



# **INGENIEURBIOLOGIE GÉNIE BIOLOGIQUE INGEGNERIA NATURALISTICA INSCHENIERA BIOLOGICA**



**ARBEITSHILFE  
SEEUFERREVITALISIERUNG**

**REVITALISATION DES RIVES  
LACUSTRES - AIDE-MÉMOIRE**

**RIVITALIZZAZIONE DELLE RIVE  
LACUSTRI - LINEE GUIDA**

# Inhalts- verzeichnis

## Zitiervorschlag [für ganzes Heft]:

Iseli, Ch., La Poutré, M., De Cesare, G., editors (2020).  
Arbeitshilfe Seeuferrevitalisierung. Verein für Ingenieur-  
biologie VIB. Fachzeitschrift Ingenieurbiologie, Heft  
Nr. 1/2020, 30. Jahrgang, Mai 2020

## Titelbild/Frontispice:

*Naturnahes Ufer in Erlach (Bielersee)*

*Rive proche de la nature à Erlach (lac de Bienne)*

*Riva semi-naturale a Erlach (Lago di Bienne)*

<b>3</b> <i>Editorial</i>	<i>Giovanni De Cesare</i>
<b>5</b> <i>Einleitung</i>	<i>Christoph Iseli</i>
<b>13</b> <i>Zuständigkeiten und Rechtsgrundlagen</i>	<i>Robert Lovas Gregor Thomas Christoph Iseli</i>
<b>20</b> <i>Seespezifische Grundlagen</i>	<i>Thomas Oesch Nadja Schläpfer Monika Schirmer</i>
<b>30</b> <i>Hydraulische und wasserbautechnische Grundlagen</i>	<i>Andreas Huber Christoph Iseli</i>
<b>37</b> <i>Ökologisches Konzept</i>	<i>Klemens Niederberger</i>
<b>53</b> <i>Wasserbaukonzept und Massnahmenplanung</i>	<i>Christoph Iseli Bärbel Müller</i>
<b>62</b> <i>Bautypen und deren Bemessung</i>	<i>Andreas Huber Christoph Iseli</i>
<b>79</b> <i>Nutzungslenkung, Unterhalt und Erfolgskontrolle</i>	<i>Thomas Oesch Nadja Schläpfer Christoph Iseli</i>
<b>84</b> <i>Buchbesprechung</i>	



# Editorial

Giovanni De Cesare

## Liebe Leserin, lieber Leser

Die Schweiz ist ein seenreiches und, mit mehr als 2'000 km Länge, ein mit Ufern gesegnetes Land. Seen und Ufer sind wichtige Elemente der Landschaft. Insbesondere die Uferzone wird von allen Seiten stark beansprucht. Dieser unterschiedlich stark ausgedehnte Übergangsbereich zwischen den terrestrischen und aquatischen Lebensräumen ist als aktive Pufferzone von grosser Bedeutung. Seeufer haben einen hohen ökonomischen sowie sozio-ökologischen Stellenwert. Das im Jahr 2011 revidierte Schweizerische Gewässerschutzgesetz verankert die Revitalisierungsplanung von Fliessgewässern und stehenden Gewässern. Im Gegensatz zu den Fliessgewässern gibt es bisher jedoch nur wenige Ansätze für eine integrale und nachhaltige Seeuferaufwertung.

Die Arbeitshilfe Seeuferrevitalisierung liefert eine anwendungsorientierte Planungshilfe für Uferschutzprojekte basierend auf den neusten wissenschaftlichen Erkenntnissen. Das Heft ist gegliedert in acht Kapitel. Es umfasst Informationen und Richtlinien über Zuständigkeiten und Rechtsgrundlagen, bis hin zum Unterhalt und der Erfolgskontrolle von Projekten. Die Arbeitshilfe soll Behörden, Grundbesitzer, Landschaftsarchitekten, Biologen, Ingenieuren, Wissenschaftlern und Planern in den kommenden Jahren als Grundlage dienen, Revitalisierungsprojekte von Seeufern erfolgreich umzusetzen.

Die Autoren und Mitglieder der Arbeitsgruppe Seeufer haben über mehrere Jahre hinweg bemerkenswerte Arbeit geleistet. Diese Arbeitshilfe findet sicherlich ihren angemessenen Platz bei der Planung von Revitalisierungsprojekten von Seeufern. Ich möchte mich abschliessend bei allen Beteiligten für ihren unermüdlichen Einsatz bedanken und wünsche eine anregende Lektüre und natürlich erfolgreiche Umsetzung des gesammelten Wissens.

Giovanni De Cesare  
Präsident des Vereins für Ingenieurbiologie

## Chère lectrice, cher lecteur,

La Suisse est un pays chanceux avec ses nombreux lacs qui comptabilisent une longueur de plus de 2'000 km de rivages. Les lacs et les rives sont des éléments importants du paysage et la zone littorale en particulier est fortement sollicitée de tous les côtés. Cette zone de transition plus ou moins étendue entre les habitats terrestres et aquatiques sert d'espace tampon actif de grande importance. Les rives des lacs jouent un important rôle économique et socio-écologique. La Loi fédérale sur la protection des

eaux, révisée en 2011, ancre la planification de la revitalisation des cours d'eau et des plans d'eaux. Cependant, contrairement aux cours d'eau, il n'existe encore que peu d'approches pour une revitalisation intégrale et durable des rives lacustres.

Ce guide orienté vers l'application montre comment les différentes connaissances devraient être intégrées dans la pratique des projets de protection des rives. Cette brochure est divisée en huit chapitres. Dans une première partie, elle réunit des informations sur les responsabilités et des bases juridiques pour se terminer avec l'entretien et le contrôle de l'efficacité. Ce cahier est destiné aux autorités, aux propriétaires fonciers, aux architectes paysagistes, aux biologistes, aux scientifiques, aux ingénieurs et aux planificateurs, leur permettant d'aborder cette tâche avec les meilleures connaissances disponibles.

Les auteurs et membres du groupe de travail rives lacustres ont accompli un travail remarquable étendu sur plusieurs années. Ce guide trouvera certainement sa place dans les projets de revitalisation des rives lacustres. Finalement, je tiens à remercier tous les acteurs concernés pour leurs efforts infatigables, et je vous souhaite une lecture passionnante et bien sûr une mise en œuvre réussie des connaissances collectionnées.

Giovanni De Cesare  
Président de l'Association pour le génie biologique

### **Cara lettrice, caro lettore,**

La Svizzera è un paese ricco di laghi, con una lunghezza complessiva delle loro rive di oltre 2'000 km. I laghi e le rive sono elementi importanti del paesaggio e, la zona litoranea in particolare, soggetta a forti sollecitazioni da tutti i lati. Questa zona di transizione, che varia in modo più o meno importante tra habitat terrestri e acquatici, è di grande importanza come zona tampone attiva. Le rive lacustri hanno un alto valore economico e socio-ecologico. La Legge federale sulla protezione delle acque, rivista nel 2011, stabilisce la pianificazione della rivitalizzazione dei corsi d'acqua e delle acque stagnanti. A differenza dei corsi d'acqua, tuttavia, ci sono ancora pochi approcci per una rivitalizzazione integrale e sostenibile delle rive lacustri. La presente guida per la rivitalizzazione delle rive lacustri fornisce un aiuto alla pianificazione e progettazione di progetti di sistemazione delle sponde sulla base delle più recenti scoperte scientifiche. La guida è divisa in otto capitoli. Contiene informazioni e linee guida sulle responsabilità e le basi legali, nonché sulla manutenzione e il controllo dei risultati nei progetti. La guida è destinata ad autorità,

proprietari terrieri, architetti paesaggisti, biologi, ingegneri, scienziati e pianificatori. Servirà nei prossimi anni come base per la realizzazione di progetti di riqualifica delle rive lacustri.

Gli autori e i membri del gruppo di lavoro per le rive lacustri hanno svolto un lavoro notevole durato diversi anni. Questa guida troverà certamente il suo posto nella pianificazione di progetti di riqualifica delle rive lacustri. Concludo ringraziando tutte le persone coinvolte per i loro instancabili sforzi augurandovi una lettura stimolante e, naturalmente, un'implementazione di successo delle conoscenze che ne conseguono.

Giovanni De Cesare  
Presidente dell'Associazione per l'ingegneria naturalistica



**Samen und Pflanzen für die Hangsicherung**  
zusammengestellt nach Wurzelprofilen und  
Erosionsschutzwirkung.  
Objektbesichtigung kostenlos  
Lieferung ganze Schweiz und EU

**schutzfilisur**   
**100 Jahre** Samen Pflanzen AG

Schutz Filisur, Samen u. Pflanzen AG, CH-7477 Filisur  
Tel. 081 410 40 00, Fax. 081 410 40 77  
samenpflanzen@schutzfilisur.ch

# Einleitung

Christoph Iseli  
Teil 1

## Zusammenfassung

Seeufer sind wertvolle Lebensräume im Übergangsbereich zwischen Land und Wasser. Dank ihrer grossen Strukturvielfalt weisen sie eine hohe Biodiversität auf. Intakte Naturufer an Seen sind in der Schweiz jedoch selten geworden, nachdem sie durch den Menschen im Laufe der Zeit intensiv umgestaltet worden sind. Und der Nutzungsdruck steigt beidseits der Uferlinie nach wie vor. Unter diesen Bedingungen wurden die Bestrebungen zur Revitalisierung der Seeufer in den letzten Jahren intensiviert. Das Thema Seeuferrevitalisierung gewinnt schweizweit an Relevanz, seit das revidierte Gewässerschutzrecht die Kantone verpflichtet, die Revitalisierung von Gewässern zu planen und anschliessend umzusetzen. Damit steigt auch der Bedarf an Grundlagen für einen an die natürlichen Verhältnisse angepassten, naturnahen Wasserbau sowie an Methoden für ein integrales Seeufermanagement. Im Gegensatz zu den Fliessgewässern sind die Grundlagenkenntnisse an den Seeufern jung und es bestehen vergleichsweise wenige Erfahrungen in der Wiederherstellung der natürlichen Gewässerfunktionen.

Die vorliegende Arbeitshilfe liefert eine Übersicht über die heute bestehenden Grundlagen für die Planung von Seeuferrevitalisierungen und beschreibt gleichzeitig die einzelnen Schritte einer Revitalisierungsplanung von der Analyse des Ist-Zustandes über die Herleitung der Revitalisierungsziele bis zur Evaluation von Massnahmen und deren Umsetzung.

## Keywords

Revitalisierung Seeufer, Modul-Stufen-Konzept, strategische Revitalisierungsplanung

## Introduction

### Résumé

Les rives lacustres sont des habitats précieux dans la zone de transition entre la terre et l'eau. Grâce à leur grande diversité structurelle, ils présentent un niveau élevé de biodiversité. Cependant, les rives naturelles intactes des lacs sont devenues rares en Suisse après avoir été intensément aménagées par les hommes au fil du temps. Et la pression pour les utiliser ne cesse d'augmenter des deux côtés de la ligne de rive. Dans ces conditions, les efforts de revitalisation des rives lacustres ont été intensifiés ces dernières années. Le thème de la revitalisation des rives lacustres a gagné en importance dans toute la Suisse depuis que la loi révisée sur la protection des eaux oblige les cantons à planifier puis à mettre en œuvre la revitalisation des cours et

plans d'eau. Par conséquent, il existe également un besoin croissant d'une base pour un aménagement hydraulique quasi naturel adapté aux conditions naturelles et pour des méthodes de gestion intégrale des rives lacustres. Contrairement aux cours d'eau, les connaissances de base sur les rives lacustres sont récentes et il existe relativement peu d'expérience dans la restauration des fonctions naturelles des plans d'eau.

La présente aide au travail donne un aperçu des bases existantes pour la planification de la revitalisation des rives lacustres et décrit en même temps les différentes étapes de la planification de la revitalisation, depuis l'analyse de l'état actuel et la dérivation des objectifs de revitalisation jusqu'à l'évaluation des mesures et leur mise en œuvre.

### Mots-clés

Revitalisation des rives lacustres, concept de modules à étapes, planification stratégique de la revitalisation

## Introduzione

### Riassunto

Le rive lacustri sono habitat preziosi nella zona di transizione tra terra e acqua. Grazie alla loro grande diversità di strutture e ambienti presentano un elevato grado di biodiversità. Tuttavia, le rive lacustri naturali intatte sono diventate rare in Svizzera, dopo essere state profondamente trasformate dall'uomo nel corso del tempo. E la pressione per il loro utilizzo continua ad aumentare su entrambi i lati della riva. In queste condizioni, negli ultimi anni si sono intensificati gli sforzi per rivitalizzarle. Il tema della rivitalizzazione delle rive lacustri ha assunto un'importanza sempre maggiore in tutta la Svizzera, poiché la revisione della legge sulla protezione delle acque obbliga i Cantoni a pianificare e successivamente mettere in atto la rinaturazione delle acque. Di conseguenza, vi è anche una crescente necessità di solide basi per metodi di ingegneria idraulica adatti a condizioni ambientali (semi-)naturali e per strumenti di gestione integrale delle sponde dei laghi. A differenza dei corsi d'acqua, le conoscenze di base sulle rive lacustri sono più recenti e c'è relativamente poca esperienza nel ripristino delle funzioni naturali di acque stagnanti.

Il presente strumento di aiuto al lavoro fornisce una panoramica delle basi esistenti per la pianificazione della rivitalizzazione delle rive lacustri. Allo stesso tempo descrive le singole fasi della pianificazione, dall'analisi dello stato attuale e la determinazione degli obiettivi di rinaturazione fino alla valutazione delle misure e alla loro attuazione.

### Parole chiave

rivitalizzazione delle rive lacustri, sistema modulare graduale, pianificazione strategica della rivitalizzazione

## 1. Ausgangslage

Im zwanzigsten Jahrhundert sind die Seeufer durch den Menschen intensiv umgestaltet worden. In den letzten Jahrzehnten kam ein wachsendes Interesse an öffentlichen Uferflächen und -promenaden dazu. So wie der gesellschaftliche Stellenwert der Seeufer wird auch der ökologische weiter zunehmen. Denn einerseits sind die natürlichen Ufer mit ihren Auengebieten ökologisch ausserordentlich wertvoll, weshalb sie schon heute zu den gesetzlich am besten geschützten Biotopen gehören. Andererseits ist die Flachwasserzone oder das Litoral die biologisch aktivste Zone der Seen, weshalb die Erhaltung und Aufwertung ihrer Qualität einen wichtigen Beitrag zum Gewässerschutz darstellt.

In der Schweiz gibt es rund 1'700 natürliche und künstliche Seen, welche eine Fläche von > 0,5 ha aufweisen. Die gesamte Uferlänge dieser Seen beträgt rund 3'200 km [BAFU 2018]. Die für Revitalisierungen potenziell wichtigen Flachufer an den grösseren und mittleren Seen weisen eine Gesamtlänge von ungefähr 400 km auf. Der bauliche Unterhalt an bestehenden Uferverbauungen, Neugestaltungen von Uferbereichen sowie ökologische Aufwertungsmaßnahmen an Seeufern haben einen entsprechend hohen Aufwand zur Folge. Bei der wasserbaulichen Umsetzung der Ziele im Spannungsfeld von öffentlicher Nutzung und ökologischer Aufwertung besteht aber noch ein grosses Optimierungspotenzial.

So wie die Fliessgewässer sollen in den kommenden Jahren auch die vielerorts verbauten Ufer unserer Seen revitalisiert werden. Mit der Revision 2011 der Gewässerschutzverordnung des Bundes [GSchV 1998] wurden die Kantone verpflichtet, dem BAFU bis 2021 Entwürfe der Revitalisierungsplanungen zur Stellungnahme vorzulegen und bis Ende 2022 die verabschiedeten Planungen einzureichen. Das Gewässerschutzgesetz [GSchG 1991] definiert Revitalisierungen als eine Wiederherstellung der natürlichen Funktionen eines verbauten, korrigierten, überdeckten oder eingedolten oberirdischen Gewässers mit baulichen Massnahmen.

Voraussetzung für einen umfassenden Schutz und die Revitalisierung der Gewässer bilden gute Kenntnisse ihres Zustands sowie der Prozesse, welche die Seeufer prägen. Verglichen mit Fliessgewässern bestehen an Seeufern noch grössere Wissenslücken. Auch gibt es bisher nur wenige Ansätze für ein integrales und nachhaltiges Seeufermanagement, und naturnahe, ingenieurbio-logische

Bauweisen kommen selten zur Anwendung. Der Hauptgrund liegt im Fehlen von praxisrelevanten Bemessungsgrundlagen. Die realisierten Uferschutzbauten sind deshalb oft aus Sicherheitsüberlegungen heraus zu hart konzipiert, was den Revitalisierungszielen widerspricht.

## 2. Bisherige Arbeiten

Um diese Lücken möglichst zu schliessen, wurde 2001 das Forschungsprojekt EROSEE ([www.erosee.org](http://www.erosee.org)) lanciert. Initiator des Projektes war der Verein Bielerseeschutz (VBS)<sup>1</sup>, welcher beim Tiefbauamt des Kantons Bern, beim Bundesamt für Umwelt (BAFU), bei der Stiftung Landschaftsschutz Schweiz und beim Verein für Ingenieurbio-logie wertvolle Partner für sein Vorhaben fand. Das Projekt wurde von der Kommission für Technologie und Innovation (heute Innosuisse) unterstützt. Bis 2005 wurde an Forschungs-institutionen der ETH Lausanne (Laboratoire de Construc-tions Hydrauliques LCH) und der Berner Fachhochschule (Architektur, Bau und Holz, Burgdorf) zahlreiche Mes-sungen der Windstärken und -richtungen und der daraus resultierenden Wellenbelastung an ausgewählten Seeufer-abschnitten durchgeführt und ausgewertet, physikalische und numerische Modelle evaluiert, Bewertungsmethoden für Ufer entwickelt und verschiedene Bautypen einander gegenüber gestellt. Abschluss dieses Forschungsprojektes bildete die Fachtagung vom 18. Mai 2006 in Sutz-Lattrigen, welche vom Schweizerischen Wasserwirtschaftsverband organisiert wurde. Hier wurden die praktisch umsetzbaren Resultate aus dem Projekt EROSEE vorgestellt (Schleiss 2006). Ziel war es, die Weiterentwicklung eines nachhaltigen Ufermanagements zu thematisieren.

Nach Abschluss des Forschungsprojektes wurde die Arbeits-gruppe Seeufer des Vereins für Ingenieurbio-logie gegrün-det, welche sich fortan für die Weiterführung der For-schungs- und Entwicklungsarbeit und um die Pflege des Netzwerks einsetzte.

2007 wurde im Auftrag verschiedener Dienststellen des Kantons Luzern ein Entwurf für eine «Wegleitung Seeufer-schutz Vierwaldstättersee» [Iseli & Müller 2007] erarbeitet. 2012 folgte die Broschüre «Verbaute Seeufer aufwerten» [Iseli 2012]. Dies nahm der Kanton Luzern zum Anlass, die Erstellung einer technischen Wegleitung anzustossen. Die geleisteten Vorarbeiten dienten als Grundlagen für die vorliegende Arbeitshilfe.

### 2.1 Bestimmung der Wellenbelastung

Die hauptsächliche Einwirkung auf die Seeufer bildet die Wellenbelastung. Im Anschluss an das Projekt EROSEE wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU)

ein Wellenatlas für die vier grossen Westschweizer Seen erarbeitet, welcher an einer Fachtagung 2014 in Lau-sanne vorgestellt wurde (Heller & Amini 2014). Er zeigt für Windereignisse verschiedener Wiederkehrwahrscheinlichkeiten die zu erwartende signifikanten Wellenhöhen an jedem beliebigen Punkt eines Sees. Seither wurde der Wellenatlas methodisch weiterentwickelt und mit dem Vierwaldstätter- und dem Zürichsee ergänzt (Diebold et al. 2019, [www.swisslakes.net](http://www.swisslakes.net)). Damit ist der Wellenatlas insbesondere für die Bemessung von Schutz- oder Revita-lisierungsmassnahmen eine wichtige Grundlage.

### 2.2 Bathymetrische Aufnahmen des Seegrundes

Die Topographie eines Sees wird durch verschiedene Prozesse geformt, so dass die Gestalt des Seebodens einem ständigen Wandel unterliegt. Die heute existieren-den bathymetrischen Karten der Schweizer Seen beruhen auf topographischen Vermessungen, die oft mehrere Jahrzehnte zurückliegen. Ihre Auflösung und Genauigkeit reichen bei Weitem nicht aus, um ein detailliertes Bild der vorherrschenden Prozesse zu gewinnen. Aus wasserbau-licher und ökologischer Sicht sind jedoch genaue Kenntnisse über Verlandungs- und Erosionsprozesse eine Vorausset-zung für die Entwicklung von zielgerichteten Schutzstrate-gien und optimierten Massnahmen.

Bathymetrische Aufnahmen, die den Genauigkeitsanfor-derungen genügen, waren lange sehr kostenintensiv. Seit einigen Jahren werden Vermessungen mittels Fächerecho-lot durchgeführt, welche unterhalb einer Wassertiefe von zirka fünf Metern eine präzise Erfassung des Seebodens in höchster Auflösung ermöglichen. Mit diesen Daten lässt sich ein digitales Seebodenmodell erstellen, das um Grössenordnungen besser ist als die bisher existieren-den Modelle. Wichtiger für die Revitalisierung der Seeufer ist dagegen die Vermessung der Flachwasserzone. Sie kann mit neuen Methoden, wie z.B. fluggestütztem La-serscanning, durchgeführt werden. Auch diese Technologie liefert hoch aufgelöste und präzise Daten, die man mit den Ergebnissen der Fächerecholotaufnahmen zu einem Geländemodell des gesamten Seebodens zusammenfügen kann. Beide Methoden sind bisher für die Neuvermessun-gen von Genfer-, Bieler-, Thuner-, Brienzer-, Zuger-, Ägeri- und Bodensee eingesetzt worden (vgl. [swiss-bathy3d](http://swiss-bathy3d) auf [www.swisstopo.admin.ch](http://www.swisstopo.admin.ch)).

### 2.3 Beschaffenheit der Seesedimente und des Seebodens

Bestimmend für die Prozesse im Bereich des Seebodens sind nicht nur die auf den Seegrund einwirkenden Kräfte (Wellen, Strömungen), sondern auch die Zusammenset-

<sup>1</sup> Heute: Verein Netzwerk Bielersee, resp. Landschaftswerk Biel-Seeland

zung und Körnung der Sedimente. Ebenso wichtig ist die Lage möglicher Felsrippen, welche stabilisierend wirken. Deshalb bilden gute Kenntnisse der Geologie, der vorhandenen Sedimente und ihrer Korngrößenverteilung eine unerlässliche Ergänzung zu einer präzisen bathymetrischen Karte.

Bisher gibt es für die Schweizer Seen kaum zuverlässige und nutzbare Daten. Siessegger und Teiber [2001] haben am Bodensee den Zusammenhang zwischen Neigung der Uferböschung und der Korngrösse des Substrats dokumentiert, und im Rahmen des Forschungsprojekts Erosee wurde 2006 an ausgewählten Uferabschnitten des Bielersees die Korngrößenverteilung der Ufersedimente bestimmt. Diese Erfahrungswerte liessen sich in der Praxis zumindest als Hinweise nutzen. In der Schweizer Fachzeitschrift für Ingenieurbiologie hat Huber [2014] eine Methode beschrieben, mit der man das Verhältnis zwischen Korngrösse und Uferneigung für die Wasserbaupraxis abschätzen kann.

### 2.4 Modul-Stufen-Konzept Seen

2013 publizierte das BAFU das Konzept für die Untersuchung und Beurteilung der Seen in der Schweiz [Schlosser et al. 2013]. Das Konzept ist Bestandteil des Modul-Stufen-Konzepts zur Untersuchung und Beurteilung der Oberflächengewässer. Es orientiert sich am umfassenden Schutzgedanken des Gewässerschutzgesetzes vom 24. Januar 1991 und gibt eine Anleitung zur Entwicklung und Anwendung von Methoden (Modulen) zur Erhebung

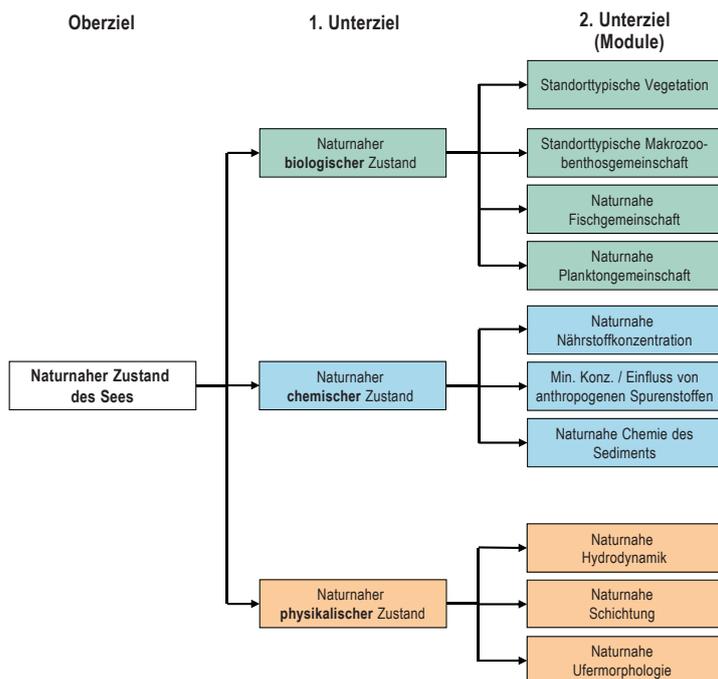


Abb. 1: Zielhierarchie für die Zustandserhebung von Seen [Schlosser et al. 2013] | Fig. 1: Hiérarchie des objectifs pour l'évaluation de l'état des lacs [Schlosser et al. 2013]

und Beurteilung des gesamtökologischen Gewässerzustands und gibt einen Überblick über die Priorisierung der Modulentwicklung. Neben dem ökomorphologischen Zustand der Seeufer sind auch Module für die Beurteilung des chemischen, physikalischen und biologischen Zustands geplant.

### 2.5 Ökomorphologie Seeufer

Auf der Grundlage dieses Konzepts wurde eine schweizweit anwendbare Methode zur Untersuchung und Beurteilung der Ökomorphologie der Ufer stehender Gewässer entwickelt [Niederberger et al. 2016]. Das Ziel besteht darin, die Struktur der Uferzone von Seen einfach und übersichtlich darzustellen. Ähnlich wie bei den Fliessgewässern dienen solche Aufnahmen als Grundlage für eine erste Einschätzung der Naturnähe von Uferzonen. Gestützt darauf lassen sich der Handlungsbedarf und die Prioritäten im Hinblick auf strukturelle Lebensraumverbesserungen abschätzen. Die so erhobenen Daten dienen zudem als Basis für die strategische Planung von Revitalisierungen.

Die Naturnähe der Uferzone wird anhand ausgewählter Merkmale (Attribute) und vordefinierter Ausprägungen auf frei wählbaren Uferabschnittlängen beschrieben, wobei die Erhebung auf der Auswertung von Luftbilddaufnahmen beruht. Für die Beurteilung wird die Uferzone in die vier Bereiche Flachwasserzone (Haldenkante bzw. 4 m Tiefenlinie bis Uferlinie), Uferlinie, Uferstreifen [0–15 m ab Uferlinie] und Hinterlandstreifen [15–50 m] aufgeteilt (vgl. Abb. 2 Teil 6 in diesem Heft). Massgebend sind unter anderem Kriterien wie Sohlenveränderungen und Anlagen in der Flachwasserzone, Beschaffenheit der Uferlinie, Ufervegetation sowie Nutzung resp. Verbauung des Ufer- und des Hinterlandstreifens. Die Bewertung erfolgt dann anhand vorgegebener Ziele mit definierten Funktionen. Der Methode «Ökomorphologie Seeufer» liegt eine Zielhierarchie zugrunde, die sich auf die vier definierten Betrachtungsräume am Ufer stützt. Damit wird ermöglicht, die ökomorphologischen Defizite und die Handlungsspielräume bezüglich Zustandsverbesserung in den einzelnen Betrachtungsräumen aufzuzeigen. Diese Aufschlüsselung der Defizite in die einzelnen Betrachtungsräume bildet eine massgebende Grundlage für die Revitalisierungsplanung. Bei Seen, welche bereits mit anderen Methoden (z.B. IGKB 2009) bewertet wurden, ist nachträglich eine Aufschlüsselung der Gesamtuferbewertung in eine Bewertung der vier Uferkompartimente vorzunehmen.

### 2.6 Strategische Revitalisierungsplanung

Das 2011 revidierte Gewässerschutzgesetz verpflichtet die Kantone, für die Revitalisierung von Gewässern zu sorgen und dabei den Nutzen für die Natur und Landschaft sowie die wirtschaftlichen Auswirkungen der Revitalisierungen

zu berücksichtigen [Art. 38a Abs. 1 GSchG]. Die Kantone müssen die Revitalisierungen planen und einen Zeitplan für die Umsetzung der Massnahmen festlegen, welche bei der Richt- und Nutzungsplanung zu berücksichtigen sind [Art. 38a Abs. 2 GSchG]. Die Kantone erarbeiten die für die Revitalisierungsplanung notwendigen Grundlagen, welche Angaben zum ökomorphologischen Zustand der Gewässer, zu Anlagen im Gewässerraum und zum ökologischen Potenzial sowie zur landschaftlichen Bedeutung der Gewässer enthalten [Art. 41d Abs. 1 GSchV]. Gestützt auf diese Grundlagen legen die Kantone für einen Zeitraum von 20 Jahren die zu revitalisierenden Gewässerabschnitte, die Art der Revitalisierungsmassnahmen und die Umsetzungsfristen fest. Dabei priorisieren sie Revitalisierungen, deren Nutzen

- a) für Natur und Landschaft gross ist;
- b) im Verhältnis zum voraussichtlichen Aufwand gross ist;
- c) durch das Zusammenwirken mit anderen Massnahmen zum Schutz der Gewässer und zum Schutz vor Hochwasser vergrössert wird [Art. 41d Abs. 2 GSchV]. [BAFU 2018]

Zur Unterstützung der Kantone beim Vollzug der Planung und Umsetzung hat das BAFU 2018 die Vollzugshilfe «Revitalisierung Seeufer – Strategische Planung» als Modul der Gewässerrenaturierung publiziert.

## 2.7 Standortbestimmung Aufwertung Seeufer

Mit dem Ziel, im Hinblick auf die strategische Planung eine Übersicht über die verschiedenen Aspekte von Seeuferrevitalisierungen, über umgesetzte Beispiele, aber auch über offene Fragen und Bedürfnisse der unterschiedlichen Akteure zu schaffen, wurde 2016 die Tagung «Standortbestimmung Aufwertung Seeufer» durchgeführt. Die Tagung wurde vom BAFU, dem Verein für Ingenieurbiologie, von sanu future learning und der Wasser-Agenda 21 organisiert. Die Beiträge der Tagung sind in der Fachzeitschrift Ingenieurbiologie 2/2016 publiziert. Aufgrund der Ergebnisse der Tagung konnte das weitere Vorgehen bezüglich Praxisgrundlagen, Forschung, Bildung und Information bestimmt werden.

### Fischfauna

Bezüglich neuerer Grundlagen zum biologischen Zustand der Seen ist insbesondere das Forschungsvorhaben «Projet Lac» der Eawag zu erwähnen. Um die aquatische Artenvielfalt und die nötigen Lebensräume zu erhalten oder gezielt aufzuwerten, ist eine Bestandesaufnahme der bestehenden Fischarten in den Schweizer Seen notwendig. Mit dem Projekt wurde zum ersten Mal eine standardisierte Inventur der Fischfauna der tiefen voralpinen Seen durchgeführt. Das Forschungsprojekt liefert wichtige Daten für die Praxis. ([www.eawag.ch/de/abteilung/fishec/](http://www.eawag.ch/de/abteilung/fishec/))

### Makrophyten

Erhebungen von Makrophyten können z.B. zur Definition

der ökologischen Ziele von Aufwertungsprojekten und dann natürlich zur Wirkungskontrolle herangezogen werden. Standardisierte Methoden sind vorhanden oder befinden sich in Entwicklung. Insbesondere die am Vierwaldstättersee angewandte Methode zur Erhebung der Makrophyten eignet sich für ein standardisiertes Monitoring. (vgl. Niederberger und Sturzenegger 2014).

Infolge des Rückgangs der Nährstoffkonzentration im Oberflächenwasser konnte in den letzten Jahren vielerorts die Rückkehr von Armeleuchteralgen (Characeen) beobachtet werden. Während diese durch die Eutrophierung ab den 1960er Jahren der Seen von höherwachsenden Arten verdrängt wurden, wurden gleichzeitig in der Flachwasserzone verschiedener Seen verstärkte Erosionsprozesse festgestellt. Es wird vermutet, dass die Characeen – wie auch das Schweizer Laichkraut (*Potamogeton helveticus*) einen stabilisierenden Einfluss auf die Feinsedimente haben und dies insbesondere im Winter bei tieferen Wasserständen. Ihre Rückkehr wird deshalb helfen, die Erosion der Ufer zu reduzieren.

### Makrozoobenthos

Auch Erhebungen von Makrozoobenthos können wichtige Grundlagen für die Bewertung des biologischen Zustandes bilden. Allerdings wurden in der Schweiz bisher nur sehr wenige Untersuchungen in Seen durchgeführt. Auch fehlt eine standardisierte praxisorientierte Methode zur Erfassung und zur Verknüpfung mit der Bewertung ökomorphologischer Strukturen.

### Sedimenttransporte und Morphodynamik

Im Modul der physikalischen Grundlagen fehlen bis heute Methoden zur Abschätzung der Sedimenttransporte und der damit verbundenen morphologischen Dynamik der Flachwasserzonen. Ein möglicher nächster Schritt ist die Weiterentwicklung des Wellenatlas zu einem «Strömungsatlas» als zusätzliche Grundlage für die Bemessung der Ufer und insbesondere für die Revitalisierung von Seeufern. Dazu müssten zunächst Vorarbeiten zur Methodologie durchgeführt und eine neue Methode für die Berechnung von Strömungsgeschwindigkeit, Sedimenttransport und Sedimentbilanz entwickelt werden. Um eine bessere Modellierung der Wellentransformation in der Flachwasserzone des Sees zu ermöglichen, müssten die Modelle schliesslich mit Felddaten abgeglichen werden. Neuste Grundlagen und Modellierungen wurden z.B. in den Forschungsprojekten «Coupling Remote Sensing In Situ and Models CORESIM» ([www.meteolakes.ch](http://www.meteolakes.ch)) des Wasserforschungsinstituts Eawag und «HyMoBioStrategie» ([www.hymobiostrategie.de](http://www.hymobiostrategie.de)) des Limnologischen Instituts der Universität Konstanz erarbeitet (Hofmann & Ostendorp 2019).

### 3. Neue Vollzugshilfen

Die Vollzugshilfe «Renaturierung der Gewässer» des BAFU ist modular aufgebaut. Sie umfasst alle Aspekte der Renaturierung der Gewässer. Die Website [www.bafu.admin.ch/umsetzungshilfenaturierung](http://www.bafu.admin.ch/umsetzungshilfenaturierung) gibt eine Übersicht über die aktuell verfügbaren Module.

#### 3.1 Partizipation

Insbesondere mit grösseren Revitalisierungsvorhaben werden zahlreiche Akteure tangiert. Deshalb ist Partizipation in solchen Projekten wichtig. Das BAFU hat ein Handbuch herausgegeben, welches aufzeigt, wie die Partizipation bei Wasserbauprojekten (Hochwasserschutz- und Revitalisierungsprojekten) wirkungsvoll durchgeführt wird (BAFU 2019a). Die Vollzugshilfe Partizipation ermöglicht, wichtige Bedürfnisse der Akteure an das Projekt zu erkennen und dadurch die Planungsprozesse und -ergebnisse zu optimieren.

#### 3.2 Ökologische Anforderungen

Das Modul «ökologische Anforderungen an Wasserbauprojekte nach Art. 4 WBG und Art. 37 GSchG» (Belser et al., in Anhörung 2020) gehört zum Bereich «Umsetzung der Massnahmen» der Vollzugshilfe «Renaturierung der Gewässer» und gilt für Revitalisierungs- und Hochwasserschutzprojekte an Fliessgewässern sowie sinngemäss auch an stehenden Gewässern. Es soll aufzeigen, wie die ökologischen Anforderungen im Rahmen der Planung und der Umsetzung eines Projektes im Einzelfall eingehalten werden können. Dies wird mit ökologischen Grundsätzen sowie einem zweckmässigen Vorgehen mit einzelnen Planungsschritten anhand von Fallbeispielen illustriert.

#### 3.3 Wirkungskontrolle

Die Vollzugshilfe «Wirkungskontrolle Revitalisierung – Gemeinsam lernen für die Zukunft» (BAFU 2019b) beinhaltet eine Anzahl Merkblätter und Indikator-Sets für die Planung und Durchführung der Wirkungskontrolle. Sie bezieht sich ausschliesslich auf Fliessgewässer. Eine standardisierte Wirkungskontrolle für Seeufer ist erst noch geplant.

## 4. Zielsetzung und Aufbau der Arbeitshilfe Seeuferrevitalisierung

Bis jetzt fehlte ein anwendungsorientiertes Instrument, welches aufzeigt, wie die verschiedenen Kenntnisse in die Praxis der Revitalisierungsprojekte einfließen sollen. Für die Planung und Projektierung von Wasserbauvorhaben an Seeufern soll deshalb im Rahmen dieser Arbeitshilfe ein umfassendes Gerüst erstellt werden, welches eine gesamtgesellschaftliche Betrachtung und eine angepasste Vollzugspraxis bestmöglich gewährleistet. Grundlage dafür bildet der Entwurf einer Wegleitung Seeuferschutz Vierwaldstätter-

see, welche im Auftrag der Dienststelle Raumentwicklung, Wirtschaftsförderung und Geoinformation (rawi) des Kantons Luzern erarbeitet wurde. Dieser Entwurf wurde nun als Arbeitshilfe Seeuferrevitalisierung aktualisiert und fertiggestellt, mit den neusten Erkenntnissen ergänzt und in der vorliegenden Ausgabe der Fachzeitschrift des Vereins für Ingenieurbioogie publiziert.

#### 4.1 Zielsetzung

Die vorliegende Arbeitshilfe soll die Revitalisierung der Seeufer fördern, indem Vorgehen und Methoden der Planung und Projektierung dargestellt werden. Mit der Arbeitshilfe sollen die folgenden Ziele erreicht werden:

- **Sensibilisierung:** Die wesentlichen Akteure im Bereich der Seeufer sollen bei der Planung und Projektierung von Uferschutzprojekten für die naturnahen Methoden sensibilisiert werden.
- **Ökologische Aufwertung:** Die Arbeitshilfe dient als weitere Grundlage für den langjährigen Prozess einer nachhaltigen Entwicklung der Seeufer.
- **Gesamtkonzept:** Neben den wasserbaulichen Bemessungsgrundlagen bedarf es eines Gesamtkonzeptes, welches ein einheitliches, systematisches und leitbildorientiertes Vorgehen bei der Herleitung des Handlungsbedarfs, bei der Abstimmung der verschiedenen Interessen und der Erarbeitung des Massnahmenkonzeptes gewährleistet.
- **Praxistauglich:** Die Arbeitshilfe soll eine praxistaugliche Grundlage bilden, welche adressatengerecht formuliert und anwendbar ist.
- **Vorhandenes nutzen:** Für Fliessgewässer wurden etliche Grundlagen erarbeitet. Diese sollen, wo möglich, auf die Thematik Seeufer übertragen werden.
- **Zielpublikum** für diese Umsetzung sind: Gemeinden, Kantone, Organisationen, Planungsbüros oder Privatpersonen, welche konkrete Wasserbauprojekte an Seeufern durchführen, begleiten oder bewilligen.

#### 4.2 Aufbau (vgl. Tab. 1)

Vor der Umsetzung lohnt sich ein Blick über die Seeufer hinaus. Für die Fliessgewässer wurden bereits viele Grundlagen zusammengetragen und gute Instrumente für die Praxis entwickelt (Richtlinien, Wegleitungen). Analogien zu den Fliessgewässern bieten sich bei Erosions-, Transport- und Sedimentationsprozessen am Seeufer. Zu den bestehenden Praxisinstrumenten für Fliessgewässer gehört die Wegleitung Hochwasserschutz an Fliessgewässern des Bundesamts für Wasser und Geologie (BWG 2001). Diese Wegleitung diene als mögliches Beispiel für die Ausarbeitung der Arbeitshilfe Seeuferrevitalisierung, auch wenn natürlich Unterschiede in der Gewichtung des Handlungsbedarfs bestehen. Im Falle der Seeufer entsteht

<b>Planungsschritte</b>
<b>Teil 1 Einleitung</b>
<b>Teil 2 Zuständigkeiten und rechtliche Grundlagen</b> Revitalisierungsplanung Seeufer Vorgehen bei Revitalisierungsprojekten Private und kleine Bauvorhaben: Vorgehen
<b>Teil 3 Seespezifische Grundlagen</b> Landschaftsgeschichtliche Entwicklung, Nutzung Geologische, topographische und hydrographische Grundlagen Weitere ökologische Rahmenbedingungen Raumplanerische Instrumente Erholung am Seeufer
<b>Teil 4 Hydraulische und wasserbautechnische Grundlagen</b> Wind- und Wellenverhältnisse Wasserspiegel Bathymetrie Untergrund und Sedimenteigenschaften Strömungsverhältnisse und Sedimenthaushalt
<b>Teil 5 Ökologisches Rahmenkonzept</b> <b>«PRAKTIK»-Modus</b> <b>«EXPERT»-Modus</b> Zustandsanalyse Zieldefinition Referenzzustand und Leitbild Massnahmenplanung
<b>Teil 6 Wasserbaukonzept und Massnahmenplanung</b> Ist-Zustand und Analyse des Projektgebiets Gewässerraum Definition des Referenzzustands Analyse der Defizite Leitbild, Entwicklungsziele und Handlungsgrundsätze Wasserbauliches Konzept und Design
<b>Teil 7 Bautypen und deren Bemessung</b> Beschreibung der Bautypen
<b>Teil 8 Nutzungslenkung, Unterhalt und Erfolgskontrolle</b>

Tab.1: Der Aufbau der Arbeitshilfe Seeuferrevitalisierung entspricht den einzelnen Planungsschritten | Tab. 1: La structure de l'aide aux travaux de revitalisation des rives lacustres correspond aux différentes étapes de planification

der Handlungsbedarf weniger aus einer direkten Gefahrensituation heraus. Vielmehr ist es hier meist der Gewässer- resp. Uferzustand aus Sicht der Ökologie, der (Erholungs-) Nutzung oder des Landschaftsschutzes, welcher Anlass zur Planung und Durchführung von naturnahen wasserbaulichen Massnahmen gibt.

Im Unterschied zum Wasserbau an Fliessgewässern hat an den Seeufern ein Umdenken hin zu angepassten und naturnahen Methoden erst viel später eingesetzt. Intakte Naturufer an Seen sind aber selten geworden und der Nutzungsdruck steigt kontinuierlich und zwar beidseits der Uferlinie. Unter diesen Voraussetzungen werden ein integrales Seeufermanagement und ein an die natürlichen Verhältnisse angepasster Wasserbau immer wichtiger.

### Literaturverzeichnis

BAFU (Hrsg.) 2018. Revitalisierung Seeufer – Strategische Planung. Ein Modul der Vollzugshilfe zur Renaturierung der Gewässer. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1834: 44 S.

BAFU (Hrsg.) 2019a: Handbuch für die Partizipation bei Wasserbauprojekten. Betroffene zu Beteiligten machen. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Wissen Nr. 1915: 49 S.

BAFU (Hrsg.) 2019b. Wirkungskontrolle Revitalisierung – Gemeinsam lernen für die Zukunft. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern.

Belser A., Dönni W., Dunand I., Govoni M., Haertel-Borer S., Könitzer C., Scapozza C., Thommen M., Weber S. (in Anhörung 2020): Ökologische Anforderungen an Wasserbauprojekte gemäss Art. 4 Wasserbaugesetz (WBG) bzw. Art. 37 Gewässerschutzgesetz (GSchG). Ein Modul der Vollzugshilfe Renaturierung der Gewässer. Bundesamt für Umwelt, Bern.

BWG (Hrsg.) 2001. Hochwasserschutz an Fliessgewässern, Wegleitung. Bundesamt für Wasser und Geologie. 72 S.]

Diebold, M., Iseli, Ch., Elsener, J., Heller, P. 2019. Wellenatlas für Schweizer Seen. Wasser Energie Luft 1/2019 (18-22)

EROSEE 2003. Erosionsprozesse und Uferstabilität an Binnenseen, 1. Zwischenbericht Teil 3 Berner Fachhochschule: Development of Constructional Techniques and Dimensioning Principles by the Example of Lake Bienne [www.erosee.org]

Heller, Ph., Amini, A. 2014. LATLAS: Atlas des vagues pour les lacs de Suisse – Généralisation pour le dimensionnement. Génie Biologique 1/2014 (29-31)

Hofmann, H. und Ostendorp, W. (Hrsg.). 2019: Seeufer: Wellen – Erosion – Schutz – Renaturierung. Handlungsempfehlungen für den Gewässerschutz – Ergebnisse aus dem ReWaM-Verbundprojekt HyMoBioStrategie (2015-2018). Konstanz

Huber, A. 2014. Wellendynamik und Seeuferrevitalisierung. Ingenieurbilogie. 4/2014 (38-44)

Iseli, Ch. 2012. Verbaute Seeufer aufwerten. Wegleitung – Raum und Wirtschaft [früher Raumentwicklung, Wirtschaftsförderung und Geoinformation; rawi] mit weiteren Dienststellen des Kantons Luzern [rawi.lu.ch – Downloads]. 8 S.

Iseli, Ch.; Müller, B. 2007. Wegleitung Seeuferschutz Vierwaldstättersee [Entwurf] im Auftrag Dienststellen Kanton Luzern: 37 S.

IGKB 2009. Limnologische Bewertung der Ufer- und Flachwasserzone des Bodensees. [Bericht Nr. 55]. Langenargen.

Niederberger, K., Rey, P., Reichert, P., Schlosser, J., Helg, U., Haertel-Borer, S., Binderheim, E., 2016. Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Seen. Modul: Ökomorphologie Seeufer. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1632: 73 S.

Niederberger, K., Sturzenegger, M. 2014. Wasserpflanzen-erhebungen: Methodik zur Erfassung der Wasserpflanzen- und Seegrundverhältnisse. Aqua & Gas 7/8,2014 [66-77]

Schleiss, A. [Hrsg.] 2006. Bases de dimensionnement des mesures de protection des rives lacustres / Bemessungsgrundlagen für Massnahmen zum Schutz von Flachufern an Seen. Communication Laboratoire de Constructions Hydrauliques, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne 27

Schlosser J. A., Haertel-Borer S., Liechi 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: 38 S.

Siessegger, B; Teiber, P. 2001. Erfolgsmodell für Renaturierungen am Bodenseeufer. Ingenieurbiologie 3/2001

Swisstopo 2016. swissBATHY3D Reliefschattierung: Bathymetrische Daten [Bundesamt für Landestopografie] <https://map.geo.admin.ch/>

## Kontaktadresse

Christoph Iseli, dipl. Forsting. ETH  
Landschaftswerk Biel-Seeland  
Mattenstrasse 133  
2501 Biel/Bienne  
Tel. 032 328 11 33  
[ch.iseli@landschaftswerk.ch](mailto:ch.iseli@landschaftswerk.ch)



Christoph Iseli



**Unser Beratungs- und Ausführungsteam begleitet Ihre Projekte mit 55 Jahren Know-how.**

-  **Ansaat**  
Wir begrünen alle Flächen und Böschungen in jedem Gelände und an jedem Standort.
-  **EcoTex®-Geotextilien als Erosionsschutz**  
Wir liefern und verlegen Geotextilien aus Kokosfasern oder Jute; natürlich und biologisch abbaubar.
-  **Sedummatten**  
Sie suchen vorkultivierte, sofort verlegbare Sedummatten für die extensive Begrünung von Böschungen, Verkehrsinseln, Garten- und Rasenabschlüssen oder Garagen und Carports? Wir liefern sie.
-  **Ingenieurbiologie**  
Wir sind Ihr Ansprechpartner für verschiedene Stützkonstruktionen für Uferzonen und Böschungen.

