

Zeitschrift:	Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber:	Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band:	113 (2021)
Heft:	2
Artikel:	Erfolgsfaktoren für die Sedimententnahme aus einem von Verlandung bedrohten Kleinsee
Autor:	Dübendorfer, Christina / Howald, Florian / Reinecke, Tino
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-966185

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 14.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Erfolgsfaktoren für die Sedimententnahme aus einem von Verlandung bedrohten Kleinsee

Christina Dübendorfer, Florian Howald, Tino Reinecke, Lukas Egloff, Philipp Staufer

Zusammenfassung

Der Inkwilersee, ein idyllischer und unter Naturschutz stehender Kleinsee, war von Verlandung bedroht und weist eine schlechte Wasserqualität auf. Das 2011 erstellte Sanierungskonzept sah als eine von drei Hauptmassnahmen eine Sedimententnahme von 15 000 m³ zur langfristigen Erhaltung des Sees vor.

In einer kantons- und gemeindeübergreifenden Planung berücksichtigten die Projektierenden vielfältige Anforderungen und definierten differenzierte Schutzmassnahmen für Natur, Gewässer und Umwelt. Neben naturschützerisch bedingten Schonzeiten und -gebieten waren auch archäologische Fundstellen zu beachten. Die organischen Böden ausserhalb des Sees stellten hohe Anforderungen an den Bodenschutz für Entwässerungs- und Installationsflächen. Zudem musste die Qualität des Sediments überwacht werden, um es später in der Landwirtschaft als Dünger verwerten zu können.

Dank einer umsichtigen Planung und der guten und flexiblen Zusammenarbeit aller Beteiligten gelang die termingerechte Sedimententnahme. Wichtig war die Erkenntnis, dass die Entwässerung des Sediments Platz braucht und eine entsprechende Logistik geplant werden muss. Beides sind Themen, die bei einer Umsetzung innerhalb eines kleinen Zeitfensters leicht Konflikte mit Anrainern oder Widersprüche zwischen den Schutzzieilen und damit Verzögerungen und Mehrkosten auslösen.

Dieses Projekt zeigt eindrücklich, dass neben technischer Expertise und Kenntnissen zu den betroffenen Ökosystemen insbesondere eine ergebnisoffene Beteiligung der Anrainer lokales Wissen aktivierte und so eine termin- und kostengerechte Umsetzung ermöglichte.

unter natürlichen Bedingungen geschehen würde. Durch den 1961 abgesenkten Wasserspiegel hat sich das Seevolumen zudem zusätzlich verkleinert. Der Inkwilersee ist durch die beschleunigten Verlandungsprozesse bedroht (*Bindermann, 1998*).

Seit Mitte der 1950er-Jahre weist er durch hohe anthropogene Nährstoffeinträge und den Abbau der organischen Böden im Einzugsgebiet eine schlechte Wasserqualität auf (*AfU, 2015*). Diese Einträge haben bis heute zwar deutlich abgenommen, zusammen mit dem in den Sedimenten gelagerten Phosphor wird das Algenwachstum aber nach wie vor zu stark gefördert. Beim Absterben zehren solche Algenblüten viel Sauerstoff, sodass im Spätsommer ein akuter Sauerstoffmangel eintreten kann, der bereits zu grossem Fischsterben führt.

Eine überkantonale Arbeitsgruppe befasste sich seit den 1990er-Jahren mit der Problematik des Inkwilersees. Sie erarbeitete 2011 ein Sanierungskonzept (*AfU, 2011*). Das Konzept definiert als Sanierungsziel die Minimierung der Verlandungsrate, die Maximierung der Lebensdauer des Sees und den Erhalt sowie die Förderung der heimischen Flora und Fauna mit ihren besonders zu schützenden Arten, darunter Libellen, Vögel und Muscheln.

Das Konzept sieht drei Hauptmassnahmen zur Zielerreichung vor:

- Eine umfangreiche Sedimententnahme soll die Verlandung des Sees unterbrechen.
- Die Installation einer Tiefenwasserableitung soll die Wasserqualität verbessern (*siehe Box zur Erneuerung der Tiefenwasserableitung*).
- Die Optimierung einiger Absetzbecken soll zur Verringerung der Nährstoffeinträge in den See führen.

Die Entnahme von Sedimenten stellt die aufwendigste Massnahme dar. Die Ziele dieser Sedimententfernung sind die Verlangsamung der Verlandung, der Erhalt der heutigen Uferlinie und Seefläche sowie die

1. Ausgangslage

Der Inkwilersee ist ein natürlicher, als Totiese entstandener Kleinsee im Mittelland. Er liegt je hälftig auf Solothurner und

auf Berner Kantonsgebiet und steht im solothurnischen Teil unter Naturschutz. Seit knapp 200 Jahren verlandet der Inkwilersee durch erhöhte Nährstoff- und Feststoffeinträge 20- bis 30-mal schneller als dies



Bild 1: Luftaufnahme des Inkwilersees. Entlang des Ufers sind von Teichrosen gemähte Bereiche erkennbar, am linken Ufer sieht man das orangefarbene Mähboot.

