landschaftswerk biel-seeland
action paysage bienne-seeland

Kanton Bern
Abteilung Naturförderung

Schilf- und Uferschutzmassnahmen am Bielersee

30 Jahre Schilfschutz am Bielersee – eine Erfolgskontrolle

Christoph Iseli, Anne Schiefer, Zohra Barhoumi 23.05.2020

Planungsbüro Landschaftsökologie
Bureau de planification paysagère

Landschaftswerk Biel-Seeland AG
Action Paysage Bienne-Seeland SA
Postfach/Case postale
2501 Biel/Bienne

T 032 328 11 33
info@landschaftswerk.ch
www.landschaftswerk.ch
www.actionpaysage.ch

Das Sozialunternehmen des Vereins Netzwerk Bielersee
L'entreprise sociale du Réseau Lac de Bienne

Inhalt

Zusammenfassung **4**

1 Einleitung **5**

2 Rückblick **6**

2.1 Schilfschutzprojekte 1989 - 2007 6

2.2 Wirkungskontrollen 7

2.3 Unterhalt 9

2.4 Weitere Massnahmen 9

2.5 Beurteilung der ausgeführten Massnahmen 10

3 Schilfschutzmassnahmen am Bielersee **11**

3.1 Standorte 11

3.2 Lahnungen 12

3.3 Wellenbrecher 21

3.4 Sedimentspülungen 25

3.5 Schilfpflanzungen 33

4 Entwicklung der Schilffront von 1995 – 2015 ..... **38**

4.1 Einleitung 38

4.2 Auswertung der Luftbilder 39

4.3 Veränderung der Bestandesflächen 45

5 Entwicklung der Bathymetrie 1990 – 2016 ..... **46**

5.1 Einleitung 46

5.2 Auswertung der Querprofile 46

5.3 Interpretation 56

6 Gesamtinterpretation **57**

7 Fazit **58**

8 Empfehlungen und Ausblick **59**

9 Literatur **60**

Anhang 61

Anhang 1: Unterhaltsplan Lahnungen 62

Anhang 2: Veränderung der Schilfflächen pro Uferabschnitt 64

Impressum

Auftraggeber	Amt für Landwirtschaft und Natur des Kantons Bern, Abteilung Naturförderung
Version	V4-3
Datei	30 Jahre Schilfschutz Bielersee 20200523
Datum	23.05.2020
Verfasser	Christoph Iseli, dipl. Forsting.ETH, Landschaftswerk Biel-Seeland
	Anne Schiefer, MSc Wasserwirtschaft, Landschaftswerk Biel-Seeland
	Zohra Barhoumi, BSc Bauingenieurwesen, Berner Fachhochschule AHB Bereich FDW
Fotos	Alle Fotos: Christoph Iseli (sofern keine andere Angabe)
Titelbild	Lahnung 'in Aktion' (Erlach, 14.05.2019)

Zusammenfassung

Wie an manchen Seen in Mitteleuropa wurde auch am Bielersee in den 1980er Jahren ein starker Rückgang der aquatischen Röhrichtbestände festgestellt. Als wichtigste Ursachen für diesen flächigen Verlust wurden einerseits mechanische Belastungen der Schilfbestände im Zusammenhang mit der Eutrophierung (Überdüngung) des Seewassers und andererseits die Erosion der Ufer und der Flachwasserzone vermutet. Ab 1989 wurden am Südufer des Bielersees umfangreiche Massnahmen zur Förderung der Schilfbestände umgesetzt. Dabei handelte es sich hauptsächlich um Lahnungen, Wellenbrecher, Sedimentspülungen und Schilfpflanzungen. Im Bericht "30 Jahre Schilfschutz am Bielersee – eine Erfolgskontrolle" (Iseli et al. 2020) wurden einerseits die ausgeführten Massnahmen dokumentiert und andererseits versucht, deren Wirkung auf die Entwicklung der Schilfbestände zu beurteilen.

Die Resultate, welche hier zusammengefasst sind, zeigen, dass sich die Schilfbestände am Bielersee insgesamt erholt haben, und zwar unabhängig der Schutzmassnahmen. Gleichzeitig wird deutlich, dass Massnahmen, welche einen positiven Einfluss auf die Ufermorphologie hatten, indem sie eine Akkumulation von Sedimenten bewirkten, diese Entwicklung beschleunigten. Daraus kann geschlossen werden, dass die Entwicklung der Schilfbestände viel stärker als bisher angenommen mit der ufermorphologischen Entwicklung in Zusammenhang stehen. Die formulierten Erkenntnisse sollen mithelfen, zukünftige Revitalisierungsprojekte wirkungsvoller zu gestalten und die natürliche Entwicklung, also die natürliche Dynamik an den Seeufern zu fördern.

1 Einleitung

"Wenn die Entwicklung so weiter geht, werden wir in absehbarer Zeit an den Bielerseeufern kein Schilf mehr sehen" stellte Prof. P. Tschumi von der Uni Bern 1985 fest (Felber 1985). Auch Seeanwohnern fiel der Rückgang der Schilfbestände auf. Sie richteten sich an den Verein Bielerseeschutz VBS (heute Verein Netzwerk Bielersee) mit Anfragen, was dieser gegen den Schilfrückgang unternehmen und zum Schutz der noch vorhandenen Schilfbestände beitragen könne.

Der VBS nahm sich der Problematik an und liess eine Studie erarbeiten, welche mögliche Massnahmen zum Schutz des Schilfes und zur Erhaltung und Förderung der Naturufer formulieren sollte. Das Schilfschutzkonzept Bielersee (Iseli & Imhof 1987) dokumentierte den Schilfrückgang am Bielersee und analysierte die möglichen Ursachen. Bald wurde deutlich, dass das Phänomen nicht nur am Bielersee, sondern an vielen Seen in der Schweiz und Europa festgestellt wurde. An der ETH Zürich, der Universität Konstanz, der TU München, der TU Berlin und an vielen weiteren Instituten befassten sich Wissenschaftler*innen mit dem Schilfrückgang, dessen Ursachen und möglichen Schilfschutzmassnahmen. (Ostendorp 1989, Ostendorp et al. 1993 und 1995)

Dabei wurde festgestellt, dass es nicht nur um die Zerstörung der Seeufer durch Verbauung sondern auch um eine Folge der Zunahme des Nährstoffgehalts, also der Eutrophierung der Seen ging. Die Ansätze der Forschenden waren je nach Institut unterschiedlich. Entsprechend wurden verschiedene Faktoren identifiziert, welche in einem komplexen Wirkungszusammenhang je für den Schilfrückgang mitverantwortlich waren. Am Bielersee standen neben der Eutrophierung des Seewassers die hydromechanischen Faktoren, also die mechanische Belastung des Schilfes durch Schwemmgut und die Erosion des Seegrundes sowie das Zusammenwirkens dieser Faktoren im Vordergrund (Iseli 1995 und 1996).

1989 lancierte der VBS das Schilfschutzprojekt Bielersee. Im Winter 1989/90 waren rund 800 Zivilschutzpflichtige der Region während sechs Wochen im Einsatz und realisierten die ersten umfassenden Massnahmen zum Schutz der Schilfbestände und der Naturufer in Mörigen, Täuffelen, Lüscherz und Erlach. In der Projektdokumentation (Verein Bielerseeschutz 1990) wurde auf die komplexen Ursachen des Schilfrückgangs verwiesen und die Notwendigkeit von langfristig angelegten Massnahmen betont, insbesondere auf die Verbesserung der Wasserqualität. Das Ziel der realisierten Massnahmen wurde wie folgt formuliert (ebenda, S. 19): "Die hier ausgeführten technischen Schutzmassnahmen sollen dem Schilf während einer Übergangsphase helfen, sich zu regenerieren. Sie sollen also nicht einen bestimmten Uferzustand fixieren, sondern eine natürliche Entwicklung fördern."

Seit diesem 'Startschuss' 1989 wurden laufend weitere Schilf- und Uferschutzmassnahmen umgesetzt. Im kontinuierlichen Austausch zwischen verschiedenen Fachleuten und Institutionen wurden allmählich wissenschaftliche Grundlagen erarbeitet und die Massnahmen weiterentwickelt. Mit der Änderung des Gewässerschutzgesetzes 2011 rückte der Bund die Revitalisierung in den Vordergrund. "Vom Uferschutz zur Uferrevitalisierung" (Iseli 2016) lautete ein Fazit an der Tagung "Standortbestimmung Seeufer" von 2016.

Nach dreissig Jahren Schilfförderung am Bielersee ist es an der Zeit, zurückzublicken und kritisch zu fragen, was die Schilfschutzmassnahmen bewirkt haben. In diesem Bericht werden einerseits die ausgeführten Massnahmen dokumentiert und andererseits versucht, deren Wirkung zu beurteilen. Anhand von Luftbildern wird die Entwicklung der Schilfbestände nachgezeichnet und anhand von bathymetrischen Querprofilen versucht, die morphologische Entwicklung der Flachwasserzone zu verstehen. Die Resultate sind verblüffend, zeigen sie doch auf, dass sich die Schilfbestände am Bielersee insgesamt erholt haben – auch unabhängig der Schutzmassnahmen – und dass gleichzeitig Massnahmen, welche einen positiven Einfluss auf die Ufermorphologie hatten, indem sie die Akkumulation von Sediment förderten, diese Entwicklung beschleunigten. Die formulierten Erkenntnisse sollen mithelfen, zukünftige Revitalisierungsprojekte wirkungsvoller zu gestalten und die natürliche Entwicklung, also die natürliche Dynamik an den Seeufern zu fördern.

2 Rückblick

2.1 Schilfschutzprojekte 1989 - 2007

Im Schilfschutzkonzept Bielersee (Iseli & Imhof 1987) wurde der starke Rückgang der aquatischen Röhrichtbestände am Bielersee zwischen 1956 und 1980 dokumentiert (Abb.1). Gleichzeitig wurden verschiedene Massnahmen zum Schutz des Schilfes und zur Aufwertung der naturnahen Ufer am Bielersee vorgeschlagen. Im Rahmen der beiden Schilfschutzprojekte 1 und 2 des Vereins Netzwerk Bielersee (damals: Verein Bielerseeschutz) wurden zwischen 1989 und 1993 an mehreren Uferabschnitten am Bielersee verschiedene Uferschutzmassnahmen realisiert (Iseli 1992b). Die umfangreichste Massnahme war der Bau von Lahnungen zum Schutz der Schilfbestände (Abb.2). Lahnungen sind Wellenbrecher aus dicht gepackten Weidenzweigen, welche in eine uferparallele, doppelte Pfahlreihe gepackt werden. Sie bewirken eine Wellenberuhigung, was einerseits zu einer Reduktion der mechanischen Belastung der Schilfbestände und andererseits zu einer Ablagerung der suspendierten Sedimente und somit zu einer Auflandung führt. Insgesamt wurden rund 1'250 m' Lahnungen in vier Uferbereichen in Erlach, Lüscherz (NSG), Täuffelen und Mörigen (NSG) erstellt. Später wurde in Sutz eine weitere Lahnung von ca. 150 m' Länge erstellt. Diese hatte die Funktion eines provisorischen Erosionsschutzes zur Sicherung der archäologischen Kulturschichten der sog. Station Sutz Rütte. In Täuffelen und in Lüscherz wurde zudem je eine Palisadenlahnung gebaut. Diese bestehen aus drei Reihen Pfählen, welche insbesondere in Längsrichtung möglichst dicht geschlagen wurden. In Nidau (1994), Ipsach (2001) und Gals (2002) wurden im Rahmen von Uferrevitalisierungsprojekten Ufermauern abgebaut, das Ufer abgeflacht und teilweise mit vorgelagerten Wellenbrechern aus Steinblöcken geschützt.

Mit den Schilfschutzprojekten 1 und 2 (1989 – 1996), dem Folgeprojekt 'Bielersee 2002' (1997 – 2002) und dem anschliessenden FLS-Projekt 'Landschaftswerk Bielersee' (2003 – 2007) war die Finanzierung des Schilfschutzes und damit des Unterhalts mit kleinen Unterbrüchen während 19 Jahren bis 2007 gesichert.

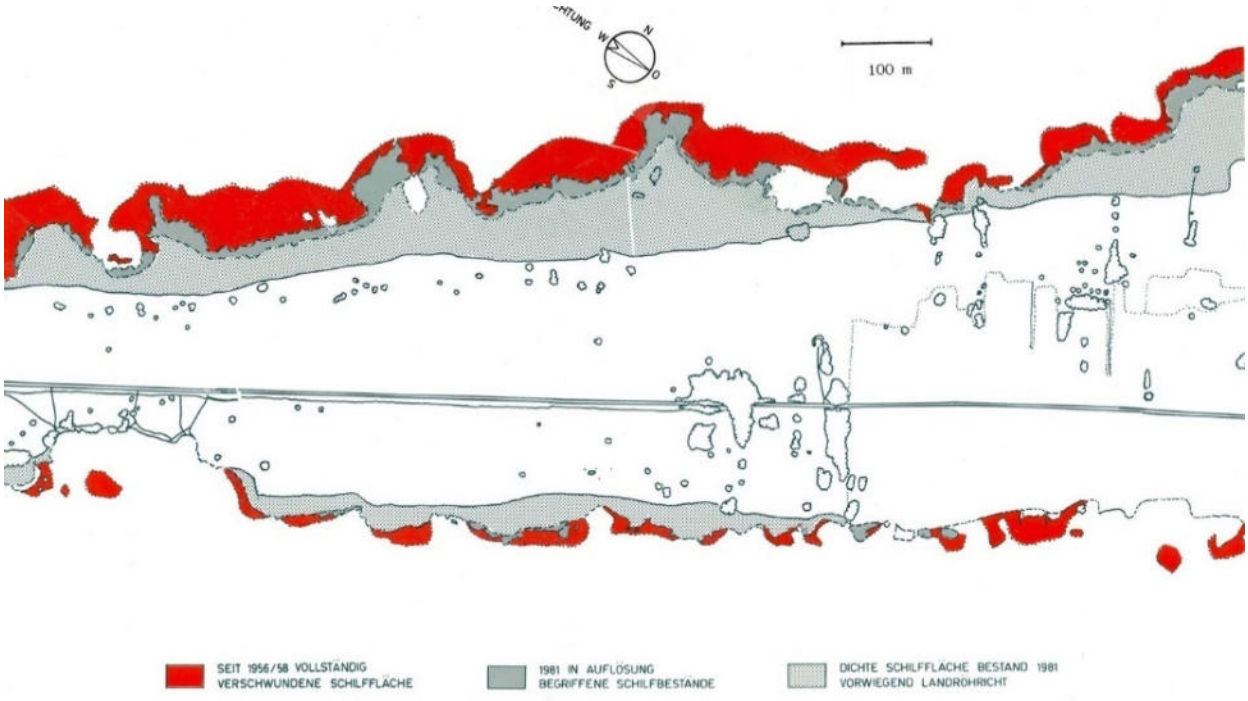


Abb.1) Rückgang der aquatischen Röhrichtbestände (rot) zwischen 1956 und 1980. Ausschnitt Heidenweg (Iseli & Imhof 1987)

Abb.2) Bau von Lahnungen in Mörigen 1992

2.2 Wirkungskontrollen

Zwischen 1992 und 2000 wurden an 21 fest installierten Stichprobenflächen Wirkungskontrollen durchgeführt (Abb.3). Dabei wurden einerseits die Entwicklung der Schilfbestände und andererseits die Veränderungen des Seegrundes (Erosion/Akkumulation) gemessen. In den Berichten zur Wirkungskontrolle (Iseli 1995 und Heimann 2000) wird festgehalten, dass der Einfluss der Lahnungen auf die Entwicklung der Schilfbestände wahrscheinlich positiv bewertet werden kann. Weil sich jedoch Schilfbestände auch ohne Schutz von Lahnungen ausgebreitet hatten, konnte die Aussage zur Wirkung der Lahnungen nicht eindeutig formuliert werden. Gleichzeitig wurde aber festgestellt, dass die Lahnungen an Standorten, an welchen Sedimentverlagerungen stattfinden, klar die Auflandung der Flachwasserzone fördern.

Abb.3) Aufnahme einer Stichprobenfläche in Erlach 1999

Aufgrund dieser Wirkungskontrollen wurden schon ab 2002 einzelne Lahnungselemente aufgegeben. So wurden ab dann sämtliche Elemente in Täuffelen nicht mehr weiter unterhalten. Einerseits hatte sich hier der Schilfbestand weiter aufgelöst und grossenteils bis zur Uferlinie zurückgezogen. Als Ursache für diesen Rückgang schienen jedoch nicht mechanische Faktoren verantwortlich zu sein. Andererseits konnte an diesem Uferabschnitt keine Sedimentakkumulation festgestellt werden. Der Standort ist

offenbar durch das Aaredelta Hagneck von grösseren Wellen und damit vor sedimenttransportierenden Strömungen zu stark abgeschirmt. Auch die Lahnung bei der archäologischen Station Rütte wurde nach einigen Jahren aufgegeben. Es zeigte sich, dass die Wassertiefe und damit die Wellenexposition an diesem Standort zu extrem und der Unterhalt zu aufwendig waren.

Ein weiteres Problem waren die periodisch auftretenden Schwemmholzereignisse. Nach dem Grossereignis 1990 (Abb.4), in welchem rund 5‘000 m^3 Schwemmholz aus dem See und rund 1‘000 m^3 aus den Flachuferbereichen geborgen werden mussten, wurde im Auftrag der Baudirektion und der Polizeidirektion des Kantons Bern eine Schwemmholzstudie für Brienzer-, Thuner- und Bielersee erarbeitet (Iseli & Rohner 1992).

Abb.4) Schwemmholzbergung in Lüscherz nach dem Grossereignis 1990 (Foto: Seepolizei Bielersee)

Abb.5) Nach einem Wetterumschwung und aufkommendem Westwind wurden über 1'000 m^3 Schwemmholz an die Ufer geschwemmt (Täuffelen, Juli 1990)

Verschiedene der in der Schwemmholzstudie vorgeschlagenen Massnahmen wurden anschliessend umgesetzt. Neben der Ausrüstung der Seepolizei mit schwimmenden Sperren zum Rückhalt des Holzes waren insbesondere die Regelung der Zuständigkeiten und der Aufbau einer Alarmorganisation von entscheidender Bedeutung. So konnte die Seepolizei jeweils die nötigen Mittel organisieren, damit das

Schwemmholz möglichst rasch – und bevor es in den Schilfbeständen grosse Schäden anrichtet (Abb.5) – geborgen werden kann. Dafür wurde oft das Landschaftswerk Biel-Seeland mit seinen Equipen und Booten aufgeboten. Aufgrund verschiedener Sparmassnahmen funktioniert dieses Dispositiv seit wenigen Jahren nicht mehr mit der nötigen Effizienz. Bei den jüngeren Schwemmholzereignissen setzte das Amt für Wasser und Abfall lediglich die (zu bescheidenen) eigenen Mittel ein, um das Schwemmholz vor den Schilfbeständen zu räumen, was zu einer massiven Belastung der Schilfbestände durch angeschwemmtes Holz führte. Seit wenigen Jahren setzt deshalb die Gemeinde Täuffelen einen Teil des Budgets für die ökologische Landschaftspflege in der Gemeinde ein, um bei Bedarf das ans Ufer angeschwemmte Holz durch das Landschaftswerk entfernen zu lassen.

Als weitere neue Problematik kam dazu, dass der Archäologische Dienst des Kantons Bern kürzlich massive Erosionserscheinungen im Naturschutzgebiet Mörigen beobachtet hat. Er hat zudem auf dem Seegrund eine grosse Zahl Weidenzweige, welche infolge des reduzierten Unterhaltsrhythmus der Lahnungen aus diesen herausgespült wurden, festgestellt, und vermutet, dass diese bei Wellengang den Untergrund aufwühlen.

Es wird jedoch angenommen, dass hier eine allmähliche Tiefenerosion der gesamten Flachwasserzone stattfindet (mündliche Aussage ADB, vgl. auch Iseli & De Cesare 2019). Während Lahnungen wohl die Erosion der Uferlinie und des Seegrundes auf ihrer landwärtigen Seite verhindern können, haben sie auf die seeseitigen Erosionsprozesse keinen Einfluss. Ähnlich wie bei der Station Sutz Rütte muss davon ausgegangen werden, dass die Erosionsprozesse hier massiver sind und tiefer greifen und deshalb nicht mit Lahnungen, welche nur bis auf eine Wassertiefe von ca. 1,2 m bezüglich des mittleren Wasserstands erstellt werden können, zu stoppen sind.

2.3 Unterhalt

2010 schloss die Abteilung Naturförderung (ANF) mit dem Landschaftswerk Biel-Seeland einen Vertrag über eine Zeitdauer von 10 Jahren ab. Mit diesem Vertrag wird der Unterhalt der insgesamt 690 m' Lahnungen in den beiden Naturschutzgebieten Mörigen und Lüscherz mit 10'000.- pro Jahr unterstützt. Dieser Betrag finanziert jedoch den Aufwand für einen sachgerechten Unterhalt nur zu einem geringen Anteil. Da das Landschaftswerk heute keine allgemeinen, nicht zweckgebundenen Beiträge mehr erhält und deshalb kostendeckend arbeiten muss, mussten hier neue Lösungsansätze diskutiert werden.

In Erlach wird der Lahnungsunterhalt über Beiträge für den Unterhalt naturnaher Ufer gemäss Art. 13 der See- und Flussuferverordnung aus dem See- und Flussuferfonds unterstützt. Für die Periode von 2016 bis 2020 konnte das Landschaftswerk mit einem Fundraising zudem namhafte Beiträge von Stiftungen und Privaten sowie der Gemeinde Erlach organisieren, so dass für diese fünf Jahre der Lahnungsunterhalt finanziell gesichert war.

2.4 Weitere Massnahmen

Als weitere Massnahme zur Förderung der aquatischen Röhrichtbestände, welche am Bielersee mehrfach zur Anwendung kam, ist die Pflanzung von Wasserschilf (Abb.6). Aus der Erkenntnis heraus, dass Schilf dauernd überflutete Bereiche nur vom Land her über Rhizomausläufer besiedeln kann und dass gleichzeitig die Ufer oft entweder von Gehölzen 'besetzt' sind oder an der Wasserlinie ein unüberwindbares Erosionskliff aufweisen und so eine natürliche Besiedlung nicht stattfinden kann, wurde versucht, mit Pflanzungen von Wasserschilf die Bestandesbildung zu beschleunigen resp. zu ermöglichen. Die Schilfpflanzungen erwiesen sich als eine effiziente und kostengünstige Massnahme zur Schilfförderung, vorausgesetzt, die Pflanzmethode ist gut gewählt und die Standortbedingungen sind für Schilf geeignet.

Abb.6) Die ersten Schilfpflanzungen am Bielersee in die frisch angespülten Sedimente (Erlach 1993)

Nicht direkt im Zusammenhang mit Schilfförderprogrammen stehen Sedimentspülungen aus verschiedenen Hafenausbaggerungen. Abgeschlossene Häfen haben die natürliche Tendenz zu verlanden, weshalb sie periodisch ausgebaggert werden müssen. Am Bielersee werden seit den 90er Jahren die Sedimente jeweils – sofern sie unverschmutzt sind – in Ufernähe abgelagert mit dem Ziel, aquatische Röhrichtstandorte aufzuwerten. In einigen Fällen wurden Sedimente auch in Uferabschnitte mit Lahnungen gespült und vereinzelt wurden solche Sedimentspülungen mit Schilfpflanzungen kombiniert. Damit konnten in einigen Uferabschnitten die erwünschten Sedimentablagerungen künstlich gefördert werden.

