlenstoffgehalts von *Elodea* ist die Ausbeute an Faulgas bei der Co-Vergärung relativ gering. Der entstehende Faulschlamm der Co-Vergärung von *Elodea*-Material und kommunalem Klärschlamm muss anschließend getrocknet und verbrannt werden.

Auch eine Kompostierung ist nicht durch das einfache Aufschütten zu Mieten möglich, da dann nur ein langsamer anaerober Faulungsprozess einsetzen würde. Daher muss das Pflanzenmaterial durchsetzt mit Strukturmaterial, z. B. Holz, aufgesetzt werden (Bild 15). Durch den anschlie-



Bild 15: Vorbereitung zur Kompostierung von *Elodea*: Strukturmaterial (zerkleinertes Treibholz) wird mit gemähtem *Elodea*-Material durchmischt und zur Kompostierung zu Mieten aufgesetzt

ßenden Rottungsprozess kann das Volumen der eingesetzten *Elodea* um 80 % bis 85 % reduziert werden.

Der bei der Kompostierung entstehende feinkrümelig braune Kompost kann jedoch nicht für die Landwirtschaft bzw. den Garten- und Landschaftsbau eingesetzt werden, da durch den Aufkonzentrierungsprozess bei der Verrottung auch die Schadstoffgehalte zunehmen. Dabei überschreiten bei einigen Versuchen die Konzentrationen der Schwermetalle Zink und Cadmium die zulässigen Grenzwerte, so dass der gewonnene Kompost anschließend thermisch entsorgt werden muss.

Die Kosten der Co-Vergärung liegen bei netto 50,- €/t. Die sich aus der Kompostierung von *Elodea* in offenen Dreiecksmieten mit passiver Belüftung und Strukturmaterialzugabe ergebenden Kosten liegen bei netto 46,- €/t. Hinzu kommen für beide Verfahren noch Kosten für den Transport von ca. 24,- €/t. Bei der Kompostierung kommen zudem die Kosten für die Verbrennung hinzu, die inkl. Transport bis zu 100,- €/t Kompost betragen.

## 8 Schlussfolgerungen

Die Makrophytenmassenentwicklungen in den Ruhrstauseen werden in erster Linie durch die Wasserpest-Art *Elodea nuttallii* verursacht. Ihre relativ plötzliche Bestandsentwicklung seit dem Jahr 2000 ist auf die deutlich verbesserte Wasserqualität zurückzuführen.

Aus ökologischen Gründen oder aus den Zielen der EG-Wasserrahmenrichtlinie lässt sich keine Notwendigkeit für Maßnahmen gegen die Massenbestände ableiten. Eine Notwendigkeit hierzu wird jedoch verständlicherweise aus Sicht der Nutzungen (Wassersport, Wasserkraftnutzung) formuliert.

Konflikte mit der Wasserkraft-Nutzung treten vor allem im Herbst auf, wenn die Bestände in z.T. dichten, zusammenhängenden Teppichen abtreiben und die Rechenanlagen zusetzen.

Bis auf den Kemnader See als „Freizeit-See“ sind die anderen Ruhrstauseen als Flusskläranlagen genehmigt und gebaut worden. Mit dem Ausbau der Kläranlagen und Anlagen zur Niederschlagswasserbehandlung tritt jedoch auch bei diesen die Funktion als Flusskläranlage in den Hintergrund. Die Stauseen sind Naherholungsgebiete für die Bevölkerung des Ruhrgebiets und darüber hinaus geworden und aus dem Landschaftsbild nicht mehr wegzudenken. Die Anliegerstädte und Gemeinden nutzen ihre attraktive „Lage am See“ geschickt für ihr Stadtmarketing. In den Stadtbroschüren wird mit den Bildern vom See geworben. Daraus hat sich ein nicht unerheblicher Wirtschaftsfaktor entwickelt, von der Imbissbude bis zum Hotelbetrieb, vom Wassersportverein bis zur gewerblichen Freizeitschiffahrt.

