

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

Klopries, Elena-Maria; Bannasch, Rudolf; Buckup, Klaus; Cofalla, Catrina; Heller, Gerd; Hudjetz, Sebastian; Schüttrumpf, Holger
SonarINN - Entwicklung einer Methode zur Ermittlung wirklichkeitsnaher Schichtenprofile zur Sicherstellung der Wirtschaftlichkeit von Talsperren

Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit/Provided in Cooperation with:

Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/103407>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Klopries, Elena-Maria; Bannasch, Rudolf; Buckup, Klaus; Cofalla, Catrina; Heller, Gerd; Hudjetz, Sebastian; Schüttrumpf, Holger (2015): SonarINN - Entwicklung einer Methode zur Ermittlung wirklichkeitsnaher Schichtenprofile zur Sicherstellung der Wirtschaftlichkeit von Talsperren. In: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik (Hg.): Messen und Überwachen im Wasserbau und am Gewässer. Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen 53. Dresden: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik. S. 489-498.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



SonarINN – Entwicklung einer Methode zur Ermittlung wirklichkeitsnaher Schichtenprofile zur Sicherstellung der Wirtschaftlichkeit von Talsperren

Elena-Maria Klopries
Rudolf Bannasch
Klaus Buckup
Catrina Cofalla
Gerd Heller
Sebastian Hudjetz
Holger Schüttrumpf

Um der Verlandung von Talsperren entgegenzuwirken, ist eine genaue Kenntnis des Ausmaßes der Verlandung erforderlich. Das SonarINN-Verfahren bietet eine Möglichkeit, die vorhandene Verlandung an einer Talsperre mittels der Kombination aus geoakustischen und geophysikalischen Verfahren darzustellen. Weitere Einsatzbereiche stellt die Vermessung von Gewässern oder Bauwerken in diesen dar.

Stichworte: Schichtenprofile, Sonartechnik, INN-Verfahren, Talsperrenverlandung

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

In Deutschland gibt es zurzeit 311 Talsperren (LE DELLIU, 2001; DEUTSCHES TALSPERRENKOMITEE E.V., 2014). Das entspricht etwa 3,8 Talsperren pro 1.000.000 Einwohner. Im Vergleich zu anderen europäischen Ländern wie etwa Norwegen, wo pro 1.000.000 Einwohner 75,7 Talsperren existieren, ist dieser Wert zwar gering, dennoch sind der Schutz und die effiziente Bewirtschaftung der Talsperren eine wichtige volkswirtschaftliche Aufgabe. Die Talsperren inklusive der Speicherseen und sonstiger Anlagen erfüllen ein vielfältiges Aufgabenspektrum, welches unter anderem den Hochwasserschutz, die Trinkwasserversorgung und die Energieerzeugung umfasst (STROBL UND ZUNIC, 2006; DWA, 2006). Die verlässliche Erfüllung dieser Aufgaben ist jedoch prinzipiell durch die Verlandung der Speicherbecken gefährdet. Der kontinuierliche oder stoßweise Eintrag und Rückhalt von Sediment in das Speicherbecken führt dazu,

dass das Speichervolumen reduziert wird und so die Aufgabenerfüllung und die Lebensdauer der Talsperre sinken.

Für eine effiziente Planung der Räumung einer Talsperre ist es unerlässlich, die Verlandung genau zu kennen. Dazu zählen die Verlandungsrate sowie die Zusammensetzung und Schichtung der abgelagerten Sedimente. Die bisherigen Verfahren zur Bestimmung der Verlandung sind verhältnismäßig zeit- sowie kostenintensiv und können meist nur zur Beantwortung von einer der beiden Fragestellungen herangezogen werden. Von GEO-DV GmbH (Stendal), EvoLogics GmbH (Berlin) und DBM (Magdeburg) ist ein System zur Erstellung wirklichkeitsnaher Schichtenprofile entwickelt worden, das geoakustische und radiometrische Messverfahren miteinander kombiniert, und so die Bestimmung der Verlandung vereinfachen und wirtschaftlicher gestalten kann. Die beiden Messverfahren werden simultan genutzt und ergänzen sich aufgrund ihrer unterschiedlichen Funktionsweisen. Diese innovative Kombination beider Messverfahren bietet neben der Möglichkeit der Bestimmung der Verlandung von Talsperren ebenfalls die Möglichkeit des Einsatzes bei der Vermessung von Binnen- und Küstengewässern sowie der Vermessung von Bauwerken in einem Gewässer.

