

## Abstract: Optimierung verschleissresistenter Materialien an Sedimentumleitstollen und wasserbaulichen Anlagen

2011 - 2016

Projektleitung: Prof. Dr. R. Boes (VAW, ETH Zürich)

Projektteam: M. Hagmann, Dr. I. Albayrak, Prof. Dr. R. Boes (VAW, ETH Zürich)

Verschleiss durch Hydroabrasion ist im Wasserbau ein allgegenwärtiges Problem und verursacht jährlich hohe Unterhaltskosten. Äusserst stark davon betroffen sind nebst Hochwasserentlastungen, Wehranlagen und Bauumleitungen Sedimentumleitstollen (SBTs) (Abb. 1). Sie führen sedimentreiche Zuflüsse um einen Speicher bzw. einen Teil desselben herum ab, reduzieren so die Stauraumverlandung und stellen den gestörten natürlichen Sedimenttransport im Unterwasser wieder her. So wird die Erosion im betroffenen Gewässer reduziert, die Ökomorphologie verbessert und die Biodiversität gefördert.



Abb. 1: Mehrere Meter in den felsigen Untergrund reichende Abrasion am SBT Palagnedra (TI, Schweiz).

Für Betreiber und Planer von wasserbaulichen Anlagen, die starker Hydroabrasion ausgesetzt sind, stehen bisher keine Richtlinien für die Handhabung dieses Problems zu Verfügung. Diesem Bedarf soll mit der hier vorgestellten Forschungsarbeit Rechnung getragen werden.

Im vorliegenden Projekt wird das Problem der Hydroabrasion mittels systematischer Feld- und Laborversuchen untersucht. Ziel ist es, die hydraulischen Betriebsbedingungen, den Sedimenttransport und die Hydroabrasion unter realen Betriebsbedingungen im Feld zu untersuchen und den Zusammenhang zwischen Beanspruchung, Materialeigenschaften und Abrasion besser zu verstehen. Anschliessend soll ein auf hydraulischen Laborversuchen basierendes Abrasionsmodell (Auel 2014) in Anlehnung an Sklar und Dietrich (2004) anhand der Felddaten entsprechend für Prototypverhältnisse skaliert werden. Dazu wurden in den SBTs Solis, Pfaffensprung und Runcahez verschiedenartig ausgekleidete Testfelder (abrasionsbeständige Betone, Basalt, Granit, Stahl) regelmässig geodätisch vermessen und die Abfluss- und Betriebsbedingungen kontinuierlich überwacht. Ausserdem wurde der Abrasionswiderstand unter standardisierten Laborbedingungen ermittelt. Schliesslich sollen nicht nur die situationsspezifisch widerstandsfähigsten, sondern auch

die unter Berücksichtigung der gesamten Lebenszykluskosten wirtschaftlichsten Materialien ermittelt werden.

Die Ergebnisse dienen dazu, geeignete Auskleidungsmaterialien zu wählen, ihre Lebensdauer abzuschätzen und damit einen Beitrag zur nachhaltigen Bewirtschaftung wasserbaulicher Anlagen zu leisten. Die Resultate der Dissertation werden über [www.vaw.ethz.ch](http://www.vaw.ethz.ch) als Institutsmitteilung veröffentlicht und gratis zur Verfügung stehen.

Im Berichtsjahr wurden erstmals Abrasionen im Feld den Einwirkungen gegenübergestellt. Es hat sich gezeigt, dass der Materialabtrag im SBT Pfaffensprung linear mit der abgeführten Sedimentmenge zunimmt, wobei der verwendete hochfeste Beton im Mittel rund 5.5 mal schneller abradiert als der eingesetzte Granit (Abb. 2).

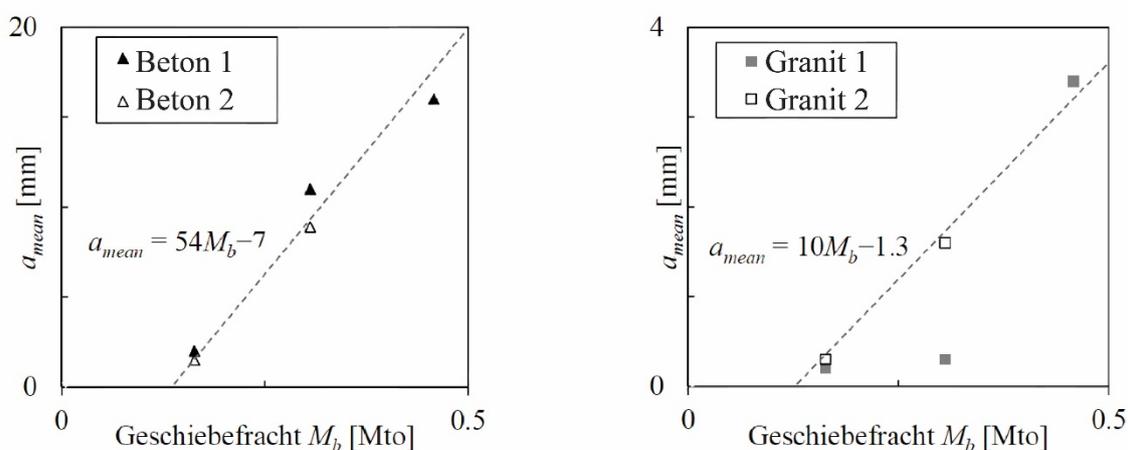


Abb. 2: Mittlere Abrasion in Abhängigkeit der kumulierten Geschiebefrachten für a) Beton und b) Granit am SBT Pfaffensprung (Streuung beim Granit aufgrund kleiner mittlerer Abrasionen)

Die am SBT Runcahez gewonnenen Erkenntnisse über das Langzeitverhalten bestätigen die am SBT Pfaffensprung gemachten Beobachtungen: Krümmungen des Stollens im Grundriss führen zu Sedimentkonzentrationen und damit zu lokal erhöhten Abrasionsraten. Je nach Verhältnis von Abflusstiefe zu Stollenbreite kommt es zu Beanspruchungsspitzen, die zu lateralen Abrasionsrinnen führen. Ausserdem erzeugt die Abrasion je nach Material charakteristische Muster. Beton erfährt einen flächigen, wellenförmigen Abtrag, der durch lokale Schwachstellen und Beanspruchungsspitzen induziert wird, während modulare Materialien (Schmelzbasaltplatten, Granitpflasterung) zu Abrasionskonzentrationen entlang der Fugen und Plattenkanten neigen. Weiter wurde bestätigt, dass Betone mit höheren charakteristischen Festigkeiten auch eine höhere Widerstandsfähigkeit aufweisen.

Diese Resultate zeigen, dass mit einer geeigneten Bemessung und einer auf die lokalen Bedingungen angepasster Materialwahl abrasionsbedingte Schäden reduziert und die Unterhaltskosten optimiert werden können.

Ausserdem wurde im Berichtsjahr der „1<sup>st</sup> International Workshop on Sediment Bypass Tunnels“ im April 2015 in Zürich durchgeführt. Die Organisation erfolgte hauptsächlich durch die VAW mit Unterstützung der Universität Kyoto, *Disaster Prevention Research Institute*, Japan, und des ewz, Elektrizitätswerk der Stadt Zürich. