Untersuchung von Renaturierungskonzepten am Seeufer Gals, Bielersee

Anne Schiefer, Christoph Iseli, Azin Amini, Giovanni De Cesare

Zusammenfassung

Das Thema der Masterarbeit war eine Analyse des ökologischen Aufwertungspotentials am Seeufer Gals (Bielersee, Schweiz), welche mithilfe einer hydrodynamisch-numerischen Modellierung mit der Software MIKE 21 und Bestimmung von Makrophyten vorgenommen wurde. Unter der Annahme von zwei unterschiedlich starken Windszenarien wurden die windinduzierten signifikanten Wellenhöhen und die welleninduzierten Strömungen für verschiedene Varianten simuliert. Die Ergebnisse der Modellierungen zeigten, ob die in den Varianten geplanten Massnahmen eine Reduzierung der Wellenhöhen und der Strömungen verursachen. Das Hauptziel war, Bedingungen zu schaffen, welche den Habitatsansprüchen von Makrophyten zusagen und somit eine Neuansiedlung von Makrophytenarten an dem Seeufer Gals möglich machen und gleichzeitig die Wellenbelastung auf das Ufer zu verringern, um eine fortschreitende Erosion zu vermeiden. Mithilfe einiger Massnahmen konnten erfolgsversprechende Ergebnisse erzielt werden, die zu einer Verbesserung der aktuellen Situation führen würden. Es wurde ebenfalls gezeigt, dass Makrophyten für die Beurteilung eine bedeutende Rolle spielen, doch eine Bewertung nur anhand von ihnen sehr schwierig ist, da sie nicht nur auf Wellen- und Strömungsbedingungen, sondern auf weitere Faktoren und zudem extrem schnell auf deren Veränderungen reagieren. Die Studie wurde im Rahmen einer Masterarbeit an der TU Dresden im Landschaftswerk Biel-Seeland durchgeführt.

Keywords

Seeuferrenaturierung, MIKE 21, Wellen- und Strömungsmodellierung, Makrophyten, Ökologische Aufwertung, Habitate

Recherche sur des concepts de renaturation à la rive de Gals, lac de Bienne

Résumé

Le sujet du travail de master est l'analyse du potentiel de revalorisation écologique à la rive de Gals (lac de Bienne, Suisse), effectuée à l'aide d'une modélisation hydrodynamique-numérique avec le logiciel MIKE 21 et avec la détermination des macrophytes. Dans l'hypothèse de deux scénarios éoliens de force différente, on a simulé des houles significatives induites par le vent et les courants induits par les houles pour des variantes différentes. Les résultats des modélisations montraient si les mesures envisagées dans les variantes pouvaient causer une réduction de la hauteur des vagues et des courants. Le but principal était de créer des conditions satisfaisant les besoins d'habitat des macrophytes, rendant ainsi possible la réinstallation d'espèces de macrophytes dans la rive de Gals et, en même temps, de réduire la pression due au battement des vagues sur la rive afin d'éviter une érosion progressive. A l'aide de quelques mesures, on a pu obtenir des résultats prometteurs pouvant mener à une amélioration de la situation actuelle. On a également montré que les macrophytes jouent un rôle important pour l'évaluation, mais qu'une estimation basée uniquement ces derniers est très difficile, car ils ne réagissent non seulement aux conditions de vagues et d'écoulement mais aussi à des facteurs supplémentaires dont la modification entraîne une réaction d'autant plus rapide. La recherche a été effectuée dans le cadre d'un travail de master de l'Université technique de Dresden dans la région de Bienne-Seeland.

Mots-clés

Renaturation de rives, MIKE 21, modélisation de vagues et d'écoulement, macrophytes, valorisation écologique, habitats

Ricerca su dei concetti di rinaturazione della riva di Gals, sul lago di Bienne

Riassunto

Il soggetto di questo lavoro di master è l'analisi del potenziale di rivalorizzazione ecologica della riva di Gals (lago di Bienne, Svizzera), eseguita con l'aiuto di modelli idrodinamico-numerici del software MIKE21 e con la determinazione dei macrofiti. Ipotizzando due scenari con venti d'intensità differenti, sono state simulate delle rispettive onde e correnti, secondo diverse varianti. I risultati dei modelli mostravano se le protezioni previste nei vari casi erano in misura di ridurre l'altezza delle onde e l'intensità delle correnti. L'obiettivo principale era quello di creare le condizioni necessarie all'habitat dei macrofiti, rendendo così possibile il loro ritorno lungo la riva di Gals e, allo stesso tempo, attenuare l'azione delle onde sulla riva, evitando una graduale erosione. Prendendo qualche provvedimento, si sono ottenuti risultati promettenti che potrebbero portare a un miglioramento della situazione attuale. È stato anche mostrato come i macrofiti abbiano un ruolo importante per la valutazione, ma che una stima basata unicamente su di essi è molto difficile, poiché non reagiscono solamente alle onde e alle correnti, ma anche ad altri fattori la cui modificazione comporta una reazione molto rapida. La ricerca è stata condotta nell'ambito di un lavoro di Master dell'Università tecnica di Dresden, nella regione di Bienna-Seeland.