1.2 Zielsetzung

Ziel der hier vorgestellten Untersuchungen ist es, ein Messsystem aus Sonartechnik und Impuls-Neutron-Neutron-Technik zu entwickeln und zu validieren. Dieses soll in der Zukunft dafür genutzt werden, die Schichtung unterschiedlicher Sedimente in und am Gewässer zu untersuchen.

1.3 Vorgehensweise

Zunächst wurden die beiden Messsysteme getrennt voneinander entwickelt und optimiert. Anschließend erfolgt die Integration der beiden Systeme auf einem autonomen, unbemannten Messboot - dem Sonobot -, um eine kombinierte Nutzung der beiden Messtechniken zu ermöglichen. Abschließend erfolgt eine Abstimmung der Auswertungssoftware zur effizienten und detailgetreuen Darstellung der Messergebnisse.

In diesem Beitrag sollen zunächst die Problematik der Talsperrenverlandung erläutert sowie die Notwendigkeit neuer Messverfahren zur Bestimmung der Verlandung dargestellt werden. Anschließend wird die neue Messtechnik beschrieben und die bislang durchgeführten Versuche mit den Systemen werden erläutert.

2 Verlandung von Talsperren

2.1 Verlandungsproblematik

Das Speicherbecken einer Talsperre dient dem Ausgleich zwischen dem Wasserdargebot und dem Wasserbedarf in einem Einzugsgebiet (PATT UND GONSOWSKI, 2011). Da sowohl der Zufluss in eine Talsperre (Angebot) als auch der Abfluss aus der Talsperre (Nachfrage) zeitlichen Schwankungen unterliegen, kann es dazu kommen, dass die Nachfrage das Angebot übersteigt. Das Speicherbecken kann dazu genutzt werden, in Zeiten mit Angebotsüberschuss das überschüssige Wasser zu speichern und dieses in Zeiten von Wasserdefizit wieder abzugeben (PATT UND GONSOWSKI, 2011). Durch die Speichereigenschaften einer Talsperre können nach STROBL UND ZUNIC (2006) und DWA (2006) unterschiedliche wasserwirtschaftliche Aufgabenstellungen erfüllt werden: Hochwasserschutz, Bewässerung, Trinkwasserversorgung, Stromerzeugung, Niedrigwasseraufhöhung, Grundwasseranreicherung, Erholungsgebiet. Grundsätzlich gilt, dass die Zuverlässigkeit der Aufgabenerfüllung einer Talsperre mit der Größe des Speicherbeckens zusammenhängt. Je größer das Speichervolumen ist, desto mehr Wasser kann in Zeiten von Angebotsüberschuss gespeichert werden und desto mehr Wasser steht in Zeiten eines Wasserdefizits zur Verfügung. Für eine effektive Nutzung einer Talsperre sind eine funktionierende Talsperrenbewirtschaftung und eine vorausschauende Planung daher unerlässlich (SCHUMANN, 2012).

