

Sedimentumleitstollen – eine nachhaltige Maßnahme gegen Stauraumverlandung

Die fortschreitende Verlandung von Stauseen sowie negative ökomorphologische Auswirkungen von Talsperren im Unterwasser verlangen nachhaltige Lösungen. Sedimentumleitstollen stellen dabei eine geeignete Gegenmaßnahme dar. Bei Hochwasser wird sedimenthaltiges Wasser durch den Stollen in das Unterwasser geleitet. Dem stehen hohe Bau- und Unterhaltskosten entgegen, vor allem infolge Abrasion der Stollensohle. In einer Forschungsarbeit an der ETH Zürich wurden die maßgeblichen physikalischen Prozesse im Labor untersucht und ein Modell zur Abrasionsprognose entwickelt.

Christian Auel und Robert Boes

1 Einleitung

Talsperren erfüllen bedeutende gesellschaftliche Aufgaben, wie die Wasserspeicherung zur klimafreundlichen Energiegewinnung durch regenerative Wasserkraft, zur Trink- und Brauchwasserbereitstellung sowie zum Hochwasserschutz der Unterlieger. Allerdings stauen sie den frei fließenden Fluss zu einem Stausee auf, infolgedessen der Sedimenttransport unterbrochen bzw. deutlich beeinträchtigt und das Abflussregime verändert werden. Dies kann zu weitreichenden geomorphologischen und ökologischen Veränderungen führen, wie dem Rückgang des Artenreichtums und der -vielfalt, der Erosion im Unterlauf und der Rückbildung von Flussdeltas sowie der Erosion an Seeufern und Meeresküsten. Mit zunehmendem Alter des weltweiten Talsperrenbestands rückt die Thematik der Stauraumverlandung immer mehr in den Blickpunkt. Bei mittleren jährlichen Verlandungsraten bis zu mehreren Prozent des Stauraums sind viele Speicher bereits zu einem beträchtlichen Teil mit Sedimenten gefüllt bzw. werden es in naher Zukunft sein [1]. Zum einen führt die Verlandung zu einer Vielzahl von Problemen für den Talsperrenbetreiber, wie die Minderung des zur Energiegewinnung bzw. für die Wasserbereitstellung nutzbaren Volumens, die Minderung des Retentionsraums bei Hochwasser, die Gefährdung der Betriebssicherheit infolge Verlegens der Auslassorgane und die verstärkte Abrasion an elektromaschinellen Anlagenteilen infolge erhöhter spezifischer Schwebstoffkonzentration in den Betriebswasserwegen. Zum anderen wird durch den vollständigen Unterbruch des Geschiebetransports die morphologische und infolgedessen die ökologische Variabilität im Unter-

wasser reduziert. Viele Talsperren sind demnach ohne weitere Maßnahmen in zweifacher Hinsicht nicht nachhaltig; zum einen verändern sie die Flussmorphologie nachteilig, zum anderen verringert sich ihr Volumen stetig.

Maßnahmen gegen die Stauraumverlandung lassen sich grundsätzlich in vier Strategien einteilen (**Bild 1**): die Anordnung von Sperre und Speicher derart, dass der Sedimenteintrag klein gehalten wird, den Sedimentrückhalt im Einzugsgebiet, die Sedimentweiterleitung und die Rückgewinnung des Stauseevolumens (u. a. [1], [2]). Die drei letztgenannten Strategien beinhalten eine Vielzahl an Maßnahmen, wie z. B. den Bau von Geschiebesammlern im Einzugsgebiet, das Durchleiten von Trübeinströmen, den kontinuierlichen Sedimenttransfer in das Unterwasser und die Stauraumpülung bei reduziertem oder vollständig abgesenktem Stauspiegel. Die Sedimentweiterleitung ist dabei aus ökologischer und ökonomischer Sicht in den meisten Fällen am sinnvollsten, da sich die Sedimente nicht ablagern, sondern direkt weitergeleitet werden. Im Fall der Wasserkraftnutzung kann u. U. die Stauraumverlandung zugelassen werden, wenn eine Anlage auch bei nahezu vollständigem Stauraumverlust weiter als Laufwasserkraftwerk genutzt werden kann, wie z. B. in Maigrange in der Schweiz und in Senzu, Ooma, Sennin, Koyadaira, Yasuoka sowie Hiraoka in Japan [2]. In einigen Ländern kommt es in jüngster Zeit vermehrt auch zur Aufgabe der Nutzung und zum Rückbau von Talsperren, vor allem im US-Staat Washington, aber auch in Japan, z. B. am Arase-Damm am Fluss Kumagawa.

Ein Sedimentumleitstollen (Englisch Sediment Bypass Tunnel, SBT) stellt eine effektive Strategie der Sedimentweiterleitung dar. In diesem Beitrag wird die Anlagengestaltung beschrieben und auf Vor- und Nachteile eingegangen. Zudem wird eine an der ETH Zürich im Jahr 2014 abgeschlossene Forschungsarbeit zu diesem Thema vorgestellt.

