

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

Buckup, Klaus; Buckup, Maximilian; Heller, Gerd; Klopries, Elena-Maria; Lautenschläger, Reiner

Sedimentuntersuchungen in Talsperren - eine komplexe Aufgabe

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/20.500.11970/103310>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Buckup, Klaus; Buckup, Maximilian; Heller, Gerd; Klopries, Elena-Maria; Lautenschläger, Reiner (2016): Sedimentuntersuchungen in Talsperren - eine komplexe Aufgabe. In: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik (Hg.): Gewässerentwicklung & Hochwasserrisikomanagement - Synergien, Konflikte und Lösungen aus EU-WRRL und EU-HWRM-RL. Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen 57. Dresden: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik. S. 47-56.

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.



Sedimentuntersuchungen in Talsperren – eine komplexe Aufgabe

Dr. Klaus Buckup
Maximilian Buckup
Gerd Heller
Elena-Maria Klopries
Reiner Lautenschläger

Ablagerungen im Stauraum einer Talsperre gelten als Sedimente. Die Sedimentbildung erfolgt auf verschiedene Weise und die Ausbildung ist sehr unterschiedlich. Herkömmlich werden akustische Verfahren zur Sedimentuntersuchung eingesetzt. Mit dem Impuls-Neutron-Neutron-Log bietet ein weiteres Verfahren die Möglichkeit, Sedimente zu untersuchen.

In Modelluntersuchungen, on-land-Messungen und Einsätzen im Aquatorium wurde experimentell überprüft, ob das Verfahren unter praktischen Bedingungen erfolgreich eingesetzt werden kann.

Einsatztechnologie und Bearbeitungsmethodik lieferten Ergebnisse, die das Verfahren perspektivisch erscheinen lassen.

Stichworte: Modelluntersuchungen, INN-Verfahren, Soft- und Hardwareentwicklung, praktische Ergebnisse, Fallstudie, Verfahrenskomplexierung

1 Einführung

Die Untersuchung von Sedimenten in Gewässern stellt eine herausfordernde Aufgabe dar. Sedimente in Aquatorien jeglichen Typs (Flüsse, Seen, Tiefsee, Talsperren) mit praktisch hinreichender Aussagekraft abzubilden, bereitet Schwierigkeiten. Neue Versuche wurden von *Klopries et al.* (2015) dargestellt.

Mit dem SonarInn sollten unterschiedliche physikalische Größen komplex erfasst werden. Aus theoretischer Sicht kann das Impuls-Neutron-Neutron-Verfahren INN stofforientierte Angaben liefern. Das INN wird vielseitig für bohrlochgeophysikalische Untersuchungen eingesetzt. Bei entsprechender technischer Anpassung kann das Verfahren im Aquatorium genutzt werden.

Zur Vorbereitung praktischer Einsätze wurde ein umfangreiches Programm abgewickelt.

Bei der eingesetzten Version des INN handelt es sich um eine Modifikation mit einer niederfrequenten kontrollierbaren physikalischen Quelle (s. Abbildung 3) bei einer Neutronenemission auf Basis einer Deuterium-Tritium-Fusion.

Der Informationsträger ist die Neutronenabklingkurve. Bei einer Neutronenemission von 10^8 Neutronen in der Sekunde wird die Neutronenanzahl über 2 ms in Schritten von $32 \mu\text{s}$ gemessen.

Eine typische Abklingkurve für zwei Messkanäle ist in der Abbildung 1 gezeigt. Kanal 1 entspricht einer Distanz zwischen Quelle und Zählrohr von 38 cm, Kanal 2 einem Abstand von 63 cm.

Der Tangens der Abklingkurve ist proportional der mittleren Lebenszeit der Neutronen ($\text{Tau} / \text{sec}^{-1}$) im untersuchten Medium und ist für Stoffe eine fixierte Kenngröße.

Aus dieser Konstellation lassen sich die für eine Einschätzung des untersuchten Mediums notwendigen Parameter gewinnen, im Wesentlichen werden die Zählraten für eine Datenbearbeitung genutzt.

