Seeufer: Wellen – Erosion – Schutz – Renaturierung

Ergebnisse aus dem ReWaM-Verbundprojekt HyMoBioStrategie

Hilmar Hofmann (Konstanz), Murat Aydin (Tübingen), Christian Degel (Sulzbach), Renate Ebersbach (Gaienhofen-Hemmenhofen), Martin Wessels (Langenargen), Klaus van de Weyer (Nettetal) und Wolfgang Ostendorp (Konstanz)

Zusammenfassung

Die Ufer vieler mitteleuropäischer Seen unterliegen erheblichen hydromorphologischen Beeinträchtigungen, die den Umweltzielen der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (EG-WRRL) entgegenstehen und das UNESCO-Welterbe 'Prähistorischen Pfahlbauten um die Alpen' gefährden. In dem interdisziplinären Projekt ‚HyMoBioStrategie' wurden am Beispiel des Bodensee-Obersees Arbeitstechniken und Strategien für die Praxis entwickelt, mit denen die Beeinträchtigungen analysiert und z. B. mit Hilfe von Erosionsschutz- und Renaturierungsmaßnahmen minimiert werden können. Im Fokus standen Klassifikations- und Bewertungsverfahren der Uferstruktur, die Analyse von Schiffs- und Windwellen, Strömungs- und Suspensionstransport-Modellierung, die Messung des Sohltransports und des Feststoffhaushalts, die Messung und das langfristige Monitoring der flächenhaften Erosion und der Sedimentakkumulation in der Flachwasserzone, ein UW-Georadar zur Erkundung der Sedimentstratigraphie, die Funktionalität und die Anwendung der autonomen Messplattform ‚Hydrocrawler' sowie die Auswirkungen auf submerse Wasserpflanzen (Makrophyten), Bodentiere (Makrozoobenthos) und den Erhaltungszustand der Unterwasserdenkmäler.

Schlagwörter: Seeufer, Hydrodynamik, Wellen, Strömung, Sediment, Transport, Modell, Makrozoobenthos, Makrophyten, Wasserstandsdynamik, Handlungsempfehlungen, Wasserrahmenrichtlinie, Messtechniken, autonome Messfahrzeuge, Schifffahrt, Denkmalschutz, Renaturierung, Unterwasserarchäologie

DOI: 10.3243/kwe2020.07.004

Abstract

Lake shorelines: Waves – erosion – protection – restoration: Insights from the ReWaM joint project HyMoBioStrategy

Many Central European lake shorelines are subject to significant hydromorphological impacts that contravene the environmental objectives of the European Water Framework Directive (WFD) and jeopardise Prehistoric Pile Dwellings Around the Alps, a UNESCO World Heritage Site. The interdisciplinary project, HyMoBioStrategy, developed working techniques and practical strategies to analyse and minimise these impacts, for instance with the help of erosion protection and renaturation measures, based on the example of Upper Lake Constance. The project focused on methods to classify and evaluate the shoreline structure, analyse waves caused by ships and wind, model currents and sediment transport, measure bed and sediment transport, survey and undertake long-term monitoring of extensive erosion and sediment build-up in the shallow water zone, use underwater georadar to survey sediment stratigraphy, identify the functionality and use of the self-propelled Hydrocrawler measuring platform and the effects on submerged aquatic plants (macrophytes), land animals (macrozoobenthos) and the conservation status of underwater monuments.

Key Words: lake shoreline, hydrodynamics, waves, current, sediment, transport, model, macrozoobenthos, macrophytes, water level dynamics, recommended actions, Water Framework Directive, self-propelled surveying vehicles, shipping, monument protection, restoration, underwater archaeology

Einleitung

Die Uferlänge der WRRL-berichtspflichtigen Seen in den Ländern der Europäischen Union wird auf 203 700 km geschätzt, was fast dem Dreifachen der Länge des europäischen Autobahnnetzes entspricht. Dies verdeutlicht die große Bedeutung der Seeufer als Übergangslebensraum (Ökoton) zwischen dem freien See (Pelagial) und den umliegenden Feuchtgebieten und Landflächen [1].

Die Ufer vieler Seen unterliegen erheblichen hydromorphologischen Beeinträchtigungen: Seespiegelmanipulationen, Uferverbauungen und Schifffahrt führen zu Veränderungen der hydrodynamischen Bedingungen in der Flachwasserzone, die sich auf die Oberflächensedimente, den Feststofftransport, die Unterwasservegetation und die bodenlebenden Tiere auswirken können. Darüber hinaus wird in vielen Alpenseen eine anhaltende Erosion der Flachwasser-Sedimente beobachtet, die in archäologischen Unterwasserdenkmälern (u. a. UNESCO-Welterbestätten) zu unwiederbringlichen Substanzverlusten führt.

Im ReWaM-Verbundprojekt HyMoBioStrategie (Auswirkungen hydromorphologischer Veränderungen von Seeufern (Bodensee) auf den Feststoffhaushalt, submerse Makrophyten und Makrozoobenthos-Biozönosen mit dem Ziel der Optimierung von Mitigationsstrategien), gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), wurde ein interdisziplinärer Ansatz genutzt, um die komplexen Prozesszusammenhänge zwischen einer veränderten Uferstruktur und den daraus folgenden hydromorphologischen Bedingungen und der biozönotischen Struktur zu identifizieren und daraus Handlungsempfehlungen für die Praxis abzuleiten. Nach dreieinhalbjähriger Arbeit wurden im Oktober 2019 die Handlungsempfehlungen „Seeufer: Wellen – Erosion – Schutz – Renaturierung“ veröffentlicht. Sie stellen eine erweiterte Synthese der Ergebnisse des Projekts dar und sind damit ein wichtiger Beitrag für ein nachhaltiges Management von Seeuferzonen unter Berücksichtigung der vorhandenen intensiven Nutzungsansprüche und Nachhaltigkeitskonflikte.

An dem Verbundprojekt waren die beiden Arbeitsgruppen Umweltphysik und Aquatische Ökologie am Limnologischen Institut der Universität Konstanz, das Landesamt für Denkmalpflege Baden-Württemberg, das Fraunhofer Institut für Biomedizinische Technik (IBMT), das Institut für Seenforschung der Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW) und das Analyse- und Planungsbüro lana•plan beteiligt.