Neben Wasser führt jedes Fließgewässer auch Sedimente und andere Stoffe mit sich. Fließt dieses Sediment-Wasser-Gemisch in das Speicherbecken einer Talsperre, so wird neben dem Wasser auch ein Großteil des Sediments in dem Becken gespeichert (DWA, 2006; DETERING UND SCHÜTTRUMPF, 2014). Der Vorgang der Ablagerung von Sedimenten in einem Speicherbecken wird als Verlandung bezeichnet. Nach JENZER UND CESARE (2006) liegt die weltweite jährliche Verlandungsrate von Talsperren bei durchschnittlich 1 % bis 2 %. Die Auswirkungen einer Verlandung sind vielfältig und größtenteils negativ. Sie sind abhängig von dem Ausmaß der Verlandung und der Nutzung der Talsperre (DWA, 2006; KNOBLAUCH ET AL., 2007) (vgl. Abbildung 1:) und können bis zur unwirtschaftlichen Nutzung der Talsperre führen. Wie stark eine Talsperre im Laufe der Zeit verlandet und welche Sedimente sich im Speicherbecken absetzen, hängt von den Eigenschaften des Einzugsgebietes und des Stauraums der jeweils betrachteten Talsperre ab. Die Verlandung kann durch die beiden Parameter Verlandungsrate und Sedimentzusammensetzung beschrieben werden (vgl. Abbildung 2:). Die Kenntnis dieser beiden Parameter ist für einen kosteneffizienten und ökologisch sinnvollen Einsatz von Räumungsmaßnahmen essentiell.

