

Revitalisierung des Seeufers in der Hopfrä- ben an wellen- exponierter Lage

Richard Staubli
Stephanie Matthias
Albrecht von Boetticher

Zusammenfassung

Seeufer sind nicht nur eine der wichtigsten Lebensräume für die Flora und Fauna, sie sind auch sehr begehrte Erholungsgebiete, wobei zweiteres in der Vergangenheit überhandgenommen und somit wertvollen Lebensräume verdrängt hat. Im Rahmen der Revision 2011 GSchG 1991 wird eine Wiederherstellung der natürlichen Funktionen in den Flachufern angestrebt.

Die Ufersicherung der Hopfräben stellt durch ihre wellenexponierten Ufer mit Föhn und Westwind eine Herausforderung dar, welche man bis anhin mit harten Uferverbauungen gelöst hat. Die aquatisch wertvollen Lebensräume und die Quervernetzung zum geschützten Flachmoor sind dadurch stark beeinträchtigt. Die Eingänge zu den wertvollen Hechtlaiichplätzen verlandeten in der Vergangenheit immer wieder. Wellenexponierte Ufer müssen nicht zwingend mit harten Uferverbauungen geschützt werden. Mit der detaillierten Analyse der Welleneinwirkungen und den Berechnungen zu den damit verbundenen Prozessen kann die Ist-Situation analysiert werden. Ziel bei der Hopfräben ist die Wiederherstellung einer Verbindung vom Wasser zum Ried, mit einer Wasserwechselzone, die Verhinderung der Verlandung der Hechtgrabeneingänge und die Förderung von Schilf. Mit den vorhandenen Erfahrungen und Theorien konnten die dynamischen Prozesse erfasst und bauliche Massnahmen ergriffen werden, um die Erosion und Verfrachtungsprozesse zu kontrollieren.

Keywords

Naturschutzgebiet, Flachmoor, Ökologische Aufwertung, Wind- und Wellenexposition, Schilfförderung, Stabilität Uferzone, Sedimenttransport, Riffdynamik

Revitalisation de la rive lacustre au Hopfräben sur un site exposé aux vagues

Résumé

Les rives lacustres ne sont pas seulement l'un des principaux habitats pour la flore et la faune, elles sont aussi des zones de détente très prisées, la seconde ayant pris le dessus par le passé et évincé ainsi des habitats précieux. Dans le cadre de la révision 2011 de la LEaux de 1991, le rétablissement des fonctions naturelles des berges plates est visé.

La protection des berges au Hopfräben, exposées aux vagues, au fœhn et au vent d'ouest, représente un défi qui a été jusqu'à présent relevé par des aménagements en dur sur les berges. Les précieux habitats aquatiques et la connexion transversale avec le bas-marais protégé en sont

fortement affectés. Par le passé, les entrées des précieuses frayères à brochets se sont régulièrement comblées de sédiments. Les rives exposées aux vagues ne doivent pas nécessairement être protégées par des aménagements en dur. L'analyse détaillée des effets des vagues et les calculs des processus qui y sont liés permettent de comprendre la situation actuelle. Dans le cas du Hopfräben, l'objectif est de restaurer une connexion entre l'eau et le marais avec des zones immergées, d'empêcher l'atterrissement des entrées du Hechtgraben et de favoriser les roseaux. Les expériences et théories existantes ont permis de saisir les processus dynamiques et de prendre des mesures d'aménagement afin de contrôler l'érosion et les processus de charriage.

Mots-clés

Réserve naturelle, bas-marais, valorisation écologique, exposition au vent et aux vagues, développement des roseaux, stabilité de la zone riveraine, transport de sédiments, dynamique des rives.

Rivitalizzazione della riva lacustre esposta alle onde dell'area Hopfräben

Riassunto

Le rive dei laghi non sono solo uno degli habitat più importanti per la flora e la fauna, ma sono anche aree ricreative molto ricercate. In passato queste ultime hanno preso il sopravvento, eliminando così habitat preziosi. Nell'ambito della revisione del 2011 della Legge sulla protezione delle acque del 1991, si sono poste le basi per iniziare a ripristinare le funzioni naturali delle zone litorali.

La protezione delle rive dell'area Hopfräben (SZ) rappresenta una sfida a causa della loro esposizione alle onde del foehn e dei venti occidentali. In passato la situazione è stata risolta costruendo strutture e opere a protezione delle rive. Gli habitat di valore acquatico e il collegamento trasversale con la torbiera protetta sono quindi gravemente compromessi. Gli accessi alle preziose zone di riproduzione dei lucci si sono ripetutamente insabbiati in passato. Le rive esposte alle onde non devono necessariamente essere protette con strutture di protezione in duro. Con un'analisi dettagliata dell'impatto delle onde e i calcoli sui processi associati, la situazione attuale può essere analizzata. L'obiettivo per l'Hopfräben è quello di ripristinare un collegamento dall'acqua alladi torbiera, con una zona litorale, di prevenire l'insabbiamento degli accessi per il luccio e per promuovere lo sviluppo di canneti. Con le esperienze acquisite e la teoria a disposizione, sono stati rilevati i processi dinamici e sono state prese le necessarie

misure costruttive per controllare i processi di erosione e sedimentazione.

Parole chiave

Riserva naturale, Torbiera, Rivitalizzazione, Esposizione alle onde e al vento, Sviluppo di canneti, Stabilità della zona di riva, Trasporto di sedimenti, Dinamica spondale



Abbildung 1: Künstlich geschütteter Damm zwischen Flachmoor und Vierwaldstättersee mit Blacksteinschüttung.

Figure 1: Digue en remblai artificiel entre le bas-marais et le lac des Quatre-Cantons avec des blocs de pierre.



Abbildung 2: Verlandete Einläufe zu den Hechtlaichplätzen.

Figure 2: Entrées obstruées vers les frayères à brochets.