Ergebnisse

Gemeinsames Verständnis der Seeufer als Übergangslebensräume

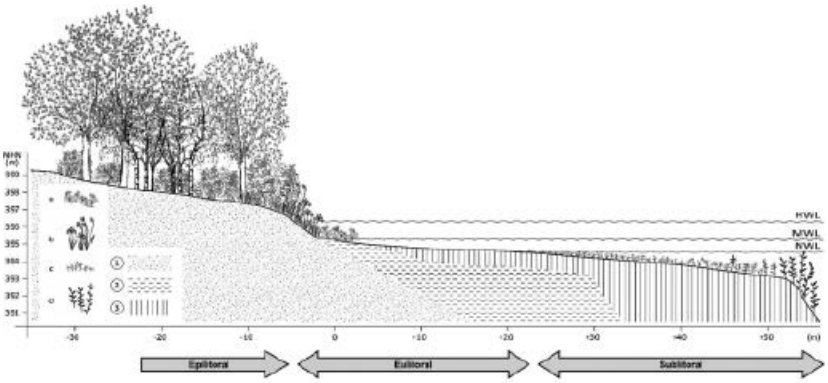
Seeufer weisen aufgrund der strukturellen Vielfalt auf kleinem Raum eine sehr hohe Biodiversität auf, die es zu schützen und zu erhalten gilt. Zudem enthalten viele Voralpenseen archäologische Fundstätten (u. a. UNESCO-Welterbestätten), die in die Feuchtböden und Ufersedimente eingelagert sind [2]. In vielen Teilen Mitteleuropas unterliegen die Seeufer einem zunehmenden anthropogenen Nutzungsdruck, der der Erreichung eines wichtigen Umweltziels der EG-WRRL, des ‚guten (oder besseren) ökologischen Zustands‘ der Wasserkörper entgegensteht.

Eine gemeinsame, möglichst europaweit abgestimmte Vorgehensweise bei der räumlichen Abgrenzung und der ökologischen Klassifikation von Seeufern, bei der quantitativen Erfassung der strukturellen Beeinträchtigungen und der Formulierung von Renaturierungszielen setzt ein gemeinsames Verständnis der natürlichen relevanten Merkmale und Prozesse voraus (Abbildung 1a). Daraus wurde eine praxistaugliche Seeufertypisierung abgeleitet, die den Referenzzustand (naturnaher Zustand) eines Seeuferabschnitts abbildet. Die wichtigsten Merkmale sind:

- durchschnittliche Neigung der Uferplattform
- Wellenenergie-Eintrag
- vorherrschendes Substrat in der Eulitoral-Zone
- Feststoffbilanz im Eulitoral
- typischer Jahresgang des Wasserspiegels
- Vegetationsbedeckung im Eulitoral
- Beschattungswirkung durch Uferbäume oder Felshänge

Auf der Grundlage der Merkmalskombinationen können typspezifische Metrics biotischer Qualitätskomponenten i. S. d. EG-WRRL ermittelt werden. Menschliche Eingriffe und Nutzungen oder stoffliche (Nährstoffe, Eutrophierung) und hydrologische Belastungen (Seespiegelmanipulationen) bleiben zunächst unberücksichtigt. Auf der Grundlage der naturnahen

1 – Molasse, Geschiebe,
2 – Beckenton,
3 – Seekreide;
a – Strandvegetation,
b – Röhrichte,
c – Armleuchteralgenrasen
d – Laichkraut-Bestände;
NHN – Normalhöhennull (DHHN92),
NWL – mittl. Jährliches Niedrigwasser,
MWL – mittl. Mittelwasser,
HWL – mittl. Jährliches Hochwasser



Auffüllung (4)
und Verbau mit einer Ufermauer (5):
Die natürliche zonale Gliederung,
insbesondere in Wasserwechselzone,
ist weitgehend zerstört.

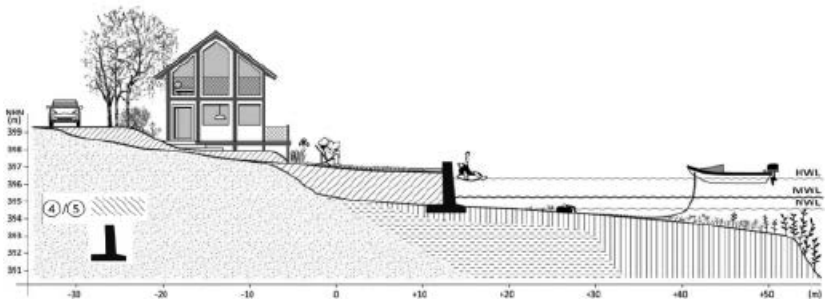


Abb. 1a: Zonale Gliederung eines naturnahen Seeufers an Beispiel des Bodensees (schem.). Abb. 1b: Ufer nach Bebauung (C RBS / Landesamt für Denkmalpflege/Grafik: A. Kalkowski)

Referenzbedingungen kann der Grad der menschlichen Beeinträchtigungen beurteilt werden (Abbildung 1b).

Hydromorphologische Beeinträchtigung der Seeufer

Bei der Zustandsbewertung von Seen nach der EG-WRRL sind auch hydromorphologische Veränderungen zu erfassen. Für die Seeufer sind v. a. die Qualitätskomponenten – ‚Wasserstandsdynamik' und ‚Struktur der Uferzone' von Bedeutung. Die Untersuchungsflächen des HyMoBioStrategie-Projekts wurden nach dem HMS-Verfahren klassifiziert [3]. Abbildung 2 zeigt, dass die Sublitoralzone aller Untersuchungsflächen vergleichsweise gering verändert war. Dies ist ihrer großen seewärtigen Ausdehnung geschuldet und der Tatsache, dass die meist ufernahen anthropogenen Veränderungen nur einen geringen Flächenanteil einnehmen. Im Eulitoral war der Nutzungsdruck bereits bedeutend größer. Noch höher war er mit 4,0 bis 4,4 Indexeinheiten in der Epilitoralzone.