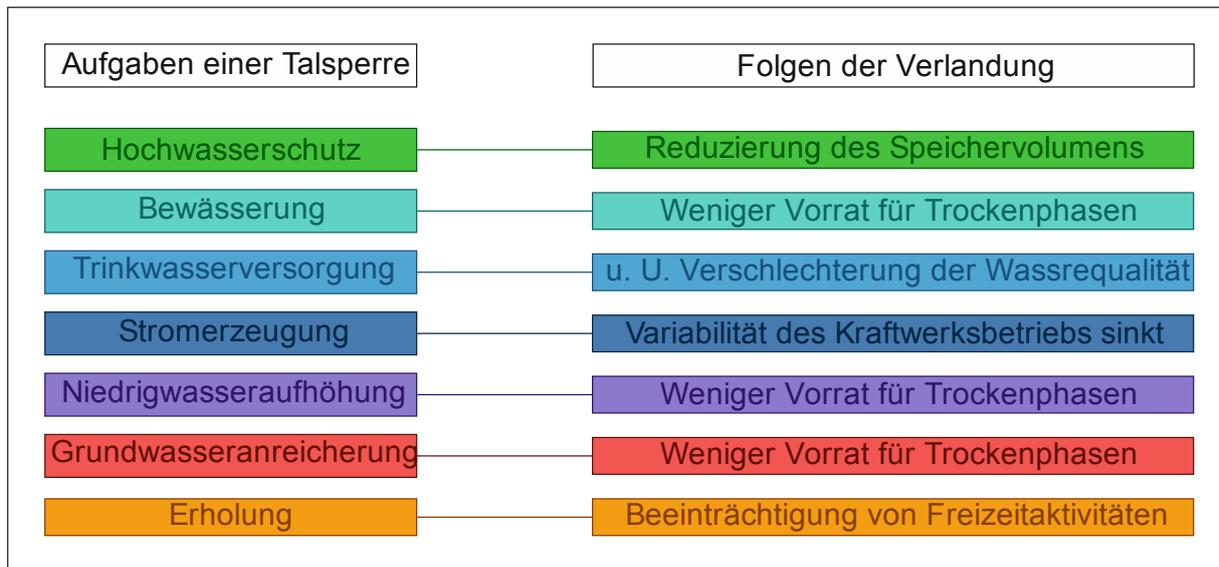


Abbildung 1: Aufgaben einer Talsperre und Folgen der Verlandung

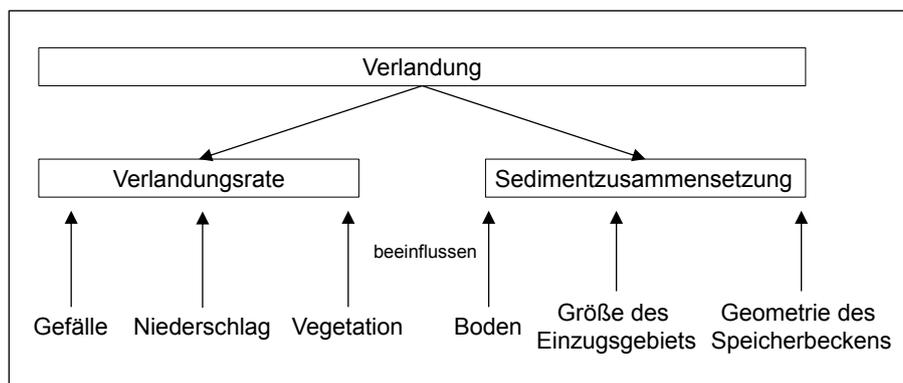


Abbildung 2: Einflussfaktoren auf die Verlandung einer Talsperre

2.2 Bisherige Messtechnik

Verlandungsrate

Die Verlandungsrate beschreibt die zeitliche Veränderung des Speichervolumens eines Stauraums aufgrund der Verlandung. Zur Bestimmung der Verlandungsrate kann daher der Vergleich des Stauraums an zwei aufeinanderfolgenden Zeitpunkten genutzt werden. Die Differenz zwischen den beiden Zeitpunkten gibt an, wie viel Verlandung in dem Zeitraum aufgetreten ist. Zur Bestimmung des Stauraums muss dieser möglichst genau in seiner Höhe und Ausdehnung aufgenommen werden. Hierfür bieten sich digitale Höhen- oder Geländemodelle an, die sowohl das landseitige Gelände als auch das Gewässerbett darstellen. Als Eingangsdaten zur Erstellung eines solchen Modells werden die Geländedaten des Untersuchungsgebiets benötigt. Hierfür stehen derzeit drei praxisreife Messverfahren zur Verfügung (GRIMM ET AL., 2013): Tachymetrie, Echlot und flugzeuggestützte Fernerkundung. Von den genannten Messverfahren

eignet sich für die Vermessung des Speicherbeckens einer Talsperre am besten das Echolot-Verfahren (GRIMM ET AL., 2013).

Sedimentzusammensetzung

Neben der Verlandungsrate ist auch die Art des abgelagerten Sediments von Bedeutung. Um die Art und Zusammensetzung des Sediments zu bestimmen, können Bohrkerne von der Sohle des Stausees entnommen werden. Dies kann beispielsweise mit Hilfe eines Stahlkernrohrs geschehen, das in den Boden getrieben wird (ROSENBAUM-MERTENS, 2003). Das Ergebnis einer solchen Bohrkernbohrung ist eine punktuelle Probe der tatsächlichen Zusammensetzung des Bodens in einer Tiefe von etwa 1 m. Anhand dieser Probe können der Schichtverlauf, die Schichtdicke, die Zusammensetzung der Schichten sowie der Anteil organischer Stoffe bestimmt werden. Zudem kann über die Altersbestimmung der Sedimente mittels der radioaktiven Nuklide Caesium und Blei näherungsweise die Verlandungsrate bestimmt werden. So kann festgestellt werden, wann sich welche Sedimentschicht im Talsperrenbecken abgesetzt hat.

Vor- und Nachteile

Die in den vorangegangenen Abschnitten vorgestellten Messtechniken lassen sich grundsätzlich miteinander kombinieren, sodass eine gesamtheitliche Aussage zur Verlandung an einer Talsperre möglich ist. Allerdings ist die Kombination der Ergebnisse zweier unterschiedlicher Messtechniken zeit- und arbeitsintensiv.

3 SonarINN

3.1 Genutztes Sonar

Das SonarINN-Verfahren basiert auf der kombinierten Nutzung der Daten eines Breitbandsonars mit der Bezeichnung Sub-Bottom-Profilier und eines Impuls-Neutron-Neutron-Verfahrens (INN) zur Erstellung wirklichkeitsnaher Schichtenprofile. Der Sub-Bottom-Profilier arbeitet in einem sehr niedrigen Frequenzbereich von 7 kHz bis 17 kHz. Aufgrund dieses Frequenzbereiches können die Schallimpulse des Sub-Bottom-Profiliers tiefer als bei herkömmlichen Sonaren in das zu untersuchende Sediment eindringen und Schichten unterschiedlicher Dichte unterscheiden. Auf diese Weise kann der Sub-Bottom-Profilier strukturelle Informationen über die Zusammensetzung des Sediments liefern, womit die Mächtigkeiten der Schichten unterschiedlicher Dichten bestimmt werden können.