2 Sedimentumleitstollen

Ein SBT wird i. d. R. nur bei Hochwasser geöffnet und leitet das sedimenthaltige Wasser um eine Talsperre herum in das Unterwasser. Solange die Kapazität des Stollens nicht überschritten

Kompakt

- Sedimentumleitstollen leiten Sedimente bei Hochwasser um den Stausee.
- Der Stausee wird von Sedimenten freigehalten und das Unterwasser wird mit Sedimenten angereichert.
- Die Abrasion der Stollensohle ist in der Regel ausgeprägt, kann allerdings mittels eines Prognosemodells bestimmt werden.

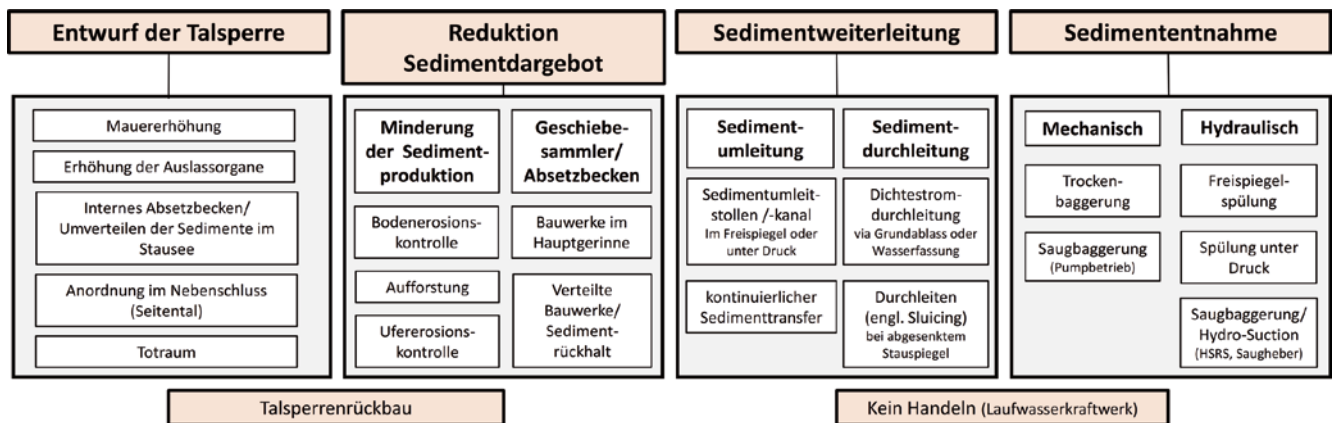


Bild 1: Maßnahmen gegen die Stauraumverlandung (Quelle: nach [3])

wird, werden damit sowohl Geschiebe als auch suspendierte Feinsedimente umgeleitet und somit die Talsperre von Sedimenten frei gehalten. Auch aus ökologischer Sicht ist der SBT von Vorteil, da er den natürlichen Sedimenttransport im Hochwasserfall wieder herstellt. Dennoch liegt die Anzahl an Talsperren-SBT nach Kenntnis der Autoren weltweit bis heute aufgrund hoher Investitionsvolumina und Unterhaltungskosten bei nur etwa 30 Anlagen. Die meisten Stollen existieren in der Schweiz (Egschi, Hintersand, Palagnedra, Pfaffensprung, Rempen, Runcahez, Sera, Solis, Ual da Mulin, Val d’Ambra) und in Japan (Asahi, Koshihbu, Matsukawa, Miwa, Nunobiki), einige weitere in China und Südafrika. In Taiwan sind zurzeit zwei Stollen im Bau (Nanhua, Shimen) [3]. Zudem bestehen diverse Umleitstollen als Hochwasserschutzmaßnahme an Fließgewässern, die ähnliche Charakteristiken wie die Talsperren-SBT aufweisen. In der Schweiz sind dies z. B. die Stollen an der Rovana im Tessin, unterhalb des Grindelwaldgletschers und an der Matter Vispa unterhalb von Zermatt.

2.1 Anlagengestaltung

Je nach Stauseegröße und -form bestehen grundsätzlich zwei Möglichkeiten zur Anordnung eines SBT. Entweder befindet sich der Einlauf an der Stauwurzel oder innerhalb des Sees, im Falle von bereits bestehenden Stauseen möglichst unterstrom der Auflandungsfront. Der Vorteil der ersten Lösung besteht neben dem Einlauf im Freispiegelabfluss darin, dass der ganze Speicher von Sedimenten freigehalten wird. Viele Stollen weltweit werden nach diesem Prinzip betrieben. Die zweite Lösung bietet sich vor allem bei langgestreckten Stauseen an, um die Stollenlänge und damit Baukosten zu reduzieren. Der Einlauf befindet sich unter Druck, was allerdings nicht nur die hydraulischen Verhältnisse, sondern vor allem den Bau des Einlaufbauwerks komplexer macht, da dieser möglichst unter Aufrechterhaltung des Talsperrenbetriebs durchgeführt wird.