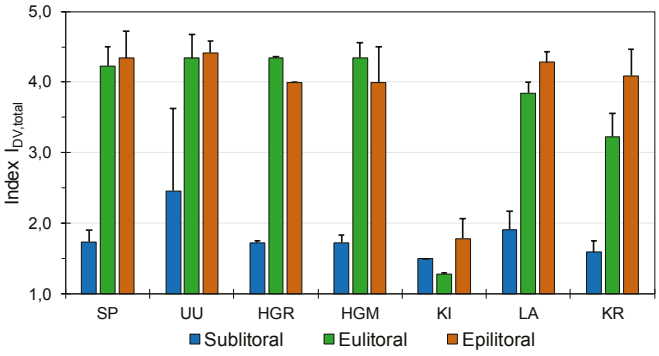


Abb. 2: Uferstruktureller Beeinträchtigungsindex des HMS-Detailverfahrens ($I_{DV,total}$) der Subzonen (Sub-, Eu- und Epilitoral) der Untersuchungsflächen im HyMoBioStrategie-Projekt (Mittelwerte, Standardabweichungen aus n Segmenten von je 50 m Länge): SP – Sipplingen, UU – Unteruhldingen, HGR – Hagnau/Renaturierung, HGM – Hagnau/Mauer, KI – Kirchberg, LA – Langenargen, KR – Kressbronn

Der Uferstruktur-Klassifikation kommt eine Bedeutung zu, die weit über den Wortlaut der EG-WRRL hinausgeht: Uferstrukturelle Veränderungen gegenüber dem naturnahen Referenzzustand sind unmittelbar mit dem Auge wahrnehmbar und werden hinsichtlich der ökologischen Konsequenzen auch von Nicht-Fachleuten im Großen und Ganzen verstanden. Sie bedürfen keiner Indikation durch biotische Qualitätskomponenten, deren Metrics im Übrigen von kaum beeinflussbaren Randbedingungen abhängig und für Nicht-Fachleute schwer nachvollziehbar sind. Uferstruktur-Klassifikationsverfahren sind – im Unterschied zu biotischen Verfahren – szenarientauglich, können also das Ergebnis von Planungsvarianten bei Renaturierungs- oder Entwicklungsvorhaben vorwegnehmen. Damit lassen sie sich bei der Öffentlichkeitsbeteiligung, dem Plangenehmigungs- bzw. Planfeststellungsverfahren und anschließend bei der Erfolgskontrolle einsetzen.

Daher empfiehlt sich die Erfassung der Wasserstandsdynamik und der Uferstruktur als eigenständige Qualitätskomponenten, also nicht lediglich zur Unterstützung der biotischen Qualitätskomponenten (Anh. V Ziff. 1.1.2 WRRL).

Unterwassergeoradar

Die Erfassung und Charakterisierung der Sedimentstratigraphie in der Flachwasserzone von Seen ist aufgrund der geringen horizontalen und vertikalen Ausdehnung lithologischer Einheiten unter Verwendung von klassischen Methoden wie z. B. der Analyse von Sedimentkernen nur begrenzt möglich und liefert lediglich für kleine Flächen repräsentative Informationen. Als Alternative zu den etablierten Methoden wurde im Rahmen des Verbundprojekts HyMoBioStrategie ein Unterwassergeoradar entwickelt und an ersten Anwendungen erprobt [4].

Die vorläufigen Ergebnisse vom Bodensee waren vielversprechend und zeigten erstmals den räumlichen Zusammenhang einer Vielzahl an Strukturen in den meistens stark sandigen Sedimenten der Flachwasserzone (Abbildung 3). Das Unterwassergeoradar ist damit eine neue, vielversprechende Technik zur linienhaften Untersuchung des geologischen Untergrundes größerer Abschnitte der Flachwasserzone. Diese erlaubt es, die Ausgangsituation für Mess- und Monitoring-Programme zum Sohltransport und zur Sedimentumlagerung im Vorfeld zu erfassen und zu optimieren.

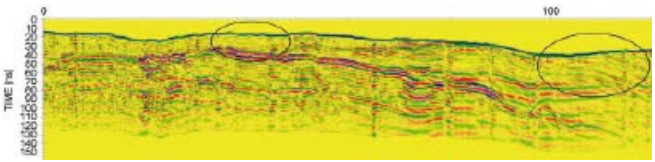


Abb. 3: Das Radargramm aus der Flachwasserzone vor Kressbronn zeigt links deutliche abtauchende ältere Reflektoren, die im rechten Bildteil (seewärts) von jüngeren Schichten (Seesedimente) überlagert werden. Oval rechts: großflächige Erosionsvorgänge. Oval links: ufernah werden die Sedimente von jüngeren geringmächtigen und unstrukturierten Sedimenten abgedeckt

Autonome Messplattform ‚HydroCrawler'

Für die Analyse eines Gewässers oder auch die Planung von Maßnahmen wie z. B. einer Renaturierung ist die genaue Vermessung und Aufnahme des aktuellen Zustandes unerlässlich. Vor diesem Hintergrund wurde ein universell einsetzbares, autonom operierendes Messsystem, der ‚HydroCrawler' (Abbildung 4a), entwickelt [5].

Der ‚HydroCrawler' ist modular aufgebaut und speziell für den Flachwassereinsatz konzipiert. Durch die Genauigkeit des Systems, die sehr guten Steuerungseigenschaften und die hohe Nutzlast, sind nachfolgende Einsatzmöglichkeiten gegeben:

- hochgenaue Vermessung der Sedimenttopographie und -stratigraphie (Abbildung 4b)
- Gewässer-Monitoring
- ständige Begleitung von archäologischen Ausgrabungen
- Objekt- und Vermisstensuche, z. B. Altmunition
- Überwachung von Häfen und Fahrrinnen (z. B. auf Verschlammung)
- Überwachung von technischen Installationen (z. B. Fundamente, Schleusen, Dämme, Spundwände)
- Vermessung von Schiffshüllen

Das Messsystem ‚HydroCrawler' wird aktuell umfassend zur Praxistauglichkeit weiterentwickelt.