Parole chiave

Rinaturazione delle rive, MIKE 21, modelli di onde e di corrente, macrofiti, valorizzazione ecologica, habitat

1. Einleitung

Seen und ihre Ufer spielen eine sehr wichtige Rolle für Flora und Fauna, aber auch für den Menschen. Allerdings ist ein typisch natürlicher See mit seinen Schilf- und Binsenbeständen, seinen Flachufern und seinen Schwimmblattzonen in der heutigen Zeit nur noch selten anzutreffen. Der anthropogene Einfluss auf die Seen und seine Ufer nimmt immer weiter zu und durch die Einleitung von schädlichen Nährstoffen wurden und werden Seen dauerhaft geschädigt. Hinzu kommt, dass eine harte Verbauung der Ufer die natürlichen hydrodynamischen Prozesse stark einschränkt. All diese Einwirkungen führen zu einer Verschlechterung der Zustände. Dies hat zur Folge, dass die Artenvielfalt der Flora und Fauna zurückgeht, was wiederum weitere Auswirkungen mit sich zieht. Durch den Rückgang der Makrophyten- und Schilfbestände verliert die Sohle der Ufer an Stabilität, weshalb die Erosionsbelastung infolge von Wellenschlag zunimmt. Die Folge der harten Uferverbauung hat wiederum Auswirkungen auf die Lebensbedingungen der Makrophyten- und Schilfbestände, welche zu hohe Wellenbelastungen nicht vertragen und ganz verschwinden.

Dank der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie in Deutschland und dem Gewässerschutzgesetz in der Schweiz sind erste Schritte eingeleitet worden, um eine Verbesserung der Ist-Zustände von Oberflächengewässern zu erreichen. Ein Ziel der gesetzlichen Festlegungen ist es, naturnahe Fliessgewässer und Seeufer zu erhalten, wiederherzustellen und somit die Ökosystemleistung über längere Zeit zu optimieren. Ein umfassender Schutz und die Aufwertung von Seen und Ufer setzen Kenntnisse über deren Zustand voraus. Allerdings herrschen diesbezüglich noch große Unsicherheiten und Unwissen. Anhand von verschiedenen Methoden können die biologischen, chemischen und physikalischen Zustände erfasst und beurteilt werden, jedoch befinden sich viele Methoden noch in der Entwicklungsphase.

2. Fragestellung

Am Bielersee befindet sich ein Uferabschnitt zwischen der Mündung der Zihl und dem Strandbad Erlach, welcher ein großes ökologisches Aufwertungspotential besitzt. Das zu untersuchende Gebiet liegt zum Grossteil im Eigentum des Kantons Bern und im kantonalen Naturschutzgebiet ‚Seeufer Gals'. Das Ziel der Masterarbeit bestand darin, eine fundierte Aussage über verschiedene Konzepte für die ökologisch ausgerichtete wasserbauliche Umgestaltung des Seeufers Gals zu treffen. Mithilfe einer numerischen Untersuchung wurden qualitative Aussagen über mögliche Renaturierungskonzepte erarbeitet. Im Anschluss daran wurde die potentiell ökologische Wirksamkeit der Konzepte anhand bereits existierenden Expertenwissens über die Habitatsansprüche von Makrophyten und die Wirksamkeit der Massnahmen anhand der Ökomorphologie untersucht. Mit Hilfe des Landschaftswerks Biel-Seeland erfolgte zunächst die Erhebung des Ist-Zustandes im Untersuchungsgebiet anhand von verfügbaren (Luftbildern, Substraterhebung, Kenntnis über vorliegende Vegetation) und selbsterhobenen Daten (grobe Vermessung und Makrophytenaufnahme). Diese Daten stellten die Grundlage für die Erstellung eines zweidimensionalen hydrodynamisch-numerischen Modells mit der Software MIKE 21 dar. Die Modellerstellung erfolgte in Zusammenarbeit mit dem Laboratoire de constructions hydrauliques (LCH) der École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL). Anhand der Ergebnisse der Modellierung und der Resultate der Literaturrecherche wurden daraus Renaturierungsmassnahmen für das Seeufer definiert.

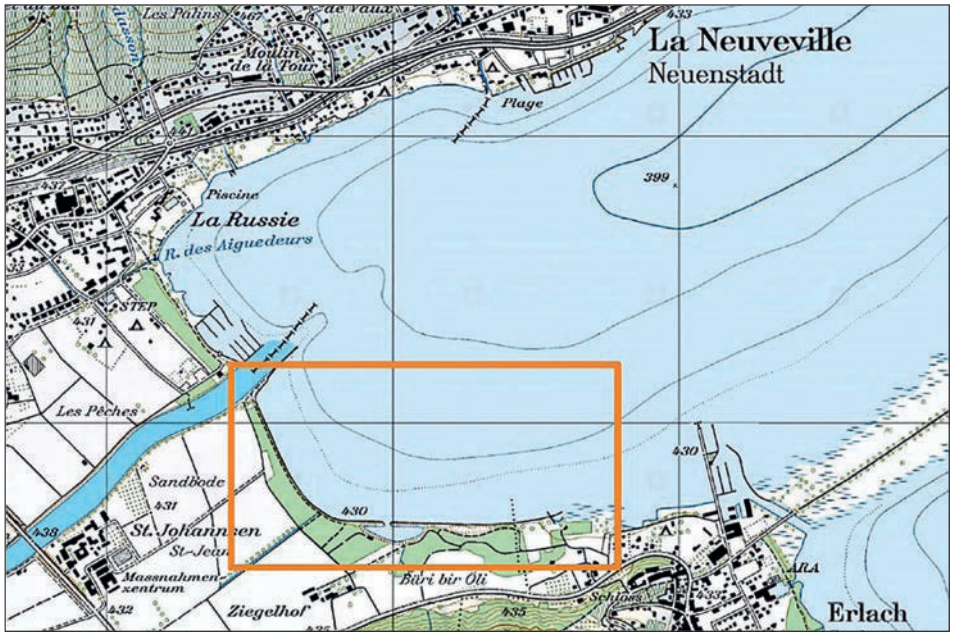

Abbildung 1: Untersuchungsgebiet Gals zwischen Zihlkanal und Strandbad Erlach (Iseli, 2015).
Figure 1: Région analysée de Gals entre le canal de la Thielle et la piscine à Erlach (Iseli, 2015).