Die Wassersportler sind jedoch direkt von den Makrophyten-Massenentwicklungen betroffen. Für die Freizeitnutzung Wassersport ist in der Zeit von Juni bis Oktober mit Konflikten zu rechnen. Die maximale Verkrautung betrug im Untersuchungszeitraum 2004 bis 2007 über 50% der Seefläche der betroffenen Seen. Im Bereich des ehemaligen Ruhrbetts erreichen die Pflanzen die Wasseroberfläche in der Regel nicht. Da jedoch die Bereiche der Liegeplätze zumeist verkrauten, ist es für die Wassersportler schwierig, die freie Wasserfläche zu erreichen. In den Seen mit *Elodea*-Massenbeständen sind auch Bereiche, in denen Regatten ausgetragen werden, von der Verkrautung betroffen. In den Wassersportvereinen wird wegen dieser Situ-

ation ein starker Mitgliederschwund beklagt. Wettkämpfe und Regatten auf den Seen mussten abgesagt werden. Dies hat auch für die Folgejahre Auswirkungen, weil in Konkurrenz mit anderen Segelrevieren Regattaveranstaltungen abwandern.

Indirekte Folgewirkungen sind z. B. der Rückgang der Übernachtungszahlen und geringere Umsatzraten durch das Ausbleiben Wassersport-interessierter Gäste aus dem weiteren Umland.

Auf Grund der Kosten für Mahd und Beseitigung des entnommenen Pflanzenmaterials und da hierdurch mit vertretbarem Aufwand trotzdem keine dauerhafte Freizeitnutzung im gewünschten Umfang zu erzielen ist, ist der Versuch, eine gesamte Seefläche durch Mähen makrophytenfrei zu halten, nicht zielführend. Um jedoch eine Wassersportnutzung in angepasstem Umfang zu ermöglichen, sollten Regatten in die Zeiten gelegt werden, bevor *Elodea* die Wasseroberfläche erreicht. Ziel einer auch an der weitergehenden Nutzung orientierten Bewirtschaftung der Ruhrstauseen ist es daher, den Einsatz des Mähbootes so zu koordinieren, dass, wenn zeitlich realisierbar, primär Schneisen zwischen Liegeplätzen und freier Wasserfläche und bei Bedarf auch Regatta-Bereiche möglichst makrophytenfrei gehalten werden.

## Inhaltsverzeichnis des Abschlussberichts:

Kapitel	Seite
<b>1 Einleitung</b>	<b>4</b>
<b>2 Flusstauseen der Ruhr: Lage und Charakteristika</b>	<b>9</b>
2.1 Ruhr-Einzugsgebiet	9
2.2 Die Ruhrstauseen	9
2.3 Bedeutung der Ruhrstauseen für Freizeit- und Naherholungsnutzung	14
<b>3 Historie der Makrophytenentwicklung in den Ruhrstauseen</b>	<b>17</b>
<b>4 Autökologie und Verbreitung der Gattung <i>Elodea</i></b>	<b>24</b>
<b>5 Fragestellung und Projektkonzeption</b>	<b>33</b>
<b>6 Methodik</b>	<b>39</b>
<b>6.1 Hydrologie</b>	<b>43</b>
6.1.1 Abfluss	43
6.1.2 Fließgeschwindigkeiten	43
<b>6.2 Wasserqualität</b>	<b>45</b>
6.2.1 Stichprobenuntersuchungen und kontinuierliche Messungen	45
6.2.2 Lichtintensität	53
<b>6.3 Sedimentuntersuchungen</b>	<b>56</b>
<b>6.4 Bestandserfassung Makrophyten</b>	<b>57</b>
6.4.1 Satellitenauswertung	57
6.4.2 Echoloterfassung	59
6.4.3 Luftbildauswertung	64
6.4.4 Vorort-Kartierung	64
6.4.5 Kartierung von Vegetationsprofilen	66
6.4.6 Vergleich der Methoden der Bestandserfassung	68
<b>6.5 Morphometrie von <i>Elodea nuttallii</i></b>	<b>72</b>
<b>6.6 Chemische Gehalte und Abbaubarkeit</b>	<b>73</b>
6.6.1 Nährstoff- und Schwermetallgehalte in <i>Elodea nuttallii</i>	73
6.6.2 Biologischer Abbau von <i>Elodea nuttallii</i>	73
<b>6.7 Wachstumsexperimente</b>	<b>76</b>
<b>6.8 Bestandserhebung Fische</b>	<b>79</b>
<b>6.9 Bestandserhebung Makrozoobenthos und Zooplankton</b>	<b>82</b>
6.9.1 Makrozoobenthos	82
6.9.2 Zooplankton	82
<b>6.10 Fütterungsexperimente</b>	<b>83</b>
6.10.1 Rotfedern ( <i>Scardinius erythrophthalmus</i> )	83
6.10.2 Versuch Graskarpfen ( <i>Ctenopharyngodon idella</i> )	85
6.10.3 Makrozoobenthos	86
<b>6.11 Experimente zur Erhöhung der Trübung</b>	<b>87</b>
<b>6.12 Mahd der Ruhrstauseen und Mahd in Testfeldern</b>	<b>89</b>
6.12.1 Mahd der Ruhrstauseen	89
6.12.2 Mahd in Testfeldern	98
<b>6.13 Kompostierung</b>	<b>99</b>
<b>6.14 Co-Vergärung</b>	<b>110</b>
<b>7 Ergebnisse</b>	<b>114</b>
<b>7.1 Hydrologie</b>	<b>114</b>
7.1.1 Abfluss	114

