

Wolfgang Ostendorp, Martin Mainberger, Klaus Schmieder, Markus Peintinger

# AUSWIRKUNGEN DES BOJENFELD-MANAGEMENTS AM BODENSEE-UNTERSEE AUF WASSERPFLANZEN UND MAKROZOOBENTHOS-BESIEDLUNG

Am Bodensee sind derzeit etwa 2677 Boote, d.h. rd. 12 % des Bestandes in 44 Bojenfeldern und an 33 Einzelbojengruppen untergebracht (IGKB, 2003). Im Gegensatz zu Häfen und Steganlagen sind Bojenfelder kostengünstig und einfach zu installieren, da sie pro Liegeplatz nur aus einem Ankerstein, einer schweren Ankerkette und der Boje bestehen, an der das Boot befestigt ist. Bei schwankendem Wasserstand und wechselndem



Abb. 1 Schwoikreis mit deutlicher Grenze zur ungestörten Armeleuchteralgen-Vegetation (Foto K. Schmieder)



**Abb. 2** Boje mit Bojenkette, die mit einem roten Lasthaken zusammengefasst wurde (Foto K. Schmieder)



**Abb. 3** Bojenstein mit Hakenboje und entsprechend kleinem Schwoikreis (Foto Chr. Stier)

Windangriff ist die Ankerkette normalerweise nicht straff gespannt sondern schleift je nach Stärke und Richtung der angreifenden Kräfte über den Boden. Dabei bildet sich eine kreisförmige Störungszone (Schwoikreis), innerhalb derer die Unterwasserpflanzenvegetation weitgehend vernichtet und die Sedimentoberfläche freigelegt wird (Abbildung 1).

Am deutschen Ufer befinden sich viele Bojenfelder in NATURA 2000-Schutzgebieten (Lebensraumtyp 3140 »Oligo- bis mesotrophe kalkhaltige Gewässer mit benthischer Vegetation mit Armeleuchteralgenbeständen), die nach der europäischen FFH-Richtlinie (RL 92/43/EWG, Anh. I) geschützt sind und einem Verschlechterungsverbot unterliegen. Seit 1975 versuchen die Genehmigungsbehörden, einen Teil der Bojenfelder aufzulösen (WM BW, 1975) und die Liegeplätze in Hafen- bzw. Steganlagen unterzubringen. Hintergrund dieser Maßnahme war die Befürchtung unkontrollierbarer Folgen bei Unfällen im Umgang mit Treibstoffen, z. B. beim Betanken von Außenbordmotoren, der hohe Flächenverbrauch je Bootseinheit sowie die deutlich sichtbaren Störungszone der Schwoikreise.

Zur Verringerung der ökologischen Auswirkungen der verbleibenden Bojenfelder werden derzeit verschiedene Bojentypen bzw. Aufhängevorrichtungen diskutiert (BICON AG 2001). Hierzu gibt es eine Reihe von technischen Lösungsvorschlägen, von denen sich die sog. Haken-Bojen am besten bewährt haben (Abbildung 2 und 3). Hierbei werden die

Ankerketten in Abhängigkeit vom Wasserstand mit einem handelsüblichen Lasthaken manuell verkürzt bzw. verlängert, so dass nur ein geringer Ankerkettenabschnitt über den Gewässergrund schleift.

Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, welche ökologischen Auswirkungen das neue Hakenbojensystem im Vergleich zu herkömmlichen Bojen hat. Hierzu haben wir im Bojenfeld Gundholzen (Bodensee-Untersee, Gemeinde Gaienhofen) im Juli 2005 beide Bojentypen vergleichend untersucht. Die Untersuchungen erstreckten sich auf die Unterwasserpflanzenvegetation, die Oberflächensedimente sowie auf die Makrozoobenthos-Besiedlung.