Erneuerung der Tiefenwasserableitung als zweite Hauptmassnahme gemäss Sanierungskonzept

Die beschädigte Tiefenwasserableitung aus dem Jahr 2012 wurde mit einer neuen, nahtlos verschweissten Leitung ersetzt. Diese leitet das stark nährstoffhaltige, sauerstoffarme Wasser von der tiefsten Stelle aus dem See. Das frische sauerstoffhaltige Regen- und Bachwasser bleibt so an der Oberfläche erhalten und fliesst weniger schnell ab. Dadurch soll tendenziell mehr Nährstoff aus dem See abfliessen als natürlicherweise zufliesst. Die neue Ableitung ist als Heber ausgebildet und verfügt über eine automatische Hebersteuerung, welche das Tiefenwasser ableitet, sobald der Seespiegel einen ausreichenden Pegel erreicht. Bei Betrieb werden rund 15 bis 20l/s Tiefenwasser abgezogen, was der durchschnittlichen Wasserführung des Zuflusses entspricht.



Belüftungsrohr der Hebersteuerung, im Hintergrund Tiefenwasserableitung.

Gewährleistung der Drainageleistung des Sees. Das Sanierungskonzept sieht für diese Massnahme vor, Sediment in einem ufernahen Streifen von 15m Breite und 1m Tiefe abzusaugen. Als weiteres Ziel soll das entwässerte Sediment als organischer Dünger landwirtschaftlich verwertbar sein.

Ein Pilotversuch in den Jahren 2014/2015 zeigte neben der generellen Machbarkeit auch verschiedene Schwierigkeiten auf und machte deutlich, dass eine solche Sedimententnahme ein massiver baulicher Eingriff ist. Erschwerend kam hinzu, dass es sich beim Inkwilersee um ein mehrfach geschütztes und ökologisch sensitives Gebiet handelt. Neben dem Gewässer-, Natur- und Bodenschutz kommen archäologische und landwirtschaftliche Interessen, die Anliegen der Fischerei und der breiteren Bevölkerung hinzu. Dieses Spannungsfeld und die Vielfalt der Interessen wurden sorgfältig in allen Pla-

nungsstufen berücksichtigt und in partizipativen Elementen mit Interessensvertretern diskutiert und optimiert.

Die Sedimententnahme wurde in den Jahren 2017 bis 2019 geplant, ausgeschrieben und durchgeführt. Bauherrin war das Amt für Umwelt (AfU) des Kantons Solothurn unter Beteiligung des Amts für Wasser und Abfall (AWA) des Kantons Bern.

Der vorliegende Fachartikel erläutert Erkenntnisse und Erfolgsfaktoren bei der Realisierung der Sedimententnahme aus dem von Verlandung bedrohten Inkwilersee.

2. Das Vorhaben und die Herausforderungen

Eine Sedimententnahme aus einem natürlichen Gewässer ist ein nicht alltägliches Bauvorhaben: Beim Inkwilersee kamen dafür Tauchequipoen, ein schwimmender Saugbagger sowie ein Mähboot zum Einsatz. Die eigentliche Sedimententnahme erfolgte durch einen Schwimmbagger, der mit einem Saugkopf das Sediment im See absaugte und durch eine schwimmende Leitung in grosse Geotextil-Säcke pumpte. Diese dienen der Entwässerung des Schlamms.

Damit ist es aber nicht getan:

- Der Zugang zum See für schwere Maschinen war erschwert und es musste ein Einwasserungsplatz geschaffen werden.
- Der See und seine Umgebung stehen teilweise unter Naturschutz und sind Lebensraum schützenswerter Flora und Fauna.
- Am und im Inkwilersee wurden bereits früher bedeutende archäologische Funde gemacht.

- Bereits im Pilotversuch in den Jahren 2014/2015 zeigte sich, dass die abzusaugende Schlammschicht stark mit Seerosen-Rhizomen¹ durchsetzt ist und es sich darum nicht um eine reine Sedimententnahme handelt.
- Beim Absaugen des Sediments wird dieses mit viel Wasser verdünnt. Dies führt zu einem hohen Wasserumsatz und stellt entsprechende Ansprüche an die Entwässerung.
- Damit das Sediment später in der Landwirtschaft als Dünger eingesetzt werden kann, mussten ein geeignetes Flockungshilfsmittel gewählt und die Qualität des Sediments überwacht werden.
- Da die Kantonsgrenze mitten durch den See führt, benötigte das kantonsübergreifende Projekt zwei Baubewilligungsverfahren und damit eine entsprechende Koordination.
- Schliesslich forderten viele Unsicherheitsfaktoren die Planenden heraus. Dazu zählten die Annahmen zur Materialdichte des im See abgelagerten Sediments, die Verwertbarkeit des Sediments (Qualität, Trockenheit, genügend interessierte Landwirte) sowie die Witterungsabhängigkeit der Arbeiten.