3.2 Genutzte INN-Sonde

Das Impuls-Neutron-Neutron-Verfahren (INN) nutzt eine niederfrequente Neutronenröhre zur kontrollierten Emission von schnellen Neutronen mit einer Frequenz von 20 Hz und einem Flux von 10^8 n/s (Neutronen pro Sekunde) bei einer Energie von 14 MeV (Megaelektronenvolt). Die emittierten schnellen Neutronen werden durch Reaktionen mit der Umgebung abgebremst und als thermische Neutronen mittels Helium-3(^3He) -Detektoren in Kanälen in einer festgelegten Entfernung (Spacing) von der Quelle registriert. Da ein Neutron eine Lebensdauer von etwa 2 ms hat, erfolgt die Registrierung über diese Zeit in definierten Zeitfenstern von je 32 μs . Es kann so eine mittlere Abklingkurve erstellt werden, die für das untersuchte Medium einen typischen Verlauf annimmt. Die Abklingkurve kann durch folgende Beziehung beschrieben werden:

$$N = N_0 \cdot e^{-t/\tau} \quad (1)$$

N = Zählrate zu einem ausgewählten Zeitpunkt t [cps]

N_0 = Ausgangszählrate [cps]

τ = Neutronenlebensdauer Tau [μs]

Um Tau für eine konkrete Abklingkurve wertmäßig zu bestimmen, kann die Tangente der Abklingkurve genutzt werden. Bei einem homogenen Medium entspricht die Steigung der Tangente dem Wert von Tau. Bei einem heterogenen Medium wird eine mittlere Abklingkurve über das Medium aufgenommen, für die ein zusammengesetzter Tau-Wert ermittelt werden kann (vgl. Gleichung 2). In der mittleren Abklingkurve werden alle Elemente des untersuchten Mediums abgebildet, allerdings wird deren Tangens zu einem Großteil von der dominierenden Komponente des Mediums bestimmt.

$$\tau = \sum_{i=1}^n K_i \cdot \tau_i \quad (2)$$

K_i = Anteilskoeffizient für die Einzelkomponente i [-]

τ_i = Tau-Wert für die Einzelkomponente i [μs]

Das INN-Verfahren hat eine Eindringtiefe von bis zu 7 m und reagiert auf stoffliche Faktoren. Es kann somit für Sedimentuntersuchungen eingesetzt werden und Aussagen über die stoffliche Zusammensetzung einer Sedimentschicht generieren.

3.3 Kombination der Sonartechnik und des INN-Verfahrens

Die Kombination der Sonartechnik mit dem INN-Verfahren erlaubt eine ganzheitliche Aussage über die Struktur und Zusammensetzung eines Bodens beziehungsweise eines Sedimentes. Informationen über den strukturellen Aufbau eines Bodens werden mit Sonar gewonnen und mit den Informationen über die

stoffliche Zusammensetzung, die von der INN-Sonde geliefert werden, verschnitten.

Das Kombinationsprinzip beruht darauf, dass der Sonobot der Firma Geo-DV GmbH als autonomes, unbemanntes Messboot genutzt wird, um die INN-Sonde sowie den Sub-Bottom-Profiler nacheinander über das zu untersuchende Gebiet zu schleppen. Über einen zwischengeschalteten Trailer erfolgt die Georeferenzierung der Messsysteme, um so die genaue Position der Messgeräte und schließlich die Zuordnung der Messdaten zu den genauen Punkten ermöglichen zu können (vgl. Abbildung 3:). Die Messdaten des Sonars und der INN-Sonde werden an den Sonobot weitergeleitet. Dieser dient als Ort der Datensammlung und als Schnittstelle zwischen den Messdaten und den Daten der Georeferenzierung. Auf dem Sonobot werden diese Daten in Echtzeit miteinander verknüpft und an eine mobile Kontrollstation am Ufer gesendet. Dort können die gewonnenen Daten quasi in Echtzeit einer Plausibilitätsprüfung unterzogen werden und so die Qualität der gewonnenen Daten überwacht werden.