3. Projektspezifische Grundlagen und Analysen

Die Uferzone weist die höchste Biodiversität auf und sie dient zudem als Pufferzone, da das Gewässer landseits vor schädlichen Stoffeinträgen geschützt wird (Zerbe und Wiegleb, 2009). Der Nutzungsdruck auf die Seen und ihre Ufer nimmt immer weiter zu, unter anderem durch den Tourismus, aber auch wegen anthropogenen Baumassnahmen. Dabei handelt es sich grösstenteils um Baumassnahmen zum Schutz vor einer fortschreitenden Erosion. Unter anderem durch Auffüllungen und Uferbefestigungen wurden die Uferlinien stark morphologisch verändert, weshalb von einem naturnahen Zustand an den Seeufern nicht mehr ausgegangen werden kann. Laut der gesetzlichen Regelungen in Deutschland und der Schweiz resultiert daraus eine Missachtung der Gewässerschutzziele (Ostendorp, 2014).

Der gesetzlich festgelegte Gewässerschutz geht von einer Verbesserung des ökologischen Zustandes aus, weshalb dringend Massnahmen getroffen wer-

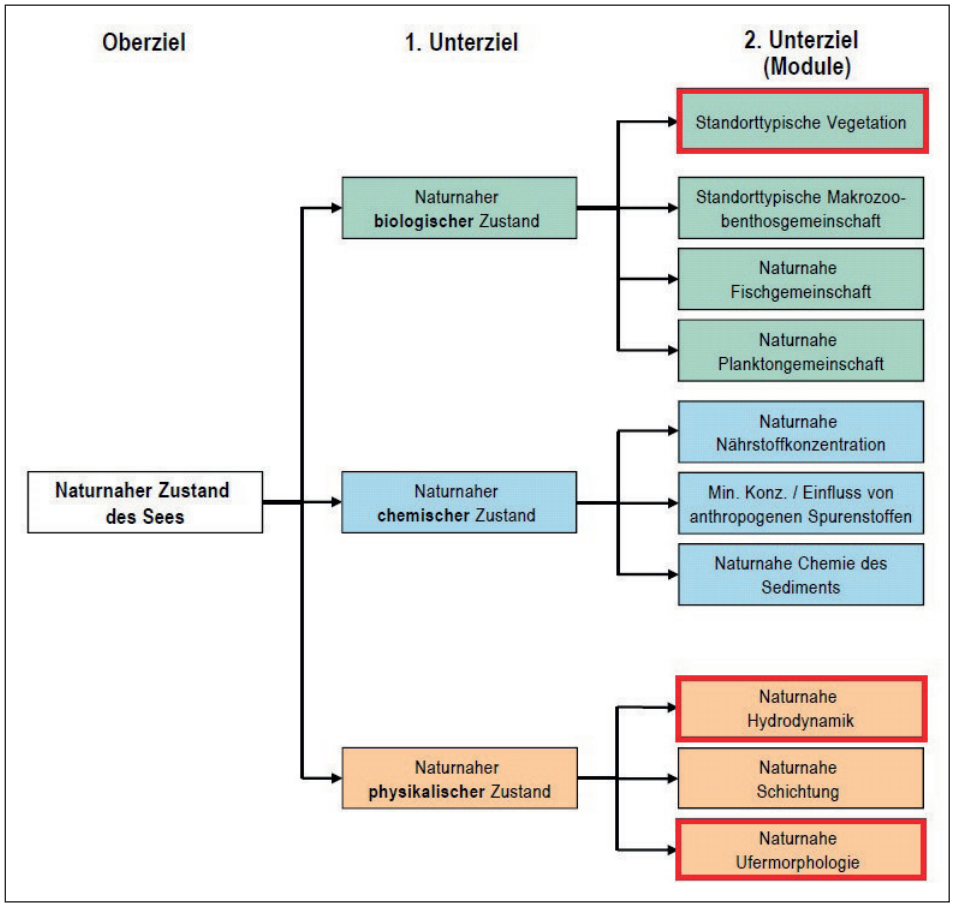

Abbildung 2: Wichtige Unterziele des Modul-Stufen-Konzeptes (Schlosser et al, 2013).
Figure 2: Sous-objectifs importants du concept modulaire gradué (Schlosser et al, 2013).

den müssen, um diesen zu verbessern. Wie bei der Fliessgewässerrenaturierung handelt es sich bei den Seeufern um eine leitbildorientierte Rückführung eines bereits beschädigten Abschnitts in einen naturnahen Zustand.

Modul-Stufen-Konzept

Damit die Renaturierung von Seeufern ebenfalls so erfolgreich wird wie bei den Fliessgewässern, wurde das Modul-Stufen-Konzept auf die Seen adaptiert. Dies ermöglicht eine systematische Erfassung der Grundlagen und damit eine Vergleichbarkeit unter den Seen. Mit Hilfe dieses Ansatzes können für einen umfassenden Seeuferschutz verschiedene Strategien und Massnahmenkonzepte formuliert werden. Der Anspruch der Seeuferrenaturierung liegt in der ökologischen Aufwertung, wobei zunächst die ökologischen Ziele genauer definiert werden müssen. Eine Abarbeitung der einzelnen Module ist sehr sinnvoll, um abschätzen zu können, wo Wissenslücken bestehen. Bei den ausgewählten Untersuchungspunkten handelt es sich um wichtige Unterziele des Modul-Stufen-Konzeptes, wie es auch in Abbildung 2 dargestellt ist.