2.5 Beurteilung der ausgeführten Massnahmen

Nach dreissig Jahren Schilfförderung am Bielersee wird mit dem vorliegenden Bericht versucht, die durchgeführten Massnahmen auf ihre Wirkung und Effizienz zu prüfen und daraus Vorschläge für die zukünftigen Revitalisierungs- und Aufwertungsmassnahmen abzuleiten. Insbesondere aufgrund des kostenintensiven Unterhalts der Lahnungen hat die Abteilung Naturförderung das Landschaftswerk Biel-Seeland beauftragt, deren Wirkung in einem Bericht zu dokumentieren und Vorschläge für alternative und kostengünstigere Massnahmen zum Schutz und zur Förderung naturnaher Ufer zu erarbeiten.

Weil einerseits die verschiedenen Massnahmen teilweise miteinander kombiniert wurden und andererseits die Datenlage der vorhandenen Messungen sehr unterschiedlich ist, wird es nicht möglich sein, die Auswirkungen monokausal einzelnen Massnahmen zuzuschreiben. Vielmehr soll nachfolgend versucht werden, die Auswertung über eine möglichst breite Gesamtschau vorzunehmen.

3 Schilfschutzmassnahmen am Bielersee

3.1 Standorte

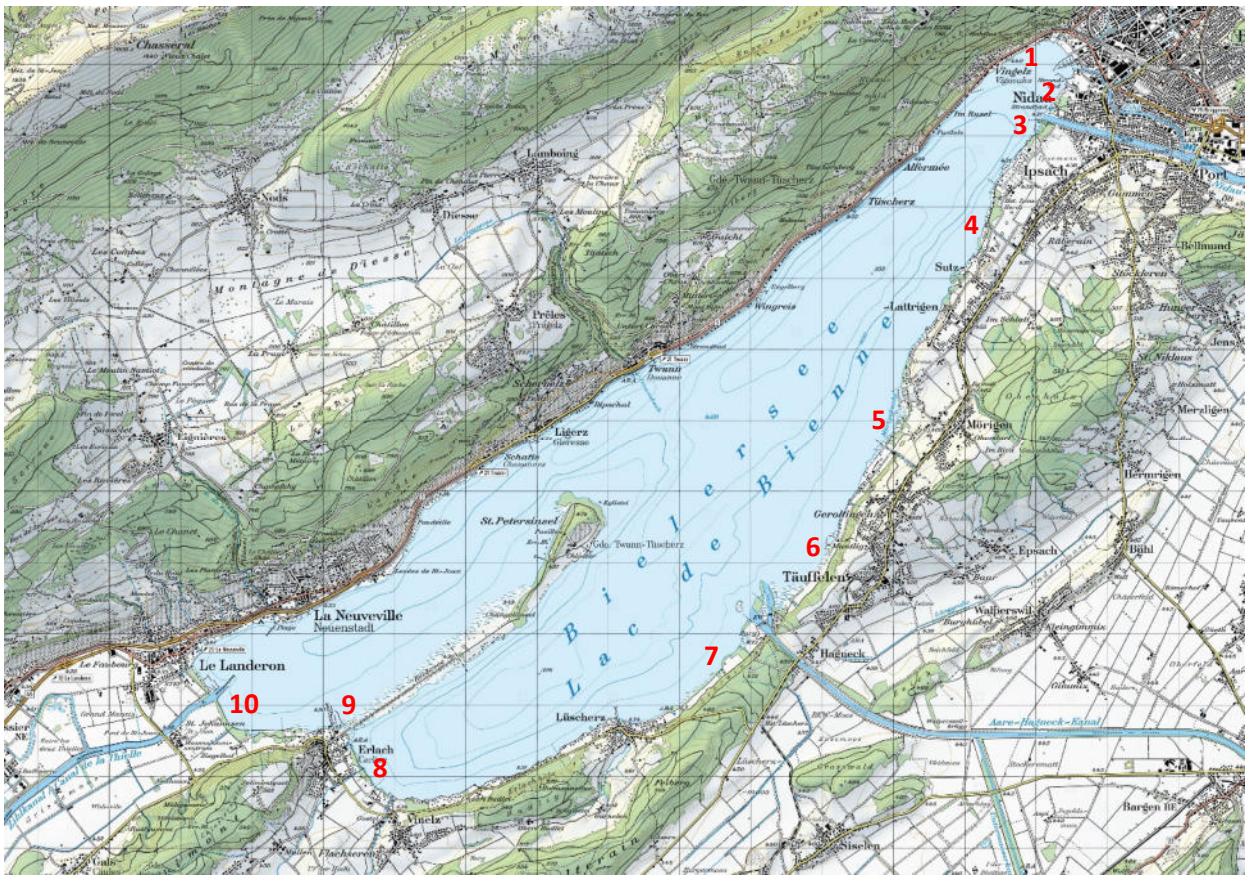


Abb.7) Übersicht über die einzelnen Standorte am Bielersee (Quelle: swisstopo)

Nr.	Ort	Name	Lahnung	Palisadenlahnung	Rückbau Ufermauer	Wellenbrecher	Sedimentspülung	Schilfpflanzung
1	Biel	Beaurivage				X		X
2	Nidau	Spychigerhäfeli-Mühleruns			X			X
3	Ipsach	Erlenwäldli			X	X		X
4	Sutz	Chürzigrabe					X	
5	Mörigen	Naturschutzgebiet Mörigenbucht	X				X	X
6	Täuffelen	Strandboden	X	X			X	
7	Lüscherz	Naturschutzgebiet Seestrand Lüscherz	X	X				X
8	Erlach	Seestrand	X				X	X
9	Erlach	Bisendamm Hafen					X	X
10	Gals	Naturschutzgebiet Gals			X	X		X

Tabelle 1: Übersicht über die ausgeführten Massnahmen. Die Nummern beziehen sich auf Abb.7

3.2 Lahnungen

3.2.1. Beschreibung

Parallel zum Ufer und entlang einer Höhenlinie von ca. 1 m unterhalb des mittleren Sommerwasserstandes wird eine doppelte Reihe Holzpfähle gerammt. Der Zwischenraum zwischen den Pfahlreihen wird längs mit Weidenzweigen aufgefüllt, wobei zunächst dickere Äste verwendet werden und anschliessend immer feinere Ruten, um die Zwischenräume zu schliessen. Die Astpackung wird anschliessend dicht gepackt und mit Draht, welche an den Pfählen befestigt ist, niedergebunden. Die Lahnung soll 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.

Mit Hilfe der Lahnungen werden die Wellen gebrochen und verwirbelt, was eine Beruhigung des dahinter liegenden Wassers bewirkt. Einerseits wird dadurch die mechanische Belastung des Schilfes durch Wellen und Schwemmgut reduziert, andererseits wird suspendiertes Sediment abgelagert, was zur Auflandung der Flachwasserzone führt. Beides soll dazu führen, dass sich der durch die Lahnung geschützte Schilfgürtel erholen kann.

Bei den am Bielersee erstellten Lahnungen wurden folgende Masse angewendet: Pfähle aus Fichte, Durchmesser 10 – 15 cm, Pfahllänge 3 m, Rammtiefe ca. 1,5 m, Lichtraum zwischen den Pfahlreihen 0,5 bis 0,6 m und zwischen den Pfählen in den Reihen 0,8 m. Die heute teilweise dichtere Pfahlfrequenz entstand dort, wo nach ca. 15 Jahren die Pfähle ersetzt, resp. durch neue ergänzt wurden. Von 2016 bis 2018 wurden die Weidenzweige mit einem Drahtgitter umhüllt. Damit konnten die Frassschäden durch den Biber verhindert werden. Das Metallgitter löst sich jedoch rel. rasch auf, was zum Rückstand von einzelnen Metallteilen am Seegrund führt. Aus diesem Grund wurde ab 2019 auf den Einsatz eines Gitters verzichtet. Um die Auswirkungen der Frassschäden zu minimieren, werden nun die Lahnungen mit deutlich gröberen Weidenzweigen gefüllt (Abb. 9).

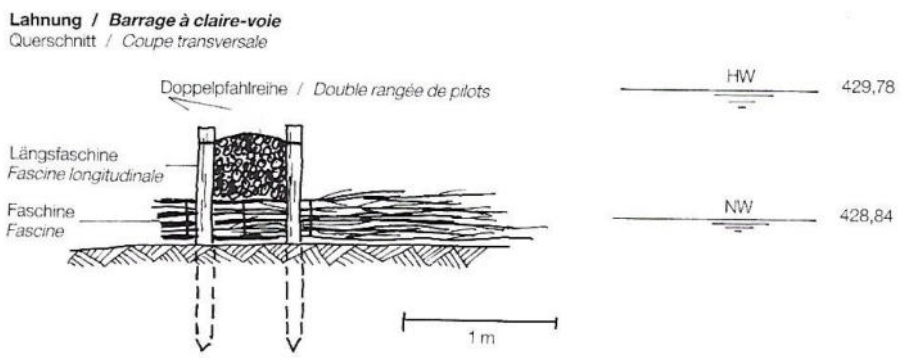


Abb.8) Aufbau einer Lahnung (Iseli 1995)

Abb.9) Frisch aufgefüllte Lahnung in Erlach (Element E5). Aufnahme 16.04.2019, Wasserstand 429.38 m ü.M. Bei den Unterhaltsarbeiten wurden die ursprünglich zuunterst eingebauten Querfaschinen jeweils nicht mehr ersetzt.

Abb.10) Die wellendämpfende Wirkung der Lahnung ist gut sichtbar

3.2.2. Bemessung

Im Rahmen des Forschungsprojekts EROSEE (www.erosee.org) wurden verschiedene In-Situ-Messungen sowie physische 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 K_T ausgedrückt, welcher das Verhältnis der Wellenhöhe der transmittierten Wellen zu jener der ankommenden beschreibt. Lahnungen, wie sie am Bielersee erstellt wurden, wiesen Transmissionskoeffizienten K_T zwischen 0.3 und 0.4 auf (Müller & Schmocker 2005). Das bedeutet, dass sie die Wellenhöhe um 60 – 70 % reduzieren. Palisadenlahnungen, wie sie in Täuffelen und Lüscherz gebaut wurden, erreichen einen K_T von lediglich 0.7 – 0.8 (Sayah et al. 2005).

Abb.11) Lahnungsunterhalt in Lüscherz (Februar 2007)

Eine frisch erstellte Lahnung weist eine Durchlässigkeit oder Porosität von ungefähr 25 % auf. 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 praktisch unbedeutend wird (vgl. Schlussberichte Forschungsprojekt EROSEE 2006). Die Lahnungen wurden deshalb ab 1990 regelmässig unterhalten. Es wurde angestrebt, die einzelnen Elemente in einem Rhythmus von 3 Jahren zu unterhalten und mit Weidenzweigen aufzufüllen. Aus finanziellen Gründen konnte ein solch intensiver Unterhalt jedoch nicht immer gewährleistet werden. Der Rhythmus betrug rund 3 bis 4 Jahre, manchmal auch mehr. Der Rhythmus für die Erneuerung der Fichtenpfähle beträgt ca. 15 Jahre.

3.2.3. Beurteilung

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 Weidenruten von Kopfweiden verwendet. Optimal sind dreijährige Weidenzweige von Kopfweiden. Kopfweiden sind ein ökologisch wertvolles Element der traditionellen Kulturlandschaft und bereichern das landschaftliche Bild. Durch Verwendung von Weidenruten beim Bau der Lahnungen bekam eine grosse Anzahl Kopfweiden im Seeland eine neue Nutzung und konnte so erhalten werden.

Neben der Verrottung der Weidenäste über die Jahre spielte der Einfluss des Bibers eine zunehmende Rolle. Der Biber bevorzugt die frischen Zweige und zieht sie regelmässig aus den frisch gefüllten Lahnungen heraus, wodurch diese schneller gelockert werden. In den vergangenen Jahren wurde es deshalb immer schwieriger, die Lahnungen zu füllen, da der Biber nicht selten grosse Teile des tagsüber aufgefüllten Weidenmaterials nachts wieder entfernte. Aus diesem Grund wurden die Weidenäste 2017 und 2018 in ein Drahtgitter eingepackt, um die Zweige vor den scharfen Zähnen zu schützen. Die Massnahme erzielte die gewünschte Wirkung, zog allerdings eine Erhöhung der Kosten nach sich. Um den Einsatz des Drahtgitters und dadurch die Verwendung eines standortfremden Materials zu vermeiden und die Kosten zu senken, wurden ab 2019 rund fünfjährige Weidenäste eingebaut, welche für den Biber zu gross waren, um sie in grossen Mengen abzutransportieren. Mit der massiveren Bauweise konnten auch die Kosten gesenkt werden. Zudem wird aufgrund der gröberen Äste eine erhöhte Dauerhaftigkeit erwartet – allerdings auf Kosten einer höheren Durchlässigkeit und damit einer geringeren Wellendämpfung.

Die Lahnungen sind zudem ökologisch sehr wertvolle Strukturelemente in der Flachwasserzone und bieten einer Anzahl Jungfischen und Kleintieren Lebensraum. Durch die Nutzung und Pflege von Kopfweiden wird durch den Lahnungsbau ein weiteres ökologisch wertvolles Element in der Landschaft erhalten. Die Ausführung durch das Landschaftswerk schafft ausserdem einen sozialen Mehrwert, indem langzeitarbeitslose Personen, Asylsuchende und vorläufig aufgenommene Flüchtlinge für den Schilfschutz eingesetzt werden. Damit wird insbesondere die soziale Integration gefördert.

3.2.4. Spezialfall Palisadenlahnungen

In Täuffelen und Lüscherz wurden anstelle von Lahnungen mit Weidenfaschinen Lahnungen als mehrreihige Palisaden erstellt. Das Element in Täuffelen hat eine Länge von 59 m (Abb.15), dasjenige in Lüscherz misst 46 m (Abb.12). 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, versetzt und 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 wellendämpfende Wirkung mit rund 20 – 30 % deutliche schwächer ist als diejenige von Weidenlahnungen (Sayah et al. 2005).

Abb.12) Frisch erstellte Palisadenlahnung in Lüscherz (1996) und deren (reduzierte) Wirkung.

3.2.5. Lage der realisierten Lahnungen

Die im Rahmen der Schilfschutzprojekte gebauten Lahnungen verteilen sich auf die vier Standorte Mörigen, Täuffelen, Lüscherz und Erlach.

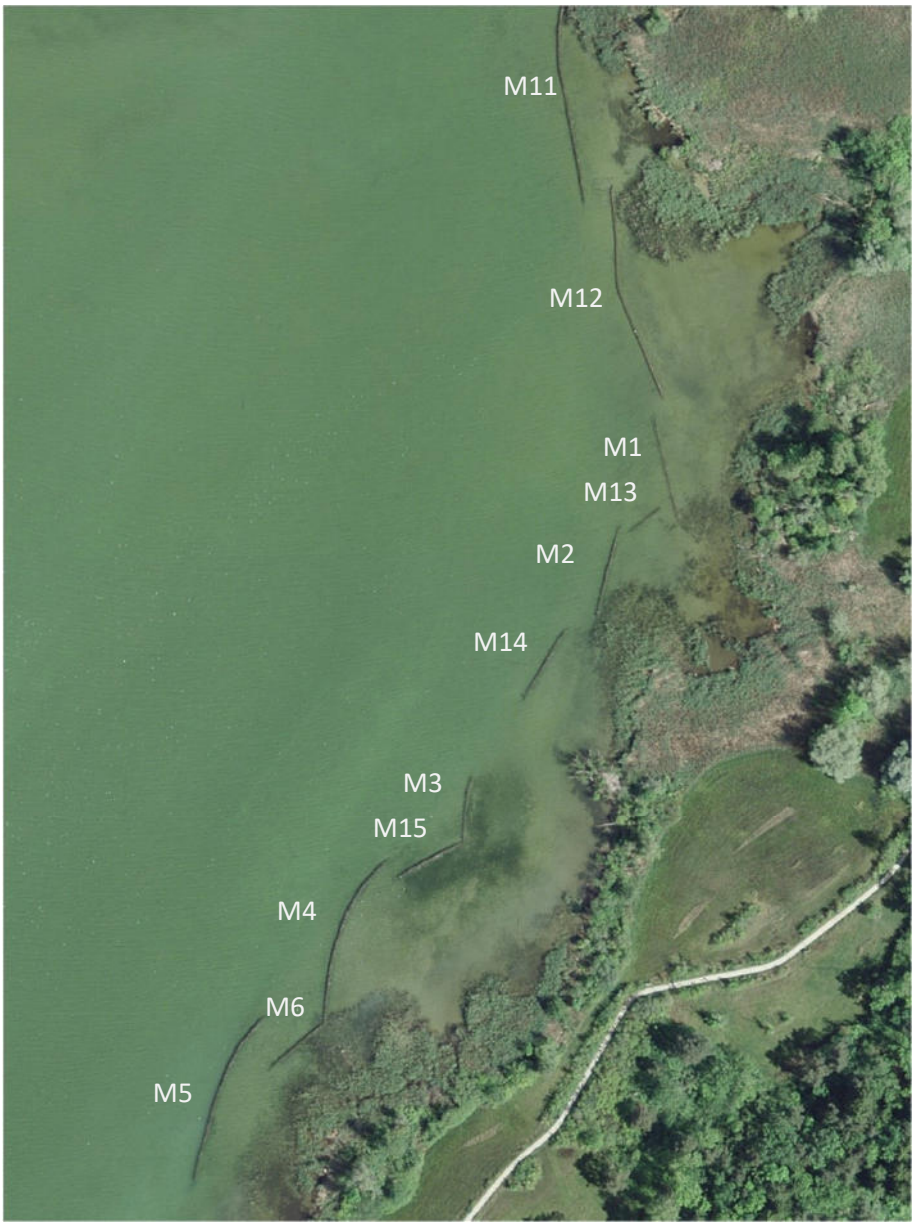


Abb.13) Lahnungselemente am Standort Mörigen. Quelle: Geoportal Kanton Bern

Abb.14) Lahnungselemente am Standort Täuffelen, Abschnitt nördlich des Hafens. Quelle: Geoportal Kanton Bern.

Abb.15) Palisadenlahnung nördlich des Elements T1

Abb.16) Lahnungselemente am Standort Täuffelen südlich des Hafens. Quelle: Geoportal Kanton Bern. Die Linie zwischen dem Anfang des Elements T2 und dem Schilfbestand zeigt die Palisadenreihe, welche im Zusammenhang mit der Hafenausbaggerung 2010 zum Rückhalt des gespülten Sediments gerammt wurde.

Abb.17) Lahnungselemente in Lüscherz (Abschnitt Nord). Quelle: Geoportal Kanton Bern

Diese Massnahmen wurden im Rahmen der Aufwertung des Naturschutzgebietes als Ersatzmassnahmen für den Veloweg entlang der Staatsstrasse Vinelz – Lüscherz erstellt. Neben dem Bau von Grundwassertümpeln und der Extensivierung des Grünlandes wurde das Ufer revitalisiert und naturnahe Massnahmen zum Schutz der hier stark fortschreitenden Erosion realisiert. Das nördliche Element ist eine ‚konventionelle' Lahnung, die uferqueren Buhnen sind Palisadenreihen, das südliche Element ist eine Palisadenlahnung. Aufgrund des starken Rückgangs der Uferlinie muss festgestellt werden, dass die Massnahmen die Erosion nicht verhindert haben.

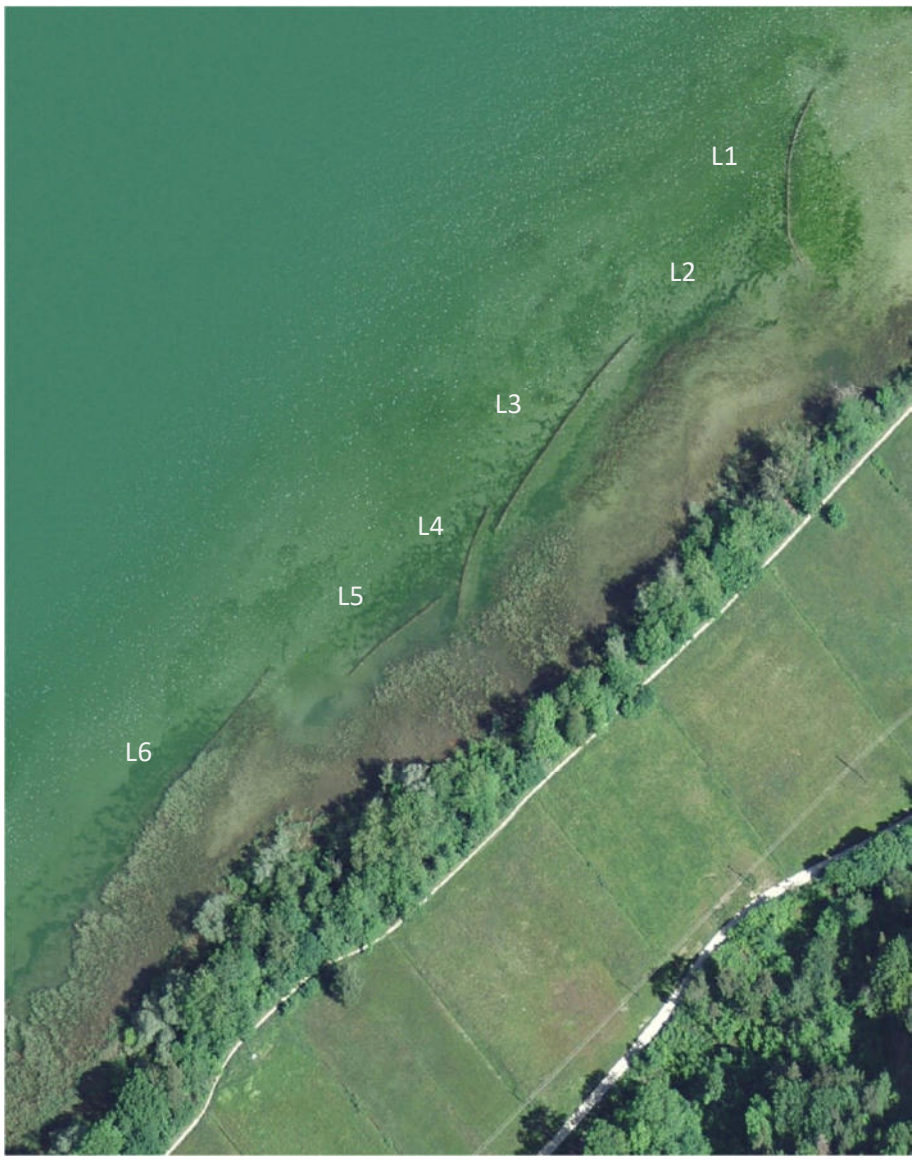


Abb.18) Lahnungselemente am Standort Lüscherz (südlicher Abschnitt). Quelle: Geoportal Kanton Bern

Abb.19) Lahnungselemente am Standort Erlach. Quelle: swisstopo

Neben dem Bau von Lahnungen wurden im Laufe der vergangenen Jahre verschiedene weitere Eingriffe in die Flachwasserzone ausgeführt, welche einen Einfluss auf die Entwicklung der Schilfbestände haben. Die wichtigsten sind nachfolgend dokumentiert.

3.3 Wellenbrecher

Mit dem Bau von uferparallelen Wellenbrechern wird die Belastung auf das Ufer reduziert. Damit wird es möglich, die Uferlinie in ihrer natürlichen Beschaffenheit zu belassen, resp. zurückzubauen. Durch die Reduktion der Wellenbelastung wird der Uferbereich zwischen Wasserlinie und Wellenbrecher aufgewertet, indem sich die verschiedenen Vegetationszonen besser entwickeln können. Bei den Wellenbrechern kann grundsätzlich zwischen durchlässigen (porösen) und undurchlässigen (dichten) sowie zwischen durchgehenden und unterbrochenen Bauweisen unterschieden werden.

3.3.1. Ipsach Erlenwäldli

In Ipsach wurde 2001 die Uferrollierung auf einer Länge von 175 m' abgetragen und das Ufer abgeflacht. Die Steinblöcke wurden verwendet, um ein vorgelagertes, bestehendes Riff zu einem Wellenbrecher zu erhöhen und zu verstärken.