Mehr Informationen und interessante Referenzobjekte finden Sie auf unserer Internetseite [www.hydrosaart.ch](http://www.hydrosaart.ch).

Senden Sie uns eine Mail an [hydrosaart@hydrosaart.ch](mailto:hydrosaart@hydrosaart.ch) oder rufen Sie uns an unter 026 322 45 25. Wir freuen uns auf Ihre Kontaktaufnahme!



# Zuständigkeiten und Rechts- grundlagen

Robert Lovas  
Gregor Thomas  
Christoph Iseli  
Teil 2

## Zusammenfassung

Das Schweizerische Gewässerschutzgesetz wurde im Jahr 2011 revidiert. Darin wurde die Revitalisierungsplanung von Fliessgewässern und stehenden Gewässern verankert. Das Ziel der Revision des Gewässerschutzrechts bestand gemäss den vorangegangenen Parlamentsbeschlüssen in der Revitalisierung der Gewässer. Eine Stossrichtung der Beschlüsse bildete die Sicherung und extensive Bewirtschaftung des Gewässerraums sowie die Förderung von Revitalisierungen. Damit wird unter anderem die Wiederherstellung der natürlichen Funktionen eines verbauten und korrigierten oberirdischen Gewässers mit baulichen Massnahmen verstanden (Art. 4 m GSchG).

Gemäss dem revidierten Gewässerschutzrecht stehen die Kantone in der Pflicht. Sie haben für die Revitalisierungsplanung von Gewässern zu sorgen. Bis zum Ende des Jahres 2022 haben sie die verabschiedete Strategische Revitalisierungsplanung zu den Seeufern dem Bund einzureichen. Im Rahmen ihrer Strategischen Revitalisierungsplanung identifizieren die Kantone diejenigen Seeuferabschnitte, an denen mit Revitalisierungen ein grosser Nutzen für die Natur und Landschaft im Verhältnis zum voraussichtlichen Aufwand erzielt werden kann. Die Planung definiert die Art der Revitalisierungsmassnahmen und legt die Fristen zur Umsetzung der Massnahmen fest. Für die Umsetzung dieser Revitalisierungsplanung ist ein Zeitraum von 20 Jahren vorgesehen.

## Keywords

Rechtsgrundlagen, Gewässerschutz, Revitalisierungsplanung, Revitalisierungen, Finanzierung, Bauvorhaben, natürliche Funktionen

## Responsabilités et bases juridiques

### Résumé

La Loi suisse sur la protection des eaux a été révisée en 2011. La planification de la revitalisation des cours d'eau et des eaux stagnantes y était ancrée. Conformément aux résolutions parlementaires précédentes, l'objectif de la révision de la Loi sur la protection des eaux était la revitalisation des cours d'eau. L'un des axes des résolutions était la protection et l'exploitation extensive de l'espace réservé aux eaux, ainsi que la promotion des revitalisations. Il s'agit entre autres de rétablir les fonctions naturelles des eaux superficielles obstruées et corrigées par des mesures d'aménagement (art. 4 m LEaux).

Selon la Loi révisée sur la protection des eaux, les cantons sont tenus de prendre de telles mesures. Ils sont responsables de la planification de la revitalisation des eaux. D'ici à la fin 2022, les cantons doivent soumettre à la Con-

fédération leurs plans stratégiques de revitalisation des rives lacustres qui ont été approuvés. Dans le cadre de leur planification stratégique de la revitalisation, les cantons identifient les tronçons des rives lacustres dont la revitalisation peut apporter des avantages importants pour la nature et le paysage par rapport aux dépenses prévues. Le plan définit le type de mesures de revitalisation à prendre et fixe des délais pour leur mise en œuvre. Une période de 20 ans est prévue pour la mise en œuvre de ce plan de revitalisation.

### Mots-clés

Base juridique, protection des eaux, planification de la revitalisation, revitalisations, financement, projet de construction

## Responsabilità e basi legali

### Riassunto

La legge federale sulla protezione delle acque [LPAC] è stata rivista nel 2011 e in essa è stata ancorata la pianificazione della rivitalizzazione dei corsi d'acqua e delle acque stagnanti. Conformemente alle risoluzioni parlamentari sui cui si basa, l'obiettivo della revisione della legge sulla protezione delle acque era la rivitalizzazione delle stesse. Uno degli obiettivi delle risoluzioni era quello di assicurare e gestire in modo estensivo lo spazio riservato alle acque e di promuoverne la rinaturazione. Ciò significa, tra l'altro, ripristinare mediante misure di natura edile le funzioni naturali delle acque di superficie arginate, coperte e corrette [art. 4m LPAC].

Secondo la revisione della legge sulla protezione delle acque, la responsabilità è dei Cantoni, i quali sono tenuti ad elaborare e mettere in atto la pianificazione strategica per la rivitalizzazione delle acque. Entro la fine del 2022, i Cantoni devono presentare alla Confederazione la pianificazione cantonale approvata per la riqualifica delle rive lacustri. Nell'ambito della pianificazione strategica, i Cantoni individuano quei tratti di rive lacustri in cui la rinaturazione può portare grandi benefici alla natura e al paesaggio in relazione ai costi previsti. Il piano definisce il tipo di misure per il risanamento e fissa le scadenze per la loro attuazione. Per l'attuazione di questa pianificazione è previsto un periodo di 20 anni.

### Parole chiave

Basi legali, protezione delle acque, pianificazione della rivitalizzazione, rivitalizzazioni, finanziamento, progetto di costruzione

## 1. Revitalisierungsplanung Seeufer

### 1.1 Grundlagen

Das Ziel von Revitalisierungen sind naturnahe Gewässer mit der Fähigkeit zur Selbstregulation und Resilienz, ein ausreichender Gewässerraum, gewässertypspezifische Eigendynamik und sich selbst reproduzierende Populationen von standorttypischen Organismen. Weitere Ziele sind die Förderung der Biodiversität im und am Gewässer, insbesondere von gewässertypspezifischen Zielarten. Die Gewässer sollen als Rückgrat des Netzwerkes aquatischer, amphibischer und terrestrischer Lebensräume sowie als naturnahe, prägende Elemente der Natur- und Kulturlandschaft gestärkt werden.

Die Anforderungen, die an Verbauungen und Korrekturen von Fließgewässern, wie z.B. auch Revitalisierungen gestellt werden, sind in Art. 37 Abs. 2 des Gewässerschutzgesetzes [GSchG] bzw. Art. 4 des Wasserbaugesetzes [WBG] beschrieben: Der natürliche Verlauf des Gewässers muss möglichst wiederhergestellt werden. Gewässer und Gewässerraum müssen so gestaltet werden, dass:

- a) sie einer vielfältigen Tier- und Pflanzenwelt als Lebensraum dienen können;
  - b) die Wechselwirkungen zwischen ober- und unterirdischem Gewässer weitgehend erhalten bleiben;
  - c) eine standortgerechte Ufervegetation gedeihen kann.
- Das Vorgehen bei der Revitalisierungsplanung Seeufer wird in der Vollzugshilfe des Bundesamtes für Umwelt [BAFU 2018a] aufgezeigt. Eine Vollzugshilfe mit dem Titel «Ökologische Anforderungen an Wasserbauprojekte nach Art. 4 WBG und Art. 37 GSchG soll 2020 [Belser et al. in Anhörung 2020] erscheinen. Darin gemachte generelle Aussagen sollen auch auf Seeufer übertragbar sein.

Die Kantone sorgen gemäss Art. 38a Abs. 1 GSchG für die Revitalisierung von Gewässern. Sie berücksichtigen dabei den Nutzen für die Natur und die Landschaft sowie die wirtschaftlichen Auswirkungen, die sich aus der Revitalisierung ergeben. Nach Abs. 2 planen sie die Revitalisierungen und legen die Fristen für die Umsetzung der Massnahmen fest. Sie sorgen dafür, dass diese Planung bei der Richt- und Nutzungsplanung berücksichtigt wird. Die Planung ist, soweit erforderlich, mit den Nachbarkantonen abzustimmen. Für einen Verlust an Fruchtfolgefleichen ist nach den Vorgaben der Sachplanung des Bundes [Art. 13 RPG] Ersatz zu leisten.

Eine wichtige Grundlage der Revitalisierungsplanungen bildet der ökomorphologische Zustand der Seeufer. Hierzu wurde vom BAFU eine schweizweit gültige Methode erarbeitet [Niederberger et al. 2016]. Mit einem geografischen Informationssystem [GIS] und mit Hilfe von Schrägluftbildern wird die Erhebung und Bewertung der Uferabschnitte vorgenommen. Zusammen mit dem ökomorphologischen

Zustand werden die Anlagen im Gewässerraum berücksichtigt und bewertet.

Gemäss Art. 41d Abs. 2 GSchV sind Revitalisierungen vorrangig vorzusehen, wenn:

- deren Nutzen für die Natur und die Landschaft gross ist (anhand des ökologischen Potenzials und der landschaftlichen Bedeutung für das Gewässer);
- deren Nutzen im Verhältnis zum voraussichtlichen Aufwand gross ist;
- der Schutz der natürlichen Lebensräume oder der Schutz vor Hochwasser vergrössert wird.

In Art. 41d Abs. 3 GSchV sind die Fristen festgelegt. Für stehende Gewässer ist die Revitalisierungsplanung bis zum 31. Dezember 2022 durch die Kantone zu verabschieden. Die Kantone unterbreiten die Planungen dem BAFU jeweils ein Jahr vor deren Verabschiedung zur Stellungnahme.

### 1.2 Massnahmentypen

Den ausgeschiedenen, prioritär zu revitalisierenden Seeuferabschnitten sollen Massnahmentypen zugeordnet werden, mit denen die Ziele von Revitalisierungen erreicht werden können. Eine detaillierte Massnahmenplanung ist nicht Bestandteil der Revitalisierungsplanung, sondern erst bei der konkreten Projektierung erforderlich.

Mögliche Typen von Revitalisierungsmassnahmen, welche eine Verbesserung auf der Uferlinie erzielen und damit subventionsberechtigt sind:

- Rückverlegung/Beseitigung bestehender Uferverbauung
- Flachuferschüttung
- Landseitige Terrainanpassung
- Wiederherstellung von Flachwasserzonen (z.B. Auffüllen von Baggerlöchern)
- Schüttung von Inseln
- Strukturierung der Ufer
- Schaffung von Feuchtgebieten/Tümpeln in Uferzonen, an denen auf absehbare Zeit keine weitergehende Revitalisierung möglich ist, falls die Zielarten national prioritär sind
- Schaffung von Feuchtgebieten/Tümpeln im Gewässerraum zur Förderung national prioritärer Arten

Massnahmen zur Uferstrukturierung, welche nicht für sich alleine aber in Kombination mit obigen Massnahmen subventionsberechtigt sind:

- Schilfpflanzungen/Schilfschutzmassnahmen
- Entfernung von Anlagen aus Flachwasserzonen/Uferstreifen

Für die geplanten Massnahmen sind zeitliche Fristen zur Umsetzung zu definieren, diese sind auf die 20 Jahre Gültigkeit einer Planung auszurichten.

### 1.3 Finanzierung der Revitalisierungsplanung

An den Planungsarbeiten beteiligt sich der Bund basierend auf einem geprüften Budget mit 60% an den Planungs-

kosten. Die erbrachten Planungsarbeiten werden über die Programmvereinbarung vergütet. Dazu gehört auch die Erhebung der Ökomorphologie, inklusive Erstellung von Schrägluftaufnahmen. Die direkt vom Kanton erbrachten Leistungen können ebenfalls geltend gemacht werden, diese beziehen sich aber nur auf die unmittelbar mit der Erstellung der Planung verbundenen Aufgaben.

## 2. Vorgehen bei Revitalisierungsprojekten

Eine Revitalisierung ist gemäss Art. 37 GSchG bzw. Art. 4 WBG möglichst naturnah umzusetzen. Das Planungsvorgehen ist als Konkretisierung zu den beiden genannten Gesetzesartikeln im Modul «Ökologische Anforderungen an Wasserbauprojekte» (Belser et al. in Anhörung 2020) der Vollzugshilfe «Renaturierung der Gewässer» (BAFU 2018a) beschrieben.

### 2.1 Planung

Im ersten Schritt wird eine Situationsanalyse durchgeführt: Für die Dokumentation des Ist-Zustandes werden abiotische und biotische Bedingungen zusammengetragen, der Naturzustand und der Referenzzustand werden definiert und in der Defizitanalyse mit dem Ist-Zustand verglichen. Im Rahmen der Zieldefinition werden anhand der ermittelten Defizite ökologische Entwicklungsziele zur Erreichung des Soll-Zustands festgelegt. Während der Massnahmenplanung werden verschiedene Varianten ausgearbeitet und die Bestvariante wird bestimmt. Die konkreten Massnahmen müssen in Übereinstimmung mit den ökologischen Entwicklungszielen geplant werden.

Gemäss den fachspezifischen Erläuterungen zur Programmvereinbarung im Bereich Revitalisierungen sind verschiedene weitere Aspekte während der Planung zu beachten und auszuweisen:

- Systemabgrenzungen
- Koordination mit anderen Planungen wie Hochwasserschutzkonzepte, Planungen von Massnahmen zur Sanierung negativer Auswirkungen der Wasserkraftnutzung in den Bereichen Schwall/Sunk, Geschiebe und Restwasser nach GSchG sowie von Massnahmen nach Art. 10 BGF, Schutz und Aufwertung von Inventarobjekten nach Art. 5, 18a und 23b NHG, Lebensräumen national prioritärer Arten und Umsetzung der ökologischen Infrastruktur gemäss Ziel 2 der Strategie Biodiversität Schweiz (SBS), Nutzungs-, Wasserbau-, Entwässerungsplanungen, landwirtschaftliche Planungen u.a.
- Partizipation: Verfahren zum Einbezug der relevanten Akteure (siehe Programm «Schutzbauten und Gefahrengrundlagen» sowie aktualisierte Version der Vollzugshilfe Partizipation bei Wasserbauprojekten (BAFU 2019a).
- Wirtschaftlichkeit
- Kostentransparenz
- Landerwerb und Landumlegung

## 2.2 Ökologische Aspekte und Umsetzung

Die zu berücksichtigenden ökologische Aspekte sind im Modul «Ökologische Anforderungen an Wasserbauprojekte» [Belser et al. in Anhörung 2020], in der Vollzugshilfe «Renaturierung der Gewässer» und in der Programmvereinbarung beschrieben.

Während der Projektierungs- und Bauphase ist eine ökologische Projektbegleitung durch einen Gewässerökologen oder gegebenenfalls eine Auenfachperson sicherzustellen. Diese Aufgabe können auch entsprechende Kantonsmitarbeitende innehaben.

Zusätzlich sind Konzepte zur Wirkungskontrolle, zum Unterhalt und zur Naherholung zu erstellen.

In der Praxisdokumentation «Wirkungskontrolle Revitalisierung – Gemeinsam Lernen für die Zukunft» [BAFU 2019b], ist die Erhebung der Wirkungskontrolle bei Fließgewässerrevitalisierungen vorgegeben. Zwar sind Methode und Bewertung für Seeuferrevitalisierungen nicht 1:1 übertragbar, aber die allgemeinen Aspekte des Konzeptes (z.B. Vorher-nachher-Erhebungen, Aufnahmezeitpunkt, etc.) sollten für die Wirkungskontrolle am Seeufer gleich gehandhabt werden.

Die faunistischen und floristischen Daten, welche die Kantone erheben, sind an die nationalen Datenzentren zu übermitteln: CSCF (Fauna), Info Flora, NISM (Moose), Swissfungi (Pilze) und Swiss-Lichens (Flechten). Der Bund sorgt seinerseits dafür, dass sich der Zugang der Kantone zu den Datenzentren möglichst einfach gestaltet.

Für den gewässergerechten, naturnahen Unterhalt ist ein Konzept «Unterhalt» zu erstellen. Es dient neben der Sicherung des Hochwasserschutzes auch der Erreichung und dem Erhalt der ökologischen Entwicklungsziele. Im Unterhaltskonzept muss u.a. der Umgang mit invasiven Neophyten geplant werden. Nach Bauabschluss muss die Neophytenbekämpfung fester Bestandteil eines sachgerechten Unterhalts sein.

Wo relevant, ist ein Konzept «Naherholung» für die Erholunglenkung zu erstellen.

## 2.3 Hochwasserschutz

Der Hochwasserschutz darf durch Revitalisierungsprojekte nicht verschlechtert werden, und Revitalisierungsprojekte müssen den Anforderungen des Hochwasserschutzes entsprechen (Schutzziel und Wiederkehrperiode müssen definiert sein). Schutzziele sind zu differenzieren gemäss der Vollzugshilfe «Hochwasserschutz an Fließgewässern» [BWG 2001].

Projekte berücksichtigen die Gefährdung, die Schutzwürdigkeit und den daraus folgenden Handlungsbedarf: Die Verhältnismässigkeit der Schutzmassnahmen ist eingehalten. Die Ausbaumassnahmen und der Ausbaugrad sind auf das Schadenpotenzial abgestimmt, der Überlastfall ist be-

handelt und das Restrisiko bekannt und ausgewiesen. Die Begleitung des Projekts durch einen Wasserbauingenieur ist sicherzustellen.

## 2.4 Finanzierung von Revitalisierungsprojekten

Die Finanzierung der kantonalen Revitalisierungsplanung sowie der Planung und der Umsetzung von konkreten Revitalisierungsprojekten an Gewässern wird gemäss «Handbuch Programmvereinbarungen im Umweltbereich» [BAFU 2018c] zwischen Bund und Kantonen geregelt. Im «Handbuch Programmvereinbarungen im Umweltbereich 2025-28» wird speziell die Subventionierung von Revitalisierungsprojekten an Seeufern geregelt werden, welche auf die Ergebnisse der strategischen Revitalisierungsplanung abgestimmt sein werden. Bis einschliesslich 2024 werden Revitalisierungsprojekte am Seeufer mit pauschal 55% seitens Bund subventioniert.

Massgebend für die Subventionierung von Revitalisierungsprojekten durch den Bund wird ab 2025 der ausgewiesene Nutzen einer Revitalisierung für Natur und Landschaft im Verhältnis zum voraussichtlichen Aufwand sein. Revitalisierungen mit einem ausgewiesenen hohen und mittleren Nutzen für Natur und Landschaft im Verhältnis zum Aufwand, als Resultat der strategischen Revitalisierungsplanung, werden grosszügiger subventioniert, als solche mit geringem Nutzen. Das detaillierte Subventionierungsmodell für Seeuferrevitalisierungen wird mit dem «Handbuch Programmvereinbarungen im Umweltbereich 2025-28» definiert werden.

## 2.5 Voraussetzungen für die Vergabe von Subventionen

Subventionsberechtigte Revitalisierungsprojekte an Seeufern stellen die natürlichen Funktionen eines verbauten oder korrigierten Seeufers mit baulichen Massnahmen wieder her (Art. 4m GSchG). Sie bewirken eine ökomorphologische Verbesserung im Übergangsbereich Land-Wasser und tragen damit zu einer besseren Vernetzung zwischen Land und Wasser bei.

Auch standortgerechte Schüttungen von Inseln im Mündungsbereich von Fließgewässern in der Flachwasserzone gelten als Revitalisierungsprojekte, wenn die natürlichen Prozesse soweit beeinträchtigt sind, dass diese nicht natürlicherweise entstehen können. Hingegen sind isolierte Aufwertungsmassnahmen (z.B. Schilfschutzmassnahmen) ohne morphologische Aufwertung im Übergangsbereich Land-Wasser für sich gesehen nicht über das GSchG subventionsberechtigt, allenfalls aber in Kombination mit Massnahmen, welche die oben genannten Kriterien erfüllen. Es ist im Einzelfall zu prüfen, ob es sich bei einem Projekt um eine Revitalisierung nach GSchG handelt oder um ein Aufwertungsprojekt im Rahmen des NHG. Abgeltungen an die Durchführung von Revitalisierungsmassnahmen werden nur dann gewährt, wenn der betrof-

fene Kanton eine den Anforderungen von Art. 41d GSchV entsprechende Planung von Revitalisierungen erstellt hat [Art. 54b Abs. 5 GSchV]. Die Höhe der Abgeltungen richtet sich nach den Kriterien von Art. 54b Absatz 1 GSchV. Neben dem GSchG sind insbesondere das WBG, das Subventionsgesetz [SuG], das Raumplanungsgesetz [RPG], das Natur- und Heimatschutzgesetz [NHG], das Waldgesetz [WaG] und das Bundesgesetz über die Fischerei [BGF] im Bereich Revitalisierungen von Relevanz. Im Weiteren ermöglicht das Landwirtschaftsgesetz [LwG], gestützt auf Art. 87 Abs. 1 Bst. e, den naturnahen Rückbau von Kleingewässern mit Finanzhilfen (Beiträge und Investitionskredite) zu fördern.

Gemäss Art. 62b GSchG gewährt der Bund den Kantonen im Rahmen der bewilligten Kredite und auf der Grundlage von Programmvereinbarungen Abgeltungen als globale Beiträge an die Planung und Durchführung von Massnahmen zur Revitalisierung von Gewässern. Für besonders aufwendige Projekte können die Abgeltungen an die Kantone auch einzeln gewährt werden. Unterstützt werden u.a.:

- die Umsetzung von Revitalisierungsmassnahmen (gemäss Definition Art. 4 im GSchG) sowie deren
- Wirkungskontrollen.

Schnittstellen und Synergien von Revitalisierungen nach GSchG bestehen sowohl mit anderen Programmvereinbarungen im Umweltbereich, als auch mit Abgeltungen bzw. Finanzhilfen nach GSchG, BGF, Energiegesetz [EnG] und Landwirtschaftsgesetz [LwG].

Zur Schnittstelle mit dem Programm Schutzbauten und Gefahregrundlagen gilt es darauf hinzuweisen, dass die ökologischen Ansprüche an Hochwasserschutz- und Revitalisierungsprojekte grundsätzlich die gleichen sind [Art. 37 Abs. 2 GSchG und Art. 4 Abs. 2 WBG lauten gleich]. Im Modul «Ökologische Anforderungen an Wasserbauprojekte» [Belser et al. in Anhörung 2020] der Vollzugshilfe «Renaturierung der Gewässer» [BAFU 2018a] werden diese spezifiziert. Es werden jedoch Hochwasserschutzprojekte nach WBG mit dem Hauptziel Hochwassersicherheit und Revitalisierungsprojekte nach GSchG mit dem Hauptziel ökologische Aufwertung unterschieden.

### 3. Private und kleine Bauvorhaben: Vorgehen

Revitalisierungen, welche durch Gemeinden oder private Bauherrschaften und nicht durch den Kanton ausgeführt werden, sind bewilligungspflichtig. Dies gilt auch für sämtliche anderen Bauvorhaben, welche die öffentlichen Gewässer betreffen [Bauten im und am Gewässer, Eingriffe in der Uferzone, der Uferlinie oder der Flachwasserzone] und welche über den ordentlichen Gewässerunterhalt hinausgehen. Das Ziel aller Eingriffe sollte sein, mehr Naturnähe zu erreichen. Im Grundsatz heisst das, dass der Ausgangs-

zustand nicht verschlechtert werden darf und bei jedem Eingriff eine Verbesserung erreicht werden soll.

#### Bewilligungspflicht

Wie bei allen Bauten, gilt erst recht bei Gewässern eine Bewilligungspflicht. Als Unterhalt gelten Massnahmen, bei denen weder die Art noch die Lage der Uferverbauung geändert wird. Sobald ein zusätzlicher Kolkenschutz, Verfürgungen von Natursteinmauern, Schüttungen, Bodenabtrag oder ähnliches notwendig sind, handelt es sich um eine Sanierungsmassnahme, die einer Bewilligung bedarf. Für eine geplante Seeufersanierung im Uferbereich ist ein Baugesuch bei der Gemeinde einzureichen. Ihre Gemeinde informiert Sie über die dazu notwendigen Schritte. Den Ablauf zeigt das Schema der Abbildung 1 auf.

→ Nichts geht ohne Baubewilligung!

#### Voranfrage

Eingriffe in Seeufer verlangen fundiertes Fachwissen und Erfahrung. Es empfiehlt sich daher, vorgängig zur Baueingabe eine Anfrage bei den zuständigen Fachstellen vorzunehmen, allenfalls verbunden mit einer Begehung vor Ort. Ihre Gemeinde ist Ihre erste Ansprechpartnerin. Sie operiert in Absprache mit den zuständigen kantonalen Behörden und berät Sie gerne kompetent und prompt. Diese Anfrage soll sicher stellen, ob und unter welchen Bedingungen [Aufgaben] das Vorhaben überhaupt realisiert werden kann.

→ Laden Sie Fachpersonen zu einem Augenschein vor Ort ein!

#### Notwendiges Fachwissen

Seeufer sind sensible und wertvolle Ökosysteme. Eingriffe bedürfen fundierten Fachwissens und Erfahrung. Unsachgemässe Uferverbauungen können weitere unerwünschte oder gefährliche Schadensprozesse zur Folge haben. Damit ist nicht zu spassen.

→ Hände weg von Selbstbau ohne Spezialisten!

#### Von der Baueingabe zur Baubewilligung

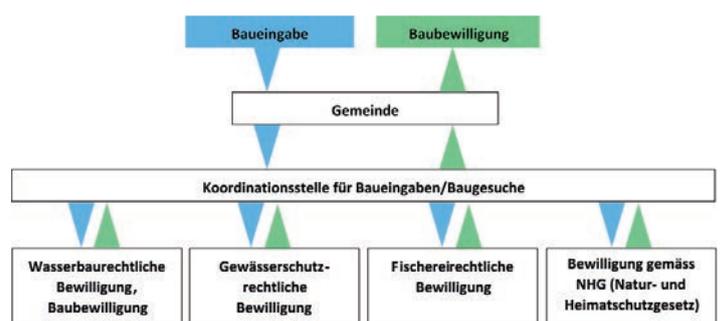


Abb. 1: Gesuchs- und Bewilligungsverfahren [Iseli 2012] | Fig. 1: Procédure de demande et d'approbation [Iseli 2012]

## Grundsätze der Planung

Bei der Planung von Sanierungsarbeiten ist zu berücksichtigen:

- Die Art der Uferverbauung muss gleich bleiben oder eine ökologische und landschaftsästhetische Verbesserung bringen.
- Falls ein Kolkschutz notwendig ist, ist darauf zu achten, dass dessen Oberkante unter dem Niederwasserstand des Seepegels zu liegen kommt.
- Weiter sind kantonsspezifische Anforderungen zu beachten.

Weitere konkrete Grundlagen hierzu mit anschaulichen Bildern und einer Checkliste, ob sich eine Alternative zur Ufermauer an einem bestimmten Uferabschnitt aufdrängt, sind in der Wegleitung der Dienststelle Raum und Wirtschaft [rawi] des Kantons Luzern [Iseli 2012] zu finden.

## Literatur

Rechtsgrundlagen des Bundes

BGF Bundesgesetz vom 21. Juni 1991 über die Fischerei, SR 923.0

EnG Energiegesetz vom 30. September 2016, SR 730.0

GSchG Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer vom 24. Januar 1991; SR 814.20

GSchV Gewässerschutzverordnung vom 28. Oktober 1998; SR 814.201

LwG Landwirtschaftsgesetz vom 29. April 1998, SR 910.1

NHG Natur- und Heimatschutzgesetz vom 1. Juli 1966, SR 451

RPG Raumplanungsgesetz vom 22. Juni 1979, SR 700

SuG Subventionsgesetz vom 5. Oktober 1990, SR 616.1

WaG Bundesgesetz über den Wald vom 4. Oktober 1991, SR 921.0

WBG Bundesgesetz über den Wasserbau vom 21. Juni 1991, SR 721.100

Und dazugehörige kantonale Rechtsgrundlagen

BAFU [Hrsg.] 2012: Strategie Biodiversität Schweiz. Bundesamt für Umwelt, Bern. 89 S.

BAFU [Hrsg.] 2017: Aktionsplan Strategie Biodiversität Schweiz. Aktionsplan des Bundesrates. Bundesamt für Umwelt, Bern. 50 S.

BAFU 2018a: Vollzugshilfe Renaturierung der Gewässer. <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wasser/publikationen-studien/publikationen-wasser/vollzugshilferenaturierung-der-gewaesser.html>

BAFU [Hrsg.] 2018b: Revitalisierung Seeufer – Strategische Planung. Ein Modul der Vollzugshilfe zur Renaturierung der Gewässer. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1834: 44 S.

BAFU [Hrsg.] 2018c: Handbuch Programmvereinbarungen im Umweltbereich 2020 – 2024. Mitteilung des BAFU als Vollzugsbehörde an Gesuchsteller. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1817: 294 S.

BAFU [Hrsg.] 2019a: Handbuch für die Partizipation bei Wasserbauprojekten. Betroffene zu Beteiligten machen. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Wissen Nr. 1915: 49 S.

BAFU [Hrsg.] 2019b. Wirkungskontrolle Revitalisierung – Gemeinsam lernen für die Zukunft. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern.

Belser A., Dönni W., Dunand I., Govoni M., Haertel-Borer S., Könitzer C., Scapozza C., Thommen M., Weber S. [in Anhörung 2020]: Ökologische Anforderungen an Wasserbauprojekte gemäss Art. 4 Wasserbaugesetz [WBG] bzw. Art. 37 Gewässerschutzgesetz [GSchG]. Ein Modul der Vollzugshilfe Renaturierung der Gewässer. Bundesamt für Umwelt, Bern.

Iseli, Ch. 2012: Verbaute Seeufer aufwerten. Wegleitung – Raum und Wirtschaft (früher Raumentwicklung, Wirtschaftsförderung und Geoinformation; rawi) mit weiteren Dienststellen des Kantons Luzern [rawi.lu.ch – Downloads]. 8 S.

Niederberger K., Rey P., Reichert P., Schlosser J., Helg U., Haertel-Borer S., Binderheim E., 2016: Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Seen. Modul: Ökomorphologie Seeufer. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1632: 73 S.

## Kontaktadresse

Robert Lovas, dipl. Natw. ETH  
Umwelt und Energie [uwe] Kanton Luzern  
Libellenrain 15  
Postfach 3439, 6002 Luzern  
Tel. 041 228 60 77  
robert.lovas@lu.ch

Gregor Thomas, Dr. rer. Nat., Biologe  
Bundesamt für Umwelt BAFU  
Abteilung Wasser  
Sektion Revitalisierung und Gewässerbewirtschaftung  
Papiermühlestrasse 172  
3063 Ittigen  
Postadresse: 3003 Bern  
Tel. 058 46 54135  
Gregor.thomas@bafu.admin.ch

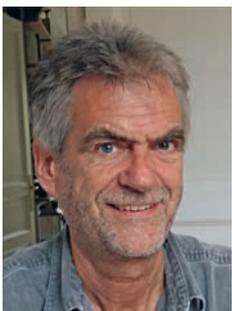
Christoph Iseli, dipl. Forsting, ETH  
Landschaftswerk Biel-Seeland  
Mattenstrasse 133  
2501 Biel/Bienne  
032 328 11 33  
ch.iseli@landschaftswerk.ch



Robert Lovas



Gregor Thomas



Christoph Iseli

**Begrünungen Hunn**  
Mit der Natur als Partner

Begrünungen  
Samenmatten  
Sedummatten

Erosionsschutz  
und  
Böschungsbegrünung

Begrünungen Hunn AG  
Pilatusstrasse 14, 5630 Muri  
[www.begrueenungen-hunn.ch](http://www.begrueenungen-hunn.ch)

The advertisement features a green diagonal background with a blurred image of purple flowers. It includes three small inset images: a truck spreading seeds, a woven seed mat, and a roll of sedum mat. The text is in blue and green, with the company name in a large, bold font.

# Seespezifische Grundlagen

Thomas Oesch  
Nadja Schläpfer  
Monika Schirmer  
Teil 3

## Zusammenfassung

Die grossen Schweizer Seen sind in der Vergangenheit markanten Veränderungen durch die Nutzungseinflüsse der Menschen unterworfen worden. Erhöhter Nährstoffeintrag, Regulierung des Seespiegels sowie Aufschüttung und Verbauung der Ufer hatten weitreichende Folgen für den See als Ökosystem. Dem erhöhten Nährstoffeintrag konnte erfolgreich entgegengewirkt werden, die hart verbauten Ufer sind aber nach wie vor omnipräsent. Bei einer Revitalisierung der Seeufer muss der See als Gesamtsystem betrachtet werden, um eine Aufwertung zu erreichen, die sowohl den Ansprüchen der Ökologie als auch des Menschen gerecht wird. Für die Erfassung des Gesamtsystems See spielt die landschaftliche Entwicklung und die Veränderung über die Zeit eine Rolle. Was ist der natürliche Referenzzustand? Welche Ökotope würden natürlicherweise vorkommen, welche nicht? Ebenso gilt es, den natürlichen Kräften, den grundlegenden Verlandungs- und Erosionsprozessen sowie der Reaktion des Gesamtsystems auf die Beanspruchungen durch Wellen und Strömung Rechnung zu tragen. Meist sind bestehende Bauten und Anlagen vor Unterspülung und Erosion zu schützen. Es gilt die Bestandesgarantie. Zusätzlich steigt das Bedürfnis der Bevölkerung nach Naherholung; der Zugang zum See sollte in regelmässigen Abständen gewährleistet werden. Oft wird eine Besucherlenkung notwendig. Die Aufwertung der Seeufer benötigt vor allem eines: verfügbaren Boden. Bei öffentlichem Grund greifen die Raumplanungsinstrumente einfacher. Vielerorts befinden sich Seeuferparzellen jedoch in privater Hand; eine zusammenhängende, grössere Uferaufwertung ist schwierig. Deshalb bleibt zu wünschen, dass die Gemeinden den Gestaltungsspielraum mit hochwertigen Überbauungs- und Gestaltungsplänen noch besser ausschöpfen. Es wird sich zeigen, wie weit die kommende Ausscheidung des Gewässerraumes am See etwas Dynamik in die Revitalisierung der Uferbereiche bringt.

## Keywords

Landschaftsentwicklung, Seeuferplanung, Seeufermorphologie

## Bases spécifiques aux lacs

### Résumé

Dans le passé, les grands lacs suisses ont subi d'importantes modifications dues à l'activité humaine. L'augmentation de l'apport en nutriments, la régulation du niveau des lacs et la construction de digues et de structures sur les rives ont eu des conséquences de grande envergure pour les lacs en tant qu'écosystème. L'augmentation de l'apport en nutriments a pu être contrecarrée avec succès, mais les rives construites en dur sont toujours omniprésentes.

Lors de la revitalisation des rives, le lac doit être considéré comme un système complet afin de parvenir à une revalorisation qui réponde aux exigences à la fois écologiques et humaines. L'évolution du paysage et les changements au fil du temps jouent un rôle dans l'évaluation du système lacustre global. Qu'est-ce que l'état de référence naturel ? Quels écotopes seraient présents naturellement et lesquels ne le seraient pas ? Il est également important de prendre en compte les forces naturelles, les processus fondamentaux d'atterrissements et d'érosion, ainsi que la réaction de l'ensemble du système aux sollicitations causées par les vagues et les courants. Dans la plupart des cas, les bâtiments et les installations existants doivent être protégés contre l'érosion et l'affouillement. La garantie d'existence prévaut. En outre, les besoins de la population en matière de loisirs de proximité augmentent ; l'accès au lac doit être garanti à intervalles réguliers. L'orientation des visiteurs est souvent nécessaire.

La revalorisation des rives lacustres nécessite avant tout une chose : des terrains disponibles. Les instruments d'aménagement du territoire sont plus efficaces sur les terrains publics. En de nombreux endroits cependant, les parcelles situées au bord du lac sont des propriétés privées ; une revalorisation riveraine cohérente et plus vaste est difficile. C'est pourquoi, il reste donc à espérer que les communes utilisent encore mieux les possibilités de développement avec des plans de développement et d'aménagement de haute qualité. Il reste à observer dans quelle mesure la suppression prochaine de l'espace réservé aux eaux en bordure des lacs apportera un certain dynamisme à la revitalisation des zones riveraines.

### Mots-clés

Développement du paysage, aménagement des rives, morphologie des rives

## Nozioni specifiche per i laghi

### Riassunto

In passato, i grandi laghi svizzeri hanno subito importanti cambiamenti a causa dell'attività umana. L'aumento dell'apporto di nutrienti, la regolazione dei livelli dei laghi e la costruzione di argini e strutture lungo le rive hanno avuto conseguenze di vasta portata per i laghi come ecosistemi. La problematica dell'apporto di nutrienti è stata risolta con successo, ma le rive costruite sono ancora onnipresenti. Durante una rivitalizzazione di rive lacustri, il lago deve essere considerato come un unico sistema per riqualificarlo in modo da soddisfare sia le esigenze ecologiche che quelle umane. Per valutare il sistema lacustre nel suo complesso è importante considerare che lo sviluppo del paesaggio e i cambiamenti nel tempo giocano un ruolo fondamentale. Qual è lo stato

naturale di riferimento? Quali ecotopi sarebbero presenti naturalmente? È anche importante tener conto di diversi altri fattori: le forze naturali, i processi di sedimentazione ed erosione, nonché della reazione dell'intero sistema alle sollecitazioni causate da onde e correnti. Spesso gli edifici e gli impianti esistenti devono essere protetti contro la sottoerosione e l'erosione diretta, visto che valgono i diritti acquisiti. Inoltre, la popolazione ha sempre più bisogno di possibilità di ricreazione a livello locale; l'accesso al lago dovrebbe quindi essere garantito a intervalli regolari. Spesso è necessario indirizzare i fruitori e visitatori del luogo.

La rivitalizzazione delle rive lacustri richiede soprattutto una cosa: la disponibilità di terreni. Gli strumenti di pianificazione territoriale sono più efficaci sul suolo pubblico. In molti luoghi, tuttavia, i terreni in riva al lago sono di proprietà privata; una riqualifica delle rive ad ampio raggio e secondo un concetto coerente è difficile. È quindi auspicabile che i comuni sfruttino ancora meglio le possibilità di sviluppo con piani di sviluppo e progettazione di alta qualità. Resta da vedere fino a che punto l'imminente definizione dello spazio riservato alle acque stagnanti darà una dinamica e spinta alla rivitalizzazione delle rive.

### Parole chiave

Sviluppo del paesaggio, pianificazione delle rive lacustri, morfologia delle sponde del lago

## 1. Einleitung

Der Bund erarbeitet gemeinsam mit den Kantonen die Werkzeuge, um die Grundlagen zu erheben. Kanton und Gemeinden erheben die Grundlagen, welche für die nachfolgende Planung notwendig sind [Art 41 d GSchV].

- ökomorphologischer Zustand
- Tiefenkarten, Wellenatlas etc.
- Ausscheidung Gewässerraum
- Revitalisierungsplanung [strategische Planung]

In diesem Zusammenhang sind die in Abschnitt 2 beschriebenen Grundlagen zur landschaftsgeschichtlichen Entwicklung von Bedeutung.

Die weiteren Grundlagen werden idealerweise im regionalen Zusammenhang erarbeitet. Die Beschreibung des Wasserkörpers, der Uferzone und der terrestrischen Umgebung setzt sich zusammen aus:

- geologischen, topographischen und hydrographischen Grundlagen
- ökologischen Rahmenbedingungen mit Kartierung der Flora und Fauna
- Ufergeschichte [z.B. aus «Zeitreise» in admin.ch]
- Landschaftsentwicklungskonzepten LEK, Freiraum- und Erholungsplanungen
- Vernetzungskonzepten

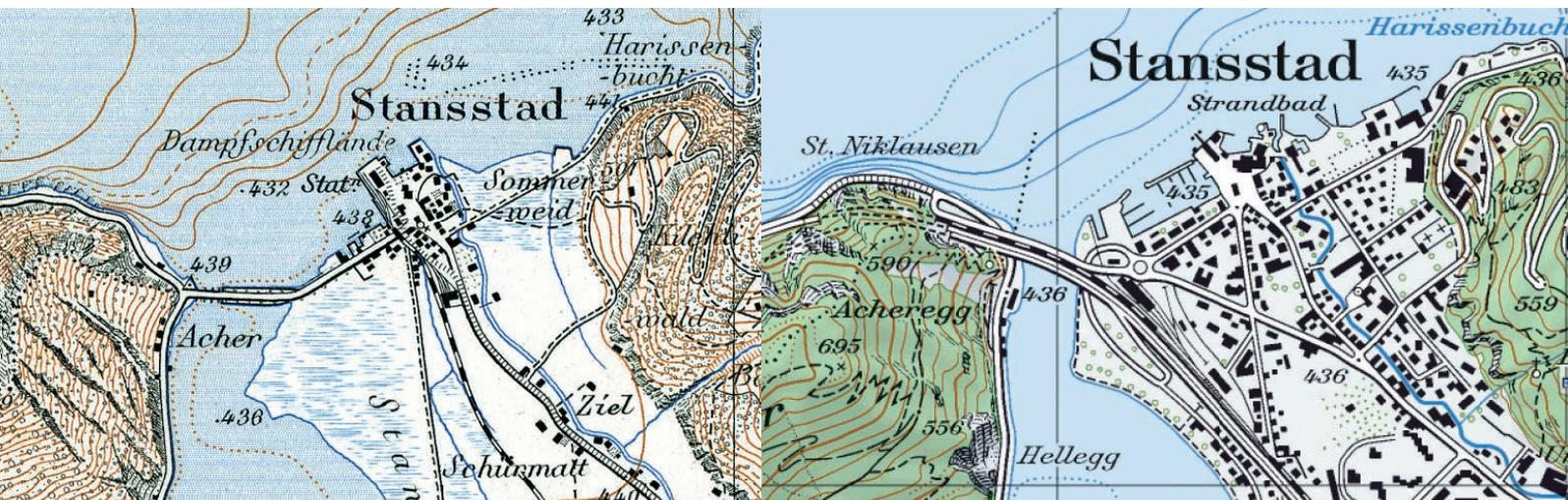


Abb. 1: Darlegen der Seeuferentwicklung anhand eines Vergleichs historischer und aktueller Karten, links historische Karte, rechts Zustand heute [map.geo.admin.ch] | Fig. 1: Analyse de l'évolution des rives lacustres par comparaison des cartes historiques et actuelles, carte historique à gauche, état actuel à droite [map.geo.admin.ch]

## 2. Landschaftsgeschichtliche Entwicklung

Historische Daten geben Aufschluss über

- Veränderungen der Uferlinie
- Veränderung der Ausdehnung des Pflanzenbewuchses und des Tierbestandes
- Ausdehnung der Flachwasserzone
- Veränderung der Seebodentopographie [Iseli 2006a]

Grundlagen:

- historische Karten
- topographische Karten
- Luftbilder

Bezug der Grundlagen:

- GIS-Server (Kanton und Bund)

Veränderungen in der Landschaft können folgende Ursachen haben:

- ökomorphologische und hydromorphologische Prozesse
- anthropogene Tätigkeiten: Baggerung, Korrektion, Überschüttung, Bauten und Anlagen am Wasser etc.

### 2.1 Ökomorphologische und hydromorphologische Prozesse

Die Kote des Seeauslaufes bestimmt in der Regel den Seestand. Naturbedingt führen Erosionsprozesse zu einer ständigen Veränderung der Seen und dessen Auslauf. Durch den Gebirgsabtrag gelangen Feststoffe in die Fliessgewässer, werden transportiert und in Form von Schwemmfächern und Deltas in die Seen abgelagert. Der Feststoffeintrag führt zusammen mit tierischen und pflanzlichen Stoffen zur langsamen Verlandung der Seen [BAFU 2018], all dies aber in der Regel in geologischen Zeiträumen.

In ebenso langen Zeiträumen werden im Wirkungsbereich der Wellen die Ufer stetig erodiert und die ufernahen, seich-

ten Flachwasserzonen gebildet. Durch die wellenbedingten Strömungen werden die Sedimente entlang der Ufer verlagert [Iseli 2006a]. Dadurch können sich Flachwasserzonen und somit deren Lebensräume laufend verändern.

Ein Teil der transportierten Sedimente gelangt während dieser Prozesse aus der Uferzone raus und lagert sich in der Tiefenzone ab. Dadurch kann in der Flachwasserzone ein Feststoffdefizit entstehen, welches durch weitere Erosion der Ufer kompensiert werden will.

### 2.2 Anthropogene Tätigkeiten

Der Mensch nimmt durch seine Tätigkeiten am Wasser einen starken Einfluss auf die Seeufer und deren Entwicklung. Während das Einbringen von Nährstoffen in den letzten Jahrzehnten erfolgreich reduziert und die Wasserqualität verbessert werden konnte [Niederberger et al. 2016], sind die anthropogenen Einflüsse, wie verbaute Ufer und der veränderte Wasserhaushalt, nach wie vor vorhanden. Künstliche Auffüllungen mit harten Uferverbauungen dienen der Landgewinnung für Strassen-, Bahnbau, Gebäude und Hafenanlagen. Die Reduktion oder gar der Rückbau dieser anthropogenen Strukturen ist ein langwieriger Prozess. Die politische «Wetterlage» in den jeweiligen Kantonen und Ge-

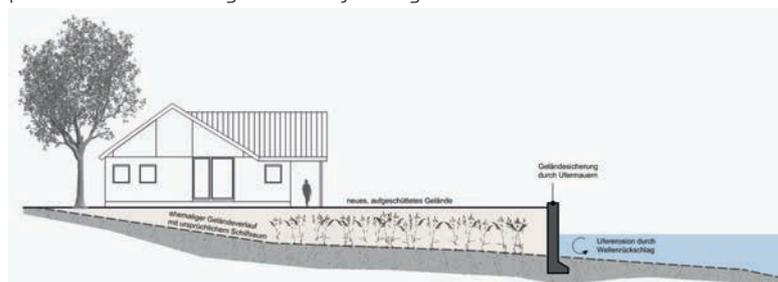


Abb. 2: Künstliche Auffüllung und Sicherung mit Ufermauer zur Landgewinnung | Fig. 2: Remplissage artificiel et consolidation avec un mur de rive pour l'aménagement de nouvelles terres



Abb. 3: Auffüllungen entlang dem Zürichsee [Bänziger 2006] | Fig. 3: Remplissages le long du lac de Zurich [Bänziger, 2006]

meinden entscheidet, ob private Nutzungsansprüche gegenüber dem im Raumplanungsgesetz [RPG Art. 3] verbrieften Anspruch auf öffentlichen Seezugang den Vorrang haben. Das Ausmass der Auffüllungen (oft sogenanntes Konzessionsland) entlang dem Zürichsee wird in Abb. 3 deutlich: Ein weiterer Einfluss auf die Entwicklung der Seeufer und deren Pflanzenbestand hat die Bestockung derselben mit Bäumen [siehe Abb. 4]. Naturgemäss kommen hohe Bäume selten direkt am Seeufer vor; der Aufwuchs bis an die Uferlinie ist erst als Folge der Verminderung der Seepiegelschwankungen möglich.

In der Folge begrenzt der Schattenwurf der Bäume – je nach Ausrichtung zur Sonne – das Aufkommen von vorgelagerten Ufer- und Wasserpflanzen, insbesondere des lichtbedürftigen Röhrichts.

### 3. Geologische, topographische und hydrographische Grundlagen

Diese Grundlagen werden benötigt, damit die natürlichen Kräfte und die grundlegenden Prozesse sowie die Reaktionen des Gesamtsystems auf die Beanspruchungen durch Wellen und Strömung erfasst werden können.

- Sedimentzusammensetzung und Geologie [Stratigraphie] des Seebeckens
- Tiefenverhältnisse und Ausdehnung der Flachwasserzonen
- morphologische Charakterisierung der Uferbereiche
- Wasserstand und Wasserspiegelschwankungen, Reglement der Regulierung
- Wellenklima

#### 3.1 Geologische Charakterisierung und Stratigraphie

Die Zusammensetzung des Seegrundes und der Seesedimente kann lokal stark variieren. Aus diesem Grund sollen neben der Bestimmung der Oberflächensedimente auch geologische Abklärungen im Untergrund gemacht werden [Iseli 2006a].

Eine fundierte Analyse des Untergrundes mit Bestimmung der bodenmechanischen Parameter [Spreafico et al. 2005] ist für eine erfolgreiche Planung von Bautätigkeiten und Schüttungen ausschlaggebend. Unangenehme und oft teure Überraschungen durch starke Setzungen des Untergrundes können damit vermieden oder vermindert werden. Zudem kann eine stratigraphische Analyse einen vertieften Aufschluss über die Entwicklung des Sees und dessen Einzugsgebiet geben [Iseli 2006b].