1. Einleitung

Das Flachmoor Hopfräben ist von nationaler Bedeutung und verdeutlicht den hohen Stellenwert von Feuchtgebieten. Die Gemeinde Ingenbohl begann mit ersten Schutzmassnahmen vor rund 50 Jahren. Ende der 70er



Abbildung 3: Der Blick auf den umgestalteten Projektbereich zeigt deutlich den von Süden (links) nach Norden (rechts) zunehmenden Bereich des flacheren Seegrunds, der mit Wellen interagiert. Quelle: Schelbert AG, Muotathal.
Figure 3 : La vue de la zone réaménagée du projet montre clairement la zone croissante du sud (à gauche) vers le nord (à droite) du fond du lac moins profond, qui interagit avec les vagues. Source : Schelbert AG, Muotathal

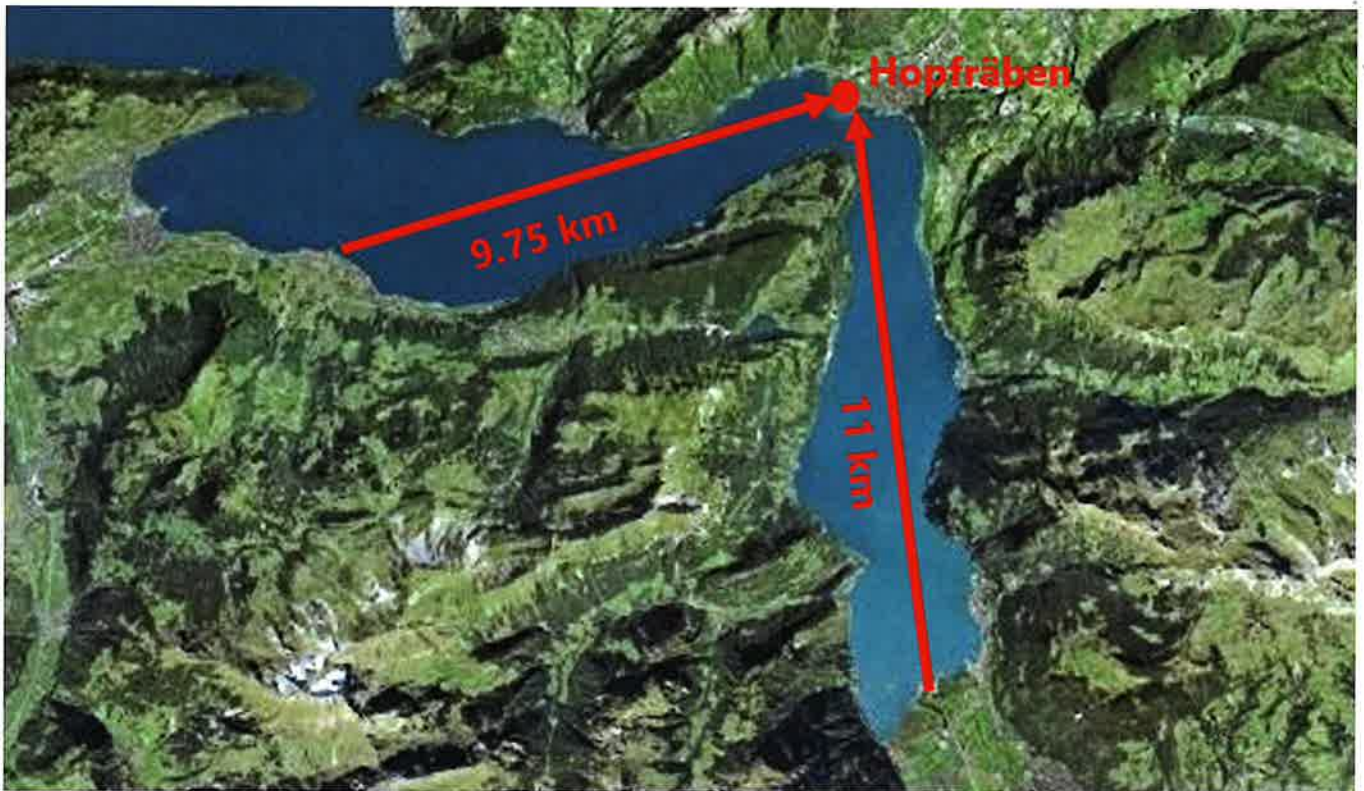


Abbildung 4: Situation mit Fetchlängen und Windrichtung. Quelle: map.admin.ch
Figure 4 : Situation avec longueurs du fetch et direction du vent. Source : map.admin.ch

Jahre wurde mit dem Anlegen von Uferschüttungen, Bauten, Campingplätzen und Wegen neue Bedingungen geschaffen. Das Feuchtbiotop wird auf dem letzten Rest des Muotadeltas von der angrenzenden Nutzung zunehmend bedrängt, ohne Ausweichmöglichkeiten. 2016 trat infolgedessen ein kantonaler Nutzungsplan in Kraft, der

nebst den Interessensabwägungen hier auf eine besondere Situation eingehen musste: Das Flachmoor wird nicht nur von der landseitigen Nutzung gefährdet, sondern die Natur selbst würde durch Wellen, Strömungsdynamik, Sedimentverfrachtung und Schwemmholz aus dem Vierwaldstättersee das Moor beeinträchtigen. Aus diesem Grund wurde



Abbildung 5: Übersicht mit Unterteilung in drei Abschnitte.
Figure 5: Vue d'ensemble avec subdivision en trois tronçons.

vor Jahrzehnten die ökologisch wertvolle Verflechtung zwischen See und Streuried über lange Abschnitte weiter getrennt und die Flachwasserzone durch einen steilufrigen Damm mit massiven Blocksteinen ersetzt (vgl. Abbildung 1). Die Verlandung der Hechtlaiplätze versuchte man in der Vergangenheit immer wieder mit Massnahmen in den Griff zu bekommen, jedoch ohne grossen Erfolg (Abbildung 2). Die nun umgesetzten Massnahmen sollen die offene Verbindung zwischen Ried und See wieder herstellen und die Uferzone renaturieren. Um eine stabile Ufergestaltung zu erhalten und gleichzeitig die natürliche Dynamik nicht einzuschränken, studierten die Ingenieure des Ingenieurbüros Staubli, Kurath & Partner AG die Einwirkungen im Einzelnen und untersuchten die beteiligten Prozesse und deren Zusammenspiel (Abbildung 3). Ein massgeblicher Schritt, denn andernfalls würde man hier einen Uferabschnitt gestalten, der nach grösseren Sturmereignissen neu durchdacht und umgebildet werden muss.