## UNTERSUCHUNGSGEBIET

Das untersuchte Bojenfeld Gundholzen liegt am Südwestufer des Zellersees im Bodensee-Untersee. Hier sind 32 Segel- und Motorboote an herkömmlichen Bojenliegeplätzen und 22 Boote an Hakenbojen-Liegeplätzen untergebracht. Durch die südlich und westlich angrenzenden Höhenzüge des Schienerbergs ist das Bojenfeld gegenüber den lokalen West- und Südwestwinden geschützt, Nordwestwindlagen treffen jedoch in spitzem Winkel auf das Ufer. Die Bojen liegen in ca. 80 bis 200 m Entfernung vor einem naturnahen Uferabschnitt in 0,85 bis 1,65 m Tiefe unter dem mittleren jährlichen Mittelwasser (mMW 1951–2004: 395,08 m NN Amsterdam, umgerechnet aus Daten des Pegels Berlingen) bzw. 1,95 bis 2,75 m unter dem mittleren jährlichen Hochwasserstand (mHW: 396,18 m NN), der normalerweise Ende Juni bis Anfang Juli auftritt. Zum Zeitpunkt der Probenahme (15.–16. Juli 2005) lagen die Positionen aufgrund eines außergewöhnlichen saisonalen Niedrigwasserstandes in 2005 jedoch nur in 0,9 bis 1,7 m Wassertiefe. Das Bojenfeld enthielt im westlichen Abschnitt konventionelle Ankerbojen, im östlichen Abschnitt Liegeplätze, deren Ankerkettenlänge wöchentlich kontrolliert und gegebenenfalls dem aktuellen Wasserstand angepasst wurde.

## PROBENNAHME UND METHODEN

Im Bojenfeld Gundholzen wurden sechs herkömmliche Bojenliegeplätze und sechs neue Hakenbojenliegeplätze unterschiedlicher Wassertiefe ausgewählt (Faktor ›Bojentyp‹). An jedem Liegeplatz wurde die Störungszone (Schwoikreis) sowie die ungestörte Umgebung (Referenz) untersucht (Faktor ›Behandlung‹). Die Unterwasserarbeiten wurden von Forschungstauchern durchgeführt. Die Aufarbeitung der Proben wurde im Labor durchgeführt.

Die Größe der Schwoikreise wurde unter Wasser vermessen. Ihre Fläche wurde als Ellipse berechnet.

Der Deckungsgrad der submersen Makrophyten wurde visuell geschätzt. Die Phytomasse-Proben, die gleichzeitig zur Anreicherung des phytophilien Makrozoobenthos (MZB) dienten, wurden störungsfrei auf einer Seegrundfläche von  $0,30 \times 0,30$  m mit einem Stechrahmen entnommen und noch während der Probennahme in PE-Säcken eingeschlossen, um Verlusten von mobilen MZB-Arten vorzubeugen. Bei den MZB-Beprobung der Sedimente wurden unterschiedliche Verfahren zur Gewinnung der Grobfraction (Tiere  $> 1,0$  mm) bzw. der Feinfraction ( $0,2-1,0$  mm) angewandt. Zur Gewinnung der Grobfraction wurde eine speziell gefertigte Dredge (Maschenweite  $1,0$  mm, Öffnungsweite  $20 \times 10$  cm) von Hand in einer Tiefe von  $3$  cm durch die Oberflächensedimente gezogen. Dadurch wurde eine Oberfläche von  $0,144$  bis  $0,288$  m<sup>2</sup> in einer Sedimenttiefe von  $3$  cm entnommen. Um eine Sedimentbeprobung in den Makrophytenbeständen durchführen zu können, wurde an drei Positionen jeweils eine Fläche von ca.  $0,3$  m<sup>2</sup> freigeschnitten und das Pflanzenmaterial entfernt. Zur Gewinnung der Feinfraction wurden zwei PE-Schalen von  $9,8$  cm Durchmesser und  $3,7$  cm Höhe in das Sediment gestoßen und zusammen mit dem Sedimentkern störungsfrei geborgen. Nach Entnahme von Stichproben zur Bestimmung des Wassergehaltes und der organischen Substanz wurde das restliche Sediment gesiebt ( $0,2$  mm Maschenweite) und die Makrozoobenthos-Organismen fixiert und ausgelesen.

## ERGEBNISSE UND DISKUSSION

Bezogen auf die Gesamtgröße des Bojenfeldes lag der mittlere Platzbedarf je Boot bei  $580$  m<sup>2</sup> für die herkömmlichen Liegeplätze und bei  $387$  m<sup>2</sup> für Liegeplätze an Hakenbojen. Der Schwoikreis des herkömmlichen Bojentyps hatte eine mittlere Größe von  $87 \pm 40$  m<sup>2</sup> (Mittelwert  $\pm$  einf. Standardabweichung;  $n = 6$ ). Demgegenüber waren die Störungsflächen der Hakenbojen mit  $6 \pm 5$  m<sup>2</sup> signifikant kleiner. Hier bestand der Störungsbereich zu knapp einem Quadratmeter aus dem Bojenstein sowie aus einer ringförmigen Störungszone von etwa  $1$  m Breite.