Grundlagen:

- geologische Karten [Geologischer Atlas der Schweiz]
  - stratigraphische Analysen im Umfeld
- Bezug der Grundlagen:
- Landeshydrologie



Abb. 4: Schattenwurf aufgrund Uferbestockung | Fig. 4: Projection d'ombres en raison du peuplement riverain

### 3.2 Tiefenverhältnisse und Ausdehnung der Flachwasserzone

Oft sind Angaben zur Temperaturschichtung, Strömungsverhältnis, Erosionsgefährdung zu den Wellen und zur Trübung nötig. Das Flachwasser bezeichnet den lichtdurchfluteten Teil des Seegrundes, wo Wasserpflanzen aufkommen können. Bei Seen mit durchgehend geringer Tiefe wird die Flachwasserzone in der Seemitte abgegrenzt [Niederberger et al. 2016]. Die Festlegung der Flachwasserzone wird mit den kantonalen Fachstellen abgestimmt, sie hat auch eine wichtige, rechtliche Bedeutung.

Grundlagen:

- Bathymetrische Aufnahmen, Echolotmessungen
- topografische Aufnahmen (z.B. mit Drohnen), mit photogrammetrischer Auswertung zu Höhenmodell (DGM)
- Luftbilddaufnahmen

Bezug der Grundlagen:

- Landeshydrologie, kantonale Daten, privat

### 3.3 Morphologie der Seeufer

Die Aufnahme der Morphologie umfasst die bestehende Böschungsneigung und die vorhandene Kornfraktion. Anhand der Morphologie erfolgt die Bestimmung des Ufertyps. Davon abgeleitet werden die Massnahmen für die angepasste Uferentwicklung: Der Ufertyp ist massgebend zur Festlegung der Ziele, zur Ableitung der Massnahmen und zur langfristigen Steuerung der Prozesse [Rey et al. 2009].

Folgendes muss im Einzelfall berücksichtigt werden

- Zustand des Ufers und der vorgelagerten Flachwasserzone
- Exposition des Uferabschnittes in Bezug auf Wind und Wellen
- Zustand der benachbarten Ufer, nutzungsbedingte Veränderungen im Umfeld

Die einfache Grundregel gilt: Je flacher das Ufer, desto feiner der Seegrund. Dabei kann eine geschickte Gestaltung z.B. mit Buchten die Vielfalt der Ufergestalt erhöhen.

Morphologie	Neigung	Ufertyp
Anstehender Fels	1:1 bis 1:4	Steilufer
Schutthalde und Felssturzgebiet		
Abtragsufer, grober Moränenschotter	1:4 bis 1:12	Mittelsteiles Ufer
Abtragsufer, Erosion am Seehag, Kies-Schotter-Anschwemmung auf Uferbank		
Glazial geformtes Flachufer	1:12 bis < 1:100	Flachufer
Anschwemmungsufer im Bereich einer Schwemmebene		
Flussdelta		
Feinstoff-Erosion am Seehag, Anschwemmungen auf Uferbank		

Tab. 1: Morphologie und Ufertyp [Rey et al. 2009, verändert in Anlehnung an Iseli 2012] | Tab. 1: Morphologie et type de rives [Rey et al. 2009, modifié selon Iseli 2012]

### 3.4 Wasserstand

Wasserspiegelschwankungen treten naturbedingt aufgrund der jahreszeitlichen Zufluss- und Abflussschwankungen auf. Durch die künstliche Regulierung der Seen werden die naturbedingten Schwankungen an den meisten grossen Seen minimiert. Im Hinblick auf die verschiedenen Interessen wie Hochwasserschutz oder Energiegewinnung wurden



Abb. 5: Übersicht Regulierung der Schweizer Seen [nach Aqua Viva] | Fig. 5: Aperçu de la réglementation des lacs suisses [d'après Aqua Viva]

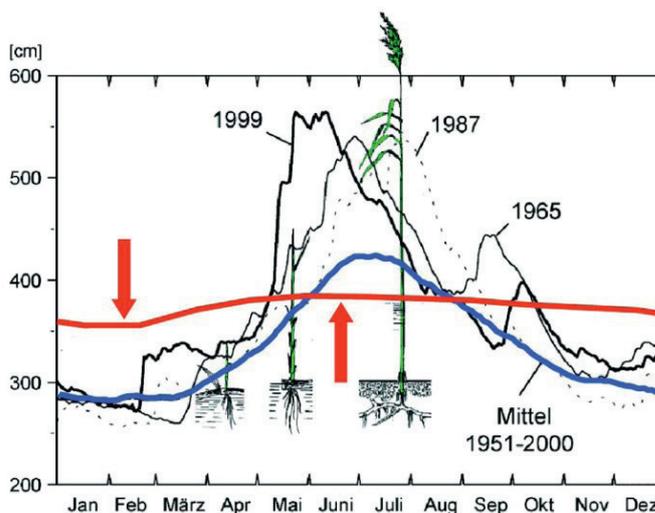


Abb. 6: Mittlere Ganglinie des Bodensees (in blau) im Vergleich zu einem regulierten See (in rot, am Beispiel des Zürichsees), mit Angabe des ökologisch motivierten Zieles (mit roten Pfeilen), [Desch et al. 2006] | Fig. 6: Hydrogramme moyen du lac de Constance (en bleu) comparé à un lac régulé (en rouge, à l'exemple du lac de Zurich), avec indication de l'objectif écologique (avec des flèches rouges), [Desch et al. 2006]

Regulier-Reglemente erlassen, in denen die Bandbreiten der Wasserpegel über das ganze Jahr vereinbart sind. Die Dimensionierung sowie land- und wasserseitige Ausbreitung von Projekten richtet sich nach den vorhandenen Wasserspiegelschwankungen. Die massgeblichen Wasserstände und deren Trends müssen im Vorlauf eines Projektes mit den Behörden des Kantons abgestimmt werden. So sind einerseits die für den Hochwasserschutz relevanten Knoten festzulegen [Hochwasser, Mittelwasser, Niederwasser] wie auch deren saisonale Ausprägung (z.B. der mittlere Wasserstand während der Vegetationsperiode). Diese Knoten dienen der Annäherung der Grenze zwischen

Gehölz und Röhrichte und zeigen die Grenzen der Anwendung ingenieurbioologische Massnahmen mit verrotbarem Totholz auf [Iseli 2006a].

Grundlagen:

- Landeshydrologie: langjährige Aufzeichnung der Wasserspiegelschwankungen
- statistische Auswertung der Hoch-, Mittel- und Niedrigwasserpegel mit Angabe der Jährlichkeit
- Pegelangaben der Versicherungen, der Grundbuchämter, zur Angabe der Schadensgrenze.

Bezug der Grundlagen:

- Bund: <https://www.hydrodaten.admin.ch/>

### 3.5 Wellenklima

Wellen sind die Hauptursache von Ufererosion. Um geeignete Uferschutzmassnahmen bzw. um die Ufergestaltung entsprechend ausrichten zu können, müssen die Wellenhöhen und Wellenlängen, sowie deren Häufigkeiten bekannt sein. Die Daten können mit Wellenmessungen, numerischen Simulationen oder aus Messdaten mittels der Wind-/Wellenbeziehung abgeschätzt werden [Huber et al.]. Die Winddaten können bei Meteoschweiz angefordert werden [sind meist kostenpflichtig].

Für mehrere Schweizer Seen wurden die Wellenverhältnisse auf der Grundlage der langjährigen Winddaten modelliert und in einem Wellenatlas aufbereitet. Die Wellendaten sind z.B. auf der Plattform <http://www.swisslakes.net> abrufbar.

## 4. Weitere ökologische Rahmenbedingungen

### 4.1 Ökomorphologischer Zustand der Seeufer

Eine erste Übersicht über den Zustand der Seeufer gibt der ökomorphologische Zustand. Die ökomorphologische Beschreibung und Bewertung soll gemäss dem Leitfaden des Bundes «Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Seen» ausgeführt werden [Niederberger et al. 2016]. Eine

Betrachtungsraum	Basisinformationen/Attribute	Bezeichnung	
See	Allgemeine Kenngrössen*	A01	
	Biogeografische Region*	A02	
	Entstehung*	A03	
	Wasserspiegelregulierung*	A04	
Uferlinie	Verbauung	B01	
	Fließgewässeranbindung	B02	
	Wellenexposition*	B03	
Uferzone:	Uferstreifen	Siedlung, Gewerbe, Industrie im Uferstreifen	C01
		Freizeitnutzung im Uferstreifen	C02
		Verkehrswege und -flächen im Uferstreifen	C03
		Land- und forstwirtschaftliche Nutzung im Uferstreifen	C04
		Fließgewässerverbauung im Uferstreifen	C05
		Ufersaumvegetation	C06
		Ufertyp*	C07
		Ufertypische Vegetation**	C08
Hinterlandstreifen	Nutzung im Hinterlandstreifen Hinterland-Übergangsvegetation	D01	
		D02	
Flachwasserzone	Sohlenveränderungen Anlagen & Strukturen Ausdehnung* Emerse Vegetation**	E01	
		E02	
		E03	
		E04	

\*" fließt nicht in die Bewertung ein, dient aber der Charakterisierung des Sees bzw. des betrachteten Uferabschnittes (\*) oder liefert Zusatzinformation bezüglich Vegetation (\*\*). Die nicht in die Bewertung einflussenden Attribute können für die Planung von Uferrevitalisierungen oder für den Gewässerunterhalt hilfreich sein.

Tab.2: relevante Parameter [Niederberger et al. 2016] | Tab.2: Paramètres pertinents [Niederberger et al. 2016]

Begehung vor Ort ist nicht notwendig, denn als Grundlagen der Bewertung dienen Luftbilddaufnahmen. Die Methode kann sowohl für künstliche, als auch für natürliche Seen angewendet werden. Die Resultate dienen als Grundlage für die strategische Planung der Seeuferrevitalisierung.

Die Tabelle 2 nennt die Parameter, welche im Rahmen der Methode aufgenommen und bewertet werden.

Grundlagen:

- Luftbilddaufnahmen

Bezug der Grundlagen:

- Leitfaden: [www.bafu.admin.ch/uv-1632-d](http://www.bafu.admin.ch/uv-1632-d)
- Luftbilddaufnahmen: Swisstopo

### 4.2 Schutzzonen, Inventare, Nutzungs- und Eigentumsverhältnisse

Als wichtige Randbedingungen für Seeuferaufwertungen sind alle Schutzzonen, Inventare und meist auch die Nutzungs- und Katasterpläne [Angaben zu Nutzung und Eigentum] zu berücksichtigen. Zu erheben sind insbesondere kantonale und nationale Daten, Natur- und Landschaftsschutzgebiete, Grundwasserschutzgebiete, die Infrastruktur des Land- und Seeverkehrs etc. Weiter sind die Inventare der vorkommenden geschützten Tier- und Pflanzenarten zu berücksichtigen. Allenfalls sind auch Neophyten kartiert. Soweit möglich sind die Altlasten und Verdachtsflächen zu erfragen, die häufig in den künstlichen Aufschüttungen am See vorkommen. Deren Sanierung kann ein Projekt massgeblich behindern oder verteuern.

Des Weiteren sind die tatsächlichen [vorhandene Badestellen und öffentliche Strände] und zukünftigen Ansprüche der Erholungsnutzung zu erfassen.

Grundlagen:

- Karten GIS-basierend
- kommunale Pläne

Bezug der Grundlagen:

- GIS-Server [Kanon und Bund]
- Gemeinde [Grundbuch]

### 4.3 Vertiefte, ökologische Zustandserhebungen

Eine natürliche Ufervegetation bei einem Flachufer eines Sees setzt sich in Wasserrichtung üblicherweise aus Röhrichtgürtel (in der Abfolge von Rohrkolben, Schilf und Binsen), Schwimmblattzone, Laichkräutern und Armelechterminalen zusammen [siehe Abb. 7]. Ausdehnung und Abfolge der Vegetationseinheiten sind bestimmt durch Neigung, Körnung und Nährstoffgehalt. Röhricht und Schwimmblattpflanzen bevorzugen ruhige, geschützte Wasserzonen. Armelechterminalen reagieren auf jede künstliche Veränderung ihres Lebensraums [Auderset Joye & Schwarzer 2012]. Die spezifisch in Auftrag gegebene Kartierung zeigt Vorkommen mit Häufigkeit von Pflanzen- und Tierarten im Flachwasser.

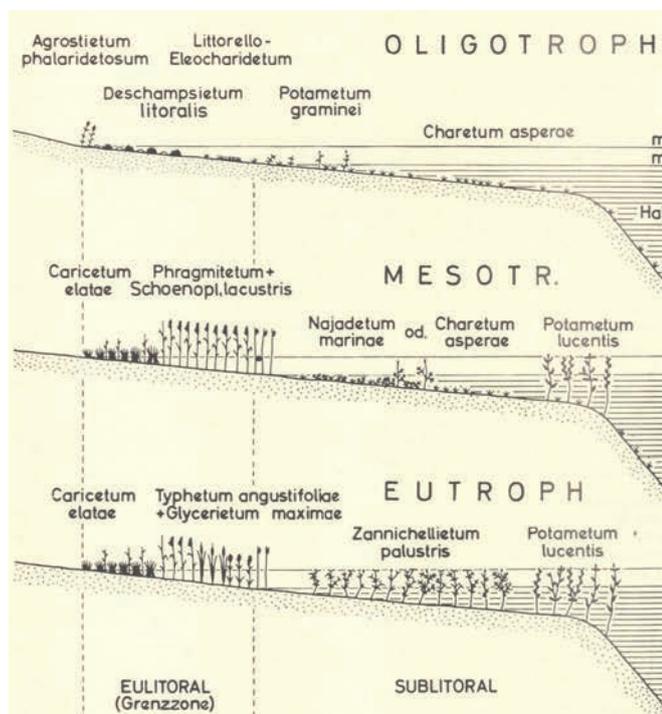


Abb. 7: Typische, natürliche Vegetationszonen am Seeufer [Ellenberg, 1986] | Fig. 7: Zones de végétation naturelle typique sur les rives du lac [Ellenberg, 1986]

Grundlagen:

- Rückschlüsse aus Erhebungen in der Nachbarschaft
- Erhebungen durch Spezialisten vor Ort

Bezug der Grundlagen:

- Kanton, Gemeinde

#### 4.4 Limnologische Aufnahmen

Die Limnologie gibt Auskunft über die ökologisch relevanten Parameter des Wassers wie Stoffhaushalt, anthropogene Belastungen und Trophiestufe [Wasserqualität], mit Informationen zum Einzugsgebiet, zum Abflussregime sowie zur Wassererneuerung.

Grundlagen:

- Messdaten Wasserqualität
- Vermessung und Hydrologie

Bezug der Grundlagen:

- BAFU: [www.hydrodaten.admin.ch](http://www.hydrodaten.admin.ch) (teils vorhanden)
- Messstellen der Kantone, Trinkwasserwerke etc.

## 5. Raumplanerische Planungsinstrumente

### 5.1 Planung von Bund und Kantonen, Ausscheidung Gewässerraum

Die Kantone sind verpflichtet bis 2018, sowohl an Fließgewässern, als auch an stehenden Gewässern den Gewässerraum festzulegen. Dieser beträgt ab der Uferlinie – meist ist also der Mittelwasserstand massgebend – in der Regel 15 m. [Art 41 b Abs 1 GSchV]. Er kann aber im dicht überbauten Gebiet an die baulichen Gegebenheiten

angepasst und reduziert werden. Der Gewässerraum ist zu erhöhen, wenn dies aus Hochwasserschutzgründen, zur Revitalisierung, zur Gewässernutzung oder im Interesse des Natur- und Landschaftsnutzung notwendig ist [Art. 41b Abs. 2 GSchV].

Zur strategischen Planung wird angrenzend an den Gewässerraum ein zusätzlicher Hinterlandstreifen von 35 m betrachtet. Seeseitig wird die gesamte Flachwasserzone miteinbezogen [BAFU, 2018].

Im Gewässerraum ist die Neuerstellung von Bauten und Anlagen im Prinzip verboten, ausser diese sind standortgebunden und im öffentlichen Interesse. Für bestehende Anlagen gilt die Bestandesgarantie. Bis der Gewässerraum rechtskräftig festgelegt ist, gelten die Übergangsbestimmungen. Diese sehen in der Regel grössere Abstandsvorschriften von 20 m vor.

### 5.2 Nutzungsplanung im Gewässerraum

Die Gemeinden sind verpflichtet, übergeordnete Richtpläne in ihrer Nutzungsplanung oder mit Schutzbestimmungen grundeigentümergebunden festzusetzen. Dabei sind sie an die Mindestanforderungen des kantonalen Rechts gebunden. In einigen Kantonen werden besonders wertvolle Uferabschnitte als Naturschutzzonen in der kantonalen Nutzungsplanung [z.B. Kanton Aargau] erlassen. Wo heute bereits Uferschutz- oder Grünzonen entlang der Gewässer bestehen, diese aber bezogen auf die neuen Gewässerraumvorgaben zu schmal oder zu breit sind, können diese als überlagernde Zone erhalten bleiben.

Die zulässige Gestaltung und Bewirtschaftung im Gewässerraum wird durch Art. 41c der Gewässerschutzverordnung [GSchV] bestimmt. Es gilt auch hier eine extensive Nutzung ohne Pflanzenschutzmittel. Die Breite des Gewässerraums kann in dicht überbauten Gebieten den baulichen Gegebenheiten angepasst werden, soweit der Schutz vor Hochwasser gewährleistet ist. Es dürfen nur standortgebundene, im öffentlichen Interesse liegende Anlagen wie Fuss- und Wanderwege oder Brücken erstellt werden.

### 5.3 Sondernutzungsplanung

Sondernutzungspläne – je nach Kanton als Gestaltungsplan, Rahmenplan o.ä. bezeichnet – können von den Bestimmungen der Regelbauweise abweichen und verfeinern die Regeln für die Erschliessung, Überbauung und Freiraumstruktur in einem bestimmten Gebiet. Sondernutzungspläne eignen sich demnach hervorragend, um gewünschte Qualitäten und Entwicklungen im öffentlichen Interesse planerisch zu sichern, bzw. Regeln zur Umgebungsgestaltung wie z.B. Revitalisierungs- oder Pflanzmassnahmen festzulegen. Der Perimeter eines Sondernutzungsplanes ist im Nutzungsplan zu verorten.

## 5.4 Uferentwicklungskonzept

Der Druck auf die Seeufer hat in den letzten Jahren zugenommen, besonders in urban geprägten Regionen. Das Raumplanungsgesetz RPG (Art.3) fordert von den Kantonen eine Freihaltung der Seeufer sowie den Zugang der Öffentlichkeit an die Seeufer. Dies ist besonders in dicht besiedelten Gebieten während heisser Sommermonate ein stark wachsendes Bedürfnis.

Bei Revitalisierungsprojekten muss darauf geachtet werden, dass sich die neu gestalteten Uferbereiche ohne schädigende Einflüsse durch den Menschen gemäss den Projektzielen entwickeln können.



Abb. 8: Potenzialflächen [rot eingrahmt] für Seeufereaufwertungen, abgeglichen mit der ökomorphologischen Kartierung des ZSL – Zürichsee Landschaftsschutz [Fuchs & Oesch 2016] | Fig. 8: Zones potentielles [encadrées en rouge] pour l'aménagement de rives lacustres, par rapport à la cartographie écomorphologique de la ZSL – Zürichsee Landschaftsschutz [Fuchs & Oesch 2016]

Um sämtlichen Interessen gerecht zu werden, sind Konzepte zur Nutzung und Entwicklung sowie Aktionsprogramme auf kantonaler, regionaler oder kommunaler Ebene wichtige Instrumente [Iseli & Müller 2012; Fuchs & Oesch 2016]. Eine Lenkung des Nutzungsdrucks mit aktiver Besucherlenkung, mit baulichen Mitteln und/oder mit Schutzbestimmungen ist unumgänglich [Rey et al. 2009].

Weiter zu beachten ist die Bestimmung im Gewässerraum: Massnahmen gegen die natürliche Erosion der Ufer des Gewässers sind nur zulässig, soweit dies für den Schutz vor Hochwasser oder zur Verhinderung eines unverhältnismässigen Verlustes an landwirtschaftlicher Nutzfläche erforderlich ist.

### Regionale Nutzungs- und Entwicklungskonzepte

Nutzungskonzepte für Seeufer sind meist im Richtplan integriert. Im Beispiel des Kantons St. Gallen wurde im Richtplan 1987 gefordert, dass ein Gesamtplan für die im Kanton St. Gallen befindlichen Seeufer von Boden-, Walen-

und Zürichsee erstellt wird. Der Gesamtplan dient den Gemeinden als Hilfestellung für eine sachgerechte Planung der Seeufer [Planungsamt St. Gallen 2001]. Davon abgeleitet werden verbindliche Planungsinstrumente wie Gestaltungs- und Überbauungspläne. Diese sind laufend auf die vorhandenen Inventare wie z.B. die ökomorphologische Kartierung der Seeufer abzustimmen.

Die Seeuferplanung kann idealerweise in ein Landschaftsentwicklungskonzept integriert werden, welches zum Ziel hat, öffentliche Freiräume in einem dauernden Prozess sowohl ökologisch aufzuwerten als auch für die Bevölkerung zugänglich zu machen.

Beispiel: Im Rahmen des Landschaftsentwicklungskonzeptes LEK Höfe (Gemeinden Freienbach, Feusisberg und Wollerau Kt.SZ) [ILF, 2014] wurden auf Basis des ökomorphologischen Zustandes der Seeufer und der Verfügbarkeit sogenannte Potenzialflächen für Aufwertungen am Seeufer ausgeschieden. In der Fortsetzung wurden auf Stufe Konzept Ideen und Vorschläge erarbeitet.

Als Beispiel ist der in der Erholungs- und Freihaltezone gelegene Seeanstoss «Pfarrmatte» dargestellt [Abb. 8]:

### Überregionale Entwicklungspläne und Aktionsprogramme

Einer gesamtheitlichen Planung der Seeufer über die Kantongrenzen hinaus dienen regionale Entwicklungspläne oder Aktionsprogramme wie z.B. das Aktionsprogramm Bodensee 2004 bis 2009 [Mürle et al. 2004] oder das Projekt Vision Zürichsee 2050 [Kanton Zürich 2013].

## 6. Erholung am Seeufer

Die Behörden können Vorranggebiete festsetzen, in denen bestimmte Nutzungen in bestimmten Intensitäten vorgesehen und zugelassen werden. Solche Planungen lassen sich auf öffentlichem Grund schrittweise umsetzen. Weniger rasch gehen die Verfahren auf Privat-, Pacht- und Konzessionsland. Die Erkenntnis ist gereift, dass eine Seeufereaufwertung im besiedelten Umfeld immer auch durch eine Erholungsplanung begleitet wird.

### 6.1 Seeufer auf öffentlichem Grund

Es gibt Bestrebungen seitens Vereinigungen wie «Rives publiques», die Seeufer wieder rascher der Öffentlichkeit zugänglich zu machen [«Rives publiques» 2018]. Heute sind z.B. nur rund 50% des Ufers am Zürichsee in öffentlicher Hand [Abb. 9].

Das kurzfristige Potenzial für die Aufwertung der Erholung am See konzentriert sich auf den Bereich öffentlicher Flächen, vor allem jene ohne Infrastruktur wie Bahn und Strasse direkt am Wasser. Die Bereiche mit grosszügigen Aufwertungsmöglichkeiten sind sehr beschränkt.

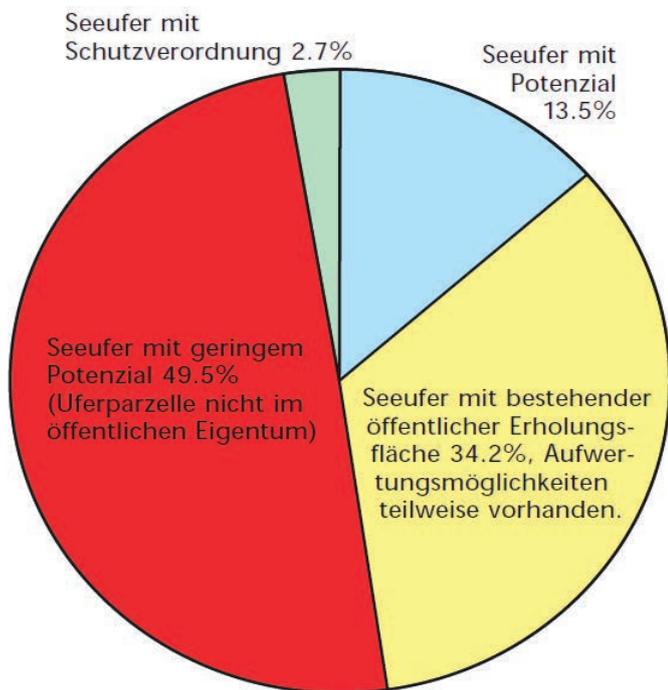


Abb. 9: Potenzial zur Schaffung öffentlicher Erholungsflächen [ZSL, Vision Zürichsee 2050] | Fig. 9: Potentiel de création d'espaces publics de récréation [ZSL, Vision Zürichsee 2050]

### 6.2 Seeufer auf Privatgrund

Während öffentliche Seeufer durch Raumplanungsinstrumente gesichert und aufgewertet werden können, ist der Vollzug im privaten Bereich schwieriger. Auch für Anlagen im Gewässerraum scheint eine Extensivierung und Umgestaltung der ersten 15 m ab Uferlinie als ein sehr ambitioniertes Ziel. Viele Eigentümer befürchten in der Nutzung zu sehr eingeschränkt zu werden.

Auch hier das Beispiel des LEK Höfe: Als Pilotprojekt wurden alle Privatanstösser angeschrieben. Eine kostenlose Beratung für ihren Seeanstoss wird angeboten. Das Ziel

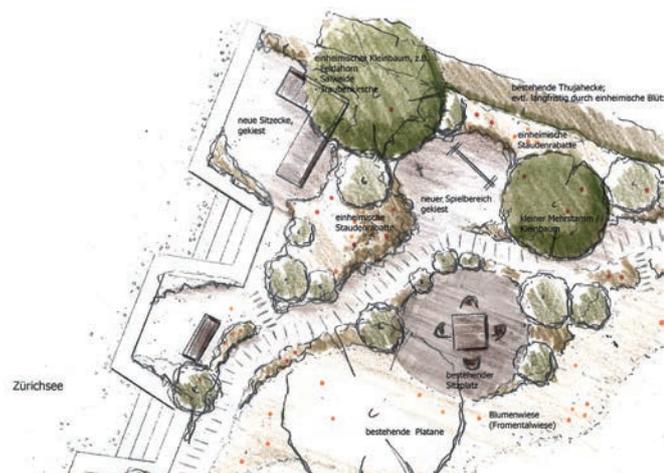


Abb. 10: Ideenskizze für einen naturnah strukturieren Gewässerraum auf einer Privatliegenschaft [LEK Höfe 2016] | Fig. 10: Esquisse d'un espace structuré quasi naturel réservé aux eaux sur une propriété privée [LEK Höfe 2016]

war, den Eigentümern mit einfachen Skizzen zur Pflege und Gestaltung ihres Gewässerraumes den möglichen, ökologischen Mehrwert aufzuzeigen  
Fazit: Die Anliegen der Berater wurden erstaunlich positiv aufgenommen. Viele Anstösser sind sich der negativen Veränderungen entlang der Seeufer in den letzten Jahren sehr wohl bewusst und stellen sich bereit, einen Schritt in Richtung ökologischer Aufwertung mit mehr Biodiversität zu machen.

Seeseitig ist die Umsetzung der Ideen im privaten Bereich meist komplizierter. Hier braucht es vertiefte Abklärungen und ausgereifte Projekte. Es müssen in der Regel grössere Uferabschnitte zusammengefasst werden, denn nur so sind Revitalisierungen z.B. mit dem Abbau von Ufermauern bewilligungsfähig und nur so ist der Nachweis einer Aufwertung des Flachwassers gemäss Gewässerschutzgesetz möglich. Auf privatem Grund ist zu wünschen, dass in den Gemeinden der Gestaltungsspielraum mit hochwertigen Überbauungs- und Gestaltungsplänen besser ausgeschöpft wird. Eine Optimierung der Ausnützung [Erhöhung der Geschoszahl zur «inneren Verdichtung»] soll zwingend an echte, ökologische und auch erholungsbezogene Aufwertungen im Gewässerraum angeknüpft werden.

### Literatur

Auderset Joye, D. & Schwarzer, A. 2012. Rote Liste Armleuchteralgen. Gefährdete Arten der Schweiz, Stand 2010. Bundesamt für Umwelt, Bern und Laboratoire d'écologie et de biologie aquatique [LEBA] der Universität Genf. Umwelt-Vollzug Nr. 1213: 72 S.

BAFU [Hrsg.] 2018. Revitalisierung Seeufer – Strategische Planung. Ein Modul der Vollzugshilfe zur Renaturierung der Gewässer. Bundesamt für Umwelt Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1834: 44S.

Bundesamt für Umwelt [BAFU], Hydrique, Lombardi. 2018. LAtlas-Documentation. User Guide. [www.swisslakes.net](http://www.swisslakes.net)  
Bänziger, R. 2006. Zürichsee Vision 2050 – Eine Vorarbeit für die künftige Gestaltung des Zürichsees, Wasser Energie Luft, Heft 2/2006

Ellenberg, H. 1986. Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer Sicht. 4. Auflage. Ulmer-Verlag, Stuttgart.

Fuchs, M., Desch, T. 2016. Erholung am Seeufer. Mitteilungsblatt Verein für Ingenieurbilogie Nr. 2/2016.

ILF Institut für Landschaft und Freiraum [Hrsg.], 2014. LEK Höfe. Vorprojekt Seeuferaufwertung. Kurzbericht

Iseli, Ch. [Hrsg.] 2006a. EROSEE – Critère de dimensionnement et recommandations pratiques pour la protection des rives lacustres / Bemessungsgrundlagen und praktische

Empfehlungen für Uferschutzmassnahmen. Schlussbericht Teil 4 LCH/ BFH [www.erosee.org](http://www.erosee.org)

Iseli, Ch. 2006b. EROSEE – Ein Baustein in der nachhaltigen Entwicklung von Seeufern. Schlussbericht der Programmleitung. [www.erosee.org](http://www.erosee.org)

Iseli, Ch. 2012: Verbaute Seeufer aufwerten. Merkblatt Bau-, Umwelt- und Wirtschaftsdepartement des Kantons Luzern [Raumentwicklung, Wirtschaftsförderung und Geoinformation rawi / Verkehr und Infrastruktur vif / Landwirtschaft und Wald lawa]. Luzern.

Iseli, Ch.; Müller, B. 2012. Wegleitung Seeuferschutz Vierwaldstättersee-ENTWURF, Kanton Luzern Raumentwicklung, Wirtschaftsförderung und Geoinformation rawi. [unveröffentlicht].

Jung, G. 1990. Seen werden Seen vergehen; Ott Verlag Thun; ISBN 3-7225-6297-X

Kanton Aargau, Departement Bau, Verkehr und Umwelt, Abteilung Raumentwicklung [Hrsg.]. 2019. Muster-Bau- und Nutzungsordnung [M-BNO]. Empfehlung für die Nutzungsplanung [§ 15 BauV], Stand April 2019.

Kanton Zürich, Baudirektion, AWEL. 2017. Gewässerraum. Das Wichtigste in Kürze.

Kanton Zürich [Hrsg.]. 2013. Zürichsee 2050 Leitbild und Handlungsansätze für die langfristige Entwicklung des Zürichsees. Zürich.

Mürle, U., Ortlepp, J., Rey, P. 2004. Der Bodensee, Zustand – Fakten – Perspektiven. Bilanz 2004 Renaturierungsleitfaden Bodenseeufer, IGKB [Hrsg.], Bregenz.

Niederberger, K., Rey, P., Reichert, P., Schlosser, J., Helg U., Haertel-Borer, S., Binderheim, E., 2016. Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Seen. Modul: Ökomorphologie Seeufer. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1632.

Oesch, T., Brunand, J., Rotach Andreas. 2006. ZüriSee – Uferleben – Leben an Ufer, Synthesebericht. Analyse und Schlussfolgerungen zum Projekt «Uferleben – Leben am Ufer».

Oesch, T. 2019. Ufer bei Freienbach Schwyz vor der Revitalisierung 2002. Vorlesungsunterlagen Modul Landschaftsgestaltung 1. HSR Hochschule für Technik Rapperswil, unveröffentlicht.

Planungsamt St. Gallen: Sachbereich Natur und Landschaft. 2001. Koordinationsblätter V34-35. Kanton St. Gallen.

Rey P., Teiber, P., Huber, M. 2009. Renaturierungsleitfaden Bodenseeufer, IGKB [Hrsg.], Bregenz.

Rives publiques. 2018. Rives publiques-Verein für den freien Zugang zu den Ufern der Seen und Wasserläufe der Schweiz. Abgerufen am 13.08.2018 von <http://www.rivespubliques.ch/>

Siessegger, B., Teiber, P. 2001. Erfolgsmodell für Renaturierungen am Bodenseeufer. Ingenieurblogie 3/2001.

Spreafico, M., Lehmann, Ch., Jakob, A. & Grasso, A. 2005. Feststoffbeobachtung in der Schweiz – Ein Tätigkeitsgebiet der Landeshydrologie. Berichte des BWG, Serie Wasser Nr. 8, Bern.

### Begriffe:

- Uferlinie = Übergangslinie vom aquatischen zum terrestrischen Lebensraum
- Uferzone = landseitiger Bereich, grenzt an Uferlinie [50 m breit, besteht aus 15m Uferstreifen (Gewässerraum) und 35 m Hinterlandstreifen
- Flachwasserzone = seeseitiger, lichtdurchfluteter Bereich, maximal bis zur Haldenkante
- Gewässerraum = landseitiger Bereich bis mindestens 15 m ab Uferlinie

### Kontaktadresse

Prof. Thomas Oesch  
HSR Hochschule für  
Technik Rapperswil  
Institut für Landschaft  
und Freiraum  
Oberseestrasse 10  
8640 Rapperswil  
[thomas.oesch@hsr.ch](mailto:thomas.oesch@hsr.ch)  
Tel. 055 222 45 54



Thomas Oesch

Monika Schirmer-Abegg,  
Landschaftsarchitektin HTL  
Wissenschaftliche Mitarbeit  
und Projektleitung  
ILF Institut für Landschaft  
und Freiraum  
HRS Hochschule für Technik  
Rapperswil  
Oberseestrasse 10  
CH-8640 Rapperswil  
Tel. 055 222 48 97



Nadja Schläpfer



Monika Schirmer

# Hydraulische und wasser- bautechnische Grundlagen

Andreas Huber  
Christoph Iseli  
Teil 4

## Zusammenfassung

Die Flachwasserzone und die [natürliche] Uferlinie werden durch die im Projektgebiet vorherrschenden hydraulischen Verhältnisse geformt. Die hydraulischen Einflussfaktoren [Wind-/Wellenklima, Strömungsverhältnisse, Sedimenteigenschaften und -haushalt sowie Seebodentopographie] beeinflussen sich gegenseitig und hängen daher eng miteinander zusammen. Die Kenntnis dieser Einflussfaktoren ist eine wichtige Grundlage für die Planung und Realisierung von Revitalisierungsprojekten. Einer korrekten Anwendung der hydraulischen und wasserbautechnischen Grundlagen kommt besondere Bedeutung zu.

## Keywords

Wind und Wellen, Bathymetrie, Sedimenteigenschaften, Strömungsverhältnisse

## Principes de l'hydraulique et de l'ingénierie hydraulique

### Résumé

La baignade lacustre, zone littorale peu profonde, et la ligne de rive [naturelle] sont formées par les conditions hydrauliques qui prévalent dans la zone du projet. Les facteurs d'influence hydrauliques [régime des vents / des vagues, conditions du courant, propriétés et bilans sédimentaires ainsi que topographie des fonds lacustres] s'influencent mutuellement et sont donc étroitement liés. La connaissance de ces facteurs d'influence est une base importante pour la planification et la réalisation des projets de revitalisation. Une application correcte des principes de l'hydraulique et de l'ingénierie hydraulique est particulièrement importante.

### Mots-clés

Vent et vagues, bathymétrie, propriétés des sédiments, conditions d'écoulement

## Basi di idraulica e ingegneria idraulica

### Riassunto

Le zone litorali e le rive [naturali] sono formate dalle condizioni idrauliche prevalenti nell'area interessata. Vi sono diversi fattori idraulici quali: regime del vento e delle onde, proprietà e disponibilità di sedimenti, condizioni delle correnti e topografia del fondale [batimetria]. Questi si influenzano a vicenda e sono quindi strettamente correlati. Conoscerli è una base importante per la pianificazione e

la realizzazione di progetti di rivitalizzazione. Una corretta applicazione dei principi idraulici e di ingegneria idraulica è particolarmente importante.

### Parole chiave

vento e onde, batimetria, proprietà dei sedimenti, condizioni delle correnti

## 1. Wind- und Wellenverhältnisse

### 1.1 Winde

Jeder See ist gekennzeichnet durch seine individuellen Merkmale. Die typischen Winde sind eines davon. Sie ergeben sich aus der momentanen meteorologischen Situation und der Topographie der Umgebung. Der Wind ist, neben dem Schiffsverkehr, der Hauptverursacher der Wellen. Winddaten sind deshalb eine wichtige Grundlage zur Ermittlung der Wellendaten.

Die Winde werden über ein Netz von Messstationen erfasst. Gemessen werden die Windrichtungen und die Windgeschwindigkeiten. Als Windrichtung wird jeweils der Mittelwert eines Messintervalls von 10 Minuten Dauer angegeben. Die Geschwindigkeit  $u[z]$  nimmt mit der Höhe  $z$  über dem Boden zu und ihre Verteilung entspricht näherungsweise einem Potenzgesetz. Es ist üblich die Windgeschwindigkeiten über 10 Minuten-Intervalle zu mitteln, auf eine Höhe von  $z = 10$  m über Boden zu normieren und sie damit für die verschiedenen Messstationen vergleichbar zu machen. Die Umrechnung erfolgt nach der Beziehung

$$\frac{u_z}{u_{10}} = \left( \frac{z}{z_{10}} \right)^\alpha$$

Hierin bedeuten:

- $z$ : Höhe der Messung über Boden,
- $z_{10}$ : genormte Höhe = 10 m,
- $u_z$ : mittlere Windgeschwindigkeit auf der Höhe  $z$ ,
- $u_{10}$ : mittlere Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe,
- Exponent: offener See:  $\alpha = 0.1$ , offenes Land  $\alpha = 0.16$ , Bäume und Sträucher  $\alpha = 0.28$ .

Registriert werden auch die Geschwindigkeiten der Böenspitzen, welche ein Mehrfaches der Mittelwerte erreichen können.

Die Datenreihen einer Beobachtungsstation werden über möglichst lange Zeiträume aufgenommen und mittels Computerprogrammen zu sog. IDF-Diagrammen (Intensität, Dauer, Frequenz der Winde) verarbeitet (Abb. 1) Ausgehend von der Windrose des Beobachtungsstandortes mit den charakteristischen Windrichtungen werden die einzelnen Windrichtungen gesondert betrachtet. Für jeden Sektor wird ein IDF-Diagramm dargestellt. Üblich ist die Einteilung in 8 oder 12 Sektoren.

Diese Diagramme sind die meteorologische Grundlage zur Berechnung der Wellenhöhen.

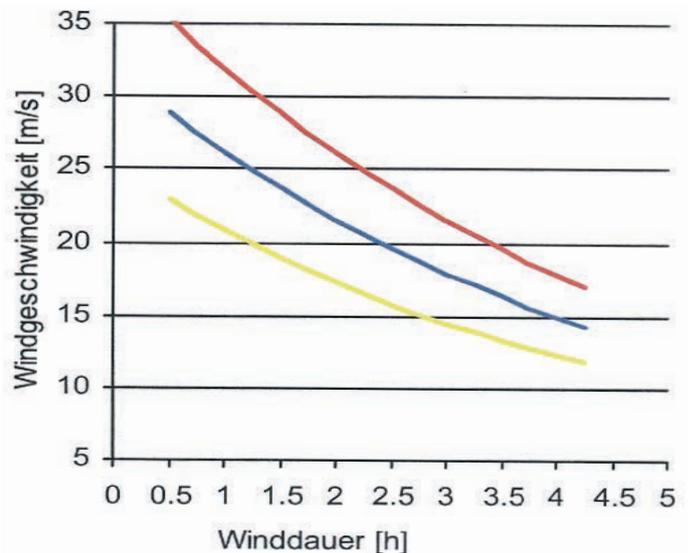


Abb. 1: Beispiel eines IDF-Diagrammes für einen gegebenen Standort und für die Winde im Sektor  $180^\circ$ – $210^\circ$  bei insgesamt 12 Sektoren. Wiederkehrperioden: rot: 300 Jahre, blau: 100 Jahre, gelb: 30 Jahre | Fig. 1: Exemple de diagramme IDF pour un emplacement donné et pour les vents du secteur  $180^\circ$ – $210^\circ$  pour un total de 12 secteurs. Périodes de retour : rouge : 300 ans, bleu : 100 ans, jaune : 30 ans

### 1.2 Wellenklima und die Wellenbewegung am Ufer

Das Wellenklima eines Uferstandortes wird mitbestimmt durch die Windfelder der für den See typischen Winde. Es zeichnet sich aus durch die zu erwartenden Wellenhöhen, Wellenformen, die Anlaufrichtungen der Wellen und wird beeinflusst von den Uferkonturen und der Topographie des Seegrundes (Bathymetrie) in Ufernähe.

An exponierten Uferabschnitten mit Ufervorsprüngen, die den anlaufenden Wellen direkt ausgesetzt sind, ist das Wellenklima rauer, als in einer wind- und wellengeschützten Bucht. Einen erheblichen Einfluss auf das Verhalten der Wellen im Uferbereich hat die Bathymetrie. Im Falle eines Steilufers und tiefem Wasser (tiefer als die halbe Wellenlänge) erreichen die Wellen das Ufer ungebremst. Ist dem Ufer hingegen ein Flachwasser vorgelagert, so spüren die Wellenströmungen den seichten Seegrund, werden dadurch gebremst und die Wellen verlieren gegen das Ufer hin an Höhe. Dieser Einfluss heisst Refraktion. In Ufernähe schliesslich nimmt die Energiekonzentration mit abnehmender Wassertiefe stark zu, die Wellen werden höher, steiler und instabil, sie brechen entlang der sog. Brecherlinie. Der Vorgang wird als Brandung bezeichnet (Abb. 2). Beim Erreichen der Uferlinie ist die Wellenenergie wesentlich geringer als bei Wellen, die kein Flachwasser durchlaufen und nicht brechen.

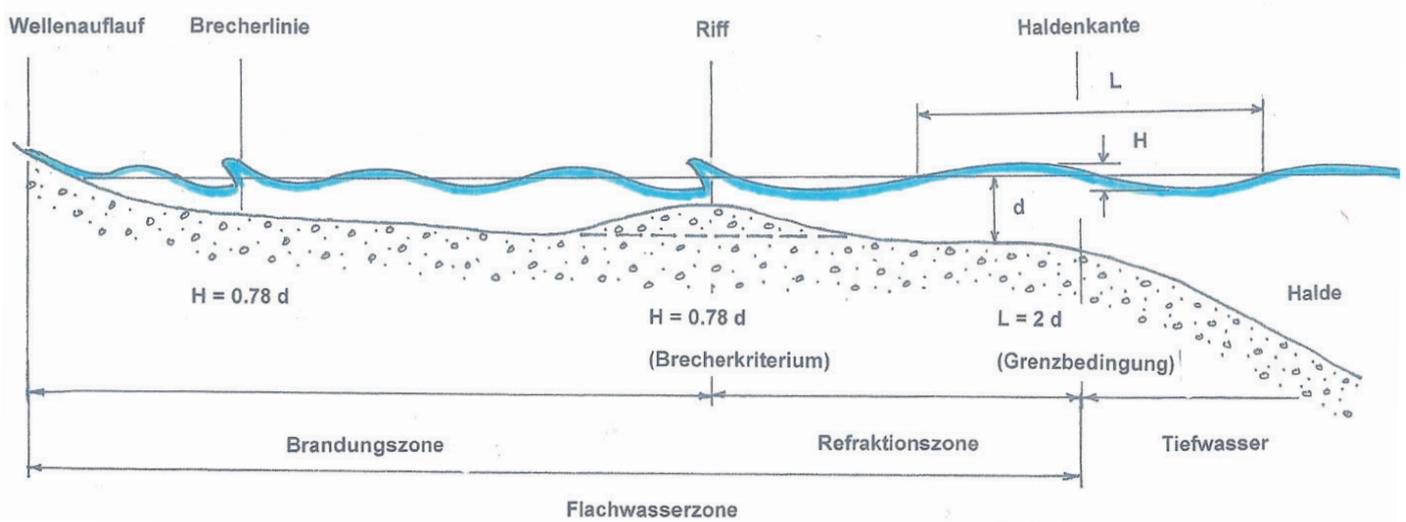


Abb. 2: Wellen in der Flachwasserzone. H: Wellenhöhe, L: Wellenlänge, d: Wassertiefe. Die Wellenenergie  $E_w$  ist etwa proportional dem Quadrat der Wellenhöhe H. Je geringer die Wassertiefe d über dem Riff, desto stärker werden die Wellen gedämpft, oder: grössere Wellen werden über dem Riff stärker gedämpft als kleinere | Fig. 2: Vagues dans la zone des eaux peu profondes. H : hauteur de vague, L : longueur de vague, d : profondeur de l'eau. L'énergie des vagues  $E_w$  est approximativement proportionnelle au carré de la hauteur de vague H. Plus la profondeur au-dessus du riff est faible, plus les vagues sont amorties, ou alors : les grandes vagues sont plus fortement amorties au-dessus du riff que les petites

Die Ufer werden auch durch Schiffs- und Bootswellen beansprucht. Häufig zirkulierende Kursschiffe und schnell am Ufer vorbeifahrende Motorboote können mit der Zeit an den Ufern Schäden anrichten. Bei der Entstehung am Schiffsheck sind die Wellen sehr steil und brechen z.T. bereits. Am Ufer können solche Wellen zu erheblichen Sedimentumlagerungen führen. Die Verkehrsvorschriften, insbesondere die Fahrgeschwindigkeit und die Abstände zum Ufer

betreffend, sind in Art. 53 Binnenschiffverkehrsverordnung (BSV 1978) geregelt.

### 1.3 Häufigkeitsverteilung und Wiederkehrperiode

Die Windwellen sind nicht einheitlich. Ihre Höhen und Längen variieren innerhalb einer ausgedehnten Häufigkeitsverteilung. Eine solche lässt sich aufgrund von Wellenmessungen und einer Analyse bezüglich eines zeitlich begrenzten meteorologischen Ereignisses bestimmen. Die sog. Rayleigh Verteilung als gute Annäherung ist in Abbildung 3 dargestellt.

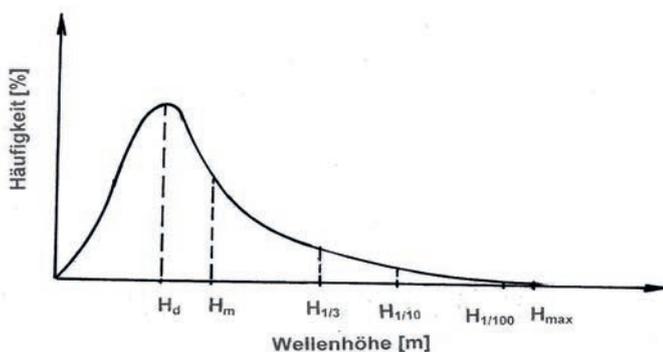


Abb. 3: Häufigkeitsverteilung der Wellenhöhen nach Rayleigh. Hierin bedeuten:

- $H_d$ : Wellenhöhe der grössten Häufigkeit,
  - $H_m$ : Mittel der gemessenen Wellenhöhen,
  - $H_{1/3}$ : Mittel des Drittels der höchsten Wellen einer Zeitreihe oder  $H_s$ : signifikante Welle,
  - $H_{1/10}$ : Mittel der 10% höchsten Wellen einer Zeitreihe,
  - $H_{1/100}$ : Mittel der 1% höchsten Wellen einer Zeitreihe,
  - $H_{max}$ : höchste Welle der Zeitreihe.
- Fig. 3: Distribution de fréquence des hauteurs de vagues selon Rayleigh, avec :
- $H_d$ : Hauteur des vagues de la plus grande fréquence,
  - $H_m$ : Moyenne des hauteurs de vagues mesurées,
  - $H_{1/3}$ : Moyenne du tiers des vagues les plus élevées d'une série temporelle ou  $H_s$ : vague significative,
  - $H_{1/10}$ : Moyenne des 10% de vagues les plus élevées d'une série temporelle,
  - $H_{1/100}$ : Moyenne des 1% de vagues les plus élevées d'une série temporelle,
  - $H_{max}$ : Vague la plus élevée de la série temporelle

Zwischen diesen definierten Wellenhöhen gelten folgende Umrechnungsfaktoren:

$$H_m = 0.63 H_{1/3}, H_{1/10} = 1.27 H_{1/3}, H_{1/100} = 1.67 H_{1/3}, H_{max} = 1.87 H_{1/3} \text{ (von 1000 Wellen)}$$

Für den gleichen Standort ergeben sich für verschiedene Häufigkeiten (Jährlichkeiten) des meteorologischen Ereignisses ähnliche Verteilungen mit unterschiedlichen charakteristischen Wellenhöhen.