2. Wellenexponierte Lage

Das Naturschutzgebiet Hopfräben liegt bei Brunnen [SZ] im Muotadelta am Ufer des Vierwaldstättersees im Kreuzungspunkt zweier Windrichtungen, die hier eine maximale Streichlänge (Fetchlänge) zum Aufbau grosser Wellen vorfinden: Den Föhn mit eher tangential zum Ufer einfallenden Wellen, uferparalleler Strömung und entsprechender Sedimentverfrachtung und den Westwind, mit senkrecht auf das Ufer treffenden Wellen mit entsprechender Wucht und Zerstörung der Vegetation (Abbildung 4). Diese Lage bietet für die wiederherzustellende Interaktion mit dem Vierwaldstättersee ökologische Chancen und Gefahren.

Das umgesetzte Projekt lässt sich seeseitig in die Abschnitte Südlicher Projektabschnitt mit der Entfernung des befestigten Dammes und der Ausbildung eines Badestrands, den mittleren Abschnitt mit der Erstellung eines Flachufers und der Ansiedelung von Schilf und den nördlichen Abschnitt mit den Massnahmen zur Verhinderung von Verlandung der bestehenden Hechtgrabeneingängen unterteilen (Abbildung 5).

3. Ausgangslage und Ufercharakteristik

Die Ausgangslage am Ufer war durch die erstellten Dammbauten und Verlandungen gekennzeichnet: Eine nördliche bogenförmige kiesige Verlandung im flacheren Wasser und ein gerader, mit Blockstein befestigter Damm, bei welchem der Seegrund schnell in grössere Tiefe abfiel. Die Eingänge der bestehenden Hechtgräben waren am Dammende platziert. Flachwasserprozesse führten zu Sedimentverfrachtungen, wodurch die Eingänge vollständig verlandeten. Die wertvollen und in der Umgebung seltenen Hechtlaiplätze gingen wegen der fehlenden Anschliessung an den Vierwaldstättersee bei Nieder- und Mittelwasser verloren. Über die Jahre wurden durch unterschiedliche Unterhaltsmass-



Abbildung 6: Verlandeter Einlauf zu den Hechtlaiplätzen mit früheren Sofortmassnahmen.
Figure 6: Entrée abstruée vers les frayères à brochets avec mesures d'urgence antérieures.

nahmen, [wie Ausbaggerungen oder Bretterverschlag [vgl. Abbildung 6]] versucht, die Eingänge wieder freizulegen. Jedoch führten einzelne Windereignisse nach kürzester Zeit wieder zu einer Verlandung der Eingänge. Im Gegensatz zum nördlich angrenzenden Seegrund fehlt der Algenbewuchs am dem Damm vorgelagerten Ufer und deutet darauf hin, dass der Seegrund in stetiger Bewegung ist [Abbildung 7, Abbildung 8].

Vor dem Damm ist der Seegrund von Tiefstellen aus früheren Kiesentnahmen gekennzeichnet. Unmittelbar an der Muotamündung beeinflussen auch heute noch Kiesentnahmen den Seegrund.



Abbildung 7: Algenbewuchs an Sedimenten nördlich des Projektperimeters in geschützter Bucht.

Figure 7: Couverture d'algues sur les sédiments au nord du périmètre du projet dans une baie protégée.



Abbildung 8: Fehlender Algenbewuchs deutet auf rollende Sedimentbewegungen hin.

Figure 8: L'absence d'algues indique des mouvements roulants de sédiments.

4. Morphologische Prozesse der Welleneinwirkung und Schwachstellenanalyse

4.1 Ziele des Projekts

Das Projekt hatte seeseitig die Aufgabe den Damm zu entfernen und den Uferbereich zu renaturieren. Dies erfolgte mit dem Ziel, so dynamisch wie möglich und so rigide wie nötig auf die Uferprozesse zu reagieren. Die Hechtgräben sollten zum See geöffnet und an diesen langfristig angebunden werden. Das Projekt sollte die Verlandung einerseits und die Ufererosion andererseits limitieren, und Wasserwechselzonen mit Schilfbestand sowie Strände schaffen. Da der Seegrund unterschiedlich verläuft und zudem zwei unterschiedliche Windrichtungen massgebende Wellen erzeugen, wirken die Wellen lokal anders. Die Wellen und damit verbundenen Strömungen mussten für die Massnahmendefinition genau analysiert werden.

4.2 Welche Wellenprozesse waren zu erwarten?

Die Grundlagen zur Wellenverfrachtung machen bereits die komplexe Interaktion deutlich [Archiv für Forschung und Technik an der Nord- und Ostsee 2002; Greenwood 1978]. Wasserwellen werden durch ihre Höhe [H], Wellenlänge [L], Periodendauer [T] und Ausbreitungsgeschwindigkeit [c] definiert. Das mobilisierte Wasser bewegt sich bei Tiefwasser in Kreisbahnen und mit zunehmendem Einfluss des Seegrunds auf Ellipsenbahnen [Abbildung 9]. Die grösste Kreisbewegung findet an der Oberfläche statt, der orbitale Durchmesser [d₀] entspricht hier der Wellenhöhe. Je tiefer unter der Oberfläche desto kleiner werden diese Kreisbewegungen. In Tiefen bis L/2 interagieren die Wellenbewegung mit dem Grund und eine oszillierende Randzonenströmung bildet sich aus. Bei grösseren Tiefen haben die Wellen keinen Einfluss mehr auf den Seegrund.