**Inhaltsverzeichnis des Abschlussberichts:**

Kapitel	Seite
7.1.2 Fließgeschwindigkeiten	123
<b>7.2 Wasserqualität</b>	<b>134</b>
7.2.1 Stichprobenuntersuchungen und kontinuierliche Messungen	134
7.2.2 Lichtintensität	157
<b>7.3 Sedimentuntersuchungen</b>	<b>164</b>
<b>7.4 Bestandserfassung Makrophyten</b>	<b>172</b>
7.4.1 Satellitenauswertung	180
7.4.2 Echoloterfassung	191
7.4.3 Luftbildauswertung	195
7.4.4 Vorort-Erfassung	197
7.4.5 Transektkartierung	206
<b>7.5 Morphometrie von <i>Elodea nuttallii</i></b>	<b>213</b>
<b>7.6 Biomasse und chemische Gehalte von <i>Elodea nuttallii</i></b>	<b>217</b>
7.6.1 Anreicherung von Schwermetallen in <i>Elodea nuttallii</i>	221
7.6.2 Sauerstoffzehrung von <i>Elodea nuttallii</i>	222
<b>7.7 Wachstumsexperimente</b>	<b>227</b>
<b>7.8 Bestandserhebung Fische</b>	<b>231</b>
<b>7.9 Bestandserhebung Makrozoobenthos und Zooplankton</b>	<b>255</b>
7.9.1 Bestandserhebung Makrozoobenthos	255
7.9.2 Bestandserhebung Zooplankton	257
<b>7.10 Fütterungsexperimente</b>	<b>261</b>
7.10.1 Rotfedern und Graskarpfen	261
7.10.2 <i>Elodea</i> als Nahrung von Makrozoobenthos	268
<b>7.11 Experimente zur Erhöhung der Trübung</b>	<b>272</b>
<b>7.12 Mahd der Ruhrstauseen und Mahd in Testfeldern</b>	<b>275</b>
7.12.1 Mahd der Ruhrstauseen	275
7.12.2 Mahd in Testfelder	277
<b>7.13 Kompostierung</b>	<b>281</b>
<b>7.14 Co-Vergärung</b>	<b>297</b>
<b>8 Diskussion</b>	<b>304</b>
<b>8.1 Bestandsentwicklung</b>	<b>304</b>
<b>8.2 Mahd</b>	<b>315</b>
<b>8.3 Biologische Managementstrategien</b>	<b>320</b>
<b>8.4 Entsorgung von <i>Elodea</i>-Mähgut</b>	<b>331</b>
<b>8.5 Bewirtschaftungsaspekte Makrophyten-dominierter Flusstauseen</b>	<b>334</b>
8.5.1 Bewirtschaftungsziele	334
8.5.2 Die Ruhrstauseen vor dem Hintergrund der Umsetzung der EG-WRRL	334
8.5.3 Monetäre Aspekte der Maßnahmen zur Bekämpfung und Beseitigung von Makrophyten-Massenbeständen	339
<b>9 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis</b>	<b>341</b>
<b>9.1 Abbildungsverzeichnis</b>	<b>341</b>
<b>9.2 Tabellenverzeichnis</b>	<b>353</b>
<b>10 Literaturverzeichnis</b>	<b>357</b>