Ein SBT besteht im Allgemeinen aus den Elementen Leitbauwerk, Einlaufbauwerk, Beschleunigungstrecke, Stollen und Auslaufbauwerk (Bild 2). Vorzugsweise wird der Kontrollquerschnitt (Regulierschütz) am Einlauf angeordnet; bei Platznot kann er aber auch am Auslauf liegen. Das Leitbauwerk befindet sich im Stausee und leitet die Sedimente in Richtung Einlauf, dessen Schütz bei Hochwasser geöffnet wird. Das Sediment wird in einer steilen Teilstrecke beschleunigt (Längsfälle $S = 20\%$

bis 35 %), um schießende Abflussverhältnisse zu erreichen. Nach dem eigentlichen Stollen ($S = 1\%$ bis 7%) folgt das Auslaufbauwerk im Unterwasser der Talsperre. Wird das Einlaufbauwerk unter Druck betrieben, kann auf eine Beschleunigungstrecke verzichtet werden. Der Stollen wird grundsätzlich möglichst im schießenden Freispiegelabfluss betrieben, unabhängig von Lage und Art des Einlaufbauwerks; allerdings tritt bei einigen Anlagen teilweise Druckabfluss auf, besonders bei unterstromigem Kontrollquerschnitt [3]. Weitere Bemessungshinweise zu SBT sind Hagmann et al. [4] zu entnehmen.

2.2 Vor- und Nachteile

Die Vorteile eines SBT zeigen sich zum einen in einer hohen Effektivität bei der Freihaltung eines Stauraums von Sedimenten: Untersuchungen an den japanischen Stollen Asahi und Nunobiki zeigen, dass im langjährigen Mittel 77 % bzw. 94 % der eingetragenen Sedimente um die Talsperre geleitet werden können. Die rechnerische Lebensdauer dieser Stauseen, ausgedrückt als Verhältnis von Stauseevolumen zu jährlich akkumuliertem Sedimentvolumen, verlängert sich dabei signifikant um etwa 450 bzw. 1 200 Jahre [2]. Zum anderen ist der Stollen auch aus ökologischer Sicht von hohem Nutzen, da durch den Betrieb die Sedimentdurchgängigkeit wieder hergestellt wird. Generell werden dabei nur Sedimente umgeleitet, die neu bei Hochwasser eingetragen werden. Bereits akkumulierte Feststoffe verbleiben in der Regel im Stausee und werden nicht remobilisiert. Die natürliche Sedimentcharakteristik des Flusses wird somit wieder hergestellt bzw. bleibt erhalten, die geomorphologische Variabilität erhöht sich und der Mikrohabitat- sowie Invertebratereichtum im Unterwasser gleicht sich durch den Betrieb eines Stollens wieder an die Verhältnisse im Oberwasser an [6], [7].

Die Nachteile eines SBT liegen zum einen in den hohen Investitionen, die den Bau nur bei kleinen bis mittleren Spei-

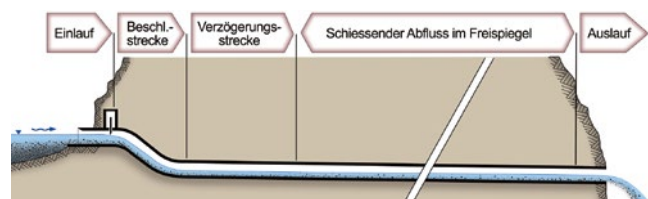


Bild 2: Skizze eines Sedimentumleitstollens (Quelle: nach [5])

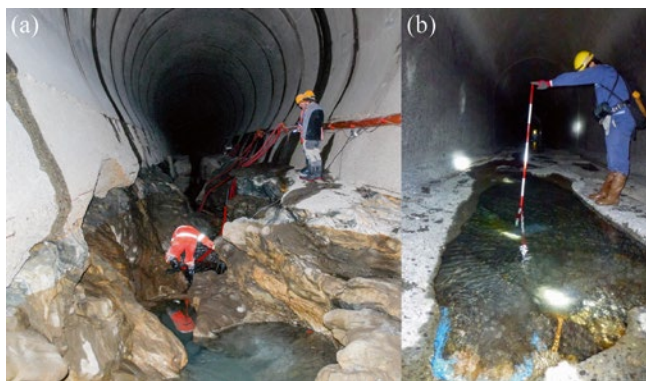


Bild 3: Abrasionsschäden an der Sohle der SBT (a) Palagnedra im Tessin, Schweiz, (b) Asahi, Nara, Japan (Quelle: C. Auel)

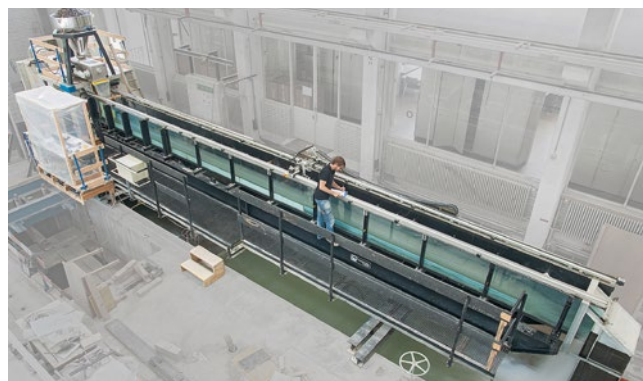


Bild 4: Versuchsrinne im früheren VAW-Labor der ETH Zürich (Quelle: [5])