Der über das Wasser streichende Wind bildet Wellen entlang der jeweiligen Fetchlänge. Die Wellen aus dem Urnerföhn mit 11 km Fetchlänge und die Wellen bei Westwind mit 9.75 km Fetchlänge können meterhoch werden. Die aus der tiefen See einfallenden Wellen transportieren ihre Energie und ihren Impuls ins flache Wasser. Die Umrechnung in wirkende Kräfte ist jedoch nicht trivial, gerade deren Verständnis bietet jedoch den Handlungsspielraum, um durch Ufergestaltung die Prozesse zu beeinflussen. Während die Wellen ins Flachwasser vordringen, verformen sich die Kreisbahnen durch Grundinteraktion zu Ellipsen. Mit steigender Grundreibung reduziert sich die Ausbreitungsgeschwindigkeit und Wellenlänge, dafür erhöht sich die Wellenhöhe. Die [bereits stark vereinfachte] lineare Wellentheorie liefert die spezifische Energiedichte als $\frac{1}{8} \rho g H^2$, die sich mit zunehmender Höhe vergrössert, bis die Welle zu brechen beginnt. Die typische Sinusform der Welle im tiefen Wasser geht dabei verloren und die

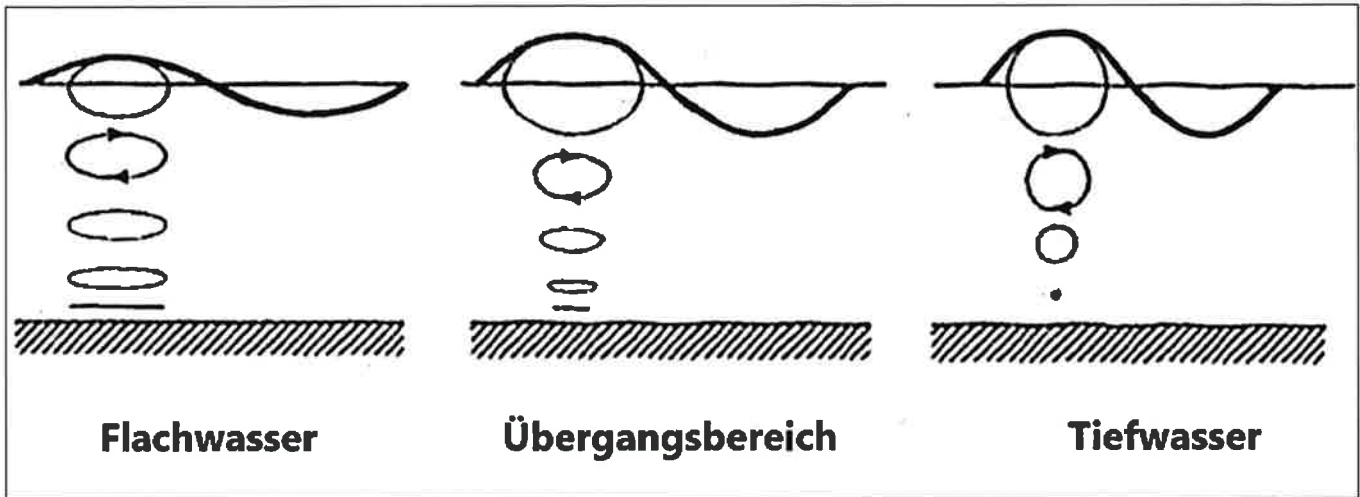


Abbildung 9: Veränderung Orbitalbahnen und Grundinteraktion beim Einlaufen in flaches Wasser [Küste 2002].
 Figure 9 : Modification des trajectoires orbitales et de l'interaction de base à l'entrée des eaux peu profondes [Küste 2002].

Welle wird asymmetrisch und durch Beugung und Wellenbrechung wird Energie parallel zur Welle umverteilt. Im Flachwasser, wo die Wellenhöhe etwa halb so gross ($H/d = 0.4-1.0$) bis gleichgross ist wie die Wassertiefe d können die Prozesse mit Brecherkriterien erfasst werden. Zwar treten verschiedenste Wellenformen auf (Sturzbrecher, Schwallbrecher, rollende Walzen, Brandungswellen / Reflexionsbrecher usw.), die sich mit reflektierten Wellen

und Uferströmungen überlagern, aber alle transportieren ihre Wellenenergie schlussendlich ans Ufer, wo die Energie im Auflauf und Rückstrom am Ufer dissipiert wird. Sobald die Sohlschubspannung der Wellenströmung die Grenzschubspannung der Partikel am Grund übersteigt, beginnen diese mit den Wellen hin und her zu rollen und können verfrachtet werden. Lokal an Hindernis oder Böschungen brechende Wellen führen kurzfristig zu immensen Kräften,