### 1.4 Bemessungswelle

Die Bezugsgrösse der folgenden Betrachtungen ist die signifikante Wellenhöhe  $H_{1/3}$  (=  $H_s$ ). Die signifikante Wellenhöhe  $H_s$  entspricht etwa jener Höhe, welche ein Beobachter in einem Wellenzug als vorherrschend bezeichnen würde. Ausgangsparameter zur Abschätzung von  $H_{1/3}$  sind die Windgeschwindigkeit, die Winddauer und die Streichlänge des Windes. Letztere, auch als Fetch bezeichnet, ergibt sich aus der zutreffenden Windrichtung und der Windstrecke über dem Seespiegel. Windstärke und Winddauer sind



Wiederkehrperiode der Sturmereignisse darf mit 30 Jahren tiefer gewählt werden als bei massiven Bauwerken, wo keine Schäden toleriert werden.

## 2. Wasserspiegel

Die meisten Schweizer Seen werden durch ein Stauwehr reguliert. Der Seespiegel bewegt sich innerhalb kontrollierter Grenzen. Zweck der Regulierung ist die Dämpfung der Seespiegelschwankungen: Die Höchstwerte sollen verringert, die Niedrigstwerte erhöht werden. Um die erste Bedingung zu erfüllen muss die Kapazität des Seeausflusses erhöht werden. Dies kann durch die Ausbaggerung des Gerinnes, durch die Erstellung eines Entlastungsgerinnes oder einen Entlastungsstollen erfolgen. Nicht reguliert sind die Seestände von Bodensee, Walensee, Baldeggersee, Sarnersee, Lauerzersee sowie einiger kleinerer Seen. Die charakteristischen Wasserstände der Seen sind in den «Hydrologischen Jahrbüchern der Schweiz» zusammengestellt. Für jeden See sind die nachstehenden Zahlen verfügbar:

- Mittelwerte des vorliegenden Jahres
  - Mittelwerte der Beobachtungsperiode
  - Tiefststände innerhalb der Beobachtungsperiode
  - Höchststände innerhalb der Beobachtungsperiode
- Weiter in den Jahrbüchern enthalten sind die Ganglinien und die Dauerkurven der Seestände des dokumentierten Jahres. Schliesslich sind die Dauerkurven für ein wasserreiches und für ein wasserarmes Jahr dargestellt. Aus diesen Daten lassen sich die jährlichen und saisonalen Schwankungsbreiten der Seestände bestimmen, eine Grundlage, welche für die Gestaltung der Ufer entscheidend ist.

## 3. Bathymetrie

Die Bathymetrie beschreibt die Topographie des Seebeckens (Abb. 6). Besondere Aufmerksamkeit im Zusam-

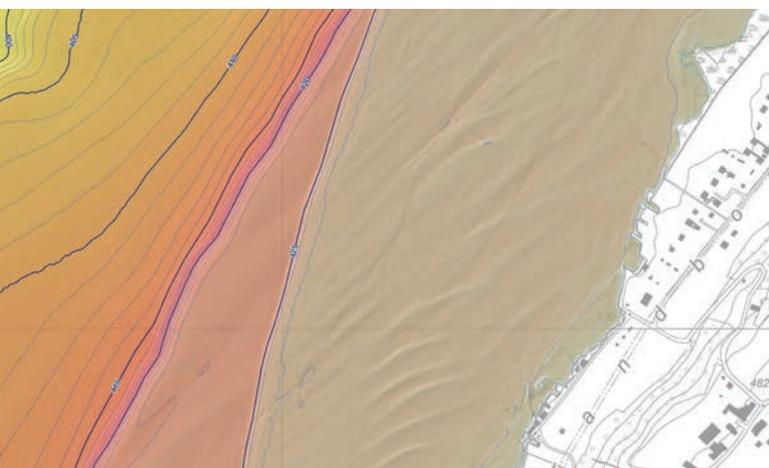


Abb. 6: Beispiel einer bathymetrischen Aufnahme: Flachwasserzone mit Haldenkante bei Gerolfingen am Bielersee [Quelle: Geoportail des Kantons Bern] | Fig. 6: Exemple d'image bathymétrique : beine lacustre avec mont près de Gerolfingen sur le lac de Biene [source : Géoportail du canton de Berne]

menhang mit den Seeufern verdienen die vorgelagerten Flachwasserzonen, dies aus folgenden Gründen:

- Die Flachwasserzone ist der bedeutendste Lebensraum innerhalb eines Sees. Sie beherbergt die grösste Vielfalt an Lebewesen und Pflanzen. Es handelt sich dabei um Seetiefen kleiner als etwa 5 m.
- In der Flachwasserzone können die wellenbedingten Strömungen und Turbulenzen den Seegrund erreichen, so dass sich bei stärkerem Seegang feinkörniges Sediment am Grund bewegen kann.
- Im Flachwasser erfolgt eine Veränderung der Wellenbewegung- und Richtung infolge des Refraktionseffektes und der Brandung.

Bathymetrische Aufnahmen im Uferbereich sind eine grundlegende Information für die Gestaltung der Ufer [Iseli & De Cesare 2019]. Vielerorts existiert noch keine detaillierte Bathymetrie der Flachwasserzone, so dass diese bei Projektbeginn zuerst beschafft werden muss. Unter «swissbathy3d» findet sich eine Übersicht von swisstopo über die vorhandenen Datensätze [geo.admin.ch]. Die zu wählende Äquidistanz der Höhenkurven sollte in Ufernähe kleiner als 1.0 m gewählt werden und in der Regel im Dezimeterbereich liegen. Oft genügen anstelle von Höhenkurvenaufnahmen definierte Querprofile über das Flachwasser einschliesslich der Haldenkante.

Die Ergebnisse der Flachwasservermessung dienen nicht nur dem eigentlichen Projekt der Ufergestaltung. Wiederholte Aufnahmen dokumentieren zudem die längerfristigen Beobachtungen der Ufermorphologie.

## 4. Untergrund und Sedimenteigenschaften

### 4.1 Sediment, Korngrössen

Die Herkunft des Seegrundes ist vielfältig. Die meisten Seen der Schweiz sind glazialerosiven Ursprungs [Schleiss, 2006]. Ihre Becken wurden während den Eiszeiten durch die Gletscher ins Grundgebirge eingetieft. Nach dem Abschmelzen des Eises entstanden die Seen und mit der Zeit die Seeablagerungen in der Form von Seekreide. Diese finden sich in grösseren Seetiefen. Am Ufer und im Flachwasser dagegen ist die Seekreide selten anstehend, entweder ist sie durch die Erosion der Wellen abgetragen worden oder sie wird von gröberer Ablagerungen wie Flussdeltas, Hangrutschungen, Schutthalden überdeckt. Manche Ufer bestehen aus Lockergesteinen eiszeitlicher Moränen. Es gibt auch Flachwasserbänke, die durch die Ablagerung von Verwitterungsmaterial aus Molassekliffs entstanden sind [Südufer des Neuenburger- und des Bielersees]. An Steilufern mit Neigungen von mehr als 35° bis 50° sind die Ufer in der Regel felsig (z.B. Urnersee). Glazialerosive Seebecken sind einem langfristigen Verlandungsprozess durch die Zuflüsse unterworfen [Urner Reusstal, St. Galler Rheintal,

Magadinoebene, unteres Rhonetal]. Die Ufer der vordringenden Alluvionsebenen bestehen aus fluvialen Schotter, sprich Flussgeschiebe.

Die Korngrößen des Ufermaterials variieren je nach Entstehung und Standort in weiten Grenzen. Die Korngrößenverteilung wird üblicherweise durch Siebanalysen ermittelt. Es empfiehlt sich Proben an mehreren Uferstellen zu entnehmen um ein repräsentatives Bild im betrachteten Uferabschnitt zu erhalten. Aus den Kornverteilungskurven können die charakteristischen Korngrößen wie  $D_{max}$  und  $D_{mittel}$  bestimmt werden. Die Abmessungen sehr feiner Körner im Siltbereich werden durch Schlemmanalysen ermittelt. Von Interesse ist neben der Kornverteilung die Kornform. Flussgeschiebe im Delta enthält je nach Petrographie rundliche bis plattige Körner als Ergebnis des Abriebes. Körner des Wildbachgeschiebes und des Moränenschotter sind weniger gründlich gerundet, aber nicht mehr kantig. Kantig hingegen sind die Trümmer der Felsabbrüche und -stürze in den Geröllhalden.

## 4.2 Grenzschubspannungen

Die Grenzschubspannung, bei der ein Sedimentkorn in Bewegung gerät, ist abhängig vom Korndurchmesser und von der Dichte des Materials. Ob diese Grenzschubspannung von der wirksamen Schubspannung am Seegrund erreicht wird und eine Sedimentbewegung zustande kommt, hängt von der Wassertiefe und den Wellenkenndaten ab. Aus dem Diagramm in Abb. 7 geht der Zusammenhang zwischen der Wellenhöhe, der Wassertiefe und der Korngröße des mobilisierten Materials am Seegrund hervor. Je seichter das Wasser, je höher die Wellen, umso gröberes Material wird bewegt.

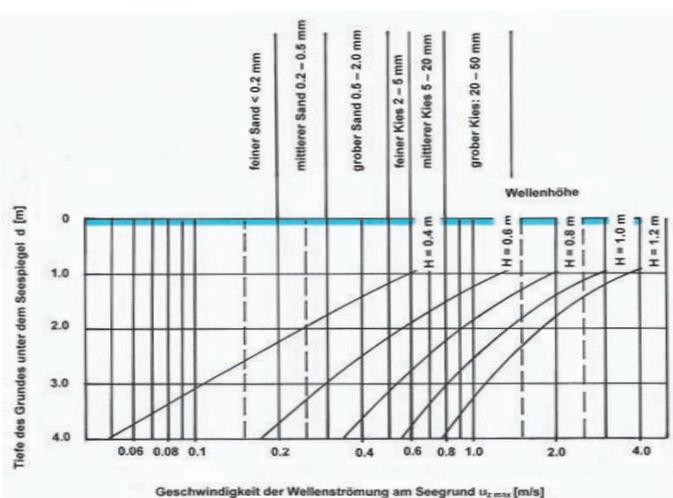


Abb. 7: Auswirkung der Wellenströmungen auf die Sedimente im Flachwasser. Bewegung der Körner am Seegrund in Abhängigkeit der Wassertiefe und der Wellenhöhe | Fig. 7: Effet des courants de vagues sur les sédiments en eaux peu profondes. Mouvement des grains au fond du lac en fonction de la profondeur de l'eau et de la hauteur des vagues

## 5. Strömungsverhältnisse und Sedimenthaushalt

### 5.1 Sedimenttransportrate und -richtung parallel zum Ufer

Sedimenttransporte im Flachwasser sind in grösserem Ausmass dort möglich, wo der Seegrund aus feinkörnigem Material (Feinsand, Silt) besteht. Bei starkem Wellengang wird nahe am Ufer auch Kies verfrachtet. Uferparallele Bewegungen der Sedimente werden durch die schräg das Ufer anlaufenden Wellen und die hierdurch induzierten Brandungsströmungen hervorgerufen.

Ein wichtiger Erfolgsfaktor für die Revitalisierung von Seeufern ist die genaue Kenntnis der Sedimenttransportdynamik im Projektgebiet. Je nach meteorologischer Situation und Wellenrichtung erfolgt der Sedimenttransport nach der einen oder der andern uferparallelen Richtung. Wie sich das Ufer morphologisch entwickelt, kann mittels wiederholter bathymetrischer oder Querprofilaufnahmen verfolgt werden. In der Regel sind Ufervorsprünge und Halbinseln eher der Erosion ausgesetzt, während in den Buchten die Tendenz zu Ablagerungen besteht. Ein bewährtes Hilfsmittel Veränderung qualitativ festzuhalten ist der Fotoapparat.

### 5.2 Sedimentzufuhr (Flüsse)

Der Sedimenteintrag der Flüsse in Seen variiert von Jahr zu Jahr stark und wird durch die Hochwasserereignisse bestimmt. Die zuverlässigste Methode die langfristigen mittleren Sedimentfrachten zu bestimmen sind wiederholte Deltavermessungen. Am Deltakopf, wo die Schleppkraft der Flusströmung nachlässt, lagern sich die gröberen Komponenten, das Geschiebe, auf der Halde ab. Das feinere schwebende Material wird von der Strömung seewärts getragen wo es in grössere Tiefen absinkt. Dabei werden die feinsten Kornfraktionen am weitesten seewärts verfrachtet. Eine Schätzmethode besteht darin, den jährlichen Gebirgsabtrag in mm/a mit der Fläche des Einzugsgebietes zu multiplizieren. Ursache des Gebirgsabtrages sind die Erosion der Erdoberfläche infolge Verwitterung und der Abtransport des Materials durch die Fliessgewässer. Zahlen über den Gebirgsabtrag verschiedener Flusseinzugsgebiete beruhen meistens auf Deltavermessungen, welche an grösseren Schweizer Seen vorliegen. Die Zahlenwerte der Flüsse in den Schweizer Alpen liegen unter 1 mm/a. In kleinen Wildbacheinzugsgebieten sind die Werte höher. Geschieberechnungen mit einer Transportformel sind meistens ungenau, weil sie auf idealisierten und unsicheren Annahmen beruhen.

### 5.3 Langfristige Sedimentverfrachtungen

Ein Teil der Sedimente wird bei hohem Seegang von den Brandungsrückströmungen (sog. Rippströmungen) senkrecht vom Ufer abgehend über die Haldenkante hinaus ins Tiefwasser befördert (Jung, 1990), wo es sedimentiert und für immer dem Einfluss der welleninduzierten Strömungen

gen des Flachwassers entzogen bleibt. Dieser Effekt führt langfristig zur Ufererosion. Bei feinem Material spielt sich dieser Vorgang rascher ab. Beobachtungen zeigen, dass die Ufererosion vorwiegend in Deltagebieten mit kanalisierten Flussmündungen (Reussmündung in den Urnersee, Rhonemündung in den Genfersee, Ticino in der Bolle di Magadino) und nach Seespiegelabsenkungen bei feinkörnigen Flachufern (Südostufer von Neuenburger und Bielersee) vorkommt.

Betrachtet man geologische Zeiträume, so haben sich die Seespiegel im Laufe der Zeit, d.h. seit der letzten Eiszeit, um einige Meter abgesenkt. Ursache ist die Eintiefung der Seeausflüsse infolge der Tiefenerosion. Mit diesem Prozess einher ging auch eine gewisse Ufererosion. Die Feststoffbilanz der Ufer wird durch die örtliche Geologie, die Wellen, die Veränderung der Seestände, Massenbewegungen wie Erdbeben und Felsabbrüche, die Feststofffrachten der einmündenden Flüsse und nicht zuletzt durch anthropogene Einflüsse bestimmt. Erosion und Auflandung in kurzen und langen Zeitspannen kennzeichnen die Uferdynamik.

## Literatur

BAFU (Hrsg.) Hydrologische Jahrbücher der Schweiz. Bundesamt für Umwelt, Bern. [www.bafu.admin.ch](http://www.bafu.admin.ch)

Binnenschiffahrts- Verordnung BSV, 1978. Verordnung über die Schifffahrt auf schweizerischen Gewässern vom 8. November 1978

Diebold, M., Iseli, Ch., Elsener, J., Heller, P. 2019: Wellenatlas für Schweizer Seen. Wasser Energie Luft 1/2019 [18-22]

EAU 1985. Empfehlung des Arbeitsausschusses Ufer-einfassungen; Verlag Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin; ISBN 3-433-01034-X

Huber, A. 2007. Erosionsprozesse an Seeufnern. Wasser Energie Luft 4/2007

Huber, A. 2014. Wellendynamik und Seeuferrevitalisierung. Ingenieurbiologie 4/2014 [38-44]

Iseli, Ch., De Cesare, G. (2019): Vermessung des Bielersees – spannende Blicke unter Wasser. Wasser Energie Luft 1/2019 [23-28]

Jung, G. 1990. Seen werden Seen vergehen; Ott Verlag Thun; ISBN 3-7225-6297-X

Schleiss, A. (Hrsg.), 2006: Bases de dimensionnement des mesures de protection des rives lacustres / Bemessungsgrundlagen für Massnahmen zum Schutz von Flachufnern an Seen. Communication Laboratoire de Constructions Hydrauliques, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Communication 27 ([www.erosee.org](http://www.erosee.org))

## Kontaktadresse

Andreas Huber, dipl. Bauing ETHZ, Dr. sc.techn.  
Beratender Ingenieur  
Im Baumgarten 12  
8606 Greifensee  
Tel. 044 940 74 03  
[huber.andreas@ggaweb.ch](mailto:huber.andreas@ggaweb.ch)

Christoph Iseli, dipl. Forsting. ETH  
Landschaftswerk Biel-Seeland  
Mattenstrasse 133  
2501 Biel/Bienne  
Tel. 032 328 11 33  
[ch.iseli@landschaftswerk.ch](mailto:ch.iseli@landschaftswerk.ch)



Andreas Huber



Christoph Iseli

# Ökologisches Konzept

Klemens Niederberger  
Teil 5

## Zusammenfassung

Das ökologische Konzept zeigt auf, wie die gewählten Massnahmen begründet bzw. hergeleitet werden und in welchem lokalen oder übergeordneten Kontext sie stehen. Dazu werden zwei Vorgehensweisen zur Planung einer Uferrevitalisierung vorgestellt:

Im **«PRAKTIK-Modus»** wird eine häufig anzutreffende Projektsituation beschrieben, in der die ökologischen Ziele pauschal aus der Behebung oder Entschärfung des vorhandenen Haupt-Defizites – meist fehlende Wasserwechselzone durch harten Uferverbau – abgeleitet und mit einem «Standard-Set» von wenigen und oft die einzig möglichen Massnahmen umgesetzt werden.

Im **«EXPERT-Modus»** erfolgt eine detaillierte Analyse der Defizite und eine vertiefte Herleitung der Revitalisierungsziele und –möglichkeiten. Darin enthalten ist eine Orientierung entweder am Referenzzustand, welcher für den betrachteten Standort anhand historischer Quellen recherchiert wird, oder an einem übergeordneten seespezifischen Leitbild [gewässerbezogenes Konzept der ökologischen Funktionsfähigkeit der Uferzone, s. Teil 3 in diesem Heft].

## Keywords:

Ökologische Zustandserhebung, Referenzzustand, ökologische Zieldefinition

*Flachufer gehören zu den reichhaltigsten Elementen unserer Landschaft. Als schmale und langgestreckte Übergangsbiosphären vermitteln sie zwischen den landseitigen Lebensräumen und dem offenen See. Die landseitige Uferzone weist wertvolle und selten gewordene Lebensräume auf wie Feuchtgebiete, Riedwiesen und Röhrichte. Die seeseitige Flachwasserzone ist jener Bereich des Sees, in welchem die intensivsten biologischen, physikalischen und chemischen Abläufe stattfinden. Beispielsweise finden hier Fische Laichräume, Aufwuchsgebiet und Jagdrevier. Für Kleintiere wie Schnecken und Muscheln bildet sie eine geeignete Lebensgrundlage. Das Schilfröhricht bietet den Wasservögeln Rückzugsmöglichkeiten und Schutz zur Aufzucht der Jungen. Aus: Arbeitshilfe «Seeufer aufwerten» [Iseli 2012]*

## Concept écologique

### Résumé

Le concept de mesures écologiques montre comment les mesures sélectionnées sont justifiées ou dérivées et dans quel contexte local ou supérieur elles se situent. À cette fin, deux approches de planification de la revitalisation des rives sont présentées :

Dans le « **mode PRATIQUE** », une situation de projet fréquemment rencontrée est décrite de manière globale dans laquelle les objectifs écologiques sont généralement dérivés de l'élimination ou de l'atténuation du déficit principal existant - généralement l'absence de zone d'échange d'eau en raison de l'aménagement des berges en dur - et sont mis en œuvre avec un « ensemble standard » d'un petit nombre et souvent les seules mesures possibles.

Dans le « **mode EXPERT** », une analyse détaillée des déficits et une dérivation approfondie des objectifs et des possibilités de revitalisation sont effectuées. Cela comprend une orientation soit vers l'état de référence, recherché pour l'emplacement considéré à l'aide de sources historiques, soit vers un modèle supérieur spécifique au lac.

#### Mots-clés :

Evaluation de l'état écologique, condition de référence, définition de l'objectif écologique

*Les rives plates sont parmi les éléments les plus riches de notre paysage. En tant qu'habitats de transition étroits et allongés, ils servent de médiateur entre les habitats terrestres et le lac. La zone riveraine terrestre contient des habitats précieux et rares tels que des zones humides, des prairies marécageuses et des roselières. La berge lacustre au bord du lac est la zone lacustre où se déroulent les processus biologiques, physiques et chimiques les plus intenses. Les poissons, par exemple, y trouvent des frayères, des zones d'alevinage et des terrains de chasse. Pour les petits animaux tels que les escargots et les moules, il constitue une base de vie appropriée. Les roselières offrent aux oiseaux aquatiques des possibilités de retraite et une protection pour élever leurs petits. Source : Guide de travail « Valoriser les rives lacustres » [Iseli 2012].*

## Concetto ecologico

### Riassunto

Il concetto ecologico illustra come giustificare o derivare le misure selezionate e in quale contesto si trovano, a livello locale o più ampio. A tal fine vengono presentate due procedure per la pianificazione della rivitalizzazione delle rive: nella modalità «**PRAKTIK**» viene descritta una situazione di progetto frequentemente riscontrata dove gli obiettivi ecologici sono generalmente derivati dall'eliminazione o dalla

mitigazione del deficit principale esistente. Quest'ultimo è di solito rappresentato dalla mancanza di una fascia spondale a causa delle opere di protezione dall'erosione. Le misure, poche e spesso le uniche possibili, vengono implementate con un set standard.

Nella modalità «**EXPERT**» viene effettuata un'indagine dettagliata dei deficit e un'analisi approfondita degli obiettivi e delle possibilità di rivitalizzazione. Per fare ciò si fa riferimento sia allo stato di riferimento, che viene definito per l'area in esame utilizzando fonti storiche, sia ad un modello specifico del lago su ampia scala.

#### Parole chiave:

Valutazione dello stato ecologico, stato di riferimento, definizione degli obiettivi ecologici

*Le zone litorali delle rive lacustri sono tra gli elementi più ricchi del nostro paesaggio. In quanto habitat di transizione stretti e allungati, essi mediano tra gli habitat terrestri e il lago aperto. La zona ripariale contiene habitat preziosi e rari come le zone umide, i prati umidi e i canneti. La zona di acque poco profonde del lago è la zona del lago dove avvengono i processi biologici, fisici e chimici più intensivi. I pesci, per esempio, trovano qui zone di riproduzione, aree idonee agli avannotti e zone di caccia. Per i piccoli animali come le lumache e le cozze, costituisce una zona adeguata per la vita. I canneti offrono agli uccelli acquatici la possibilità di ritirarsi e protezione per l'allevamento dei loro piccoli. Tradotto dall'aiuto al lavoro «Seeufer aufwerten» («Migliorare le rive lacustri», Iseli 2012).*

### 1. «PRAKTIK»-Modus

Das Motto für den «PRAKTIK»-Modus lautet: Schnellverfahren / «quick and dirty» / «best practice» / in vielen Fällen sehr realitätsnah bzw. für einen Grossteil der Ufersituationen zutreffend / man macht das Meiste richtig / günstiges Verhältnis zwischen planerischem Aufwand und ökologischem Ertrag / unkompliziertes Bewilligungsverfahren<sup>1</sup>.

Die für den «PRAKTIK»-Modus prädestinierten Uferabschnitte umfassen in der Regel weniger als 50 m Uferlänge und weisen landseitig meist (deutlich) weniger als den gesetzlichen minimalen Gewässerraum von 15 m als Interventionsfläche auf. Oft sind die landseitigen Flächen in Privatbesitz und / oder es sind Infrastrukturelemente («Anlagen und Bauten»), welche nahe oder bis an den Gewässerrand reichen<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> i.d.R. fällt ein Revitalisierungsprojekt im «PRAKTIK»-Modus auch nicht unter die UVP-Pflicht. Eine solche wäre z.B. gegeben bei einem Schüttvolumen von > 10'000 m<sup>3</sup>. In Abstimmung mit der Vollzugshilfe «Ökologische Anforderungen an Wasserbauprojekte» [Belser et al. in Anhörung 2020] entspricht der «PRAKTIK»-Modus dem Vorgehen bei kleineren Aufwertungsarbeiten, wo die SIA-Phasen 1 und 2 (Situationsanalyse und Zieldefinition) ausgelassen und direkt mit der Massnahmenplanung (Vor-, Bau-, Auflageprojekt) begonnen wird.

<sup>2</sup> Der PRAKTIK-Modus ist auch dann «das Mittel zur Wahl», wenn eine übergeordnete, gewässer-spezifische Revitalisierungsplanung und Festlegung prioritärer Uferabschnitte (nach) fehlt, aber trotzdem Umsetzungsbedarf besteht (z.B. in Bewilligungsverfahren für Bauprojekte oder Neukonzessionierungen mit Pflicht zu Uferaufwertungen in der Realisierung des ausgewiesenen Ersatzbedarfes) und dem betreffenden Perimeter nicht ein ökologisches Gesamtkonzept «überwältigt» werden kann.

Für einen überwiegenden Teil dieser Standorte zeigt sich folgendes Bild:

- Aufschüttung in der Flachwasserzone («Landanlage / Konzessionsland»)<sup>3</sup> und/oder
- Hartverbau an der Uferlinie (Ufermauer, Blockwurf) mit vorgelagerten Grobfraktionen des Seegrundes auf mehreren Metern Breite

In all diesen Fällen liegt das ökologische Defizit vor allem im mehr oder weniger vollständigen Verlust der Wasserwechselzone (Übergangsbereich Wasser–Land) sowie einer anteilmässig substanziellen Verkürzung der Flachwasserzone. Davon betroffen sind spezifisch an den Lebensraum schwankender Wasserstände (Eulitoral) angepasste Organismen, welche auf periodisch überflutete und wieder trockenfallende Flächen angewiesen sind oder genau dort ihre Nische haben und gegenüber anderen Arten im Vorteil sind. Eine gegenüber den natürlichen Gegebenheiten verkürzte Flachwasserzone engt das mögliche Artenspektrum ein, da der lokale Gradient des sukzessiven Abbaus der Wellenkräfte ab einem bestimmten Punkt abrupt abgebrochen wird. Hinzu kommt eine durch Wellenrückschlag stark mechanisch gestörte Zone unmittelbar an der Uferverbauung. Als «pauschale» ökologische Zielsetzung steht im «PRAKTIK»-Modus die Abflachung des Seeufers und die Verbreiterung der Wasserwechselzone im Vordergrund. Es wird damit auf das grösste Defizit fokussiert, die Naturnähe des betreffenden Abschnittes generell verbessert und implizit mit der Reaktivierung bzw. Revitalisierung eines raren Lebensraumes auch die entsprechende Artengemeinschaft (etliche davon auf der Roten Liste) gefördert<sup>4</sup> sowie der Grad der ökologischen Funktionsfähigkeit erhöht.

### 1.1 Szenarien

Für eine mögliche Revitalisierung des Seeufers ergeben sich für die oben beschriebene «Standard»-Situation drei Szenarien zur Ausbildung bzw. Wiederherstellung einer Wasserwechselzone:

1. **«PRIO TERRA»** – Landseits – ab bestehender Uferlinie – ist genügend Raum vorhanden ( $\geq 10$  m):  
Die gesamte Aufwertung findet landseits statt. Durch den Abbruch der Uferbefestigung und landseitigem Terrainabtrag wird im Prinzip die Seefläche vergrössert auf Kosten von ufernahen terrestrischen Lebensräumen, welche i.d.R. einen markant tieferen ökologischen Wert aufweisen als die vorgesehene neue aquatische bzw. amphibische Zone. Seeseits der aktuellen Uferlinie (Uferverbau) finden keine Veränderungen bzw. keine Überschüttungen und damit Zerstörung bestehender Werte statt.<sup>5</sup> Das Niveau des am Fuss der Ufermauer anstehenden Seegrundes wird übernommen und mit einem ökologisch optimierten Neigungswinkel fortgesetzt (max. 1:10 oder flacher). Vorgabe: Für die Wasserwechselzone ist der grösstmögliche Raum am Standort auszunutzen (Priorisierung Flächengewinn), der Übergang ab Beginn der terrestrischen Vegetation zur bestehenden Terrainhöhe kann dagegen steil ausgebildet werden (Neigung mind. 2:3).<sup>6</sup> Gegebenenfalls ist in einem Streifen seeseits der Uferlinie das standortfremde Substrat durch geeignetes Wandkies-Material zu ersetzen, ebenso landseits auf der Abtragsfläche.<sup>7</sup> Siehe Abb. 1 – Szenario 1.
2. **«INTERMEDIA»** – Landseits ist nur wenig Raum vorhanden (5–10 m)  
Die Aufwertung erfolgt nach dem Prinzip «halb Land – halb See», wobei als grobe Regel die bestehende Uferlinie als Drehpunkt betrachtet und das Ufer landseits abgeflacht und seeseits aufgeschüttet wird. Der Übergang ab Beginn der terrestrischen Vegetation zur Terrainhöhe ist wie in Variante A steil auszubilden (Neigung mind. 2:3). Vorgehen: Breite der Aufwertung festlegen, landseits ab Niveau der terrestrischen Vegetation, seeseits bis zum Beginn der dichteren Unterwasservegetation. Sofern diese Breite keine Neigung von 1:10 oder flacher zulässt, ist seeseitig unterhalb der Niedrigwas-

<sup>3</sup> Aufschüttungen zur Gewinnung von Land für den Bau von Strassen und Bahn, für Wohnungs- und Industriebauten, für Gärten und Anlagen aber auch für Bootshäfen. Mit solchen Aufschüttungen wurden die wertvollen, vom schwankenden Seespiegel beeinflussten Lebensräume der Uferzone zerstört. Sie sind meistens kombiniert mit dem Bau von Ufermauern, um das durch die Aufschüttung entstandene Steilufer vor dem Wellenschlag und der Erosion zu schützen. Während an Flachufern die Wellenenergie durch die Brandung vermindert wird, treffen die Wellen an einer Ufermauer mit deutlich höherer Wucht auf und werden zudem reflektiert. Die rückschlagenden Wellen führen zu empfindlichen Störungen der ufernahen Bereiche und der wertvollen Lebensräume in der Flachwasserzone.

<sup>4</sup> Die Etablierung gewisser lebensraumtypischen Arten ist als längerfristiges Ziel zu betrachten. Bei Fehlen entsprechender Ressourcen in der weiteren Umgebung kann ein Erfolg auch ausbleiben. Eine mögliche Massnahme wäre eine gezielte Wiederansiedlung von bestimmten Arten (siehe betreffender Abschnitt unter «Voraussetzungen für eine erfolgreiche Umsetzung»).

<sup>5</sup> Kein Konflikt mit NHG Art. 21, keine allfälligen Probleme mit Untergrundstabilität (Rutschungen), ggf. sind nicht standortgerechte Grobkomponenten am Seegrund aus dem früheren Uferverbau zu entfernen.

<sup>6</sup> Da ein Grossteil der Gewässer reguliert wird, sind heute die jährlichen Pegelschwankungen deutlich kleiner als im natürlichen Zustand. Die Neigung des neuen, landseitigen Seegrundes soll daher so ausgebildet sein, dass auch unter regulierten Verhältnissen die Flächenveränderungen bei ansteigendem oder sinkendem Seespiegel möglichst gross ausfallen.

<sup>7</sup> Oft liegt seeseits der Uferbefestigung kein gewachsener Seegrund vor, sondern ein Streifen grobkörniges Schüttmaterial. Dieser Streifen weist i.d.R. kaum Vegetation auf. Das standortfremde Substrat ist zu entfernen und mit geeignetem Sediment zu ersetzen (Wandkies mit Schichtmächtigkeit von 0.3–0.5 m). Auch landseits auf der Abtragsfläche kann ein Materialersatz nötig sein.

**PRIO TERRA**

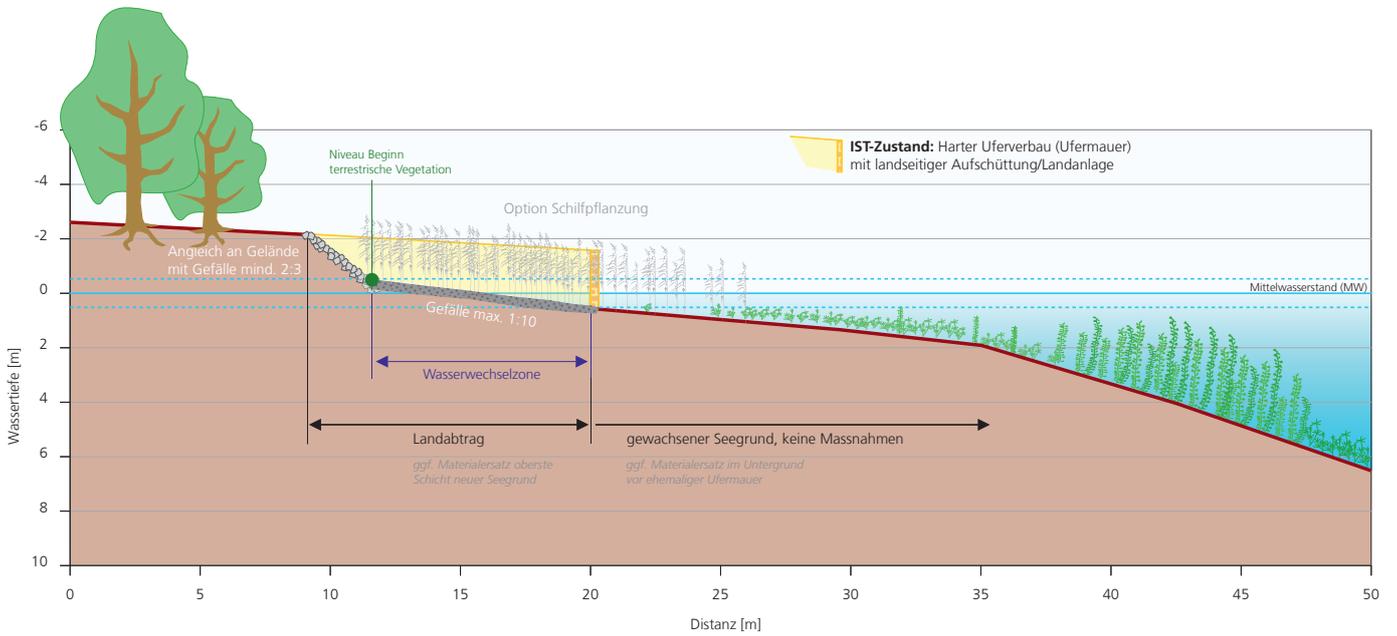


Abb. 1: Beispielprofil eines Seeufers vor und nach Revitalisierung im Szenario «PRIO TERRA», also mit Landabtrag zur Ausbildung einer Wasserwechselzone bis auf Niveau Beginn der terrestrischen Vegetation. Grafik: AquaPlus [M. Sturzenegger] | Fig. 1: Exemple de profil d'une rive lacustre avant et après revitalisation dans le scénario « PRIO TERRA », c'est-à-dire avec enlèvement de terre pour former une zone de marnage jusqu'au niveau du début de la végétation terrestre. Graphique : AquaPlus [M. Sturzenegger]

**INTERMEDIA**

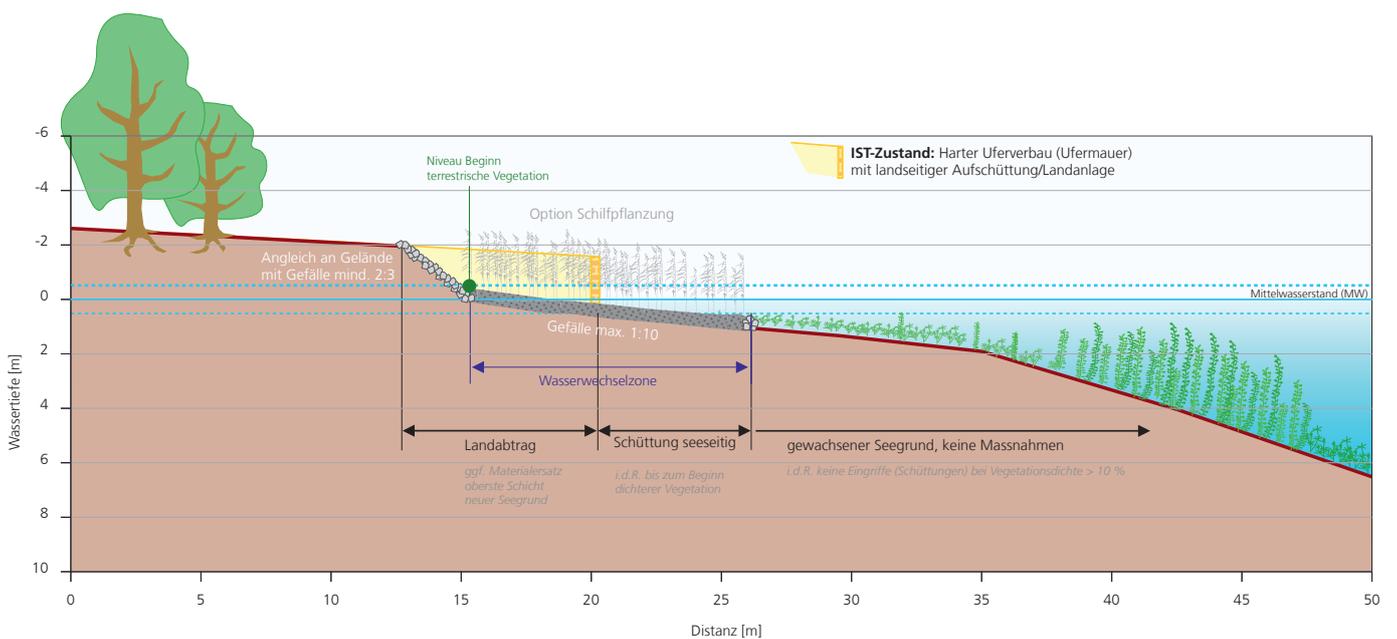


Abb. 2: Beispielprofil eines Seeufers vor und nach Revitalisierung im Szenario «INTERMEDIA», also mit Landabtrag und Schüttung ab bestehender Uferlinie zur Ausbildung einer Wasserwechselzone bis auf Niveau Beginn der terrestrischen Vegetation. Grafik: AquaPlus [M. Sturzenegger] | Fig. 2: Exemple de profil d'une rive lacustre avant et après revitalisation dans le scénario « INTERMEDIA », c'est-à-dire avec enlèvement et remblai à partir de la ligne de rive existante pour former une zone de marnage jusqu'au niveau du début de la végétation terrestre. Graphique : AquaPlus [M. Sturzenegger]



Abb. 3: Beispielansicht einer Seeuferaufwertung unter den «typischen» Rahmenbedingungen zur Anwendung des «PRAKTIK»-Modus [u.a. kleiner Uferabschnitt, Privatgrundstück, Interventionsraum landseitig beschränkt, keine übergeordnete Planung, Umsetzung lokaler Ersatzbedarf], Szenario «INTERMEDIA», Landabtrag und Schüttung zur Ausbildung einer Wasserwechselzone ca. 1:10, mit seeseitigem «Steindamm», bis zum Aufkommen dichter Unterwasservegetation, zusätzlich partielle (Wieder-)Ansiedlung von Schilf als Trittsteinbiotop. Der Beginn der terrestrischen Vegetation liegt am Fuss der landseitigen Steinböschung [Steilstufe bis Terrainhöhe]. Von Juni bis August steht die Kiesfläche unter Wasser. Der Mittelwasserstand liegt etwa in der Mitte der Kiesfläche. Zeitpunkt der Aufnahme ca. 10 cm unter MW. Foto: AquaPlus, 4.10.2016, 3 Jahre nach der Schilfpflanzung | Fig. 3: Vue d'exemple d'une revitalisation de rives lacustres dans les conditions cadres « typiques » pour l'application du mode « PRATIQUE » [comprenant une petite section de rive, une propriété privée, une zone d'intervention limitée côté terre, pas de planification de niveau supérieur, mise en œuvre des exigences locales de remplacement], scénario « INTERMEDIA », enlèvement de terre et remblai pour la formation d'une zone de marnage d'environ 1:10, avec un « barrage de pierres » côté lac, jusqu'à l'émergence d'une végétation sous-marine dense, avec une (ré)implantation partielle supplémentaire de roseaux comme biotope-relais. Le début de la végétation terrestre se trouve au pied du remblai de pierre côté terre [marche raide jusqu'au niveau du terrain]. De juin à août, les bancs de gravier sont sous l'eau. Le niveau moyen de l'eau se situe approximativement au milieu des bancs de gravier. Moment de la saisie environ 10 cm en-dessous du niveau moyen de l'eau. Photo : AquaPlus, 4.10.2016, 3 ans après la plantation des roseaux

serlinie eine Böschung aus größerem Material auszubilden («Damm» aus mehrheitlich faust- bis kopfgrossen Steinen) bis das gewünschte Minimalgefälle erreicht ist. Siehe Abb. 2 und 3 – Szenario 2.

### 3. «PRIO LAGO» – Landseits ist kein Raum vorhanden [0 m]

Ohne die Möglichkeit einer landseitigen Abflachung ergibt sich als Mittel der Wahl nur noch die Vorschüttung. Hier verbleibt als Zielsetzung die Entschärfung der harten Uferverbauung. Wie bei Variante 2 ist der Übergang ab Beginn der terrestrischen Vegetation steil auszubilden (z.B. Neigung mind. 2:3), der Rest bis zur Interventionsgrenze mit dichter Unterwasservegetation dagegen so flach wie möglich. Je nach Uferdistanz dieser Interventionsgrenze kann die ökologisch erwünschte Grenzneigung der Schüttung von 1:10 ebenfalls mit einer Böschung unterhalb der Niedrigwasserlinie erreicht werden. Siehe Abb. 4 – Szenario 3.

Grundsätzlich gilt für alle Varianten: Je flacher ein Seeufer gestaltet wird, desto breiter und wertvoller ist es. Landseitig soll der verfügbare Raum möglichst vollständig für die Wasserwechselzone genutzt werden, seeseitig wird der Handlungsspielraum «grosso modo» durch den Beginn der dichteren Unterwasservegetation (Bewuchsstufe > 10 %) festgelegt. Sofern landseitig mit Geländeabtrag genügend Raum für eine Grenzneigung von 1:10 oder flacher besteht, ist auf seeseitige Massnahmen (Schüttungen) zu verzichten.

## PRIO LAGO

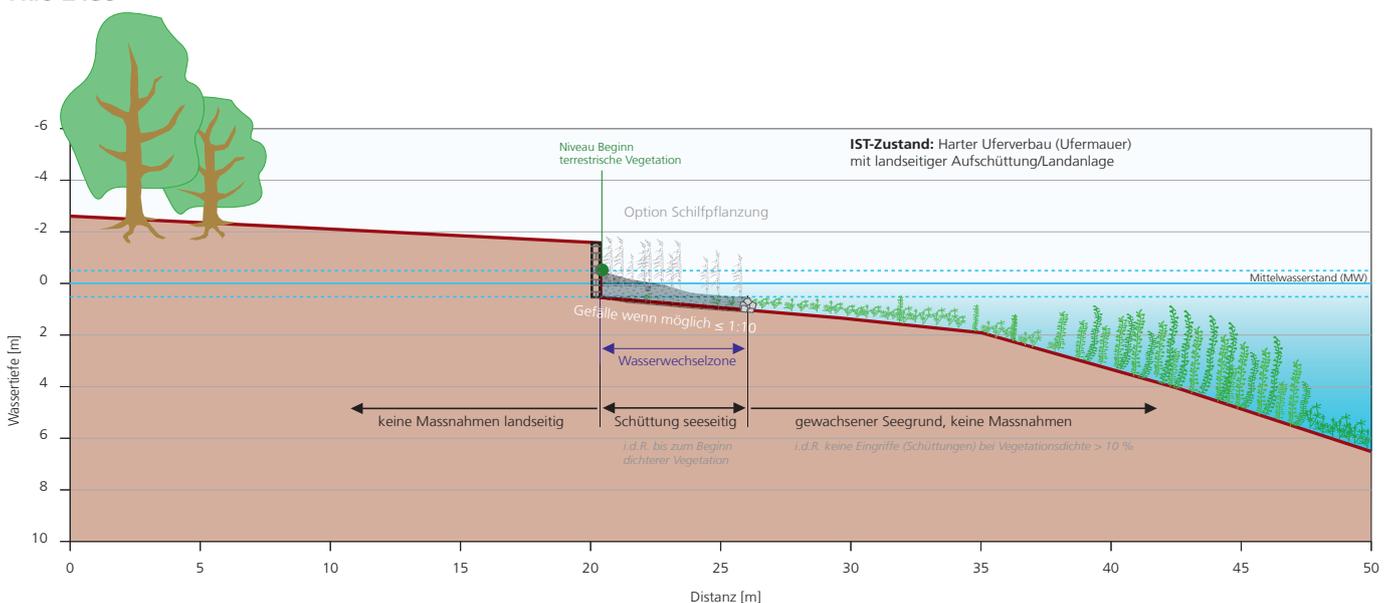


Abb. 4: Beispielprofil eines Seeufers vor und nach Revitalisierung im Szenario «PRIO LAGO», also ohne Möglichkeit eines Landabtrages, nur mit Vorschüttung und Ausbildung einer Wasserwechselzone bis auf Niveau Beginn der terrestrischen Vegetation. Grafik: AquaPlus [M. Sturzenegger] | Fig. 4: Exemple de profil d'une rive lacustre avant et après revitalisation dans le scénario « PRIO LAGO », c'est-à-dire sans possibilité de prélèvement de terre, uniquement avec remblayage préliminaire et formation d'une zone de marnage jusqu'au niveau du début de la végétation terrestre. Graphique : AquaPlus [M. Sturzenegger]

## 1.2 Voraussetzungen für eine ökologisch erfolgreiche Umsetzung

### Risiken mindern

Bei Uferabschnitten mit weniger als 30 m breiter Flachwasserzone [bis 3 m Wassertiefe] bzw. relativ steilem Abfall des Seegrundes besteht das Risiko, dass bei Auflasten durch Schüttungen Abbrüche und Rutschungen ausgelöst werden. Bei Schüttungen muss immer ein genügender Abstand zur Haldenkante eingehalten werden. Auf solchen Abschnitten sind vorgängig geotechnische Abklärungen erforderlich.

Zur Sicherung der Schüttung vor Abrutschen oder zur Erreichung einer Grenzneigung der Schüttung von 1:10 [siehe Szenario 2 und 3] empfiehlt sich bei Vorschüttungen je nach Steilheit des Untergrundes das Anlegen eines grobkörnigen Böschungsfusses unterhalb der Niedrigwasserlinie [«Steindamm»]. Die Beschaffenheit der faust- bis kopfgrossen Steine ist Ansichtssache: Gebrochenes Material weist einen stärkeren inneren Halt auf und ist dadurch beständiger und stabiler. Gerundetes Material wäre standortgerechter [es gelangen kaum kantige Steine natürlicherweise in den See]. Dieser Aspekt wird in erster Linie als ästhetisch und nicht als ökologisch relevant betrachtet. Vor allem Anwohner [«Einheimische»] sind oft skeptisch, wenn Verbauungen entfernt werden und quasi «einfach Kies» am Ufer vorliegt. Wer schützt dann vor Hochwasser und Stürmen? Zum einen sind die Hartverbauungen entlang ganzer Uferabschnitte meist überdimensioniert, was anhand der heute vorliegenden Erkenntnisse über die Wellenverhältnisse am Standort erläutert werden kann [«es wäre sowieso gar keine so starke Verbauung nötig gewesen»], zum anderen können/sollen die im Rahmen der Revitalisierung am Ufer abgebrochenen Steine und Blöcke zurückversetzt als versteckte Sicherung in die Böschung eingebaut werden. Sie sind dann unsichtbar und bilden keine ökologische Barriere mehr, mindern aber Bedenken vor einem ungeschützten Ufer [«... falls der nächste Jahrhundertsturm den neuen Untergrund wider Erwarten abtragen würde, hätte man zur Sicherheit eine rückwärtige Interventionsgrenze»].