Dies macht deutlich, dass im Projektgebiet viele Schutzansprüche und Interessen zu berücksichtigen waren (*Tabelle 1*). Darum musste die Komplexität so weit reduziert werden, dass die verschiedenen Anspruchsgruppen eingebunden werden konnten, um Einsprachen und damit einhergehende Verzögerungen zu vermeiden.

¹ Als Rhizome wird das dicht über dem Gewässerboden wachsende, sprossartige Wurzelsystem bezeichnet.



Bild 2: Der schwimmende Saugbagger entfernt die oberste Schicht des Sediments durch den am Hebelarm befestigten Saugkopf (nicht erkennbar im Wasser). Rechts hinter dem Saugbagger ist die Leitung erkennbar, durch welche das Sediment zum Entwässerungsplatz gepumpt wird.

Bereich, Gruppierung	Interesse, Schutzaspekte
Gewässerschutz	<p>Schonzeit See: Arbeiten im Wasser hatten ausserhalb der Monate April bis September zu erfolgen.</p> <p>Schutzbereich Flora und Fauna: Durch Einhalten von Schutzbereichen als Rückzugsraum für Tiere sowie Wiederbelebungsinseln für die Teichrosen sollten möglichst wenige negative Auswirkungen auf Flora und Fauna entstehen.</p> <p>Oberflächengewässer: Die Anforderungen der Gewässerschutzverordnung (GSchV) für eine Einleitung in ein Oberflächengewässer, insbesondere bezüglich der Trübung, musste für die aus der Entwässerung anfallende Wassermenge eingehalten werden.</p>
Naturschutz	<p>Muscheln: Zum Schutz einer Population der Grossen Teichmuschel mussten die Muscheln vor der Sedimententnahme in die Schutzbereiche umgesiedelt werden.</p> <p>Fische: Der Inkwilersee nimmt wegen der schlechten Wasserqualität keinen besonderen Stellenwert als Laichgewässer ein. Dennoch waren auch die Interessen des lokalen Fischereivereins zu berücksichtigen.</p> <p>Vögel: Im und um den Inkwilersee ist eine Vielzahl von nicht alltäglich beobachtbaren Vogelarten, insbesondere die Zwergrohrdommel, dokumentiert. Deren Brutbereiche mussten als Schutzbereiche ausgeschieden werden.</p>
Archäologie	Auf der Insel im Inkwilersee befand sich eine Pfahlbausiedlung mit Funden aus der späten Bronzezeit (1200–800 v. Chr.). Sie ist seit 2011 Teil eines UNESCO-Weltkulturerbes. Bereits bekannte archäologische Fundstellen wurden als Schonbereiche ohne Sedimententnahme definiert. Zudem hat eine Tauchequipe des Archäologischen Dienstes des Kantons Bern weitere Bereiche zur Kontrolle abgetaucht.
Bodenschutz	<p>Entwässerungsplatz: Für die beanspruchten Böden (Landwirtschaftsfläche) für den Entwässerungsplatz und weitere Installationsplätze galten Bodenschutzmassnahmen. Eine Vernässung des Bodens durch den Entwässerungsprozess musste verhindert werden.</p> <p>Flurwege: Die Erschliessung der Baustelle erfolgte über bestehende Flurwege, welche für beladene LKW (40-Töner) auszulegen war.</p>
Landwirtschaft	<p>Verwertung des Sediments: Das aus dem See entnommene und entwässerte Sediment sollte als organischer Dünger landwirtschaftlich verwertet werden können. Dazu mussten einerseits die Qualität sichergestellt und andererseits Abnehmer (Landwirte) gefunden werden. Zudem musste das Verschleppen des Erdmandelgrases verhindert werden.</p> <p>Beanspruchung von landwirtschaftlicher Nutzfläche: Weiter muss eine Entschädigung der Ertragsausfälle durch die Beanspruchung der landwirtschaftlichen Nutzfläche sowie durch die eingeschränkte Nutzung während der Folgebewirtschaftung erfolgen.</p>
Entsorgung	Bei unzureichender Düngewirkung oder Überschreitung der Schadstoffgrenzwerte hätte das Sedimentmaterial unter hohen Entsorgungskosten deponiert werden müssen. Weiter fielen einzig biogene Abfälle (gemähte Teichrosen, Rhizome) in grossen Mengen an, diese konnten als Gründüngung auf Felder ausgebracht werden.
Bevölkerung	<p>Erholungssuchende: Erholungssuchende sollten den beliebten Seerundweg während der Realisierung des Projekts möglichst uneingeschränkt begehen können.</p> <p>Anwohner: Durch an den Entwässerungsplatz angrenzende Wohnhäuser ergaben sich Anforderungen an den Lärmschutz.</p>

Tabelle 1: Viele Schutzaspekte und Interessen aus verschiedensten Bereichen sind bei der Planung einer Sedimententnahme aus einem See zu beachten.

3. Einblicke in die Planung

Eine gleichwertige Aufnahme und sorgfältige Berücksichtigung aller Interessen (Tabelle 1) war die Grundlage für eine breit akzeptierte Realisierung der Sedimententnahme.