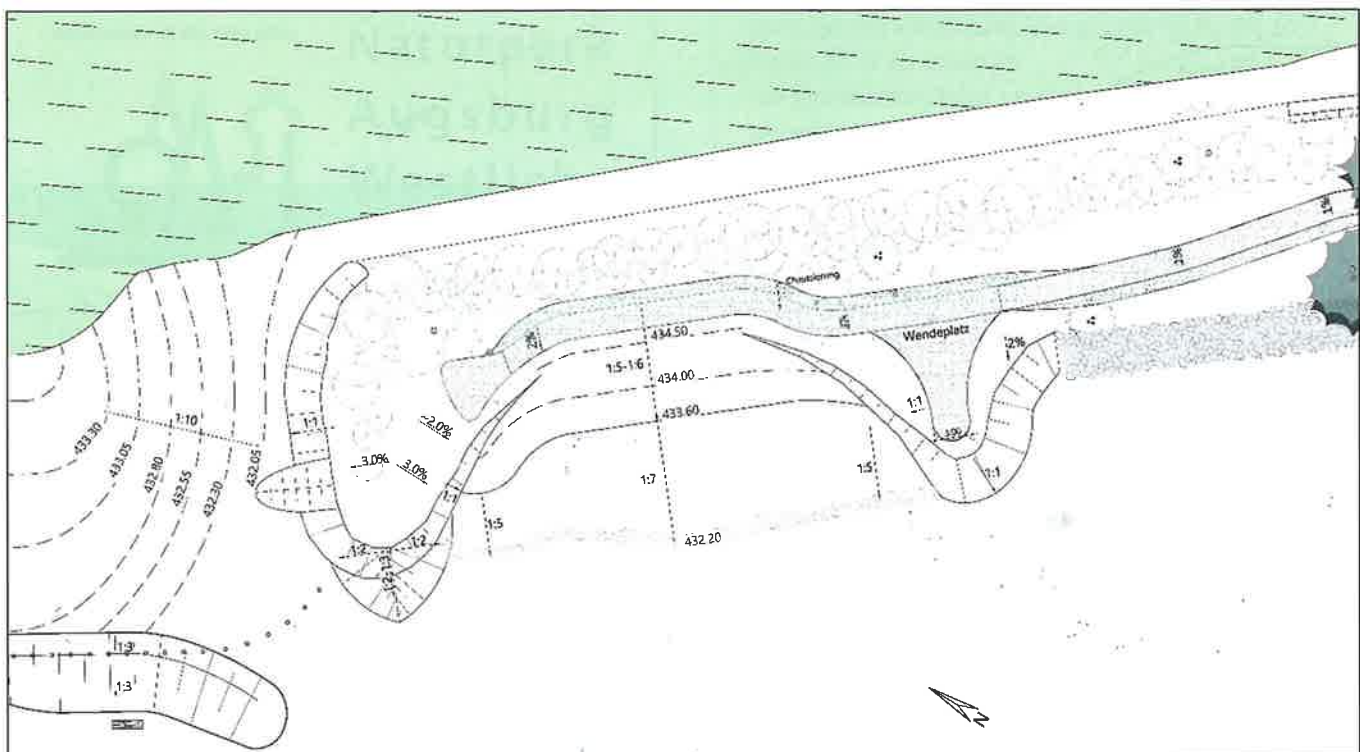


Abbildung 10: Situation Badeschnecke mit Querbauwerken.
 Figure 10 : Situation des plages de baignade avec épis transversaux.

die grössere Schäden wie Kolklöcher und Ausspülungen zur Folge haben können. Mit Massnahmen gilt es so weit als möglich zu verhindern, dass die immensen Kräfte aufs Ufer treffen.

4.3 Südlicher Projektabschnitt: Entfernung des befestigten Dammes mit Ausbildung eines Badestrands und Verhindern der uferparallelen Sedimentverfrachtung

Bei den im südlichen Projektabschnitt tangential zum Ufer eintreffenden Wellen werden die ufernahen Wellenbereiche

mit der Bremswirkung der Flachwasserbereiche verlangsamt, während die uferfernen Bereiche im tiefen Wasser unvermindert weiterlaufen. Dadurch wird der Wellenkamm nach und nach uferparallel ausgerichtet und eine Wellenbewegung zum Ufer hin setzt ein. Der kleinräumige Übergang vom tiefen zu flachem Wasser im Bereich der steilen Dammböschung macht diese Umlenkung der Wellen alles andere als gleichmässig und eine starke uferparallele Strömungskomponente bei Föhn verfrachtet Sediment von Richtung Muota entlang des Ufers, was zur Verlandung der

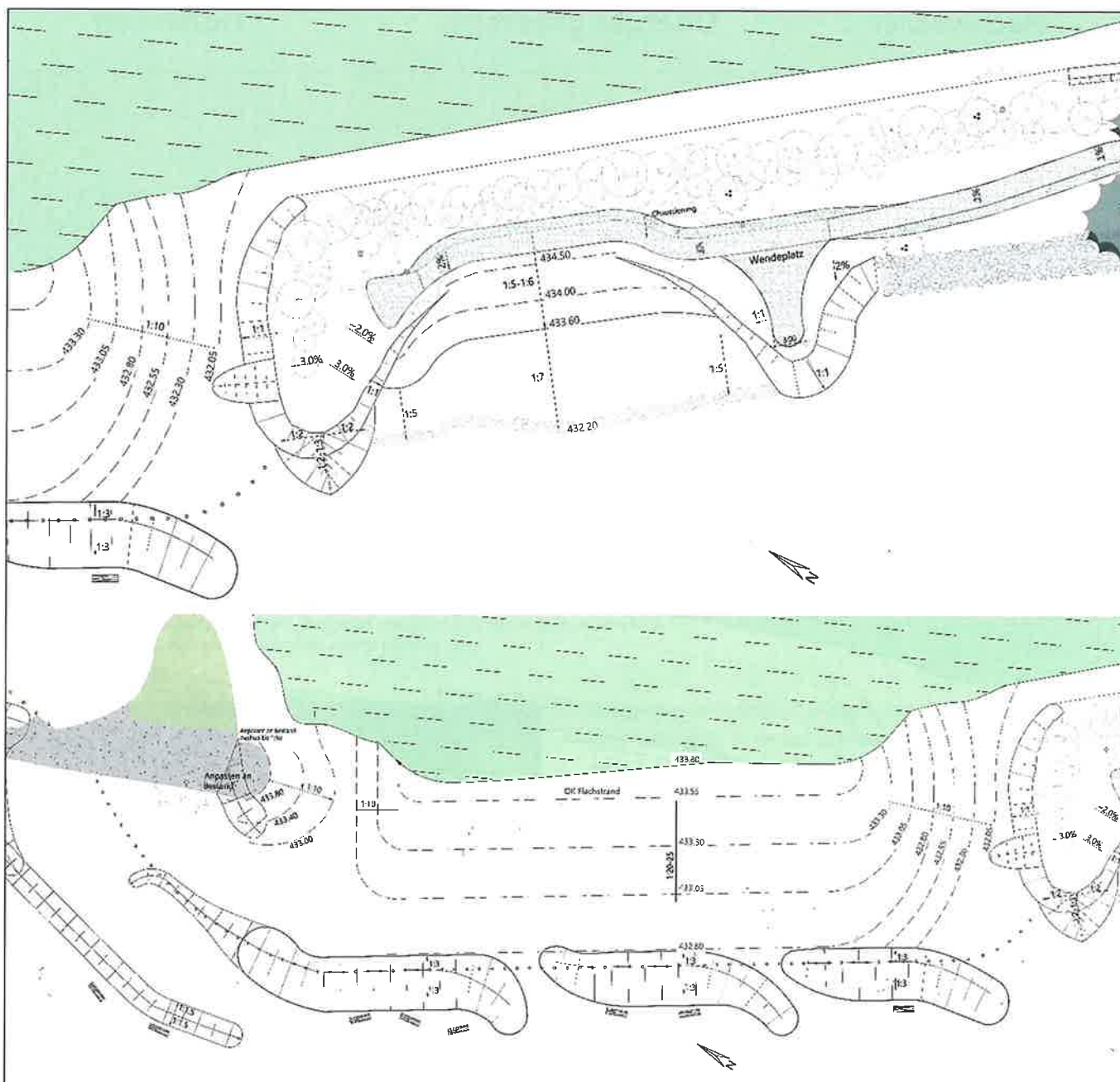


Abbildung 11: Situation Flachstrand mit Riffschüttung.