Abb.20) Uferrollierung in Ipsach (Erlenwäldli) vor der Revitalisierung

Abb.21) Renaturiertes und abgeflachtes Ufer mit Schilfpflanzung. Mit den abgetragenen Steinblöcken wurde der vorgelagerte Wellenbrecher erstellt (Ipsach Erlenwäldli 2002)

3.3.2. Gals Naturschutzgebiet

Mit dem Bau von unterbrochenen Wellenbrechern wird einerseits die Gesamtenergie der Wellenbelastung auf das Ufer reduziert, andererseits wird durch die spezielle Anordnung der Elemente die Bildung von sog. Tombolos bewirkt: Durch die Diffraktion der Wellen an den beiden Enden eines Elementes werden die Wellenkämme im Lee des Wellenbrechers so abgedreht, dass sie gegeneinander stossen und das mitgeführte Sediment ablagern. Wenn die auf diese Weise abgelagerte Sandbank das Ufer mit dem Wellenbrecher verbindet, spricht man von einem Tombolo (vgl. Abb.22).

Abb.22) Beispiel eines Tombolos (Erlach)

2002 wurden im Naturschutzgebiet Gals auf einer Gesamtlänge von 175 m vier Wellenbrecherelemente erstellt (Abb.24 und Abb.27). Die einzelnen Elemente weisen Längen von 24 m (Element 1), 30 m (Element 2), 34 m (Element 3) und 50 m (Element 4). Zwischen den Elementen wurde jeweils eine Zwischenlänge unverbaut belassen (10 m, 12 m, 15 m).

Die Wirkung Wellenbrecher wurde mittels Vergleich von Querprofilen 2004/2016 erfasst: Die Erstellung der Wellenbrecher führte zu einer deutlichen Sedimentation in der landwärts liegenden Uferzone (vgl. Abb.27 und Kapitel 5). Zusammen mit den Schilfpflanzungen (Abb.25) führte dies zu einer Verdreifachung der Schilffläche im Projektperimeter (2000: 1190 m2 / 2017: 3312 m2).

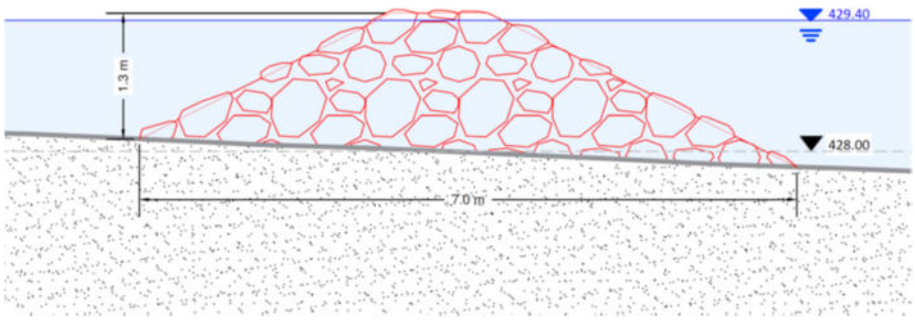


Abb.23) Aufbau eines Wellenbrechers in Gals (Querschnitt)

Abb.24) Naturschutzgebiet Gals: Wellenbrecherelemente(Aufnahme April 2003)

Abb.25) Naturschutzgebiet Gals: Die wellendämpfende Wirkung der Wellenbrecher ist gut erkennbar (Aufnahme vom 08.03.2010) Landseits der Wellenbrecherelemente wurden 2007 Schilfpflanzungen vorgenommen.

Abb.26) Die vier Wellenbrecherelemente in Gals (26.05.2019)

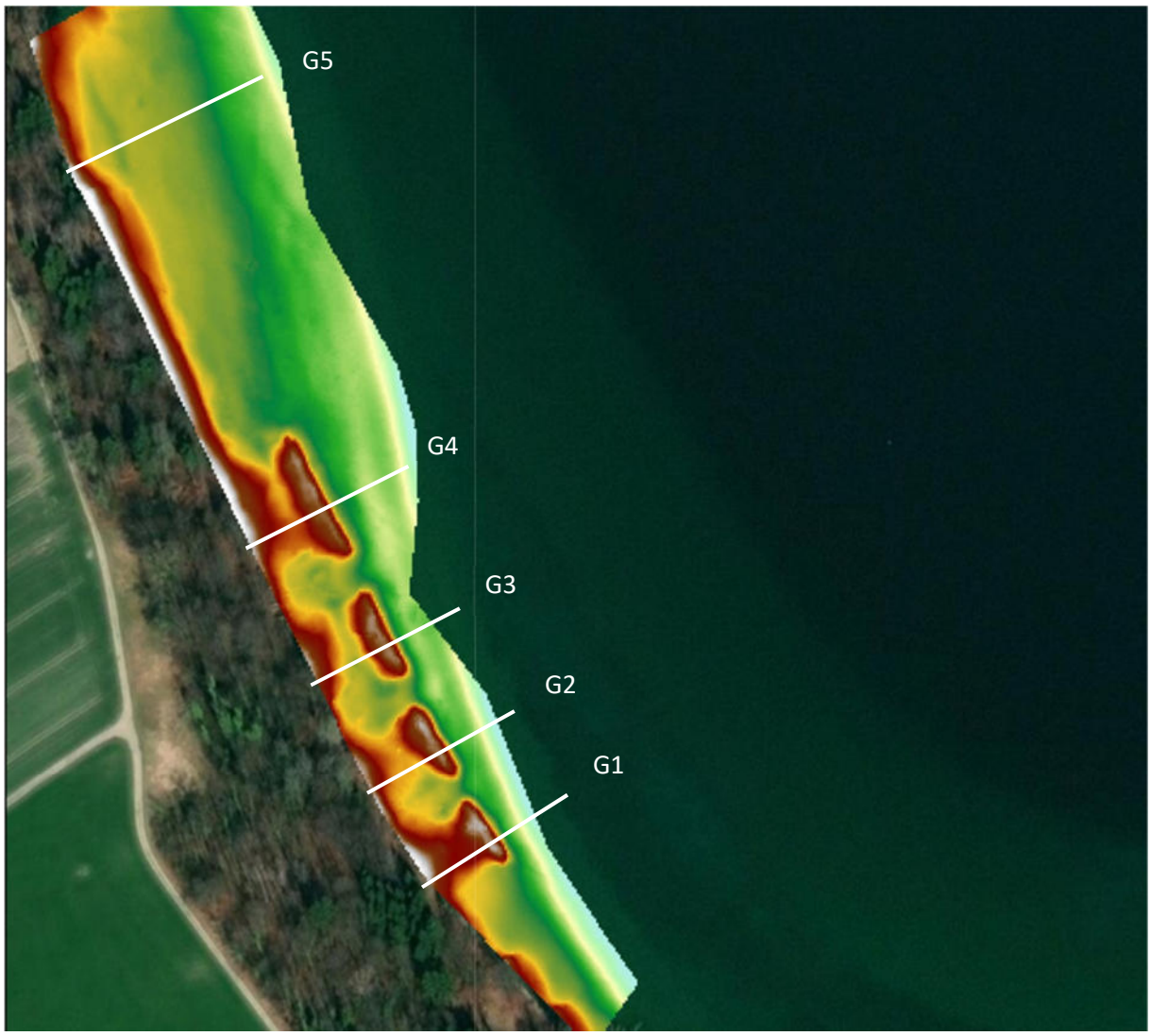


Abb.27) Naturschutzgebiet Gals: Lage der Wellenbrecher und der Querprofile G1 bis G5 auf Geländemodell 2016. Die erhöhten Bereiche (rot) hinter den Wellenbrecherelementen sind gut erkennbar

3.4 Sedimentspülungen

3.4.1. Beschreibung

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.

Die Häfen an den Flachufern des Bielersees haben die natürliche Tendenz mit der Zeit zu verlanden. Sie müssen deshalb periodisch ausgebaggert werden. 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 (Abb.28). Die maximale Transportdistanz beträgt mit den üblichen Geräten nur wenige 100 Meter. Am Zielort lagern sich die Feststoffe auf dem See-grund ab. Die feinsten Fraktionen bleiben suspendiert und werden als Trübung von der Strömung weiterverfrachtet. 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 strömungs-unterliegenden 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. Entsprechende Untersuchungen werden durch das kantonale Gewässer- und Bodenschutzlabor durchgeführt oder angeleitet.
- Die maximale Höhe der Auffüllung muss unterhalb des minimalen Seestandes bleiben. Sie wurde in den Projekten am Bielersee auf 428.90 – 429.00 müM. festgelegt.
- Es dürfen keine Vorkommen geschützter Arten durch Überfüllung zerstört werden.

Abb.28) Saugbagger und schwimmende Transportleitung im Hafen Mörigen (2011)

3.4.2. Ausführungen

Sedimentspülung Mörigen (2011/2012)

Der Hafen Mörigen wurde im Winter 2011/2012 ausgebaggert. Das lose Material wurde durch einen Saugbagger ausgehoben und mittels einer schwimmenden Leitung hinter die Lahnungen gespült. Vorgängig wurden die Lahnungselemente 11, 12 und 3 mit Weidenzweigen aufgefüllt. Die Sedimente wurden in drei Sektoren gespült: Hinter das Element 11, hinter die Elemente 12 und 1 sowie zum Schluss hinter die Elemente 14, 3, 15 und 4 (Abb.29). Der letzte Sektor wurde nur teilweise (v.a. im nördlichen Teil) gefüllt. Gemäss Angaben der Bauleitung wurde das Saugmaterial nicht gemessen: Per Abstich wurde das Volumen der gepumpten Sedimente grob auf 2'500 m3 bestimmt.

Gemäss Auflage des Fischereiinspektorats wurde die ausgeführte Sedimentaufschüttung mittels Querprofilaufnahmen im Sommer 2012 vermessen. Da der Zustand vor der Schüttung nicht erhoben worden war, wurde der Zustand Sommer 2012 mit den älteren Querprofilen aus dem Projekt Erosee und dem Schilfschutzprojekt VBS verglichen. Die Resultate sind im Schlussbericht (Iseli und Naef 2012) wie folgt zusammengefasst:

Abb.29) Darstellung der Bereiche mit der vorgenommenen Sedimentspülung in Mörigen (weiss)

Durch die im Winter 2011/12 ausgeführte Sandspülung hat sich die Morphologie der Flachwasserzone im Bereich der Lahnungen in die gewünschte Richtung entwickelt. Mit der Sandspülung wurden der durch die Lahnungen verursachte Verlandungsprozess und damit die Ausbreitung der Wasserschilfbestände gefördert (Abb.30). Die Massnahme kann aus dieser Sicht als positiv gewertet werden.

Der Vergleich zwischen dem ursprünglich abgeschätzten Auffüllpotenzial (ca. 2'300 m^3), des effektiv gespülten Sedimentvolumens (ca. 2'500 m^3) und der Vermessung der Auffüllungsflächen (schätzungsweise ca. 800 m^3) zeigt grosse Differenzen. Es ist zu vermuten, dass durch eine Sedimentspülung ein grosser Anteil der Feinanteile suspendiert bleibt und nicht im Auffüllungsbereich sedimentiert.

Die Messreihen 1990 – 2000 (Abb.30) zeigen einerseits deutlich die Wirkung der Lahnungen als Sedimentfallen. Andererseits wird aber auch deutlich, dass (abgesehen von der Ungenauigkeit der Messungen) die Morphologie des Seegrundes eine gewisse natürliche Dynamik aufweist. Diese kann evtl. mit der Wanderung der durch die Brandung geformten Dünen (gewellter Seegrund) erklärt werden. Beunruhigend ist jedoch die Feststellung einer mehr oder weniger deutlichen Erosionstendenz seeseits der Lahnungen.

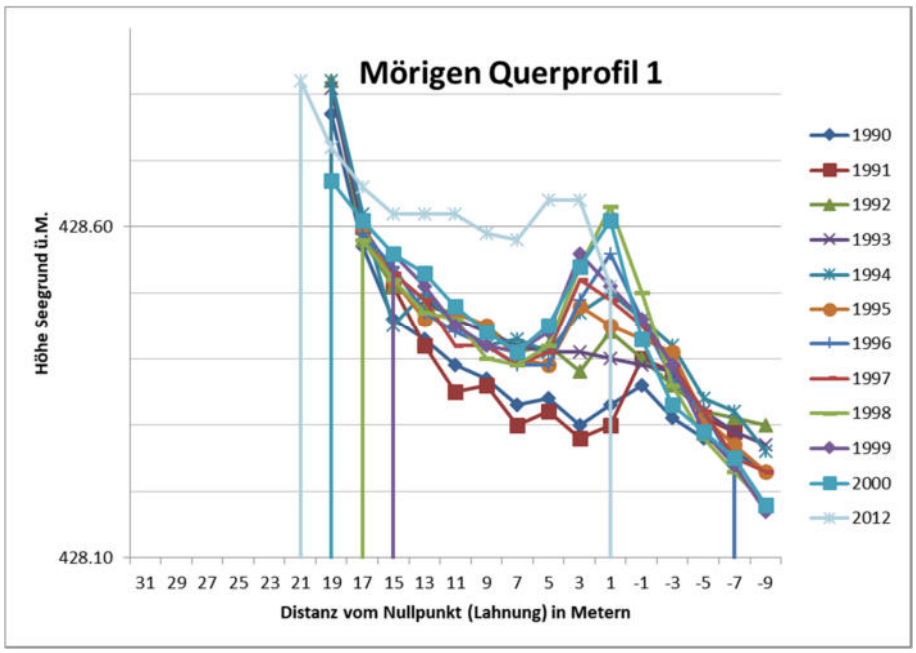


Abb.30) Querprofile1990 bis 2000 und 2012 über das Lahnungselement Nr. 1 in Mörigen. Der Effekt der Sedimentspülung ist deutlich erkennbar.

Sedimentspülungen Täuffelen 1990 und 2010

Bis 1990 war der Hafen Täuffelen lediglich mit einer Mole geschützt und die Hafeneinfahrt war gegen Norden weit offen. 1990 wurde die nördliche Hafenmole erstellt (vgl. Abb.31). Gleichzeitig wurde das so entstandene Hafenbecken ausgebaggert. Das ausgebaggerte Material, das zum grossen Teil aus einer brüchigen Molasse bestand, wurde nördlich der neuen Mole in der Flachwasserzone deponiert. Entgegen dem Projekt wurde das Material bis zu 50 cm über die bewilligte Höhe von 428.90 müM. geschüttet. Dadurch entstand eine nasse Ruderalfläche, für welche nachträglich die Zielsetzung eines Landschilfbestandes definiert wurde. Die Fläche wuchs rasch natürlich ein. Allerdings mussten während mehreren Jahren die natürlich aufkommenden Weiden manuell entfernt werden, um die Zielvegetation Landröhricht zu erreichen. Seeseits der neuen Uferlinie hat sich ein schmaler Wasserschilfgürtel entwickelt.

Abb.31) Hafen Täuffelen im Luftbild 1980 (links) und im Luftbild nach dem Umbau 2010 (rechts). Quelle: geo.admin.ch

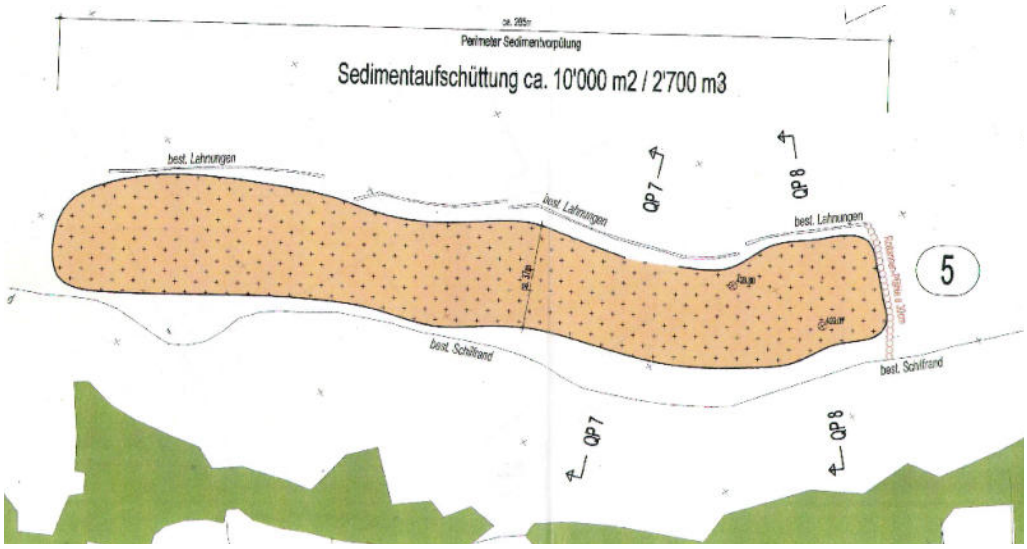


Abb.32) Sedimentspülung südlich des Hafens Täuffelen 2010: Plan des ausgeführten Werkes, Situation und Querprofile (Mantegani & Wysseier, Ingenieure & Planer AG, Biel)

2010 waren die Wassertiefen im Hafen von Täuffelen durch Sedimenteintrag stellenweise wieder unzureichend geworden. Die Gemeinde beabsichtigte eine Ausbaggerung des Hafenbeckens auf die ursprüngliche Tiefe. Die Absicht der geplanten Sedimentvorspülung war es, die Seesedimente, welche sich im Hafen Täuffelen abgelagert haben, möglichst vor Ort zu verwenden und nicht über weite Distanzen zu transportieren. Die Ablagerung erfolgte südlich des Hafens seeseits des angrenzenden Schilfbestands. Durch die Erhöhung des Seegrundes im Bereich der Aufschüttung erhoffte man sich eine Erholung oder gar eine Wiederausdehnung des Schilfbestandes. Um das eingetragene Material in diesem Bereich zu halten, wurde vor der Spülung eine Palisadenbuhne nördlich der ersten Lahnung gebaut.

Sedimentspülungen und Schilfpflanzungen in Erlach 1991/92

Die nördliche Hafeneinfahrt in Erlach wurde im November 1991 ausgebaggert. Geplant war eine Ausbaggerung von rund 1'800 m^3 fest auf eine Kote von 427.00 müM. Das Sediment wurde hinter eine provisorische Lahnung gepumpt, welche östlich des Bisendammes erstellt wurde. Anstatt mit Weidenzweigen wurde diese Lahnung mit Faschinen aus Schilfhalmen gebaut, welche im Landschilfbestand im alten Hafen von Le Landeron gewonnen wurden. Die Lage der Lahnung ist auf dem Luftbild noch als schwacher Strich erkennbar.

Der Seegrund wurde vor und nach der Sedimentspülung vermessen. Die Mächtigkeit der Auflandung durch die Spülung betrug maximal 40 cm und die maximale Höhe der Auffüllung lag bei 429.00 müM. Das gepumpte Material ist auf dem Luftbild von 2000 durch den helleren Ton gut erkennbar (Abb.33). Das Material hat sich gegen den See hin ausgebreitet, nachdem die Lahnung nach einigen Jahren verrottet war.

Anschliessend an die Sedimentspülung wurden 1992 erstmals am Bielersee Schilfpflanzungen im Wasser durchgeführt (vgl. Iseli 1995 S. 25, 30 f). Die vier Initialbestände sind auf dem Luftbild von 2000 als runde Bestände noch gut erkennbar. 2014 sind sie bereits zu einem grösseren Wasserschilfbestand von rund 1'400 m2 an- und teilweise zusammengewachsen. Gleichzeitig konnte sich der bestehende Wasserschilfbestand am südöstlichen Ufer bei den ehemaligen Hechtenteichen seewärts ausdehnen. Der Flächenzuwachs zwischen 2000 und 2014 betrug ca. 1'200 m2.

Fazit: Durch die Sandspülung resp. die Erhöhung des Seegrundes um 30 – 80 cm ist der Standort wieder schilffähig geworden. Durch die Schilfpflanzung im Wasser konnte die Besiedelung der Fläche stark beschleunigt werden. Das Schilf hat sich im weichen Sediment sehr rasch ausgebreitet. Eine Setzung und Verfestigung des gespülten Sedimentes dauert viele Jahre.

1987

2000

2014

Abb.33) Entwicklung der Bucht östlich des Hafens Erlach 1987 vor, 2000 und 2014 nach der Sedimentspülung und Schilfpflanzung (Quelle: swisstopo)

Ausbaggerungen Schifffahrtsrinne Werft Rohn und Sedimentspülung in Erlach 1997 und 2006

In den 1980er Jahren wurde in Erlach eine Schifffahrtsrinne durch die Flachwasserzone zur Bootswerft Rohn ausgehoben (Abb.34). Eine solche Vertiefung im Seegrund bewirkt eine Verlangsamung der uferparallelen Strömung, wodurch eine Falle für die transportierten Sedimente entsteht. Die Rinne verlandete in der Folge rasch und musste 1997 und 2006 erneut ausgebaggert werden. Die Rinne ist auf der bathymetrischen Karte von 2016 noch immer gut erkennbar.

1997 wurden rund 600 m3 fest hinter die Lahnungselemente 7 und 6 gespült. 2006 betrug das Volumen aufgrund der Vermessung vor und nach dem Aushub der Rinne 1'300 m3. Das Material wurde hinter die Lahnungeselemente 6, 5 und 4 gespült. Die maximale Auffüllkote von 429.1 müM wurde eingehalten (Abb.35).

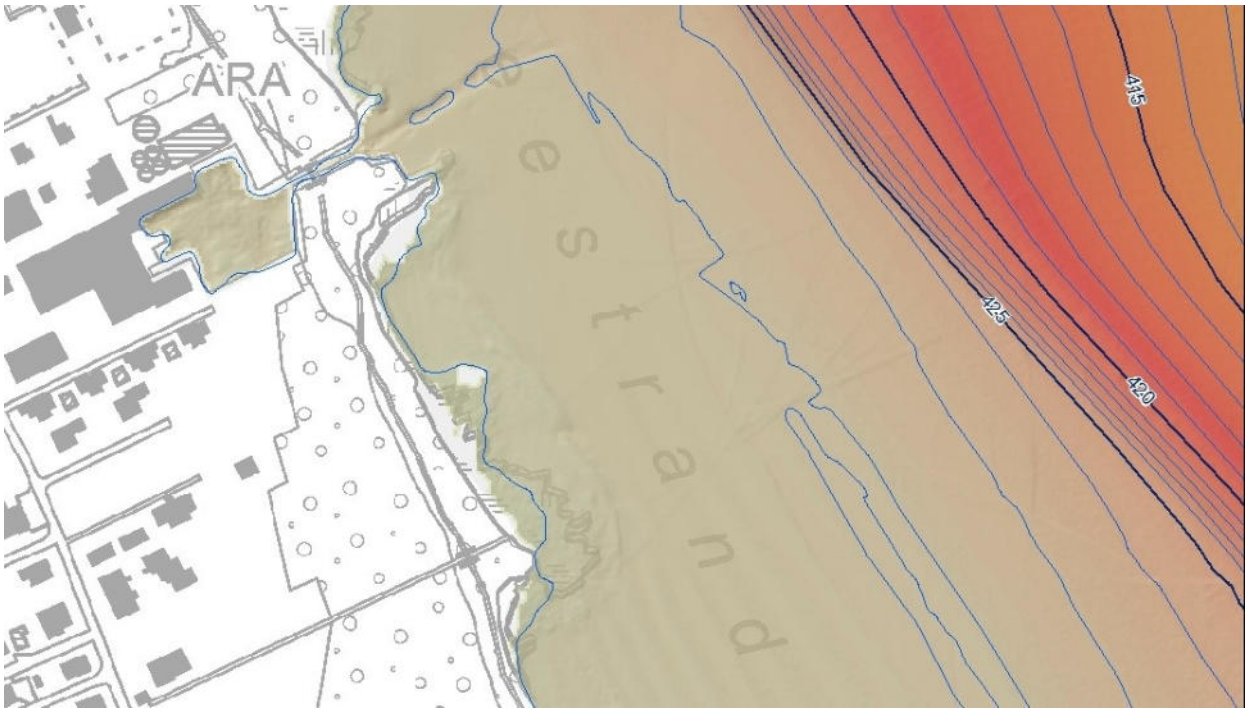


Abb.34) Uferabschnitt Erlach südlich Heidenweg auf der bathymetrischen Karte 2016. Die Schifffahrtsrinne zur Bootswerft ist gut erkennbar. Das ausgebaggerte Material wurde südlich der Rinne hinter die Lahnungen, welche ebenfalls erkennbar sind, gespült. (Bathymetrie Bielersee © Amt für Wasser und Abfall des Kantons Bern)

Abb.35) Sandspülung beim Lahnungselement Nr. 5, Wasserstand ca. 429.05 müM. November 2006

Ausbaggerung Hafen Chürzigraben in Sutz 2016

Im Herbst 2016 wurde der Hafen beim Chürzigraben in Sutz auf die Kote von 428.05 müM ausgebaggert. Das abgesaugte Material aus dem Hafen wurde über eine schwimmende Rohrleitung direkt in den südlich des Hafens befindlichen Schilfbestand eingeleitet (Abb.36). Gemäss der Einmessung wurde rund 1'200 m^3 Material ausgebaggert.