chergrößen relativ zur Jahreswasserfracht bzw. mit absoluten Stauseevolumina von rund 10^5 bis 10^7 m³ sinnvoll machen. Zum anderen wird das Hochwasser bis zur Ausbaupazität des Stollens ungedämpft in das Unterwasser geleitet. Der SBT bietet sich deshalb vor allem in Gebieten mit hohem Wasserdargebot an, während in ariden Gebieten mit ausgeprägter Trockenzeit in der Regel das Speichern des Hochwassers von zentraler Bedeutung ist. Ein weiterer Nachteil ergibt sich bei Überschreitung der Ausbaupazität, da der überschüssige Durchfluss, der in Richtung Sperre geleitet werden muss, einen beträchtlichen Anteil an Feinsedimenten enthalten kann. Das Geschiebe kann bei adäquatem Entwurf auch bei Überschreiten der Stollenkapazität mit Hilfe des Leitbauwerks durch den SBT geleitet werden.

Die Fließgeschwindigkeit im Stollen wird im Freispiegelabfluss durch die Stollenbreite und das Gefälle bestimmt. Da der Stollenquerschnitt aufgrund der Baukosten möglichst kompakt gehalten werden sollte (kleine Seitenverhältnisse von Breite b zu Fließtiefe h), ist das Gefälle der maßgebende Parameter. Zwei gegenläufige Vorgaben müssen dabei erfüllt werden. Zum einen muss der Stollen steil genug sein, um das eingetragene Sediment ohne Auflandungen zu transportieren, zum anderen sollte er so flach

wie möglich sein, um die Fließgeschwindigkeit zu minimieren. Hohe Fließgeschwindigkeiten von bis zu 15 m/s in Kombination mit einer hoher Sedimentfracht bei großen Korndurchmessern im Zentimeter- bis Dezimeterbereich führen bei vielen Stollen zu starker Abrasion der Sohle [5], [8]. In **Bild 3** sind die Abrasionsschäden an den Betonsohlen zweier SBT dargestellt. Die bis zu 4 m tiefen, in den Fels reichenden Schäden in Palagnedra, Schweiz, entstanden hauptsächlich durch ein Hochwasser im Jahr 1978 kurz nach Inbetriebnahme des Stollens. In den Jahren 2011 bis 2013 wurden etwa 20 % der Sohle im unteren Bereich saniert [3]. Die Sohle des Asahi-Stollens in Japan wurde seit Inbetriebnahme 1998 in Summe bis zu 1,3 m tief abradert. Beinahe jährlich werden deshalb Unterhaltungsarbeiten durchgeführt [3].

3 Forschung zu Sedimentumleitstollen an der ETH Zürich

An der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glazilogie (VAW) der ETH Zürich wird seit Jahren intensiv zu SBT geforscht [5], [6], [8], [9], [10]. Zur Zeit befinden sich zwei Arbeiten in der Endphase, die sich zum einen mit abrasionsresisten-

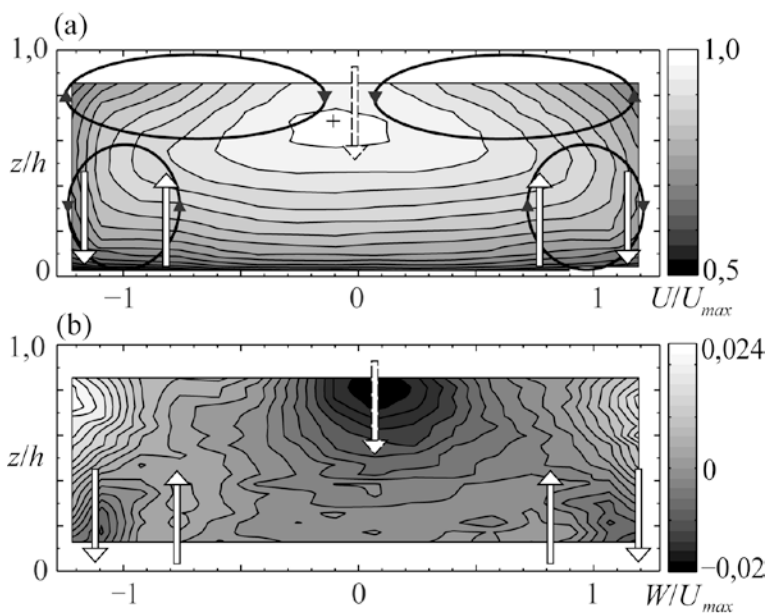


Bild 5: Fließgeschwindigkeiten in einem Querprofil der Laborrinne in a) horizontaler Richtung U und b) vertikaler Richtung W bei $Fr = 4$ und $h = 100$ mm; z = vertikale Koordinate, y = Koordinate in Querrichtung, U_{max} = maximale Geschwindigkeit in horizontaler Richtung (Quelle: [5])