### Vorgängige Wasserpflanzenerhebung (inkl. Grossmuscheln)

Aufgrund der Kartierung der Wasserpflanzen kann der Interventionsspielraum für eine Vorschüttung festgelegt werden [NHG Art. 21]. In der Regel liegt die Schüttgrenze am Beginn der dichteren Vegetation [ $> 10\%$  Bewuchsdichte]. Unter der Voraussetzung, eine Verbesserung der Flachwasserzone zu erreichen, wären Schüttungen auch in dichtere Wasserpflanzenbestände möglich [NHG Art. 22, GSchG Art.39]. Es muss jedoch vorher eine Charakterisierung, Bewertung und Einordnung der vorliegenden Vegetation erfolgen, sowohl im potenziellen Schüttbereich, als auch in der näheren Umgebung. Für die Bewilligungsfähigkeit der Schüttungen ist der klare Nachweis eines Mehrwertes zu erbringen. Geschützte oder gefährdete Pflanzen- oder Grossmuschelarten [gem. Rote Liste-Einstufung] sind vorgängig umzusiedeln, sofern dies möglich ist. Bei gewissen Arten, z.B. *Littorella uniflora* [Strandling] besteht die Gefahr, dass eine Umsiedlung bzw. eine Zwischenhälterung und Wiederansiedlung auf dem neuen Substrat nicht gelingt. In diesem Fall ist der vorhandene Bestand prioritär zu schützen [keine Schüttungen, ggf. Suspendierung des Aufwertungsprojektes].

### Beschaffenheit des Untergrundes / Wellenkräfte am Standort

Das neue Substrat – sei es nach Landabtrag oder bei einer Schüttung – ist in der Beschaffenheit den lokalen Wellenkräften entsprechend anzupassen [siehe Teil 4 in diesem Heft]. Vorgabe: So fein wie möglich, so grob wie nötig. In der Regel eignet sich Wandkies mit mindestens 20–30% Feinanteilen [Korngrösse  $< 2$  mm]. Die Stabilität des Substrates ergibt sich durch die Anteile der gröberen Fraktionen, welche anhand der Analyse der Wellendynamik festgelegt werden. Bei einem reinen Landabtrag [Szenario1: ist ggf. ein Materialersatz zwischen 30–50 cm Tiefe mit Wandkies nötig, und das von früheren Schüttungen verbliebene Grobsubstrat seeseits der Uferverbauung soll entfernt werden. Mit dem Feinanteil im Untergrund bleibt das Aufkommen von aquatischen und amphibischen Pflanzen gewährleistet [geeigneter Wurzelgrund], die gröberen Kornfraktionen bilden mit der Zeit eine Deckschicht [Feinmaterial wird ausgewaschen] und stabilisieren das Substrat [siehe Teil 7 in diesem Heft].

<sup>8</sup> Die Wasserwechselzone sollte grob zwischen folgenden Pegelständen ausgebildet werden: Obere Grenze: Mittlerer Hochwasserstand = Pegel, welcher gemäss langjähriger Dauerkurve einmal im Jahr erreicht wird [P1]. Untere Grenze: Mittlerer Niedrigwasserstand = Pegel, welcher gemäss langjähriger Dauerkurve an allen Tagen des Jahres erreicht wird [P365]. Wird die landseitige Ausdehnung als jener Raum betrachtet, wo nach Auswirkungen des Gewässers auf die Vegetation feststellbar sind, so liess sich diese mit der Formel des potenziell natürlichen Gewässerraumes berechnen [s. Haberthür et al. 2015]. Für die obere Grenze behilft man sich aufgrund des meist beschränkten Raumes und der Anforderung an eine maximale Neigung von 1:10 mit dem Niveau des Aufkommens von terrestrischer Vegetation. Dazu steht folgender PRAXIS-Tipp zur Verfügung [gem. Ch. Iseli, Landschaftswerk Biel-Seeland]: Der Bereich der Wasserwechselzone liegt zwischen dem gewachsenen Seegrund [unten] und dem Beginn der terrestrischen Vegetation [oben], welche grob geschätzt ca. 0.2–0.7 m über dem Mittelwasserstand liegt. Der zutreffende Wert muss für jeden See oder sogar Uferabschnitt approximativ ermittelt werden [Anschauung exemplarische Stellen vor Ort]. Zurzeit kann keine allgemein gültige «Faustregel» angegeben werden, vermutlich dürfte auch die Wellenexposition eine Rolle spielen. Für folgende Seen sind Erfahrungswerte vorhanden: Vierwaldstättersee: ca. 0.3 m über MW-Stand / Sarnersee: ca. 0.6 m / Bielersee: ca. 0.4 m.

### Neigung und «Schnittpunkte»

Der Landabtrag bzw. die Abflachung mit Vorschüttung soll nach Möglichkeit eine Neigung von  $< 1:10$  aufweisen und zum überwiegenden Teil im Schwankungsbereich des Seespiegels liegen. An jedem Gewässer lässt sich eine Höhe feststellen, bei welcher die terrestrische Vegetation (u.a. Weiden, Seggen) beginnt. Diese Marke sollte für jeden See zumindest empirisch festgelegt werden, bei einem nicht verbauten Uferabschnitt ist dieses Niveau gut ablesbar. Der Seegrund ist möglichst flach bis zu diesem Niveau zu führen (Priorisierung aquatischer Lebensraum), der Übergang zur  $\text{¥}$  bestehenden Terrainhöhe kann dann mit einer relativ steilen Böschung (2:3 oder steiler) überwunden werden. Für ein optimales Muster von überfluteten und trocken fallenden Bereichen soll der Mittelwasserstand etwa in der Mitte der Abflachung zu liegen kommen (bzw. die Abflachung ist so zu gestalten, dass dieses Kriterium erfüllt wird).<sup>9</sup>

### Ansiedlung bestimmter Arten

Grundsätzlich kann mit der Ausbildung einer Wasserwechselzone das entsprechende Lebensraumpotenzial als gegeben betrachtet werden. Es stellen sich dann mit der Zeit die spezifischen Organismen von selber ein. Da der Eintrag solcher Arten aber bei fehlendem «Reservoir» in der näheren Umgebung unter Umständen sehr lange dauert, kann die gezielte Wiederansiedlung von bestimmten Arten durchaus Teil einer Uferaufwertung oder -revitalisierung sein. Z.B. können Arten eingebracht werden, welche von den kantonalen Fachstellen als Zielarten oder prioritäre Arten bezeichnet werden. Diese stellen in der Regel auch Charakterarten des betreffenden Lebensraumes dar. In der Regel handelt es sich um Vertreter der Röhrichtgesellschaft, wie z.B. Schilf [*Phragmites australis*] oder auch Teichbinse [*Schoenoplectus lacustris*]. Es ist aber auch das Ansetzen von typischen Arten des Strandrasens bzw. Strandlingsgesellschaften denkbar (z.B. *Litorella uniflora* – Strandling). Über die Wiederansiedlung von Schilf siehe Teil 7 in diesem Heft. Für einen Bestand mit Lebensraumpotenzial – z.B. für den Teichrohrsänger – ist eine Fläche von minimal 20 x 20 m erforderlich. In der Breite (ab Uferlinie Richtung See) kann die Distanz bis ca. 0.8 m Wassertiefe bezüglich des sommerlichen Mittelwasserstands einbezogen werden. Bei kleinerer Dimensionierung erfüllt ein Schilfbestand noch die Funktion als «Trittstein» [Vernetzung von Schwerpunkt-Zonen über kleinere Zwischen-Stationen]. Sofern in der Wasserwechselzone Pflan-

zenbestände etabliert werden sollen, sind die Wellenkräfte am Standort genauer zu betrachten, unter Umständen ist seeseits vorgelagert die Schüttung eines Riffs zur Wellendämpfung erforderlich.

### Weiteres aus dem «ökologischen Werkzeugkasten»

Im «PRAKTIK»-Modus steht die Regenerierung der Wasserwechselzone als meist grösstes Defizit an Naturnähe im Zentrum. Landseits wird der maximal mögliche Spielraum für aquatische und amphibische Lebensräume genutzt. Selbstverständlich sollen fallweise aber weitere Aufwertungsmöglichkeiten in Betracht gezogen werden, sofern sie bei kleinem Planungsaufwand und ohne grossen Unterhaltsbedarf Sinn machen und so lange sie nicht zu Lasten der priorisierten Lebensraumtypen gehen. Eine Ansiedlung von ufertypischen Pflanzen (bis zum Niveau des Beginns der terrestrischen Vegetation) wurde bereits oben angesprochen, weitere Strukturelemente wie Raubbäume sind denkbar oder auch Massnahmen zur besseren Längs- und Quervernetzung. Grundsätzlich ist jede «Verbesserung» willkommen, auch wenn sie sich vielleicht nicht in voller Wirkung ausprägen kann. Es ist aber trotz «aller guter Absicht» darauf zu achten, dass die Projektfläche nicht den Anschein von ökologischer «Hyperaktivität» oder «Disneylandisierung» erweckt.

### Naturnähe ist «anziehend»

Aufgewertete Uferabschnitte weisen i.d.R. eine erhöhte Publikumsattraktivität auf. Die neu geschaffenen ufernahen Bereiche ziehen die Leute ans Wasser. Es finden insbesondere im Sommerhalbjahr vielerlei Aktivitäten mit entsprechendem Nutzungsdruck statt (Trittschäden landseits und im Wasser bis ca. 1.5 m Wassertiefe, Feuerstellen, Littering etc.). Flächen zur Ansiedlung spezifischer Arten müssen in der Aufwuchsphase (mehrere Jahre) oder sogar permanent eingezäunt werden, wenn die Zugänglichkeit nicht unterbunden werden kann.

Bei öffentlich gut erreichbaren und nicht oder nur mit grossem Aufwand abzugrenzenden Flächen sind die ökologischen Ansprüche zu relativieren. Es ist anzuerkennen, dass zwar eine ökologische Verbesserung gegenüber dem Ist-Zustand erreicht, nicht aber eine «Naturschutz»-Fläche geschaffen werden kann. Das ökologische «Plus» wird einerseits über die «Menge» erreicht (viele Flächen mit mittlerem ökologischem Wert sind auch von Bedeutung) sowie – notgedrungen – auch über den Einbezug der anthropogenen Aktivitäten als Element zur Dynamisierung des Lebensraumes.

<sup>9</sup> Es könnte auch umgekehrt festgestellt werden, dass überall dort, wo nicht nur eine «einfache» Uferabflachung und Verbreiterung der Wasserwechselzone gem. «PRAKTIK»-Modus erfolgen kann (oder soll), «automatisch» der «EXPERT»-Modus mit übergeordneten bzw. vertieften ökologischen Betrachtungen und Zielsetzungen zur Anwendung kommt. Es kommt hinzu, dass gemäss Programmvereinbarungen im Umweltbereich (BAFU 2018a) die Planung von Revitalisierungsprojekten (finanziell) unterstützt wird, sofern sie übergeordnet auf strategischer Ebene erfolgt. Die Ausführung und Wirkungskontrolle von Revitalisierungsmassnahmen wird nur abgegolten, wenn sie im Rahmen der zugehörigen strategischen Revitalisierungsplanung erfolgen.

**Erfolgskontrolle und Unterhalt**

Auch im «PRAKTIK»-Modus sollen der zukünftige Unterhalt und die Wirkungskontrolle bereits in der Projektierungsphase behandelt werden (siehe Teil 8 in diesem Heft).

**2 «EXPERT»-Modus**

Im «PRAKTIK»-Modus wurden die ökologischen Ziele inhaltlich und quantitativ nicht näher definiert, sondern mit der Behebung oder Entschärfung eines offensichtlichen Defizits infolge Uferverbauung oder Verkürzung der Flachwasserzone durch Landanlage ein ökologischer Mehrwert per se angenommen. In Anbetracht eines oft begrenzten räumlichen Spielraums und einer relativ kleinen Palette von möglichen Aufwertungsmaßnahmen erfolgte eine Gewichtung zugunsten des **Handlungsprimates**.

Im «EXPERT»-Modus liegt der Fokus auf dem **Planungsprimat** mit entsprechend umfassenderen Überlegungen zu den ökologischen Projektzielen und Handlungsschwerpunkten. Darin einbezogen sind auch übergeordnete seespezifische Kriterien. Dazu erfolgt beispielsweise eine Analyse, welche Defizite für das betrachtete Gewässer besonders relevant sind, bzw. welche Aspekte der ökologischen Funktionsfähigkeit des Seeufers am stärksten in Mitleidenschaft gezogen wurden. Solcherart entwickelte Zielsetzungen können eine prioritäre Rolle spielen und in der Umsetzung beispielsweise der Orientierung am Referenzzustand übergeordnet sein. Eine Revitalisierungsplanung im «EXPERT»-Modus empfiehlt sich beispielsweise unter folgenden Gegebenheiten:<sup>9</sup>



Abb. 5: Übersicht über das systematische Vorgehen bei einer Seeuferrenaturierung [aus Belser et al. in Anhörung 2020, IGKB 2009, abgeändert] | Fig. 5 : Aperçu de l'approche systématique de la renaturation des rives lacustres [extrait de Belser et al., en procédure d'audition 2020, IGKB 2009, modifié]

<sup>10</sup> Erst bei Flächen von mindestens 20 m Breite und mindestens 20 m Länge [uferparallel] kann bei der Ansiedlung [oder Wieder-Ansiedlung] eines emersen Bestandes an Uferpflanzen (i.d.R. Röhricht / Schilf) von einem substantziellen Wert als «Lebensraum» gesprochen werden.

<sup>11</sup> vgl. Anmerkungen in Fussnote 13

<sup>12</sup> Schüttungen mit Zerstörung der vorhandenen Vegetation sind als Ausnahme gem. NHG, Art. 22, unter anderem nur erlaubt, wenn damit eine Flachwasserzone verbessert werden kann [GSchG, Art. 39]. Ein solcher Nachweis muss sehr sorgfältig vorgenommen werden und bedingt eine detaillierte vorgängige Erhebung der Vegetationsverhältnisse am Projektstandort und in der näheren (wenn möglich auch der weiteren) Umgebung.

<sup>13</sup> Es kann ergänzt werden, dass vor Revitalisierungsmaßnahmen in und am Ufer (inkl. vorgelagerter Flachwasserzone) generell vorgängige Erhebungen zumindest der Vegetationsverhältnisse (als Leit-Biozönose und Leitstrukturen) erforderlich sind, je nachdem auch gezielte Abklärungen nach dem Vorkommen bestimmter Arten oder Artgruppen (z.B. des Zoobenthos, u.a. Muscheln, Schnecken). Bei Erhebungen nach Methode MESAV+ [AquaPlus 2014] sind neben allen vegetationsspezifischen Parametern standardmässig auch die Untergrundbeschaffenheit, Algen, Grossmuscheln, Neophyten und Neozoen sowie weitere auffällige Elemente enthalten.

- bei grösseren zusammenhängenden Uferabschnitten (i.d.R. > 50 m) und / oder breitem Handlungsspielraum landseits (> 10 m oder sogar grösser als der gesetzlich minimale Gewässerraum von 15 m) und / oder ausgehnter Flachwasserzone<sup>10</sup>. Solche Bereiche sollten sich auch durch die Priorisierung im Rahmen der Strategischen Revitalisierungsplanung auf der Basis der ökomorphologischen Bewertung der Seeufer ergeben (als «Produkt» aus dem vorhandenen Defizit an Naturnähe, dem Aufwand zur Entfernung von Bauten und Anlagen und dem Einbezug bzw. der Gewichtung der ökologischen und landschaftlichen Bedeutung)
- bei der Wiederherstellung ganzer Wirkungsräume, z.B. eines Deltagebietes oder einer durch Kiesabbau degenerierten Flachwasserzone
- bei der Reaktivierung grundsätzlicher Prozesse der ökologischen Funktionsfähigkeit des Seeufers, z.B. der naturnahen Strömungsverhältnisse mit Sedimentdynamik (u.a. Verlandungen initiieren durch Riffe/Wellenbrecher)
- bei der Schaffung oder Wiederherstellung bestimmter Ufertypen mit ihrer charakteristischen Land-Wasser-Übergangszone, z.B. Flachufer mit Röhricht/Ried, mittelsteiles Ufer mit Ufergehölzen/Wald (inkl. ins Wasser gefallene Bäume am Uferstrand)
- bei sogenannten «fischfreundlichen Revitalisierungen», u.a. spezifische Berücksichtigung der Substratheterogenität und damit der Habitatvielfalt bei aquatischen und semiaquatischen Lebensräumen (siehe z.B. LUBW 2008 und IGKB 2009).
- bei gezielten Wiederansiedlungen von Arten, Gesellschaften oder Lebensräumen (ggf. mit wellendämpfenden Massnahmen wie Unterwasserriff aufgrund veränderter Hydrodynamik bei verkürzter Flachwasserzone durch Landanlagen)
- beim grossflächigen Neuaufbau verloren gegangener ufernaher Flachwasserzone als Folge von Landanlagen mit Seeschüttungen ausserhalb der tatsächlichen oder

theoretischen Bewuchsgrenze der Unterwasservegetation.<sup>11</sup>

Im Folgenden wird die ökologische Planung im «EXPERT»-Modus charakterisiert. Grundlage dieser Planung ist das Vorgehen gemäss Abb. 1 Teil 6 dieses Heftes. In Anlehnung an das Vollzughilfemodul «Ökologische Anforderungen an Wasserbauprojekte» (Belser et al. in Anhörung 2020) wird dabei ein Vorgehen in mehreren Arbeitsschritten empfohlen. Abb. 5 gibt eine Übersicht über diese Arbeitsschritte, ergänzt mit dem Fragenkatalog, wie er zur Erläuterung des Ablaufschemas im «Renaturierungsleitfaden Bodensee-ufer» (IGKB 2009) aufgeführt ist.

## 2.1 Zustandsanalyse

Der Startpunkt des Planungsprozesses ist eine umfassende Analyse des Ist-Zustands. Neben der Ergebnisse der ökomorphologischen Zustandsanalyse nach der BAFU-Methode (Niederberger et al. 2016) sind dies auch Erhebungen des Zustandes bezüglich der ufermorphologischen Prozesse, der Lebensräume, von Flora und Fauna, der ökologischen Vernetzung, etc. (für detaillierte Ausführungen zu den verschiedenen «Ökosystembausteinen» siehe IGKB 2009).

Für die Detailspekte zu den verschiedenen Arbeitsschritten des Planungs- und Umsetzungsprozesses wird auf Teil 6 in diesem Heft sowie auf die Praxishilfe von Belser et al. (in Anhörung 2020) verwiesen. Obwohl letztere für Fließgewässer konzipiert, lassen sich die Ausführungen als allgemeine Grundsätze auch weitgehend auf Seeufer-Revitalisierungen übertragen.

Es gelten von Fall zu Fall auch die im «PRAKTIK»-Modus beschriebenen Voraussetzungen für eine ökologisch erfolgreiche Umsetzung von geplanten Massnahmen. Zu beachten sind insbesondere die gesetzlichen Restriktionen betreffend bestehender Ufervegetation (dazu gehören auch die submersen Wasserpflanzen), nach welchen vorhandene Werte einem hohen Schutz-Status unterliegen

<sup>14</sup> Auch bei einer Revitalisierung des Seeufers – mit dem «erklärten Willen» zur ökologischen Verbesserung der bestehenden Verhältnisse – gelten NHG Art. 18 Abs. 1 und 1bis, wonach die Lebensräume gefährdeter Arten zu erhalten und zu schützen sind. Lassen sich Eingriffe nicht vermeiden, gelten die Vorgaben nach NHG Art. 18 Abs. 1<sup>ter</sup>, wonach bei einer Beeinträchtigung schutzwürdiger Lebensräume durch technische Eingriffe der Verursacher für besondere Massnahmen zu deren bestmöglichem Schutz, für Wiederherstellung oder ansonsten für angemessenen Ersatz zu sorgen hat. Bei gewissen Arten, u.a. *Littorella uniflora* (Strandling, gem. Rote Liste-Einstufung stark gefährdet) ist eine Umsiedlung oder Zwischenhalterung sehr risikoreich und eine erfolgreiche Wiederansiedlung am Standort kaum umsetzbar. Ein Revitalisierungsprojekt mit vorgesehener Überschüttung des Seegrundes könnte damit zum Auslöschen des Bestandes führen, selbst wenn dadurch eine flächenmässige Verbesserung der Wasserwechselzone erzielt würde.

<sup>15</sup> Gerade in Naturschutzkreisen bestehen gegenüber Seeschüttungen diverse Vorbehalte. Fällt aber in grösserem Masse terrestrisch unverschmutzter Aushub (z.B. aus Tunnelprojekten) an, kann mit dem Einbringen solchen Materials eine wirklich substanzielle Wiederherstellung verloren gegangener Flachwasserzone erreicht werden. Oft schreckt der Begriff «Inselerschüttungen» ab. Es besteht aber keine Notwendigkeit, dass solche Schüttungen zu Inseln werden, also über den sommerlichen Wasserstand hinausreichen. Solche Kuppen verbuschen schnell und es etabliert sich hier kein Ziellebensraum. Die neu geschaffenen Flachwasserzonen zwischen 1 und 20 m Wassertiefe (als maximale untere Bewuchsgrenze der Vegetation in Schweizer Seen) sind sehr wertvolle Flächen, sie bilden Ersatz für die durch Landanlagen verkürzten Flachwasserzonen und wirken als Wellenbrecher, was die hydraulischen Verhältnisse zwischen Ufer und Schüttung wieder dem Referenzzustand näher bringt. Bezüglich der ökologischen Bilanzierung von Seeschüttungen wird empfohlen, die bei 20 m liegende theoretische Bewuchsgrenze zu berücksichtigen. Eine solche Schüttung geht insbesondere auf Kosten des Tiefenwasser-Benthos. Eine Regenerierung zerstörter Flachwasserzonen ist jedoch höher zu gewichten. Mit einer Seeschüttung können verschiedene ökologische Funktionen der Flachwasserzone geschaffen werden, u.U. sogar eine Wasserwechselzone (Bereiche, welche beim sommerlichen Hochwasserstand überflutet sind, im Winter aber über Wasser liegen). Eine laterale Vernetzung Wasser-Land – wie sie als Zielsetzung bei Aufwertungen an einem bestehenden Ufer eine Rolle spielt – ist hingegen nicht möglich.

In der ökologischen Bilanzierung dürfte ggf. noch Spielraum bestehen, allenfalls eine «tatsächliche» Insel als «Badeinsel» mit Erholungsfunktion für die Bevölkerung schaffen zu können.

und Beeinträchtigungen oder gar eine Zerstörung nur zulässig sind, wenn durch die geplanten Massnahmen ein substantieller ökologischer Mehrwert entsteht (siehe u.a. Art. 18, 21, 22 NHG; Art. 39 GschG).<sup>12</sup>

Zur Festlegung der seeseitigen Interventionsgrenzen sowie generell zur Beurteilung des vorhandenen Naturpotenzials bzw. einer allfälligen Gefährdung vorhandener Arten, Gesellschaften oder Lebensräume sind vorgängige Abklärungen bzw. Untersuchungen im Projektperimeter unabdingbar, insbesondere der Unterwasservegetation und Grossmuscheln.<sup>13</sup>

Bei einer Gefährdung von Rote Liste-Arten ohne ausreichende Ressourcen zur Wiederbesiedlung in der näheren Umgebung sind Schutz- bzw. Rettungsszenarien (z.B. Umsiedlung, Zwischenhälterung etc.) oder Projektalternativen zu entwerfen, ggf. bis hin zu einem Verzicht bestimmter Massnahmen.<sup>14</sup>

## 2.2 Referenzzustand und Leitbild

In einem nächsten Schritt erfolgt die Orientierung an einem früheren Naturzustand und die Beschreibung des Referenzzustands (s. Definition im Teil 6). Da frühere Zustände meist nicht oder nur rudimentär, fachlich selektiv, oft ohne eigentliche Daten oder nur ab einem bestimmten Zeitpunkt dokumentiert sind, behilft man sich mit einem angenommenen und plausiblen Referenzzustand, z.B. aus einem Zusammenschluss von Daten aus verschiedenen Objekten aus dem gleichen geografischen Raum. Anhand von alten Karten oder frühen Luftbildern lassen sich zumindest über die strukturellen Gegebenheiten (bzw. eben der Zielstrukturen) manchmal recht gute und anschauliche Grundlagen herleiten.

Manche Entwicklungen an unseren Gewässern sind irreversibel und der Referenzzustand zum Vornherein entweder räumlich oder funktional nicht wiederherstellbar. Dazu gehören beispielsweise nutzungsbedingte Restriktionen durch Bauten, Verkehrswege etc., welche am betreffenden Standort die nötige Flächengrösse für bestimmte ökologische Zielsetzungen nicht mehr zulassen. Eine Umsetzung im «verkleinerten Massstab» ist unter diesen Bedingungen im besseren Fall «gut gemeint» aber vermutlich wenig wirksam. Im schlechteren Fall werden unnötig Ressour-

### **Erst wenn konkrete Ziele definiert sind, lassen sich Strategien für deren Erreichung entwickeln**

*Im gesetzlichen Auftrag gemäss Art. 4 GSchG wird Revitalisierung definiert als «Wiederherstellung der natürlichen Funktionen eines verbauten, korrigierten, überdeckten oder eingedolten, oberirdischen Gewässers mit baulichen Massnahmen».*

*Da die Fundamentalziele von Revitalisierungen funktionierende Ökosystemprozesse und eine hohe Ökosystem-Resilienz sowie eine standorttypische Biodiversität umfassen, müssen zur Zielerreichung die baulichen Massnahmen durch Prozesssanierungen und indirekte Massnahmen in den Bereichen Wasserqualität, Hydrodynamik, Sedimentdynamik, etc. ergänzt werden.*

*Ein Hauptziel von Revitalisierungsbemühungen ist es, durch Reaktivierung natürlicher ökologischer Prozesse und durch die direkte und indirekte Förderung standorttypischer Habitats die Grundvoraussetzung für die Wiederansiedlung einer natürlichen Flora und Fauna zu schaffen. Diese Massnahmen schliessen auch eine verbesserte Vernetzung mit benachbarten Ökosystemen mit ein, u.a. um die Wiederansiedlung «verlorener» Arten zu ermöglichen oder zu unterstützen sowie die Fähigkeit zur Selbstregenerierung zu fördern. Mit der Revitalisierung soll das ökologische Erholungspotenzial des Gewässers möglichst ausgeschöpft und sowohl hinsichtlich Morphologie als auch des Artenspektrums ein naturnaher Zustand entwickelt werden.*

*Vorrangige Ziele sind die Erreichung*

- *intakter Ökosystemprozesse und*
- *einer standortgerechten Biodiversität*

*Aus: Baumgartner et al. 2013 (bearbeitet und auf stehende Gewässer adaptiert).*

cen gebunden, die anderweitig besser einsetzbar wären. Weitere Restriktionen ergeben sich durch übergeordnete Veränderungen wie in der Vergangenheit die Verkürzung der Flachwasserzonen durch Landanlagen oder die Eutrophierung (mit Peak in den 1980er-Jahren) sowie aktuell die Klimaerwärmung oder die «Heimsuchung» durch eine Vielzahl von Neobiota, wodurch gewisse Revitalisierungsbemühungen

<sup>12</sup> Bei einer Seeufer-Revitalisierung ist die Exposition des Ufers und das jeweilige Wellenregime zu berücksichtigen (siehe Teil 4 in diesem Heft). Anhand dieser Gegebenheiten wird z.B. bei Schüttungen oder Materialersatz die Zusammensetzung (Korngrößenverteilung) des künftigen Seegrundes festgelegt, damit sich die gewünschte Stabilität ergibt. Wie verschiedene Untersuchungen gezeigt haben, spielen aber auch die Schiffswellen eine wichtige Rolle. Dabei ist die (signifikante) Wellenhöhe kein ausreichender Indikator für den relevanten Eintrag an hydraulischer Energie am Ufer. Die Ufertopografie ist ein weiterer Faktor. Mit ihr in Zusammenhang stehende Veränderungen der Wellen durch Sohlreibung und Brechung sowie die sich daraus selbstverstärkenden Effekte (Versteilung des Ufers, Vergrößerung des Substrates) tragen wesentlich zum schiffswelleninduzierten Stress auf die Ufervegetation bei. Aus: Schröder et al. 2018.

<sup>17</sup> In der strategischen Revitalisierungsplanung erfolgt auf Stufe Festlegung der prioritären Uferabschnitte durch die zuständigen kantonalen Fachstellen eine grobe Zuweisung zu verschiedenen Massnahmentypen. In BAFU 2018b wird dazu folgende Auswahl angeboten: Rückverlegung bzw. Beseitigung von Uferverbauung / Flachuferschüttung / Landseitige Terrainanpassung / Wiederherstellung der Flachwasserzone [z.B. Auffüllen von Baggerlöchern] / Schüttung von Inseln / Strukturierung des Ufers / Schaffung von Feuchtgebieten oder Tümpel in der Uferzone von Uferabschnitten, an denen auf absehbare Zeit keine weitergehende Revitalisierung möglich ist, falls die Zielarten national prioritär sind / Schaffung von Feuchtgebieten und Tümpel in der Uferzone im Gewässerraum zur Förderung national prioritärer Arten. Dazu werden Massnahmen zur Uferstrukturierung erwähnt, welche nicht für sich alleine aber in Kombination mit obigen Massnahmen subventionsberechtigt sind: Schilfpflanzungen bzw. Schilfschutzmassnahmen / Entfernung von Anlagen aus Flachwasserzone und Uferstreifen.

- entweder generell verunmöglicht werden (z.B. bei nicht wiederherstellbaren Verlusten wie das Aussterben von endemischen Felchen-Arten, siehe u.a. Forschungsgruppen EAWAG und Uni Bern, 2018)
- oder zu einem bestimmten Zeitpunkt unrealistisch sind (z.B. aufgrund schlechter Wasserqualität, zu hoher Nährstoffgehalte etc.)
- oder nur mit Zusatzmassnahmen erfolgreich umgesetzt werden können (z.B. mit einem vorgelagerten Wellenschutz in Form eines Unterwasserriffs, da die Flachwasserzone aufgrund der Landanlagen zum Abbau der Wellenenergie unwiderruflich zu kurz ist)
- oder nur mit künstlich angelegten Strukturen erfolgversprechend sind (z.B. Behebung spezifischer Defizite wie Fischunterstände am Ufer oder Laichhabitate durch Totholz, Raubäume, Äste u.dgl.)
- oder nur mit «radikalen» Vorgehensweisen wirklich ein substanzielles Ausmass erreichen (z.B. mit Seeschüttungen ausserhalb der Vegetationszone zur Schaffung neuer Flachwasserzonen)<sup>15</sup>
- oder nur mit Anpassung der Zieldefinitionen antizipierend auf künftige Entwicklungen einen Sinn ergeben (z.B. Berücksichtigung eines vermehrten Aufkommens wärmeliebender Arten, u.a. *Najas marina* oder gewisser Neophyten und Neozoen, welche ein grosses Potenzial zur Verdrängung einheimischer Arten wie z.B. durch den Höckerflohkrebs *Dikerogammarus villosus* oder zur Veränderung der strukturellen Gegebenheiten wie z.B. die Veränderung der Seegrundeigenschaften durch die Körbchenmuschel *Corbicula fluminea*).

Weiter sind Veränderungen im historischen Kontext zu berücksichtigen, wie Seeabsenkungen (u.a. Zugersee, Sem-pachersee, Jurarandseen) oder Umleitungen von Flüssen in Seen zur Pufferung von Hochwasserspitzen (u.a. Bielersee, Walensee, Sarnersee), wodurch für das betreffende Gewässer der Referenzzustand u.U. nur noch bedingt eine sinnvolle Planungsrundlage sein kann. Das Gleiche gilt für ein reguliertes Pegelregime, wie dies in den meisten grösseren Schweizer Seen der Fall ist. Nicht zu vergessen sind verschiedenste Formen von Nutzungen, u.a. die Veränderung des Wellenregimes durch den Schiffsverkehr.<sup>16</sup>

Aufgrund verschiedener Restriktionen dürfte es in vielen Fällen kaum mehr möglich sein, die gewünschten Ziel-«Bil-

### **Revitalisierungen, ökologische Ersatz- und Aufwertungsmassnahmen**

Die Kantone haben gem. Art. 38a GSchG die gesetzliche Verpflichtung, Gewässer zu revitalisieren. Im Rahmen der strategischen Revitalisierungsplanung werden auf der Basis der ökomorphologischen Erhebungen der Seeufer jene Uferabschnitte ausgewiesen, welche seespezifisch das beste Verhältnis zwischen Aufwand und ökologischem Gewinn aufweisen. Im Anschluss an die Priorisierung erfolgt bereits auf Stufe der strategischen Planung eine grobe Zuweisung von bestimmten Massnahmentypen (siehe Kap. 2.4 gem. BAFU 2018b). In der Umsetzung gemäss dem «EXPERT»-Modus werden die definitiven und verbindlichen Planungsvorgaben entwickelt.

Aus verschiedenen baulichen Vorhaben – von privater oder auch öffentlicher Seite – an und im Gewässer sowie auch bei Neukonzessionierungen von bestehenden Anlagen entsteht gleichzeitig ein grösserer Bedarf an ökologischem Ersatz mit Verpflichtung für Uferaufwertungen. Es wäre wünschenswert, wenn sich auch diese projektspezifischen, punktuellen Revitalisierungs- und Aufwertungsvorhaben einer übergeordneten (seeweiten) Planung orientieren könnten, um in der Bilanz für das Gewässer den grösstmöglichen ökologischen Nutzen zu erreichen. Da die Aufwertungsvorhaben, sobald auch seeseitig der Uferlinie Massnahmen in Betracht kommen, so oder so in die Bewilligungshoheit des betreffenden Anrainerkantons fallen und sich die Festlegung von geeigneten Aufwertungsabschnitten für Dritte erfahrungsgemäss sehr schwierig gestaltet, wäre anzuregen, dass bei grösseren Gewässern die Aufwertungsvorhaben unter koordinierter Planung und Leitung einer durch den Kanton mitgetragenen und beaufsichtigten Körperschaft (z.B. «Revitalisierungs-Stiftung») erfolgen und sich die «Ersatzschuldner» an den Aufwertungsvorhaben angemessen beteiligen.

Mit einer Zusammenführung der Revitalisierungsbemühungen aus gesetzlicher Verpflichtung gem. Art. 38a GSchG durch den Kanton und dem laufend anfallenden und in gleiche Richtung zielenden Ersatzbedarf aus privater und öffentlicher Hand könnte dem Anliegen einer Maximierung des ökologischen Gewinns für das ganze Gewässer nachhaltig Rechnung getragen werden.

<sup>15</sup> Sind gewisse Arten in einem Gewässer ausgestorben (z.B. aufgrund einer früheren starken Eutrophierung), so stellt sich eine Wiederbesiedlung nicht automatisch ein, sobald geeignete Bedingungen wieder vorliegen (z.B. durch eine Reduktion der Nährstoffgehalte auf die gesetzliche Vorgabe bzw. den für das Gewässer festgelegten Zielwert oder durch die Neuanlage von strukturellen Gegebenheiten). In solchen Fällen ist ein aktiver «Besatz» aus anderen Gewässern erforderlich. Dabei ist zu beachten, dass bei einer solchen Aktion nicht gleichzeitig unerwünschte Organismen (Neobiota) verschleppt werden. Bei der seeweiten Festlegung prioritärer Arten sind auch submerse Spezies ohne direkte Bezug zu Uferaufwertungen zu berücksichtigen, z.B. durch Eutrophierung verdrängte/ausgestorbene Arten, welche erst ab einer bestimmten Tiefe wachsen.

<sup>16</sup> Es sollte unter Umständen auch in einem regionalen oder sogar landesweiten Kontext gedacht werden. Analog dem Konzept der «Smaragd»-Gebiete (europäisches Schutzgebietsnetzwerk) könnten gewissen Gewässern eine besondere Verantwortung in der Erhaltung oder Wiederansiedlung gefährdeter Arten zugeschrieben werden, da zum Beispiel in den Ursprungsgewässern aus räumlichen Restriktionen die nötigen Revitalisierungsprozesse gar nicht mehr verwirklicht werden können oder diese Gewässer hinsichtlich ihrer Wasserqualität nicht oder noch nicht in einem für diese Arten erforderlichen Zustand sind.

der» am Original-Standort wiederherzustellen. In einem weiteren Schritt der Planung muss deshalb ein übergeordnetes Leitbild erarbeitet werden, in welchem zwar die aus dem Referenzzustand abgeleitete Ziele enthalten sind, diese aber im Ausmass und bezüglich der geeigneten Räume und Standorte gewässerspezifisch festgelegt bzw. evaluiert (und planerisch möglichst frühzeitig «reserviert») werden.

### 2.3 Zieldefinition

Charakteristisch für den «EXPERT»-Modus mit Konzentration auf das Planungsprimat ist die Herleitung der ökologischen Ziele aus der Differenz zwischen dem beschriebenen Referenzzustand und der Zustandsanalyse (Defizitanalyse). Dabei sind Überlegungen (Recherchen, Abklärungen, Konzepte) zu folgenden Ziel-«Bildern» anzustellen:

- Zielhabitate
- Zielstrukturen
- Zielgesellschaften/Zielarten
- Zielfunktionen/Zielprozesse

Darauf basierend ist eine naturschutzfachliche Auseinandersetzung hinsichtlich Gewichtungen, Einschätzung von Zielerreichungspotenzialen und Priorisierungen erforderlich. So stellt sich beispielsweise die Frage, welcher Grad von Wiederherstellung (Aufwertung, Revitalisierung) realistisch unter den gegebenen (und kaum veränderbaren) Restriktionen – z.B. Regulierung des Pegelregimes oder unumkehrbare Verkürzungen der Flachwasserzonen durch Landanlagen – erreicht werden kann (siehe dazu auch Abb. 1 Teil 6), und wie es um die Widerstandsfähigkeit (Resilienz) des Systems steht oder ob lediglich eine «Linderung» (Mitigation) möglich ist. Es sind Alternativen möglicher Umsetzungswege (organisatorisch, inhaltlich, prozessual) zu entwickeln und abzuwägen, und stets ist auch der Blick auf ein vertretbares Verhältnis zwischen planerischem Aufwand und dem möglichen ökologischen Ertrag zu richten.

### 2.4 Massnahmenplanung

In der Massnahmenplanung werden die gemäss der strategischen Planung zu revitalisierenden Abschnitte nach ihrer Eignung hinsichtlich Erfüllung des übergeordneten Leitbildes geprüft resp. geeignete bzw. erforderliche Massnahmen für die bereits im Leitbild konkretisierten und örtlich festgelegten Ziele definiert.<sup>17</sup>

Grundsätzliche Anregung: Im Vorfeld der strategischen Revitalisierungsplanung wäre durch eine Gruppe von Fachleuten für jedes Gewässer ein objektbezogenes, übergeordnetes Konzept der ökologischen Funktionsfähigkeit zu erarbeiten. Darin sollten die generellen Defizite, die Zielsetzungen und der bezüglich Realisierbarkeit am betreffenden See anzustrebende Rehabilitationsgrad für Zielhabitate, Zielstrukturen und Zielarten<sup>18</sup> festgelegt werden.

Weiter wären eine grobe Lokalisierung der thematischen Schwerpunkte und die dazu geeigneten Massnahmentypen festzulegen. Die konkreten Revitalisierungsprojekte, welche sich aus der Analyse der ökomorphologischen Verhältnisse (Priorisierung gem. Vollzugshilfe Strategische Revitalisierungsplanung für stehende Gewässer, BAFU 2018b), der ökologischen Zustandsanalyse sowie aus der Anwendung der «Rahmenbedingungen» gemäss Auflistung der speziellen Gegebenheiten für den «EXPERT»-Modus ergeben, könnten dann auf diesem Konzept aufbauen.<sup>19</sup>

Zwingender Bestandteil einer fachgerechten Massnahmenplanung ist die frühzeitige Festlegung von Erfolgskriterien der ökologischen Zielsetzungen und daraus abgeleitet ein entsprechendes Konzept der Erfolgskontrolle (i.d.R. durch ein spezifisches Monitoring), siehe dazu auch Teil 8 in diesem Heft. Ein wichtiger Aspekt ist dabei die Berücksichtigung, dass revitalisierte Uferbereiche erfahrungsgemäss rasch als Naherholungsräume attraktiv werden und ggf. Lenkungsmassnahmen erforderlich sind – oder zum Vornherein gewisse Revitalisierungsziele relativiert werden müssen, wenn absehbar ein gewisser Nutzungsdruck nicht zu vermeiden ist resp. parallel zu den Revitalisierungsmassnahmen andernorts Aufwertungsmassnahmen zugunsten der Erholungsnutzung umgesetzt werden.

### Literatur

AquaPlus, 2014: Wasserpflanzenenerhebungen – Methodik zur Erfassung der Wasserpflanzen und Seegrundverhältnisse. AQUA & GAS 7/8 2014: 66–77.

BAFU (Hrsg.) 2018a: Handbuch Programmvereinbarungen im Umweltbereich 2020 – 2024. Mitteilung des BAFU als Vollzugsbehörde an Gesuchsteller. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1817: 294 S.

BAFU (Hrsg.) 2018b: Revitalisierung Seeufer – Strategische Planung. Ein Modul der Vollzugshilfe zur Renaturierung der Gewässer. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1834: 44 S.

Baumgartner S., Peter A., Reichert P., Robinson Ch., Siegenthaler-Le Drian C., Thomas G. 2013: Priorisierung von Flussrevitalisierungsprojekten – Ökologische Aspekte der Priorisierung und Revitalisierungspotenzial. Synthesenbericht. Eawag, 62 S.

Belser A., Dönni W., Dunand I., Govoni M., Haertel-Borer S., Könitzer C., Scapozza C., Thommen M., Weber S. (in Anhörung 2020): Ökologische Anforderungen an Wasserbauprojekte gemäss Art. 4 Wasserbaugesetz (WBG) bzw. Art. 37 Gewässerschutzgesetz (GSchG). Ein Modul der

Vollzugshilfe Renaturierung der Gewässer. Bundesamt für Umwelt, Bern.

Bratrich, Ch., 2004: Planung, Bewertung und Entscheidungsprozesse im Fliessgewässer Management: Kennzeichen erfolgreicher Revitalisierungsprojekte, Diss. ETH Zürich, 292 S., zusätzlich Anhang.

Forschungsgruppen Eawag / Uni Bern, 2018: Neue Berner Oberländer Fischart entdeckt. In Eawag News 13.9.2018 mit Bezug auf Originalartikel: Doenz, C. J.; Bittner, D.; Vonlanthen, P.; Wagner, C. E.; Seehausen, O., 2018: Rapid buildup of sympatric species diversity in Alpine whitefish. *Ecology and Evolution*, 8[18].

Haberthür, M., Gmünder, M., Müller, V. 2015: Verfahren zur Ermittlung des potenziell natürlichen Uferraums stehender Gewässer. Ambio GmbH und Magma AG im Auftrag des Bundesamts für Umwelt, Bern

IGKB (Hrsg.), Rey P., Teiber, P. & M. Huber 2009: Renaturierungsleitfaden Bodenseeufer, Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee, IGKB, Bregenz, 93 S.

Iseli, Ch. 2012: Verbaute Seeufer aufwerten. Wegleitung – Raum und Wirtschaft mit weiteren Dienststellen des Kantons Luzern [rawi.lu.ch – Downloads]. 8 S.

LUBW (Hrsg.) 2008: FIREBO – Fischfreundliche Renaturierung am Bodensee. Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg <https://pudi.lubw.de/detailseite/-/publication/86146>

Niederberger, K., Rey P., Reichert, P., Schlosser, J., Helg U., Haertel-Borer, S., Binderheim, E., 2016: Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Seen. Modul: Ökomorphologie Seeufer. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1632.

Pfandler M. et al. 2011: Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer. Hydrologie – Abflussregime Stufe F (flächendeckend). Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1107:113 S.

Schroeder U., Fuchs, E. Heuner M., Schmidt-Wygasch C., Terwei A. 2018: 1. Zwischenbericht «Makrophytenmonitoring»: Einfluss des schifferzeugten Wellenschlages auf emerse Makrophyten der Tideelbe am Beispiel dreier exponierter Standorte – Ist-Zustand 2015. Bundesanstalt für Gewässerkunde BFG, Koblenz 60 S., zusätzlich Anhang.

## Kontaktadresse

Klemens Niederberger  
Dipl. phil II Uni Zürich (Biologie)  
AquaPlus AG  
Gotthardstrasse 30, CH-6300 Zug  
[klemens.niederberger@aquaplus.ch](mailto:klemens.niederberger@aquaplus.ch)



Klemens Niederberger



**taf** taucharbeiten ag



## Handwerker mit Tiefgang

Im konstruktiven Unterwasserbau führen Taucher der TAF Taucharbeiten AG mit Spezialausrüstungen alle Arbeiten an Ufern, Mauern und Bauwerken in fließenden oder stehenden Gewässern, in technischen Anlagen, kontaminierten Gewässern oder anderen Flüssigkeiten aus.



vorher



nachher

Bei Sanierungen von Ufermauern und anderen unter-spülten Bauwerken steht das Team des Unternehmens TAF Taucharbeiten AG mit Gewebeschalungen oder Gewebecontainern im Einsatz. Sie werden mit einem speziellen Unterwasser-Beton «geimpft». Die Gewebe bestehen aus Chemie-Kunstfasern von hoher Reißfestigkeit. Für Beton undurchlässig, schützen sie diesen während der Aushärtungsphase vor Auswaschungen.

### MTA Pipe-Inspector ist die neuste Dienstleistung bei TAF!

Der Inspector ermöglicht kabellose Video-Inspektion von Rohrleitungen mit integrierter Leckortung für Trinkwasser, Abwasser, Wasserkraft und Industrie



MTA Pipe-Inspector ermöglicht rohrmaterial unabhängig die lückenlose optische und akustische Untersuchung von Transportleitungen ohne Betriebsunterbrechung. Das Verfahren arbeitet kabellos, wodurch die kontinuierliche optische Untersuchung langer Leitungsabschnitte von bis zu 50km erst möglich wird. MTA Pipe-Inspector schwimmt batteriebetrieben im Medienstrom des Leitungssystems und liefert kontinuierlich Daten aus dem Inneren der Rohrleitung zur Zustandserfassung der untersuchten Leitungsstrecke -ohne Aufgrabungen oder Rohrtrennungen.

## Menzi Muck Schreitbagger

Seine besonderen Fähigkeiten verdankt der Schreitbagger seinem ausgeklügelten Hightech- Chassis und dem patentierten Baggerarm: diverse Hydraulikzylinder ermöglichen es dem Allrounder, seine Räder und Füße jedem Gelände anzupassen. Der Allzweckbagger deckt alle Segmente mit einer Maschine ab.

**taf**

**Geht nicht, gibt's nicht.**



## Amphimaster

Das amphibische Gewässerpflegeboot ist ein weltweit einzigartiges Fahrzeug und Multifunktionsmaschine.

Im Wasser schwimmt der Amphimaster, an Land fährt er mittels Raupen. Diese verfügen über einen geringen Bodendruck und erlauben deshalb das Überqueren von heiklen Gewässern, Golfplätzen oder Naturreservaten ohne Beschädigung des Bodens.