Mittels der Vermessung des Seegrundes im Bereich des Schilfbestandes vor und nach der Sedimentverlagerung durch Geoplanteam AG wurde die Ablagerung kontrolliert. Die Querprofile (Abb.37) zeigen deutlich, dass der Eintrag des Materials erfolgreich war. Es ist im gesamten Schilfbestand zu einer Erhöhung des Seeuntergrundes gekommen. Das Total des Materialeintrags betrug gemäss Einmessung zwischen 500 und 600 m^3, d.h. etwa 50 % des abgesogenen Materials wurde abgelagert.

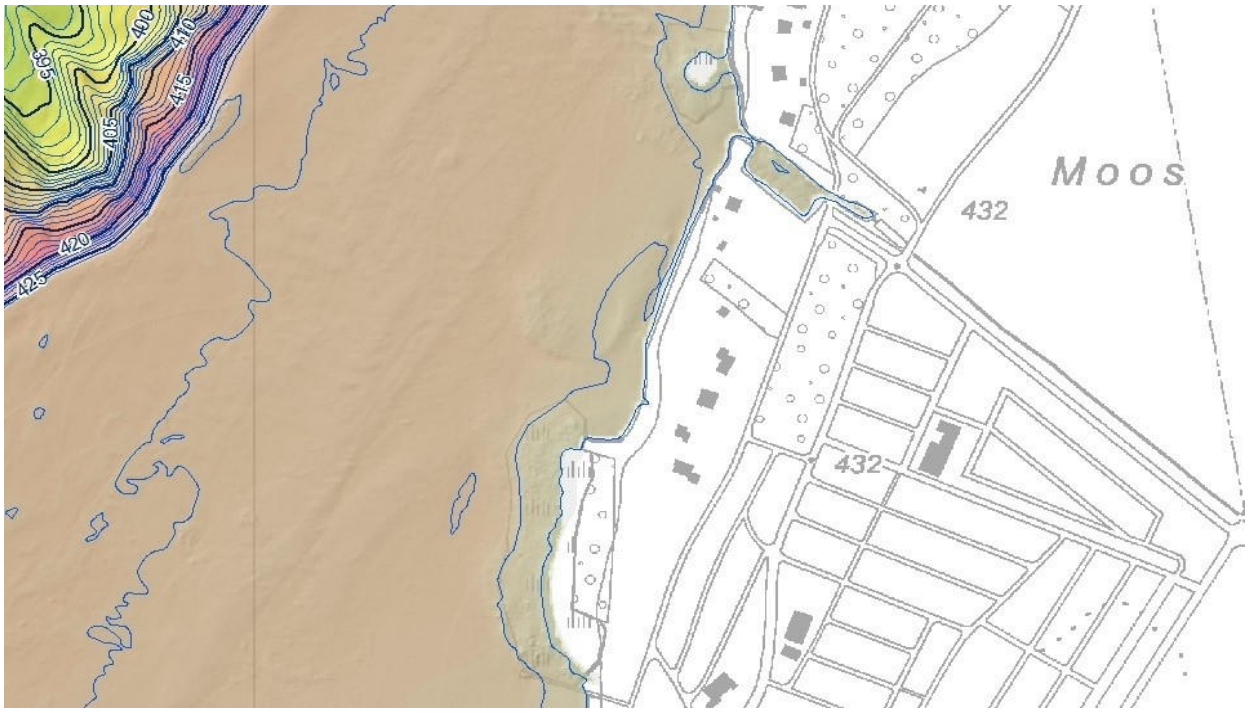


Abb.36) Uferabschnitt Sutz mit Hafen Chürzigraben und Schilfbestand südlich davon. (Bathymetrie Bielersee © Amt für Wasser und Abfall des Kantons Bern)

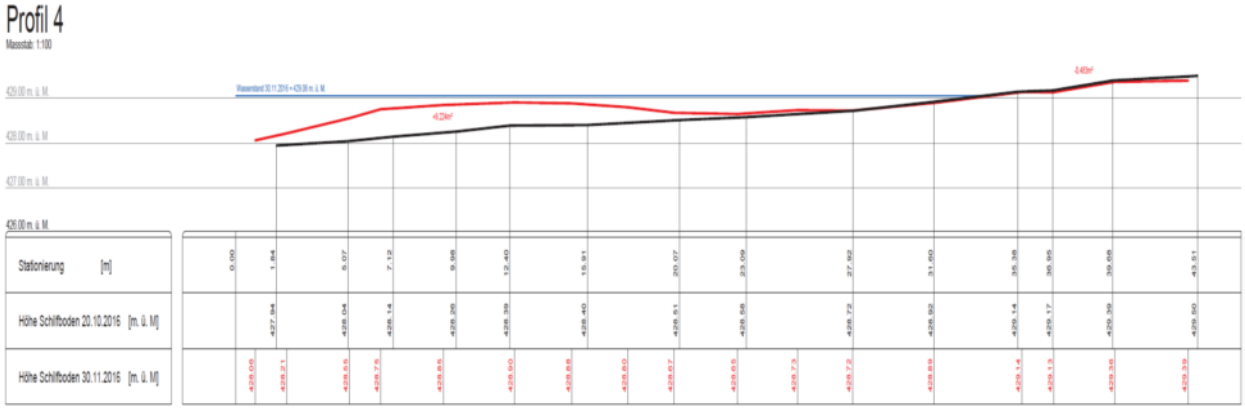


Abb.37) Ein Beispiel einer Querprofilaufnahme vor (20.10.2016, schwarz) und nach (30.11.2016, rot) der Sedimentspülung

3.5 Schilfpflanzungen

3.5.1. Beschreibung

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.39). 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.

Die Ballen sollten idealerweise über mindestens eine Vegetationsperiode hinweg vorkultiviert werden. Dazu werden diese im Winter aus einem Landschilfbestand gestochen, in Pflanz-beutel (∅ 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 neu-en Standortbedingungen überleben zu können.

Die Ballen werden in Gruppen von ca. 20 Stück auf wenigen m2 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.

3.5.2. Ausführungen

Erlach Hafen 1992

In Erlach wurden in Kombination mit der Sandspülung östlich des Bootshafens die ersten Schilfpflanzungen am Bielersee ausgeführt. Die Pflanzung 1992 mit direkt aus einem Landschilfbestand gewonnen Schilfrhizomen (Abb.38 links) war nicht erfolgreich. 1993 wurden erstmals vorgezogene Ballen ausgepflanzt (Abb.38 rechts). Die Impulse entwickelten sich über die Jahre zu grösseren Beständen (Abb.33 und Abb.39).

Abb.38) Erste Schilfpflanzungen am Bielersee 1992 und 1993

Abb.39) Schilfpflanzung in Kombination mit Sandspülung in Erlach östlich des Bisendammes (April 1993, Juli 1993, Dezember 1995 und Juni 2002)

Nidau Mühleruns 1994

Der Rückbau der Ufermauer und die Abflachung des Uferquerschnitts nordöstlich des Spychigerhäfelis bewirkte eine landwärtige Ausdehnung des damals noch vorhanden (Rest-)Schilfbestandes (Abb.40, Bestand im Vordergrund). Eine Schilfpflanzung führte zu einem neuen Bestand (Abb.40, im Hintergrund).

Abb.40) Nidau neben Spychigerhäfeli in Kombination mit Uferrevitalisierung (November 1994, September 2006)

Erlach Rohn 1997 und 2006

1993 wurden im Bereich des Lahnungselementes Nr. 6 Schilfpflanzungen ausgeführt (Abb.41). Diese, wie auch spätere Versuche waren nicht erfolgreich. Auch die Sedimentspülungen aus der Schifffahrtsrinne Rohn 1997 und 2006 führten nicht zu einer Entwicklung eines Schilfbestandes. Offenbar sagt der Standort dem Schilf nicht zu. Ein klarer Grund ist nicht erkennbar.

Abb.41) Schilfpflanzung 1993 in Erlach bei Lahnungselement Nr. 6. Trotz anfänglichem Austreiben konnte sich kein Bestand entwickeln.

Gals 2002 und 2008

Nach dem Rückbau der Ufermauer und der Uferrevitalisierung 2002 wurden direkt an der Uferlinie Schilfplanzungen ausgeführt (Abb.42 links). Der Seegrund war zu dieser Zeit jedoch noch zu tief und der Standort durch den angrenzenden Wald stark beschattet, weshalb diese Pflanzung nur sehr langsamen Erfolg hatte. Nachdem infolge der Wellenbrecher Sediment akkumulierte, konnte sich das Schilf allmählich ausdehnen (Abb.42 rechts). 2007 konnte im neu akkumulierten Sediment hinter den Wellenbrechern erneut Schilf angepflanzt werden, welches sich sehr rasch entwickelte (vgl.Abb.25, Abb.26, Abb.54)

Abb.42) Schilfpflanzung in Gals am revitalisierten Ufer 2003 (oben links) und hinter den Wellenbrechern 2009 (oben rechts). Zustand 2015 (unten links) und 2019 (unten rechts)

Ipsach Erlenwäldli 2002

Wie in Nidau Spychigerhäfeli führten hier der Rückbau des mit Blockwurf verbauten Ufers, die Abflachung des Uferquerschnitts und der Bau eines vorgelagerten Wellenbrechers zu einer massiven Ausweitung des Schilfbestandes. Die Schilfpflanzungen (Abb.43 links) beschleunigten diese Entwicklung.

Abb.43) Schilfpflanzung 2002 Ipsach Erlenwäldli nach Uferrevitalisierung (links) und Zustand 2019 (rechts)

Lüscherz 2005

Abb.44) Schilfpflanzung 2005 in Lüscherz in Kombination mit Uferrevitalisierung (Fotos: Landschaftswerk Biel-Seeland).

Im nordöstlichen Bereich des Naturschutzgebietes Seestrand Lüscherz wurden im Rahmen der Aufwertung des Naturschutzgebietes (Ersatzmassnahmen für den Veloweg entlang der Staatsstrasse Vinelz – Lüscherz) Schilfpflanzungen ausgeführt (Abb.44). Die Schilfballen wurden in eine vorgängig ausgeführte Schüttung mit Kies aus dem Schüssdelta in Biel gepflanzt. Aufgrund des nicht optimalen Untergrunds und der nur mässigen Wellendämpfung durch die Palisadenlahnung entwickelte sich das Schilf nur zögerlich und verschwand schliesslich wieder ganz.

Biel Beaurivage 2014, 2017 und 2020

Die Wasserfläche zwischen der neuen Beton-Ufermauer an der Parzellengrenze der Liegenschaften Neuenburgstrasse 122 – 126 und dem davor liegenden Fussgängersteg wurde 2014 mit Schilf bepflanzt (Abb.45). Unter dem Steg wurde zum Schutz der Schilffläche ein Wellenschutz mit Gabionen erstellt. Trotz mehrmaligem Nachpflanzen hat sich der Schilfbestand nicht dauerhaft etablieren können. Grund dafür war einerseits die zu hohe Wassertiefe, welche den Anwuchserfolg stark reduziert. Andererseits war der Wellenschutz zu wenig effizient. Bei starkem Wellengang waren die Turbulenzen in der Schilffläche zu gross (Reflexion der Wellen an der Betonmauer).

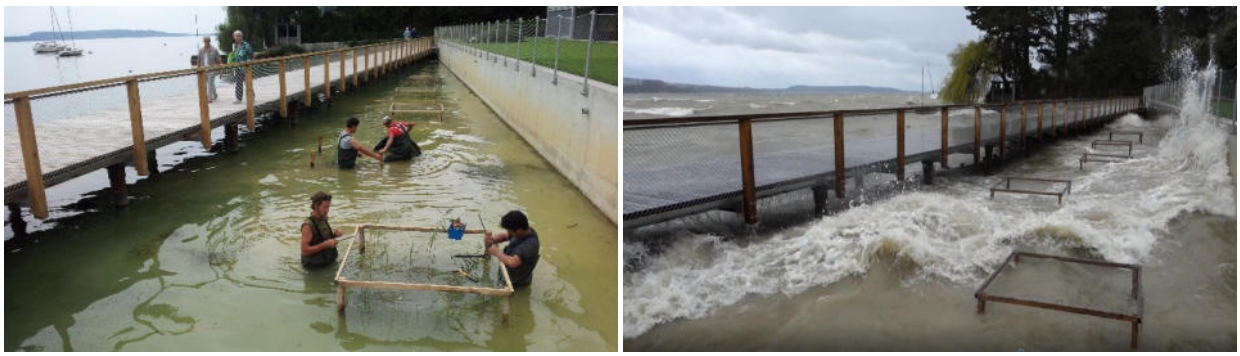


Abb.45) Biel Beaurivage: Schilfpflanzung 2014, Sturmereignis vom 31.03.2015

Im Februar 2020 wurde der Wellenschutz saniert, der Seegrund im Bereich der Schilffläche erhöht und neue Schilfsoden eingebracht (Abb.46).

Abb.46) Sanierung des Wellenschutzes und Schilf-Rhizompflanzung 2020 (06.03.2020 links, 17.04.2020 rechts)

4 Entwicklung der Schilffront von 1995 – 2015

4.1 Einleitung

Zwischen 1956 und 1980 betrug der Verlust an Schilfflächen am Bielersee gut 25 ha (Iseli & Imhof 1987). Aus einem Vergleich von Luftbildern aus den betreffenden Jahren wurde ersichtlich, dass der Flächenverlust sowohl durch die seewärtige Verschiebung der Grenze zwischen Land- und Wasserschilf wie auch durch eine markant landwärtige Verschiebung der seeseitigen Bestandesgrenze des Wasserschilfes erfolgte. Der landseitige Verlust wurde als Folge der natürlichen Erhöhung der organischen Streuauflage und der Ansammlung von Schwemmgut seit der ersten Juragewässerkorrektion interpretiert. Die Ursachen für den seeseitigen Rückgang erschienen komplexer. Einen gewichtigen Anteil am Schilfrückgang wurde den mechanischen Belastungen der Schilfbestände und der Erosion der Ufer zugeschrieben. Durch die Installation der Lahnungen in verschiedenen Flachwasserbereichen des Sees wurde deshalb versucht, den mechanischen Druck auf die Bestände zu verringern, die Erosion zu bremsen resp. die Sedimentablagerung zu fördern und das Schilf so bei der Wiederausbreitung zu unterstützen.

Mittels einem erneuten Vergleich von Luftbildern aus den Jahren 1995, 2000 und 2015 wird nachfolgend die Entwicklung der Schilffront in den vier Uferbereichen, an welchen Lahnungen erstellt wurden (Mörigen, Täuffelen, Lüscherz und Erlach), dokumentiert. Für diese Untersuchung wurden Luftaufnahmen der jeweiligen Standorte ins GIS geladen. Da nicht für jedes Untersuchungsjahr Orthofotos zur Verfügung standen, wurden Alternativen u.a. von Google Maps, gewählt, welche anschliessend georeferenziert wurden. Ein Problem an diesem Vorgehen ist, dass die Qualität bei einigen Luftaufnahmen nicht sehr gut ist, wodurch es bei der Georeferenzierung zu kleinen Abweichungen kommt. Ebenso ist die genaue Ansprache der Bestandesgrenze nicht immer eindeutig. Aus diesem Grund sind die Ergebnisse mit einer gewissen Ungenauigkeit behaftet. Dennoch sind die Aussagen über die Entwicklung der Schilffront aussagekräftig genug.

Die Ergebnisse der GIS-Auswertung für die einzelnen Uferabschnitte sind nachfolgend erläutert. Anhand der Luftbilder kann die Entwicklung der Schilffront in den vergangenen Jahren dargestellt werden. In den jeweils nachfolgenden Tabellen sind die die Resultate für die einzelnen Uferabschnitte beschrieben und kommentiert.

4.2 Auswertung der Luftbilder

4.2.1. Mörigen

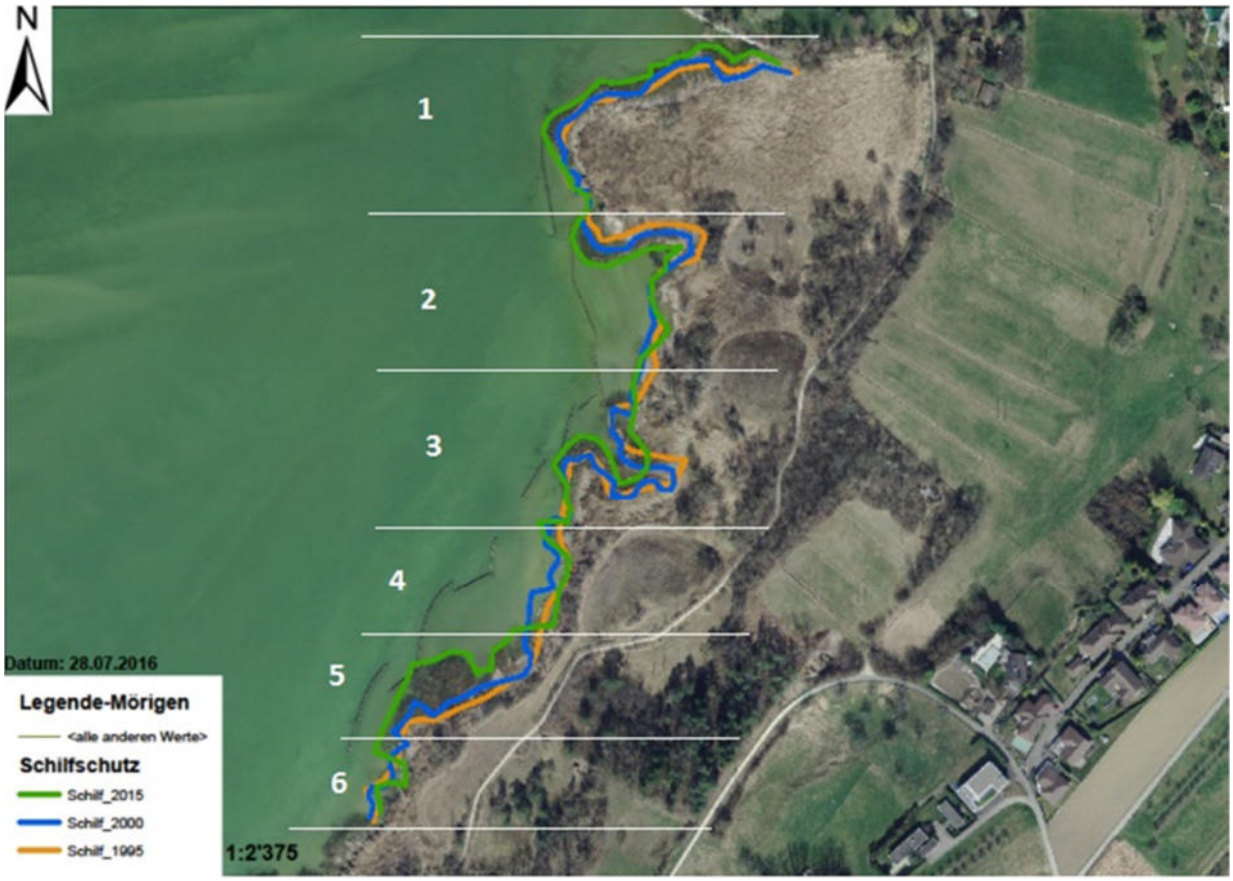


Abb.47) Entwicklung der seeseitigen Schilffront von 1995 bis 2015 im Bereich Mörigen

Abschnitt	Beschreibung	Bemerkungen
Mö 1	Leichte Ausdehnung in seitlicher Richtung, frontal kaum Veränderung	Der seitliche Bereich gegen den Hafen Mörigen ist leicht von den Wellen abgewandt. Unter Umständen findet in dieser Buchtsituation eine Sedimentakkumulation statt.
Mö 2	Leichte Ausdehnung in seitlicher Richtung, frontal kaum Veränderung	Die Bucht wurde wiederholt zum Auffangbecken grosser Mengen Schwemmholz. Starke Schwemmholzablagerungen am Seegrund verhindern zusätzlich die Ausdehnung des Schilfes.
Mö 3	Heterogene Entwicklung: im nördlichen Teil starker Rückgang, im südlichen starkes uferparalleles Vorwachsen. Die dazwischenliegende Bucht ist stark eingewachsen	Wahrscheinlich ist hier die Folge der uferparallelen Sedimentverfrachtungen sichtbar. Der Schilfbestand wächst seitlich in Richtung Norden, während er auf der südlichen Seite an Fläche verliert.
Mö 4	Rückgang der Bestände	Nach zwischenzeitlicher Erholung ist die Schilffront 2015 wieder beim Zustand 1995. Auch hier wie bei Abschnitt 2: Der Angriff der Westwindwellen ist frontal. Die vorgenommene Sandspülung 2011/12 zeigt keinen Effekt.
Mö 5	starker Zuwachs	Noch ausgeprägter als im Abschnitt 3 fand hier ein Zuwachs in nördlicher, uferparalleler Richtung statt. Der Flächenzuwachs ist beträchtlich.
Mö 6	heterogener Rückgang der Bestände	Vollkommen ungeschützter Bereich, starke Wind- und Wellenexposition Schilf hat keine Möglichkeit sich auszubreiten