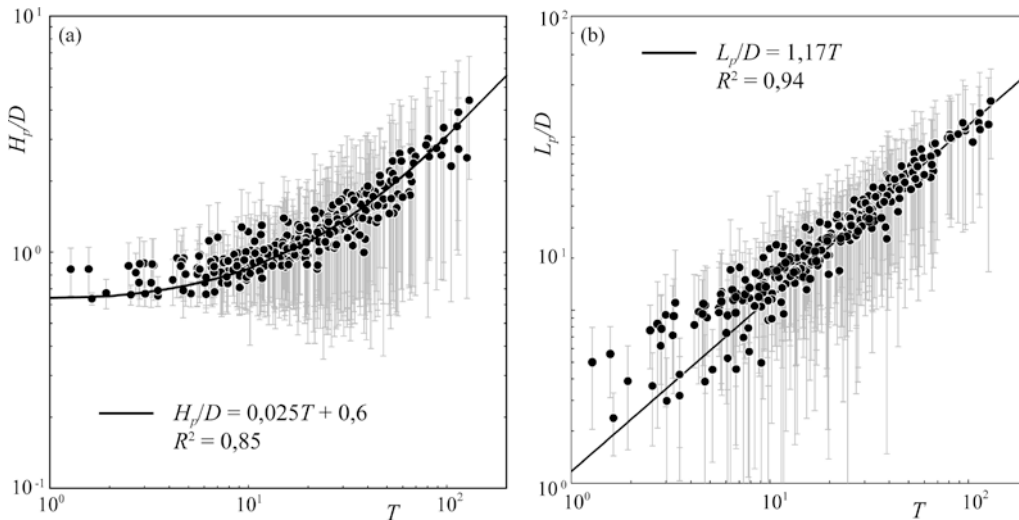


Bild 6: Mit Partikeldurchmesser D normierte Sprunghöhe H_p (a) und Sprunglänge L_p (b) als Funktion der Transportphase T ; insgesamt 264 Parameterkombinationen, jeweils 20-mal wiederholt; die Fehlerbalken geben die Standardabweichung wieder (Quelle: [12])

ten Sohlenmaterialien sowie In-situ-Sedimenttransportversuchen befassen und zum anderen die morphologischen Prozesse im Unterwasser eines SBT mit numerischen Modellen untersuchen [6], [10]. In einer im Jahr 2014 abgeschlossenen Arbeit wurden die physikalischen Prozesse vertieft in einem skalierten Modell im Versuchslabor untersucht (**Bild 4**) [5]. Die Arbeit war in drei Versuchsphasen unterteilt, in denen neue Erkenntnisse über die Turbulenzcharakteristik, Sedimentbewegung sowie die Sohlenabrasion in Hochgeschwindigkeitsabflüssen gewonnen wurden.

3.1 Turbulenzcharakteristik

In der ersten Versuchsphase wurden mittels 2-D-Laser-Doppler-Anemometrie (2D-LDA) die horizontalen und vertikalen Momentangeschwindigkeiten in einem Querprofil bestimmt [11]. **Bild 5** zeigt exemplarisch die zeitlich gemittelten Fließgeschwindigkeiten in horizontaler und vertikaler Richtung bei einer Froude-Zahl $Fr = U/(gh)^{0,5} = 4$, mit U = horizontaler Fließgeschwindigkeit, g = Erdbeschleunigung und Seitenverhältnis $b/h = 2,6$. Die durch die engen Seitenverhältnisse verursachten Sekundärströmungen in vertikaler Richtung sind gut erkennbar. Diese beeinflussen das Strömungsfeld und führen zu erhöhten Sohlenschubspannungen im Nahbereich der Seitenwände.

3.2 Sedimentbewegung

In der zweiten Versuchsphase wurden einzelne Sediment- bzw. Glaspartikel mit einer Hochgeschwindigkeitskamera gefilmt und die Bewegungs- (Transportmodus, Sprunglänge und -höhe, Partikelgeschwindigkeit) sowie Aufprallcharakteristika (Aufprallgeschwindigkeit und -winkel, Stokes-Zahl, Reibungs- und Restitutionskoeffizienten) von insgesamt 5 280 Partikeln ausgewertet [12], [13]. Die Ergebnisse zeigen, dass sich die Partikel hauptsächlich in Sprüngen fortbewegen und die Sprungtrajektorien sehr flach und weit im Vergleich zu Verhältnissen in Flüssen mit rauer beweglicher Sohle sind. Beispielhaft seien hier in **Bild 6** die Ergebnisse der mit dem Partikeldurchmesser D normierten Sprunghöhe und -länge als Funktion der Transportphase $T = \theta/\theta_c - 1$, mit θ = Shields-Parameter und θ_c = kritischem Shields-Parameter, dargestellt. Des Weiteren zeigte sich, dass die vertikale Aufprallgeschwindigkeit nach dem Kontakt mit der

Sohle grösser war als zuvor. Dies lässt sich auf die hohe Turbulenz infolge der Sekundärströmungen zurückführen, die zusätzliche kinetische Energie auf die einzelnen Partikel übertragen.

3.3 Abrasion

Abrasion wird als fortschreitender Materialverlust infolge kontinuierlicher Sedimentbewegung entlang einer Oberfläche definiert. In der dritten Phase wurden Versuche mit abradierbarem Mörtel als Sohlenmaterial bei kontinuierlichem Sedimenttrans-



*Die Stadt Freiburg sucht Sie für
den **Eigenbetrieb Stadtentwässerung** als*

Ingenieur (m/w)

für den Bereich Stadtentwässerung

Wir wünschen uns
Sie haben ein abgeschlossenes Studium der Fachrichtung Bauingenieurwesen mit Schwerpunkt Siedlungswasserwirtschaft oder einen vergleichbaren Studienabschluss und verfügen über Kenntnisse in der Kanalnetzberechnung?