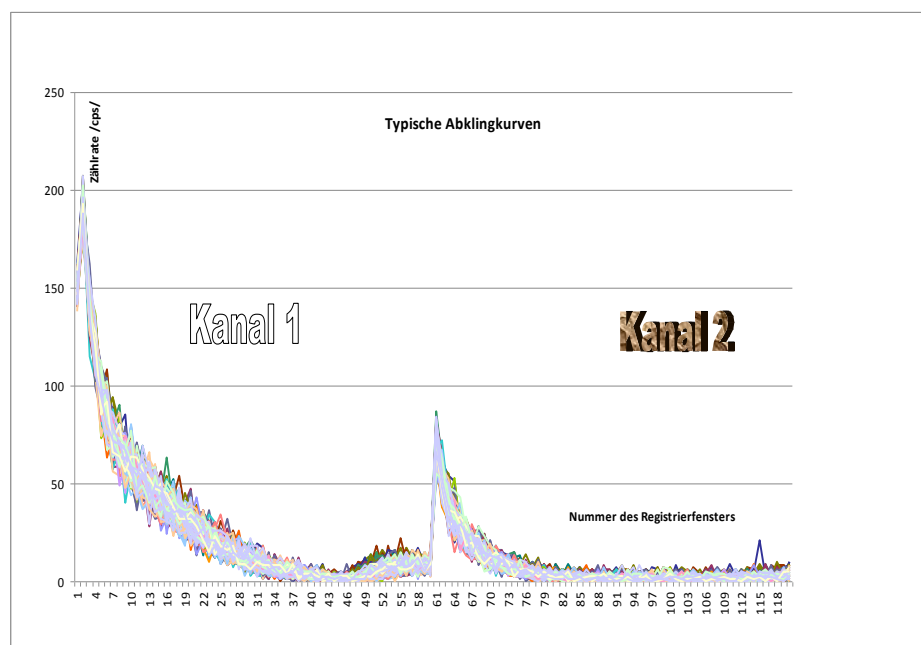


Abbildung 1: Mittlere Abklingkurven über einen ausgewählten Profilabschnitt

Um die Zählraten praktisch nutzbar zu machen, musste zwangsläufig eine methodische und technische Anpassung des Verfahrens erfolgen.

Aufbauend auf theoretische Überlegungen von *Larionov* wurde ab 2011 gezielt untersucht, wie das Neutronenverfahren für praktische Belange u. a. der Sedimentbewertung in Talsperren eingesetzt werden kann.

Mit vorhandenen technischen Mitteln wurden Arbeiten an Land aufgenommen (Abbildung 2), Modellarbeiten ausgeführt und letztlich Freilandeinsätze realisiert.

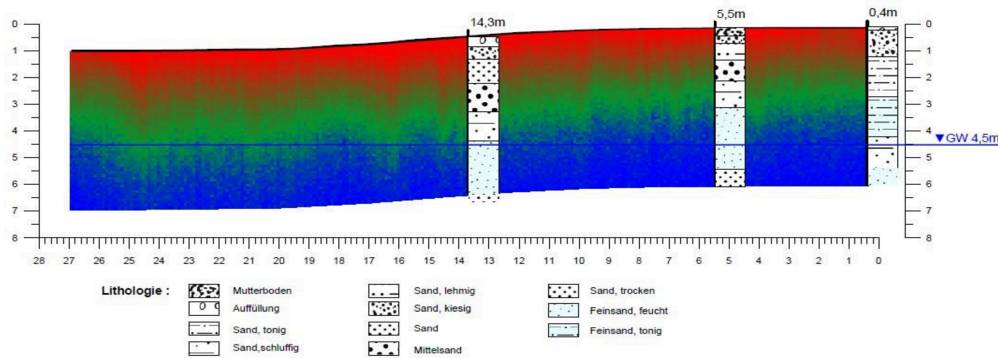


Abbildung 2: INN-Landprofil zur Untersuchung der Bodenzusammensetzung mit ausgewählten Stabprofilen für Einzelpunkte

Für diese Untersuchungen wurden zuerst herkömmliche Bohrlochsonden eingesetzt, wie eine auf Abbildung 3 gezeigt ist, die dann im Weiteren für verschiedene Aufgaben adaptiert wurde. Die Arbeiten können im kontinuierlichen Regime als Profilmessungen durchgeführt werden, bzw. diskret als Punktmessungen.