Die ökologischen Auswirkungen eines Wechsels von herkömmlichen Liegeplatz-Bojen zu alternativen Bojen, in diesem Fall der Hakenbojen, lassen sich gedanklich auf zwei Stufen ermitteln: Zunächst wird gefragt, wie die Biozönose aussehen würde, wenn es überhaupt keine Bojen und Boote an der betreffenden Stelle gäbe. Dann hätten die Schwoikreis-Flächen dieselben Eigenschaften wie die Referenzflächen. Die zweite Frage ist, ob sich die Biozönosen von herkömmlichen Bojen und Hakenbojen unterscheiden. Dieser Vergleich erfolgt durch den paarweisen Vergleich von Schwoikreis-Sedimenten von je sechs herkömmlichen Bojen bzw. von Hakenbojen und den zugehörigen Sedimenten der Referenzflächen.

Die natürlichen Unterwasserpflanzenrasen waren dicht und wiesen einen Deckungsgrad von durchschnittlich  $90\%$  auf. Die mittlere Artenzahl lag bei  $4,75$  Arten.

Die beiden Armleuchteralgen *Chara aspera* und *Ch. contraria* dominierten mit im Mittel zusammen 85 % Deckung. Die Phytomasse betrug im Mittel 155 g Trockensubstanz (TS) m<sup>-2</sup>. Die Sedimente bestanden erwartungsgemäß aus fein- bis mittelsandigen See-creiden mit geringen Gehalten an organischer Substanz (im Mittel 20 mg g<sup>-1</sup> TS). Bei einer durchschnittlichen Dichte des Sediments von 0,851 ± 0,216 g TS cm<sup>-3</sup> ergab sich daraus eine Menge von 364 ± 103 g organischer Substanz pro Quadratmeter in der Sedimentober-schicht 0 bis 3 cm. Hinsichtlich der Makrozoobenthos(MZB)-Besiedlung müs-sen die Habitate ›Sediment‹ und ›Unterwasserpflanzen‹ unterschieden werden. Beide Habitate unterschieden sich signifikant voneinander hinsichtlich der Individuendichte und der prozentualen Anteile einzelner Taxa. Man kann eine in der Unterwasservege-tation lebende (phytophile) Gruppe, bestehend aus Eintagsfliegenlarven, Schnecken, Köcherfliegenlarven, Hydrozoen und Asseln, und eine im Sediment lebende (psammo-phil) Gruppe aus Muschelkrebse, Zuckmückenlarven und Borstenwürmern (Oligo-chaeta) unterscheiden. Die Gesamt-Individuendichten der beiden Habitate unterschied sich nicht signifikant voneinander und lagen in der Größenordnung von knapp 49 000 Ind. m<sup>-2</sup>. Die MZB-Besiedlung natürlicher Flächen ergab sich aus der Summe der Indi-viduendichten beider Habitate.

Die Auswirkungen der beiden Bojentypen (Bildung von Schwoikreisen) sind vor dem Hintergrund der natürlichen Situation (keine Schwoikreise) zu betrachten, die durch die Referenzflächen abgebildet wird. Es ist sinnvoll, zwischen spezifischen Effekten (be-zogen auf 1 m<sup>2</sup> Fläche) und Flächeneffekten aufgrund der unterschiedlichen Größe der Schwoikreise zu unterscheiden. Die durchschnittliche Fläche eines Schwoikreises ist für eine naturbelassene Fläche definitionsgemäß Null, bei den herkömmlichen Bojen beträgt sie 87 m<sup>2</sup>, bei den Hakenbojen nur 6 m<sup>2</sup>. Für die Beurteilung der ökologischen Auswirkungen spielt der Gesamteffekt eine Rolle, der sich aus der Verrechnung beider Effekte ergibt. Der Gesamteffekt wird sinnvollerweise auf den gesamten Flächenbedarf eines Bootes bezogen, der sich über den Schwoikreis hinaus erstreckt.

In der Tabelle sind die Gesamteffekte für die Phytomasse, einige sedimentologi-sche Meßgrößen sowie für die MZB-Individuendichte vergleichend dargestellt. Dabei werden drei Optionen zu Grunde gelegt:

- Option 1: die Bezugsfläche von 580 m<sup>2</sup> wird nicht mit einem Boot belegt, son-derne bleibt naturbelassen
- Option 2: die Bezugsfläche von 580 m<sup>2</sup> wird mit einem Boot an einer herköm-lichen Boje belegt
- Option 3: die Bezugsfläche von 580 m<sup>2</sup> wird mit einem Boot an einer Hakenboje belegt; die Berechnungsweise ist die gleiche wie in Option 2.

Bei allen drei Optionen bleibt der Abstand zwischen den Bojen und damit der Flä-chenbedarf eines Bojenfelds konstant. Auch bei Verwendung von Hakenbojen sollte der Bootsabstand aus Sicherheitsgründen beibehalten werden (Chr. Stier, mdl. Mitt.). Bei zukünftigen technischen Lösungen wäre jedoch auch zu prüfen, ob eine Verringerung

**Tabelle:** Übersicht der globalen Effekte der Optionen 2 und 3 im Vergleich zur Option 1 (naturbelassene Fläche ohne Liegeplatz) bezogen auf die durchschnittliche Liegeplatzgröße von 580 m<sup>2</sup> (Einzelheiten s. Text). Dargestellt sind die absoluten Mittelwerte  $\pm$  einfache Standardabweichung für n = 12 Flächen der Option 1, die Prozent-Mittelwerte  $\pm$  einfache Standardabweichung für je n = 6 Flächen der Optionen 2 und 3, sowie die Ergebnisse der statistischen Tests (zweiseitiger t-Test [Option 2] bzw. Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test [Option 3]; Signifikanzen: \*: P = 0,05, \*\*: P < 0,05, P\*\*\* < 0,01, n.s. – nicht signifikant.).

	Option 1	Option 2	Option 3
Behandlung	naturbelassen	herkömml. Boje	Hakenboje
Bezugsfläche [m <sup>2</sup> ]	580	580	580
Liegeplatzfläche je Boot [m <sup>2</sup> ]	0	580	580
Anzahl Boote je Bezugsfläche [1]	0	1	1
Schwoikreisfläche [% der Option 1]	0	15,0 $\pm$ 6,4	1,0 $\pm$ 0,8
organische Substanz [kg in der Bezugsfläche] [% der Option 1]	241,6 100	95,5 $\pm$ 7,1 n.s.	99,9 $\pm$ 0,3 n.s.
vegetationsfreie Fläche [m <sup>2</sup> in der Bezugsfläche] [% der Option 1]	51 $\pm$ 25 100	222 $\pm$ 69 **	115 $\pm$ 15 *
Phytomasse [kg aschefreie TS in der Bezugsfl.] [% der Option 1]	90 $\pm$ 28 100	85,4 $\pm$ 6,7 **	99,1 $\pm$ 0,8 *
Makrozoobenthos [Individuen in der Bezugsfläche] [% der Option 1]	62,9 $\pm$ 27,6 $\times 10^6$ 100	95,2 $\pm$ 7,7 n.s.	99,6 $\pm$ 0,3 n.s.
psammophiles MZB [Individuen in der Bezugsfläche] [% der Option 1]	25,1 $\pm$ 11,8 $\times 10^6$ 100	97,0 $\pm$ 7,8 n.s.	100,2 $\pm$ 0,3 n.s.
phytophiles MZB [Individuen in der Bezugsfläche] [% der Option 1]	13,4 $\pm$ 6,8 $\times 10^6$ 100	87,3 $\pm$ 4,6 **	99,1 $\pm$ 0,8 *
Eintagsfliegen-Larven (EPH) [Individuen in der Bezugsfläche] [% der Option 1]	10,7 $\pm$ 6,1 $\times 10^6$ 100	87,8 $\pm$ 4,4 **	99,1 $\pm$ 0,8 *

des Abstandes zwischen den Bojensteinen erreicht werden kann, so dass das Bojenfeld bei konstanter Bootszahl kleiner dimensioniert werden könnte.

Die Tabelle zeigt, dass bei herkömmlichen Bojen (Option 2) im Mittel rd. 15 % der gesamten Liegeplatzfläche in Form von Schwöikreisen geschädigt wurden. Damit lag die vegetationsfreie Fläche um rd. 120 % höher als bei einer naturbelassenen Fläche (Option 1); die gesamte Phytomasse war um etwa 15 % herabgesetzt. Die Menge an organischer Substanz in der Sedimentoberschicht war um knapp 5 % verringert. Die Gesamt-Individuenzahl der Makrozoobenthos-Organismen in der Sedimentoberfläche und in den Makrophytenrasen lag um 5 % niedriger. Das psammophile Makrozoobenthos erreichte in Schwöikreissedimenten höhere Dichten als in den von Makrophyten bedeckten

Sedimenten. Es reagierte v. a. bei Hakenbojen-Liegeplätze eher positiv auf die Störung, so dass die Individuenzahl dieser Gruppe geringfügig zunahm. Ausgesprochen negativ reagierte das phytophile Makrozoobenthos, das wegen des weitgehenden Fehlens von Makrophyten in den Schwoikreisen um 13 % abnahm. Dies gilt auch für die am stärksten betroffene taxonomische Gruppe, die Eintagsfliegen-Larven.

Demgegenüber waren die Auswirkungen der Hakenbojen (Option 3) geringer, vornehmlich wegen ihrer kleineren Schwoikreise. Die Schwoikreisfläche nahm nur 1 % der Bezugsfläche ein, die vegetationsfreie Fläche war um 15 % erhöht, die Phytomasse nur um knapp 1 % erniedrigt. Die Menge an organischer Substanz lag um nur 0,1 % niedriger. Die Gesamt-Individuenzahlen des Makrozoobenthos sowie die Individuenzahlen der oben genannten Gruppen waren um weniger als 1 % gegenüber der Option 1 verändert.

Als Fazit lässt sich festhalten, dass das Hakenbojen-System vor allem aufgrund der geringeren Schwoikreisgröße deutlich geringere ökologische Veränderungen an der Unterwasserpflanzenvegetation, den Sedimenten und der Makrozoobenthos-Besiedlung hervorruft.

#### DANKSAGUNGEN

Diese Begleituntersuchung erfolgte im Rahmen eines Erprobungs-Projektes des NABU-Naturschutzzentrums Mettnau (W. Hochhardt, J. Gaukler) und der Gemeinde Gaienhofen (Bürgermeister U. Eisch, Hafenmeister Chr. Stier). Bei der Probennahme unterstützte uns Ch. Stier. Die Laborarbeiten organisierten Th. Gretler und sein Team, die Zählung und Bestimmung schwieriger Taxa übernahm M. Hamitou. Die Arbeiten wurden durch PLENUM westlicher Bodensee und mit Forschungsmitteln der Universität Konstanz finanziell unterstützt. Ihnen allen sei für ihre Unterstützung herzlich gedankt.

#### Anschriften der Verfasser:

PD Dr. W. Ostendorp, Limnologisches Institut der Universität Konstanz, 78457 Konstanz,  
wolfgang.ostendorp@uni-konstanz.de

Dr. M. Mainberger, teraqua, Ballrechterstr. 2, 79219 Staufeu i. Brsg.

PD Dr. Klaus Schmieder, Institut für Landschafts- und Pflanzenökologie, Universität Hohenheim, 70593 Stuttgart

Dr. Markus Peintinger, Güttinger Str. 8/1, 78315 Radolfzell

Die Autoren sind Mitglieder der Arbeitsgruppe Bodenseeufer (AGBU) e.V., Herosé Straße 18,  
78467 Konstanz, [www.bodensee-ufer.de](http://www.bodensee-ufer.de)

## LITERATUR

- IGKB (Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee) (2003). Auswertung der Statistik der Schifffahrtsanlagen für 2003. – [www.igkb.de](http://www.igkb.de).
- WM BW (Ministerium für Wirtschaft, Mittelstand und Verkehr Baden-Württemberg) (1975). Erlaß über Planung und Zulassung von Bootsanliegeplätzen am Bodensee vom 1. Juli 1975, Nr. V/7770/345. GaBl S. 104.
- BiCon AG (2001). Der Einfluss von Bojenfeldern und Hafenanlagen auf die Flachwasserzone des Bodensees. – Bericht für die Bodenseestiftung Konstanz, 16 S., Kreuzlingen.