Makrophyten

Das Modul «Standorttypische Vegetation» beinhaltet neben der typischen Ufersaumvegetation ebenfalls Makrophyten. Die Unterwasservegetation der Flachwasserzone stellt einen sehr wichtigen Indikator dar. Anhand deren Kenntnisse lassen sich Rückschlüsse auf den chemischen Zustand des Gewässers, die Stabilität der Sedimente (Erosion und Brandung), den Zustand der aquatischen Lebensräume und den Einfluss von Wasserbewegungen schliessen (Niederberger et al., 2013). Aufgrund ihrer schnellen Reaktion auf biologische, chemische oder physikalische Veränderungen im Wasser sind sie sehr gut für eine Charakterisierung von Uferabschnitten geeignet. Diese Tatsache war ein entscheidender Grund, warum für die ökologische Abschätzung die Bestimmung von Makrophyten hinzugezogen wurde.

Das Ziel der Untersuchung war, eine Aussage treffen zu können, welche Makrophytenarten sich in dem Untersuchungsgebiet befinden, welche Information über den Zustand des Gewässers sich daraus ableiten lässt, welche Arten zu einer Verbesserung beitragen würden und wie deren Artenvielfalt gesteigert werden kann.

Die Probenahme der Makrophyten fand im August 2015 statt und wurde seeseitig mit Hilfe eines Bootes durchgeführt. Eine ausführliche Bestimmung der Makrophyten erfolgte in Zusammenarbeit mit dem Gewässer- und Bodenschutzlabor des Amtes für Wasser und Abfall (AWA) des Kantons Bern. Mit Hilfe einer bereits 1995 durchgeführten Kartierung der Makrophyten von Dr. Katrin Guthruf konnte ein Vergleich der Bestände vorgenommen werden (Guthruf, 1995). Anhand der Probenahme konnte eine Vielzahl an Makrophytenarten aufgezeigt werden, welche typisch für den Bielersee und für den Untersuchungsabschnitt Gals sind. Insgesamt zeigte sich, dass jede der gefundenen Arten eher ruhige bis sehr ruhige Wasserzonen bevorzugt, welche in Gals nur an einer Stelle zu finden sind. Zu hohe Wellenbewegungen führen bei den Organismen der Litoralzone zu Stress. Um diese Problematik zu ändern wurde anhand des vorliegenden Wissens ein Konzept entwickelt, um die Habitatsansprüche für Makrophyten zu verbessern und somit das Seeufer Gals ökologisch aufzuwerten. Dabei wurden verschiedene Varianten entwickelt, welche zu einer Beruhigung der derzeit vorliegenden Wasserbewegungen beitragen sollen.

Hydrodynamik

Auf Seeufer wirken neben den anthropogenen Einflüssen auch noch grosse Belastungen durch Oberflächenwellen, welche durch Wind oder durch Schiffverkehr entstehen können. In der Masterarbeit wurden ausschliesslich nur die windinduzierten Wellen (Amini et al, 2016 sowie Amini und Heller, 2016) genauer betrachtet, da die Ermittlung der Schiffswellen mit sehr viel Aufwand verbunden ist, wie Untersuchungen am

Bodensee aufzeigen (Hofmann, 2008). Wellen zählen zu den wichtigsten hydrodynamischen Prozessen an einem Seeufer, denn an der Litoralzone entlädt die Welle ihre ganze Energie und formt dabei das Ufer. Dadurch erfolgen Prozesse wie Erosion, Resuspension und Sedimentablagerungen sowie Freisetzung von Porenwasserinhaltsstoffen. Hinzu kommen Einwirkungen auf die Artenzusammensetzung von Zoobenthos, Fischen und Makrophyten. Ebenfalls führen Wellen zu einer Beeinflussung der Biomasseproduktion und deren Verteilung.
Eine zu stark voranschreitende Erosion ist an vielen Stellen nicht erwünscht, weshalb Ufermauern oder Blockwürfe zum Schutz vor Erosion angebracht werden. Allerdings führen diese Baumassnahmen zu einer absoluten Strukturarmut am Ufer, da unter anderem kein Schilf vom Land aus mehr in das Wasser hineinwachsen kann. Auch führen harte Verbauungen aufgrund der Reflexion der Wellenenergie zu einer Abtiefung des Seegrundes. Die Energie der Welle wird aufgrund des nicht erfüllten Brecherkriterium nicht gebrochen und trifft mit der gesamten Kraft auf das Bauwerk und wird reflektiert, wodurch sich die Wellenhöhen verdoppeln können und sich die Erosionsleistung entsprechend erhöht (Huber, 2014).

Ufermorphologie

Neben der Modellierung der windinduzierten Wellen und der welleninduzierten Strömung wurde ein weiterer wichtiger Aspekt in der Bearbeitung der Masterarbeit betrachtet, welcher im Modul-Stufen-Konzept eine grosse Rolle spielt: die Beurteilung der Ufermorphologie.
Das Bundesamt für Umwelt (BAFU) hat 2013 damit begonnen, eine geeignete Methodik zur ökomorphologischen Zustandserhebung und zur Beurteilung der Ufermorphologie von Seeufern zu entwickeln (Niederberger et al., in Bearbeitung). Mit Hilfe der Methode können auch Vorher-Nachher-Erhebungen getroffen werden, was eine Erfassung des Ist-Zustandes und eine Festlegung des Referenz- resp. Zielzustandes voraussetzt. Da sich die Methode noch in der Entwicklungsphase befindet, wurde sie in vereinfachter Form in der Masterarbeit verwendet. Anhand der Veränderung der Attributsausprägungen vom Ausgangs- und Zielzustand wurde überprüft, ob die vorgeschlagenen Massnahmen überhaupt das Ziel einer Verbesserung des ökologischen Zustandes bewirken.