4.2.2. Täuffelen

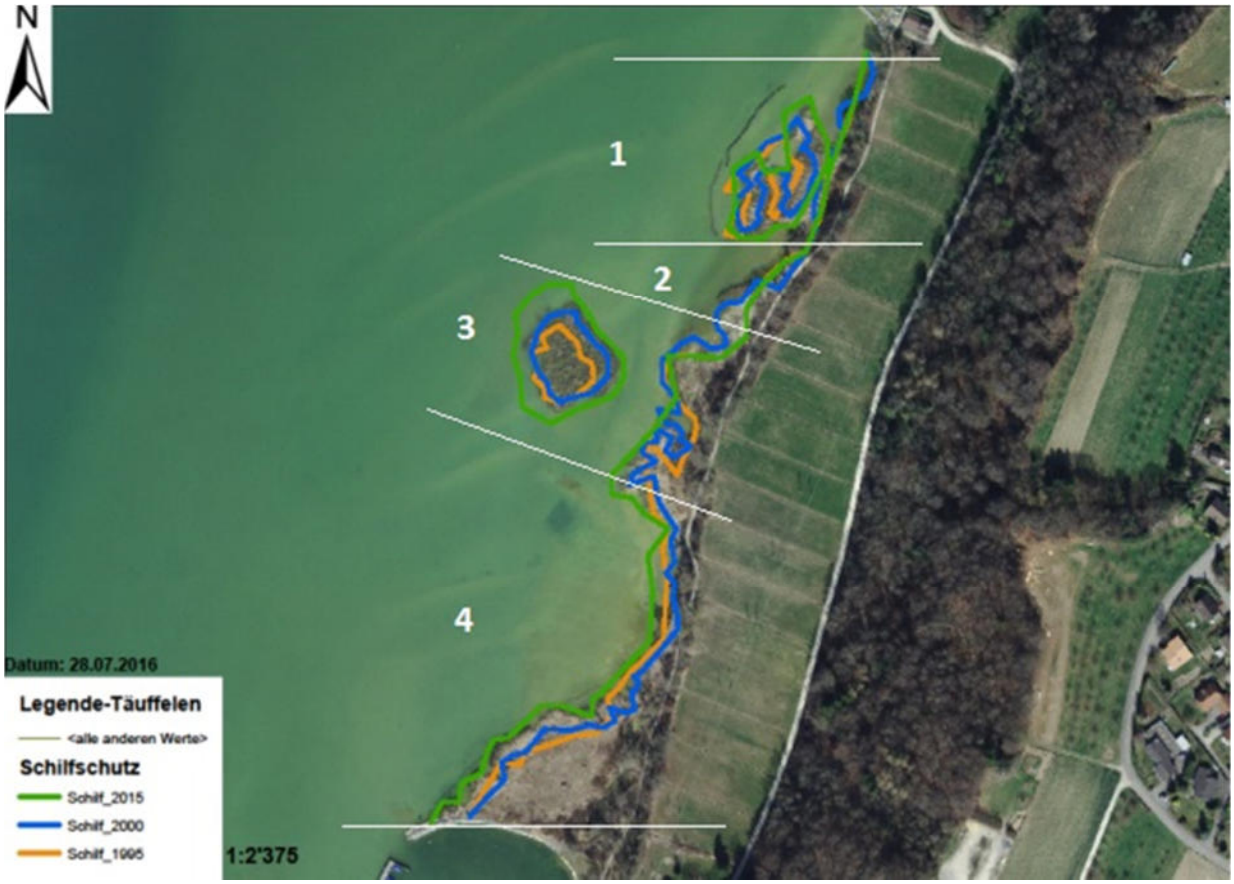


Abb.48) Entwicklung der seeseitigen Schilffront von 1995 bis 2015 im Bereich Täuffelen nördlich des Hafens

Abschnitt	Beschreibung	Bemerkungen
Tä 1	Unregelmässige Veränderungen. 2015 hat sich der inselartige, vormals lückige Bestand geschlossen	Der Schilfbestand wird durch eine Palisadenlahnung geschützt. Diese schützt besser vor Schwemmholz als eine 'normale', sie wirkt aber weniger als Sedimentfalle. Der Uferabschnitt ist oft stark durch Schwemmholz belastet
Tä 2	Nach leichtem Vorwachsen 2000 wieler leichter Rückgang auf Zustand 1995	Ungeschützter, von den Wellen eher abgewandter Abschnitt. Es werden dort oft Schwemmholzablagerungen beobachtet.
Tä 3	Der inselartige Bestand hat sich in allen Richtungen ausgedehnt. Der landseitige Bestand weist im nördlichen Abschnitt einen Rückgang, im südlichen ein Vorwachsen auf.	Den ungeschützten Inselbestand scheint Schwemmholz nicht zu schaden, wahrscheinlich weil dieses hier nicht 'gefangen' bleibt. Der Seegrund im Bereich dieses Bestandes ist rel. fest (Kies oder Molasse) und deshalb vor Erosion verschont. Auch die Ausdehnung der Bestandesgrenze in alle Richtungen weist darauf hin, dass es sich hier nicht um eine wandernde Düne handelt, wie sie im Luftbild in der Flachwasserzone erkennbar sind.
Tä 4	Leichtes Vorwachen im ganzen Abschnitt	Dieser ungeschützte Abschnitt ist geprägt durch die Uferaufschüttung im Zusammenhang mit dem Bau der Mole 1990. Das Vorwachsen des Schilfes wurde möglicherweise begünstigt durch die Abflachung und uferparallele Verlagerung des aufgefüllten Materials

Abb.49) Entwicklung der seeseitigen Schilffront von 1995 bis 2015 im Bereich Täuffelen

Abschnitt	Beschreibung	Bemerkungen
Tä 5	Rückgang der Schilffront im ganzen Abschnitt mit Ausnahme des nördlichsten Teils.	Bereits 1990 wurden an diesem Uferabschnitt – für den Bielersee einmalig – viele einzelne Schilfbulten beobachtet (Abb.50 links). (Diese wurden im Luftbild 1995 nicht erfasst, die orange Linie zeigt die Grenze des geschlossenen Bestandes). Neben dem Rückgang der Schilffront sind auch diese Bulten verschwunden, teilweise wahrscheinlich auch aufgrund von Verbissschäden durch Schwäne (Abb.50 rechts). Da in diesem Abschnitt kein positiver Einfluss der Lahnungen auf die Sedimentakkumulation festgestellt werden konnte und die Bulten sukzessive verschwanden, wurde der Unterhalt der Lahnungen ab 2003/2004 eingestellt. Die hier beobachteten Phänomene der Entwicklung der Schilfbestände ist in im Vergleich zu allen anderen Uferabschnitten am Bielersee einmalig. Die Schilffront ist heute ungeschützt. Gleichzeitig ist der Uferabschnitt im Lee des Aaredeltas insgesamt nur schwach wellenexponiert. Der Zuwachs im nördlichen Teil ist wahrscheinlich auf den Sedimenteintrag durch die Sandspülung von 2010 zurückzuführen.

Abb.50) Bultige Auflösung des Schilfbestandes (links, 26.05.1986) Verbissspuren an den Bulten (rechts, Juli 2004)

4.2.3. Lüscherz

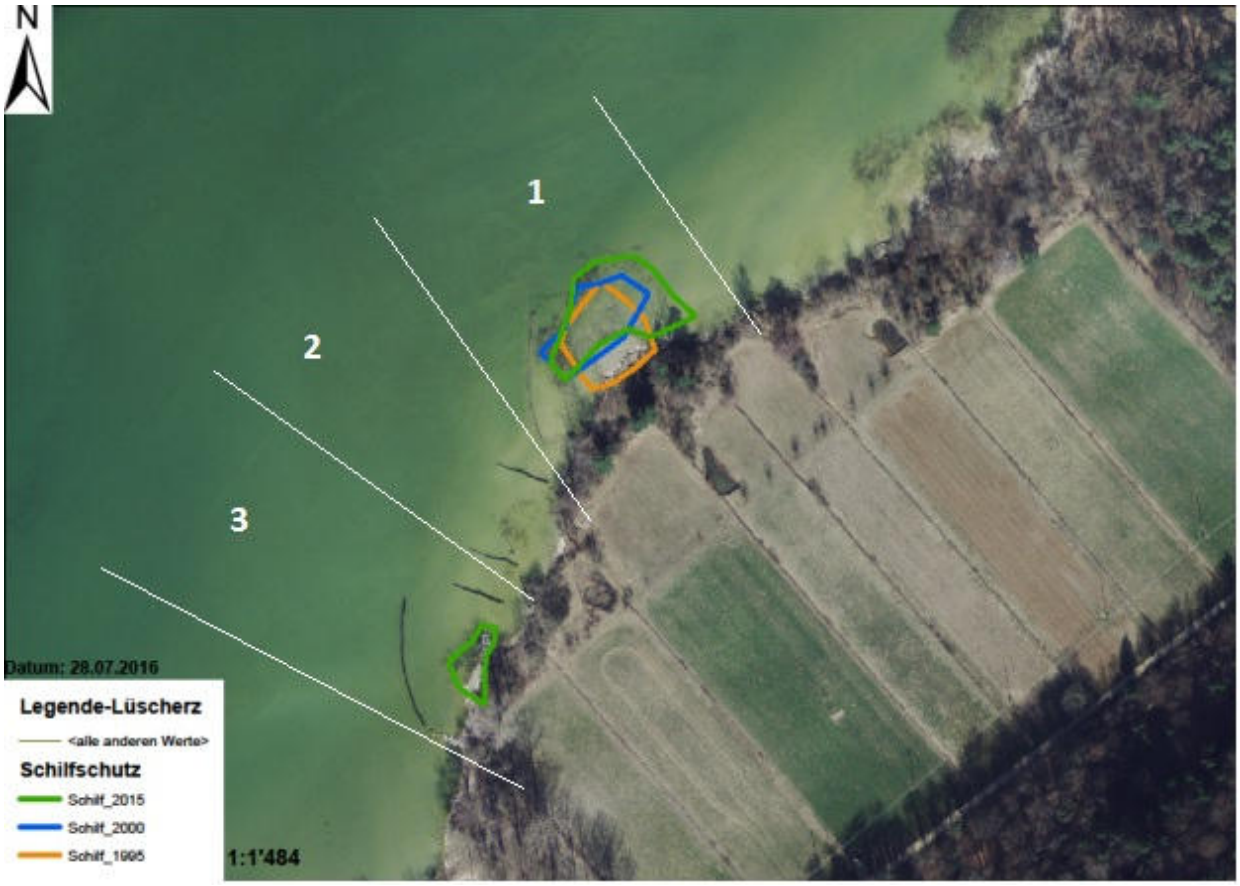


Abb.51) Entwicklung der seeseitigen Schilffront von 1995 bis 2015 im Bereich Lüscherz

Abschnitt	Beschreibung	Bemerkungen
Lü 1	Sehr lichter Schilfbestand. Uferseitiger Flächenverlust, Ausdehnung in Richtung Nordosten	Der landseitige Flächenverlust ist u.U. die Folge der Beschattung durch die Ufergehölze. Die Ausdehnung Richtung Nordosten ist wahrscheinlich die Folge der Sedimentverfrachtung.
Lü 2	Der mit Palisadenbuhnen geschützte, schilffreie Uferabschnitt zeigt eine fortschreitende Erosion	Die Palisadenbuhnen wurden 1995 erstellt und reichten bis an die Uferline. Diese verlagert sich infolge Erosion rund 0.5 m pro Jahr landwärts. Die Palisadenbuhnen zeigen keine Wirkung
Lü 3	1995 ausgeführte Revitalisierung: Rückbau der Blockwurfsicherung, Bau einer Buhne aus dem Steinmaterial, Bau einer Palisadenlahnung, Sicherung des Ufers mit einer Kiesschüttung (Kies aus dem Schüssdelta) und Neuanpflanzung von Schilf. 2015 ist der Bestand auf dem Luftbild sichtbar.	Während die Palisadenlahnung bezüglich Sedimentablagerung kaum Wirkung zeigt, sorgt die Kiesschüttung für eine Stabilisierung der Uferlinie.

Abb.52) Entwicklung der seeseitigen Schilffront von 1995 bis 2015 im Bereich Lüscherz

Abschnitt	Beschreibung	Bemerkungen
Lü 4	Starker Rückgang, gleichzeitig wurde der Bestand immer lichter	Der Schilfbestand wächst auf einer kiesigen Erhebung im Bereich der archäologischen Fundstätte Nr. 11674. Trotz Schutz durch eine Lahnung hat sich der Bestand im Laufe der Zeit stark aufgelichtet und ist heute praktisch verschwunden
Lü 5	Leichte Ausdehnung, insbesondere im nordöstlichen Bereich. Allgemein sind die Bestände in Lüscherz rel. licht	Der Schilfbestand hat das Lahnungselement Nr. 2 überwachsen
Lü 6	Schwankend, wenig Veränderung sichtbar	Die rel. lichten Bestände sind mehr oder weniger stabil
Lü 7	Der Bestand hat sich bis zur Lahnung ausgedehnt und hat direkt hinter der Lahnung die höchste Dichte	Dass die Bestände hier im Allgemeinen eher licht und weniger hoch sind, hat seine Ursache evtl. im geringeren Nährstoffangebot. Wenn die Lahnung als Sedimentfalle wirkt, reichert sich direkt landseits der Lahnung frisches und nährstoffreicheres Material ab. Westlich der Lahnung ist die Schilffront heterogener und leicht aufgerissen.
Lü 8	Stabiler Binsenbestand, Rückgang beim Schilfbestand	Der vorgelagerte Binsenbestand ist stabil und hat sich sogar leicht ausgedehnt. Beim landseitigen Schilfbestand ist ein Einbruch festzustellen.
Lü 9	Mit Ausnahme des vorgelagerten Schilfbestandes überall leichter Rückgang	Der vorgelagerte Schilfbestand ist sehr licht. Die übrige Schilffront ist ohne Lahnung und etwas stärker den Westwindwellen exponiert

4.2.4. Erlach

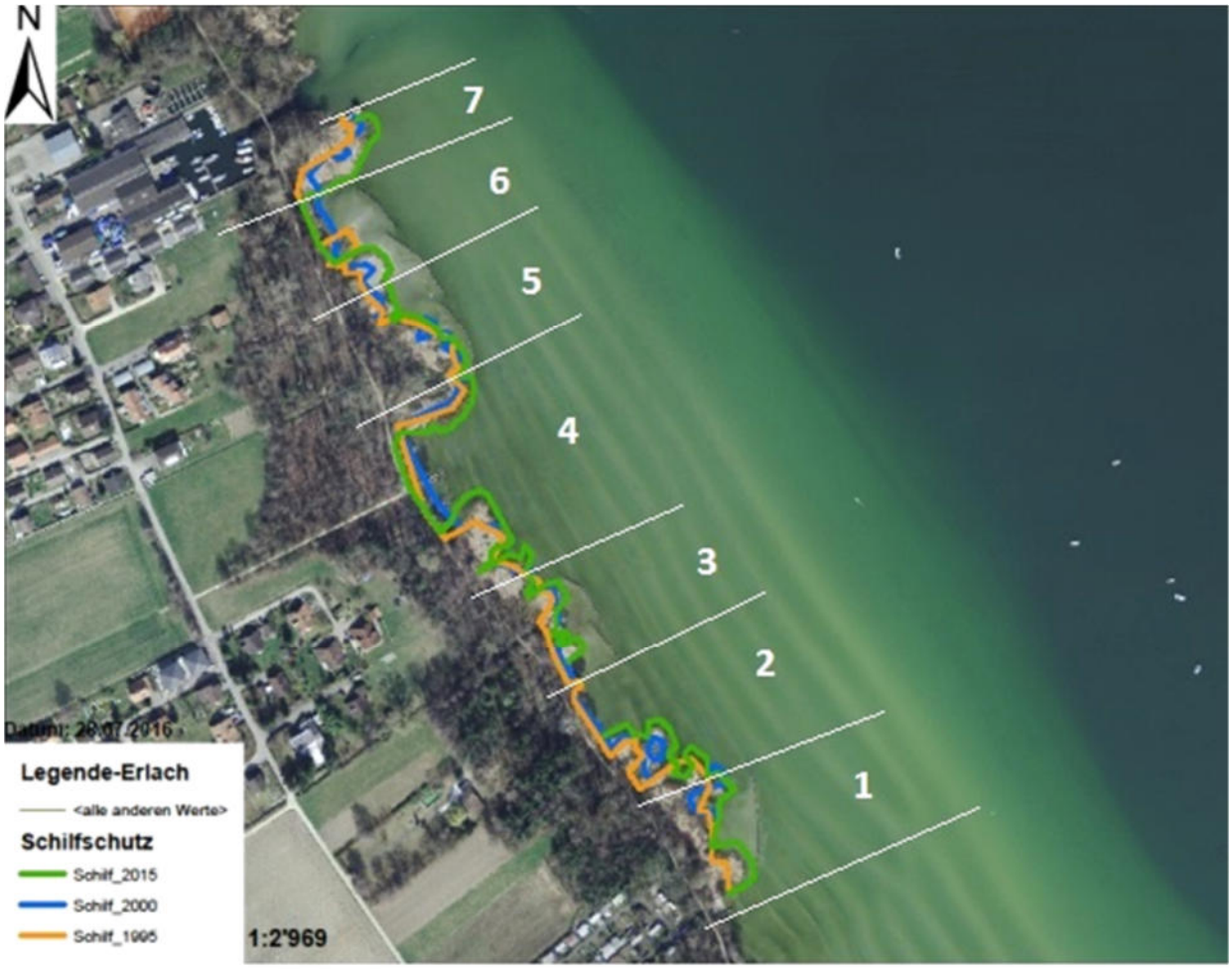


Abb.53) Entwicklung der seeseitigen Schilffront von 1995 bis 2015 im Bereich Erlach

Abschnitt	Beschreibung	Bemerkungen
Er 1	Ausdehnung der Bestände hinter der Lahnung	Die Lahnung führte zu einer Akkumulation von Sedimenten und gleichzeitig zu einer Ausdehnung des Bestandes
Er 2	Ausdehnung der Bestände ohne Lahnungselement Der nördliche Abschnitt ist schilffrei	Auffallend ist die kleiräumig gebuchtete Schilffront, was auf den fehlenden Schutz zurückzuführen ist
Er 3	Deutliche Ausdehnung der Bestände	Durch Mülibach werden Sedimente in diesen Bereich eingetragen. Die Lahnungen fördern die Deltabildung im unmittelbaren Ufer- und Flachwasserbereich
Er 4	Mit Ausnahme des schilffreien Abschnitts deutliche Ausdehnung der Bestände ohne Lahnungselement	Der schilffreie Abschnitt ist mit Blockwurf verbaut. Eine natürliche Ansiedlung von Schilf ist nicht möglich. Die seitlich angrenzenden Bestände dehnen sich seitwärts aus.
Er 5	Leichte Ausdehnung der Bestände hinter der Lahnung	Neben der Ausdehnung ist auch die Sedimentakkumulation hinter den Lahnungen sichtbar
Er 6	Südlicher Teil wie Abschnitt 5, nördlicher Teil Rückgang des Schilfes resp. schilffrei	Die Bucht hinter dem Lahnungselement 6 ist schilffrei. Wiederholte Schilfpflanzungen waren nicht erfolgreich. Das Lahnungselement wurde deshalb seit 2012 nicht mehr unterhalten und 2016 zurückgebaut.
Er 7	Deutliche Ausdehnung der Bestände hinter der Lahnung	Der Schilfbestand hat das Lahnungselement überwachsen, weshalb die Lahnung nicht mehr unterhalten wird

4.2.5. Gals

Abb.54) Schrägluftbild des Ufers im Bereich der Wellenbrecher in Gals (April 2019)

Abschnitt	Beschreibung	Bemerkungen
Gals, Abschnitt Wellenbrecher (2002)	Neuansiedlung von Schilf und starke Ausdehnung innerhalb von 16 Jahren	Der Uferabschnitt im Bereich der Wellenbrecher war vor deren Bau 2002 schilffrei. 2003 wurden Schilfpflanzungen am Ufer, 2007 hinter den Wellenbrechern ausgeführt.

4.3 Veränderung der Bestandesflächen

In der Tabelle 2 sind die Gesamtflächen über die Jahre 1995 bis 2015 pro Uferbereich aufgeführt. Im Uferbereich Gals wurde nur der Uferabschnitt mit Wellenbrechern erfasst. Die ermittelten Werte sind nur als Richtwerte zu deuten, da die Uferlinie (Grenze zwischen Wasser- und Landschilf) auf dem Luftbild nicht exakt zu erkennen ist und somit die Ergebnisse von der Realität abweichen können. Weiter ist anzumerken, dass die Flächenangaben keine Aussage über die Bestandesdichte machen. Weil auf den Luftbildern lichte Bestände teilweise nur schlecht erkennbar sind, wurden u.U. Flächen hinzu gerechnet, deren Dichte abgenommen hat oder es wurden Flächen mit geringer Dichte nicht als Bestände erkannt. Mit Hilfe der Werte soll deutlich gemacht werden, welche Entwicklungstendenzen die einzelnen Uferbereiche über die Jahre erfahren haben.

Tabelle 2: Flächenangaben im m² der Schilfbestände (%-Angaben ohne Gals)

Uferbereich	Fläche 1995		Fläche 2000		Fläche 2015	
	m²	%	m²	%	m²	%
Mörigen	4.800	100	7.500	156	10.800	225
Täuffelen	20.700	100	19.800	96	25.400	123
Lüscherz	23.800	100	22.400	94	19.000	80
Erlach	5.700	100	6.200	109	11.300	198
Gals	0		0		ca. 1'400	
Total	**55.000**	**100**	**55.900**	**102**	**67.900**	**123**

Mörigen und Erlach weisen mit 225 % resp. 198 % den grössten relativen Flächenzuwachs auf. Täuffelen zeigt erstaunlicherweise ebenfalls einen Flächenzuwachs (123 %), obschon das Wasserschilf westlich des Hafens praktisch verschwunden ist. Die positive Bilanz ist hier in erster Linie darauf zurückzuführen, dass die ausgedehnten, aber aufgelösten, bultigen Bestände westlich des Hafens, welche heute vollständig verschwunden sind, in der Ausgangssituation 1995 nicht erfasst wurden. In zweiter Linie ist sie durch die Flächenzunahme östlich des Hafens begründet. Der in Lüscherz verzeichnete Flächenrückgang auf 80 % ist schwierig zu interpretieren. Ein grosser Anteil des Verlusts geht auf die allmähliche Auslichtung und schliesslich fast vollständige Auflösung des Bestandes, welcher auf einer archäologischen Fundstelle wuchs. Wie auch in Täuffelen die Auflösung der Bestände in Bulten ist dieser Entwicklungsprozess nicht verstanden.

Es fällt auf, dass die Entwicklung der Bestandesflächen sowohl im zeitlichen Ablauf wie auch in der geografischen Verteilung sehr heterogen verlief. Auch ist nicht einfach und eindeutig feststellbar, dass sich Bestände, welche durch Lahnungen geschützt waren, besser entwickelten als ungeschützte. Weiter muss berücksichtigt werden, dass neben den Lahnungen auch weitere Massnahmen wie Sedimentspülungen und Schilfpflanzungen ausgeführt und teilweise miteinander kombiniert wurden.

5 Entwicklung der Bathymetrie 1990 – 2016

5.1 Einleitung

Nach dem Bau der ersten Lahnungen im Winter 1989/1990 wurde im Rahmen des Schilfschutzprojekts des Vereins Bielerseeschutz eine Wirkungskontrolle durchgeführt. Zwischen 1992 und 2000 wurden in 21 fest installierten Stichproben jedes Jahr im August durch dieselben Personen die Bestandesdichten und –ausdehungen gemessen sowie die Bathymetrie mit gleichenorts installierten Querprofilen aufgenommen (vgl. Iseli 1995 und Heimann 2000). Die Aufnahmen der Schilfbestände zeigten erstaunlich grosse jährliche Schwankungen, so dass eine aussagekräftige Auswertung nicht möglich war. Auch die Querprofile wiesen jährliche Schwankungen auf, welche jedoch oft im Bereich der Messgenauigkeit von einigen Zentimetern lagen. Neben diesen Schwankungen wiesen etliche Profile zudem aber deutliche Verlandungs- oder Erosionstendenzen auf. Damit konnte gezeigt werden, dass die Lahnungen wie gewünscht als Sedimentfallen wirkten – allerdings nur in Uferbereichen, welche eine genügend starke Wellen- und damit Sedimentdynamik aufweisen. Dies ist in Mörigen und Erlach der Fall, in geringerem Mass in Lüscherz, nicht jedoch und in Täuffelen westlich des Hafens.

Im Rahmen des Forschungsprojekts EROSEE (www.erosee.org) wurden in den Jahren 2000/2001, 2003/2004 und 2005 in den Uferabschnitten Ipsach Erlenwäldli, Mörigen, Lüscherz, Gals und La Neuveville 'Levée des Larrus' Aufnahmen der Flachwasserzone durchgeführt und Geländemodelle erstellt. Die Vermessungen wurden mittels Tachymeter und GPS sowie 2005 teilweise mittels Echolot durchgeführt. Dokumentiert sind die Aufnahmen in den Berichten der BFH (2004 und 2006).