Die Organisation des Projekts konnte auf einer engen und unkomplizierten kantonsübergreifenden Zusammenarbeit aufbauen. Erleichternd war auch die bereits etablierte Zusammenarbeit in einer Arbeitsgruppe im Rahmen des Sanierungskonzepts. So konnte rasch eine gute Diskussionskultur geschaffen werden. In der Planungsphase genügten zwei Informationsanlässe, um den lokalen Akteuren das Vorhaben zu erklären sowie ihre Bedenken und Ideen aufzunehmen. Dank einem offenen Ohr und einem interdisziplinär zu-

sammengestellten Projektteam konnte auf alle Anliegen adäquat reagiert und damit Vertrauen geschaffen werden. In verschiedenen bilateralen Gesprächen wurde lokales Wissen abgeholt und so die Planung des Vorhabens verbessert. Dank dieser gelebten Partizipation konnte innerhalb von ca. zehn Monaten die Baubewilligung beider Kantone eingeholt werden.

Aus den bisherigen Überlegungen zur Sanierung des Inkwilersees und insbesondere aus den Erfahrungen des Pilotversuchs konnte das Projektteam viel lernen. So wurde eine vorgängige Entfernung der Teichrosen-Rhizome vor dem eigentlichen Absaugen des Sediments eingeplant, obwohl es Saugbagger gibt, die mit einer Häckselvorrichtung im Saugkopf ausgestattet sind. Ein Testlauf während der Aus-

führung bestätigte, dass die parallele Nutzung der Häckselvorrichtung während dem Absaugen durch die grosse Menge an Teichrosen und Rhizomen nicht funktioniert hätte.



Bild 3: Die gemähten Teichrosen und abgerechnete Rhizome werden bei der Einwasserungsstelle aus dem See entfernt und direkt daneben gelagert.

Andere Einschätzungen aus dem Pilotversuch haben die Projektierenden hinterfragt und mit neuen Erkenntnissen abgeglichen. Die in Tabelle 1 aufgeführten Schutzaspekte und Interessen führten u.a. dazu, dass im Sanierungskonzept von 2011 die Durchführung der Sedimententnahme in zwei bis drei auf verschiedene Jahre verteilte Etappen vorgesehen war, um die empfindliche Flora und Fauna im und um den See zu schonen. Die Notwendigkeit einer Etappierung wurde in der Planungsphase neu beurteilt und mit verschiedenen Interessenvertretern besprochen. Die Schutzanforderungen konnten im Laufe der Planung konkretisiert werden und es zeigte sich, dass die Arbeiten im See aus ökologischen Gründen nicht etappiert werden mussten. Mit dem Einhalten von Schutzbereichen und einer Schonzeit von April bis September konnte für die baulichen Massnahmen im See ein Zeitfenster von Anfang Oktober bis Ende März definiert werden.

Bereits im Pilotversuch wurde ersichtlich, dass eine Sedimententfernung mit einem hohen Material- und Wasserumsatz verbunden ist. Deshalb war klar, dass die Baustelle eine seriöse Entwässerungsvorrichtung benötigt und die Logistik für die Gewährleistung der Zufahrt und Bereitstellung der Flächen sorgfältig geplant werden muss. Ergänzend zu den Erkenntnissen gemäss Sanierungskonzept hat sich in der Planungsphase gezeigt, dass dem Bodenschutz (Tabelle 1) eine hohe Bedeutung zugemessen werden muss. Dies ergab zusätzliche Randbedingungen für die Wahl und die Anforderungen an den Entwässerungsplatz. Dank dem direkten Einbezug

von Gemeindevorstehern und Landwirten konnte ein geeigneter Entwässerungsplatz gefunden werden.

Eine der grössten Unsicherheiten und ein äusserst relevanter Kostenfaktor war die landwirtschaftliche Verwertbarkeit des Sediments. Es musste sichergestellt werden, dass das Material eine einwandfreie Qualität aufweist und genügend Landwirte das Material annehmen würden. Hier unterstützte die kantonale landwirtschaftliche Beratung massgeblich die Klärung der Anforderungen und die Kommunikation mit den Landwirten. Beispielsweise musste auf Acrylamid verzichtet und stattdessen ein natürliches Flockungsmittel mit guter biologischer Abbaubarkeit eingesetzt werden. Ein Flockungsmittel auf der Basis von Erbsenstärke erwies sich als geeignet.

Dank einer hohen Priorisierung der ökologischen Aspekte konnte mit der Projektrealisierung eine Zusatzfinanzierung aus zwei Ökofonds erreicht werden. Dies ermöglichte eine Entnahme des Sediments aus dem Inkwilersee im maximalen Umfang.

Für die Submission der Arbeiten wurde parallel zu einem optimalen Ablauf auch ein etappierter Terminplan mit der Berücksichtigung von Unterbrüchen vorgegeben. Dies widerspiegeln die erkannten Unsicherheiten in Bezug auf die Sedimentqualität sowie Witterungsbedingungen.

4. Einblicke in die Bauausführung

Im Juni 2018, noch während der Schonzeit des Sees, begann die Bauausführung mit den Vorarbeiten (AfU, 2019a).