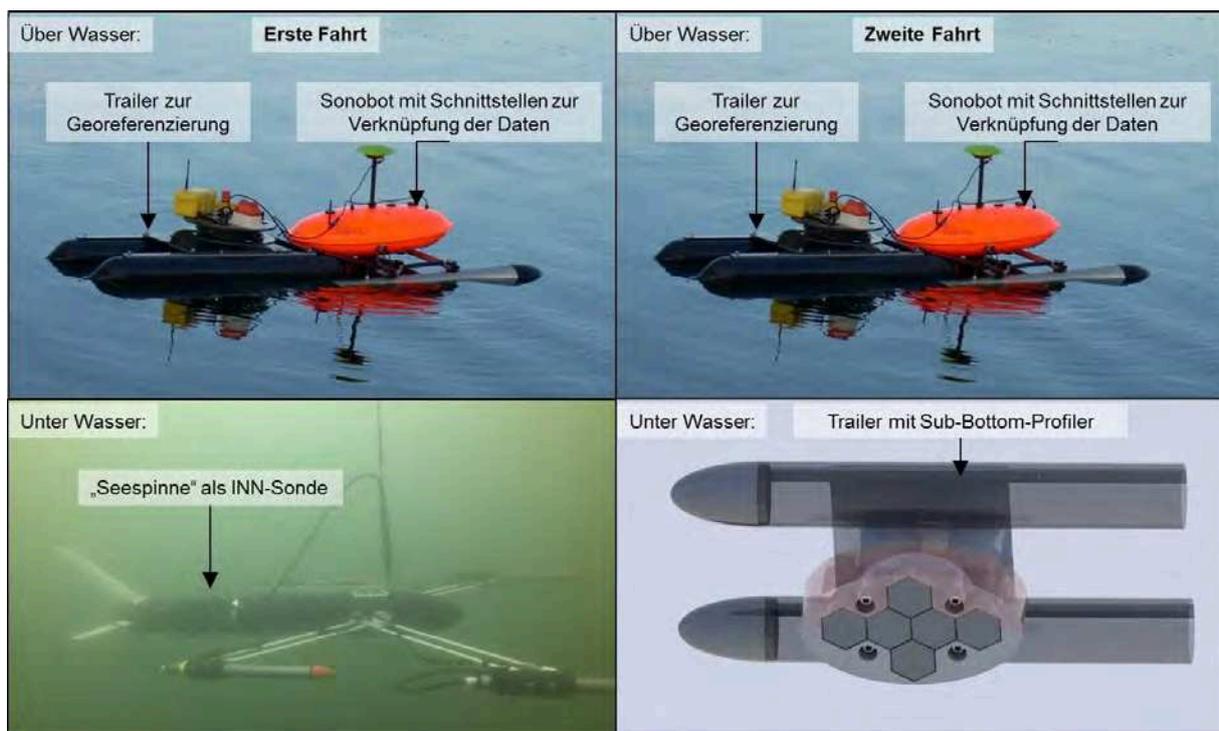


Abbildung 3: Gesamtsystem SonarINN im Einsatz

4 Bisherige und geplante Untersuchungen

4.1 Modellversuche in der Wasserbauhalle des IWW

Da es sich bei SonarINN um ein innovatives Verfahren handelt, das so in der Praxis noch nicht eingesetzt wird, ist es in einem ersten Schritt erforderlich, eine Validierung des Verfahrens durchzuführen. Zu diesem Zweck ist das neue Messverfahren in zwei großmaßstäblichen physikalischen Modellversuchen in der Versuchshalle des Lehrstuhls und Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft der RWTH Aachen University getestet worden (vgl. Abbildung 4:). In einer 28 m langen, 1,7 m breiten und 2 m hohen Strömungsrinne sind verschiedene Sedimentschichten aus Sand, Kies, Ton und organischem Material eingebaut worden. Dieser Aufbau ist unter klar definierten Bedingungen mit einem zuvor festgelegten Wasserstand mit dem SonarINN-Verfahren gemessen worden. Als Ergebnis der Modellversuche hat sich gezeigt, dass verschiedene Einbauten und Schichten mit dem SonarINN-Verfahren detektiert werden können.