Figure 11 : Situation d'une plage de faible profondeur avec un remblai récifal.

Hechtgräbeneingänge beitrug. Gleichzeitig war beim Damm zu erkennen, dass die wegen dem Gefällewechsel [Flachstrand-Blocksteinböschung] erzwungene Wellenbrechung zu Ausspülungen der Böschung und Hohlstellen führten. Die künstlich und störende Blocksteinböschung wurde abgebrochen und durch eine Ufergestaltung mit Bühnen und zwischengelagerten Badestränden ersetzt. Die Bühnen verhindern die uferparallele Sedimentverfrachtung, in dem sie die vom Föhnwind getriebenen Wellen in Buchten lenken, in denen sie auf Strände auflaufen können (Abbildung 10). Die Wellenkämme werden dabei an den Bühnen gebrochen und reflektiert, so dass bis zum Strand jegliche bevorzugte Transportrichtung verloren gegangen ist, und Sohlmaterial zufällig hin und her verfrachtet wird, ohne die Strände zu verschieben. Zusätzlich wird die aus Richtung Muota auftretende uferparallele Strömung von den Bühnen ins 2.0 m tiefe Wasser abgelenkt, wo die Wellen kaum mehr mit dem Grund interagieren und bodennah verfrachtetes Material wegen der fehlenden Sohlenschubspannung nicht mehr weitertransportiert werden kann.

Die Strände zwischen den Bühnen wurden mit Gefällen von 1:5 (oberhalb vom Mittelwasserpegel) bis 1:7 (unterhalb vom Mittelwasserpegel) umgesetzt und mit einer Fusschüttung mit Schroppen gegen die steilere Seegrundböschung hin abgeschlossen. Der Strand setzt sich unter Wasser aus Schotter mit einer 30 cm starken Überschüttung aus Grobkies ca. 0/200 zusammen und besteht über Wasser aus feinerem Kies 1/100. Die neuen Uferböschungen und Bühnen wurden wegen allfälligen Kolkerscheinungen 1 m tief in den Seeboden eingebunden, mit Böschungsneigungen von 1:1 bis 1:3, und bestehen aus versetzten Alpensteinblöcken von bis zu 1.5 m Durchmesser. Die Bühnen reichen bis in 2 m Wassertiefe, um die beschriebene Tangentialverfrachtung zu unterbinden. An den Böschungen sichern Filterschichten aus zum Teil wiederverwertetem Aushub die Einbettung der Steine gegen Auswaschung.

4.4 Mittlerer Projektabschnitt: Entfernung des Dammes, Ansiedelung von Schilf und Erosionsschutz durch vorgelagerte Riffe

Im mittleren Projektabschnitt wurde der trennende, befestigte Damm entfernt und durch ein Flachufer mit Schilfbepflanzung ersetzt. Die vorgelagerte Seegrundtopografie mit 5 bis 10 m breitem Übergangsbereich lässt die Wellen sich einerseits auftürmen und andererseits ungebrochen ans Ufer prallen. Bei starkem Westwind kann es hier zu Ufererosion kommen. Die Herausforderung war, an diesem exponierten Standort langfristig Schilf anzusiedeln. Nebst dem Schutz vor Wellen braucht Schilf einen Feinanteil von 20 bis 30% im Seegrund und stellt Ansprüche an die

Wassertiefe. Das Ziel war, eine möglichst grosse Wasserwechselzone zu realisieren und den Seegrund so zu schützen, dass dieser den Anforderungen des Schilfs gerecht wird. Der Seegrund sollte dabei eine natürliche Dynamik zulassen, jedoch ohne grossräumige Verfrachtungen. Nach Rückbau des Dammes würde der Wellenschlag ohne Massnahmen bereits bei häufig auftretenden Windereignissen allfälligen Schilfbewuchs zerstören und die starken Umlagerungen am Grund würden der Unterwasservegetation zusetzen. Wegen der fehlenden Schutzwirkung des rückgebauten Dammes würden die Wellen ungebrochen in das Ried strömen und das Flachmoor mit grossen Mengen Schwemmholz eindecken, gleichzeitig würde eine Grundströmung Feinanteile aus dem Moor austragen. Die Schutzwirkung des ursprünglichen Dammes gegen Wellenschlag konnte nur durch eine abgestimmte Kombination von Massnahmen ersetzt werden.

In einer Uferdistanz von ca. 25 m wurden Unterwasserriffe eingebaut (Abbildung 11 unten). Die vorhandenen Baggerlöcher verunmöglichten die Realisierung der Riffe in einem grösseren Uferabstand. Die vorgelagerten Riffe aus formwilden Alpenkalkblöcken (Blockgrösse ca. 1 m) umlagern die Schwemmholzpfähle und haben Böschungsneigungen von 1:3. Die Riffe reichen bis 20 cm unter den Mittelwasserspiegel. Bei Mittelwasserspiegel werden Wellen mit einer Wellenhöhe von 0.15 bis 0.25 m gebrochen. Landseitig der Riffe wurde eine Art Tosbecken ausgebildet, in welchen genügend Energie dissipiert wird, sodass sich in der anschliessenden Wasserwechselzone ein geschützter Schilfstandort entwickeln kann. Die ans Riff anschliessende Sohlsicherung [«Tosbecken»] besteht aus 30 bis 50 cm Blocksteinen, die mit Grobkies überdeckt sind (Abbildung 12). Die Längsverfrachtung aus Richtung Muota wird von den im Süden realisierten Bühnen unterbunden. Die Schilfzone wurde auf einem Flachstrand mit Neigung 1:20 bis 1:25 realisiert, mit einer 40 cm starken Schicht aus Kies- und Sohlsubstrat aus 30% Silt und 70% ausgesiebten Kies [ca. 20/150] aus dem Rückbau. Eine bauseitige Herausforderung war, die Flachstrände Unterwasser so zu schützen, dass keine Entmischung stattfindet. Das Schilf wurde mit Initialbepflanzungen in umzäunten Kästen angesiedelt.