4. Aufwertungskonzept und Massnahmen

Für das Untersuchungsgebiet Gals wurden verschiedene Konzepte ausgearbeitet, um eine ökologische Aufwertung des Seeufers zu erzielen. Dazu zählten unter anderem der Bau von Wellenbrechern oder Riffen, mit dem Ziel, wellenberuhigte Bereiche und damit die Ausbreitung von Makrophyten zu erreichen. Es wurde festgelegt, dass sich Wellenbrecher im östlichen und Riffe im westlichen Uferbereich befinden sollen. Insgesamt unterschieden sich die Baumassnahmen nur in ihrer Ausrichtung, Länge und Bauweise. So handelt es sich bei den Wellenbrechern um drei verschiedene Anordnungen, einen durchgängigen, zwei kleine und die dritte Variante beinhaltet drei kleine Wellenbrecher, welche in östlicher Richtung zueinander versetzt stehen. Die Riffe unterscheiden sich in ihrer Kronenbreite und Höhe. Damit konnte abgeschätzt werden, welche Ausrichtung den grösstmöglichen Erfolg bewirkte. Eine weitere Massnahme war der Bau einer Lagune, welche anhand der im Projektgebiet vorhandenen Bucht untersucht werden konnte. In der Abbildung 3 sind der vorhandene Ist-Zustand und der zu erreichende Ziel-Zustand dargestellt.

Modellierung und Überprüfung der Massnahmen mit MIKE 21

Um die Wirkung der Baumassnahmen untersuchen zu können, wurden die einzelnen Bauelemente in die Software MIKE 21 eingefügt und daran die windinduzierten Wellen und die welleninduzierte Strömung simuliert. MIKE 21 wurde vom Danish Hydraulic Institute (DHI) entwickelt und gilt als Hauptreferenz für numerische Simulationen, da wichtige natürliche Phänomene, welche in beiden horizontalen Richtungen ablaufen, untersucht werden können. Für eine Simulation werden unter anderem Informationen über die Uferlinie, Wassertiefe, Bathymetrie, Überstreichlänge (Fetch), Windgeschwindigkeit und Windrichtung benötigt.

Abbildung 3: Bestehender Ist-Zustand (links) und der zu erreichende Ziel-Zustand (rechts) (Iseli, 2015).
Figure 3: État actuel existant (gauche) et état-cible à atteindre (droite) (Iseli, 2015).

Abbildung 4: Luftbild des Seeufer Gals mit den ausgewählten Untersuchungsabschnitte (Maurer, 2015.
Figure 4: Vue aérienne de la rive de Gals avec les tronçons d'étude choisis (Maurer, 2015).

Die Simulation der Varianten erfolgte unter der Annahme zwei verschiedener Windszenarien. Dabei umfasst eine der Varianten den Ist-Zustand des Untersuchungsgebiets, um einen besseren Vergleich ziehen zu können. Die Wahl der Windszenarien erfolgte anhand der gegebenen Informationen über die Windgeschwindigkeit, Dauer und Überstreichlänge (Fetch). Dieser liegt beim Bielersee entsprechend seiner Länge bei maximal 15 km. Der zu untersuchende Uferabschnitt Gals liegt im Südwesten des Bielersees und unterliegt vor allem dem Einfluss der Bise, welche aus nordöstlicher Richtung weht, weshalb die vollständige Länge des Sees ausgenutzt werden musste, um plausible Ergebnisse zu erhalten. Anhand des IDF-Diagramms, welches die statistischen Werte von Windintensität (I) und -dauer (D) für verschiedene Wiederkehrfrequenzen (F) aufzeigt, wurden die Windgeschwindigkeit und die Winddauer für die Wiederkehrperioden 2,33 Jahre und 20 Jahre ermittelt. Die Daten aus dem IDF-Diagramm wurden 2001 im Zusammenhang mit dem Projekt EROSEE erarbeitet, indem Wind- und Wellendaten gemessen und anschliessend mit langjährigen Winddaten von Messstationen korreliert wurden (Schleiss et al., 2006). Für das Wiederkehrintervall von 2,33 Jahren wurde bei einer Winddauer von zwei Stunden die Windgeschwindigkeit 10.5 m/s und für 20 Jahre bei einer ebenfalls zwei Stunden anhaltenden Winddauer 13 m/s angenommen. Mit diesen Werten konnte gemäss Fetchdiagramm erwartet werden, dass es bei den zu errechneten signifikanten Wellenhöhen um die maximalen, durch den Fetch begrenzten Werte handelt (Schiefer, 2016).

Die oben festgelegten Parameter wurden in MIKE 21 eingearbeitet und im Anschluss erfolgten die Simulation der windinduzierten signifikanten Wellenhöhe und die welleninduzierte Strömung. In der Abbildung 4 sind die beiden Abschnitte markiert, welche für die Modellierung in MIKE 21 und weiteren Überlegungen zur Erstellung eines Konzeptes verwendet wurden.

5. Ergebnisse

Insgesamt hat die Simulation der verschiedenen Varianten für zwei Windszenarien in MIKE 21 deutlich gezeigt, dass die geplanten Maßnahmen am Untersuchungsgebiet Gals die signifikante Wellenhöhe und die welleninduzierte Strömung verringern können. Einzig bei einer Variante mit den drei einzelnen, senkrecht zum Ufer gebauten Wellenbrechern kommt es zu einer Verschlechterung der Ausgangssituation für beide Windereignisse. Es kann davon ausgegangen werden, dass bei einer veränderten Anordnung das Ergebnis wesentlich besser ausfällt. Eine Darstellung der Ergebnisse ist in Abbildung 5 zu finden. Durch die beiden kleinen Wellenbrecher wurde die signifikante Wellenhöhe deutlich verringert und der sich hinter den Bauelementen befindliche Schilfbestand (siehe Abbildung 4) kann vor zu hohen Wellen geschützt werden. Dadurch können die Bedingungen verbessert werden, sodass sich der Bestand wieder ausbreitet. Eine weitere Überlegung war, dass durch die Bauweise der zwei getrennten Wellenbrecher mitgetragenes Material hinter die Bauwerke gelangt und angesichts der verringerten Strömung und der damit einhergehenden geringen Geschwindigkeit abgelagert werden kann. Somit kann Verlandung gefördert werden. Mit Hilfe der drei einzelnen Wellenbrecher wurden auch gute Ergebnisse zur Verringerung der Wellenhöhe erzielt. Im Vergleich zu den zwei einzelnen Wellenbrechern wurden die Wellen zum Ufer hin allerdings höher. Diese Tatsache lässt sich mit der Ausrichtung der Wellenbrecher begründen, weshalb davon ausgegan-