4.1 Vorarbeiten

Zu den Vorarbeiten an Land gehörte die Errichtung des Zugangs zum See sowie des Entwässerungsplatzes. Für die Einwasserrungsstelle (Bild 3) wurde ein Kiespaket auf einem zugfesten Geotextil mit Holzrahmen direkt am Seeufer auf die Ufervegetation geschüttet. Damit fand man eine bodenschonende und umweltfreundliche Lösung, die sich bewährt hat. Weiter wurde der Zufahrtsweg zum See verstärkt und teilweise provisorisch verbreitert.

Neben einem Installationsplatz mit Baubaracke, Flockungsstation und Grobstoffabscheider wurde der Entwässerungsplatz eingerichtet. Eine Dichtungsfolie wurde mit einer Sickerkiesschicht bedeckt, worauf die Entwässerungsschlüsse (Geotextilsäcke, Geotubes) mit den Sedimenten zu liegen kamen. Entlang der tiefsten Stelle des Platzes wurde ein Kiesdamm als statische Sicherung gegen das Wegrollen der Geotubes geschüttet (Bild 4). Vier Rohre



Bild 4: Entwässerungsgraben und Randdamm des Entwässerungsplatzes vor Einbringen der Abdichtung.

sollten das drainierte Wasser vom Dammfuß in das aufnehmende Gewässer leiten. Für den Transport der abgesaugten Sedimente wurde eine Pumpleitung vom See zum Entwässerungsplatz erstellt.

Zu den seeseitigen Vorarbeiten gehörte die Markierung der Schutzbereiche im See mit Bojen. Hier war lokale Unterstützung wertvoll: Die Fischer stellten ihre Boote zur Verfügung und ein passionierter Ornithologe half mit, die zuvor nur grob definierten Schutzbereiche gemäss dem aktuellen Nistverhalten der Vögel optimal festzulegen. Zudem wurde die Fläche, wo Sediment entfernt werden soll, auf einem Plan in 25 Entnahmesektoren eingeteilt. Die Sektoren dienten auch der Qualitätsüberwachung: die während der Entnahme analysierten Sedimentproben konnten diesen Sektoren zugeordnet werden.

Ein Mähboot («Seekuh») wurde eingesetzt, um als Vorarbeit die Teichrosen zu mähen. Dies erfolgte ausserhalb der markierten Schutzzonen sowie mit 2m Abstand zum Schilf und ausserhalb der Traufzonen der Ufervegetation. Der aufmerksame Bauführer stellte an den Stängeln der gemähten Seerosen viele anhaftende Muscheln fest. Darum wurden die gemähten Teichrosen vor der Trocknung auf die geschützten Muscheln untersucht und etwaige Funde in den See zurückgebracht. Für die Verwertung der Teichrosen konnte der lokale Landwirt gewonnen werden: Die getrockneten Pflanzenteile wurden mit dem Mistzettler auf seenahen Feldern als Gründüngung ausgebracht und mit der Egge eingearbeitet.

Basierend auf der anschliessenden Vermessung mittels Echolot wurde ein dreidimensionales Modell des Seegrundes erstellt. Zudem führte der archäologische Dienst des Kantons Bern eine Tauchprospektion und Sedimentbohrungen durch. Bei Tauchgängen fanden die Archäologen innerhalb der Schutzbereiche einige archäologisch interessante Gegenstände.

Nach der Schonzeit ab Anfang Oktober sammelten Taucher insgesamt über 5300 Teichmuscheln aus den Entnahmesektoren

ein und siedelten sie in die Schutzbereiche um.

4.2 Sedimententnahme und Entwässerung

Nach Abschluss der Vorarbeiten wurde mit dem Absaugen des Sediments begonnen. Mit einem schwimmenden Saugbagger wurden die abgelagerten Sedimente sektorweise in einem 15m breiten Streifen in Ufernähe 1 m tief abgesaugt. Der vollständige Entnahmeprozess wird in Bild 5 illustriert. Eine Leitung mit einer Pumpleistung von 200m³/h förderte das mit Seewasser verdünnte Sediment zum Entwässerungsplatz. Nach der Trennung von Fremd- und Grobstoffen durch Schwerkraftabscheidung wurde das Sediment-Wasser-Gemisch mit einem Flockungsmittel versetzt.

Anschliessend wurde das Sediment zur Entwässerung in Entwässerungsschlüsse von je rund 400m³ Volumen gefüllt. Wichtig war, dass die Saug- und Pumpleistung auf die Entwässerungskapazität abgestimmt war. Die Neigung des nach unten abgedichteten Platzes von 2 bis 4 Prozent hat sich für die Entwässerung als vorteilhaft erwiesen. So war zwar die Drainagekapazität des Platzes mit rund 200m³/h genügend gross. Im Gegenzug musste jedoch die Stabilität der Geotextilsäcke während der Befüllung durch die Errstellung eines Randdamms sowie durch eine Befestigung mit Spannsets gewährleistet werden.