Wir bieten
Eine vielseitige, am Gemeinwohl orientierte Tätigkeit in einem nachhaltigen Aufgabenbereich mit einem hohen Maß an Eigenverantwortung wartet auf Sie. Es handelt sich um ein unbefristetes Beschäftigungsverhältnis mit Bezahlung bis Entgeltgruppe 13 TVöD, je nach Vorliegen der persönlichen Voraussetzungen.

Haben Sie Interesse?
Weitere Informationen erhalten Sie bei Herrn Reuß,
0761/201-4400 und unter www.wirliebenfreiburg.de





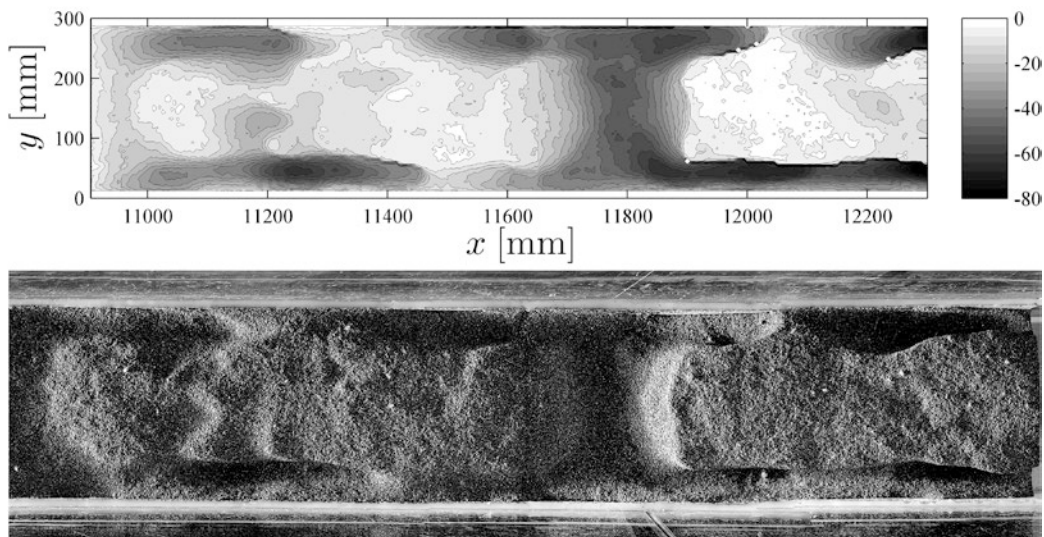


Bild 7: Scan und Photo des 1,5 m langen Abrasionsprofils nach 930 min Versuchsdauer bei $Fr = 2$, $b/h = 2,8$, $Q_s = 200 \text{ g/s}$, $D = 11,2 \text{ mm}$ und $M_s = 11\,164 \text{ kg}$ = gesamte transportierte Sedimentmasse (Quelle: [5])

port durchgeführt. In **Bild 7** ist beispielhaft der Laserscan sowie ein Foto nach Ende eines 930-minütigen Versuchs bei einer Froude-Zahl $Fr = 2$, Seitenverhältnis $b/h = 2,8$, Sedimenttransportrate $Q_s = 200 \text{ g/s}$ und Sedimentdurchmesser $D = 11,2 \text{ mm}$ dargestellt. Bei diesem engen Fließquerschnitt bildeten sich zwei laterale Abrasionsrinnen, während bei weiten Querschnitten mit $b/h > 4$ bis 5 eher zufällig verteilte Kolklöcher zu beobachten waren. Insgesamt wurde der Versuch 15-mal unterbrochen und die Sohle mittels Distanzlaser gescannt. Es zeigte sich, dass die Sohlenabrasion in einem selbstverstärkenden Prozess mit konzen-

triertem Sedimenttransport in den sich bildenden Rinnen sowohl mit der Zeit als auch im Ausmaß fortschreitet. Diese Abrasionsmuster korrelierten gut mit der Verteilung der Sohlenschubspannung τ aus der ersten Versuchsphase (**Bild 8**). Des Weiteren wurde ein linearer Zusammenhang zwischen der abradieren Sohlen sowie transportierten Sedimentmasse gefunden und es zeigte sich erwartungsgemäß, dass die Abrasion sowohl mit der Fließgeschwindigkeit als auch der Sedimenttransportrate zunimmt.