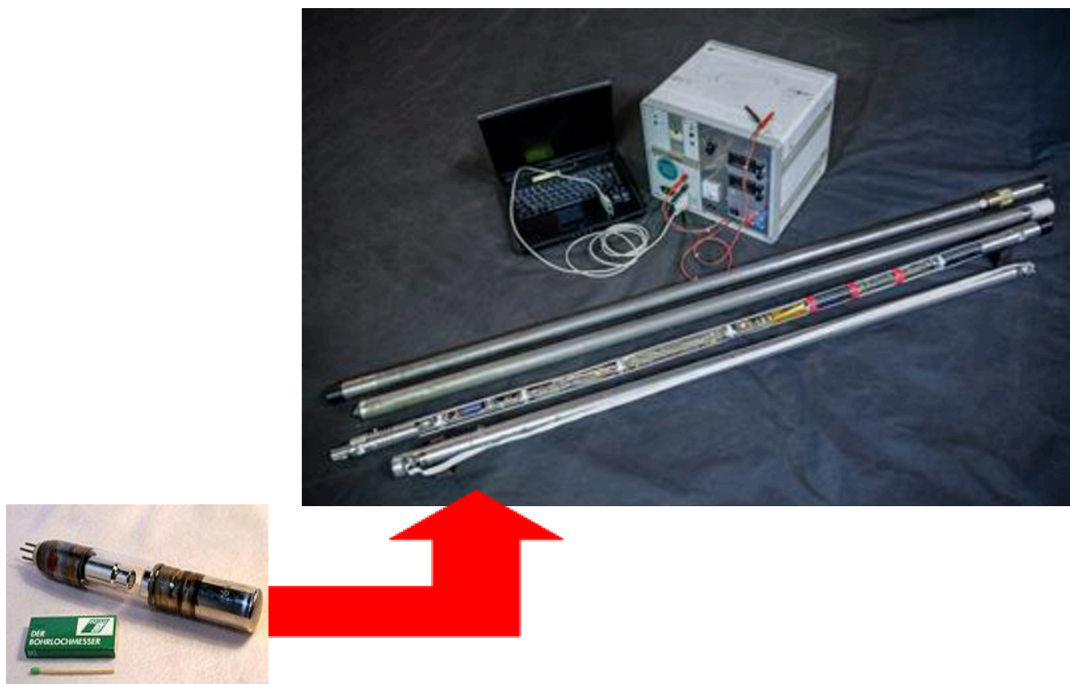


Abbildung 3: INN-Ausrüstung für bohrlochgeophysikalische Messungen

2 Vorbereitende Untersuchungen

2.1 Hardwarebeschreibung

Generell besteht die INN-Hardware aus 2 Teilen, die unterschiedlich gestaltet werden können. Das Ausgangsgerät besaß einen Sondenteil und eine Kontrolleinheit. Im Sondenteil sind in der Regel Helium-3-Detektoren verbaut und das Minitron, dazu kommt ein Hochspannungsteil, Minitron und Hochspannungsteil bilden die Generatorsektion (unten auf Abbildung 3), die folgende technische Parameter aufweist:

Tabelle 1 Technische Parameter der Generatorsektion

Emission	$> 10^8$ n/sec
Betriebsdauer	$> 6 \times 10^6$ Schüsse (bei 20 Hz entspricht das 80 h Einschaltdauer)
Temperaturbereich	- 40 °C bis 150°C
Maße	Durchmesser 26,5 mm
	Länge 131,7 mm
Zündspannung	120 kV
Neutronreaktion	D-T
Dauer des Zündimpulses	0,1 μ s
Dauer des Neutronimpulses	1 ps
Masse	100 g
Neutron energy	14 MeV
Tritium activity	2,4 Ci
Leistungsaufnahme	$< 0,2$ J