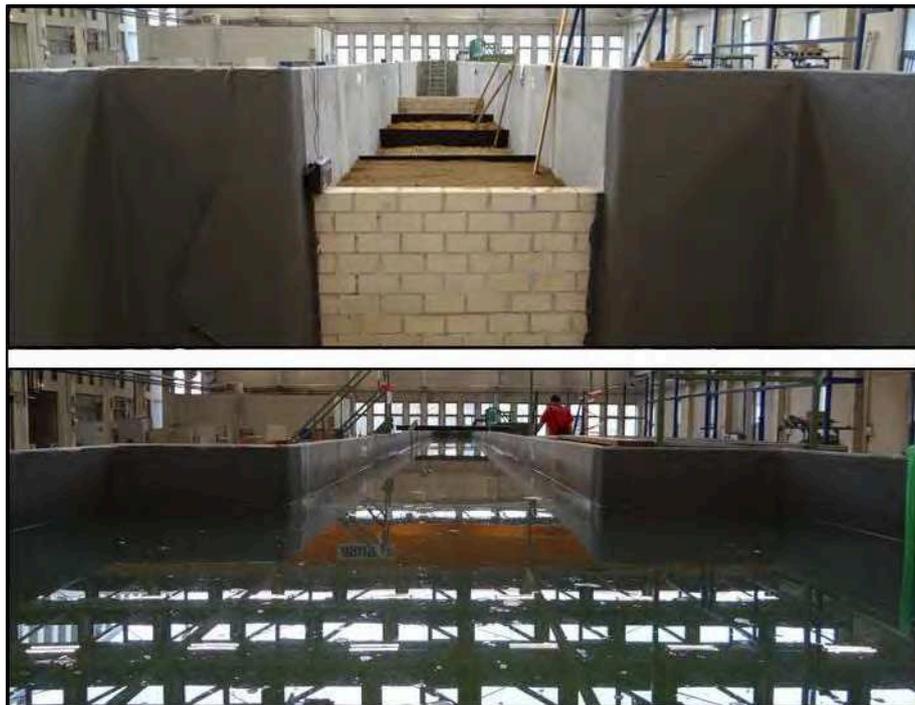


Abbildung 4: Oben: eingebaute Sedimentschichtungen, unten: wassergefüllte Versuchsrinne

4.2 Freilanduntersuchungen

Das SonarINN-Verfahren ist bereits so weit entwickelt, dass ein regulärer Feldeinsatz möglich ist. Die Einsatzfähigkeit und die Funktionalität konnten bereits bei diversen Untersuchungen in der Natur nachgewiesen werden. Beispiele einer solchen Freilanduntersuchung sind der Einsatz der Technologie zur Ermittlung

der Überdeckungshöhen über einen Stahldüker oder die Ermittlung der Eindringtiefe eines Betonbrückenpfeilers in den Baugrund. Diese Untersuchungen sind neben anderen Freilandtests im Verlauf des Jahres 2014 durchgeführt worden und haben gezeigt, dass das entwickelte System für diese Einsatzbereiche geeignet ist. Im Jahr 2015 sind zudem Freilanduntersuchungen in Stauräumen von Talsperren geplant, um die Eignung des Verfahrens zur Bestimmung der Verlandung zu validieren.