2016 erfolgte eine hochauflösende bathymetrische Vermessung der Flachwasserzone des Bielersees mittels fluggestütztem Laserscanning, dokumentiert in 'Bathymetrie des Bielersees' (Universität Bern Institut für Geologie, Airborne HydroMapping GmbH, 2017). Die 'Tiefenkarte Bielersee' im Geoportal des Kantons Bern enthält eine Darstellung des Geländemodells. Die Rohdaten können beim Amt für Wasser und Abfall des Kantons Bern bezogen werden (vgl. Iseli & De Cesare 2019).

5.2 Auswertung der Querprofile

Im Rahmen einer Projektarbeit an der Berner Fachhochschule (Barhoumi 2020) wurden die Vermessungsdaten der Flachwasserzone in den Untersuchungsgebieten Mörigen, Täuffelen, Lüscherz, Erlach

und Gals, welche im Zeitraum von 1990 bis 2016 aufgenommen wurden, miteinander verglichen und analysiert. Die Lahnungen wurden zwischen 1990 und 1993 erstellt. Die ersten Querprofilaufnahmen wurden jeweils kurz nach der Erstellung durchgeführt. Die Aufnahmen aus den Jahren 1992 bis 2000 waren über linienhafte Querprofile aufgenommen worden. Spätere Aufnahmen liegen in flächig verteilten Rasterpunkten vor, welche zu Geländemodellen interpoliert wurden, aus welchen vergleichbare Querprofile extrahiert werden konnten. Dargestellt sind die Querprofile verschiedener Jahre in Diagrammen des Kalkulationsprogramms Excel.

Für die Untersuchungsgebiete Mörigen und Gals wurden zudem flächige Vergleiche der Geländemodelle von 2004 und 2016 erstellt. Als Resultat werden die Bereiche mit Erosion sowie die Bereiche mit Akkumulation dargestellt.

In den folgenden Diagrammen ist der Verlauf des Seegrundes im Bereich der Lahnungselemente dargestellt. Der 0-Punkt auf der horizontalen Achse bezeichnet die Lage der Lahnung / des Wellenbrechers. Positive Werte zeigen die Distanz ab Lahnung Richtung Land, die negativen Richtung See. Dargestellt sind die Querprofile aus verschiedenen Jahren (1991-1994 rot, 2000 gelb, 2004 grün, 2016 blau).

Im Text werden die Querprofile wie folgt bezeichnet «Elementbezeichnung_Aufnahmejahr» (Beispiel Querprofilaufnahme beim Lahnungselement M1 im Jahr 1992 «M1_1992»).

5.2.1. Mörigen Querprofile M1 bis M5

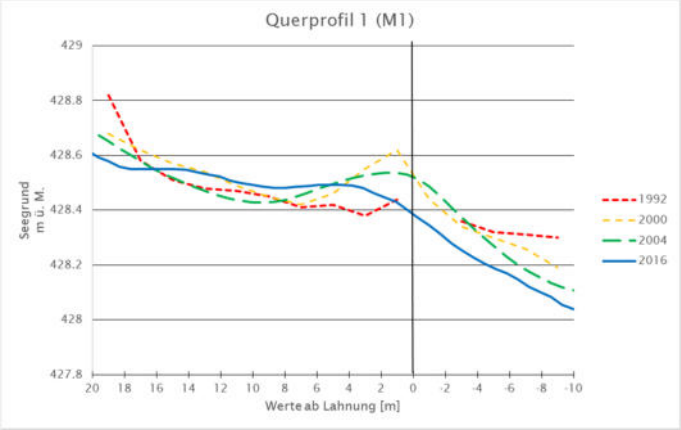


Abb.55) Mörigen Querprofil M1

M1_2000 und M1_2004 weisen im Vergleich zu M1_1992 direkt hinter der Lahnung leicht höhere Koten auf. Dies ist ebenfalls im M1_2016 erkennbar. In Richtung See jedoch nehmen die Höhen kontinuierlich ab. 10 m seeseits der Lahnung liegt der Seegrund 2016 mehr als 20 cm tiefer als 1992. Eine Auswirkung der Sedimentspülung, welche hier im Jahr 2012 ausgeführt wurde, ist nicht erkennbar. Die Auflandung im Bereich landseits der Lahnung bei M1_2000, M1_2004 und M1_2016 könnte durch die Lahnung ausgelöst worden sein.

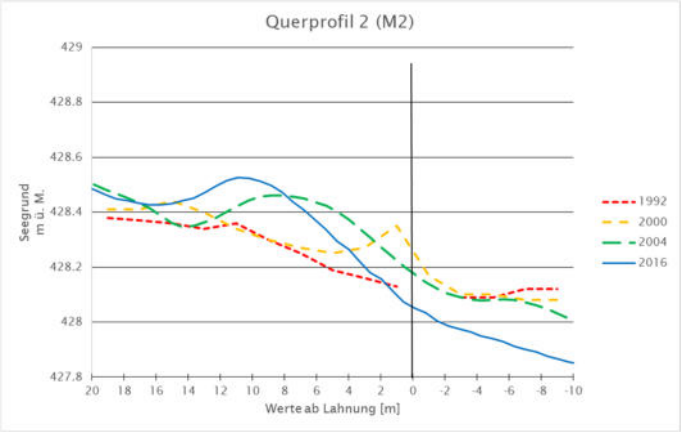


Abb.56) Mörigen Querprofil M2

M2_2000, M2_2004 und M2_2016 weisen im Vergleich zu M2_1992 landseits der Lahnung höhere Koten auf. Allerdings verschiebt sich der höchste Punkt im Laufe der Zeit landwärts. In Richtung See nehmen die Höhen kontinuierlich ab. 10 m seeseits der Lahnung liegt der Seegrund 2016 mehr als 20 cm tiefer als 1992. Die Auflandung im Bereich landseits der Lahnung bei M2_2000, M2_2004 und M2_2016 könnte durch die Lahnung ausgelöst worden sein.

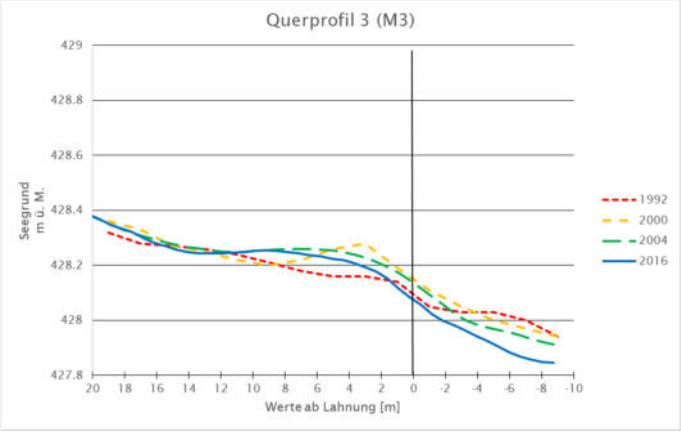


Abb.57) Mörigen Querprofil M3

M3_2000-2016 weisen im Vergleich zu M3_1992 landseits der Lahnung leicht höhere Koten auf, wobei die Höhen ab M3_2004 wieder abnehmen. Seeseits der Lahnung nehmen die Höhen kontinuierlich ab. Die Auflandung im Bereich landseits der Lahnung bei M3_2000, könnte durch die Lahnung ausgelöst worden sein. M3_2004 und M3_2016 könnten zudem von der Sedimentspülung 2012 beeinflusst sein.

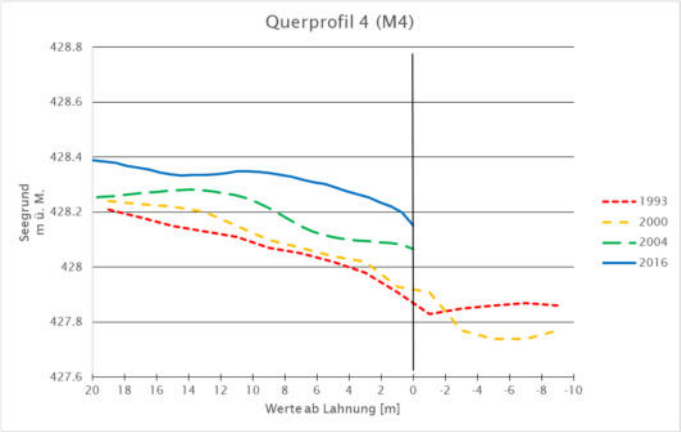


Abb.58) Mörigen Querprofil M4

Die Querprofile liegen im Bereich landseits der Lahnung von Jahr zu Jahr höher (M4_2016 knapp 20 cm über M4_1992). Seeseitig ist eine Erosion zwischen M4_1993 und M4_2000 festzustellen.

Der durchgehend höher liegende Seegrund in diesem Profil wird mindestens teilweise einem natürlichen Prozess zugeschrieben. Der westlich liegende Schilfbestand hat sich über die Jahre nach Osten wandernd ausgebreitet. Er folgte der natürlichen, westwindbedingten Sedimentdynamik, welche eine Sedimentverlagerung von West nach Ost bewirkt. Durch den Schutz des Schilfbestandes führt zu Materialablagerung im genannten Bereich. Die Lahnung könnte die Ablagerung gefördert haben. Die seeseitige Erosion könnte ebenfalls durch die Lahnung bewirkt worden sein. Weil die Lahnung quer zur Wellenrichtung liegt, könnte sie eine Beschleunigung der Strömung bewirkt haben.

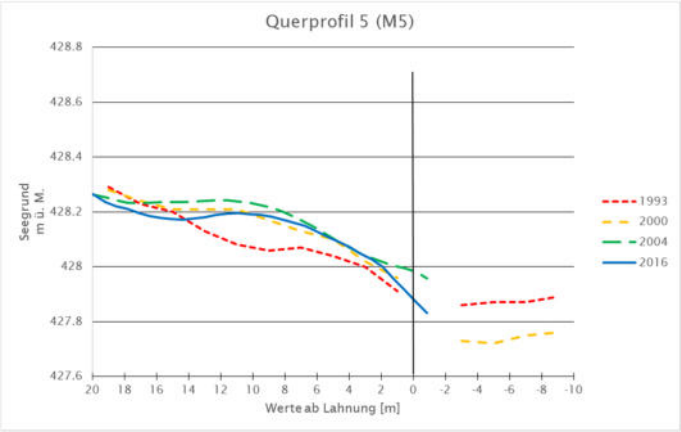


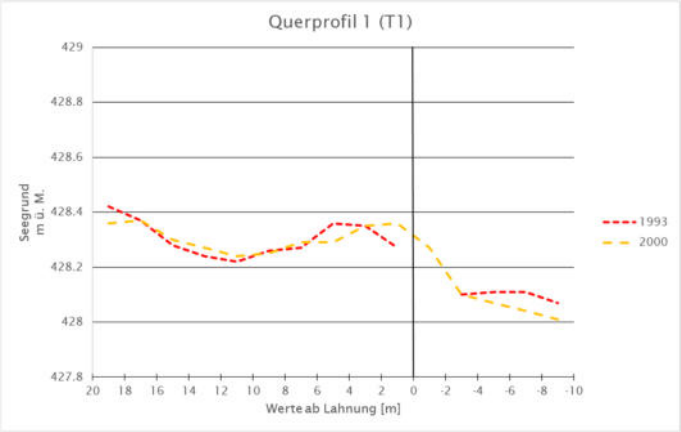
Abb.59) Mörigen Querprofil M5

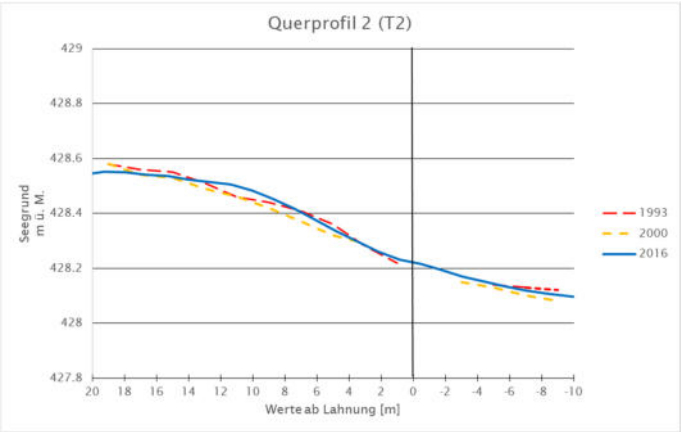
Die Aufnahmen M5_2000-2016 verlaufen ähnlich, liegen aber im Bereich von der Lahnung bis 14 m landseits der Lahnung gegenüber M5_1993 höher. Die Auflandung im landseitigen Bereich bei M5_2000-2016 könnte durch die Lahnung ausgelöst worden sein.

Beim gesamthaften Blick auf die Querprofile beim Standort Mörigen lässt sich eine heterogene Situation erkennen. Auffällig ist die Erosion seeseits der Lahnungen. Zumindest bei den Profilen M1 bis M3 wird vermutet, dass diese Erosion nicht eine Auskolkung infolge der Lahnungen ist, da die Erosionsrate mit zunehmendem Abstand von der Lahnung Richtung See steigt.

Daraus lässt sich die Wirkung der Lahnungselemente erahnen. Allerdings ist die Auflandung landseitig der Lahnung bei jedem Element unterschiedlich stark ausgeprägt. Dies könnte einerseits auf die grosse Dynamik in diesem Gebiet und andererseits auf den unregelmässigen Unterhalt der Lahnungen zurückgeführt werden. Bereits im Projekt EROSEE (Schlussbericht BFH 2006, S.VII) wurde ein Zusammenhang der Erosions- und Akkumulationsprozesse mit dem Zustand der Lahnungen angenommen. Eine deutlichere Wirkung der Lahnungselemente könnte durch regelmässigeren Unterhalt erreicht werden.

5.2.2. Täuffelen Querprofile T1 bis T5





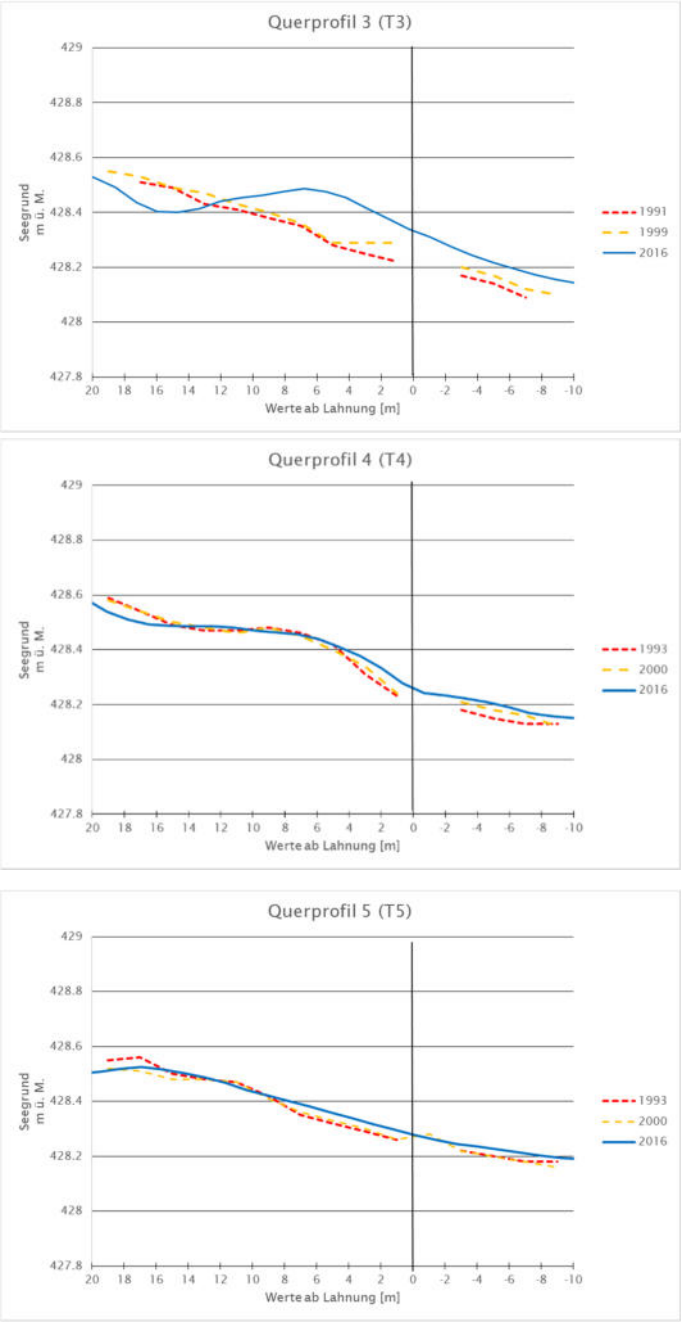
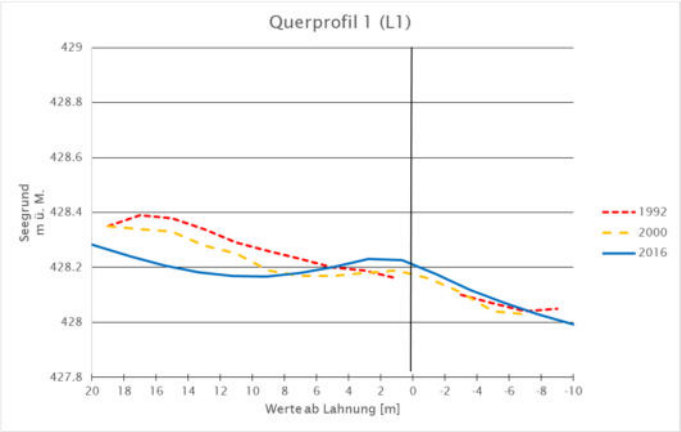


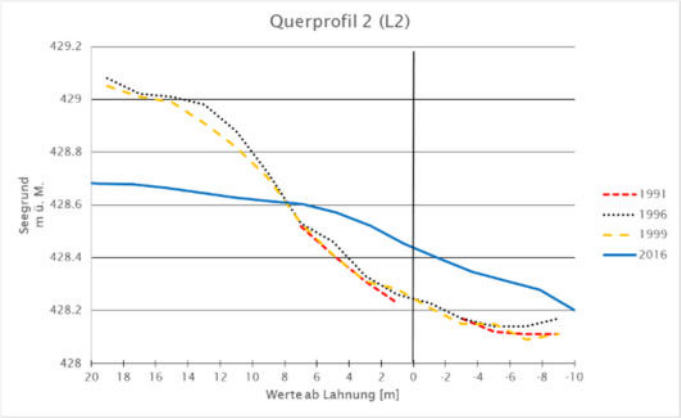
Abb.60) Täuffelen Querprofile T1 – T5

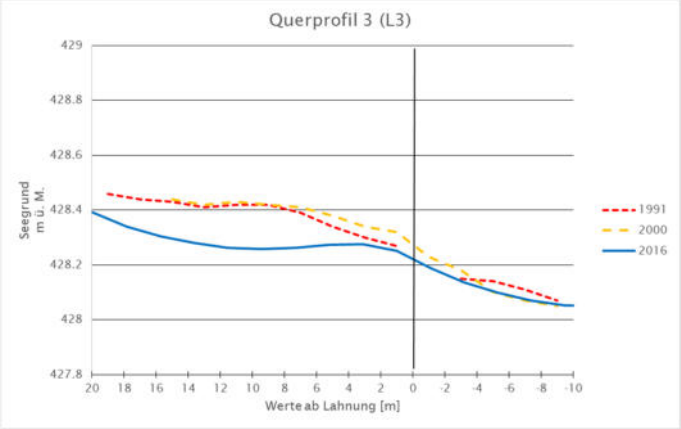
In den Querprofilen von Täuffelen können zwischen 1991 und 1999 resp. 1993 und 2000 kaum Veränderungen festgestellt werden. Da gleichzeitig ein Rückgang der Schilfbestände festgestellt worden war, wurde der Unterhalt der Lahnungen bereits 2004 eingestellt.

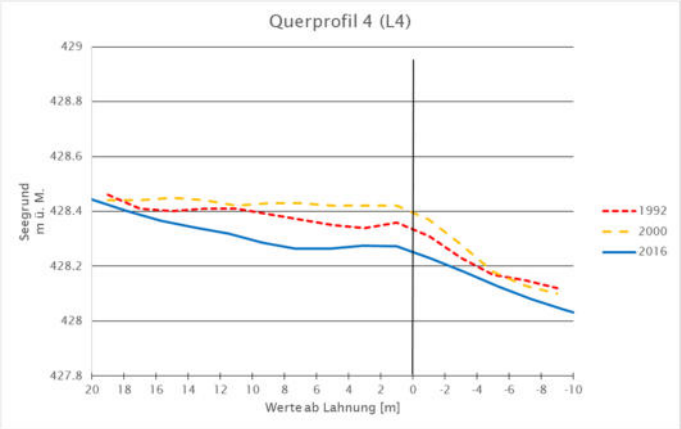
Eine Ausnahme bildet Profil T3_2016, welches eine Erhöhung um knapp 20 cm im Bereich landseits der Lahnung aufweist. Diese Erhöhung könnte eine Auswirkung der Sedimentspülung von 2010 sein.

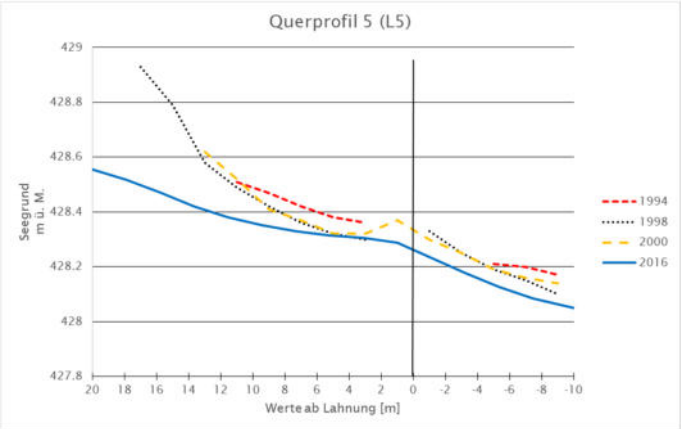
5.2.3. Lüscherz Querprofile L1 bis L6











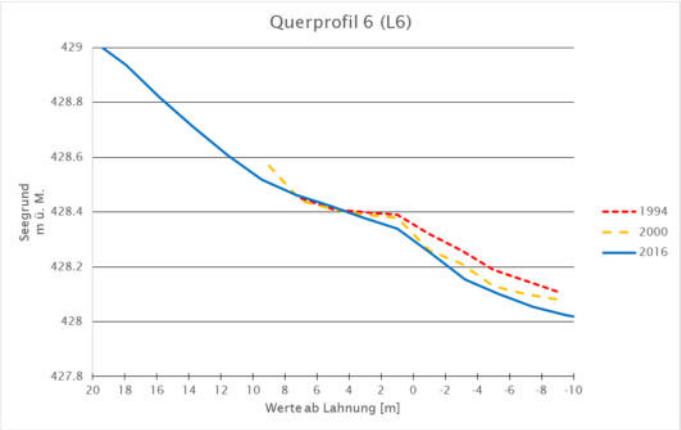


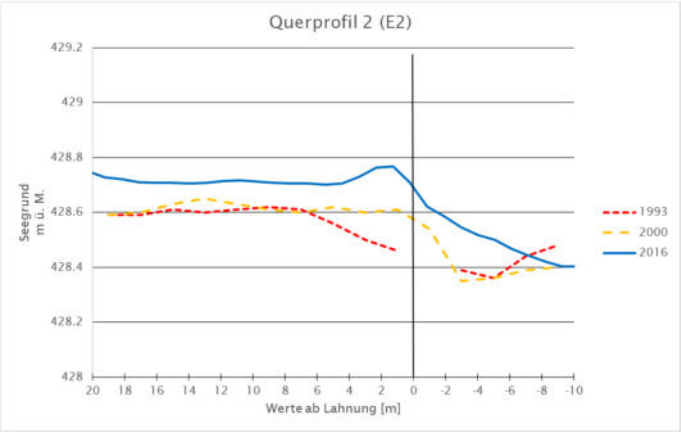
Abb.61) Lüscherz Querprofile L1 – L6

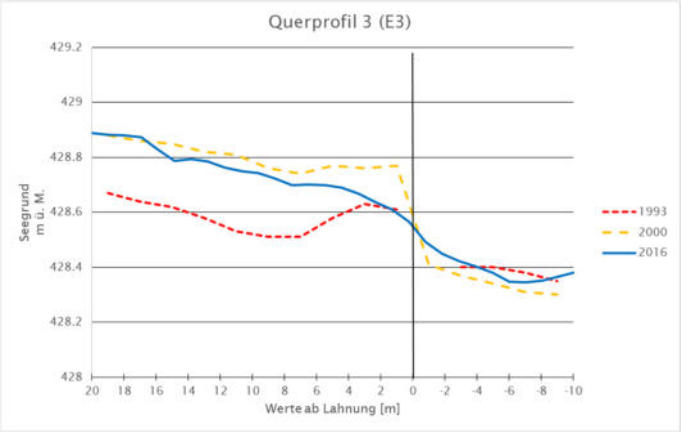
Mit Ausnahmen von L6 weisen sämtliche Profile in Lüscherz landseits der Lahnung zwischen 2000 und 2016 eine Erosion auf. L2_2016 zeigt neben einer starken Erosion im ufernahen Bereich eine Auflandung zwischen 8 m landseits und 10 m seeseits der Lahnung. Anzumerken ist, dass das Lahnungselement L2 ab 2002 nicht mehr unterhalten wurde, da es ganz mit Schilf eingewachsen war.