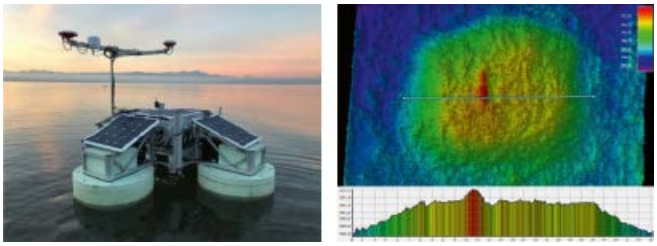


Abb. 4: a) Autonome Messplattform ‚HydroCrawler' auf dem Bodensee. b) hoch aufgelöstes Relief eines Steinhügels von bisher unbekannter Bedeutung in der Flachwasserzone vor Uttwil (CH, Kt. Thurgau)

Charakterisierung und Bewertung hydromorphologischer Bedingungen

Wellen, Strömungen und Sedimenttransport bestimmen die Hydro- und Morphodynamik in der Flachwasserzone von Seen. Ihre Erfassung und Beschreibung ist von großer Bedeutung für die Charakterisierung der abiotischen Bedingungen in der Flachwasserzone, z. B. der Wellenexposition der Ufer (Abbildung 5).

Zur Erfassung dieser Prozesse und ihrer Wechselwirkungen sind sowohl zeitlich als auch räumlich hochaufgelöste Messungen und Modellansätze notwendig [6]. Messungen liefern in diesem Kontext oft nur einen räumlich und/oder zeitlich begrenzten Einblick in die Komplexität der Hydro- und Morphodynamik in der Flachwasserzone von Seen. Numerische Modellansätze ermöglichen im Gegensatz dazu sowohl zeitlich als auch räumlich hochaufgelöste Ergebnisse und somit einen gesamtheitlichen Blick auf die Hydro- und Morphodynamik an Seeufern [6].

Für das nachhaltige Management der Flachwasser- und Uferzonen in Seen lassen sich folgende Empfehlungen als Grundlage für Entscheidungen in der Praxis ableiten:

- Räumlich und zeitlich detaillierte Untersuchungen zur Charakterisierung der hydrodynamischen Exposition von Flachwasserzonen.
- Die Wasserstandsdynamik und vor allem die Uferverbauungen sind als wichtige Einflussgrößen zu berücksichtigen.
- Zur Beurteilung der Sedimentdynamik bedarf es eines gesamtheitlichen Blicks – Berücksichtigung der Kopplung von hydrodynamischen, sedimentologischen und hydromorphologischen Parametern.
- Numerische Modelle sind als Prognose-Tools und Entscheidungshilfen für zukünftige Planungen im Bereich der Seeufer zu etablieren.
- Die vorhandenen Modelle sind einer Validierung mit detaillierten Messungen zu unterziehen, um eine hohe Plausibilität zu gewährleisten.
- Aufgrund der geringen Magnituden der Sedimentdynamik sind neben prozessorientierten Studien auch Langzeitstudien zur Morphodynamik von Seeufern notwendig.

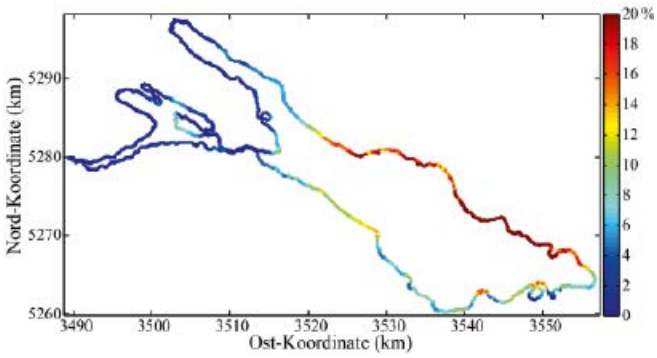


Abb. 5: Räumlich aufgelöste, mittlere Wellenexposition der Ufer rund um den gesamten Bodensee. Die Exposition ist als die relative Häufigkeiten von signifikanten Wellen mit $H_s \geq 0{,}15$ m dargestellt

Messtechniken zur Erfassung des Feststoffhaushalts in der Seeuferzone

Wellen und litorale Strömungen sorgen in Sohlnähe für Feststoffumlagerungen, die zu einer Erniedrigung oder Anhebung des Niveaus führen können [7]. Die Niveauveränderungen wurden mit Erosions-/Akkumulationsmarkern mit lokalem Höhenfixpunkt dokumentiert, die zudem mit Eisen-Kragen zur Erfassung der maximalen Erosionstiefe und einer Ablesehilfe für die Forschungstaucher ausgestattet waren (vertikale Auflösung ±10 mm). In 4,8 % der Messungen zeigten sich signifikante Sohlerniedrigungen (>60 mm) innerhalb eines mehrmonatigen Monitoring-Intervalls. Kurzzeitige Niveaudifferenzen mit einem autonom arbeitenden hydroakustischen Erosionsmarker ergaben im sandigen Litoral eine hohe Sohldynamik durch wandernde Strömungsrippel und – parallel zur Wasserstands- und Vegetationsentwicklung – eine saisonale Dynamik (Abbildung 6).

Zur Erfassung der Suspensions-, Intermediär- und Sohlfracht wurden unterschiedliche, teils neu entwickelte Methoden verwendet, z. B. kontinuierliche Messung der optischen Rückstreustärke mit autonom arbeitenden Trübeloggern und punktuelle Messungen mit litoralen Wasserschöpfer und Sedimentfallen. Bewegungen von Kiesen und Geröllen wurden mit Hilfe von Tracern verfolgt, im einfachsten Fall naturidentische Körner, die mit einer Farbbeschichtung und einem Code versehen waren. Nachteilig ist, dass die Tracer von den Forschungstauchern nicht mehr erkannt werden können, wenn sie mit Sediment bedeckt sind. Hier helfen speziell gefertigte Tracer weiter, die einen Permanentmagnetkern enthalten und mit einem Magnetometer-Array geortet werden können. Tracer aus einem Eisen-Polypropylen-Compound im Fein- und Mittelkiesbereich erlauben quantitative Sohltransportmessungen, indem sie mit einem Ring aus Magnetschienen umgeben werden oder in einem mobilen Rasterrahmen ausgebracht und bei Beendigung des Versuchs mit einem Magnetabscheider wieder eingesammelt werden (Abbildung 7). Die meisten Methoden erwiesen sich als kostengünstig und robust in der Handhabung, und sind damit auch für kleinräumige Routineuntersuchungen geeignet.