Für die Experimentalarbeiten wurden zwei Gerätemodifikationen aufgebaut (Abbildung 4): Eine "online"-Variante, bei der Elektronik/Detektorsektion hintereinander montiert sind und eine "parallele" Variante, bei der die Elektroniksektion neben der Generatorsektion angeordnet ist.

Das jeweils einzusetzende Layout hängt von der Aufgabenstellung ab.



Abbildung 4: INN-Hardware-Varianten zum Einsatz im Aquatorium

Der Einsatz im Aquatorium erfolgte mit Hilfe eines Trägersystems, das mit GPS bestückt, bzw. wie *Klopries et al.* (2015) zeigt, mit Sonar kombiniert ist.

2.2 Methodische Aspekte

Abklingkurven beschreiben in mehrerlei Hinblick das Medium, das bei der gegebenen Sondengeometrie erfasst wird. Untersuchungen in *NuPulse* haben gezeigt, dass bei der oben benannten 2-Kanal-Sonde eine Eindringtiefe von bis zu 7 m erreicht werden kann, was auch die Darstellung der Abbildung 2 belegt. Die mittlere Abklingkurve über 2 ms gibt für diesen Bereich die dominierende Komponente wieder, die sich im Parameter TAU ausdrückt. Die Amplitude der Abklingkurve lässt Rückschlüsse auf Dichte, Lithologie, Porosität und Sättigung zu. Die Zählratenverteilung in den Registrierfenstern ermöglicht vertikale Untergliederungen im Rahmen der Eindringtiefe.

Ein Beispiel für eine Profilmessung ist in Abbildung 5 dargestellt.

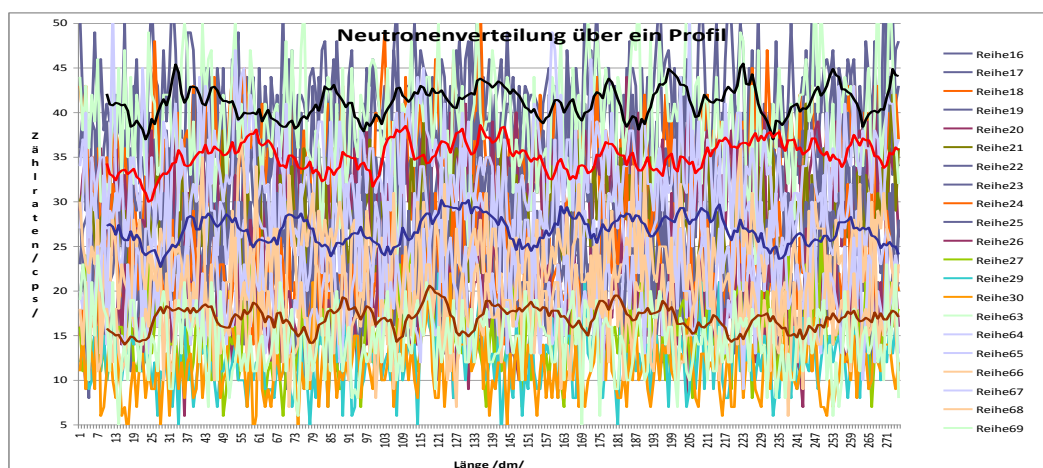


Abbildung 5: Neutronenverteilung über ein Profil mit vertikalen Änderungen

Die eingezeichneten Trendlinien zeigen die Veränderungen mit der Tiefe an, Amplitudenanstiege sind in erster Linie mit Zunahme der sandigen Komponente verbunden.

3 Modelluntersuchungen

Die INN-Ansprache wurde am Modell überprüft. Dafür wurde ein von *Klopries et al.* (2015) beschriebenes Schüttmodell genutzt.