Mit der Entwässerung stieg der Anteil der Trockensubstanz (TS) im Sedimentmaterial auf 20 bis 30 Prozent. Das eingesetzte natürliche Flockungsmittel auf der Basis von Erbsenstärke hat sich bewährt. Eine zweilagige Schichtung der Geotubes führte zu einer erfolgreichen, beschleunigten Entwässerung der unten liegenden Säcke.

Das abfiltrierte Wasser floss vom Entwässerungsplatz über den aufnehmenden Bach zurück in den See. Das abfließende Drainagewasser war über die gesamte Entwässerungszeit ohne sichtbare Trübung. Stichpunktartige Kontrollen mit Imhoff-Trichter bestätigten dies.

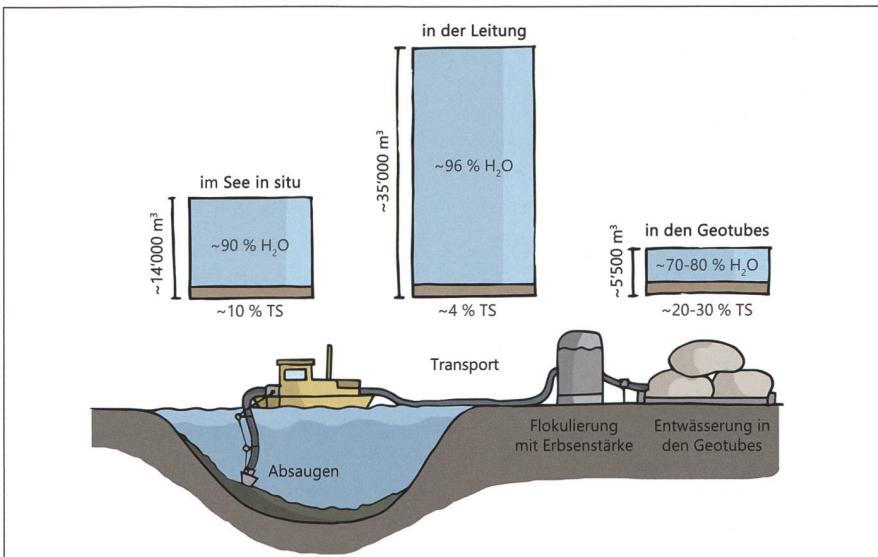


Bild 5: Illustration der Sedimententnahme. Für den Absaug- und Pumpvorgang wurde das Sediment mit Seewasser verdünnt. Vom Saugbagger wurde das Sediment-Wasser-Gemisch über eine Leitung und einen Schwerstoffabscheider zur Dosierstation geführt. Dort konnten die Feststoffe mit einem natürlichen Flockungsmittel koaguliert werden. Anschliessend wurde das Gemisch zur Entwässerung in Entwässerungsschläuche von rund 400 m³ Volumen gefüllt.



Bild 6: Übereinandergeschichtete volle Entwässerungsschläuche (Geotubes) mit rötlichen Eisenoxid-Ausfällungen durch die Entwässerung.

Gegenüber den Erwartungen konnte die Saugleistung dank der optimierten Maschinensteuerung deutlich gesteigert werden. Da die abgesaugte Fläche direkt am Monitor der Maschine angezeigt wurde, konnte der Maschinenführer ohne Unterbrechungen mit einer optimalen Entnahmefestigkeit arbeiten. Die Maschinensteuerung erfolgte GPS-basiert auf den erhobenen Daten der Vermessung. Das Ausmass der Baggerung wurde in Echtzeit überwacht. Insgesamt konnte durch diese optimierte Maschinenführung und das gut eingestellte Flockungsmittel eine gegenüber den Annahmen rund zwei Mal dichtere Schlamm-suspension kontinuierlich gesaugt werden (4 Prozent Trockensubstanz (TS) statt 2 Prozent Trockensubstanz).

All diese Faktoren (optimierte Prozesssteuerung; hoher abgesaugter TS; wenige Unterbrechungen) spiegelten sich in einem sehr schnellen Arbeitsfortschritt wieder, und die Sedimententnahme konnte im Zeitraum von Mitte Oktober bis Mitte Dezember vollständig durchgeführt werden.

von Biomasse über die Entfernung der Seerosen und Rhizome konnte zudem ein zusätzlicher Nährstoffaustausch von geschätzt 160 kg Phosphor und 900 kg Stickstoff realisiert werden.

4.4 Landwirtschaftliche Verwertung

Entscheidend für den Erfolg des Projekts war die Qualität des entwässerten Sediments für die Verwendung als organischer Dünger. Vorgängige Laboranalysen von systematisch entnommenen Schlammproben und der Aufbau eines umfassenden Systems für die Sedimentuntersuchung waren dabei von hoher Wichtigkeit. Zu jedem Zeitpunkt konnte der Verbleib der Sedimente nachverfolgt werden, damit die Ergebnisse des Umweltlabors abgewartet werden konnten. Tägliche Stichproben wurden in eine Probe A (Analyse) und Probe B (Rückstellprobe) aufgeteilt und wöchentlich analysiert, wobei die Rückverfolgbarkeit zu den Entnahmesektoren und den Geotubes stets gegeben war. Die Proben waren allesamt unbelastet. Eine ungewollte Verschleppung von Schadstoffen mit der Folge, dass das Sediment thermisch hätte behandelt werden müssen, war eines der grössten Kostenrisiken.