Ökologische Auswirkungen von Ufermauern

Weite Uferstrecken mitteleuropäischer Seen sind wasserbaulich befestigt, an Alpenseen gewöhnlich durch Ufermauern. Am Bodensee nehmen Ufermauern 48,5 % der gesamten Uferlänge ein [8]. Die Auswirkungen betreffen neben Unterwasserpflanzen [9] und submers lebenden Tieren (Makrozoobenthos, Fische) auch amphibisch lebende Lurche, Reptilien und Säugertiere und auf indirekte Weise auch bestimmte Vogel- und Fle-

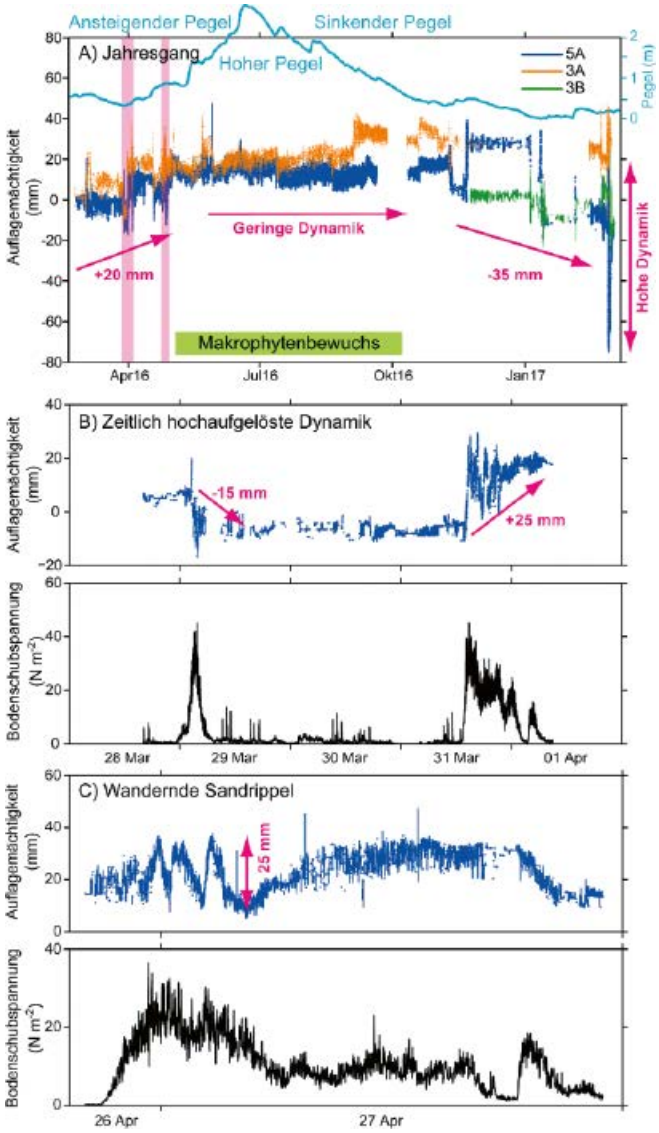


Abb. 6: Zeitlich hochaufgelöste Messung der vertikalen Änderungen der Sedimentoberfläche in der Flachwasserzone des Bodensees (Kressbronner Bucht) zwischen Februar 2016 und März 2017 und der Wasserstandsänderung gemessen am Pegel Konstanz (A). B) Zeitlich aufgelöste Änderung der Sedimenthöhen und der welleninduzierten Bodenschubspannung während zweier Starkwindereignisse zwischen dem 28.3. und 1.4.2016 (linker magentafarbener Balken in A). C) Dynamik und Magnitude wandernder Strömungsrippel während eines Starkwindereignisses zwischen dem 26. und 27.4.2016 (rechter magentafarbener Balken in A)

dermausarten. Die ökologischen Auswirkungen hängen von den Baumerkmalen und weiteren Begleitfaktoren ab, deren komplexes Zusammenwirken nur unzureichend bekannt ist. Daher empfiehlt sich eine vierstufige Vorgehensweise, wie sie am Bodensee getestet wurde [10]: (i) Festlegung der uferstrukturellen Referenzbedingungen (naturnaher Zustand), (ii) Formulierung von Szenarien, die verschiedene Mauer-Typen repräsentieren, (iii) Ableitung von insgesamt elf Ursache-Wirkungskomplexen anhand bekannter hydrodynamischer Fakten und des bekannten ökologischen Verhaltens potenziell betroffener Artengruppen. Hierbei halfen uns 27 Fachleute, die eine lokale Expertise für eine oder mehrere Tier- und Pflanzengruppen hatten. In einem vierten Schritt wurden (iv) die Auswirkungen von zunächst zwei Wirkungskomplexen („Verstärkung von Turbulenzen und Strömungen“, „Feinmaterial-Austrag durch häufigere Sediment-Umlagerungen“) auf Unterwasserrasen und Makrozoobenthos untersucht: In den Sedimenten vor einer Ufermauer waren die Fraktionen Ton bis Mittelsand gegenüber der Referenzfläche abgereichert und die Transport-Kenngrößen von FePP-Tracern stark erhöht (Abbildung 7). Als Konsequenz daraus waren in einem Streifen von ca. 3 m Breite vor der Ufermauer die Phytomasse und die Individuendichte des Makrozoobenthos signifikant erniedrigt. Den Expertenmeinungen zufolge sind jedoch amphibische und angrenzende terrestrische Lebensräume mindestens ebenso stark betroffen sind wie die aquatischen Biozönosen.