HOWOLIS




**Drenoroll Drainagerohr**  
Die Drainage mit Schweizer Holz.

**Drenoroll tube de drainage**  
Le drainage avec du bois suisse.

**Drenoroll tubo di drenaggio**  
Il drenaggio con legno svizzero.

**Lindner**  
suisse

produziert von | produit par | prodotto da:  
Lindner Suisse GmbH | CH-9630 Wattwil  
holzwohle@lindner.ch | www.lindner.ch



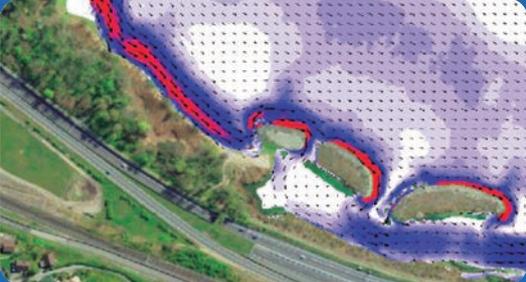






# hydrique.

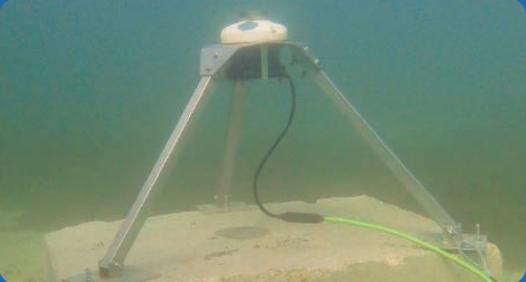
L'expertise des vagues et courants  
au service de l'environnement



Mesures in situ avec AWAC

Contraintes, érosions et courants par modélisation numérique

Conception de plages et de ports



Dangers naturels

Renaturation des rives

Risques sanitaires

**Hydrique Ingénieurs**  
[www.hydrique.ch](http://www.hydrique.ch)

Ch. du Rionzi 54  
CH-1052  
Le Mont-sur-Lausanne

# Wasserbau- konzept und Massnahmen- planung

Christoph Iseli  
Bärbel Müller  
Teil 6

## Zusammenfassung

Für die wasserbauliche Konzeption und die Massnahmenplanung werden zunächst alle projektspezifischen Grundlagen, die zur Planung eines Uferschutz- oder Revitalisierungsprojektes benötigt werden, bereitgestellt. Diese Daten können deutlich von den seespezifischen Kennwerten abweichen und müssen in der Regel gesondert für das Projektgebiet erhoben werden.

Standardverfahren zur Projektierung von Uferschutz- und Revitalisierungsprojekten gibt es nicht. Die Verfahren und Abläufe müssen jeweils den projektspezifischen Rahmenbedingungen und Anforderungen angepasst werden. In jedem Fall soll die Projektierung aber einem systematischen Vorgehen folgen, in welchem nachvollziehbar hergeleitet wird, wie die Revitalisierungsziele gemäss Gewässerschutzgesetz [GSchG] und Wasserbaugesetz [WBG] am besten erreicht werden können: Ausgehend von einer umfassenden Beschreibung des Ist-Zustandes im Projektgebiet werden die Defizite durch Vergleich mit dem Referenzzustand analysiert und das Leitbild entworfen. Auf Grundlage dieser Analyse können die Entwicklungsziele für die verschiedenen Gewässerfunktionen hergeleitet werden. Anschliessend können aus einer Synthese von ökologischen und Nutzungszielen sowie den z.B. technischen Restriktionen die Handlungsgrundsätze definiert und verschiedene Massnahmenvarianten entwickelt werden. Optimierungsverfahren führen schliesslich zur bestmöglichen Variante und zum konkreten Bauprojekt.

## Keywords:

Seeuferrevitalisierung, Herleitung der Massnahmen

## Concept d'ingénierie hydraulique et planification des mesures

### Résumé

Pour le concept d'ingénierie hydraulique et la planification des mesures, tous les principes spécifiques au projet et nécessaires à la planification d'un projet de protection ou de revitalisation des berges sont préparés au préalable. Ces données peuvent s'écarter considérablement des paramètres propres au lac et doivent généralement être collectées séparément pour la zone du projet.

Il n'existe pas de procédures standard pour la planification des projets de protection des rives et de revitalisation. Les procédures et processus doivent être adaptés aux conditions et exigences spécifiques du projet. Cependant, dans tous les cas, la planification doit suivre une procédure systématique dans laquelle on détermine de manière compréhensible comment les objectifs de revitalisation peuvent être atteints au mieux conformément à la Loi sur

la protection des eaux [LEaux] et à la Loi sur l'aménagement des cours d'eau [LACE] : sur la base d'une description détaillée de l'état réel de la zone du projet, les déficits sont analysés par comparaison avec l'état de référence et les objectifs généraux sont conçus. Sur la base de cette analyse, les objectifs de développement pour les différentes fonctions des eaux peuvent être déduits. Ensuite, à partir d'une synthèse des objectifs écologiques et d'utilisation, ainsi que des restrictions techniques par exemple, les principes d'action peuvent être définis et diverses variantes de mesures peuvent être élaborées. Les procédures d'optimisation conduisent finalement à la meilleure variante possible et au projet de construction concret.

#### Mots-clés :

Revitalisation des rives lacustres, dérivation des mesures

### Concetto di ingegneria idraulica e pianificazione delle misure

#### Riassunto

Per il concetto di intervento idraulico e la pianificazione delle misure, vengono prima ricercate tutte le basi specifiche al progetto necessarie per la pianificazione di un progetto di protezione o rivalizzazione delle rive. Questi dati possono discostarsi in modo significativo dai parametri specifici del lago e di solito devono essere raccolti separatamente per l'area di progetto.

Non esistono procedure standard per la pianificazione di progetti di protezione e rivalizzazione delle rive. Le procedure e i processi devono essere adattati alle condizioni e ai requisiti specifici di ogni progetto. In ogni caso, tuttavia, la pianificazione del progetto dovrebbe seguire una procedura sistematica in cui si ricava in maniera comprensibile il modo migliore per raggiungere gli obiettivi di rivalizzazione in conformità alla legge federale sulla protezione delle acque [LPAC] e alla legge federale sulla sistemazione dei corsi d'acqua. Sulla base di una descrizione completa dello stato attuale dell'area del progetto, i deficit vengono analizzati confrontandoli con lo stato di riferimento e viene elaborato un concetto d'intervento. Sulla base di questa analisi si ricavano gli obiettivi da raggiungere per i vari aspetti. Successivamente, sulla base degli obiettivi ecologici e di utilizzo e delle restrizioni tecniche, si possono definire i principi di intervento e sviluppare diverse varianti per le misure. L'ottimizzazione di tutti i parametri porta alla migliore variante possibile e al progetto vero e proprio.

#### Parole chiave:

rivalizzazione delle rive lacustri, definizione delle misure

## 1. Vorgehen

In der vorliegenden Arbeitshilfe wird vorausgesetzt, dass der Handlungsbedarf bekannt ist. Er kann sich aus der Priorisierung einer strategischen Revitalisierungsplanung ergeben. Oft entsteht er aber zum Beispiel aus einer ökologischen Ersatzpflicht im Zusammenhang mit einem Bauvorhaben, aus veränderten Nutzungsansprüchen oder aus hydrodynamischen Randbedingungen, beispielsweise aufgrund sanierungsbedürftiger Ufersicherungen oder fortschreitender Ufererosion.

Das Ziel dieser Arbeitshilfe ist, ausgehend vom festgestellten Handlungsbedarf, mögliche Methoden und Abläufe zur Projektierung eines Uferschutz- oder Revitalisierungsvorhabens aufzuzeigen und zu erläutern. Vorgeschlagen wird ein systematisches Vorgehen, welches in definierten Schritten von der Zustandsanalyse bis zu den konkreten Massnahmen führt. Die Systematik stützt sich auf die Vollzugshilfe «Ökologische Anforderungen an Wasserbauprojekte» [Belser et al. in Anhörung 2020].

In jedem Fall, also auch wenn eine «normale» Ufersanierung oder z.B. der Bau eines Uferweges ansteht und nicht ein Revitalisierungsziel Auslöser für das Projekt ist, muss aufgrund des Verbesserungsgebots gemäss Gewässerschutz- und Wasserbaugesetz eine Gewässeraufwertung mitgeplant werden. Entsprechend soll das Vorgehen zur Herleitung der Massnahmen auch in diesen Fällen der dargestellten Systematik in Abb. 1 folgen.

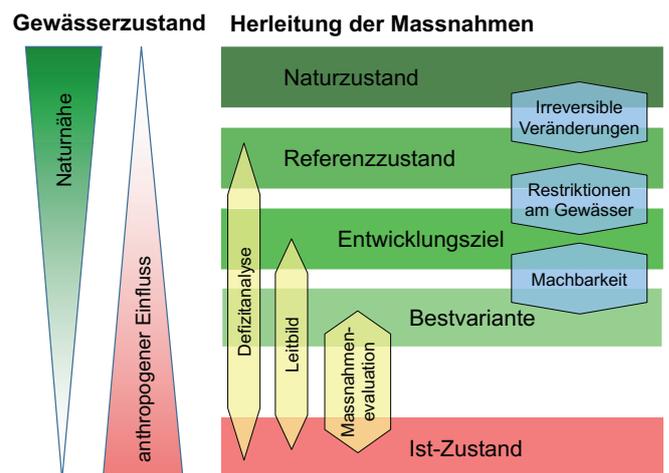


Abb. 1: Schematische Darstellung des Vorgehens in sechs Schritten [Tiefbauamt Kanton Bern 2017, abgeändert nach Belser et al., in Anhörung 2020] | Fig. 1: Représentation schématique de la procédure en six étapes [Office des ponts et chaussées du canton de Berne 2017, modifié d'après Belser et al., en procédure d'audition 2020]

## 2. Ist-Zustand und Analyse des Projektgebietes

In der ersten Planungsphase wird zunächst eine detaillierte Analyse des Projektgebietes durchgeführt. Diese beinhaltet im Allgemeinen neben einer ökologischen und ökomorphologischen Zustandserfassung auch eine Beschreibung

der bisherigen und der geplanten Nutzung sowie der in der Uferregion vorherrschenden morphologischen und hydrodynamischen Prozesse. Vgl. hierzu die vorangehenden Beiträge in diesem Heft. Des Weiteren ist der Gewässerraum, sofern noch nicht festgelegt, herzuleiten.

In der Zustandserfassung sollten neben der ökomorphologischen Bewertung die folgenden Einflussgrößen beschrieben werden:

- Uferquerschnitte auf Basis eines genauen bathymetrischen Geländemodells
  - Neigung der Flachwasserzone und der Uferzone
  - Ausdehnung der Flachwasserzone
  - Beschaffenheit der Uferlinie
  - Charakterisierung der Uferzone
- Substrat der Flachwasserzone und der Uferzone
- Vorherrschende Winde, Strömungen und Sedimentverlagerungen
- Charakterisierung der Exposition (ist der Uferabschnitt vor Wind/Wellen geschützt oder extrem exponiert? Liegt eine Bucht- oder Kapsituation vor?)
- Vegetation der Flachwasserzone, Ufervegetation und Lebensräume der Uferzone
- Gewässerraum
- Land- und wasserseitige Nutzungen

### 2.1 Ökomorphologische Zustandserfassung

Für die Beschreibung und Bewertung des ökomorphologischen Zustands des Seeufers im Projektgebiet können die Daten aus der ökomorphologischen Zustandserfassung des gesamten Sees entnommen werden. Mit der Methode des Bundes (Niederberger et al. 2016) wird der Zustand detailliert für die vier Uferkompartimente Flachwasserzone, Uferlinie, Uferstreifen und Hinterlandstreifen erfasst (Abb. 2). Da es sich jedoch um eine Übersichtsmethode handelt, für welche keine Felderhebungen durchgeführt werden, müssen die Resultate jeweils überprüft und bei Bedarf ergänzt werden.

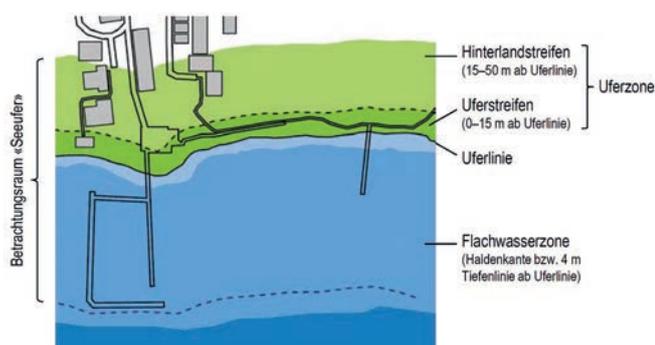


Abb. 2: Schematische Darstellung der Uferkompartimente und der für die Beurteilung relevanten Betrachtungsräume (Niederberger et al. 2016) | Fig. 2: Représentation schématique des compartiments riverains et des zones pertinentes pour l'évaluation (Niederberger et al. 2016)

### 2.2 Gewässerraum

Gemäss Artikel 41b Abs. 1 GSchV muss die Breite des Gewässerraums, gemessen ab der Uferlinie, mindestens 15 m betragen. Er muss erhöht werden, soweit dies zur Gewährleistung des Hochwasserschutzes, des für eine Revitalisierung notwendigen Raums, aus überwiegenden Interessen des Natur- und Landschaftsschutzes (z.B. Schutz der Ufervegetation) oder für die Gewässernutzung erforderlich ist (Art. 41b Abs. 2 GSchV). Sofern der Gewässerraum noch nicht festgelegt, ist er herzuleiten und als landseitiger Projektperimeter bei der Massnahmenplanung zu berücksichtigen (vgl. dazu auch Haberthür et al. 2015 und 2016).

### 2.3 Ökologische Zustandsanalyse (Flora, Fauna, Lebensräume)

Je nach Art und Umfang des Projektes sind detailliertere ökologische Zustandserhebungen durchzuführen. In umfangreichen Revitalisierungsprojekten sollte neben den üblichen floristischen und faunistischen Erhebungen landseits der Uferlinie insbesondere der ökologische Zustand der Flachwasserzone mit einer Kartierung der Makrophyten (Unterwasservegetation) beschrieben werden. Dazu eignet sich die als MESA+ (Method for the Exploration of Submersed Aquatic Vegetation) bezeichnete Methode mit flächig oder stichprobenartig angelegten Transekten (Niederberger und Sturzenegger 2014).

Wünschenswert wäre zudem die Erfassung des Makrozoobenthos (wirbellose Kleinlebewesen der Gewässersohle). Da das Vorkommen von Arten des Makrozoobenthos teilweise oder ganz an die Präsenz bestimmter Habitate in den Seen gebunden ist, stellen sie einen idealen Bioindikator dar, um Wirkungen von hydromorphologischen Veränderungen der Flachwasserzone auf den ökologischen Zustand anzuzeigen. Allerdings besteht in der Schweiz zurzeit noch keine standardisierte Methode zur Untersuchung und Beurteilung von Makrozoobenthos in Seen.

Die landseitige Ufervegetation ist mit Ausnahme der Schutzgebiete von nationaler und regionaler Bedeutung (z.B. Auen oder Flachmoore resp. kantonale Naturschutzgebiete) zumeist nicht erfasst. Dabei besteht mit dem Katalog der Lebensraumtypen von Delarze et al. (1999) eine bewährte Methode zur Verfügung. Das Fehlen von Vegetationsaufnahmen ausserhalb der grossen Schutzgebiete kann dazu führen, dass angepasste Schutzmassnahmen unterlassen und schleichende Verschlechterungen des Zustands nicht wahrgenommen werden.

Bei kleineren Vorhaben sollten zumindest die vorhandenen Lebensräume nach Delarze beschrieben und das Vorkommen von seltenen oder geschützten Arten erfasst sowie die subaquatischen Strukturen und Habitate, wie Totholz, Kiesbänke, Feinsedimente u. dgl., kartiert und beschrieben werden.

## 2.4 Bisherige und geplante Nutzung

Für die Analyse des Ist-Zustands sind die im Projektgebiet vorhandenen land- und forstwirtschaftlichen Nutzungen, öffentlichen Erholungseinrichtungen und Infrastrukturen sowie privaten Nutzungen zu dokumentieren. Zusätzlich sollten auch die Nutzungen in der Umgebung erfasst werden, welche durch das Revitalisierungsprojekt beeinträchtigt werden können. Solche Beeinträchtigungen können z.B. Vorfluter von landwirtschaftlichen Drainagesystemen, Erholungsinfrastrukturen u.dgl. betreffen.

Mit der Erfassung der geplanten Nutzungen im Projektgebiet und dessen Umgebung werden die Rahmenbedingungen erkannt, welche die Entwicklung von Projektvarianten sowie die zukünftige Bewirtschaftung resp. den Unterhalt mitbeeinflussen.

## 2.5 Ufermorphologische und hydrodynamische Prozesse

Unter den ufermorphologischen Prozessen wird die Gestaltung oder Entwicklung der Ufermorphologie durch die gewässer- oder hydrodynamischen Prozesse verstanden. Die natürlichen und tatsächlichen ufermorphologischen und hydrodynamischen Prozesse im Projektgebiet sind der Schlüssel für eine erfolgreiche Revitalisierungsplanung. Leider sind diese Prozesse in der Regel kaum bekannt. Einerseits wurden sie oft durch anthropogene Einflüsse unterbunden und andererseits bestehen nur wenig Messungen oder Messreihen, mit welchen sich die standortspezifischen Prozesse beschreiben lassen.

Die genauen Kenntnisse der hydrologischen Verhältnisse, des Wind- und Wellenklimas, der wind- und zuflussbedingten Strömungen, der Bathymetrie, der submersen Vegetation und der Sedimenteigenschaften erlauben jedoch, die standortspezifischen Prozesse mindestens qualitativ und grob zu erfassen. Im Hinblick auf eines der wichtigsten ökomorphologischen Ziele, nämlich die Wiederherstellung einer ufermorphologischen Dynamik, ist die Erarbeitung dieser Grundlagen von zentraler Bedeutung für die Entwicklung von effizienten, langfristig und nachhaltig wirkenden Revitalisierungsprojekten.

## 3. Definition des Referenzzustands

Ein wesentliches Element von Revitalisierungsvorhaben ist der ausdrückliche Bezug auf einen Referenzzustand. Unter diesem wird ein Zustand verstanden, der sich unter den heutigen landschaftlichen Bedingungen einstellen würde, wenn sämtliche menschliche Nutzungen am Ufer aufgegeben würden und alle Anlagen beseitigt wären, welche naturnahe ökologische Prozesse und Lebensräume beeinträchtigen. Dies entspricht einem naturnahen ökomorphologischen Zustand der heutigen Seeufer in der vorgegebenen, land- und forstwirtschaftlich geprägten Kulturlandschaft. (Niederberger et al. 2016)

Der Referenzzustand entspricht aber nicht einem Gewässer der ursprünglichen Naturlandschaft, die in Mitteleuropa praktisch nirgendwo mehr existiert. Vielmehr schliesst der Referenzzustand grossräumige und irreversible Einflüsse des Menschen ein, wie z. B. die Veränderung der Landnutzung im Einzugsgebiet (z.B. grossflächige Waldrodungen, Trockenlegung von Sümpfen, Siedlungstätigkeit). Einen besonderen Fall stellen Seeregulierungen und Flussumleitungen in Seen dar. Die Seeregulierungen reichen z.T. einige Jahrhunderte zurück und haben die Naturlandschaften unterschiedlich stark verändert. Dasselbe gilt für die historischen Flussumleitungen in Seen, wie z.B. bei der Kander-, der Linth- und bei der Juragewässerkorrektur. (Pfaundler et al. 2011)

Bei der Definition der Referenz ist nicht nur den Zustand, sondern auch die natürliche ufermorphologische Dynamik entscheidend, also die Prozesse von wellen- und strömungsbedingten Sedimentverlagerungen am Standort unter natürlichen Verhältnissen, zu erfassen. Da diese Prozesse heute an den meisten Seen in der Regel durch Uferverbauungen, Anlagen in der Flachwasserzone und Wasserstandsregulierungen sehr stark verändert wurden, ist es nicht ganz einfach, eine naturnahe ökomorphologische Dynamik zu entwerfen. Dennoch ist es von zentraler Bedeutung, eine möglichst konkrete Vorstellung der natürlichen Dynamik zu entwickeln.

## 4. Analyse der Defizite

In der Defizitanalyse werden aus dem Vergleich der Zustandsbeschreibung mit dem Referenzzustand die im Projektgebiet vorhandenen Defizite abgeleitet. Diese können ökologischer, ufermorphologischer, technischer oder funktionaler Natur sein. Sie können aber auch aus veränderten Nutzungsansprüchen entstehen. Mögliche Defizite sind:



Abb. 3: Beispiel eines hart verbauten Ufers | Fig. 3: Exemple d'une rive aménagée en dur

### Ökologische Defizite

Fehlende Struktur- und Artenvielfalt, z.B. infolge von:

- Ufersicherung mit Mauer, Blockwurf, Pflasterung oder grob dimensionierter Kiesschüttung [Abb. 3]
- ungünstigen Bedingungen in der landseitigen Uferzone [intensive Nutzung]
- hohem Nutzungsdruck [Störungen der Fauna und Beeinträchtigung der Ufervegetation]

Fehlende Übergangsliebensräume Wasser–Land,

z.B. infolge von:

- steil befestigter Uferlinie
- Erosion des ufernahen Seebodens
- landseitigen Terrainaufschüttungen

### Ufermorphologische Defizite

Gestörte natürliche, ufermorphologische Uferdynamik,

z.B. infolge von:

- Ufersicherung mit Mauern, Blockwurf, Pflasterung
- Uferaufschüttungen
- Nutzungen [z.B. Schifffahrtsrinnen [Abb. 5], Bojenfelder, Kanalisierte Flussmündungen [Abb. 4]]

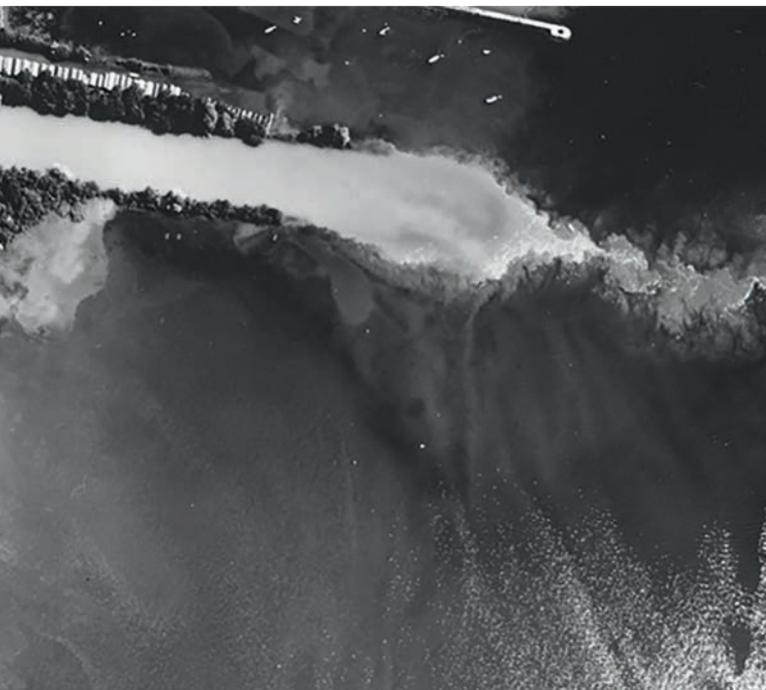


Abb. 4: Durch die Vorstreckung der Flussmündung bis zur Haldenkante werden das Geschiebe und die suspendierten Sedimente in die Tiefenwasserzone abgeleitet. Durch den fehlenden Sedimenteintrag verstärkt sich das Feststoffdefizit in der Flachwasserzone. Dadurch nimmt der Erosionsdruck in der Flachwasserzone und an der Uferlinie zu. [Mündung der Aare in den Thunersee] | Fig. 4: En étirant l'embouchure du cours d'eau jusqu'au mont, le charriage et les sédiments en suspension sont déchargés dans la zone d'eau profonde. En raison de l'absence d'apport de sédiments, le déficit en matières solides dans la zone d'eau peu profonde se renforce. Cela augmente la pression d'érosion dans la zone d'eau peu profonde et sur la ligne de rive [embouchure de l'Aar dans le lac de Thoune]



Abb. 5: Die für die Zufahrt zur Bootswerft in der Flachwasserzone ausgebaggerte Schifffahrtsrinne wirkt als Sedimentfalle und unterbricht den uferparallelen Sedimenttransport. Damit entsteht ein Feststoffdefizit in den angrenzenden Uferbereichen und die Erosion wird gefördert. Gleichzeitig füllt sich die Rinne mit Sedimenten auf. [Erlach, Bielersee] | Fig. 5: Le canal de navigation dragué dans la beine lacustre pour l'accès au chantier naval agit comme un piège à sédiments et interrompt le transport de sédiments parallèle à la rive. Cela crée un déficit de matières solides dans les zones riveraines adjacentes et favorise l'érosion. En même temps, le canal se remplit de sédiments [Erlach, lac de Bienne]

### Funktionale Defizite

Funktionale Defizite bestehen z.B. bei unzureichender Zugänglichkeit zu öffentlichen Uferbereichen oder bei fehlender Besucherlenkung in Naturuferbereichen:

- mit Mauern und Blockwurf verbaute, unzugängliche Ufer [Abb. 6]



Abb. 6: Die natürliche Übergangszone Wasser–Land wird durch einen Blocksatz weitgehend zerstört. Ausserdem beeinträchtigt er die Zugänglichkeit zum Wasser | Fig. 6: La zone de transition naturelle eau – terre est en grande partie endommagée par un ensemble de blocs, qui entrave également l'accès à l'eau

### Technische Defizite

Technische Defizite ergeben sich aus dem Zustand von Ufersicherungen oder aber aus hydrodynamischen oder geologischen Prozessen. Beispiele sind:

- stark erodierende Uferbereiche mit Rückgang der Ufervegetation, Unterspülung des Ufers und freigespülten Wurzelstöcken

- Unter-/hinterspülte Ufersicherungen
- Rutschungen

## 5 Leitbild, Entwicklungsziele und Handlungsgrundsätze

### 5.1 Leitbild

Ein weiteres wichtiges Element von Revitalisierungsvorhaben ist ein klar definiertes Leitbild. Das Leitbild ist ein Instrument für die langfristige Entwicklung des Gewässers. Es beschreibt den Zustand, in welchen das Gewässer überführt werden soll und bietet im Idealfall eine Gesamtchau über alle wichtigen ökologischen, wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Vorgänge. Das Leitbild wird auf der Grundlage der Gesetzgebung aufgebaut und enthält sowohl quantitative (z.B. Raumbedarf) wie auch qualitative (z.B. Vernetzung) Aspekte. Als langfristig angelegtes Instrument sollte ein Leitbild in die regionale oder gar überregionale Strategie der Gewässerentwicklung eingebunden sein. Das Leitbild orientiert sich am natürlichen oder naturnahen, ökologischen und ufermorphologischen Zustand. Es bildet nicht nur die Revitalisierungsziele ab, sondern sämtliche Entwicklungsziele, welche für die verschiedenen Gewässerfunktionen im Projektgebiet definiert wurden, also z.B. auch die Nutzung. Das Leitbild ist somit die Synthese aus den als prioritär festgehaltenen Zielen zur Wiederherstellung der ökologischen, ufermorphologischen und Nutzungsfunktionen unter Berücksichtigung der technischen und ökonomischen Machbarkeit. Es bildet schliesslich die Grundlage für die Herleitung des Massnahmenkonzepts und dient als Massstab für die Evaluierung des Revitalisierungserfolgs bei der Wirkungskontrolle.

### 5.2 Entwicklungsziele und Handlungsgrundsätze

Entwicklungsziele von Seeuferrevitalisierungen sollen die für den natürlichen Standort typischen Biozönosen und ufermorphologischen Prozesse sein. Anders als bei Fliessgewässern werden Ziele von Revitalisierungsprojekten an Seen nicht primär durch den Schutz von Menschen oder Sachwerten vor Gefahren definiert. Vielmehr geht es darum, Revitalisierungsprojekte langfristig möglichst nachhaltig umzusetzen. Dazu sind sowohl die ökologischen Ziele (Ziellbensräume, Zielarten), die ufermorphologischen Ziele (hydromorphologische Dynamik), die funktionalen Ziele (Nutzung, Erholungsnutzung) wie auch die technischen Ziele (Stabilität, Kosteneffizienz) zu definieren. Für die Bemessung der Uferschutzmassnahmen muss zusätzlich das Bemessungsereignis (Hochwasser, Windereignis) definiert werden. Schliesslich sollen von den beschriebenen Entwicklungszielen mögliche Handlungsgrundsätze für die Projektierung abgeleitet werden.

### Ökologische Entwicklungsziele und Handlungsgrundsätze

Zum Beispiel:

- Wiederherstellen einer intakten und möglichst breiten Uferzonierung (Abb. 7)
- Entwickeln einer artenreichen Makrophytenvegetation
- Stabilisieren einer Restpopulation einer gefährdeten Art
- Generelle Erhöhung der Arten- und Strukturvielfalt
- Vernetzung Übergangsbereich Land-Wasser



Abb. 7: Ökologische Aufwertung landseits der Uferlinie durch Schaffung von Amphibienlaichgewässern | Fig. 7: Mise en valeur écologique de la partie terrestre de la ligne de rive par la création de frayères pour les amphibiens

### Ufermorphologische/hydrodynamische Entwicklungsziele und Handlungsgrundsätze

Zum Beispiel:

- Reaktivieren von natürlichen Verlandungsprozessen in Mündungsbereichen von Fliessgewässern
- Bereitstellen von Erosionszonen zur Sicherung des Sedimentnachschiebs
- Initiieren von Sedimentablagerungen
- Rückhalten von uferparallel transportierten Sedimenten

Als übergeordnetes Ziel kann hier die Wiederherstellung einer natürlichen ufermorphologischen Dynamik definiert werden.

### Funktionale Entwicklungsziele und Handlungsgrundsätze (Nutzung)

Zum Beispiel:

- Entflechten von Natur und Erholung
- Schaffen und Attraktiveren von öffentlich zugänglichen Erholungszonen
- Wiederherstellen der Zugänglichkeit zum Seeufer
- Schützen und Erhalten prähistorischer Kulturschichten

## Technische Entwicklungsziele und Handlungsgrundsätze

Zum Beispiel:

- Schutz der Uferlinie vor starkem Wellenschlag
- Abflachen des Uferquerschnitts
- Stabilisieren des Seebodens in der Flachwasserzone und/oder der Uferlinie

## 6. Wasserbauliches Konzept

Im wasserbaulichen Konzept werden aus den im Leitbild festgehaltenen Entwicklungszielen und Handlungsgrundsätzen konkrete Projektvarianten abgeleitet. Dabei geht es darum, die technischen Umsetzungsvarianten unter Berücksichtigung der festgelegten Prioritäten und möglicher Restriktionen zu evaluieren, um schliesslich zur bestmöglichen Variante zu gelangen. In einem Wirkungskonzept wird zunächst definiert, mit welchen ökologischen und technischen Wirkungsweisen gearbeitet werden soll. Das wasserbauliche Design definiert anschliessend deren Umsetzung mit konkreten Massnahmen.

### 6.1 Wirkungskonzept

Das Wirkungskonzept wird basierend auf den zuvor aufgeführten technischen und planerischen Rahmenbedingungen entwickelt. Die technischen Rahmenbedingungen ergeben sich aus den ufermorphologischen und hydraulischen Faktoren wie Wellenklima, Strömungen, Korngrösse, Seebodentopographie und Exposition. Die planerischen Rahmenbedingungen definieren sich aus den ökologischen Verhältnissen, den vorhandenen und geplanten Nutzungen, den politisch-administrativen Vorgaben, resp. aus den vorgegebenen Entwicklungszielen. Das Wirkungskonzept liefert die Basis für das wasserbauliche Design.

Das Wirkungskonzept beinhaltet die Wirkungsziele, die Wirkungsstrategie und die erforderliche Sicherheit resp. Nutzungsdauer:

- In den Wirkungszielen werden die Vorgaben bezüglich Ökologie und Nutzung zusammengefasst. Sie definieren die Rahmenbedingungen, welche sich zum Beispiel aus den Vorgaben zum Schutz der Auen- und der Makrophytenvegetation im Zusammenhang mit der Erholungsnutzung, der Erhaltung vorkommender aber gefährdeter Arten, der Erhaltung der Funktionstüchtigkeit von bestehenden Entwässerungsgräben oder dergleichen ergeben.
- Die Wirkungsstrategie(n) beschreiben die verschiedenen Wirkungsweisen der geplanten Eingriffe. Dies sind beispielsweise die Beeinflussung der auf das Ufer einwirkenden Wellenkräfte, die Beeinflussung der Stabilität der Uferlinie, eine Beeinflussung des Sedimenttransportes oder Kombinationen davon.
- Schliesslich soll auch die erforderliche Sicherheit durch die Wiederkehrperiode des Bemessungsereignisses resp. die geforderte Nutzungsdauer der Bauteile definiert werden.

### 6.2 Wasserbauliches Design

Über die Wahl der Wirkungsstrategie werden unter Beachtung der Wirkungsziele die Massnahmen, also die verschiedenen Bautypen wie Wellenbrecher, Kiesschüttung etc., ausgewählt. Deren räumliche Anordnung und gegebenenfalls die Kombination der Massnahmen sind Gegenstand des wasserbaulichen Designs. Dieses hat für das Uferschutzprojekt eine analoge Bedeutung wie die Konstruktionspläne für ein Gebäude. Das wasserbauliche Design 'übersetzt' das Wirkungskonzept in einen konstruktiv umsetzbaren Plan.

Das wasserbauliche Design im Uferbereich von Seen beinhaltet die Gestaltung und Bemessung der Struktur mit dem Ziel, das optimale Verhältnis zwischen ufermorphologischer Dynamik und Strukturstabilität zu erreichen. Dabei müssen sowohl physikalische (Sedimentation, Erosion), biologische (Flora und Fauna, Brutgelegenheiten etc.) wie auch Umgebungseinflüsse (Nutzung, Einpassung in Umgebung) berücksichtigt werden. Bedingt durch die physikalischen, biologischen und Umgebungseinflüsse sind mögliche Design-Lösungen sehr standortspezifisch und nur bedingt auf andere Projektgebiete übertragbar.

### 6.3 Optimierung durch numerische Modellierung

Bei komplexeren Vorhaben empfiehlt es sich, das Design mit einer numerischen Modellierung zu überprüfen und zu optimieren. Mit einer Modellierung der geplanten Eingriffe können deren Einfluss auf die Wellenhöhen, Strömungsrichtungen und -geschwindigkeiten überprüft und damit die Beeinflussung der Sedimentverlagerungen abgeschätzt werden (Abb. 8). Damit lässt sich das Projektdesign optimieren. Gleichzeitig werden allfällig unerwünschte Nebenwirkungen erkannt und können so vermieden werden. Als Modellierungssoftware eignet sich zum Beispiel MIKE 21, welche vom Danish Hydraulic Institute entwickelt wurde.

### 6.4 Bestvariante

Als Resultat aus der Projektentwicklung soll sich schliesslich die beste Variante ergeben. Damit ist diejenige Projektvariante gemeint, mit welcher die natürlichen Gewässerfunktionen am besten wiederhergestellt werden können. Auch bei einer optimalen Projektentwicklung wird es jedoch oft nicht möglich sein, alle natürlichen Funktionen vollständig wiederherstellen zu können. Die Bestvariante wird deshalb oft vom definierten Entwicklungsziel abweichen. Aus diesem Grund ist es wichtig, die in der Projektentwicklung festgelegten vorrangigen Ziele nach ihrer Wichtigkeit anzuordnen und nachvollziehbar aufzuzeigen, wie diese Priorisierung vollzogen wurde. Damit soll verhindert werden, dass nur sektorale oder einseitige Ziele verfolgt werden.

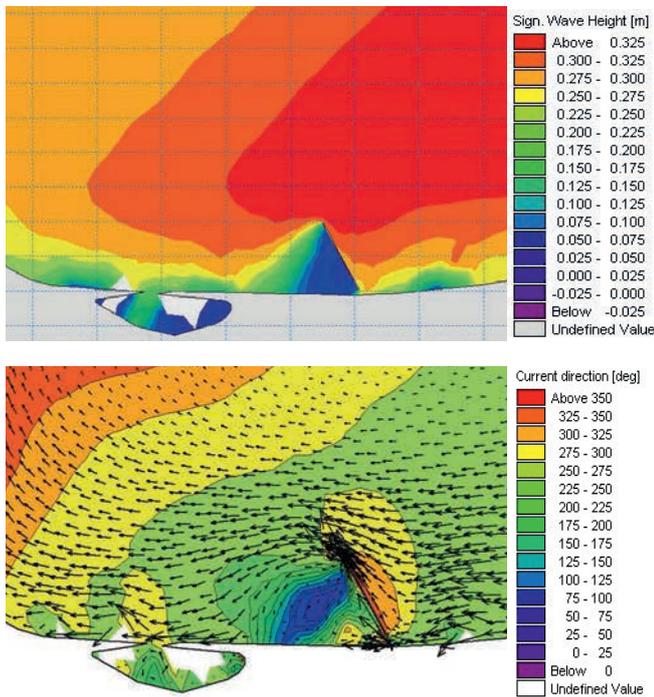


Abb. 8: Überprüfung eines geplanten Wellenbrechers, welcher in einem schrägen Winkel zum Ufer angelegt und bis an die Uferlinie reicht mittels einer Modellierung mit MIKE 21. Die Ergebnisse zeigen die Auswirkungen auf die Wellenhöhe (oben) und auf die Strömungsrichtungen und -geschwindigkeiten (unten). [Schiefer 2016] | Fig. 8: Vérification d'un brise-lames projeté, qui est placé à un angle oblique par rapport à la rive et atteint la ligne de rive au moyen d'une modélisation avec MIKE 21. Les résultats montrent les effets sur la hauteur des vagues [en haut] et sur les directions et vitesses des courants [en bas] [Schiefer 2016]

### 7. Technischer Bericht

Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über einen möglichen Aufbau eines technischen Berichts für ein Revitalisierungsprojekt. Je nach Umfang des Projekts werden Umfang und Bearbeitungstiefe variieren. Die Tabelle soll als Checkliste verstanden werden.

Technischer Bericht: Checkliste Inhalt	
<b>1</b>	<b>Grundsätze und Zuständigkeiten</b>
<b>2</b>	<b>Strategische Planung und Partizipation</b>
<b>3</b>	<b>Beschreibung des Projektgebiets</b> 3.1 Allgemeine Situation 3.2 Landschaftsgeschichtliche Entwicklung 3.3 Raumplanung / übergeordnetes Uferentwicklungskonzept 3.4 Bisherige Nutzungen 3.5 Vorhandene Werke und Anlagen, belastete Standorte
<b>4</b>	<b>Projektierungsgrundlagen</b> 4.1 Hydrologie 4.2 Wind – Wellen – Strömungen 4.3 Bathymetrie 4.4 Geologie und Untergrund 4.5 Ökomorphologie 4.6 Gewässerraum 4.7 Flora und Lebensräume Inventare/Lebensräume Auen- und Ufervegetation / Makrophyten 4.8 Fauna Fische/Zoobenthos Amphibien/Reptilien/Vögel/Säugetiere
<b>5</b>	<b>Rahmenbedingungen</b> 5.1 Landwirtschaft 5.2 Waldwirtschaft 5.3 Fischerei 5.4 Naturschutz 5.5 Archäologie/Denkmalschutz 5.6 Erholungsnutzung und Schifffahrt
<b>6</b>	<b>Revitalisierungskonzept</b> 6.1 Referenzzustand 6.2 Defizitanalyse 6.3 Leitbild, Entwicklungsziele und Handlungsgrundsätze 6.4 Schutzziel und Nutzungsdauer 6.5 Ökologisches Konzept 6.6 Wasserbaukonzept und Massnahmenplanung
<b>7</b>	<b>Revitalisierungsmassnahmen</b> 7.1 Beschreibung und Bemessung der einzelnen Massnahmen 7.2 Weitere Massnahmen im Uferbereich 7.3 Massnahmen: Übersicht
<b>8</b>	<b>Umweltauswirkungen</b>
<b>9</b>	<b>Kostenvoranschlag</b>
<b>10</b>	<b>Realisierung</b> 10.1 Logistik und Erschliessung 10.2 Termine
<b>11</b>	<b>Erfolgskontrolle</b>
<b>12</b>	<b>Unterhalt</b>

Tab. 1: Checkliste: Aufbau und Inhalt eines Technischen Berichts | Tab. 1: Liste de contrôle : Structure et contenu d'un rapport technique

## Literatur

Belser A., Dönni W., Dunand I., Govoni M., Haertel-Borer S., Könitzer C., Scapozza C., Thommen M., Weber S. [in Anhörung 2020]: Ökologische Anforderungen an Wasserbauprojekte gemäss Art. 4 Wasserbaugesetz [WBG] bzw. Art. 37 Gewässerschutzgesetz [GSchG]. Ein Modul der Vollzugshilfe Renaturierung der Gewässer. Bundesamt für Umwelt, Bern.

Delarze, R.; Gonseth, Y.; Galland, P. 1999: Lebensräume der Schweiz. Ökologie – Gefährdung – Kennarten. Ott Verlag Thun

Haberthür, M., Gmünder, M., Müller, V. 2015: Verfahren zur Ermittlung des potenziell natürlichen Uferraums stehender Gewässer. Ambio GmbH und Magma AG im Auftrag des Bundesamts für Umwelt

Haberthür, M., Helg, U. 2016: Bestimmung des potenziell natürlichen Uferraums PNU mittels GIS. Ingenieurbiologie 2/2016: 54-61

Niederberger, K., Rey P., Reichert, P., Schlosser, J., Helg U., Haertel-Borer, S., Binderheim, E., 2016: Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Seen. Modul: Ökomorphologie Seeufer. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1632

Niederberger, K., Sturzenegger, M. 2014: Wasserpflanzen-erhebungen: Methodik zur Erfassung der Wasserpflanzen- und Seegrundverhältnisse. Aqua & Gas 7/8, 2014: 66-77

Pfaundler M. et al. 2011: Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fließgewässer. Hydrologie – Abflussregime Stufe F [flächendeckend]. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1107: 113 S.

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

Tiefbauamt des Kantons Bern 2017: Fachordner Wasserbau. [https://www.bve.be.ch/bve/de/index/wasser/wasser/hochwasserschutz/fachordner\\_wasserbau.html](https://www.bve.be.ch/bve/de/index/wasser/wasser/hochwasserschutz/fachordner_wasserbau.html)

## Kontaktadresse

Christoph Iseli, dipl. Forsting. ETH  
Landschaftswerk Biel-Seeland  
Mattenstrasse 133  
2501 Biel/Bienne  
Tel. 032 328 11 33  
[ch.iseli@landschaftswerk.ch](mailto:ch.iseli@landschaftswerk.ch)

Bärbel Müller  
SBB Energie  
Industriestrasse 1  
3052 Zollikofen  
[Baerbel.mueller@sbb.ch](mailto:Baerbel.mueller@sbb.ch)



Christoph Iseli



Bärbel Müller

# Bautypen und deren Bemessung

Andreas Huber  
Christoph Iseli  
Teil 7

## Zusammenfassung

Im nachfolgenden Katalog werden verschiedene Typen von wasserbaulichen Massnahmen an Seeufern beschrieben. Für die gängigsten Bautypen werden Einsatzgebiet, Wirkungsweise und Bemessungsparameter erläutert. Konkrete Praxisbeispiele illustrieren zudem die technischen Angaben.

Der Katalog deckt das ganze Spektrum von wasserbaulichen Massnahmen ab und beschränkt sich nicht auf Revitalisierungsmassnahmen. Die Reihenfolge der beschriebenen Massnahmen folgt jedoch einem Gradienten von den 'harten' zu den 'weichen' Massnahmen. Die nachfolgende Tabelle gibt eine Übersicht über die beschriebenen Bautypen

## Keywords:

Wasserbau an Seeufern, Bautypen, Bemessungsgrundlagen

## Types de construction et leur dimensionnement

### Résumé

Le catalogue suivant décrit différents types de mesures d'aménagement hydraulique sur les rives lacustres. Pour les types de construction les plus courants, le champ d'application, le mode de fonctionnement et les paramètres de dimensionnement sont expliqués. Des exemples pratiques concrets illustrent également les données techniques. Le catalogue couvre tout l'éventail des mesures d'aménagement hydraulique et ne se limite pas aux mesures de revitalisation. Cependant, la séquence des mesures décrites suit un gradient allant de mesures « dures » à « douces ». Le tableau suivant donne un aperçu des types de construction décrits.

### Mots-clés :

Aménagement hydraulique au bord des lacs, types de construction, bases de dimensionnement

## Misure di ingegneria idraulica e dimensionamento

### Riassunto

Il seguente catalogo descrive vari tipi di misure di ingegneria idraulica lungo le rive lacustri. Per i tipi di costruzione più comuni, vengono spiegati il campo di applicazione, il funzionamento e i parametri di progettazione. Esempi pratici illustrano inoltre i dati tecnici.

Il catalogo copre l'intero spettro delle misure di ingegneria idraulica e non si limita alle misure di rivitalizzazione. Tuttavia, la sequenza delle misure descritte passa da misure più «dure» a misure più «morbide». La seguente tabella fornisce una panoramica dei tipi di misure descritti.