Durch die Kontinuität der Absaugarbeiten und das abwechselnde Befüllen der Geotubes wies das entwässerte Sediment eine sehr homogene Konsistenz auf und die Qualität als organischer Dünger war entsprechend hoch. Dies überzeugte auch die Landwirte, deren anfängliche Bedenken an mehreren Informationsanlässen

4.3 Zustand nach der Sedimententnahme

Bild 7 illustriert den Zustand im See nach Abschluss der Arbeiten.

Eine Kontroll-Vermessung nach den Absaugarbeiten zeigte, dass der Wasserkörper um rund 10 000 m³ vergrössert werden konnte. Gesamthaft wurden damit über 1300 t Trockensubstanz aus dem See entnommen. Dies entspricht einem Nährstoffaustausch von ungefähr 1000 kg Phosphor und 20000 kg Stickstoff. Mit der Entnahme

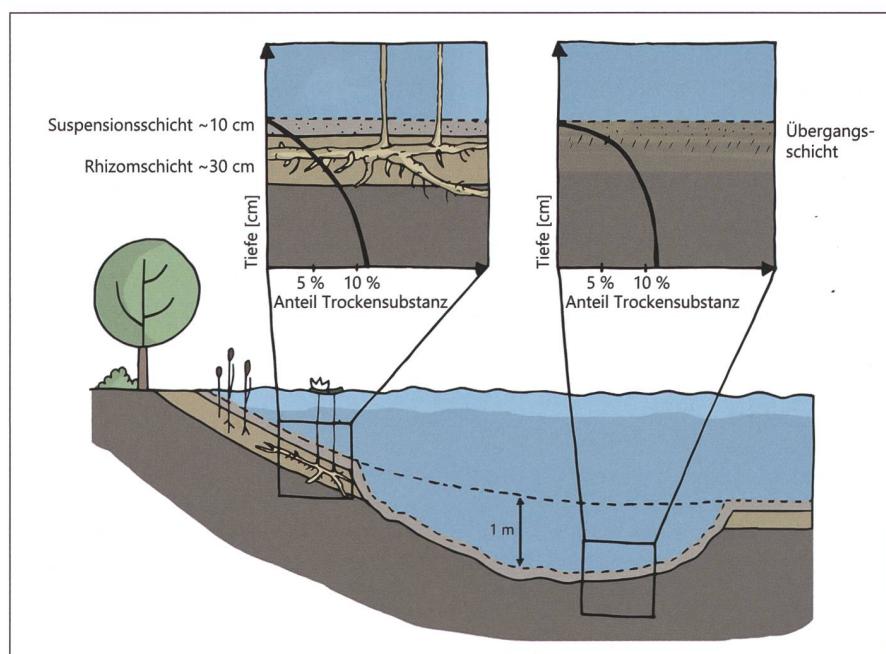


Bild 7: Illustration des Zustands im See nach Abschluss der Absaugarbeiten. Der linke Ausschnitt zeigt den Zustand vor den Absaugarbeiten. Der rechte Ausschnitt zeigt den Zustand nach den Absaugarbeiten.

aufgenommen und berücksichtigt wurden. Das ganze entnommene Sediment konnte in der Region verteilt werden. Um das Ausbringen so effizient wie möglich zu gestalten, wurde das Material durch Lohnunternehmer mit grossen Mistzettern direkt auf den Feldern ausgebracht, wobei Massnahmen gegen das Verschleppen des Erdmandelgrases getroffen wurden.



Bild 8: Das entwässerte Sediment wird direkt aus den Geotubes für die landwirtschaftliche Verwertung aufgeladen.

5. Erfolgsfaktoren

Verschiedene Faktoren haben die Realisierung einer Sedimententnahme aus dem von Verlandung bedrohten Inkwilersee zu einem erfolgreichen Projekt gemacht.

- Eine umweltverträgliche Umsetzung eines solchen Eingriffs ist möglich, braucht aber eine umsichtige Planung unter Beteiligung aller Akteure. Die Projektierenden konnten durch eine frühzeitige Aufnahme aller Interessen eine gute Vertrauensbasis und Planungsgrundlage schaffen. Dabei hat sich die Unterscheidung zwischen harten und weichen Randbedingungen bewährt. Wichtig war das schrittweise Einbinden der lokalen Wissensträger im Rahmen von Informationsanlässen und in spezifischen Planungs- und Vorbereitungsarbeiten. Durch eine empathische Kommunikation konnte ein engagiertes Mitwirken erreicht werden.

- Der proaktive Umgang mit Unsicherheiten durch externe Faktoren wie Witterungsbedingungen und Sedimentqualität ermöglichte einen erfolgreichen Abschluss der Sedimententnahme. Die Projektierenden erkannten bereits während des Planungsprozesses mögliche Schwierigkeiten. Als Reaktion darauf schafften sie durch die Ausschreibung verschiedener Etappen und Optionen mehr Flexibilität. Mit einer engmaschigen Überwachung der Sedimentqualität und der Kosten und klar definierten Entscheidungsabläufen standen den Projektausführenden gute Entscheidungsgrundlagen zur Verfügung.
- Das umfangreiche Qualitätssicherungskonzept überzeugte die Abnehmer des organischen Materials zur Bodenverbesserung. Somit konnte die umweltverträgliche und kostengünstige landwirtschaftliche Verwertung gelingen.

6. Ausblick

Mit der Sedimententnahme konnten das Wasservolumen des Inkwilersees vergrössert sowie die Verlandung des Sees verlangsamt und teilweise rückgängig gemacht werden. Neben den Hauptmassnahmen des Sanierungskonzepts wurden auch verschiedene ökologische Aufwertungen im Uferstreifen und Hinterland realisiert. Der Ufergürtel ist heute artenreicher und vielfältiger strukturiert, Problempflanzen werden regelmässig bekämpft und neu geschaffene Tümpel werden als Lebensräume für Flora und Fauna genutzt. Als sichtbare Auswirkung der Sedimententnahme blieb eine gut erkennbare Schneise im Seerosenbestand zurück. Hier wird es interessant sein, die Entwicklung in den Folgejahren zu beobachten.

Zukünftig gilt es nun, die Resultate der bisherigen Anstrengungen zu erhalten und die Arbeiten im Rahmen des regulären Gewässerunterhalts weiterzuführen. Ausser-

halb des Naturreservats und der Uferbereiche sind dafür die Gemeinden zuständig.

Die umgesetzten Massnahmen ändern nur wenig an den Nährstoffeinträgen in den See. Allein der Abbau der organischen Böden setzt bereits zu viel Phosphor frei. Ansatzpunkte für eine Reduktion der Nährstoffeinträge in den See sind bei den Drainagesystemen und in der Optimierung der landwirtschaftlichen Bewirtschaftungsmethoden zu suchen. Solange Nährstoffe in diesem Ausmass in den See eingetragen werden, werden die biologische Produktivität des Sees und somit die Verlandungsrate weiterhin erhöht bleiben.

Von Verlandung bedrohte Gewässer wie Kleinseen, Altarme mit wenig Durchfluss, Kanäle oder auch Staubereiche von Flusskraftwerken gibt es schweizweit viele. Die vorgestellte Realisierung einer Entnahme von Sedimenten aus dem Inkwilersee kann als Beispiel für andere Gebiete mit ähnlicher Problematik dienen. Eine erfolgreiche und umweltverträgliche Umsetzung kann mit einer umsichtigen Planung und dem proaktiven Umgang mit Unsicherheiten nicht nur beim Inkwilersee, sondern auch andernorts gelingen.

7. Danksagung

Die Autorenschaft bedankt sich bei *Kathrin Guthruf* und *Markus Zeh* vom Amt für Wasser und Abfall des Kantons Bern, bei *Martin Huber* von BSB+Partner (Umweltbaubegleitung), bei der Firma SUBAX Saugbagger AG (Ausführung), bei *Roger Sommer* (Landbesitzer Entwässerungsplatz) sowie bei allen Beteiligten der Arbeitsgruppe Sanierung Inkwilersee für die Mithilfe zum Gelingen dieser Projektrealisierung. Das Sanierungskonzept und viele Vorarbeiten wurden von *Daniel Schrag* und *Thomas Haltmeier* massgebend mitentwickelt. Das Vorhaben wurde finanziell durch die Anliegergemeinden Bolken, Etziken und Inkwil, den BKW Ökofonds und massgeblich durch den Alpiq Ökofonds unterstützt.

Quellen:

- Amt für Umwelt, Kanton Solothurn (AfU) (2011): Inkwilersee – Konzept zur Sanierung, Nachführung August 2011
 AfU (2015): Zustand Solothurner Gewässer, Januar 2015
 AfU (2019a): Sanierung Inkwilersee, Hauptmassnahme Sedimententnahme, Technische Dokumentation
 AfU (2019b): Sanierung Inkwilersee, Rückblick zum Sanierungskonzept von 2011
 Bindermann, E., Volkmann, H. (1998): Sedimentation und Verlandungstendenzen im Inkwilersee, Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Bern. Neue Folge, Band 55, 1998

Autoren:

- Christina Dübendorfer, EBP Schweiz AG, Mühlebachstrasse 11, 8032 Zürich,
 christina.duebendorfer@ebp.ch
 Florian Howald, EBP Schweiz AG, Mühlebachstrasse 11, 8032 Zürich, florian.howald@ebp.ch
 Tino Reinecke, EBP Schweiz AG, Mühlebachstrasse 11, 8032 Zürich, tino.reinecke@ebp.ch
 Dr. Philipp Stauffer, Amt für Umwelt Kanton Solothurn, Werkhofstr. 5, 4509 Solothurn, philipp.stauffer@bd.so.ch
 Lukas Egloff, Amt für Umwelt Kanton Solothurn, Werkhofstr. 5, 4509 Solothurn, lukas.egloff@bd.so.ch