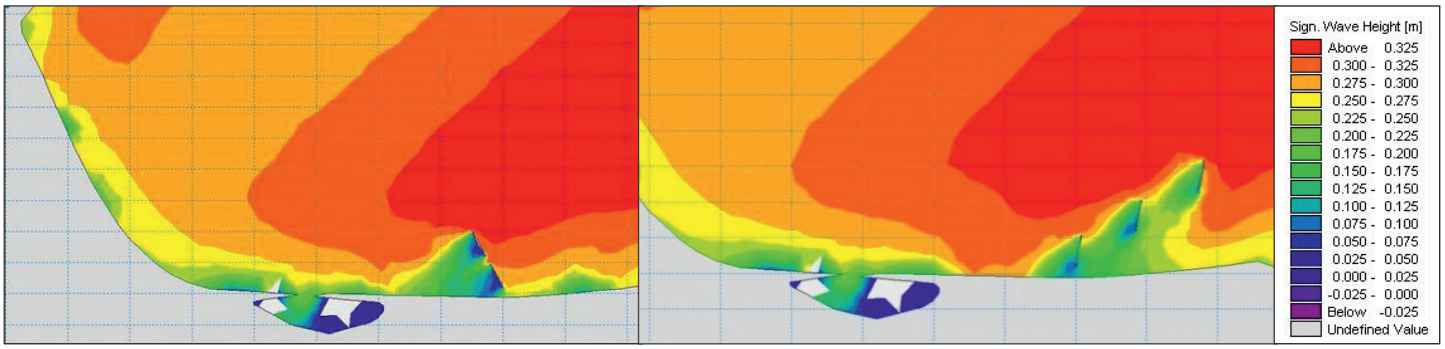

Abbildung 5: Ergebnisse der signifikanten Wellenhöhen bei unterschiedlichen baulichen Ausrichtungen: zwei einzelne (oben) und drei einzelne, senkrecht zum Ufer (unten) gebaute Wellenbrecher sowie bei der bestehenden Lagune (Schiefer, 2016).
Figure 5: Résultats des hauteurs de vagues significatives selon différentes orientations d'aménagement: deux amortisseurs de vague individuels (en haut) et trois amortisseurs de vague individuels, érigés perpendiculairement à la rive (en bas) et à la lagune existante (Schiefer, 2016).

gen werden kann, dass die Belastung auf den bestehenden Schilfbestand zunimmt und eine Verkleinerung des Bestandes die Folge sein könnte. Eventuell kann eine veränderte Anordnung der Wellenbrecherelemente zu einer Verbesserung des Resultates führen (Schiefer, 2016).

Die im westlichen Uferabschnitt modellierten Riffe tragen im Vergleich zu den Wellenbrechern nicht zu einer grossen Verringerung der Wellenhöhe bei, jedoch vergrössern sie den Bereich mit kleineren Wellenhöhen. Es kann deshalb angenommen werden, dass in diesem Uferabschnitt die Ausbildung eines Flachufers gefördert wird, da Erosion an der Uferlinie weiterhin vonstattengehen kann. Der Bau von Riffen ist durchaus angebracht, da diese zu keiner Störung des Landschaftsbildes beitragen, wie es zum Beispiel bei Wellenbrechern der Fall wäre. Allerdings sind weitere Untersuchungen ratsam und förderlich, um neben der idealen Ausrichtung auch die optimale Höhe, Breite und Länge von Riffen ermitteln zu können.

Die simulierten Wellenhöhen und Strömungen konnten einen guten Einblick darüber geben, welche Einflüsse auf das Seeufer Gals wirken. Es ist wichtig zu erwähnen, dass es sich bei der durchgeführten Simulation nur um windinduzierte Wellen handelt. Die durch den Schiffsverkehr entstehenden Wellen spielen ebenfalls eine entscheidende Rolle bei der Wellenbelastung auf die Seeufer. Dieser Aspekt konnte in der Masterarbeit allerdings nicht mit berücksichtigt werden, da die dafür notwendige Erfassung der Schiffswellen am Bielersee nicht durchgeführt wurde. Die am Bodensee vorgenommene Studie ergab wichtige Informationen und sollte bei weiteren numerischen Simulationen der Wellenhöhen unbedingt mit einbezogen werden (Hofmann et al., 2008). Durch die Reduzierung der signifikanten Wellenhöhe und der Strömung verbessern sich die Ansiedlungschancen von Makrophyten, da sie, bis auf wenige Arten, nur geringe Toleranzen gegenüber Wasserbewegungen aufweisen. Eine Abschätzung, ob Makrophyten sich wieder ansiedeln können, hängt nicht nur von den Wellen- und Strömungsbedingungen ab, sondern von vielen weiteren Faktoren, wie zum Beispiel pH-Wert, Licht, chemische Zusammensetzung und Sediment. All diese Faktoren wurden in der Masterarbeit nicht weiter betrachtet, deshalb kann nicht abschliessend beurteilt werden, ob die verringerten Wind- und Strömungsbedingungen ausreichen, um eine Wiederansiedlung von Makrophyten zu gewährleisten. Aus diesem Grund ist es sehr wichtig, dass weitere Untersuchungen über Makrophytenarten und deren Habitatsansprüche stattfinden. So liessen sich die Baumassnahmen noch besser auf die zu fördernden Arten ausrichten und damit eine Verbesserung des Ist-Zustandes zielgerichteter planen (Schiefer, 2016).