5 Zusammenfassung

Das SonarINN-Verfahren stellt eine innovative und neuartige Methode dar, wirklichkeitsnahe Profile ungestörter Sedimentschichten unter Wasser aufzunehmen. Durch die Kombination eines Breitbandsonars und einer Impuls-Neutron-Neutron-Technik kann sowohl der strukturelle als auch der stoffliche Aufbau einer Sedimentschichtung ermittelt werden. Über eine Georeferenzierung können die gewonnenen Messdaten miteinander verknüpft werden, sodass die Interpretation der Daten ermöglicht wird. Die Information über den Aufbau der Sedimentschichtung kann beispielsweise zur Feststellung der Verlandung einer Talsperre genutzt werden. Weitere Einsatzgebiete finden sich in der Vermessung von Küsten- und Binnengewässern sowie der Vermessung von Bauwerken in einem Gewässer.

6 Literatur

- Detering, M.; Schüttrumpf, H. (2014): Verlandung und Lebensdauer von Talsperren. In: WasserWirtschaft 2014 (1/2), S. 30–33.
- DWA (2006): Entlandung von Stauräumen. [Stand] Dezember 2006. Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA-Themen).
- Grimm, C.; Bachmann, D.; Schüttrumpf, H. (2013): Auswirkungen von Klimawandel, Landnutzungsänderungen und ungedrosselten Misch- und Regenwassereinleitungen auf die Gewässer des Wasser- und Bodenverbandes der Mittleren Niers. Ermittlung hydrometrischer Grundlagendaten Teil 1. Lehrstuhl und Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft RWTH Aachen University.
- Jenzer, J.; Cesare, G. de (2006): Möglichkeiten und Anwendung einer Datenbank bezüglich der Stauraumverlandung von alpinen Speichern. In: Wasser Energie Luft 2006 (3).
- Knoblauch, H.; Hartmann, S.; De Cesare, G. (2007): Maßnahmen gegen die Verlandung von Stauräumen im Alpenraum. In: Peter Rutschmann (Hg.): 14. Deutsches Talsperrensymposium. 7th ICOLD European Club Dam Symposium. Beiträge zur Tagung am 17. bis 19. September 2007 in Freising, 17.-19. September. Lehrstuhl und Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft TU München (115).

- Patt, H.; Gonsowski, P. (2011): Wasserbau. Grundlagen, Gestaltung von wasserbaulichen Bauwerken und Anlagen. In: Wasserbau.
- Rosenbaum-Mertens, J. (2003): Seesedimente als Schadstoffarchive - Veränderungen im Schwermetalleintrag in die Umwelt seit 1945. Hochauflösende Untersuchungen von Seeablagerungen in Industriezonen und naturbelassenen Bereichen. Dissertation. Universität Duisburg-Essen, Duisburg-Essen.
- Schumann, A. (2012): Talsperrenbewirtschaftung unter veränderten gesellschaftlichen Anforderungen. Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik (35. Dresdner Wasserbaukolloquium 2012).
- Strobl, T.; Zunic, F. (2006): Wasserbau. Aktuelle Grundlagen - neue Entwicklungen. 1. Aufl. Berlin: Springer.

Autoren:

Elena-Maria Klopries, M.Sc. RWTH
Dipl.-Ing. Catrina Cofalla
Dipl.-Biol. Sebastian Hudjetz
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Holger Schüttrumpf

Dr. Rudolf Bannasch

EvoLogics GmbH
Ackerstraße 76
13355 Berlin

Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft
RWTH Aachen University
Mies-van-der-Rohe-Straße 17
52056 Aachen

Tel.: +49 30 4679 862 0
Fax: +49 30 4679 862 01
E-Mail: bannasch@evologics.de

Tel.: +49 241 80 25263
Fax: +49 241 80 25750
E-Mail: klopries@iww.rwth-aachen.de
cofalla@iww.rwth-aachen.de
hudjetz@iww.rwth-aachen.de
schuettrumpf@iww.rwth-aachen.de

Dr. Klaus Backup

Dipl.-Ing. Gerd Heller

DBM
Hohenwarther Str. 2
39126 Magdeburg

GEO-DV GmbH
Hoher Weg 7
39576 Stendal

Tel.: +49 391 505715
Fax: +49 391 5057184
E-Mail: backup@bohrlochmesser.de

Tel.: +49 3931 212797
Fax: +49 3931 794851
E-Mail: geo-dv@t-online.de