Das Modell war zum Messzeitpunkt mit Mischsediment aufgefüllt und unter Wasser gesetzt. Die Ansprache ist auf Grund der unterschiedlichen Eindringtiefe leicht verschieden, zeigt jedoch vergleichbare Effekte. Sobald sich die Sonde

in die Sedimentschüttung bewegt hat, wird dieses angesprochen, am Untergrund bilden sich zusätzlich die Einbauten ab.

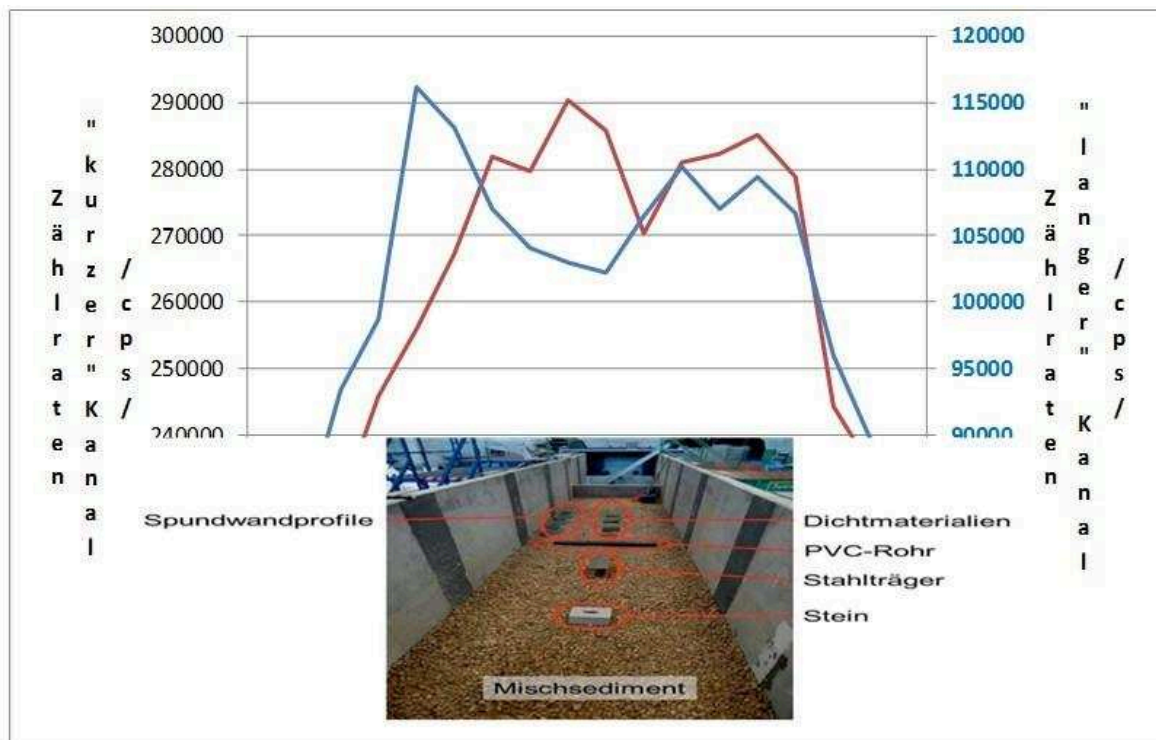


Abbildung 6: Neutronenverteilung über das Schüttmodell mit Einbauten

4 Softwareentwicklung

Für die Sedimentbestimmung war es erforderlich, eine spezielle Software zu entwickeln, die den Belangen des INN-Einsatzes entsprechend gerecht wurde.

Die Standardsoftware BODAMESS wurde für diese Zwecke speziell angepasst. BODAMESS wird zur Gerätebedienung genutzt und zur Datenbearbeitung, für Interpretationszwecke werden die Zählraten in den Einzelfenstern herangezogen.

Abbildung 7 zeigt eine Programmversion, die für Sedimentuntersuchungen verwendet wird. Durch die Anstiegsangaben auf der linken Seite können lithologische Aussagen für 2-Komponentengemische getroffen werden, positive Werte entsprechen sandigen Anteilen, negative tonig-schluffigen Variationen. Die Aussagen können on-line getroffen werden.

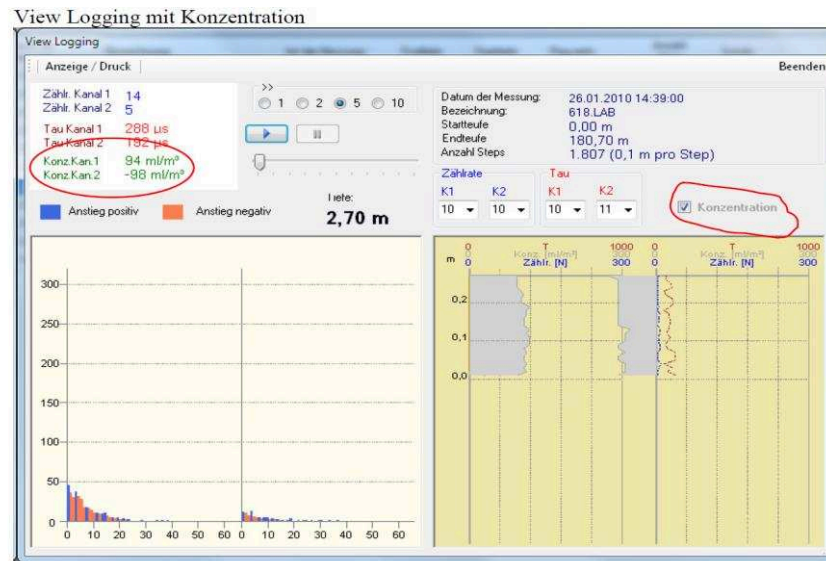


Abbildung 7: INN-Kontrollregistrar

5 Freiwasseruntersuchungen

Für eine Verfahrensvorführung fand eine Messung in einer Vorsperre der Tal-sperre Eibenstock statt.

5.1 Ausführungstechnologie

Es gelangte eine 2-Detektoren-INN-Variante zum Einsatz, die mit einem Trä-gersystem gekoppelt war, komplettiert mit GPS und Echolot wie auf Abbil-dung 8 gezeigt. Es war damit möglich, die Messungen in Profilform auszufüh-ren.



Abbildung 8: Messdurchführung

Die Sonde wurde mit einer Maximalgeschwindigkeit bis zu 30 m/min ge-schleppt, es wurde versucht den Abstand zum Grund mit 0,5 m konstant zu hal-ten.

Zur Qualitätssicherung wurden die Profile mit Wiederholung ausgeführt. Alle Daten wurden in ASCII-Werte konvertiert, die zur Auswertung herangezogen wurden.

5.2 Ergebnisse aus einer Vorsperre

Bereits die Abklingkurven der Abbildung 9 zeigen für den untersuchten Abschnitt eine starke Differenzierung.

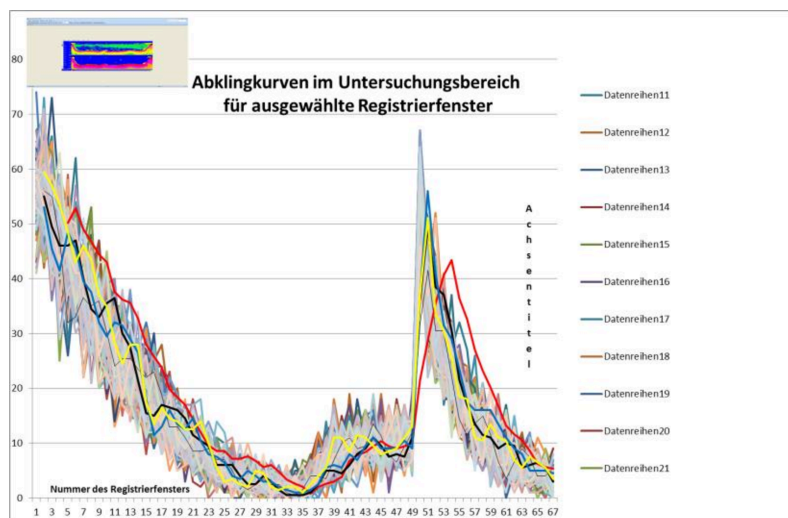


Abbildung 9: Abklingkurven

Es sind Änderungen lateral und vertikal zu erkennen, die Ablagerungen sind hauptsächlich sandig mit einer beträchtlichen Streubreite von Kies bis Ton.

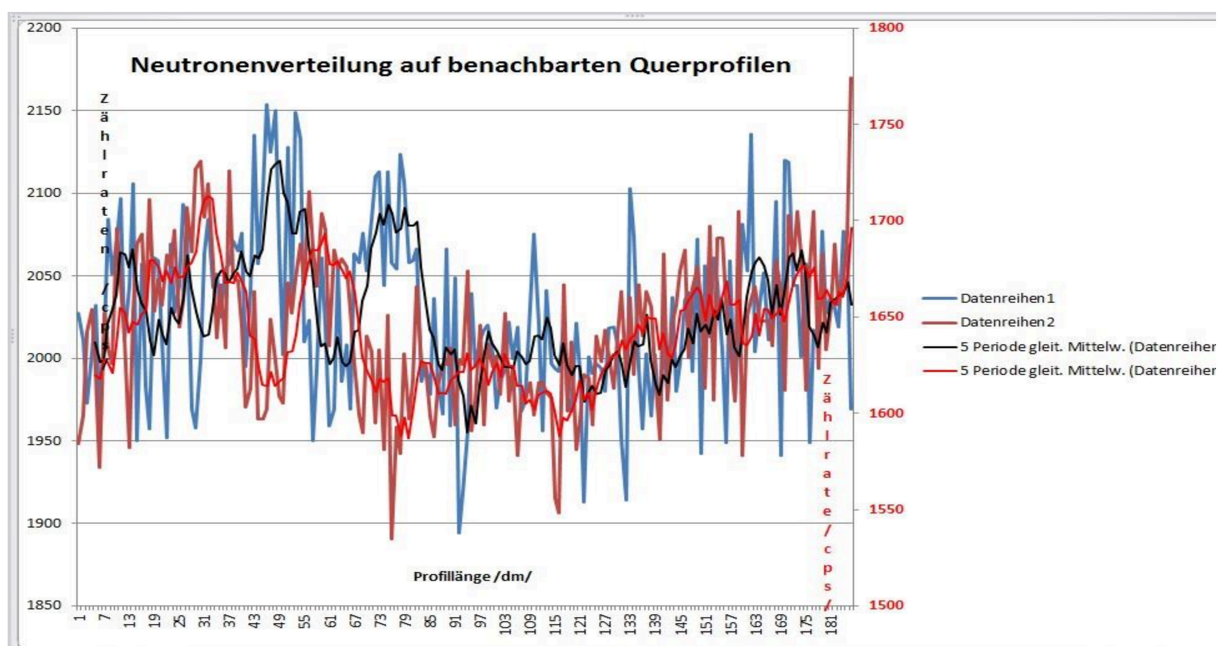


Abbildung 10: Neutronenverteilung auf Messprofilen

Die Zählraten der Abbildung 10 wurden in Mächtigkeitwerte für das Sediment konvertiert. Dafür werden die Abklingkurven herangezogen und entsprechend punktweise ausgewertet. Die Verteilungskurven der Neutronen auf Abbildung 10 sind auf Minimal- und Maximalwerte normiert, um auszugleichen, daß sich von Profil 1 zu Profil 2 die Wassertiefe geändert hatte (damit der Abstand der Sonde über Grund) und die Zählraten für Profil 2 um ca. 400 cps im Mittel tiefer lagen. Zwischen 0 und 8,1 m sind die Profile um 1,5 m versetzt, was mit dem Verlauf der Vorsperre in Verbindung steht, bei einer entsprechenden Verschiebung decken sich die Kurven. Im Weiteren korrelieren die Kurven zwischen 8,9 und 18,5 m, der positive Gradient der Zählraten steht mit der Zunahme des Sandanteiles in Verbindung. Für den Profilabschnitt der Abbildung 10 wird eine mittlere Sedimentmächtigkeit von 1,1 m ermittelt, dazu kommt eine geringverfestigte „Mischzone“ an der Oberkante von 20 cm. Das Sediment verfestigt sich mit der Ablagerungstiefe. Die sandigen Bereiche sind von dieser Konsolidierung weniger betroffen.

Erhöhte Amplitudenwerte bei 4,5 und 7,5 m auf Profil 1 (entsprechend 3,3 und 6 m auf Profil 2) signalisieren eine Entlockerung der sandigen Lagen, es werden Holzanteile vermutet, die zu Faulgasbildung (?) führen.

In naher Zukunft wird untersucht, eine Direktausgabe der Mächtigkeit zu ermöglichen, dazu eine Kartendarstellung der Ergebnisse vorzunehmen bzw. Sedimentprofile elektronisch zu erstellen.

6 Zusammenfassung

Das INN hat sich zur Sedimentuntersuchung im Aquatorium als perspektivisch erwiesen. Modelluntersuchungen und erste Freilandmessungen zeigten Potential für die Lösung praktischer Aufgaben wie Materialansprache, Mächtigkeitsbestimmung, Verteilungseigenschaften. Die Auflösung liegt im Bereich von 10-20 cm, die Eindringtiefe der eingesetzten Hardware bei 4-6 m.

Das Verfahren kann für praktische Belange genutzt werden, eine Kombination mit sonstigen Methoden ist zweckmäßig.

7 Literatur

- Buckup, K.; Buckup, M.; Buckup, P. (2013): Bericht zu INN-Messungen im Objekt Buchholz. Magdeburg, 23. Juni 2013 (unveröff.).
Buckup, K.; Buckup, M. (2008): Bericht über Impuls-Neutron-Messungen auf dem Objekt Flugplatz Giebelstadt. Magdeburg, 23.3. 2008, (unveröff.).

- Klopries, E.; Bannasch, R.; Buckup, K.; Cofalla, C.; Heller, G.; Hudjetz, S.; Schüttrumpf, H. (2015): SonarINN-Entwicklung einer Methode zur Ermittlung wirklichkeitsnaher Schichtenprofile zur Sicherstellung der Wirtschaftlichkeit von Talsperren. Tagungsband 38. Dresdner Wasserbaukolloquium 2015.
- Kobranova, V.N. (1962): Physikalische Eigenschaften von Gesteinen. Gostoptechisdat, Moskau, 1962 (russ.).
- Larionov, V.V. (1969): Radiometrie von Bohrlöchern, Verlag „Nedra“, Moskau, 1969 (russ.).

Autoren:

Dr. Klaus Buckup
Dipl.-Geophysiker Maximilian Buckup

Dipl.-Ing. Gerd Heller

Bohrlochmessungen-Dr. Buckup (DBM)
Hohenwarther Str. 2
39126 Magdeburg

GEO-DV GmbH
Hoher Weg 7
39576 Stendal

Tel.: +49 391 505715
Fax: +49 391 5057184
E-Mail: buckup@bohrlochmesser.de
me@maksim.de

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

Elena-Maria Klopries, M.Sc., RWTH

Staumeister Reiner Lautenschläger

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

Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen
Betrieb Zwickauer Mulde/Obere Weiße Elster / TS Eibenstock
Muldenstraße
08309 Eibenstock

Tel.: +49 24180 25263
Fax: +49 24180 25750
E-Mail: klopries@iww.rwth-aachen.de

Tel.: +49 37752 6297
E-Mail: SM.Eibenstock@ltv.sachsen.de