Die Wirkung der Riffe ist abhängig vom Seepiegel. Im Extremfall können Weststürme gleichzeitig mit hohen Seewasserständen auftreten. Das geschützte Moor muss für diese Situation gewappnet sein, ein Schutz der Wasserwechselzone mit neuem Schilfbestand gegen Stürme mit Hochwasserständen ist hingegen nicht verhältnismässig. Die Wasserwechselzone mit bewusst mobiler Sohle [so fein wie möglich, so grob wie nötig] wurde daher mit einem überschütteten Erosionsschutz [Blocksteinböschung mit

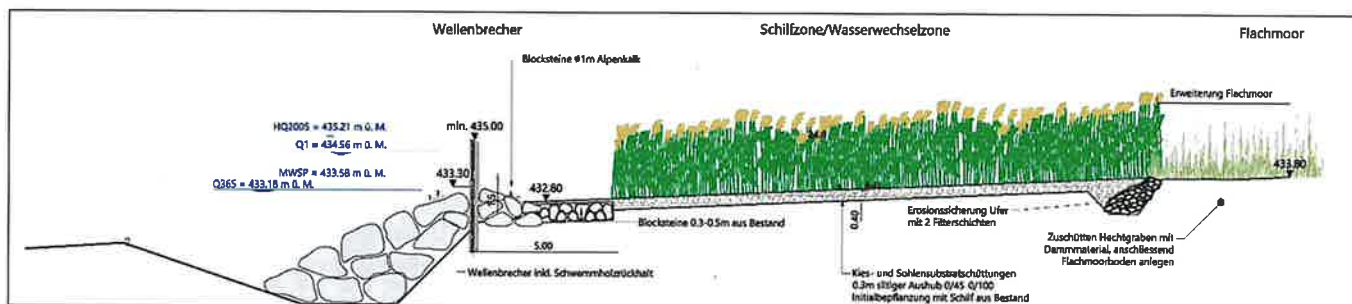


Abbildung 12: Querschnitt durch Flachstrand mit Riffschüttung.
Figure 12 : Coupe transversale d'une plage peu profonde avec un remblai récifal.

dahinterliegendem Filter] zum Moor hin abgeschlossen, der eine allfällige Rückwärtserosion an dieser Grenze aufhalten würde (Abbildung 12).

Damit die Wasserwechselzone dennoch gut durchmischt wird und Feinpartikel im strömungsberuhigten Bereich hinter den Riffen regelmässig umgelagert werden, wurden die Riffe im Anschluss an die Ablenkbuhnen unterbrochen. Die Öffnungen überlappen sich dabei in westlicher Richtung, um keine Lücken im Uferschutz gegen Wellenschlag aufzuweisen. Durch eine landeinwärts gebogene Linienführung der nördlichen Riffenden und einen seeseitig ausragenden Endzipfel im Süden fangen die Riffe die vom Föhnwind getriebenen Wellen ein und lenken sie in den Zwischenraum von Riff und Ufer um, wobei sie gebrochen und ihrer Energie beraubt werden. Was bleibt ist eine erwünschte kontinuierliche Durchströmung der Wasserwechselzone bei Föhnwind.

Die Zugänge zu den Hechtgräben werden durch die Riffe und die beiden Buhnen beim Badestrand vor Verlandungen geschützt.



Abbildung 13: Abgelenkte Wellen an der Landzunge.
Figure 13 : Vagues déviées sur la langue de terre.

4.5 Nördlicher Abschnitt: Verhindern von Verlandung und Erosion der bestehenden Hechtlaichplätzen

Am nördlichen Perimeterrand beginnt die Flachwasserzone in mehr als 50 m Entfernung vom Ufer. Bei starkem Westwind können sich hier grosse Wellen aufbauen, die jedoch genügend Flachwasserstrecke vorfinden, um zu brechen und ihre Energie zu dissipieren. Das dabei bewegte Sediment lagert sich in erster Linie innerhalb der flachen Bucht um und belebt damit die ökologische Vielfalt. Zusätzlich kommt es zu uferparallelen Verschiebungen entlang der Landzunge (Abbildung 13 und Abbildung 14). Um eine Verlandung der beiden freigelegten Hechtgrabeneingänge zu verhindern und die uferparallele Sedimentverfrachtung zu unterbinden, wurden neue Buhnen erstellt. Die in den letzten Jahren dominierenden uferparallelen Sedimenttransporte aus Richtung Muota wurden durch die oben beschriebenen tiefenfundierten Buhnen beim Badestrand unterbunden.

Für die Sicherung des südlichen Eingangs (vgl. Abbildung 15 rechts) initiieren die vorgelagerten Riffschüttungen den Überschlag hoch aufgetürmter Wellen, die dadurch Energie an den nachgelagerten Grund abgeben und eine erwünschte lokale Dynamik unter die Sohlkörner bringen. Die Massnahme muss im richtigen Abstand umgesetzt werden, damit bis zum Uferbereich alle Wellen genügend Energie verloren haben, um Längsverschiebungen von Sedimenten zu minimieren.

Das äussere Riff wurde hingegen mit der Landzunge verbunden, um die uferparallelen Transportprozesse zu begrenzen. Eine zweite mit einem Raubbaum versehene Buhne wurde als zusätzlicher Schutz vor den Längsverfrachtungen realisiert.