See ⇔ Land	KBN Tracer 2,0 – 2,5 mm (fFG)							HGM Tracer 2,0 – 2,5 mm (fFG)						
	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3
-0,1	0	0	0	0	0	0	0	9	21	64	52	20	6	0
-0,3	0	0	0	0	0	0	0	8	17	39	44	31	10	0
-0,5	0	0	1	107	3	0	0	9	21	44	57	40	1	0
-0,7	0	0	66	765	8	0	0	5	6	16	73	23	0	1
-0,9	0	0	0	26	0	0	0	0	3	6	9	30	10	0
-1,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	2	0
-1,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2

Abb. 7: Verteilung der magnetischen Fe-PP-Tracer (Kornklasse feiner Feinkies) am Ende eines 13-tägigen Transportversuchs in KBN (Kirchberg, naturnahes Ufer, 0,21 m unter mittl. Niedrigwasser) und HGM (Hagnau, mauerbewehrtes Ufer, 0,8 bis 1,2 m vor der Mauerfront, 0,16 m unter mittl. Niedrigwasserspiegel). Die x- und y-Koordinaten (m) der geometrischen Schwerpunkte der Rasterzellen sind grau unterlegt, die seeseitige Richtung von der Basislinie ist negativ abgetragen. Die Ziffern in den Zellen geben die relative Häufigkeit der Tracer (‰ der eingesetzten Anzahl) wieder. Die Zellen, in die das Material am Anfang des Versuchs eingebracht wurde, sind dick umrahmt

Die Fahrgastschifffahrt als Stressor in der Flachwasserzone von Seen

Die Schifffahrt und die damit verbundene Infrastruktur sind ein bedeutender Stressor in der Flachwasserzone von Seen mit Auswirkungen auf das Wellenklima, den Feststoffhaushalt und die Biozönosen. Eine detaillierte Übersicht über die Problemlage, die Eigenschaften von Schiffswellen sowie deren spezifische Auswirkungen auf die Umlagerung und Erosion von Sedimenten (Abbildung 8), die Qualitätsindikatoren der EG-WRRL und den Erhaltungszustand archäologischer Unterwasserdenkmäler gibt [11].

Aus umweltwissenschaftlicher Sicht sind kurzfristige, in der Praxis leicht umzusetzende, als auch langfristig angelegte Maßnahmen notwendig:

- Anpassung der Fahrpläne – Zeit für moderate An- und Ablegemanöver und für langsamere Fahrten,
- Geschwindigkeitsreduktion bei uferparalleler Fahrt und bei der Fahrt von und zu den Landestellen,
- Anpassung der Schiffsrouten: i) weniger uferparallele Routen durch Verlegung der etablierten Routen, ii) strikte Rück-

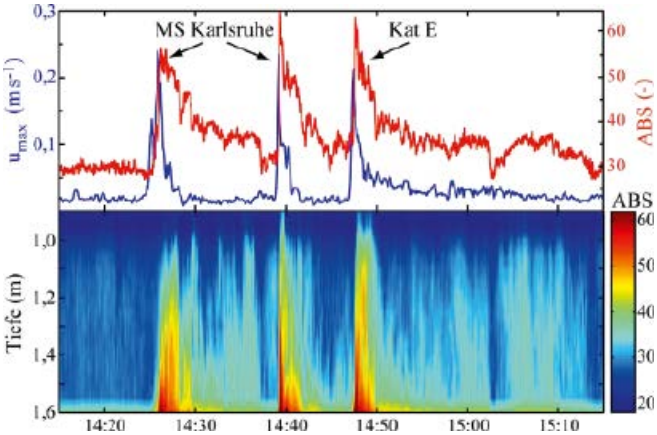


Abb. 8: Welleninduzierte bodennahe Strömungsgeschwindigkeit u_{max} und akustische Rückstreustärke (ABS) nach dem Auslaufen (Peak: 14:27 Uhr) und Einlaufen (Peak: 14:39 Uhr) des Fahrgastschiffs MS Karlsruhe und nach der Passage eines einlaufenden Katamarans (Kat E) im Bereich des Konstanzer Trichters (Bodensee)

Abb. 9: Archäologischer Forschungstaucher bei der Arbeit. In einer kleinen Sondagefläche werden die Oberfläche freigelegt, Funde geborgen und Hölzer verprobt (gelbes Schildchen), um den Erhaltungszustand der Kulturschichten zu kontrollieren

sichtnahme auf die 300 m-Uferzone auch für an- und abfahrende Fahrgastschiffe,

- keine weitere Intensivierung der Charterfahrten vor allem zu Zeiten niedriger Wasserspiegel z. B. im Winterhalbjahr,
- Sensibilisierung der Schiffsführer durch Schulungen und veränderte Dienstanweisungen,
- An- und Ablegemanöver, die geeignet sind, die Strahlwirkung der Propeller im Bereich des Anlegers zu reduzieren,
- Prüfung schiffsbautechnischer Veränderungen an den Schiffen, um bei den typischen Fahrtgeschwindigkeiten die erzeugte Wellenhöhe zu reduzieren,
- Begrenzung des Trends zu immer größeren Schiffen,
- Aufzeichnung und anonymisierte Auswertung der Schiffskurse zum Erkennen besonders problematischer Kurse.

Das zukünftige Management der Uferzone sollte nicht nur auf die Reduktion der direkten anthropogenen Wirkungen der Schifffahrt abzielen, sondern auch die damit verbundene Infrastruktur mit in die Betrachtungen einbeziehen [3].

Archäologische Denkmalpflege in der Uferzone des Bodensees

Im wassergesättigten Milieu von Seeufern und Mooren haben sich bedeutende stein- und bronzezeitliche Siedlungsreste erhalten. Die „Prähistorischen Pfahlbauten um die Alpen“ sind seit 2011 ein serielles, transnationales UNESCO-Welterbe.

Bereits seit ihrer Entdeckung Mitte des 19. Jahrhunderts, spätestens aber mit dem Aufbau einer systematischen Betreuung in den 1980er Jahren wurde deutlich, dass viele Siedlungsreste entlang der Seeufer einer andauernden Zerstörung u. a. durch Uferverbau, Wellentätigkeit und Erosion ausgesetzt sind [12]. Zum Schutz der Fundstellen in der sensiblen Flachwasserzone ist eine enge Zusammenarbeit mit Fachbehörden des Gewässer- und des Naturschutzes bei der Umsetzung von Schutzmaßnahmen, der Identifizierung potenzieller Gefährdungen (Seespiegeltrends, Neozoen) und im laufenden Monitoring notwendig (Abbildung 9).

Als Schutzmaßnahmen haben sich Kombinationen von Geotextil und Schüttung bewährt, wobei wabenförmige Schüttungsriegel Material und Aufwand sparen. Lokales Material mit einem breiten Korngrößenspektrum im Mittel- und Grobkiesbereich ist wasserbaulich stabil und begünstigt die Ansiedlung von Makrophyten [9] und Makrozoobenthos. Zur Optimierung künftiger Maßnahmen sollten vorgängig die zu erwartenden veränderten Wellenfelder bzw. Sedimentbilanzen modelliert werden.