3.4 Abrasionsmodell

Schließlich wurden die neuen Erkenntnisse verwendet, um ein bestehendes Abrasionsprognosemodell zu modifizieren [14], das ursprünglich für die Bestimmung der Abrasion in Flüssen mit felsigem Untergrund entwickelt wurde. Das weiterentwickelte Modell ist als praktische Hilfe für den Ingenieur geeignet, um die Abrasionsrate A_r an wasserbaulichen Anlagen abzuschätzen [13]:

$$A_r = \frac{E}{k_v f_t^2} \cdot \frac{(s-1)g}{230} q_s \left(1 - \frac{q_s}{q_s^*}\right) \quad [\text{m/s}] \quad (1)$$

E = Elastizitätsmodul des Sohlenmaterials [Pa]

f_t = Spaltzugfestigkeit des Sohlenmaterials [Pa]

k_v = Abrasionskoeffizient [-]

$s = \rho_s/\rho$ mit ρ_s = Sedimentdichte und ρ = Fluiddichte

q_s = spezifische gravimetrische Sedimenttransportrate [$\text{kg}/(\text{s} \cdot \text{m})$]

q_s^* = spezifische gravimetrische Sedimenttransportkapazität [$\text{kg}/(\text{s} \cdot \text{m})$]

Der letzte Term (Klammerausdruck) der rechten Seite beschreibt den sogenannten Bedeckungseffekt, der das Verhältnis von freier zu mit Sediment bedeckter Fläche wiedergibt. Dieser kann bei schießendem Abfluss meist vernachlässigt werden, da die theoretische Transportkapazität um ein Vielfaches höher ist als die tatsächliche Transportrate.

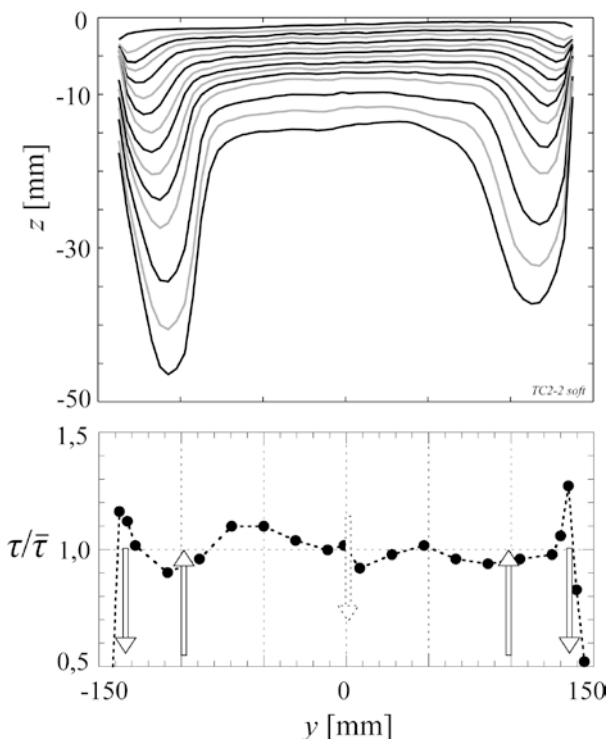


Bild 8: a) Längengemittelte Abrasionstiefen in 15 Schritten während 930 min Versuchsdauer bei $Fr = 2$, $b/h = 2,8$, $Q_s = 200 \text{ g/s}$, $D = 11,2 \text{ mm}$, b) Normierte Sohlenschubspannungsverteilung aus der ersten Versuchsphase bei gleichen Abflussverhältnissen und horizontaler Sohle (Anfangszustand) (Quelle: [5])

4 Zusammenfassung und Ausblick

Die weltweit fortschreitende Verlandung von Stauseen sowie der Unterbruch des Sedimentkontinuums infolge eines Aufstaus

verlangen nachhaltige Lösungen, um einerseits die Lebensdauer von Stauseen zu verlängern und andererseits die negativen morphologischen sowie ökologischen Effekte im Unterwasser zu minimieren. SBT stellen eine geeignete Strategie für kleine bis mittlere Stauseevolumina bei ausreichendem Wasserdargebot dar, um beides effizient zu lösen. Den Vorteilen stehen hohe Bau- und Unterhaltungskosten gegenüber, die durch die Abrasion der Stollensohle maßgeblich bestimmt werden. In einer 2014 abgeschlossenen Forschungsarbeit an der ETH Zürich wurden die physikalischen Prozesse Turbulenzcharakteristik, Sedimentbewegung und Sohlenabrasion in Hochgeschwindigkeitsabflüssen im Versuchslabor untersucht [5]. Die Ergebnisse flossen in die Entwicklung eines Abrasionsprognosemodells ein [12], [13]. Zurzeit befinden sich weitere Forschungsarbeiten in der Endphase, die sich mit abrasionsbeständigen Sohlenmaterialien sowie mit den ökomorphologischen Veränderungen im Unterwasser beschäftigen [6], [10]. Zudem hat kürzlich ein Nachfolgeprojekt der hier vorgestellten Arbeit an der ETH Zürich begonnen, das sich u. a. mit Sedimenttransportprozessen auf bereits abradierter Sohle beschäftigt.

Danksagung

Unser besonderer Dank gilt swisselectric research und dem Schweizer Bundesamt für Energie (BFE) für die finanzielle Unterstützung des 2014 abgeschlossenen Forschungsprojekts. Der Erstautor wurde zur Zeit des Verfassens des Artikels durch die Japanese Society for the Promotion of Science (JSPS) finanziell unterstützt.