Überprüfung der erzielten ökomorphologischen Aufwertung

Die Beurteilung der Ökomorphologie von Ist- und Ziel-Zustand mithilfe der Methode des BAFU und die nachfolgen-

Abbildung 6: Einteilung der Uferabschnitte zur Bewertung des ökomorphologischen Zustandes: westliches Ufer (links) und östliches Ufer (rechts) (Schiefer, 2016).
Figure 6: Division des tronçons de rive pour l'évaluation de l'état écomorphologique: rive ouest (gauche) et rive est (droite) (Schiefer, 2016).

den Vergleiche zeigten deutlich, dass die Umsetzung der vorgeschlagenen Massnahmen zu einer Verbesserung des ökomorphologischen Zustandes in den Uferabschnitten führen kann. Bei den untersuchten Abschnitten handelt es sich um die beiden bereits simulierten Abschnitte in MIKE 21 (siehe auch Abbildung 6). Zunächst wurde für beide Bereiche der Ist-Zustand ermittelt, um im Anschluss daran einen Vergleich ziehen zu können.

Die ökomorphologische Beurteilung des Ziel-Zustandes wurde unter der Annahme durchgeführt, dass alle Massnahmen ausgeführt wurden, die den naturnahsten Zustand der beiden Abschnitte bewirken würde. Die möglichen Schritte, um diesen Zustand umzusetzen sind in der Masterarbeit weitestgehend erläutert. Dazu gehören unter anderem die Entfernung der Uferverbauung und der Kiesschüttung, das Ansiedeln von standorttypischer Vegetation und die Errichtung einer Lagune um die Schwimmblattzone zu fördern. Die Installation der Wellenbrecher und Riffe wurde ebenfalls mit betrachtet. Im Ist-Zustand wird der östliche Uferabschnitt beeinträchtigt und der östliche als naturfremd beurteilt. Mit dem Umsetzen der Massnahmen können beide Abschnitte in einen wenig beeinträchtigten Zustand verbessert werden.

Diese Erkenntnis ist wichtig für das weitere Vorgehen in dem Projekt und bestätigt ausserdem, dass Renaturierungsmassnahmen an Seeufern durchaus erfolgsversprechend sind und eine Verbesserung der aktuellen Zustände bewirken können. Zwar handelt es sich bei den Massnahmen teilweise ebenfalls um Eingriffe, unter anderem in die Flachwasserzone, jedoch sind diese nicht so schwerwiegend, wie zum Beispiel eine harte Uferverbauung oder eine Kiesschüttung. Die negative Bewertung wird zudem durch die positiven Auswirkungen der Massnahmen mehr als kompensiert.

6. Fazit

Die in der Masterarbeit untersuchte Problematik stellte ein sehr komplexes und weitreichendes Thema der Seeuferrenaturierung dar. Aufgrund von extremen Belastungen der Seeufer ist eine dringende Verbesserung der derzeitigen Zustände sehr wichtig. Besonders die durch den Menschen errichteten Uferverbauungen oder Hafenanlagen, aber auch der steigende Nutzungs- und Erholungsdruck und das Einleiten von Nährstoffen zählen zu den schwerwiegenden Verschlechterungsfaktoren auf Seeufer. Die Folgen sind unter anderem, dass die Wellenbelastung auf die Ufer zu- und die Widerstandskraft der Ufer selbst abnimmt, wodurch der Abtrag von Ufermaterial gesteigert wird.

Bereits mit kleinen Eingriffen kann eine ökologische Aufwertung eines Seeufers erfolgen. Die Handlungsmöglichkeiten am Seeufer Gals sind sehr vielfältig und bieten ein großes Potential zur ökologischen Aufwertung. Mithilfe eines systematischen Vorgehens nach dem Modul-Stufen-Konzept können die Defizite an Seeufern erkannt, strukturiert und mit angepassten ingenieurbiologischen Massnahmen verbessert werden. Durch eine Erfassung der vorhandenen Ist-Zustände und der numerischen Modellierung von Wellen- und Strömungsbelastung können Massnahmen gezielt geplant werden. Ausserdem kann eine Überprüfung stattfinden, ob die vorgeschlagenen Sanierungsmassnahmen zu einer Verbesserung führen. Ebenso ist das Bewerten der vorhandenen Makrophytenarten förderlich, da diese geeignete Indikatoren zur Ableitung der vorherrschenden chemischen Verhältnisse und der Sedimente bezüglich der Erosion und Brandung sind.

Für die Zukunft sollten die vorliegenden Methoden weiterhin verbessert und angepasst werden, um die Wissenslücken im Bereich Seeuferrenaturierung zu schliessen. Die Grundlagen sind vorhanden und müssen nun noch weiter ausgebaut werden. Die Masterarbeit hat gezeigt, dass mit Hilfe einer numerischen Modellierung die Problematik der Wellen- und Strömungsbelastung erfasst werden kann. Dabei muss darauf geachtet werden, dass eine aktuelle Bathymetrie verwendet wird, welche die Flachwasserzone mit beinhaltet. Ausserdem sollten die vorhandenen Verhältnisse von Windgeschwindigkeit, -dauer und Wiederkehrperiode (IDF-Diagramme) mit weiteren Wellenmessungen plausibilisiert werden. Des Weiteren müssen die Schiffswellen mit berücksichtigt werden, da sie ebenfalls eine hohe regelmässige Belastung der Ufer bewirken.