Im Zuge des HyMoBioStrategie-Projekts wurden bisherige Untersuchungen und Maßnahmen zu einem systematischen Monitoringplan zusammengeführt. Nur auf der Grundlage regelmäßiger, quantitativer und langfristiger Beobachtungen können Veränderungen in den einzelnen Fundstellen erkannt und individuelle Gefährdungsanalysen vorgenommen werden.

Uferrenaturierungen am Bodensee

Das baden-württembergische Ufer des Bodensee-Obersees, ausgewiesen als eigener Wasserkörper im Sinne der EG-WRRL, ist zu etwa 50 % hartverbaut oder erheblich verändert. Damit verfehlt es den „guten ökologischen Zustand“. Als Maßnahme bieten sich Uferrenaturierungen an, z. B. Abböschungen, die von der Ufermauer ab bis ins Hinterland laufen [13]. Dabei werden häufig Eigentums- oder Nutzungsrechte privater Anlieger tangiert. Deswegen legt das Land Baden-Württemberg großen Wert auf detaillierte und transparente Planungs- und Durchführungsschritte unter Beteiligung der Bürger und Interessierten im Rahmen der Öffentlichkeitsbeteiligung.

Zunächst ist festzustellen, ob ein Defizit am Ufer besteht, und worin im Detail der Verbesserungsbedarf zu sehen ist. In der Vorplanungsphase sind viele Aspekte zu berücksichtigen, z. B. die Bauherrschaft, die Planungs- und Baukosten sowie Synergieeffekte durch gemeinsame Planungen des Landesbetriebs Gewässer (Renaturierung) und einer Ufergemeinde (Ausweitung der Erholungsinfrastruktur). Es sollten frühzeitig Gespräche mit den am Verfahren beteiligten Behörden und Ge-

Abb. 10: Uferrenaturierung in Sipplingen am Überlinger See (Bodensee): Eine eigendynamische Entwicklung muss langfristig möglich sein. Foto kurz nach Fertigstellung der Renaturierung

meinden geführt werden. So wirken die Behörden richtungsweisend mit und verhindern Verzögerungen.

Bei der nachfolgenden Ausschreibung und Vergabe der Bauleistungen sowie beim Bau der Renaturierung ist eine ökologische Baubegleitung wichtig. Daneben sollten der Bauunternehmer und seine Subunternehmer gegenüber den besonderen ökologischen Belangen einer Uferrenaturierung sensibilisiert sein. Durch regelmäßige Baustellenbesichtigungen können offene Fragen oder unvorhergesehene Probleme rasch beseitigt werden. Auch nach der Bauabnahme sind die Betreuung und ein ökologisches Monitoring zu empfehlen, um unerwünschte Nutzungen, die dem Renaturierungsziel entgegenstehen, zu erkennen und zu unterbinden (Abbildung 10).

Schlussfolgerungen

Die Erfassung, ökologische Bewertung und Renaturierung anthropogener, hydromorphologischer Eingriffe an Seeufern erfordern umfassende konzeptionelle und methodische Ansätze. Diese wurden im ReWaM-Verbundprojekt HyMoBioStrategie erarbeitet und in Handlungsempfehlungen für die Praxis zusammengefasst. Die hauptsächlichen Ergebnisse umfassen:

- neue Messmethoden und Modellsysteme zur Charakterisierung und Quantifizierung des Feststofftransportes in der Flachwasserzone von Seen,
- hochauflösende, flächendeckende Vermessung der Seebodentopographie und Sedimentstratigraphie (Hydrocrawler, Unterwassergeoradar),
- Beiträge zur Verbesserung der Beurteilungsverfahren des ökologischen Zustands von Seeufern gemäß EG-WRRL anhand der beiden biotischen Qualitätskomponenten Makrophyten und Makrozoobenthos,
- weiterentwickelte Qualitäts- und Monitoringstandards im Zuge von Seeuferrenaturierungen basierend auf dem IGKB-Renaturierungsleitfaden,
- Weiterentwicklung von Monitoringverfahren zur Einschätzung des Zustandes und der Gefährdung von Unterwasserdenkmälern,
- Handlungsempfehlungen zum nachhaltigen Management von Flachwasserzonen in Seen.

Die Handlungsempfehlungen bilden den aktuellen Stand der Forschung auf diesem Gebiet ab und sind ein wichtiger Baustein zu einem nachhaltigen Management von Seeuferzonen unter Berücksichtigung der vorhandenen intensiven Nutzungsansprüche und Nachhaltigkeitskonflikte.

Die thematisch breit gefächerten Handlungsempfehlungen sollen über den aktuellen Wissensstand hinaus all denjenigen Impulse für die angewandte Forschung, Anregungen für die Implementierung in die Praxis und Denkanstöße für die zukünftige Arbeit geben, denen das nachhaltige Management der Seeuferzone am Herzen liegt.

Die Handlungsempfehlungen „Seeufer: Wellen – Erosion – Schutz – Renaturierung“ stehen unter folgendem Link zum kostenlosen Download zur Verfügung: *https://dx.doi.org/10.18148/KOPS/HMBS.2018.001*

Danksagung

Unser Dank gilt unseren wissenschaftlichen und technischen Mitarbeiter*innen, studentischen Hilfskräften und Forschungstauchern, ohne deren Ausdauer und Einsatzbereitschaft, namentlich bei schwierigen Arbeiten auf dem See, das Verbundprojekt nicht so erfolgreich hätte abgeschlossen werden können.

Nicht zuletzt möchten wir uns bei allen assoziierten Projektpartnern für die anregenden Diskussionen und bei vielen, hier

Anzeige

Unser Expertentipp

WebSeminar

Ökologische Baubegleitung beim Gewässerbau
29. Juli 2020
14:00 – 15:00 Uhr online
96,00 €/80,00 €**

DWA-M 504-1

Ermittlung der Verdunstung von Land- und Wasserflächen – Teil 1: Grundlagen, experimentelle Bestimmung der Landverdunstung, Gewässerverdunstung
Juli 2018
142 Seiten, A4
ISBN 978-3-88721-582-8
113,00 €/90,40 €*

DWA-M 612

Gewässerrandstreifen – Uferstreifen – Gewässerentwicklungskorridore: Grundlagen und Funktionen, Hinweise zur Gestaltung, Beispiele
Mai 2020
103 Seiten, A4
ISBN 978-3-88721-950-5
113,00 €/90,40 €*

*) für fördernde DWA-Mitglieder
**) für DWA-Mitglieder

nicht namentlich zu nennenden Personen am See für ihr Entgegenkommen und ihre vielfältige Unterstützung bedanken.