Hinweis



Dieser Beitrag entstand im Zusammenhang mit dem „Studienpreis Wasser- und Talsperrenbau“, der gemeinsam durch das Deutsche Talsperrenkomitee e. V. (DTK) und die Fachzeitschrift WasserWirtschaft ausgelobt und anlässlich des 17. Deutschen Talsperrensymposiums 2016 in Freiburg im Breisgau verliehen wurde. Der Erstautor wurde für seine hier wiedergegebene Doktorarbeit mit dem 2. Preis gewürdigt.

Autoren

Dr. Christian Auel

ILF Consulting Engineers Austria GmbH
Feldkreuzstraße 3, 6063 Rum/Innsbruck, Österreich
christian.ael@alumni.ethz.ch

Prof. Dr. Robert Boes

Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie
ETH Zürich, Hönggerberggring 26, 8093 Zürich, Schweiz
boes@vaw.baug.ethz.ch

Literatur

- [1] International Commission on Large Dams (ICOLD): Sedimentation and sustainable use of reservoirs and river systems. In: ICOLD-Bulletins (2009), Nr. 147.
- [2] Auel, C.; Kantoush, S. A.; Sumi, T.: Positive effects of reservoir sedimentation management on reservoir life – examples from Japan. In: Proc. 84th ICOLD Annual Meeting, Johannesburg, Südafrika, 2016.

- [3] Boes, R. M. (ed.): 1st International Workshop on Sediment Bypass Tunnels. In: VAW-Mitteilungen der ETH Zürich (2015), Nr. 232.
- [4] Hagmann, M.; Albayrak, I.; Boes, R. M.; Auel, C.; Sumi, T.: Reviewing research and experience on sediment bypass tunnels. In: Int. Journal on Hydropower and Dams 23 (2016), Heft 1, S. 54-58.
- [5] Auel, C.: Flow characteristics, particle motion and invert abrasion in sediment bypass tunnels. In: VAW-Mitteilungen der ETH Zürich (2014), Nr. 229.
- [6] Facchini, M.; Siviglia, A.; Boes, R. M.: Downstream morphological impact of a sediment bypass tunnel – preliminary results and forthcoming actions. In: VAW-Mitteilungen der ETH Zürich (2015), Nr. 232, S. 137-146.
- [7] Auel, C.; Kobayashi, S.; Sumi, T.; Takemon, Y.: Effects of sediment bypass tunnels on sediment grain size distribution and benthic habitats. In: River Sedimentation. London: Taylor & Francis Group, 2017, S. 825-832.
- [8] Vischer, D.; Hager, W. H.; Casanova, C.; Joos, B.; Lier, P.; Martini, O.: Bypass tunnels to prevent reservoir sedimentation. In: Proc. 19th ICOLD Congress, Florenz, Italien, 1997, Q74 R37, S. 605-624.
- [9] Jacobs, F.; Winkler, K.; Hunkeler, F.; Volkart, P.: Betonabrasion im Wasserbau. In: VAW-Mitteilungen der ETH Zürich (2001), Nr. 168
- [10] Hagmann, M.; Albayrak, I.; Boes, R. M.: Field research: Invert material resistance and sediment transport measurements. In: VAW-Mitteilungen der ETH Zürich (2015), Nr. 232, S. 123-135.
- [11] Auel, C.; Albayrak, I.; Boes, R. M.: Turbulence characteristics in supercritical open channel flows: Effects of Froude number and aspect ratio. In: Journal of Hydraulic Engineering 140 (2014), Heft 4.
- [12] Auel, C.; Albayrak, I.; Sumi, T.; Boes, R. M.: Sediment transport in high-speed flows over a fixed bed: 1. Particle dynamics. In: Earth Surface Processes and Landforms (2017).
- [13] Auel, C.; Albayrak, I.; Sumi, T.; Boes, R. M.: Sediment transport in high-speed flows over a fixed bed: 2. Particle impacts and abrasion prediction. In: Earth Surface Processes and Landforms (2017).
- [14] Sklar, L. S.; Dietrich, W. E.: A mechanistic model for river incision into bedrock by saltating bed load. In: Water Resources Research (2004), Nr. 40.



Weitere Empfehlungen aus
www.springerprofessional.de:

Stauraumverlandung

Bundesmann, R.: Lösung von Sedimentationsproblemen in Staugewässern. In: WasserWirtschaft, Ausgabe 05/2012. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2012.
www.springerprofessional.de/link/3416452

Harb, G.; et al.: Verlandungsproblematik bei Wasserkraftanlagen mit niedrigen Fallhöhen. In: Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, Ausgabe 07-08/2015. Wien: Springer, 2015.
www.springerprofessional.de/link/12041700

Christian Auel and Robert Boes

Sediment bypass tunnels – A sustainable strategy to counter reservoir sedimentation

Both continuing reservoir sedimentation and negative impacts on eco-morphology downstream of dams call for sustainable solutions. In many cases, sediment bypass tunnels are an effective countermeasure. They are operated during floods, diverting the incoming sediments into the tailwater. Bypass efficiency was estimated up to 94 %, considerably extending reservoir life. The major drawback of these tunnels is invert abrasion provoking high annual maintenance costs. In a recent research project at ETH Zurich, the fundamental physical processes were analysed in a laboratory flume and an abrasion prediction model was derived for a wide range of hydraulic and bed conditions.