### Parole chiave:

ingegneria idraulica lungo le rive, tipi di misure edili, basi per il dimensionamento

<b>Massnahmentyp</b>	<b>Technische Randbedingungen</b>	<b>Hydraulische Wirkung</b>	<b>Ökologische Wirkung</b>	<b>Ästhetische Wirkung</b>
<b>Ufermauer</b>	Keine	Wellenreflexion und Kolkbildung	Zerstörung der Wasserwechselzone	Je nach Gestaltung sehr gut bis sehr störend
<b>Blockwurf, Blocksatz</b>	Keine	Wellenreflexion und Kolkbildung	Starke Reduktion der Wasserwechselzone	Je nach Gestaltung u.U. sehr störend
<b>Wellenbrecher (durchgehend)</b>	Geringe Uferneigung	Reduktion der Wellenenergie	Schaffung von Ruhigwasserzonen, Verbreiterung der Uferzonierung	Bei zu hoher Krone u.U. störend
<b>Wellenbrecher (unterbrochen)</b>	Geringe Uferneigung. Voraussetzung: Sedimenttransport	Akkumulation von Sediment (Bildung von Tombolos)	Hohe Uferdynamik, Schaffung von Ruhigwasserzonen, Verbreiterung der Uferzonierung	Bei zu hoher Krone u.U. störend
<b>Molen und Bühnen</b>	Moderate Uferneigung	Rückhalt des uferparallel transportierten Sediments	Hohe Uferdynamik, Verbreiterung der Uferzonierung	Je nach Gestaltung u.U. sehr störend
<b>Schwimmende Molen</b>	Hohe Wassertiefe	Dämpfung der Wellen	Kaum Wirkung	Je nach Gestaltung u.U. sehr störend
<b>Kiesschüttung, Kiesstrand</b>	Moderate Uferneigung, Buchtsituation	Erzwingen einer Brandung	Ablagerung von Schwemmgut möglich, guter Kleinlebensraum	Sanfter Übergang von Land zum Wasser. Gute Einpassung in die Landschaft
<b>Künstliche Riffs</b>	Geringe Uferneigung	Erzwingen einer Brandung, Reduktion der Wellenenergie	Schaffung von Ruhigwasserzonen, Verbreiterung der Uferzonierung	Gute Einpassung in die Landschaft
<b>Lahnungen Palisaden</b>	Geringe Uferneigung	Beschränkte Reduktion der Wellenenergie, Akkumulation von Sediment	Wichtiger Kleinlebensraum	Gute Einpassung in die Landschaft
<b>Sandvorspülung</b>	Geringe Uferneigung, Buchtsituation	Verzögerung der Erosion oder Schaffung seichter Wasserzonen	Potenzial für die Entwicklung von Schilfröhricht	Kaum sichtbar
<b>Schilfpflanzung</b>	Nur in Bereichen mit geringer Wellenbelastung	Beschränkte Reduktion der Wellenenergie und beschränkte Befestigung des Grundes	Wichtiger Lebensraum	Sehr gut
<b>Totholzstrukturen</b>	Nicht in exponierten Lagen	Keine	Förderung der Biodiversität	Je nach Situation gute Einpassung in die Landschaft

Type de mesures	Conditions techniques limites	Effet hydraulique	Impact écologique	Effet esthétique
<b>Mur de rive</b>	Aucune	Réflexion des vagues et formation des affouillements	Destruction de la zone de marnage	Très bon à très dérangeant selon l'aménagement
<b>Enrochement, Empierrement régulier</b>	Aucune	Réflexion des vagues et formation des affouillements	Forte réduction de la zone de marnage	Peut être très dérangeant selon l'aménagement
<b>Brise-lames (continu)</b>	Faible inclinaison des rives	Réduction de l'énergie houlomotrice.	Création de zones d'eau calme, élargissement du zonage des rives	Peut être dérangeant si la couronne est trop haute
<b>Brise-lames (discontinu)</b>	Faible inclinaison des rives. Condition préalable : transport de sédiments	Accumulation de sédiments (formation de tombolos)	Forte dynamique des berges, création de zones d'eau calme, élargissement du zonage des rives	Peut être dérangeant si la couronne est trop haute
<b>Digues et épis</b>	Inclinaison modérée des rives	Rétention des sédiments transportés parallèlement à la rive	Forte dynamique des berges, élargissement du zonage des rives	Peut être très dérangeant selon l'aménagement
<b>Digues flottantes</b>	Profondeur d'eau élevée	Atténuation des vagues	Impact faible	Peut être très dérangeant selon l'aménagement
<b>Remblai de graviers, plage de graviers</b>	Inclinaison modérée des rives, situation de crique	Déferlement des vagues, houle	Dépôt possible de débris flottants, bon petit habitat, biotope	Transition douce de la terre à l'eau. Bonne intégration dans le paysage
<b>Récifs artificiels</b>	Faible inclinaison des rives	Déferlement des vagues, réduction de l'énergie houlomotrice.	Création de zones d'eau calme, élargissement du zonage des rives	Bonne intégration dans le paysage
<b>Barrage à claire-voie, Palissade filtrante</b>	Faible inclinaison des rives	Réduction limitée de l'énergie houlomotrice, accumulation de sédiments	Petit habitat, biotope important	Bonne intégration dans le paysage
<b>Sable de reconstitution</b>	Faible inclinaison des rives, situation de crique	Retardement de l'érosion ou création de zones d'eau peu profonde	Potentiel de développement des roselières	A peine visible
<b>Plantation de roseaux</b>	Uniquement dans les zones où la charge des vagues est faible	Réduction limitée de l'énergie houlomotrice et fixation limitée du sol	Habitat important	Très bien
<b>Structures en bois mort</b>	Pas dans des zones exposées	Aucune	Promotion de la biodiversité	Selon la situation, bonne intégration dans le paysage

Tipo di misura	Condizioni tecniche	Effetto idraulico	Effetto ecologico	Effetto estetico
<b>Muri, arginature</b>	Nessuna	Respingono le onde e creano erosioni	Distruzione della zona riparia	Dipende dal design, da buono a molto impattante
<b>Scogliera, Gettata di massi (sciolti o posizionati)</b>	Nessuna	Respingono le onde e creano erosioni	Importante riduzione della zona riparia	Dipende dal design, può essere molto impattante
<b>Frangiflutti (continuo)</b>	Pendenza della riva bassa	Riduzione dell'energia delle onde	Creazione di zone di acqua calma, Estensione delle zone della riva	Se troppo alti possono dare fastidio
<b>Frangiflutti (intermittente)</b>	Pendenza della riva bassa Condizione: trasporto di sedimenti	Accumulo di sedimenti [a creare un tombolo]	Elevata dinamica costale, Creazione di zone di acqua calma, Estensione delle zone della riva	Se troppo alti possono dare fastidio
<b>Diga foranea, pennelli, deflettori</b>	Moderata pendenza spondale	Ritenzione dei sedimenti trasportati parallelamente alla riva	Elevata dinamica spondale, Estensione delle zone della riva	Dipende dal design, può essere molto impattante
<b>Dighe galleggianti</b>	Fondale profondo	Smorzare le onde	Praticamente nessuno	Dipende dal design, può essere molto impattante
<b>Riparto di ghiaia, spiaggia ghiaiosa</b>	Moderata pendenza spondale, baia	Forzare lo smorzamento delle onde	Possibile deposito di materiale flottante, Piccolo habitat	Transizione morbida tra terra-acqua, Buona integrazione nel paesaggio
<b>Riff/scogliera artificiale</b>	Pendenza della riva bassa	Forzare lo smorzamento delle onde, ridurne l'energia	Creazione di zone di acqua calma, Estensione delle zone della riva	Buona integrazione nel paesaggio
<b>Frangiflutto vegetato, palizzate</b>	Pendenza della riva bassa	Riduzione dell'energia delle onde limitata, Accumulo di sedimenti	Piccolo habitat	Buona integrazione nel paesaggio
<b>Ripascimento, riparto di sabbia</b>	Pendenza della riva bassa, baia	Rallentamento dell'erosione o creazione di zone poco profonde	Potenziale sviluppo di canneti	Appena visibili
<b>Formazione o piantumazione di canneti</b>	Solo in zone dove l'azione delle onde è debole	Limitate riduzione dell'energia delle onde e stabilizzazione del terreno	Habitat importanti	Molto buono
<b>Strutture in legno morto</b>	Non in zone esposte	Nessuno	Promozione della biodiversità	A dipendenza della situazione l'integrazione è buona

## 1. Ufermauer

Ufermauern werden häufig erstellt um eine Vorschüttung zum Gewässer abzugrenzen. Sie können auch als Stützmauern zwischen dem Gewässer und einem Verkehrsweg dienen. Die Uferlinie verschiebt sich bei veränderlichem Seestand kaum und bleibt etwa am gleichen Ort. Eine Ausnahme können Niederwasserstände machen, bei welchen ein trockener Strand vor der Mauer liegt [Abb. 1].

Mauern dämpfen die anlaufenden Wellen nicht wie ein flacher Strand, sondern reflektieren sie. Im Vorfeld der Mauer herrscht eine erhöhte Turbulenz, so dass sich keine Wasserpflanzen ansiedeln. Schräg die Mauer anlaufende Wellen induzieren uferparallele Strömungen, verbunden mit einem Sedimenttransport. Angrenzende Naturufer unterliegen infolge der Intensität dieser Wellenströmungen einer erhöhten Dynamik. Erosionen oder Auflandungen sind die Auswirkungen. Bei starkem Seegang an einem exponierten Standort können die vor der Mauer brechenden Wellen Druckschläge erzeugen. Die Spitzen erreichen einige bar und wirken auf das Bauwerk zerstörerisch. Besonders Fugen und Risse in der Mauer begünstigen die Sprengwirkung der eindringenden Druckschläge. Das Kriterium, ob Wellen vor der Mauer brechen, kann durch das Verhältnis der Wassertiefe  $h$  vor der Mauer zur Wellenhöhe  $H$  ausgedrückt werden [EAU 1985]:

$$h \leq 1.3 H$$

Sind die Wellen kleiner, so reflektieren sie ohne zu brechen.

Die Mauer hat folgenden bautechnischen Anforderungen zu genügen:

- Standfestigkeit gegenüber dem aktiven Erddruck der Hinterfüllung.
- Entwässerung der Hinterseite, so dass sich keine hydrostatischen Druckkräfte aufbauen können
- Ausreichende Fundamenttiefe und ein vorgeschütteter Kolkenschutz, so dass eine Unterkolkung durch den Wellenschlag und die Turbulenzen der Schiffsantriebe ausgeschlossen werden kann. Bei feinem Seegrund empfiehlt sich die Einlage einer Filterschicht.
- Ausreichendes Freibord bei hohen Seeständen, so dass das Hinterland nicht überschwappenden Wellen ausgesetzt ist

Es stellt sich die Frage nach dem Freibord, welches notwendig ist, damit die Wellen an der Mauerkrone nicht überschwappen. Bei reflektierenden Wellen verdoppelt sich die Amplitude  $H/2$  vor der Mauer. Der Wasserspiegel liegt dann um die Wellenhöhe  $H$  über dem Ruhewasserspiegel. Brechende Wellen hingegen können an der Mauer mehrere Meter hochspritzen [Abb. 2]. Um Spritzer seewärts abzuweisen kann die Mauer im oberen Teil auskragend ausgebildet werden [Abb. 3e].

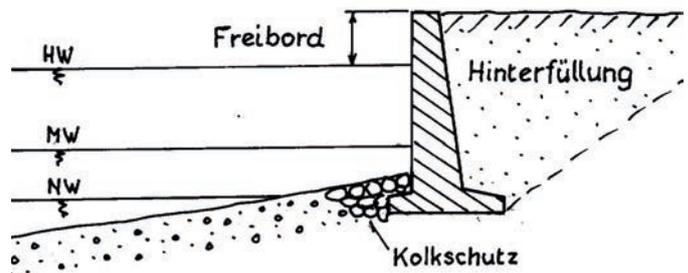


Abb. 1: Schnitt durch eine Ufermauer. Bei Niederwasser liegt ein Teil des Seegrundes trocken | Fig. 1: Coupe à travers un mur de rive. En période d'étiage, une partie du fond du lac est asséchée



Abb. 2: Brechende Meereswelle an einer mauerartigen Hafenanlage | Fig. 2: Vague déferlant sur un quai en forme de mur

Aus konstruktiver Sicht sind verschiedene Mauerprofile möglich. Mauern sind Massarbeiten, welche den örtlichen Gegebenheiten anzupassen sind.

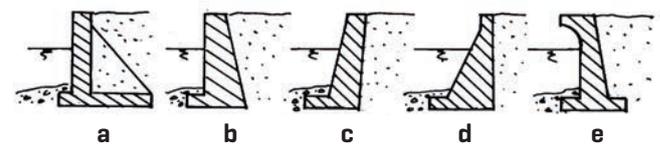


Abb. 3: Verschiedene Mauertypen. Eine dauerhafte Konstruktion setzt geotechnische und statische Berechnungen voraus | Fig. 3: Différents types de murs. Une construction durable nécessite des calculs géotechniques et statiques au préalable

## 2. Blockwurf, Blocksatz

Wie der Name sagt, handelt es sich beim Blockwurf eher um hingeworfene Steinblöcke [Abb. 4, Abb. 5]. Die Gewichte betragen mehrere 100 Kilogramm bis zu einzelnen Tonnen. Sorgfältig im Verband gesetzten Steine, gesamthaft als Blocksatz bezeichnet [Abb. 6], sind gegenüber dem Wellenangriff widerstandsfähiger, als ein Blockwurf gleich schwerer Steine, doch ist die Herstellung aufwändiger. Diese massiven Arten der Uferbefestigung schützen das hinterliegende Gebiet vor der Erosionskraft der Wassermassen.

Aus bautechnischer Sicht sollte zwischen den Blöcken und dem feinkörnigen Untergrund eine Filterschicht eingebracht werden, damit Ausschwemmungen durch

die Turbulenzen der anlaufenden Wellen ausgeschlossen sind und ein Absacken der Steinblöcke verhindert werden kann. Eine entscheidende Bedingung für die Haltbarkeit der Konstruktion gilt es zu beachten: Das Filterkriterium. Besteht der Untergrund des Blockwurfes oder des Blocksatzes aus feinkörnigem Material, was meistens der Fall ist, so sollte mindestens eine abgestufte Zwischenschicht, d.h. ein Filter vorgesehen werden. Möglich ist auch der Einsatz von Geotextilien [Gewebematten]. Sie sind wesentlich kostengünstiger als der Transport und das Ausbringen des voluminösen Filtermaterials. Im naturnahen Wasserbau werden Geotextilien allerdings gemieden, da sie bei einer allfälligen Freispülung als Fremdkörper störend in Erscheinung treten. Allenfalls finden sie bei technischen Bauwerken Anwendung.

Das Filterkriterium besagt, dass das feinste Korn der Oberschicht feiner sein soll, als das größte der Unterschicht. Die beiden Kornverteilungskurven sollen sich im Diagramm in horizontaler Richtung überlappen. Terzaghi hat die Bedingung wie folgt formuliert [Lang et.al. 1985]:

$$D_{15}/d_{85} < 4$$

Worin bedeuten:

$D_{15}$ : Durchmesser bei 15% Siededurchgang des Filtermaterials,

$d_{85}$ : Durchmesser bei 85% Siebdurchgang des abzufilternden Bodens.

So kann verhindert werden, dass Strömungen Körner aus einem feineren Boden in die Porenräume eines angrenzenden grobkörnigeren Boden bewegen.

Aufprallende Wellen werden an den Blöcken bis zu einem gewissen Grad gedämpft. Blockwürfe und Blocksätze kommen an steilen Ufern und wo wenig Platz vorhanden ist zur Anwendung. Aus biologischer Sicht ist der Wert dieser Uferbefestigungen gering.

Die Dimensionen der Blöcke richten sich nach der Höhe der Bemessungswelle und nach der Beschaffenheit des Steins. Das erforderliche Blockgewicht kann nach der Formel von Hudson berechnet werden [Bonnefille 1976]:

$$W = \frac{\rho_s H^3 \tan \alpha}{K_d \left( \frac{\rho_s}{\rho} - 1 \right)^3}$$

mit: W: Blockgewicht [t]  
 H: Höhe der Bemessungswelle [m]  
 $\rho_s$ : Dichte der Blöcke [t/m<sup>3</sup>]  
 $\rho$ : Dichte des Wassers [t/m<sup>3</sup>]  
 $\alpha$ : Böschungswinkel der Deckschicht [0]  
 $K_d$ : Dimensionsloser Formbeiwert

Der Formbeiwert  $K_d$  richtet sich nach den Eigenschaften der Blöcke:

Glatte und gerundete Natursteine:  $K_d = 2.4$

Scharfkantige gebrochene Blöcke:  $K_d = 4.0$

Brechen die Wellen vor Erreichen

des Blockwurfes, so sind diese Werte zu halbieren.

Gesetzte Steine, Blocksatz  $K_d = 7.0$

Die Böschungsneigung der Wellenbrecher beträgt häufig 2:3.

Kanalböschungen sind üblicherweise 1:3 bis 1:4 geneigt.

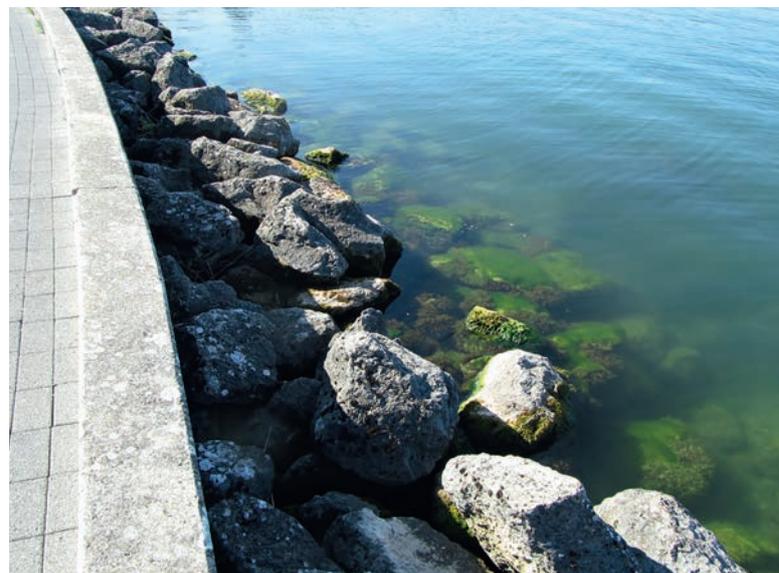


Abb. 4: Blockwurf zum Schutze einer Hafenjette bei Faaug am Murtnensee | Fig. 4: Enrochement afin de protéger une jetée près de Faaug sur le lac de Morat

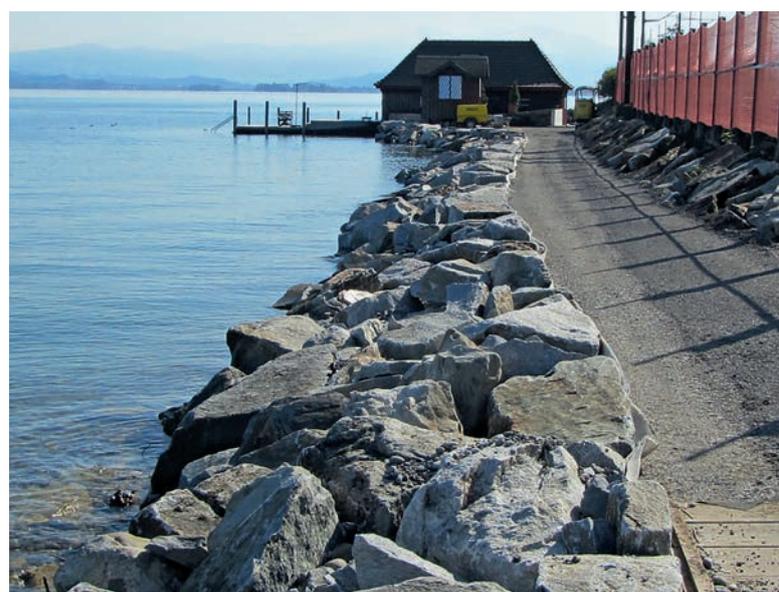


Abb. 5: Blockwurf zwischen See und Seeuferweg. Der Seegrund fällt hier stärker ab, so dass kein flacher Strand möglich ist. Die Konstruktion sichert zudem das Bahntrasse rechts im Bild | Fig. 5: Enrochement entre le lac et le chemin de rive. Le fond du lac descend plus abruptement ici, de sorte qu'une plage plate n'est pas possible. La construction sécurise également la voie à droite de la photo



Abb. 6: Blocksatz am Ufer des Zürichsees bei der Landiwiese in Zürich Wallishofen. Wegen ungenügender Filterschichten zum feineren unterliegenden Material sind die Steinquader stellenweise abgesackt. Wellenströmungen haben die Steine unterspült | Fig. 6: Empierrement sur la rive du lac de Zurich près de la Landiwiese à Zurich Wallishofen. En raison de l'insuffisance des couches filtrantes sur le matériau sous-jacent plus fin, les blocs de pierre se sont enfoncés par endroits. Le déferlement des vagues a affouillé les pierres

### 3. Wellenbrecher

Diese inselartigen länglichen Bauwerke aus groben Blöcken werden in einiger Entfernung zum Ufer erstellt. Die Konstruktion muss auch den grossen Wellen Stand halten. Meistens sind mehrere Wellenbrecher in einer Linie parallel zum Ufer angeordnet. Es kann von diesem Konzept abgewichen



Abb. 7: Wellenbrecher mit Tombolos an der Mittelmeerküste in Italien. Mit diesen baulichen Massnahmen kann der Badestrand vor der Erosion geschützt werden | Fig. 7: Brise-lames isolés avec tombolos sur la côte méditerranéenne en Italie. Grâce à ces mesures de construction, la plage peut être protégée contre l'érosion



Abb. 8: Die Wellenbrecher in Gals am Bielersee wurden 2002 erstellt | Fig. 8: Les brise-lames isolés de Gals sur le lac de Bielle a été construit en 2002



Abb. 9: Dieselben Wellenbrecher in der bathymetrischen Aufnahme von 2016. Die durch die Wellenbrecher verursachten Auflandungen sind messbar [Geoportal des Kantons Bern] | Fig. 9: Les mêmes brise-lames dans le relevé bathymétrique de 2016. Les atterrissements causés par les brise-lames sont mesurables [Géoportail du canton de Berne]

werden, wie Abb. 7 zeigt. Die Funktionsweise besteht darin, die Wellen vor dem Erreichen des Ufers abzufangen und zum Brechen zu bringen. Die durch die Lücken zwischen den Wellenbrechern gegen das Ufer vordringenden Wellen drehen infolge der Beugung, des Diffraktionseffektes, seitwärts ab. Sie verlieren an Höhe und dringen nicht bis zur Uferlinie vor. Ist das Wasser wegen starker Turbulenzen der Wellenströmungen mit feinen Feststoffen angereichert, so setzt sich dieses Material bei abnehmender Turbulenz im

Wellenschatten der Wellenbrecher ab. Am Ufer bilden sich Auflandungen, die sog. Tombolos (Abb. 7). Die Ufererosion kann so verhindert werden. Diese Bauweise kann auch an Seen angewandt werden (Abb. 7 und 8), sofern die Flachwasserzone ausreichend breit ist und ein wellenbedingter Feststofftransport besteht.

#### 4. Molen und Buhnen

Molen und Buhnen sind dammartige Bauten, welche vom Ufer abgehend seewärts gerichtet sind. Molen ragen aus dem Wasser und sind begehbar. Im Grundriss sind sie oft gekrümmt und dienen dazu das Innere des Hafens von der Wellenunruhe abzuschirmen. Die Kronen von Buhnen dagegen tauchen seewärts ab. Mit Ausnahme der Basis werden Buhnen überspült. Gefährdete Uferbereiche werden vor der Dynamik der Wellen und der Erosion geschützt, indem sie uferparallele Strömungen und den uferparallelen Sedimenttransport behindern (Abb. 10).

Verschiedene Konstruktionen sind üblich: geschüttete Bauwerke, Fangdämme, massive mauerartige Molen (Abb. 12)



Abb. 10: Molen an der Küste der Insel Nordeney, Nordsee. Die uferparallelen Brandungsströmungen, welche den Sedimenttransport und den Uferrückgang bewirken, werden verhindert | Fig. 10: Jetées sur la côte de l'île Nordeney, en mer du Nord. Les courants de vagues parallèles au rivage, qui provoquent le transport de sédiments et le recul du rivage, sont empêchés

sowie Kombinationen davon, Faschinen und Palisaden aus Holzpfählen.

Mittels Molen und Buhnen werden die uferparallelen Brandungsströmungen und der damit verbundene Sedimenttransport gebremst (Abb. 11 und 13). Um den uferparallelen Sedimenttransport ganz zu unterbinden, sollten Molen und Buhnen für die Strömungen undurchlässig sein. Die Ausführungsformen sind vielfältig. Wenn sie bis in eine Wassertiefe erstellt werden, bei der auch die Strömungen



Abb. 11: Molen am Neuenburgersee zur Verminderung der Wellenerosion. Deutlich ist die Haldenkante zwischen dem hellen Flachwasser und dem dunklen Tiefwasser erkennbar (map.geo.admin.ch) | Fig. 11: Des jetées sur le lac de Neuchâtel pour réduire l'érosion par les vagues. Le mont est clairement visible entre les eaux claires peu profondes et les eaux sombres profondes (map.geo.admin.ch)

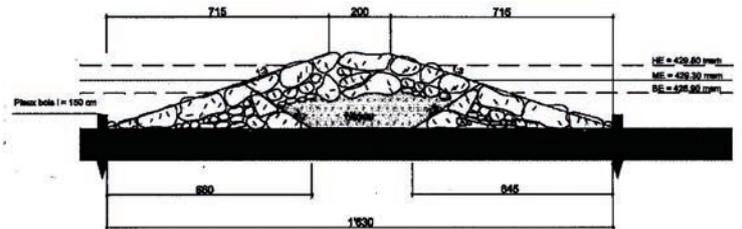


Abb. 12: Querschnitt einer Mole aus Blocksatz am Südufer des Neuenburgersees (DFEFP 2004). Der Querschnitt betrifft die lange Mole in Abb. 11, die kurzen Molen wurden in früheren Jahren erstellt | Fig. 12: Coupe transversale d'une digue en blocs sur la rive sud du lac de Neuchâtel (DFEFP 2004). La coupe transversale concerne la longue jetée de la Fig. 11, les jetées courtes ont été construites dans les années précédentes.



Abb. 13: Nach dem Rückbau des Blockwurfes beim Strandbad Erlach (Bielersee) wurde das Ufer abgeflacht und mit einer Kiesschüttung gesichert. Mehrere Buhnen sorgen dafür, dass der Kies nicht seitlich verlagert wird | Fig. 13: Après le démantèlement de l'enrochement à la plage de Cerlier (lac de Bièvre), la rive a été aplanie et consolidée par un remblai de graviers. Plusieurs épis veillent à ce que le gravier ne soit pas déplacé latéralement

grosser Wellen das Sediment am Seegrund nicht mehr mobilisieren können, unterbinden sie den uferparallelen Sedimenttransport vollständig oder leiten diesen in die Tiefenwasserzone ab, was u. U. negative Auswirkungen auf die Feststoffbilanz der angrenzenden Uferbereiche hat.

## 5. Schwimmende Mole

Eine Sonderausführung sind die schwimmenden Molen. Sie kommen bei Häfen zum Einsatz, wo die Seetiefe rasch zunimmt, an Steilufern also, wo keine Schüttungen möglich sind. Die Boote im Hafen werden von den schwimmenden Molen vor starken Wellen geschützt.

Schwimmolen setzen sich aus einer Anzahl hohler, pontonähnlicher Betonelementen von 5 bis 10 m Länge zusammen, welche durch Spannkabel miteinander verbunden sind. Die Wandstärke sollte mindestens 15 cm betragen. Bei den meisten Anlagen sind die Elemente 4 bis 5 m breit und die Höhe misst ca. 2.0 bis 2.8 m bei etwa 0.8 m Freibord [Abb. 14 und 15]. An ihren Enden sind die Molenelemente durch Querwände abgeschottet und können



Abb. 15: Gekrümmte Schwimmole bei Hilterfingen am Thunersee [map.geo.admin.ch] | Fig. 15: Jetée flottante courbée près de Hilterfingen sur le lac de Thoune [map.geo.admin.ch]

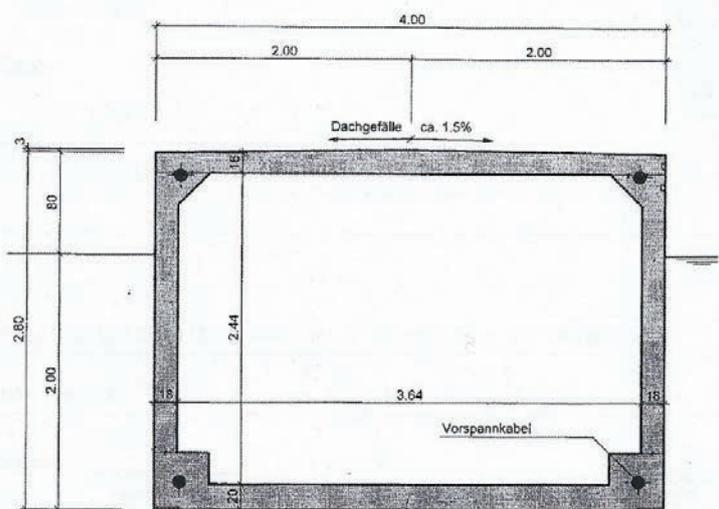


Abb. 14: Typischer Querschnitt einer Schwimmole | Fig. 14: Coupe transversale typique d'une jetée flottante

ausgeschäumt werden, dies um bei einer Beschädigung ein Absinken zu verhindern.

Bei seitlich auftreffenden Wellen neigen die Molen zu Eigenschwingungen und Schaukelbewegungen quer zur Längsachse. In diesem Zustand erfüllen sie den Zweck, das Hafenninnere gegen die anlaufenden Wellen abzuschirmen, nicht mehr. Um dem länglichen Schwimmkörper Stabilität gegen diese Schwingungen zu verleihen, sollten die aneinander gekoppelten Molenelemente im Grundriss in einer polygonalen Form oder in einem Bogen angeordnet sein. Die Stabilität gegen seitliche Schaukelbewegungen wird so gewährleistet.

Stürme, aber auch die häufige Einwirkung von Schiffswellen beanspruchen die Schwimmolen stark. Insbesondere bei längeren und hohen Wellen wirken starke Biege- und Torsionsmomente auf die Konstruktion. Diese Dynamik, mit ihren zahlreichen Lastwechseln, muss in den Berechnungen berücksichtigt werden, sollen nicht vorzeitig Ermüdungserscheinungen auftreten. Die Korrosion der Spannkabel und Verbindungsteile ist durch periodische Kontrollen besonders zu beobachten. Die Lebensdauer der Schwimmolen ist erfahrungsgemäss auf 30 bis 40 Jahre begrenzt.

## 6. Kiesschüttung, Kiesstrand

Für Kiesstrände, die dem Angriff der Wellen Stand halten sollen, gilt grundsätzlich: Je höher die Wellen und je steiler das Ufer, umso gröberes Kies ist erforderlich. Sollen erosionsgefährdete Ufer, die aus feinerem Material beschaffen sind, stabilisiert werden, so bietet sich eine Überschüttung aus einer gröberen Sand-Kies-Mischung an. Entscheidend für die Stabilität sind die Durchmesser der groben Komponenten. Während die Feinteile von den Wellen mobilisiert und von den Strömungen abtransportiert werden, bilden die grossen Körner eine Deckschicht [Abb. 16] und schützen die unterliegenden feinen Fraktionen vor weiterer Erosion. Dieser Effekt kann auch bei Fliessgewässern beobachtet werden, wo die Kiesbänke an der Oberfläche gröber strukturiert sind als darunter. In der Fachsprache wird dieser Zustand als latente Erosion bezeichnet: Wäre nicht diese Abpflasterung vorhanden, so würde die Kiesbank bzw. der Strand abgetragen. Geeignetes Schüttmaterial kann mit Hilfe des Diagramms in Abb. 17 gewählt werden.



Abb. 16: Sauberes Schüttmaterial. An der Oberfläche überwiegen die groben Komponenten und schützen das unterliegende Feinmaterial vor der Erosion | Fig. 16: Matériau en vrac propre. En surface, les composants grossiers prédominent et protègent les matériaux fins en-dessous contre l'érosion

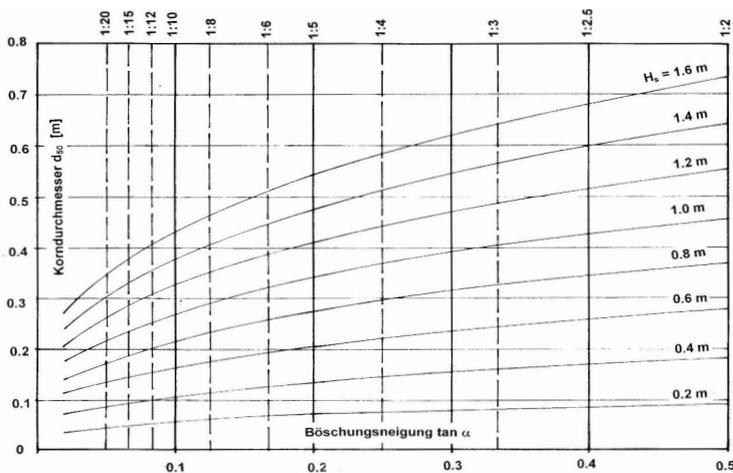


Abb. 17: Massgebender Durchmesser  $D_{50}$  des Schüttmaterials in Abhängigkeit der Böschungsneigung  $\tan \alpha$  und der Höhe  $H_s$  der Bemessungswelle für den Fall eines stabilen Ufers. Ist eine gewisse Uferdynamik erwünscht, so kann  $D_{50}$  kleiner gewählt werden (Huber 2015) | Fig. 17: Diamètre normatif  $D_{50}$  du matériau en vrac en fonction de l'inclinaison de la pente  $\tan \alpha$  et de la hauteur  $H_s$  de la vague de dimensionnement pour le cas d'une rive stable. Si une certaine dynamique de la rive est souhaitée, un diamètre plus petit que  $D_{50}$  peut être choisi (Huber 2015)

Beobachtungen von Siessegger und Teiber [2001] am Bodensee haben einen Zusammenhang zwischen Böschungsneigung und Korndurchmesser ergeben, der in Abb. 18 dargestellt ist. Die Angaben beziehen sich auf die dominante Kornfraktion [60%-Anteil]. Die Wellenexposition der Beobachtungsstandorte bleibt bei dieser Näherungsmethode unberücksichtigt. Immerhin ist schon die Kenntnis der Korngrößenbereiche eine Projektierungshilfe.

Böschungsneigungen	Material / (Korngrössendurchmesser)
	Mauerwerk
1 : 1 - 1 : 2	Vorarlberger Blöcke (30 - 100 cm)
1 : 2 - 1 : 4	Blockwerk (200 - 300 mm)
1 : 4 - 1 : 12	Grobkies (20 - 200 mm)
1 : 12 - 1 : 20	Mittelkies (6,3 - 63 mm)
1 : 20 - 1 : 30	Feinkies (2 - 20 mm)
1 : 30 - 1 : 50	Grobsand (0,2 - 2 mm)
1 : 50 - 1 : 75	Feinsand (0,02 - 0,2 mm)
1 : 75 - 1 : 100	Silt (0,01 - 0,063 mm)
< 1 : 100	Ton (< 0,01 mm)

Abb. 18: Zusammenhang zwischen Neigung der Uferböschung und Korngrösse des Ufersubstrats [Siessegger & Teiber 2001, verändert]. Lokal können deutliche Abweichungen beobachtet werden | Fig. 18: Corrélation entre la pente de la berge et la taille des grains des matériaux [Siessegger & Teiber 2001, modifié]. Des écarts significatifs peuvent être observés localement

Erhebungen an mehreren Schweizer Seen haben ergeben, dass der Seegrund an Flachufern ab der Uferlinie meistens mit einer Neigung zwischen 1:8 und 1:20 abfällt (Billington 1991). Das angetroffene Material ist sandig-kiesig. Messungen der Korngrößenverteilung an Kiesufern des Bielersees haben gezeigt, dass natürliche und stabile Kiesufer ein sehr breites Korngrössenspektrum aufweisen (EROSSEE 2003). Für Kiesschüttungen wird deshalb als Abbild der Natur meistens eine Sand-Kies-Mischung gewählt (Abb. 19). Wie Erfahrungen gezeigt haben, sind Kiesschüttungen aus einheitlichen Körnungen sehr instabil. Untersuchungen an Renaturierungsflächen am Bodensee haben gezeigt, dass die Vegetationsbesiedlung und das Vorkommen von Laufkäfern auf sandig-kiesigen Substraten mit breitem Korngrössenspektrum bedeutend höher

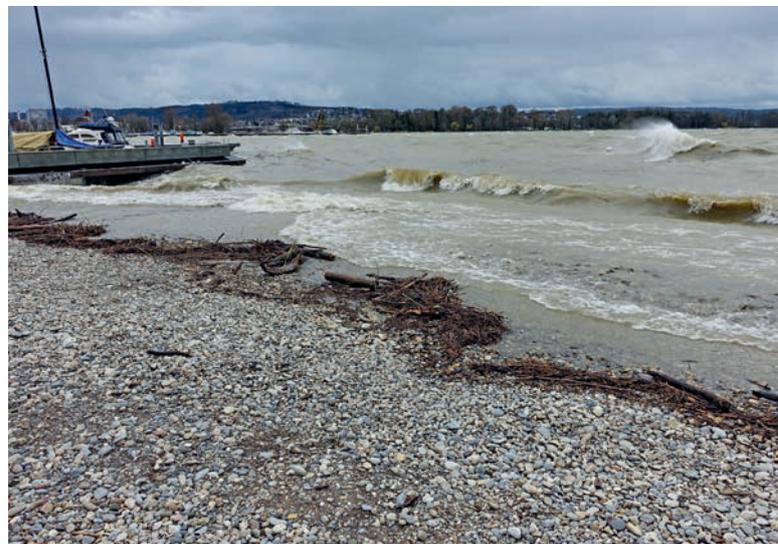
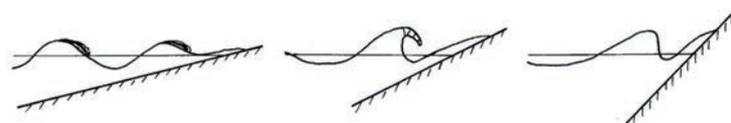


Abb. 19: Kiesschüttung aus Wandkies, Seeufer Beurivage, Biel | Fig. 19: Remblais de gravier issu de tout-venant, Beurivage au bord du lac, Bienne

sind als auf einheitlichem Grobkies- und Geröllsubstrat. Auch die Makrozoobenthos-Besiedlung und die Jungfisch-Abundanz im überschwemmten Teil der Renaturierungen reagieren positiv auf ein breites Korngrößenangebot [Ostendorp et al. 2008].

Eine praktische Frage, die sich bei Stränden und Uferböschungen stellt, ist diejenige nach der zu erwartenden Wellenaufbauhöhe R. Diese bezieht sich auf den Ruhewasserspiegel. Wie zahlreiche Modellversuche ergeben haben [Schüttrumpf 2001], hängt die Aufbauhöhe einerseits von der Böschungsneigung  $\alpha$  und andererseits von der Steilheit H/L der anlaufenden Welle ab. Beide Parameter sind in der Brecherzahl [Iribaren-Zahl] enthalten, welche als Merkmal für die Welle vor der Uferböschung steht [Abb. 20].



Schwallbrecher  $\xi \leq 0.5$       Sturzbrecher  $0.5 \leq \xi \leq 3.3$       Reflexionsbrecher  $3.3 \leq \xi$

Abb. 20: Die 3 Grundtypen brechender Wellen | Fig. 20: Les 3 principaux types de vagues déferlantes

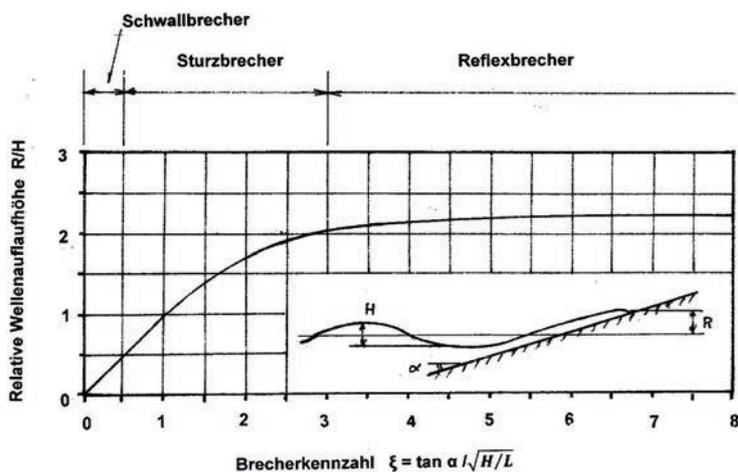


Abb. 21: Relative Wellenaufbauhöhe R/H in Funktion der Brecherkennzahl  $\xi$  | Fig. 21: Hauteur relative de montée des vagues R/H en fonction de l'indice de déferlement  $\xi$

$$\xi = \tan \alpha \sqrt{H/L}$$

Hierin ist H die Höhe der Bemessungswelle und L deren Länge. Am Ufer können grundsätzlich drei Arten brechender Wellen unterschieden werden: Schwallbrecher, Sturzbrecher und Reflexionsbrecher.

Der Zusammenhang zwischen relativer Wellenaufbauhöhe R/H und der Brecherkennzahl  $\xi$  ist im Diagramm Abb. 21 dargestellt. Aus der Definition der Brecherkennzahl folgt:

Die relative Wellenaufbauhöhe R/H nimmt mit der Böschungsneigung  $\alpha$  und mit abnehmender Wellensteilheit H/L zu.

Steile Wellen [grosses Verhältnis H/L] an flachen Stränden [kleiner Neigungswinkel  $\alpha$ ] erreichen hingegen geringere Aufbauhöhen H/R. Sie verlieren ihre Energie in der Brandung vor dem Auflaufen.

Schwallbrecher sind an flachen, und Sturzbrecher an stärker geneigten Stränden anzutreffen: Reflexionsbrecher entstehen an steilen Uferböschungen und an Mauern.

Aus dem Kurvenverlauf geht hervor, dass die relative Aufbauhöhe der Schwallbrecher am geringsten ist. Sie treten an flachen Stränden auf und verlieren an Energie und Aufbauhöhe, bevor sie die Uferlinie erreicht haben. Sturzbrecher können am Ufer bis zur doppelten Wellenhöhe auflaufen und Reflexionsbrecher schliesslich erheben sich bis auf das 2.2-fache der Wellenhöhe über dem Ruhewasserspiegel. An senkrechten Ufermauern und Felswänden können sich die Wellen bei seichtem vorgelagertem Flachwasser noch wesentlich höher aufbäumen [Abb. 2]

### 7. Künstliche Riffs

Bei starker Wellenexposition kann an feinkörnigen Stränden die Erosionstendenz besonders ausgeprägt sein. Ist diesem Strand ein Flachwasser vorgelagert, so bietet sich die Möglichkeit, im seichten Wasser in einer gewissen Entfernung vom Ufer ein Riff aus größerem Material, das den Wellen Stand hält, zu schütten [Abb. 22]. Mit diesen wallartigen und uferparallelen Riffs wird die Wassertiefe örtlich reduziert, so dass die anlaufenden Wellen über der Kante des Riffs brechen und einen erheblichen Teil der Energie verlieren.



Abb. 22: Zwei geschüttete Riffs am Seeuferweg Richterswil – Wädenswil. Im Schatten dieser Riffs sind die ankommenden Schiffswellen deutlich abgeschwächt | Fig. 22: Deux récifs déversés sur le chemin de rive Richterswil – Wädenswil. À l'ombre de ces récifs, les vagues arrivantes sont nettement atténuées

Zur Bemessung ist folgende Gesetzmässigkeit zu beachten: Im seichten Wasser bricht eine Welle und verliert einen erheblichen Teil der Bewegungsenergie, sobald ihre Höhe das 0.78-fache der Wassertiefe übertrifft. Brandende Wellen am Strand bezeugen es. Dieser Effekt kann nutzbar gemacht werden, um die Wellen bereits in einiger Entfernung vom Ufer zu dämpfen. Sollen beispielsweise nur noch Wellen von weniger als 30 cm Höhe das Ufer erreichen, so sollte die Kante des Riffs höchstens 40 cm unter dem Seespiegel liegen. Zu beachten sind die möglichen Spiegelschwankungen. Entsprechend ist das Riff zu schütten.

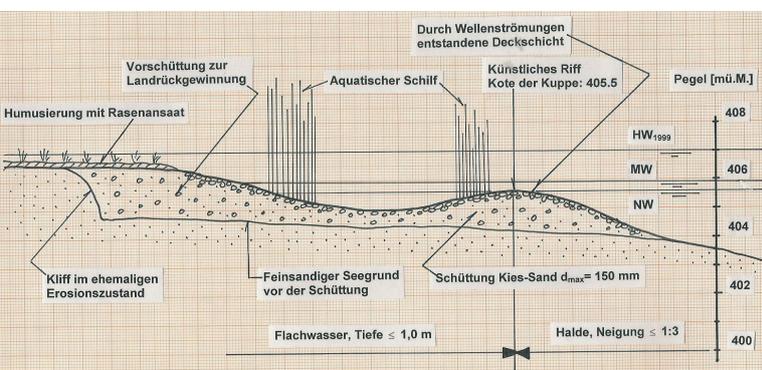


Abb. 23: Schnitt durch ein künstliches Riff. Dieses Beispiel befindet sich am Zürcher Obersee vor der Insel Bätzimatt, deren feinsandiger Strand vor der Wellenerosion geschützt werden musste [Huber und Jud 2009] | Fig. 23: Coupe à travers un récif artificiel. Cet exemple se trouve à l'Obersee à Zurich, devant l'île de Bätzimatt, dont la plage de sable fin a dû être protégée de l'érosion par les vagues [Huber et Jud 2009]

Überflutete Wellenbrecher und ausgedehnte Riffs wirken nicht nur stärker auf die Wellen ein, weil sie diese zum Brechen bringen, sondern zusätzlich, weil sie die Wellen wegen der Grundberührung der Wellenströmung bremsen. Bemessungsgrundlagen dazu finden sich in Silvester [1974]. Anstatt eine grobe künstliche Deckschicht zu schütten, besteht die Möglichkeit, eine Sand-Kies Mischung zu verwenden, deren Grösstkorn den Wellen widersteht. Die Deckschicht bildet sich im Laufe der Zeit. Allerdings ist mit einem gewissen Materialabtrag von einigen cm am Riff zu rechnen, der im Voraus durch Höherschüttung zu kompensieren ist. Ein praktisches Beispiel zeigt Abb. 23.

## 8. Lahnungen

Als Lahnungen werden durchlässige Wellenbrecher aus Holz- und Astmaterial bezeichnet, welche die Wellenbewegung durch Verwirbelung beruhigen, um so erosionsgefährdete Ufer vor den Wellen zu schützen. Sie wirken als Sedimentfallen, indem suspendiertes Sediment durch das Bauwerk hindurch gespült wird und sich in der wellenberuhigten Zone ablagern kann. Dadurch erfolgt eine Auflandung der Flachwasserzone landseits der Lahnung.



Abb. 24: Der Bau von Lahnungen erfolgt vorwiegend in Handarbeit [Lüscherz, Bielersee] | Fig. 24: La construction des barrages à claire-voie se fait principalement à la main [Lüscherz, Lac de Bienne]

Lahnungen werden im Flachwasser parallel zum Ufer bei Wassertiefen nicht über 1.2 m errichtet [Abb. 24]. Sie bestehen aus zwei parallelen Pfahlreihen, die etwa 0.5 bis 0.6 m auseinander liegen. In der Reihe beträgt der Zwischenabstand 0,8 m. Für die Pfähle mit einem Durchmesser von ca. 0.15 m und einer Länge von 3 m wird vorzugsweise das Holz der Weisstanne verwendet. Die Pfähle werden von einem Schiff aus mittels eines Rammbärs 1.5 m in den Seegrund gerammt. Zwischen den Pfählen werden Weidenzweige eingelegt. Die Zweige werden anschliessend dicht gepackt und mit Draht, welche an den Pfählen befestigt wird, niedergebunden.

Die Lahnung darf aus statischen Gründen maximal 1 bis 1,2 m hoch gebaut werden. Die Kronenhöhe der Weidenpackung liegt auf dem mittleren Sommerwasserstand. Damit wird erreicht, dass die Weidenzweige während der warmen Jahreszeit meist ganz unter Wasser liegen, was ein allzu schnelles Verrotten und damit Losewerden der Packung verhindert. Entscheidend für Wirkung und Dauerhaftigkeit ist, wie dicht das Zweigmaterial gepackt wird. Aus diesem Grund muss auf eine gute Qualität der Zweige geachtet werden. Für den Bau der Lahnungen werden deshalb ausschliesslich Weidenruten von Kopfweiden verwendet. Optimal sind drei- bis fünfjährige Weidenzweige von Kopfweiden. Kopfweiden sind zudem ein ökologisch wertvolles Element der traditionellen Kulturlandschaft und bereichern das landschaftliche Bild. Die Lahnungen werden in Elementen von 50 bis 100 m Länge gebaut. Bei längeren zu schützenden Uferabschnitten sind mehrere Lahnungen erforderlich. Die Lahnungsenden überlappen sich um mehrere Meter. Der Abstand der beiden Lahnungen sollte geringer sein als die Überlappungslänge, damit die gegen das Ufer vordringenden Wellen von der Wellendiffraktion abgehalten werden können. Die beschränkte Lahnungslänge ist durch die Fischgängigkeit begründet und letztere wird durch die Unterbrüche bei den Überlappungen gewährleistet [Iseli 1995].

Im Rahmen des Forschungsprojekts EROSEE ([www.erosee.org](http://www.erosee.org)) wurden verschiedene In-Situ-Messungen sowie physikalische und numerische Modellierungen mit Lahnungen und Palisadenlahnungen durchgeführt. Dabei wurde untersucht, wie sich verschiedene Konstruktionsarten auf die Wellendämpfung auswirken. Das Dämpfungsvermögen wird durch den sog. Transmissionskoeffizienten  $KT$  ausgedrückt, welcher das Verhältnis der Wellenhöhe der transmittierten Wellen zu jener der ankommenden beschreibt. Lahnungen, wie sie am Bielersee erstellt wurden, wiesen Transmissionskoeffizienten  $KT$  zwischen 0.3 und 0.4 auf [Müller & Schmocker 2005]. Das bedeutet, dass sie die Wellenhöhe um 60–70% reduzieren. Palisadenlahnungen dagegen, wie sie am Bielersee in Täuffelen und Lüscherz gebaut wurden, erreichen einen  $KT$  von lediglich 0.7–0.8 [Sayah et al. 2005]. Eine frisch erstellte Lahnung weist eine Durchlässigkeit oder Porosität von ungefähr 25% auf [Abb. 25]. Die Füllung der Lahnungen mit Weidenzweigen zersetzt sich jedoch im Laufe der Jahre so, dass ihre Porosität nach drei Jahren rund 50% beträgt [Müller & Schmocker 2005]. Mit zunehmender Porosität steigt der Transmissionskoeffizient überproportional und das Dämpfungsvermögen der Lahnung lässt stark nach, bis es nach vier Jahren unbedeutend wird. Die Lahnungen müssen deshalb regelmässig unterhalten werden. Es ist anzustreben, die einzelnen Elemente in einem Rhythmus von 3 Jahren zu unterhalten und mit Wei-



Abb. 25: Lahnungen dämpfen die Wellen und wirken bei starkem Wellengang als Sedimentfallen [Erlach, Bielersee] | Fig. 25: Les barrages à claire-voie amortissent les vagues et agissent comme des pièges à sédiments en cas de forte houle [Erlach, lac de Biemme]

denzweigen aufzufüllen. Der Rhythmus für die Erneuerung der Fichtenpfähle beträgt ca. 15 Jahre.