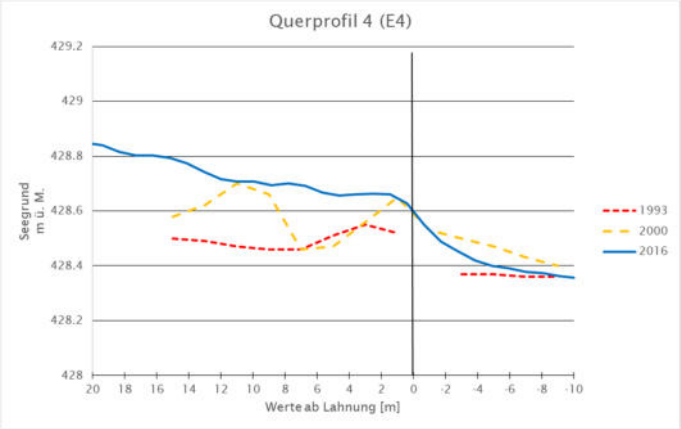
Mit Ausnahme von L4 verlaufen die Profile 1991/92/94 und 2000 sehr ähnlich. Die Profile L3_2000, L4_2000 und L5_2000 zeigen eine leichte Erhöhung landseits der Lahnung. Allgemein ist zwischen 1991/92/94 und 2000 nur eine geringe Dynamik zu verzeichnen. Umso bemerkenswerter ist die Erosion ab 2000, vor allem auch in den mit Schilf bewachsenen Bereichen von L2 und L5. Diese Tatsache könnte mit dem Unterhalt, welcher in Lüscherz zwischen 2014 eingestellt wurde, zusammenhängen.

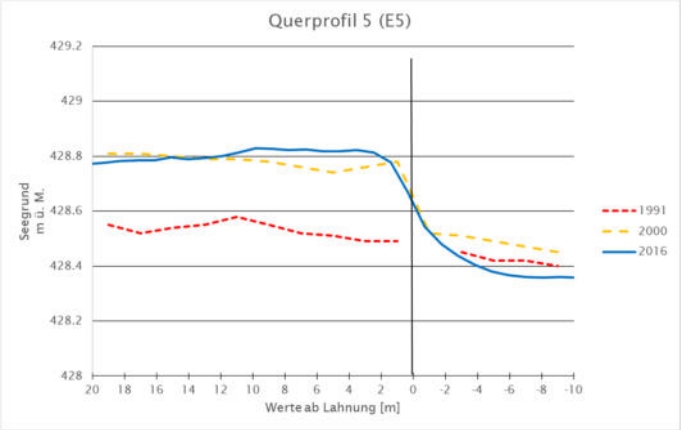
5.2.4. Erlach Querprofile E2 bis E7

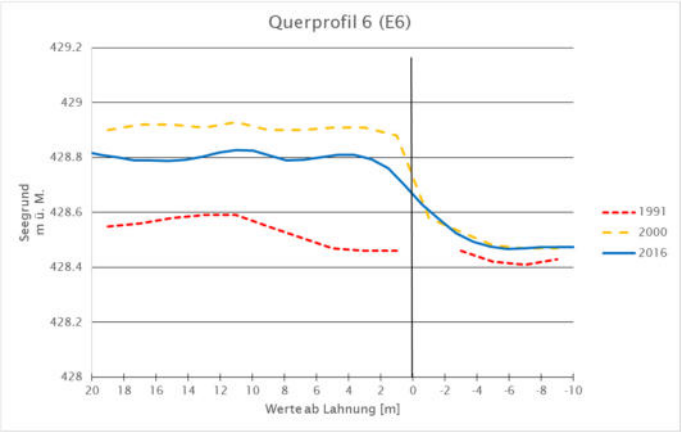
Im Gegensatz zu den Untersuchungsgebieten Mörigen, Täuffelen und Lüscherz liegt der Uferbereich von Erlach quer zur Hauptwindrichtung. Die Wellen treffen hier frontal auf das Ufer, was nicht wie in den anderen Bereichen zu einer uferparallelen Strömung führt. 1998 wurde eine Sedimentspülung hinter die Elemente E6 und E7 und 2006 eine weitere hinter die Elemente E6, E5 und E4 durchgeführt. Die Elemente E2 und E3 liegen zudem vor der Mündung des Mülibach in den See. Der landseitige Bereich bei diesen Elementen wird von Sedimenten des Mülibach gespiesen.


Querprofil 2 (E2)
429.2
429
428.8
428.6
428.4
428.2
428
Seegrund m ü. M.
20 18 16 14 12 10 8 6 4 2 0 -2 -4 -6 -8 -10
Werte ab Lahnung [m]
1993
2000
2016


Querprofil 3 (E3)
429.2
429
428.8
428.6
428.4
428.2
428
Seegrund m ü. M.
20 18 16 14 12 10 8 6 4 2 0 -2 -4 -6 -8 -10
Werte ab Lahnung [m]
1993
2000
2016


Querprofil 4 (E4)
429.2
429
428.8
428.6
428.4
428.2
428
Seegrund m ü. M.
20 18 16 14 12 10 8 6 4 2 0 -2 -4 -6 -8 -10
Werte ab Lahnung [m]
1993
2000
2016


Querprofil 5 (E5)
429.2
429
428.8
428.6
428.4
428.2
428
Seegrund m ü. M.
20 18 16 14 12 10 8 6 4 2 0 -2 -4 -6 -8 -10
Werte ab Lahnung [m]
1991
2000
2016



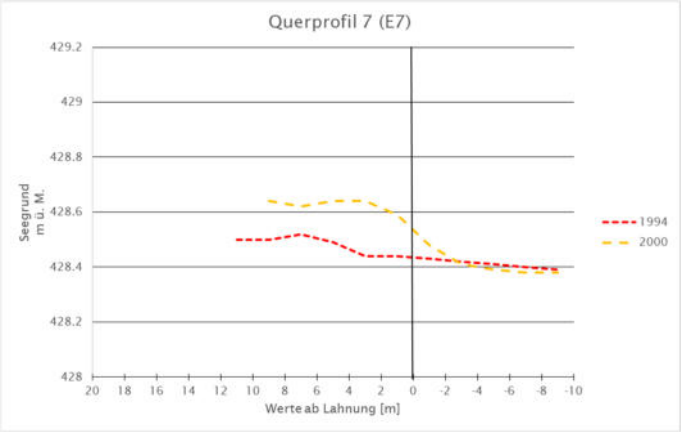


Abb.62) Erlach Querprofile E2 – E7

Es fällt auf, dass 2016 der Seegrund bei allen Profilen landseits der Lahnungen im Vergleich zur Seeseite bis zu 40 cm höher liegt. Bei den Profilen E3 bis E6 liegen die landseitigen Werte 2016 deutlich über den Werten der früheren Jahre. Bei E3_2016 und E6_2016 liegen die Werte leicht unter denjenigen von E3_2000 resp. E6_2000, aber deutlich (bis zu 20 cm) über denjenigen von E3_1993 resp. E6_1991. Bei den Elementen E2, E4 und E5 sind die Werte 2016 landseits der Lahnung die höchsten der Messreihen.

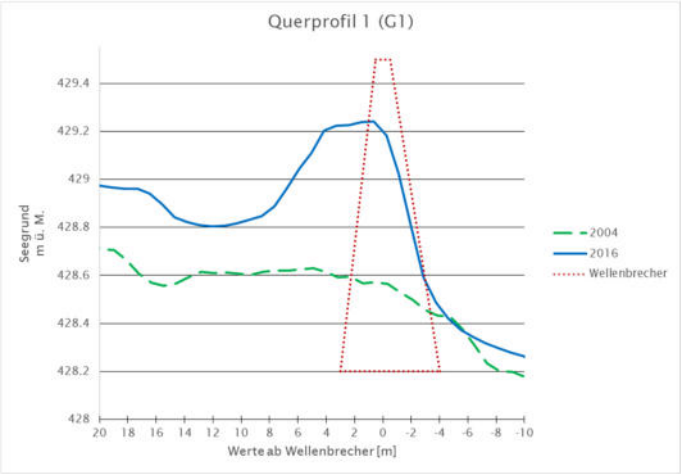
Der Unterhalt der Elemente E1 bis E5 wurde – mit einzelnen grösseren Lücken zwischen 2003 und 2008 – bis heute ziemlich regelmässig gemacht. Der Unterhalt des Elements E6 wurde 2013 eingestellt, da sich trotz Sedimentakkumulation und mehreren Schilfpflanzungen kein Schilf etablieren konnte. Der Unterhalt des Elements E7 wurde 2014 eingestellt, nachdem das Element ganz mit Schilf eingewachsen war.

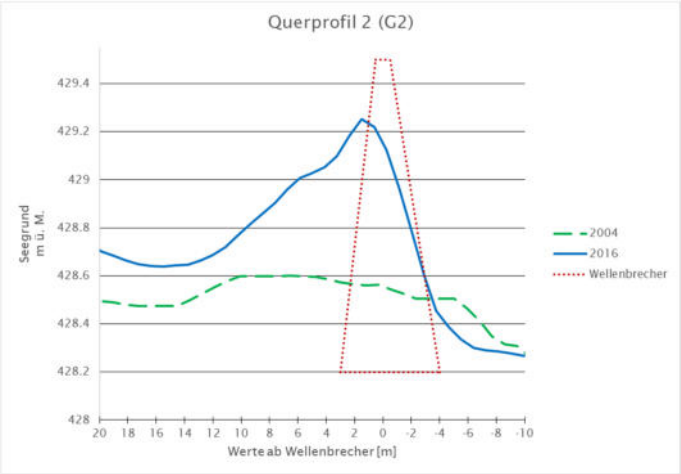
Die landseitige Akkumulation kann sowohl den Lahnungen als Sedimentfallen wie auch ihrer schützenden Wirkung auf das durch die Sedimentspülungen und den Mülibach eingebrachten Sediment zugeschrieben werden.

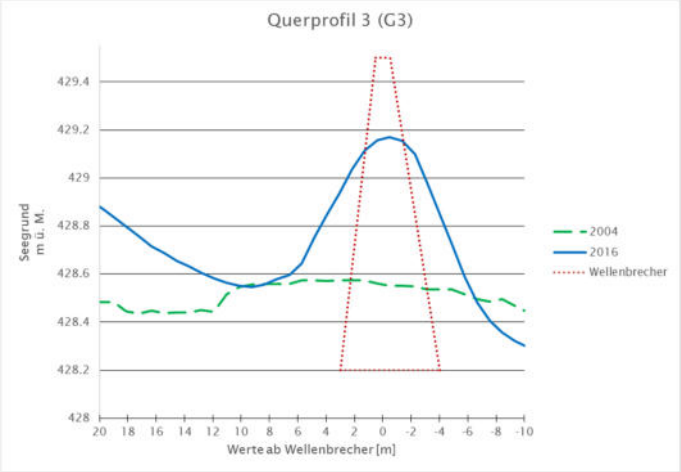
5.2.5. Gals Querprofile G1 bis G5

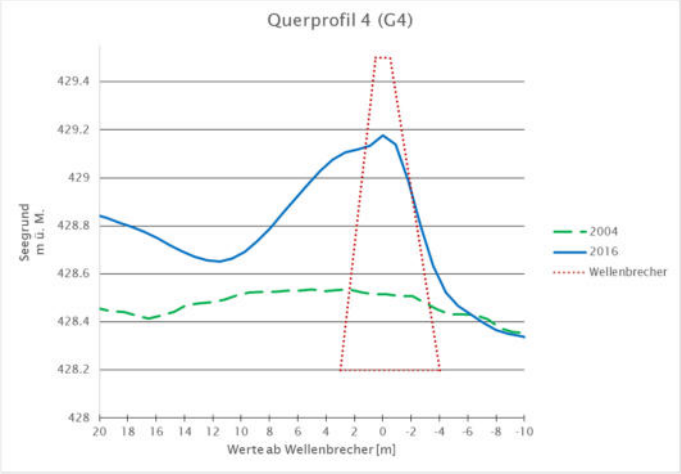
Auch der Uferbereich Gals liegt wie Erlach quer zur Hauptwind- resp. Wellenrichtung. Damit ist auch hier mit einer geringen Dynamik infolge von uferparallelen Strömungen und Sedimentverlagerungen zu rechnen.

In Gals wurden 2001 Wellenbrecher Steinblöcken der zurückgebauten Ufer-mauer erstellt. Vermessungen wurden in den Jahren 2004 und 2016 durchgeführt. In allen Profilen G1 – G4 liegen die Werte von 2016 im Bereich landseits der Wellenbrecher um rund 60 cm höher als diejenigen aus dem Jahr 2004.


Querprofil 1 (G1)
Seegrund m ü. M.
429.4
429.2
429
428.8
428.6
428.4
428.2
428
20 18 16 14 12 10 8 6 4 2 0 -2 -4 -6 -8 -10
Werte ab Wellenbrecher [m]
2004
2016
Wellenbrecher


Querprofil 2 (G2)
Seegrund m ü. M.
429.4
429.2
429
428.8
428.6
428.4
428.2
428
20 18 16 14 12 10 8 6 4 2 0 -2 -4 -6 -8 -10
Werte ab Wellenbrecher [m]
2004
2016
Wellenbrecher


Querprofil 3 (G3)
Seegrund m ü. M.
429.4
429.2
429
428.8
428.6
428.4
428.2
428
20 18 16 14 12 10 8 6 4 2 0 -2 -4 -6 -8 -10
Werte ab Wellenbrecher [m]
2004
2016
Wellenbrecher


Querprofil 4 (G4)
Seegrund m ü. M.
429.4
429.2
429
428.8
428.6
428.4
428.2
428
20 18 16 14 12 10 8 6 4 2 0 -2 -4 -6 -8 -10
Werte ab Wellenbrecher [m]
2004
2016
Wellenbrecher

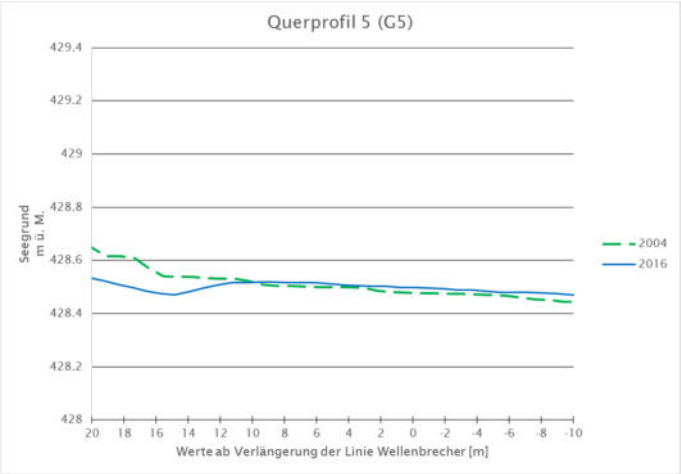


Abb.63) Gals Querprofile G1 – G5

Die deutliche Auflandung landseits und die Veränderungen seeseits der Elemente wird der Wirkung der Wellebrecher zugeschrieben. Während die Wellenbrecherelemente landseits eine Sedimentakkumulation bewirken, bildet sich am seeseitigen Fuss der Elemente teils ein leichter Kolk aus – ein Phänomen, welches bei den Lahnungen nicht festzustellen ist. Die Daten von 2004 und 2016 in Profil G5, welches nördlich abseits der Wellenbrecher liegt, weisen einen praktisch identischen Verlauf auf. Lediglich in Ufernähe ist eine leichte Erosion festzustellen, welche auf den Rückbau der Ufermauer zurückgeführt werden kann. Der Vergleich der Verläufe von G1 – G4 im Bereich der Wellenbrecher mit G5 ausserhalb der Schutzelemente bekräftigt die Aussage der positiven Wirkung der Wellenbrecher.

5.3 Interpretation

Die Entwicklung der Querprofile zeigt zwischen den einzelnen Standorten deutlichere Unterschiede auf als zwischen den einzelnen Profilen.

- In Mörigen ist die Entwicklung landseits der Lahnungen sehr heterogen. Dies wird auf die aufgrund der starken Exposition gegenüber den Westwindwellen hohe Dynamik am Standort und den unregelmässigen Unterhalt zurückgeführt. Bemerkenswert ist, dass landseits der Lahnungen eine Aulandungstendenz festzustellen ist. Im Gegensatz dazu ist seeseits der Lahnungen eine Erosion festzustellen. Diese kann nicht mit den Verbauungen in Zusammenhang gebracht werden. Sie ist wahrscheinlich Ausdruck einer allgemeinen Erosion, welche in der Flachwasserzone in diesem Uferbereich stattfindet.
- Täuffelen zeichnet sich durch eine hohe Kontinuität aus. Mit Ausnahme eines Profils mit Akkumulation, welche auf eine Sedimentspülung zurückgeführt werden kann, sind die Profile über die Zeit praktisch unverändert. Dies lässt sich dadurch erklären, dass der Uferabschnitt westlich des Hafens im Schutz des Aaredeltas Hagneck liegt und deshalb vor Westwindwellen sehr gut geschützt ist.
- In Lüscherz ist insbesondere landseits der Lahnungen fast durchwegs eine leichte Erosion festzustellen. Hier konnte die Wirkung der Lahnungen als Sedimentfallen nie eindeutig beobachtet werden. Die Erosion steht u.U. im Zusammenhang mit dem Unterhalt, welcher einige Jahre vor 2016 aufgegeben wurde oder mit der beobachteten, teils deutlichen Abnahme der Bestandesdichten.
- Erlach zeigt von allen Lahnungsstandorten die positivste Entwicklung. Eine starke landseitige Akkumulation und gleichzeitig ein stabiler seeseitiger Grund entsprechen der Idealvorstellung einer Schilfschutzanlage mit Lahnungen. Zu bemerken ist, dass die meisten Profile durch Sandspülungen resp. durch den Sedimenteintrag des Mülibachs beeinflusst sind.
- Gals unterscheidet sich durch die Art der Verbauung von den übrigen Uferbereichen, da hier anstelle von Lahnungen unterbrochene Wellenbrecher erstellt wurden. Deren Wirkung ist jedoch sehr deutlich zu erkennen. Die Akkumulationsraten sind hier von allen Profilen die höchsten. Am seeseitigen Fuss der Wellenbrecher ist teils eine leichte Auskolkung festzustellen, welche jedoch lokal begrenzt bleiben dürfte.

6 Gesamtinterpretation

Im Folgenden soll versucht werden, Aussagen über die Zusammenhänge zwischen der Entwicklung der Schilfbestände, der bathymetrischen Veränderungen und den Schutzmassnahmen zu formulieren. Insgesamt wurden in dieser Arbeit 36 Uferabschnitte mit einer Gesamtlänge von 3,16 km untersucht. Ausgewertet wurden die Veränderung der Flächen der Wasserschilfbestände zwischen 1995 und 2000 sowie zwischen 2000 und 2015. Das Mass der Veränderung wird als jährlicher Progressionswert dargestellt, welcher einem mittleren Vorwachsen der Schilffläche pro Laufmeter Uferlänge und Jahr entspricht (Beispiel: Eine Flächenzunahme von 150 m2 während 5 Jahren an einem Uferabschnitt von 100 m' Länge ergibt einen Progressionswert von 0,3 m). Weiter wurden die Uferabschnitte nach den zwischen Anfangs der 1990er Jahren und 2016 festgestellten bathymetrischen Veränderungen unterteilt in solche mit Erosion resp. ohne Veränderung sowie in solche mit Akkumulation. Da nicht an allen Uferabschnitten bathymetrische Aufnahmen durchgeführt wurden, ist die ausgewertete Uferlänge hier etwas kleiner. Schliesslich wurden die Abschnitte nach Vorhandensein oder Abwesenheit von Schutzmassnahmen klassiert.

Tabelle 3: Veränderung der Schilfflächen im Vergleich verschiedener Kategorien von Uferabschnitten.

Kategorie	Länge der Uferabschnitte m	Progressionswert 1995-2000 m/a	Progressionswert 2000-2015 m/a	Progressionswert 1995-2015 m/a
A: alle				
alle Uferabschnitte	3'160	+ 0.15	+ 0.22	**+ 0.20**
B: Schutzmassnahmen				
ohne Schutzmassnahme	1'100	+ 0.09	+ 0.27	**+ 0.22**
mit Schutzmassnahme	2'060	+ 0.19	+ 0.20	**+ 0.19**
C: Akkumulation				
mit Erosion oder stabil	1'150	– 0.01	+ 0.01	**+/– 0.0**
mit Akkumulation	1'100	+ 0.34	+ 0.32	**+ 0.33**

Es fällt auf, dass die Schilffläche im Laufe der Zeit im Durchschnitt praktisch überall zugenommen hat (Tab.2, Auswertung A). Der Progressionswert für alle untersuchten Uferabschnitte in der Periode 1995-2000 liegt mit 0.15 deutlich unter demjenigen der Periode 2000-2015 von 0.22. Das heisst, dass nach dem allgemeinen Rückgang der Schilfflächen bis in die 1990er Jahre offenbar eine Erholung einsetzte, die sich in der jüngeren Zeit beschleunigt hat.

Es stellt sich die Frage, welchen Anteil die Schutzmassnahmen an dieser Erholung hatten. Eines der zwei Ziele des Lahnungsbaus war, die Schilfbestände vor der mechanischen Belastung zu schützen und damit deren Ausbreitung zu fördern. Wie es sich nun in Tab.2 Auswertung B zeigt, sind die Progressionswerte in den geschützten Uferabschnitten in der ersten Periode mit 0.19 zwar beinahe doppelt so hoch wie in den ungeschützten (0.09). Über die ganze Zeit betrachtet ist der Unterschied jedoch nicht mehr gross, der Wert in den geschützten Abschnitten ist mit 0.19 sogar leicht geringer als derjenige in den ungeschützten (0.22). Eine Erklärung dafür könnte sein, dass ungefähr ab den 2000er Jahren die massenhaften Anschwemmungen von Fadenalgen, welche zuvor die Schilfbestände mechanisch belastet hatten, nicht mehr auftraten. Ein Zusammenhang zwischen der Reduktion der mechanischen Belastung infolge der Schutzmassnahmen und der Entwicklung der Schilfbestände kann aber nicht (mehr) festgestellt werden.