Unser besonderer Dank gilt dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) für die finanzielle Unterstützung des Projekts, dem Projektträger Jülich (PTJ) für die Projektbegleitung, dem Vernetzungs- und Transfervorhaben ReWaMnet für die Vernetzung zwischen den Forschungsverbünden und die Sichtbarkeit des Projekts, außerdem den lokalen Behörden für die vielfältigen Unterstützungen.

Literatur

[1] Hofmann, H. und Ostendorp, W. (Hrsg.): *Seeufer: Wellen – Erosion – Schutz – Renaturierung: Handlungsempfehlungen für den Gewässerschutz: Ergebnisse aus dem ReWaM-Verbundprojekt HyMoBioStrategie (2015-2018)*. 1. Auflage, 155 S., Universität Konstanz, ISBN 978-3-89318-080-6

[2] Ostendorp, W. (2019): *Seen und ihre Ufer*. In: Hofmann, H. und Ostendorp, W. (Hrsg.), S. 7–16.

[3] Ostendorp, W. und Hofmann, H. (2019): *Hydromorphologie der Seeufer*. In: Hofmann, H. und Ostendorp, W. (Hrsg.), S. 17–30.

[4] Wessels, M. und Hornung, J. (2019): *Unterwassergeoradar zur Untersuchung von Sedimenten der Flachwasserzone*. In: Hofmann, H. und Ostendorp, W. (Hrsg.), S. 31–36.

[5] Degel, C. (2019): *Autonome Messplattform ‚HydroCrawler' – System zur hochauflösenden Gewässervermessung*. In: Hofmann, H. und Ostendorp, W. (Hrsg.), S. 37–44.

[6] Hofmann, H. (2019): *Messung und Modellierung von Wellen, Strömungen und Sedimenttransport in der Flachwasserzone von Seen*. In: Hofmann, H. und Ostendorp, W. (Hrsg.), S. 45–64.

[7] Ostendorp, W., Degel, C., Ebersbach, E., Schlichtherle, H. und Hofmann, H. (2019): *Messtechniken zur Erfassung des Feststoffhaushalts in der Seeuferzone*. In: Hofmann, H. und Ostendorp, W. (Hrsg.), S. 65–84.

[8] IGKB, Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee (2006): *Bodensee-Uferbewertung. Mehrseitiges Faltblatt, mit Erläuterungen*. www.igkb.org/fileadmin/user_upload/dokumente/bowis/uferbewertung_netzversion.pdf.

[9] van de Weyer, K., Meis, S., Becker, E. und Ostendorp, W. (2019): *ReWaM – Verbundprojekt HyMoBioStrategie: Auswirkungen hydromorphologischer Veränderungen von Seeufern (Bodensee) auf den Feststoffhaushalt, submerse Makrophyten und Makrozoobenthos-Biozönosen mit dem Ziel der Optimierung von Mitigationsstrategien; TP 5: Makrophyten unter dem Einfluss hydromorphologischer Belastungen, https://doi.org/10.2314/KXP:1668861917*.

[10] Ostendorp, W., Salvarina, I. und Rothhaupt, K.-O. (2019): *Ökologische Auswirkungen von Seeufermauern*. In: Hofmann, H. und Ostendorp, W. (Hrsg.), S. 85–96.

[11] Hofmann, H., Salvarina, I., Rothhaupt, K.-O., Wessels, M. und Ostendorp, W. (2019): *Die Fahrgastschifffahrt als Stressor in der Flachwasserzone von Seen*. In: Hofmann, H. und Ostendorp, W. (Hrsg.), S. 97–116.

[12] Ebersbach, R., Mainberger, M., Goldhammer, J. und Ostendorp, W. (2019): *Archäologische Denkmalpflege in der Uferzone des Bodensees*. In: Hofmann, H. und Ostendorp, W. (Hrsg.), S. 117–126.

[13] Aydin, M. (2019): *Uferrenaturierungen am Bodensee – Empfehlungen des Regierungspräsidiums Tübingen*, Landesbetrieb Gewässer. In: Hofmann, H. und Ostendorp, W. (Hrsg.), S. 127–138.

Autorinnen und Autoren

Dr. rer. nat., Dipl.-Ing. Hilmar Hofmann
PD Dr. Wolfgang Ostendorp
Arbeitsgruppe Umweltphysik
Limnologisches Institut
Universität Konstanz
Mainaustraße 252
78464 Konstanz

E-Mail: hilmar.hofmann@uni-konstanz.de
wolfgang.ostendorp@uni-konstanz.de

Bauingenieur B. Eng. Murat Aydin
Regierungspräsidium Tübingen
Ref. 53.2 – Gewässer I. Ordnung, Hochwasserschutz und Gewässerökologie Neckar – Bodensee
Konrad-Adenauer-Straße 20
72072 Tübingen

E-Mail: murat.aydin@rpt.bwl.de

Dipl.-Ing. Christian Degel
Fraunhofer-Institut für Biomedizinische Technik (IBMT)
Hauptabteilung Ultraschall
Joseph-von-Fraunhofer-Weg 1
66280 Sulzbach

E-Mail: christian.degel@ibmt.fraunhofer.de

Dr. Renate Ebersbach
Landesamt für Denkmalpflege im Reg.-Präsidium Stuttgart
Fachgebiet Feuchtbodenarchäologie
Fischersteig 9
78343 Gaienhofen-Hemmenhofen

E-Mail: renate.ebersbach@rps.bwl.de

Dr. Martin Wessels
Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg
Institut für Seenforschung
Argenweg 50/1
88085 Langenargen

E-Mail: martin.wessels@lubw.bwl.de

Dr. Klaus van de Weyer
Analyse- und Planungsbüro lana•plan GbR
Lobbericher Straße 5
41334 Nettetal

E-Mail: klaus.vdweyer@lanaplan.de

KW