Für die Sicherung des neu geschaffenen Hechtgrabenzugangs bei der Durchbrechung der Landzunge (vgl. Abbildung 15 links) wurde beim äussersten Riff ein weiterer Wellenbrecher angeordnet. Die Sedimentverfrachtungen bei Westwind werden von diesem unterbunden und der im Strömungsschatten liegende Hechtgrabeneinlauf wird geschützt. Langfristig wird es bei diesem Einlauf wegen

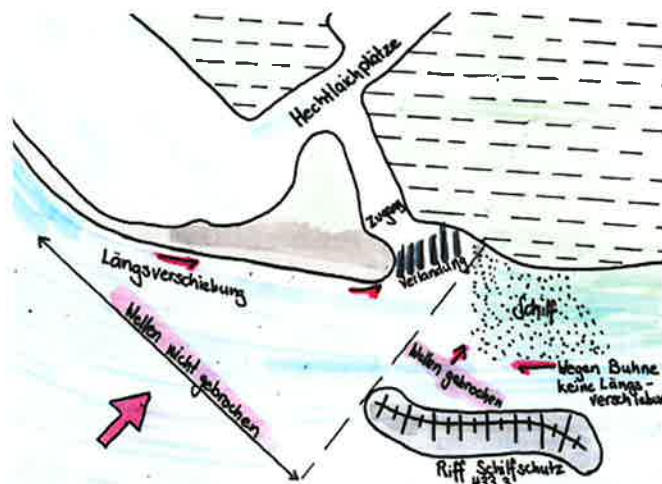


Abbildung 14: Gefährdungsbild für die Verlandung der Eingänge zu den Hechtläichplätzen
Figure 14: Image de danger pour l'atterrissement des entrées des frayères à brochets.

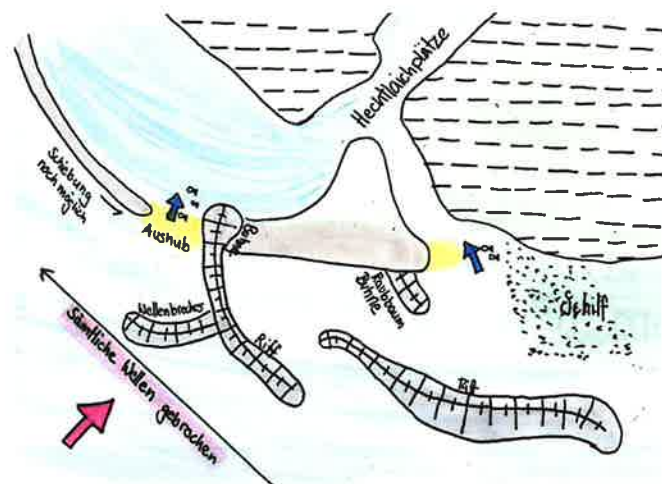


Abbildung 15: Ein komplexes System aus Riffen, Wellenbrechern und Buhnen minimiert den ungewollten Verlandungs- und Erosionsprozess.
Figure 15: Un système complexe de récifs, de brise-lames et d'épis minimise le processus non-voulu d'atterrissement et d'érosion.

der zwar weniger häufig auftretenden, aber ungehinderten Sedimentverschiebung vom Norden wahrscheinlich zu Verlandungserscheinungen kommen. Diese werden akzeptiert.

5. Diskussion

Aus dem Vergleich zwischen Ist-Zustand und Soll-Zustand wurden die Schwerpunkte abgeleitet, mit denen die Ziele des Projekts nach dem Leitbild «so dynamisch wie möglich und so rigide wie nötig» in Angriff genommen werden konnten. Die untersuchten und hier geschilderten Prozesse konnten durch ein Zusammenspiel verschiedener Massnahmen kontrolliert werden, ohne einen harten Verbau und ohne die Trennung von Moor und See. Wichtig ist dabei die Planung auf die häufigeren Wind- und Wetterereignisse auszurichten, welche das Ufer langfristig formen, und

gleichzeitig den Überlastfall zu berücksichtigen, um die Existenz des Moors auch auf lange Sicht zu garantieren. Wie das Leitbild bereits vermuten lässt, ist dabei eine ständige Abwägung zwischen den technischen Möglichkeiten, gegensätzlichen Anforderungen und Verhältnismässigkeiten zu treffen. Um hierbei einen nachvollziehbaren und gut dokumentierten Weg zu gehen, ist eine detaillierte Analyse der Prozessinteraktionen unumgänglich. Eine «learning by doing»-Strategie führt hier durchaus zu Endlosschleifen aus Schadenfall und Korrektur, da es für Uferprozesse mit Welleninteraktion keine festgelegte einheitliche Lösung gibt, sondern nur fundierte Entscheidungen, welchem Prozess wie viel Raum zugesprochen wird.

Im Fall von Hopfräben hat man einen wohl überlegten und durchdachten Kompromiss gewählt, der alle Akteure sicher in die Zukunft führt. Bereits kurz nach Bauende konnten Fische und Junghechte, als auch Wasserschlängen in den wieder angebotenen bzw. neu erstellten Hechtläichgewässern beobachtet werden. Der stürmische Winter 19/20 mit den beiden Sturmtiefen «Petra» und «Sabine» zeigten die Wellenbrecherwirkung der Unterwasserriffe auf.

6. Fazit

Mit geeigneten Massnahmen können auch an exponierten Lagen ökologisch wertvolle Wasserwechselzonen ausgebildet werden. Eine fundierte Analyse der Ist-Situation ist unumgänglich, und die Planung und Bemessung der Übergangszonen, Flachwasserbereiche und Ufer muss insbesondere die Sedimentverfrachtungen bei unterschiedlichen Wellenprozessen berücksichtigen. Nach dem Leitbild «so dynamisch wie möglich und so rigide wie nötig» bleibt jedoch jede Massnahme ein Kompromiss zwischen verschiedenen Interessen. Im Fall Hopfräben konnte aber die Situation für alle verbessert werden.

7. Literaturverzeichnis

Archiv für Forschung und Technik an der Nord- und Ostsee 2002. Die Küste. In: Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen (Hrsg.) EAK 2002 - Empfehlungen für Küstenschutzwerke; Heft 65

Greenwood, B. 1978. Sediment transport by waves. In: Sedimentology. Encyclopedia of Earth Science. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/3-540-31079-7_183

Kontaktadresse

Albrecht von Boetticher
Staubli, Kurath & Partner AG
Ingenieurbüro SIA USIC
8048 Zürich
Bachmattstrasse 53
Tel. 043 336 40 50
Albrecht.vonboetticher
@wasserbau.ch



Stephanie Matthias



Richard Staubli



«Mein Team für mehr Biodiversität»

Hanspeter Latour, OHS Wildblumenbotschafter



www.hauenstein.ch | info@hauenstein.ch | 044 879 17 19