Lahnungen sind bei feinkörnigem Seegrund und genügender Sedimenttransportdynamik wirkungsvolle Bauwerke gegen die Ufererosion. Sie eignen sich für ausgedehnte Flachwasser und ein gemässigttes Wellenklima. Am Bielersee wurden Lahnungen erfolgreich erstellt, am Neuenburgersee hingegen hat sich dieser Uferschutz nicht bewährt,

denn das Wellenklima ist zu rau. Die Unterhaltsarbeiten sind jedoch aufgrund des hohen Rhythmus sehr aufwändig.

### Palisadenlahnungen

In Täuffelen und Lüscherz wurden anstelle von Lahnungen mit Weidenfaschinen Lahnungen als mehrreihige Palisaden erstellt [Abb. 26]. Dabei wurden parallel zur Uferlinie Holzpfähle entweder mit einem Bagger oder mit Hilfe einer Rammkatze bis zur erforderlichen Einbindetiefe in den Seeboden gerammt. Die Holzpfähle wurden in drei Reihen und versetzt so angeordnet, dass der Abstand der einzelnen Pfähle untereinander möglichst klein war. Palisadenlahnungen sind sehr dauerhaft und benötigen keinen Unterhalt. Es zeigte sich jedoch, dass die wellen-



Abb. 26: Palisadenlahnung in Lüscherz [Bielersee] | Fig. 26: Palissade filtrante à Lüscherz [Lac de Biemme]

dämpfende Wirkung mit rund 20–30% deutlich schwächer ist als diejenige von Weidenlahnungen [Sayah et al. 2005].

## 9. Sandvorspülung

Sandvorspülungen werden ausgeführt, um der Ufererosion entgegenzutreten. Wie der Begriff ausdrückt, wird feinkörniges Material in einem Flüssigkeitsstrom befördert, der sich etwa aus 30% Sand und 70% Wasser zusammensetzt. Das feine Material wird mit einem Saugbagger in grösseren Tiefen vom Seegrund abgesaugt und über eine schwimmende Leitung ins Ablagerungsgebiet transportiert, also ins Flachwasser, wo der natürliche Materialabtrag ersetzt werden muss [Abb. 27].

Das Verfahren verhindert nicht die Ursachen der Erosion, es wirkt lediglich den unerwünschten Folgen der Erosion, insbesondere dem Uferrückgang entgegen. Bekannt sind die Vorspülungen an den Deutschen Inseln Sylt und Nordney. Auch in der Schweiz sind z.B. am Bielersee Sandvorspülungen durchgeführt worden. Allerdings erfolgten diese aufgrund von notwendig gewordenen Ausbaggerungen und nicht als eigenständige Vorhaben zur Uferaufwertung.



Abb. 27: Saugbagger bei der Ausbaggerung des Hafens Mörigen (Bielersee) |  
Fig. 27: Dragage aspiratrice lors du dragage du port de Mörigen (lac de Bièvre)

Grundsätzlich ist das Ablagern von Material auf dem Seegrund gemäss der Gesetzgebung nicht gestattet. Eine Verwendung des ausgebaggerten Sedimentes in der Flachwasserzone kann nur gerechtfertigt werden, wenn diese durch die Ablagerung eine ökologische Aufwertung erfährt [Art. 39 GSchG]. So ist es z.B. möglich, durch eine Sedimentspülung die Standortbedingungen für das Wasserschilf zu verbessern und/oder Uferbereiche mit Grunderosion zumindest temporär zu sanieren (Abb. 28). Hafensedimente sind im Allgemeinen sehr feinkörnig. Bei der Ausbaggerung mit einem Saugbagger werden sie mit Wasser vermischt und anschliessend durch schwimmende Rohre zur Ablagerungsstelle gepumpt. Die maximale Transportdistanz beträgt mit den üblichen Geräten nur wenige 100 Meter. Am Zielort lagern sich die Feststoffe auf dem Seegrund ab. Die feinsten Fraktionen bleiben suspendiert und werden als Trübung von der Strömung weiterver-



Abb. 28: Fertig ausgeführte Sandvorspülung bei tiefem Wasserstand. Das Material wurde im Schutz einer Lahnung in eine Bucht gepumpt (Erlach, Bielersee) |  
Fig. 28: Sable de reconstitution fini à faible niveau d'eau. Le matériel a été pompé dans une crique protégée par un barrage à claire-voie (Cerlier, lac de Bièvre)

frachtet. Die gröberen Feststoffe sinken je nach Korngrösse schneller oder weniger schnell ab und bilden eine weiche Sedimentschicht, welche sich erst nach längerer Zeit absetzt und fester wird.

Dieser Ablagerungsprozess kann jedoch nur stattfinden, wenn der Ablagerungsort vor Strömungen und stärkerer Wellenbelastung geschützt ist. Idealerweise liegt er in einer Bucht und wird durch eine Lahnung o. dgl. zumindest vorübergehend vor Wellen geschützt. Ohne einen solchen Schutz besteht die Gefahr, dass das frisch abgelagerte und noch nicht konsolidierte Material durch Wellen aufgewirbelt und anschliessend durch die windinduzierten Strömungen uferparallel transportiert wird, was u.U. zu unerwünschten Ablagerungen in strömungsunterliegenden Buchten oder Häfen führen kann.

Damit eine seeinterne Umlagerung von Sedimenten bewilligt werden kann, sind ausserdem folgende Bedingungen zu erfüllen:

- Das zu verlagernde Material darf nicht mit Schwermetallen oder Organozinn-Verbindungen belastet sein. Der entsprechende Nachweis ist durch ein Bodenlabor zu erbringen.
- Die maximale Höhe der Auffüllung muss unterhalb des mittleren Niederwasserstandes bleiben [keine Landgewinnung].
- Es dürfen keine Vorkommen geschützter Arten durch Überfüllung zerstört werden.

## 10. Schilfpflanzung

Mit Schilfpflanzungen kann der natürliche Charakter der Flachufer zurückgewonnen werden. Damit das Projekt zum Erfolg wird, sind die Eigenheiten des Schilfes zu berücksichtigen (vgl. Egger & Brunner 1986, Iseli 1995): Die Ansiedlung von Schilf im Wasser unterscheidet sich grundsätzlich von Schilfpflanzungen am Ufer, welche mit Rhizompflanzungen oder Halmstecklingen relativ einfach durchgeführt werden können. Das Schilf als eigentliche Landpflanze kann natürlicherweise die Flachwasserzone nur vom Ufer aus besiedeln, indem die Rhizome allmählich seewärts wachsen. Weil einerseits die Ufer in den meisten Fällen bereits durch eine Vegetation «besetzt» sind und andererseits die Uferlinie oft ein unüberwindbares Kliff oder einen entsprechenden Schwemmsaum aufweisen, kann es sinnvoll sein, durch eine Schilfpflanzung im Wasser den natürlichen Besiedelungsprozess zu simulieren. Eine Schilfpflanzung im Wasser kann nur als Ballenpflanzung ausgeführt werden (Abb. 29 und 30). Das wichtigste Kriterium dabei ist, dass genügend Halme der frisch gepflanzten Ballen dauerhaft aus dem Wasser ragen, weil das Schilf für das Austreiben und für die Assimilation auf Luftzufuhr angewiesen ist.



Abb. 29: Schilfpflanzung auf eine Sedimentvorspülung in Erlach (Bielersee). Bis sich die Impulspflanzungen zu kompakten Beständen entwickelt haben, werden sie vor Verbiss durch Vögel geschützt | Fig. 29: Plantation de roseaux sur un remblayage de sédiments à Cerlier (lac de Biemme). Les roseaux seront protégés du broutage par les oiseaux jusqu'à ce qu'ils se soient développées en peuplements compacts



Abb. 30: Dieselbe Schilfpflanzung nach zehn Jahren | Fig. 30: La même plantation de roseaux dix ans après

Die Ballen sollten idealerweise über mindestens eine Vegetationsperiode hinweg vorkultiviert werden. Dazu werden diese im Winter aus einem Landschilfbestand gestochen, in Pflanzbeutel ( $\varnothing$  ca. 50 cm) gepackt und am selben Standort wieder eingeschlagen. Nach ein oder zwei Jahren haben sich ein kompaktes Wurzelgeflecht und genügend Halme pro Ballen entwickelt, so dass diese verpflanzt werden können. Die Pflanzung selbst erfolgt entweder möglichst spät im Winterhalbjahr (dabei werden vor dem Transport der Ballen die Halme auf ca. 1 m zurückgeschnitten, um das Risiko des Bruches zu reduzieren), oder sie wird nach dem Austreiben der frischen Halme ca. anfangs Juli ausgeführt, sobald die Halme lang und stark genug sind, um die Pflanzung und die neuen Standortbedingungen überleben zu können.



Abb. 31: Kiesig-sandiges Material mit einem Sandanteil von 20 bis 30% eignet sich gut als Substrat für Schilfpflanzungen. An der ungestörten Oberfläche bilden die gröberen Komponenten eine Deckschicht | Fig. 31: Un matériau graveleux-sableux avec une teneur en sable de 20 à 30% convient bien comme substrat pour la plantation de roseaux. Sur la surface non touchée, les composants les plus grossiers forment une couche de couverture

Die Ballen werden in Gruppen von ca. 20 Stück auf wenigen m<sup>2</sup> eng zueinander in zuvor ausgehobene Pflanzlöcher gestellt, mit Holzpfählen im Grund verankert und mit Sediment zugedeckt. Die Pflanzbeutel sind zuvor zu entfernen oder zumindest aufzuschneiden. Je nach Standort ist es angebracht, die Pflanzung während einigen Jahren mit einem Gitterkäfig vor Verbiss durch Vögel zu schützen. Geeignet sind Standorte an flachen Ufern bei einer Wassertiefe von maximal 0.8 m bezüglich dem mittleren Sommerwasserstand. Wichtig sind eine gute Besonnung und eine Lage ausserhalb des Traufbereichs von Uferbäumen.



Abb. 32: Die in die Kiesschüttung oberhalb der Mittelwasserlinie eingegrabenen und mit einem Jutenetz gesicherten Schilfsoden treiben auch ohne stehende Althalme aus [Brunnen, Vierwaldstättersee] | Fig. 32: Les mottes de roseaux, enfouies dans le gravier au-dessus de la ligne des eaux moyennes et protégées avec un filet de jute, poussent même sans vieilles tiges sur pied [Brunnen, lac des Quatre-Cantons]

Schilf gedeiht auf verschiedenen Böden, wenn die ökologischen Bedingungen einer guten Wasserversorgung und leichtem Boden gegeben sind. Günstig ist z.B. ein Sand-Kies-Gemisch mit mehr als 20% Sandanteil (Abb. 31). Schilfpflanzungen im Bereich der mittleren Wasserlinie und oberhalb davon können mittels Rhizom- oder Sodenpflanzungen ausgeführt werden (Abb. 32). Dabei werden aus bestehenden Schilfbeständen maschinell Soden ausgestochen und möglichst direkt am Pflanzort eingebaut. Lose Rhizome können dem bestehenden Substrat beigemischt werden. Soden sollten in das bestehende Substrat ebenerdig eingegraben werden. Je nach Wellenexposition lohnt sich eine Abdeckung mit einem Jutenetz während des Winters.

## 11. Totholzstrukturen

Totholz fördert die Artenvielfalt in Seen. Diese Erkenntnis ist relativ jung – setzt sich aber allmählich durch. Im Rahmen des «Projet lac» wurden in den grösseren Schweizer Seen umfassende und standardisierte Aufnahmen der Fischbestände durchgeführt. Gleichzeitig wurden die verschiedenen litoralen Habitate kartiert. Dabei zeigte sich, dass strukturierte Habitate für die Fische attraktiv sind.

Im Bielersee wurden z.B. die höchsten Dichten bei Totholz-Habitaten gefunden, gefolgt von den Habitaten Zuflüsse, Blöcke, Steine und Wasserpflanzen. Totholz-Habitate weisen zudem auch eine hohe Artenvielfalt aus (Vonlanthen & Périat 2018).

Das künstliche Einbringen von Totholz in die Seen ist deshalb eine verhältnismässig einfache Massnahme zur Förderung der litoralen Strukturvielfalt und der Biodiversität (Abb. 33 und 34). Oft kann das Fällen oder Einbringen von

Bäumen ins Wasser mit Unterhaltsmassnahmen kombiniert werden, indem z.B. schattenwerfende Uferbäume ins Wasser gefällt werden. An flachen Ufern können die Bäume ohne Verankerung liegen gelassen werden. An steileren Ufern müssen die Bäume mit Drahtseilen gesichert werden.



Abb. 34: Bei der Revitalisierung des Seeufers in Gals [Bielersee] wurden grössere Uferbäume ins Wasser gefällt | Fig. 34: Lors de la revitalisation de la rive lacustre de Gals [lac de Biemme], de grands arbres riverains ont été précipités dans l'eau

## Literatur

- Billington, S.L. 1991. Lake Shore Morphology in Shallow Water, Interner Bericht I 107 der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie VAW der ETHZ
- Bonnefille, R. 1976. Cours d'hydraulique maritime, Masson, Paris, New York, Barcelone, Milan, ISBN 2-225-45-342-X
- EAU 1985. Empfehlung des Arbeitsausschusses Uferauffassungen; Verlag Ernst & Co Berlin, ISBN 3-433-01034-X
- Egger, A., Brunner, S. 1986. Schutz und Pflege von Röhrichten, Interkantonales Technikum Rapperswil (ITR), Abt. Grünplanung, Landschafts- und Gartenarchitektur, Bericht Studienprojekt 6. Semester, Bibl. Nr. N 565'010:A
- EROSEE 2003. Development of Constructional Techniques and Dimensioning Principles by the Example of Lake Biemme. 1. Zwischenbericht, Teil 3 Berner Fachhochschule. [www.erosee.org](http://www.erosee.org)
- Huber, A. 2015. Wellendynamik und Seeuferrevitalisierung, Ingenieurbilogie 4/2014
- Huber, A.; Jud, M. 2009. Bätzimatt am Zürcher Obersee – Rettung einer Insel vor der Wellenerosion, Ingenieurbilogie 2/2009
- Iseli, Ch. 1995. Zehn Jahre Schilf- und Uferschutzmassnahmen am Bielersee, Schriftenreihe Verein Bielerseeschutz 4



Abb. 33: Die am Steilufer des Thunersees bei Krattigen für die Sicherheit der Bahnlinie gefällten Bäume wurden direkt ans Ufer geflogen und mit Seilen gesichert | Fig. 33: Les arbres abattus sur la rive escarpée du lac de Thoune près de Krattigen afin d'assurer la sécurité de la ligne de chemin de fer ont été transportés directement sur la rive et fixés avec des cordes

Lang, H.-J.; Huder, J.; Amann, P.; Puzrin, A.M. 1985. Bodenmechanik und Grundbau, Springer-Verlag Berlin 3. Aufl. ISBN 3-540-13946-X

Müller, B.; Schmocker, P. 2005. Uferschutzmassnahmen am Bielersee: Konstruktion und Erfolgskontrolle. Ingenieurbiologie 3+5/2005 [4-7]

OFEFP, Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage 2004. Lutte contre l'érosion sur la rive sud du lac de Neuchâtel, bilan de mesures, cahier de l'environnement No 372

Ostendorp, W., Dienst, M., Löderbusch, W., Peintinger, M., Strang, I. 2008. Naturschutzfachliche Bedeutung von Uferrenaturierungen am Bodensee und Möglichkeiten ihrer Optimierung [RUN]. Bericht der Arbeitsgruppe Bodenseeufer [AGBU] e. V., 151 S., www.bodenseeufer.de

Sayah, S.; Metral, M.; Boillat, J.-L.; Schleiss, A. 2005. Effet de la répartition géométrique des pieux de palissades sur la transmission des vagues. Génie biologique 3+4/2005 [8-11]

Schüttrumpf, H.F.R. 2001. Wellenüberlaufströmung bei Seedeichen, experimentelle und theoretische Untersuchung, TU Braunschweig, Mitteilung Leichtweiss Institut für Wasserbau, Heft 149, 2001

Siessegger, B.; Teiber, P. 2001. Erfahrungsmodell für Renaturierungen am Bodenseeufer, Ingenieurbiologie 03/2001

Silvester, R. 1974. Coastal Engineering 1, Effect of structures, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, ISBN 0-444-41101-1

Vonlanthen, P., Périat, G., 2018. Standardisierte Befischung Bielersee – Resultate der Erhebungen vom September 2017. Aquabios GmbH. Auftraggeber: Amt für Landwirtschaft und Natur des Kantons Bern

## Kontaktadresse

Andreas Huber, dipl. Bauing ETHZ, Dr. sc.techn.  
Beratender Ingenieur  
Im Baumgarten 12  
8606 Greifensee  
Tel. 044 940 74 03  
E-Mail: huber.andreas@ggaweb.ch

Christoph Iseli, dipl. Forsting. ETH  
Landschaftswerk Biel-Seeland  
Mattenstrasse 133  
2501 Biel/Bienne  
Tel. 032 328 11 33  
E-Mail: ch.iseli@landschaftswerk.ch



Andreas Huber



Christoph Iseli

# Nutzungs- lenkung, Unter- halt und Erfolgs- kontrolle

Thomas Oesch  
Nadja Schläpfer  
Christoph Iseli  
Teil 8

## Zusammenfassung

Unterhalt und Pflege, sowie die aktive Lenkung der Nutzung und der Nutzungsintensität, sind entscheidend für die positive Entwicklung eines Projektes. Eine unsachgemässe Pflege oder eine Übernutzung der revitalisierten Flächen haben oft zur Folge, dass gesetzte Zielzustände nicht erreicht werden.

Um das Erreichen der Ziele nachzuweisen und nötigenfalls mit Korrekturmassnahmen reagieren zu können, braucht es eine Erfolgskontrolle. Deren Aussagekraft ist jedoch nur gegeben, wenn der Zustand des Projektgebietes vor der Umsetzung reproduzierbar und nachvollziehbar festgehalten wurde.

Vom Bundesamt für Umwelt liegen neue, allgemeingültige Richtlinien für die Durchführung einer Erfolgskontrolle an Fließgewässern vor. Für Seeufer sind neue Leitlinien erst geplant. Bis zu deren Vorliegen können Analogien zu den Fließgewässern genutzt werden.

## Keywords:

Besucherlenkung, Unterhalt, Wirkungskontrolle

## Orientation de l'utilisation, entretien et contrôle de la réussite

### Résumé

L'entretien et la maintenance ainsi que le contrôle actif de l'utilisation et de l'intensité de l'utilisation sont décisifs pour le développement positif d'un projet. Un entretien inapproprié ou une utilisation excessive des zones revitalisées ont souvent comme conséquence que les objectifs fixés ne sont pas atteints.

Afin de prouver que les objectifs ont été atteints et, si nécessaire, de pouvoir réagir par des mesures correctives, il est nécessaire de contrôler la réussite. Toutefois, cela n'a de sens que si l'état de la zone du projet a été enregistré de manière reproductible et compréhensible avant la mise en œuvre.

L'Office fédéral de l'environnement a publié de nouvelles lignes directrices générales pour la réalisation d'un contrôle de réussite des cours d'eau. De nouvelles lignes directrices pour les rives lacustres viennent d'être planifiées. En attendant qu'elles soient disponibles, des analogies avec les cours d'eau peuvent être utilisées.

### Mots-clés :

Orientation des visiteurs, entretien, contrôle d'impact

## Gestione dell'utilizzo, manutenzione e controllo del successo

### Riassunto

La manutenzione e la cura, così come il controllo attivo dell'utilizzo e dell'intensità d'uso sono decisivi per lo sviluppo positivo di un progetto. Una manutenzione inadeguata o un uso eccessivo delle aree rivitalizzate spesso significa che gli obiettivi prefissati non vengono raggiunti.

Per dimostrare che gli obiettivi sono stati raggiunti e, se necessario, per poter reagire con misure correttive, è necessario monitorare i risultati ed il successo. Tuttavia, ciò ha senso solo se lo stato iniziale dell'area di progetto è stato rilevato correttamente e in modo comprensibile prima della realizzazione dell'intervento.

L'Ufficio federale dell'ambiente ha emanato nuove direttive, di applicazione generale, per il controllo dei risultati lungo i corsi d'acqua. Delle linee guida per quanto riguarda le rive lacustri sono invece ancora in fase di progettazione. Fino a quando non saranno disponibili si possono sfruttare le analogie con i corsi d'acqua.

### Parole chiave:

gestire i fruibili, manutenzione, monitoraggio dell'impatto

## 1. Nutzungslenkung

Der Nutzungsdruck steigt, so dass gezielt Räume der Naherholung von den Räumen mit Naturvorrang abgegrenzt werden müssen. Gerade bedrohte Arten sind oft störungsempfindlich und darauf angewiesen, dass der Mensch ihre Habitate meidet. Die Lenkung der Besucher kann mit verschiedenen Massnahmen erwirkt werden [Glauser 2018]:

- Attraktive Anlagen für Naherholungssuchende schaffen: Diese sind so zu platzieren, dass sie möglichst weit weg von störungsempfindlichen Naturräumen sind.
- Verringern der Zugänglichkeit in Naturflächen: Idealerweise wird die Zugänglichkeit nicht mittels Zäunen verwehrt, sondern mit naturnahen Hindernissen, wie dichtes Schilf, Gebüsche, Weiden, Faschinen, Totholz etc., gegebenenfalls auch mit Gräben und Hügeln.
- Verschiedene Interessen von Erholungssuchenden berücksichtigen: Nicht immer sind die verschiedenen Ansprüche kompatibel. Die Nutzungen sind räumlich zu trennen, um Konflikte zu vermeiden. Mit dem Aufkommen von E-Bikes sind die unterschiedlichen Geschwindigkeiten der Fortbewegung zu beachten.
- Besucher informieren: Neben der Information über die erlaubten Nutzungen und Einschränkungen sind Begründungen mit Hinweis auf sensible Zielarten angebracht.

Dadurch können die Besucher sensibilisiert werden. Die Information kann mittels Tafeln vor Ort, über eine Website und QR-Codes erfolgen. Gerade die gezielte Information der Besucher kann Enttäuschung und Unmut vor Ort vermindern.

- Zeitliche Einschränkung der Besuche z.B. während der Laich- oder Brutzeit.
- Schutzzonen mit Schutzinhalten sind vorgängig öffentlich aufzulegen und zu kommunizieren.
- Kontrollen der Einhaltung der Regeln und Schutzinhalte, durch beauftragte Aufsichtspersonen, durch Ranger etc. Eine Besucherlenkung muss bereits in der Planungsphase angedacht werden. Die Entflechtung von Schutz und Nutzung ist ein Bestandteil des Projektes auf Stufe Konzept.

## 2. Unterhalt und Pflege

Der Unterhalt und die Pflege, zum Beispiel der Rückschnitt der Vegetation, spielen eine entscheidende Rolle, ob die in der Planungsphase gesetzten Ziele bezüglich Ökologie und Erholungsqualität erreicht werden. Es empfiehlt sich schon in der Planungsphase abzuklären, wer für Unterhalt und Pflege zuständig ist. Wird die Pflege von einem Landwirt übernommen, kann er meist Flächenbeiträge und Direktzahlungen dafür auslösen. Andernfalls braucht es hierfür ein zusätzliches Budget des Werkdienstes der Gemeinde oder des Grundeigentümers.

Wichtige Eckpunkte der Pflege sind:

- Neophyten sind vor allem in den ersten Jahren zu bekämpfen, bis sich die Zielvegetation entwickelt hat.
- Das Aufkommen von Gehölzen in Grenzen halten: Der Schattenwurf wirkt sich negativ auf die Röhrich- und Wasserpflanzenbestände aus. Sichtbezüge und Zugänge zum Wasser sind wichtig für die Naherholung.
- Das Mulchen und das Liegenlassen von Schnittgut sind im Gewässerraum nicht erlaubt. Das Schnittgut muss abgeführt, einer Nutzung zugeführt oder kompostiert werden. Für eine langfristige Pflege ist ein einfacher Pflegeplan erforderlich. Dieser kann mit Symbolen, Farben und einer Textlegende klären, welche Fläche wann und wie gepflegt werden soll.

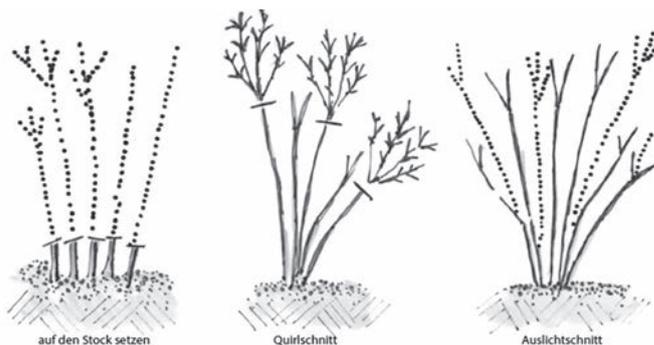


Abb. 1: Variationen des Gehölzschnittes am Ufer [Oesch et al. 2019] | Fig. 1: Variations des coupes de bois sur la rive [Oesch et al. 2019]

### 3. Erfolgskontrolle

Eine Erfolgskontrolle hat zwei Bestandteile – die Umsetzungskontrolle und die Wirkungskontrolle. Bei der Umsetzungskontrolle wird der geplante mit dem umgesetzten Zustand verglichen. Mit der Wirkungskontrolle wird untersucht, ob das umgesetzte Projekt die gewünschte Wirkung zeigt und ob die gesetzten Ziele erreicht wurden. Während die Umsetzungskontrolle meist klare Rahmenbedingungen hat, ist die Wirkungskontrolle oft schwieriger, da mehrere Momentaufnahmen eines sich entwickelnden, verändernden Perimeters nötig sind.

Die Wirkungskontrolle basiert auf der Gegenüberstellung von Ausgangs- und Endzustand und dient dazu, Mängel in der Konzeption oder Ausführung des Projekts, unerwartete Auswirkungen des Eingriffs, oder weiterhin bestehende Defizite aufzudecken. Auf diese Weise festgestellte Mängel können somit behoben werden. Welche Parameter sind nun tatsächlich repräsentativ? Wann ist der Zeitpunkt für eine repräsentative Aufnahme? Wie oft sollen Aufnahmen durchgeführt werden? Je nach Standort und Grösse eines Projektgebietes sind diese Fragen unterschiedlich zu beantworten.

Mit der Programmvereinbarungsperiode 2020-24 wird für die Wirkungskontrolle von Fliessgewässerrevitalisierungen schweizweit ein einheitliches Gerüst vorgegeben. Das BAFU hat 2020 unter dem Titel «Wirkungskontrolle Revitalisierung – Gemeinsam lernen für die Zukunft» einen Praxisleitfaden in Form von Merkblättern publiziert (BAFU 2019, Weber et al. 2019). Dieser besteht aus zwei Elementen – der Wirkungskontrolle STANDARD und der Wirkungskontrolle VERTIEFT. Erkenntnisse aus der Wirkungskontrolle sollen zukünftig in konkrete Handlungsempfehlungen übersetzt werden. Damit können künftige Revitalisierungen noch kosteneffektiver werden und einen wesentlichen Beitrag zur Erhaltung und Förderung der heimischen Biodiversität leisten. Der vorliegende Praxisleitfaden bezieht sich zwar ausschliesslich auf Fliessgewässer [ein entsprechender Leitfaden für Seeufer ist erst geplant], kann aber für Hilfestellungen und Analogien für die Wirkungskontrolle bei Seeuferrevitalisierungen beigezogen werden.

Was aber auch für Seeufer unabhängig des Standortes und der Grösse gilt: Für eine fundierte Wirkungskontrolle muss der Zustand des Seeufers vor der Aufwertung in genügender Dichte und reproduzierbarer Art aufgenommen werden. Das heisst, die Indikatoren, mit welchen die Zielerreichung kontrolliert wird und die Erfassungsmethoden müssen definiert sein.

Nachfolgend eine unvollständige Liste möglicher Indikatoren für Seeufer, deren Auswahl in Abhängigkeit von den Projektzielen erfolgt. Bezüglich Methoden gibt es jedoch zurzeit noch grössere Lücken.

Ziel	Indikator-Set	Indikatoren
<b>Morphologie</b> · Gtyp. Struktur/ Vielfalt Sohle · Gtyp. Struktur/ Vielfalt Böschung, Uferbereich · Gtyp. Sedimentdynamik  <b>Hydrologie und Hydraulik</b> · Gtyp. hydraulische Vielfalt · Gtyp. seitliche Vernetzung	<b>1 Habitatvielfalt</b>	1.1 Sohlenstruktur 1.2 Uferstruktur 1.3 Wassertiefe 1.4 Fließgeschwindigkeit 1.5 Unterstandsangebot 1.6 Substrat
	<b>2 Dynamik</b>	2.1 Dynamik Sohlenstruktur 2.2 Dynamik Uferstruktur 2.3 Veränderung Sohlenlage
	<b>3 Vernetzung</b>	3.1 Überflutungs- und Uferdynamik 3.2 Uferlinie
<b>Temperatur</b> Gtyp. Temperaturverlauf	<b>4 Temperatur</b>	4.1 Temperatur
<b>Makrophytengemeinschaft</b> Gtyp. Vielfalt und Häufigkeit	<b>5 Makrophyten</b>	5.1 Makrophytengemeinschaft
<b>Makrozoobenthosgemeinschaft</b> Gtyp. Vielfalt und Häufigkeit	<b>6 Makrozoobenthos</b>	6.1 Makrozoobenthosgemeinschaft
<b>Fischgemeinschaft</b> Gtyp. Vielfalt und Häufigkeit	<b>7 Fische</b>	7.1 Fischgemeinschaft 7.2 Altersstruktur Fische 7.3 Gliden Fische
<b>Ufer- / Auenvegetation</b> Gtyp. Vielfalt und Häufigkeit	<b>8 Ufervegetation</b>	8.1 Pflanzenarten 8.2 Pflanzengesellschaften 8.3 Zeitliches Mosaik
<b>Uferbereichsfauna</b> Gtyp. Vielfalt und Häufigkeit	<b>9 Avifauna</b>	9.1 Vogelarten
<b>Gesellschaft/ Wirtschaft</b> Akzeptanz	<b>10 Gesellschaft</b>	10.1 Akzeptanz Interessengruppen
<b>Zusätzliches spezifischeres Ziel</b> (z. B. Libellen, Krebse, Laichgruben, Arthropoden)	<b>11 Spezifisches Ziel</b>	11.1 Nach Absprache mit BAFU

Abb. 2: Gängige Ziele von Projekten zur Revitalisierung von Fliessgewässern und zugehörige Indikatoren (BAFU 2019). Diese müssen für die Wirkungskontrolle an Seeufern angepasst werden | Fig. 2: Objectifs communs des projets de revitalisation des cours d'eau et indicateurs correspondants (OFEV 2019). Ceux-ci doivent être adaptés pour le contrôle d'impact sur les rives des lacs

Physikalisch-morphologische Indikatoren

- Morphodynamische Parameter
- Bathymetrie [Geländemodell]
- Lage der Uferlinie
- Ökomorphologie
- Strukturen im Wasser [Totholz]
- etc.

Biologische Wirkungskontrolle mit Indikatororganismen:

- Makrozoobenthos [Wirbellose der Gewässersohle, Arten, Individuen, Biomasse, ökologische Gruppen]
- Fischfauna [Biomasse, Individuen, Arten, ökologische Gruppen]
- Avifauna
- Biber
- Amphibien
- Reptilien
- Libellen
- Arthropoden [z.B. Heuschrecken, Laufkäfer, Springschwänze und Spinnen]
- Vegetation aquatisch [Makrophyten], amphibisch, terrestrisch

Die Aufnahmen nach Bauabschluss erfolgen idealerweise mehrmals, in regelmässigen Abständen und immer im gleichen Monat (Woolsey et al. 2005). Die generellen As-

pekte [Vorher-nachher-Aufnahmen] sowie die saisonalen Zeitfenster für die Erhebung der verschiedenen Indikatoren, sollten idealerweise auf das Konzept Wirkungskontrolle Revitalisierung [BAFU 2019] abgestimmt sein. Wenn für die Wirkungskontrolle des Seeufers nur eine Folgeaufnahme vorgesehen ist, dann sollte diese nach 5 bis 10 Jahren erfolgen.

Die Kosten für eine Wirkungskontrolle sind ins Budget des Gesamtprojekts aufzunehmen, sie können bis zu fünf Prozent der Umsetzungskosten betragen. Bei GSchG-finanzierten Revitalisierungsprojekten ist die Finanzierung der Wirkungskontrolle ab der Programmvereinbarungsperiode 2020-24 von den Projektkosten entkoppelt und wird separat aus einem Budget Wirkungskontrolle finanziert.

Eine Erfolgskontrolle soll der Optimierung von bestehenden und zukünftigen Projekten dienen. Mittelfristig sollen schweizweit standardisierte Vorgaben auch für eine Wirkungskontrolle an Seeufern erarbeitet werden, welche ein projektübergreifendes Lernen erlauben. Informationen

zu umgesetzten Projekten [Umsetzungskontrolle] werden auch heute bereits für GSchG-finanzierte Projekte an Seeufern zentral erfasst und für schweizweite Auswertungen genutzt.

## Literatur

BAFU (Hrsg.) 2019. Wirkungskontrolle Revitalisierung – Gemeinsam lernen für die Zukunft. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern. [www.bafu.admin.ch/wirkungskontrollerevit]

Glauser, C. 2018. Grundlagen der Besucherlenkung. Präsentationsfolien. BirdLife Schweiz.

Oesch, T., Liem, U., Schläpfer, N. 2019. Revitalisierung kleiner und mittlerer Fließgewässer. Ein Leitfaden für Praktiker. Schriftenreihe des Instituts für Landschaft und Freiraum. HSR Hochschule für Technik Rapperswil, Nr. 13. 2. Auflage. Rapperswil.

Weber, C., Sprecher, L., Åberg, U., Thomas, G., Baumgartner, S., Haertel-Borer, S. 2019: Zusammenfassung und Inhalt. In: Wirkungskontrolle Revitalisierung – Gemeinsam lernen für die Zukunft. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern. Merkblatt 0, V1.01.

Woolsey, S., Weber, C., Gonser, T., Hoehn, E., Hostmann, M., Junker, B., Peter, A. 2005. Handbuch für die Erfolgskontrolle bei Fließgewässerrevitalisierungen. Publikation des Rhone-Thur-Projektes. Eawag, WSL, LCH-EPFL, VAW-ETHZ.

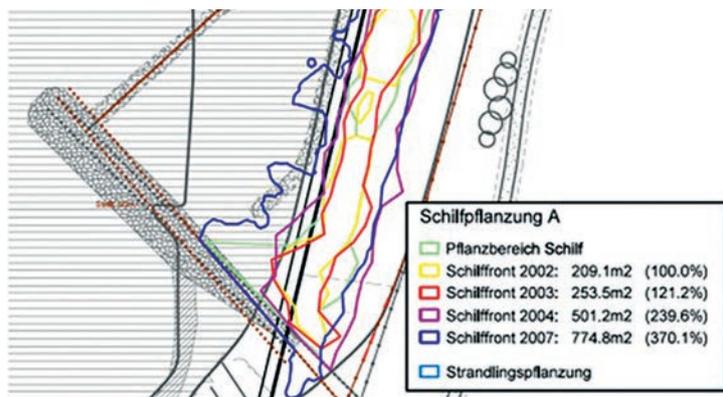


Abb. 3: Beispiel Erfolgskontrolle Seeufer St. Moritz, Thal SG, 2002-2007, OePlan | Fig. 3: Exemple de suivi des résultats sur les rives du lac St. Moritz, Thal SG, 2002-2007, OePlan

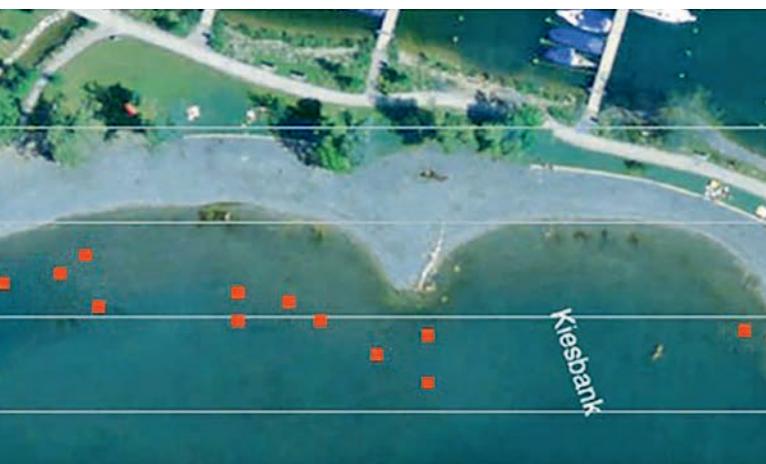


Abb. 4: Beispiel Erfolgskontrolle Bootshafen Stampf, Jona, 2011: Fundstellen [orange Punkte] der Teichmuschel [Anodonta anatina] in Ufernähe, 8 Jahre nach Abschluss, OePlan/ Vicentini | Fig. 4: Exemple de suivi des résultats au port de bateaux de Stampf, Jona, 2011 : Emplacements [points orange] de la moule d'étang [Anodonta anatina] près du rivage, 8 ans après la fin des travaux, OePlan/ Vicentini

## Kontaktadresse

Prof. Thomas Oesch  
 HSR Hochschule für Technik Rapperswil  
 Institut für Landschaft und Freiraum  
 Oberseestrasse 10  
 8640 Rapperswil  
 E-Mail: thomas.oesch@hsr.ch  
 Tel. 055 222 45 54

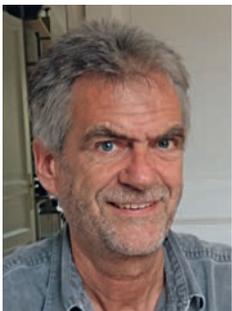
Christoph Iseli, dipl. Forsting., ETH  
 Landschaftswerk Biel-Seeland  
 Mattenstrasse 133  
 2501 Biel/Bienne  
 Tel. 032 328 11 33  
 E-Mail: ch.iseli@landschaftswerk.ch



Thomas Oesch



Nadja Schläpfer



Christoph Iseli



Seit über 40 Jahren ist die Relianz AG Ihr Spezialist für natürliche Erosionsschutznetze aus Jute und Kokos.

Kurzfristige Lieferung dank grossem Lagerbestand!



Stationsstrasse 43 · 8906 Bonstetten  
 Tel. +41 44 701 82 82  
 www.geonatex.ch · reliantz@relianz.ch

# Flüsse der Alpen im Portrait: Natur und Ökologie, Kultur und Wirtschaft

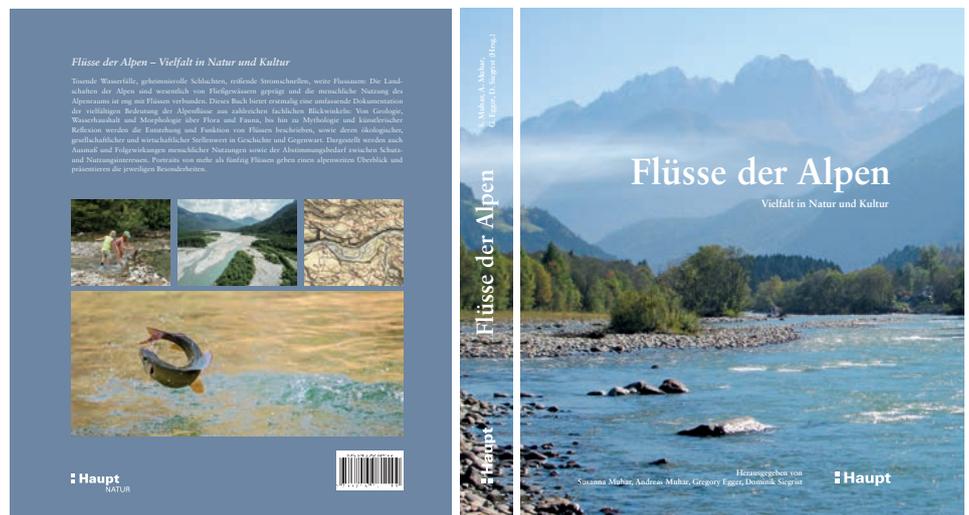
Das reich bebilderte Ergebnis eines geografischen Grossprojekts: Fachwissen von mehr als 140 Autorinnen und Autoren aus sechs Alpenländern.

Die Landschaften der Alpen sind wesentlich von ihren Flüssen geprägt; die menschliche Nutzung des Alpenraums ist eng mit den Herausforderungen des Umgangs mit Fließgewässern verbunden. Dieses Buch bietet eine anschauliche und umfassende Dokumentation der vielfältigen Bedeutung der Alpenflüsse aus unterschiedlichen Blickwinkeln. Vierunddreissig Fachkapitel beschreiben Entstehung und Funktionen von Flüssen, ihren ökologischen, gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Stellenwert in Geschichte und Gegenwart, das Ausmass und die Folgewirkungen menschlicher Nutzungen sowie den Abstimmungsbedarf von Schutz- und Nutzungsinteressen. Portraits von über fünfzig Flüssen bieten einen raschen Überblick und präsentieren die jeweiligen Besonderheiten. Das Buch liefert Grundlagen für Diskussionen um die Zukunft der Fließgewässer im Alpenraum. Durch die Verbindung von reicher Bebilderung, Kartendarstellungen und gut verständlichen Beschreibungen ist es ein einzigartiges für natur- und umweltinteressierte Leserinnen und Leser, Fachleute und nicht zuletzt auch für Studierende und Lehrende. Unter dem Titel «Rivers of the Alps» ist das Buch auch in englischer Sprache erschienen.

Die Autorin und die Autoren sind ausgewiesene Fachleute der Alpenforschung, der Landschaftsentwicklung und des Gewässermanagements. Susanna und Andreas Muhar lehren und forschen an der Universität für Bodenkultur in Wien, Gregory Egger am Karlsruher Institut für Technologie und Dominik Siegrist an der HSR Hochschule für Technik Rapperswil.

Muhar, Susanne (Hrsg.) / Muhar, Andreas (Hrsg.) / Egger, Gregory / Siegrist, Dominik (Hrsg.) Flüsse der Alpen Vielfalt in Natur und Kultur. ISBN: 978-3-258-08114-4.

1. Auflage 2019. 512 Seiten, durchgehend farbig illustriert, gebunden, 21,6 x 26,7 cm, 1968 g. Haupt Verlag, Bern. CHF 58.00 (UVP) / EUR 49.00 (D) / EUR 50.40 (A)





**Wildblumen?**

Lassen Sie sich Ihre Fragen be**Antworten.** 044 879 17 19

**OHS** Otto  
Hauenstein  
Samen

# Impressum

---

## **Mitteilungsblatt für die Mitglieder des Vereins für Ingenieurbiologie**

Heft Nr. 1/2020, 30. Jahrgang  
Erscheint viermal jährlich  
ISSN 1422-008

### **Herausgeber / Editeur:**

Verein für Ingenieurbiologie  
c/o HSR Hochschule für Technik Rapperswil  
ILF-Institut für Landschaft und Freiraum  
Oberseestrasse 10, CH-8640 Rapperswil  
Tel.: +41 (0)55 222 47 92  
E-Mail: sekretariat@ingenieurbiologie.ch

### **Internet-Adresse / Adresse internet:**

<http://www.ingenieurbiologie.ch>

### **Druck / Impression:**

Vögeli AG, Langnau i. E.

### **Verantwortlicher Redaktor / Rédacteur responsable:**

Monika La Poutré  
Hubertusstrasse 17  
A-86391 Stadtbergen  
Tel.: +43 650 8615215  
E-Mail: m.stampfer@gmx.at

### **Redaktionsausschuss / Comité de rédaction:**

Roland Scheibli  
Tel.: +41 43 259 27 64  
E-Mail: roland.scheibli@bd.zh.ch

Röbi Bänziger  
Tel.: +41 44 850 11 81  
E-Mail: Robert.Baenziger@bk-ing.ch

Christian Rickli  
Tel.: +41 44 739 24 03  
E-Mail: christian.rickli@wsl.ch

### **Lektorat / Lectorat:**

Martin Huber  
Tel.: + 41 32 671 22 87  
E-Mail: martin.huber@bsb-partner.ch

### **Übersetzungen / Traductions:**

Rolf T. Studer  
E-Mail: rolf.studer@mail.com

### **Sekretariat / Secrétariat:**

Verein für Ingenieurbiologie  
c/o HSR Hochschule für Technik Rapperswil  
ILF-Institut für Landschaft und Freiraum  
Oberseestrasse 10, CH-8640 Rapperswil  
Tel.: +41 55 222 47 92  
E-Mail: sekretariat@ingenieurbiologie.ch

**Weitere Exemplare dieses Heftes können zum  
Stückpreis von Fr. 20.- beim Sekretariat bezogen werden.**



**Sprechen Sie mit uns  
über Ihre wildesten Blumenträume!**

Die UFA-Wildblumenwiese Original CH-i-G blüht auch auf Standorten, wo früher «nur» ein normaler Gräserrasen wuchs. Über 55 einheimische Wildgräser und Wildblumen verleihen dieser Wildblumenwiese ihre traumhafte Anpassungsfähigkeit. Rufen Sie uns an, wir beraten Sie gerne.

Winterthur, Tel. 058 433 76 35  
Lyssach, Tel. 058 433 69 33  
Aesch, Tel. 058 434 31 51

St.Gallen Tel. 058 400 66 77  
Moudon, Tel. 058 433 67 81  
[www.ufasamen.ch](http://www.ufasamen.ch)

**UFA**  
SAMEN SEMENCES

## Inserate Annonces



INGENIEURBIOLOGIE  
GÉNIE BIOLOGIQUE  
INGEGNERIA NATURALISTICA  
INSCHENIERA BIOLOGICA

Verein für Ingenieurbiologie  
c/o HSR Hochschule für Technik Rapperswil  
ILF-Institut für Landschaft und Freiraum  
Oberseestrasse 10, CH-8640 Rapperswil  
Tel.: +41 55 222 47 92  
sekretariat@ingenieurbioLOGIE.ch

### Inseratarif für Mitteilungsblatt / Tarif d'insertion dans le bulletin

Der vorliegende Tarif ist gültig für eine Ausgabennummer.

Le present tarif comprend l'insertion pour une parution.

1 Seite Fr. 1125.-    2/3 Seite Fr. 825.-    1/2 Seite Fr. 600.-

1/3 Seite Fr. 450.-    1/4 Seite Fr. 375.-    1/8 Seite Fr. 225.-

Separate Werbebeilage beim Versand: 1 A4-Seite Fr. 1000.-  
jede weitere A4-Seite Fr. 300.-

**Inseratenannahme: Verein für Ingenieurbiologie c/o HSR Hochschule für Technik Rapperswil ILF, Oberseestrasse 10, 8640 Rapperswil, Tel. 055 222 47 92, sekretariat@ingenieurbioLOGIE.ch**

Link auf der Internetseite des Vereins / Liens sur la page de l'Association:

Fr. 750.- pro Jahr/par an

Oder gratis bei Inseraten im Mitteilungsblatt im Wert von mindestens

Fr. 750.- pro Jahr.

Ou gratuit pour des annonces dans le bulletin d'une valeur d'au moins Fr. 750.- par an.



Europäische Föderation für Ingenieurbiologie  
Federazione Europea l'Ingegn Naturalistica  
Europ. Federation for Soil Bioengineering  
Fedetacion Europea de Ingeniarta def Palufe

Giovanni de Cesare  
EPFL ENAC IIC PL-LCH  
GC A3 495 (Bâtiment GC)  
Station 18, CH-1015 Lausanne  
Tel. +41 21 69 32517  
Mail: giovanni.decesare@epfl.ch

## Nächste Ausgaben Prochaines éditions

### Redaktionsschluss

29. Mai 2020

24. Juli 2020

13. September 2020

15. Januar 2021

### Thema

Ausgleichs- und Ersatzmassnahmen

Rutschungen und Hangmuren

Monitoring und Wirkungskontrolle

Exkursionsführer (Hochlagenbegrünung)

### Redaktion

Roland Scheibli

Christian Rickli

Röbi Bänziger

Christian Rickli

**Fachbeiträge sind gemäss den redaktionellen Richtlinien zu verfassen und bis zum Redaktionsschluss dem/der zuständigen Redaktor/in einzureichen.**