Auch müssen Makrophyten erfasst und während der Planung der jeweiligen Sanierungsmassnahme berücksichtigt werden. Eine Analyse des ökologischen Zustandes und eine anschliessende Umsetzung von angepassten Massnahmen anhand von Makrophyten allein sind jedoch kaum zielführend. In Kombination mit anderen biologischen Faktoren, wie beispielsweise anhand von Makrozoobenthos oder Fischen, wäre eine Untersuchung weitaus effektiver.

Europaweit besteht dringender Handlungsbedarf an vielen Seen und Ufern und die ersten Ansätze wurden bereits entwickelt und müssen nun weiter verbessert werden. Es lässt sich abschliessend sagen, dass eine Renaturierung von Seeufern zwar sehr komplex und vielschichtig, jedoch auch erfolgsversprechend ist. Mithilfe der bereits entwickelten Methoden kann ein sehr guter Leitfaden für die Seeuferrenaturierung entstehen. Eine numerische Simulation und eine Makrophytenaufnahme nehmen dabei einen wichtigen Platz ein, ergeben aber erst mit allen anderen zu betrachtenden Faktoren ein Gesamtergebnis, welches schlüssig und aussagekräftig ist. Das grosse Umdenken und Handeln hin zu einer leitbildorientierten Revitalisierungsplanung hat bei den Fliessgewässern bereits begonnen und ist dort schon weit fortgeschritten. Es wäre sehr erfreulich, wenn dieser Funke auch auf die Seeuferrenaturierung überspringen und das Verständnis und die Handlungsbereitschaft hier ebenfalls zu einer Erfolgsgeschichte führen würde.

7. Danksagung

Die Masterarbeit wurde unterstützt vom Landschaftswerk Biel-Seeland, vom Laboratoire de constructions hydrauliques (LCH) der École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) und von Prof. Dr.-Ing. Jürgen Stamm und M.Sc. Hydro-Science and Engineering Roberto Tatis Muvdi vom Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik der TU Dresden.

Literatur

Amini, A., Dhont, B. and Heller, P. (2016): Wave atlas for Swiss lakes: modeling design waves in mountainous lakes. Journal of Applied Water Engineering and Research DOI: 10.1080/23249676.2016.1171733

Amini, A and Heller, P. (2016): Assessment of wave risk for Swiss lakes: Numerical simulation of waves of different return periods. Proc. of INTERPRAEVENT 2016, Hazard and risk assessment, Lucerne

Guthruf, K. (1995): Makrophyten des Bielersees 1995; Gewässer- und Bodenschutzlabor des Kantons Bern

Hofmann, H.; Lorke, A.; Peeters, F. (2008): The relative importance of wind and ship waves in the littoral zone of a large lake. In: Limnol. Oceangr. 53 (1), S. 368–380. DOI: 10.4319/lo.2008.53.1.0368

Huber, A. (2014): Wellendynamik und Seeuferrevitalisierung. Ingenieurbiologie 2014/4, S. 4-14

Iseli, C. (2015): Grundlagen für einen umfassenden Uferschutz an Seen. In: Ingenieurbiologie 2014/4, S. 32–37

Niederberger, K., Rey, P., Schlosser, J., Reichert, P., Haertel-Borer, S. (in Vorb.): Methoden zur Untersuchung und Beurteilung stehender Gewässer, Modul: Ökomorphologie der Ufer stehender Gewässer, Stufe: flächendeckend. Bundesamt für Umwelt, Bern

Ostendorp, W. (2014): Seeuferrenaturierung. In: Michael Hupfer und Christian E. W. Steinberg (Hg.): Handbuch angewandte Limnologie. Grundlagen, Gewässerbelastung, Restaurierung, aquatische Ökotoxikologie, Bewertung, Gewässerschutz. Weinheim: Wiley-VCH, S. 1–66

Schiefer, A. (2016): Analyse des ökologischen Aufwertungspotentials am Seeufer Gals (Bielersee, Schweiz): Hydrodynamische Modellierung und Makrophyten. Masterarbeit. TU Dresden, Dresden. Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik

Schleiss, A.; Boillat, J.; Sayah, S.; Schmocker, P.; Müller, B. (2006): Basic Principles and Methods of Field Measurements, Analysis of Wind, Wave, Bathymetrie and Sediment Data. Teil 2

Schlosser J.A., Haertel-Borer S., Liechti P., Reichert P. (2013): Konzept für die Untersuchung und Beurteilung der Seen in der Schweiz. Anleitung zur Entwicklung und Anwendung von Beurteilungsmethoden. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Wissen Nr.1326

Zerbe, S.; Wiegleb, G. (2009): Renaturierung von Ökosystemen in Mitteleuropa. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag

Kontaktadressen

Anne Schiefer, M.Sc. Wasserwirtschaft
Landschaftswerk Biel-Seeland
Aarbergstrasse 91
2502 Biel
A.Schiefer@landschaftswerk.ch

Christoph Iseli, Dipl. Forsting. ETH
Landschaftswerk Biel-Seeland
Aarbergstrasse 91
2502 Biel
ch.iseli@landschaftswerk.ch

Dr. Azin Amini, MSc Bauing.
Univ. Teheran
EPFL ENAC IIC LCH
GC A3 515 (Bâtiment GC)
Station 18
1015 Lausanne
azin.amini@epfl.ch

Dr. Giovanni De Cesare,
Dipl. Bauing. EPF sowie
Verein für Ingenieurbiologie (Präsident)
EPFL ENAC IIC LCH
GC A3 495 (Bâtiment GC)
Station 18
1015 Lausanne
giovanni.decesare@epfl.ch