Deutlicher wird der Zusammenhang zwischen der bathymetrischen Entwicklung und derjenigen der Schilfbestände. Das zweite Ziel des Lahnungsbaus war, eine Sedimentakkumulation zu bewirken und damit die Ausbreitung der Schilfbestände zu fördern. Dieses Ziel wurde zwar nicht überall erreicht, wie die Auswertung der Querprofile gezeigt hat, und wo es erreicht wurde, waren zum Teil auch Sedimentspülungen für die Akkumulation mindestens mitverantwortlich.

Vergleicht man die Uferabschnitte nach ihrer morphologischen Entwicklung (Tab.2 Auswertung C), ergibt sich folgendes Bild: Während in Uferabschnitten mit Erosion oder mit stabilem Seegrund in den 20 Jahren von 1995 bis 2015 keine Veränderung der Schilffläche festgestellt werden kann, nahm diese in Uferabschnitten, welche eine Sedimentakkumulation aufweisen, im Durchschnitt um 0.33 m2 pro Laufmeter Uferlänge und Jahr zu. Dies kann als deutlicher Hinweis darauf interpretiert werden, dass die Entwicklung der Schilfbestände viel stärker von den ufermorphologischen Veränderungen abhängen, als bisher angenommen und durch die Akkumulation von Sedimenten positiv beeinflusst wird.

Daraus lässt sich im Umkehrschluss eine These herleiten, welche bisher so noch nicht formuliert worden war: Der starke Schilfrückgang in der zweiten Hälfte des letzten Jahrhunderts war sehr wahrscheinlich eine Folge der Erosion. Und dies wiederum führt zu folgenden Fragen: Welche Faktoren hatten zu einer verstärkten Erosion geführt? Hat die Erosion in jüngster Zeit nachgelassen und wenn ja weshalb?

7 Fazit

Seeufer sind dynamische Systeme

Die Auswertungen der Veränderungen über die Zeit sowohl der Flächenausdehnung der aquatischen Schilfbestände wie auch der Höhenprofile des Seegrundes zeigen generell eine überraschend hohe Dynamik. Seeufer unterliegen demnach verschiedenen morphodynamischen Prozessen, welche jedoch noch immer recht wenig bekannt sind.

Die Schilfbestände am Bielersee haben sich erholt

Wie bereits während den jährlichen Aufnahmen der Schilfflächen zwischen 1992 und 2000 festgestellt wurde, ist die Flächenentwicklung der Schilfbestände sehr dynamisch. Über einen längeren Zeitraum betrachtet jedoch scheint die Flächenentwicklung der Schilfbestände mit der bathymetrischen Entwicklung zu korrelieren.

Nachdem in den 1960er bis 80er Jahre am Bielersee ein massiver Rückgang der Schilfbestände festgestellt worden war, setzte ab den 90er Jahren eine Erholung ein. Die Schilfbestände haben sich im Durchschnitt über alle untersuchten Uferabschnitte flächenmässig wieder ausgebreitet und dies zwar unabhängig davon, ob Schilfschutzmassnahmen ergriffen wurden oder nicht. Daraus zu folgern, dass die Massnahmen keine positive Wirkung hatten, wäre jedoch nicht richtig. Vielmehr kann festgestellt werden, dass die einzelnen Massnahmen nicht überall den standörtlichen Verhältnissen angepasst waren.

Zwischen Sedimentakkumulation und Schilfwachstum wird ein positiver Zusammenhang festgestellt

Einen positiven Zusammenhang konnte zwischen der Ausdehnung der Schilfbestände und der Akkumulation von Sedimenten festgestellt werden. Damit kann den Schilfschutzmassnahmen dort eine positive Wirkung zugeschrieben werden, wo sie eine Sedimentakkumulation bewirkten. Dies ist nur dort der Fall, wo eine natürliche Sedimentdynamik in einem gewissen Mass vorhanden ist, wo also die Massnahme einen natürlichen Prozess positiv beeinflussen kann. Ob Schilfschutzmassnahmen wie Lahnungen oder Wellenbrecher die gewünschte Wirkung entfalten, hängt also von den standorttypischen hydraulischen und ufermorphologischen Verhältnissen ab. Die beste Wirkung scheint dort zu entstehen, wo die dominierenden Wellen und die limnische Dünung parallel zur Uferlinie liegen.

Schilfschutzmassnahmen können Sedimentakkumulation und Schilfwachstum fördern

Die hydraulische Wirkung der Lahnung entsteht in erster Linie durch ihre durchlässige Bauweise. Während die suspendierten Sedimente die Lahnung passieren, werden die Wellen durch das Bauwerk absorbiert. Aus diesem Grund bildet sich seeseits der Lahnung auch kein Kolk aus, wie die Querprofile zeigen.

Die hydraulische Wirkung kann aber nur mit einem häufigen und regelmässigen und damit sehr kostenintensiven Unterhalt aufrechterhalten werden. Abstriche im Unterhaltsaufwand schlagen sich sehr rasch in Wirkungsverlust nieder.

Als unterhaltsarme oder –freie Alternative bieten sich unterbrochene Wellenbrecherelemente an, welche bei günstigen Standortverhältnissen eine sehr hohe hydraulische Wirkung haben können. Wie die Beispiele in Gals zeigen, können auch Wellenbrecher mit einer gewissen Durchlässigkeit erstellt werden, womit die Ablagerung der Sedimente direkt landseits der Wellenbrecher ermöglicht wird. Im Gegensatz zu den Lahnungen muss hier je nach Bauart allerdings mit einer grösseren oder kleineren Auskolkung am seeseitigen Fuss des Wellenbrechers gerechnet werden.

Eine künstliche Sedimentakkumulation durch Sedimentspülung kann die Wirkung der Schutzmassnahmen verstärken. Ohne Schutzmassnahmen scheinen Sedimentspülungen aber nicht nachhaltig wirksam zu sein. Ebenso können aquatische Schilfpflanzungen in Kombination mit Schutzmassnahmen und Sedimentspülungen in Uferabschnitten, wo kein Schilf vorhanden ist, die Ansiedlung und Ausdehnung von Wasserschilfbeständen ermöglichen oder zumindest stark beschleunigen. Schilfpflanzungen erfolgen vorzugsweise in gut geschützten Uferabschnitten mit wenig sedimentmorphologischer Dynamik. Wo Schutzmassnahmen zu einer Sedimentakkumulation führen, sollte die natürliche Ansiedlung von Schilf abgewartet werden, da in solchen Bereichen andere Zielarten und –strukturen im Vordergrund stehen.

8 Empfehlungen und Ausblick

Vom Schilfschutz zur Revitalisierung der Seeufer

Die Vollzugs- und Wirkungskontrolle der Schilfschutzmassnahmen der vergangenen dreissig Jahren hat die Komplexität der Wirkungszusammenhänge im dynamischen System Seeufer sehr deutlich aufgezeigt. Daraus lässt sich die Empfehlung ableiten, in Zukunft verstärkt auf umfassendere und auch grossräumigere Revitalisierungskonzepte zu setzen. Ein wichtiges Ziel der Revitalisierungen sollte die Wiederherstellung der ufermorphologischen Prozesse an den Seeufern sein. Das bedeutet, dass sowohl Verlandungen und Sedimentakkumulation gefördert wie auch Erosionsprozesse an der Uferlinie zugelassen werden sollen. Dabei können durchaus auch neue und innovative Massnahmentypen entwickelt und getestet werden.

Neue Forschungsfragen

Es wurde festgestellt, dass die ufermorphologischen Prozesse einen grossen Einfluss auf die Entwicklung der Schilfbestände haben. War die Erosion tatsächlich die Hauptursache für den Schilfrückgang in der zweiten Hälfte des letzten Jahrhunderts, so stellt sich die Frage, auf was diese Erosion zurückzuführen war. Untersuchungen von Erosionsprozessen an archäologischen Denkmalen in der Flachwasserzone des Bodensees legen die Vermutung nahe, dass durch den Rückgang der Armleuchteralgen (*Characeen*) infolge der Eutrophierung die Erosion der Flachwasserzone insbesondere im Winter bei tiefen Wasserständen gefördert wurde (Mainberger & Schmieder, in Vorb.). Durch die Reoligotrophierung kommen heute die Characeen auch im Bielersee wieder zurück. Zudem überwintern sie vermehrt wieder grün. Die Untersuchung ihres Einflusses auf die langfristige Entwicklung der Flachwasserzone sowohl in der Vergangenheit wie auch in Zukunft wäre ein interessantes Forschungsthema.

9 Literatur

Barhoumi, Z. (2020): Flachwasserzone Bielersee; Auswertung und Analyse von Vermessungsdaten 1990-2016. Projektarbeit an der Berner Fachhochschule, Studiengang Master of Science n Engineering MSE, MRU Civil Engineering & Building Technology, Geotechnik und Naturgefahren

Felber, B. (1985): Wenn nicht bald etwas geschieht; am Bielersee gibt es immer weniger Schilf. Wochenzeitung Biel-Bienne, 19./20. Juni 1985, S. 21

Heimann, Ph. (2000): Schilfschutzmassnahmen am Bielersee, 10 Jahre Erfolgskontrolle. Projektbericht Bielersee 2002 (Verein Bielerseeschutz), unveröff.

Hewes, S. (2018): Conception d'un chenal de navigation lacustre en eaux peu profondes (Täuffelen, Lac de Bienne). Travail pratique de Master. Ecole Polytechnique Fédérale, Lausanne. Laboratoire de Constructions Hydrauliques.

Iseli, Ch. (1990): Die Geschichte der Schilfröhrichte am Bielersee und Folgerungen für den praktischen Schilfschutz. In: Sukopp, H., Krauß, M. (Hrsg).: Ökologie, Gefährdung und Schutz von Röhrichtpflanzen. Landschasftsentw. u. Umweltforsch. (Berlin) 71:212-228

Iseli, Ch. (1992a): Naturschutz und Ingenieurbiologie am Beispiel des Schilfschutzes am Bielersee. Ingenieurbiologie 1/1992:6-13

Iseli, Ch. (1992b): Ingenieurbiologische Schilf- und Uferschutzmassnahmen am Bielersee. Ingenieurbiologie 1/1992:11-14

Iseli, Ch. (1993): Ufererosion und Schilfrückgang am Bieler See - Möglichkeiten und Strategien der Uferrenaturierung. In: Ostendorp, W., Krumscheid-Plankert, P. (Hrsg): Seeuferzerstörung und Seeuferrenaturierung in Mitteleuropa. Limnologie Aktuell (G. Fischer, Stuttgart) 5:103-112

Iseli, Ch. (1995): Zehn Jahre Schilf- und Uferschutzmassnahmen am Bielersee. Schriftenreihe Verein Bielerseeschutz 4

Iseli, Ch. (1996): Maintien et rétablissement des rives naturelles du lac de Bienne: que faire? Problèmes actuels vus sur le plan de la construction hydraulique. In: Ramseyer, D., Roulière-Lambert, M.J. (Ed.) (1996): Archéologie et érosion. Mesures de protection pour la sauvegarde des sites lacustres et palustres. Acte de la rencontre internationale de Marigny (29.-30.9.1994). Centre Jurassien du Patrimoine. Lons-le-Saunier

Iseli, Ch. (2006): Uferschutzmassnahmen an Seen: Beispiele und ihre Wirkung. In: 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 27:89-98

Iseli, Ch. (2009): Ingenieurbiologie an Seen. Ingenieurbiologie 4/2009: 70-73

Iseli, Ch. (2014): Grundlagen für einen umfassenden Uferschutz an Seen. Ingenieurbiologie 4/2014

Iseli, Ch. (2016): Vom Uferschutz zur Uferrevitalisierung. Ingenieurbiologie 2/2016 (4-8)

Iseli, Ch., Imhof, T. (1987): Bielersee 1987, Schilfschutz, Erhaltung und Förderung der Naturufer. Schriftenreihe Verein Bielerseeschutz 2

Iseli, Ch., Rohner, K. (1992): Schwemmholz-Studie für Brienzer-, Thuner- und Bielersee. Baudirektion und Polizeidirektion des Kantons Bern.

Iseli, Ch., Schleiss, A. (2006): Erosionsprozesse und Uferstabilität an Seeufern – Resultate und Umfeld des Forschungsprojekts EROSEE. In: 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 27:89-98

Iseli, Ch., Naef, Ruth (2012): Ausbaggerung Kleinbootshafen Mörigen: Sedimentvorspülung in Schilfgürtel, Schlussbericht. Querprofilaufnahmen 2012, Vergleich mit den Messreihen 1990 – 2000. Auftrag Gemeinde Mörigen

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

Iseli, Ch., La Poutré, M., De Cesare, G., editors (2020): Arbeitshilfe Seeuferrevitalisierung. Verein für Ingenieurbiologie. Fachzeitschrift Ingenieurbiologie 1/2020 (88 S.)

Mainberger, M., Schmieder, K. (in Vorb.): Archäologische Denkmale und submerse Makrophyten in der Flachwasserzone des Bodensees. Arbeitsgruppe Bodenseeufer (AGBU), Konstanz

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

Ostendorp, W., 1989. 'Die-Back' of reeds in Europe: a critical review of literature. Aquatic Botany. 35/1 (5-26)

Ostendorp, W.; Iseli, Ch.; Krauß, M.; Krumscheid-Plankert, P.; Moret, J.-L.; Rollier, M.; Schanz, F.; 1995. Lake shore deterioration, reed management and bank restoration in some Central European lakes. Ecological Engineering. 5-1995 (51-75). Elsevier

Ostendorp, W.; Krumscheid-Plankert, P. (Hrsg.), 1993. Seeuferzerstörung und Seeuferrenaturierung in Mitteleuropa. Limnologie aktuell. Bd. 5. G. Fischer, Stuttgart.

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)

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

Schiefer, A.; Iseli, Ch.; Amini, A.; De Cesare, G. (2016): Untersuchung von Renaturierungskonzepten am Seeufer Gals, Bielersee. Ingenieurbiologie 2/2016 (62-69)

Verein Bielerseeschutz VBS / Société pour la protection des rives du lac de Bienne (Hrsg.) 1990: Schilf- und Uferschutzmassnahmen am Bielersee / Mesures de protection des roseaux et des rives du lac de Bienne. Schriftenreihe VBS Nr. 3

Universität Bern Institut für Geologie, Airborne HydroMapping GmbH. (2017): Geodatensatz Bathymetrie Bielersee, Technischer Bericht. Schlussbericht, Bern. Abgerufen am 9.4.2020 von https://files.be.ch/bve/agi/geoportal/geo/lpi/BATHYBIE_2017_01_LANG_DE.PDF

Berichte Forschungsprojekt Erosee www.erosee.org

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

Schlussberichte Forschungsprojekt EROSEE (2006):
- EPFL-LCH: Efficiency of Brushwood Fences in Shore Protection against Wind-Wave Induced Erosion
- BFH: Basic Principles and Methods of Field Measurements, Analysis of Wind, Wave, Bathymetry and Sediment Data
- LCH/BFH (2006): Critère de dimensionnement et recommandations pratiques pour la protection des rives lacustres / Bemessungsgrundlagen und praktische Empfehlungen für Uferschutzmassnahmen. KTI-Projekt 5760.1 UTS 'Erosionsprozesse und Uferstabilität an Binnenseen, Erarbeitung von Bemessungsgrundlagen für den Schutz von Flachufern am Anwendungsbeispiel des Bielersees'

Zwischenberichte Forschungsprojekt EROSEE (2004):
- Progress Report BFH: Development of Constructional Techniques and Dimensioning Principles by the Example of Lake Bienne

Anhang

Unterhaltsplan Lahnungen

Veränderung der Schilfflächen pro Uferabschnitt

Anhang 1: Unterhaltsplan Lahnungen

Lahnungen Bielersee: Unterhalt

X = Pfosten rammen

= Lahung aufgefüllt

Mörigen

Element / Jahr	M11 (63m')	M12 (65m')	M1 (30m')	M13 (12m')	M2 (38m')	M14 (24m')	M3 (19m')	M15 (19m')	M4 (52m')	M16 (18m')	M5 (54m')
89/90			X		X		X		X		X
90/91											
91/92											
92/93											
93/94											
94/95											
95/96											
96/97											
97/98											
98/99											
99/00											
00/01		1/2									
01/02		1/2									
02/03											
03/04											
04/05											
05/06			X				X				
06/07	X	X									
07/08								X			X
08/09										X	
09/10											
10/11						X					
11/12											
12/13											
13/14											
14/15											
15/16											
16/17											
17/18											
18/19											
19/20											

Täuffelen

Element / Jahr	T1 (44m')	T2 (40m')	T3 (80m')	T4 (52m')	T5 (72m')
89/90	X	X	X	X	X
90/91					
91/92					
92/93					
93/94					
94/95					
95/96					
96/97					
97/98					
98/99					
99/00					
00/01					
01/02					
02/03					
03/04					
04/05					
05/06					
06/07	X				
07/08					
08/09					
09/10					
10/11					
11/12					
12/13					
13/14					
14/15					
15/16					
16/17					
17/18					
18/19					
19/20					

Lüscherz

Element / Jahr	L11 (44 m')	L1 (52m')	L2 (42m')	L3 (66m')	L4 (30m')	L5 (34m')	L6 (62m')
89/90		X	X	X	X	X	X
90/91							
91/92							
92/93							
93/94							
94/95							
95/96							
96/97							
97/98							1/2
98/99							1/2
99/00							
00/01		2/3					1/3
01/02		1/3	eingewachsen				2/3
02/03							
03/04							
04/05							
05/06						X	
06/07		X					
07/08							
08/09				X	X		
09/10							
10/11	X 44m'						
11/12							X
12/13							
13/14							
14/15							
15/16							
16/17							
17/18							
18/19							
19/20							

Erlach

Element / Jahr	E1 (60m')	E2 (30m')	E3 (34m')	E4 (58m')	E5 (52m')	E6 (34m')	E7 (40m')
89/90	X	X	X	X 1/2	X 1/2	X	X
90/91							
91/92							
92/93				1/2			
93/94						2/3	
94/95							
95/96				1/2			
96/97							
97/98							
98/99	X (Verlängerung 19 -> 60m)					2/3	
99/00				1/2			
00/01							
01/02				29 m'			
02/03							
03/04							
04/05							
05/06			X				
06/07							
07/08		X					X
08/09							
09/10							
10/11							
11/12							
12/13							
13/14							
14/15							
15/16						abgebaut	eingewachsen
16/17							
17/18	X						
18/19					X		
19/20							

Anhang 2: Veränderung der Schilfflächen pro Uferabschnitt

Flächenveränderung Schilfbestände 1995 - 2000 -2015

Grundlagen: Auswertung Querprofile (Barhoumi), Flächendifferenzen Schilf auf Luftbildern Schiefer durch Iseli

Akkumulation Sedimente hinter (landseits) der Lahnung 1992-2000, Gals: 2003-2016
Akkumulation Sedimente vor (seeseits) der Lahnung 1992-2000, Gals: 2003-2015
2 = stark positiv, 1 = schwach positiv, 0 = unverändert, -1 = schwach negativ, -2 = stark negativ
rosa hinerlegt abgeschätzt, nicht gemessen

Abschnitt	Lahnungselemente	weitere Massnahmen	Flächendifferenz 1995-2000	Flächendifferenz 2000-2015	Flächendifferenz 1995-2015	Abschnittlänge	Durchschn. Bewegung Schilffront 1995-2000	Durchschn. Bewegung Schilffront 2000-2015	Durchschn. Bewegung Schilffront 1995-2015	Schutz vorhanden 1=ja, 0=nein	Sediment landseits Lahnung	Sediment seeseits Lahnung
			m2	m2		m'	m'	m'	m'			
Mö1	M11	Sandspülung 2012	149	448	**597**	138	1.1	3.2	**4.3**	1	1	-1
Mö2	M12	Sandspülung 2012	597	448	**1'045**	104	5.7	4.3	**10.1**	1	1	-1
Mö3	M1, M13, M2, M14		149	224	**373**	86	1.7	2.6	**4.3**	1	1	-1
Mö4	M3, M15, M4	Sandspülung 2012	448	-373	**75**	66	6.8	-5.7	**1.1**	1	1	-1
Mö5	M4, M6, M5		299	1'643	**1'941**	100	3.0	16.4	**19.4**	1	1	-1
Mö6	-		0	-75	**-75**	36	0.0	-2.1	**-2.1**	0	0	-1
Tä1	T1 (Palisadenlahnung)		439	439	**878**	115	3.8	3.8	**7.6**	1	0	0
Tä2	-		0	146	**146**	65	0.0	2.3	**2.3**	0		
Tä3	-		512	1'610	**2'123**	96	5.3	16.8	**22.1**	0		
Tä4	-	Bau Bisendamm, Sedimentablagerung / Auffüllung	-146	2'123	**1'976**	217	-0.7	9.8	**9.1**	0		
Tä5.1			-56	445	**389**	95	-0.6	4.7	**4.1**	0	0	0
Tä5.2	T2	Sandspülung 2010	-167	-167	**-334**	40	-4.2	-4.2	**-8.3**	1	0	0
Tä5.3	T3	Sandspülung 2010	-500	-167	**-667**	80	-6.3	-2.1	**-8.3**	1	1	1
Tä5.4	T4	Sandspülung 2010	-334	56	**-278**	52	-6.4	1.1	**-5.3**	1	0	0
Tä5.5	T5		-667	-56	**-723**	72	-9.3	-0.8	**-10.0**	1	0	0
Tä5.6			-222	-334	**-556**	77	-2.9	-4.3	**-7.2**	0	0	0
Lü1	L11		-122	490	**367**	89	-1.4	5.5	**4.1**	1	0	0
Lü3	Palisadenlahnung	Buhne, Kiesschüttung, Schilfpflanzung	0	286	**286**	64	0.0	4.5	**4.5**	1	0	0
Lü4	L1		826	-1'277	**-451**	104	7.9	-12.3	**-4.3**	1	-1	0
Lü5	L2, L3		150	225	**376**	101	1.5	2.2	**3.7**	1	-2	1
Lü6	L3, L4, L5		-75	225	**150**	88	-0.9	2.6	**1.7**	1	-1	-1
Lü7	L6		150	-150	**0**	153	1.0	-1.0	**0.0**	1	0	-1
Lü8	-		75	-376	**-300**	43	1.7	-8.7	**-7.0**	0		
Lü9	-		-75	-676	**-751**	158	-0.5	-4.3	**-4.8**	0		
Erl1	E1		-141	705	**564**	83	-1.7	8.5	**6.8**	1		
Erl2	-		282	423	**705**	112	2.5	3.8	**6.3**	0		
Erl3	E2, E3	Mülibachmündung	141	282	**423**	88	1.6	3.2	**4.8**	1	2	1
Erl4	-		141	1'128	**1'269**	140	1.0	8.1	**9.1**	0		
Erl5	E4, E5	Sandspülungen 1997, 2006	141	282	**423**	95	1.5	3.0	**4.5**	1	2	0
Erl6	E5, E6	Sandspülungen 1997, 2006	0	282	**282**	74	0.0	3.8	**3.8**	1	2	0
Erl7	E7		423	846	**1'269**	78	5.4	10.8	**16.3**	1	2	0
Gals 1	Wellenbrecher 1	Schilfpflanzung 2008	0	284	**284**	38	0.0	7.5	**7.5**	1	2	0
Gals 2	Wellenbrecher 2	Schilfpflanzung 2008	0	292	**292**	39	0.0	7.5	**7.5**	1	2	0
Gals 3	Wellenbrecher 3	Schilfpflanzung 2008	0	352	**352**	47	0.0	7.5	**7.5**	1	2	0
Gals 4	Wellenbrecher 4	Schilfpflanzung 2008	0	472	**472**	63	0.0	7.5	**7.5**	1	2	0
Gals 5			0	0	**0**	60	0.0	0.0	**0.0**	0	0	0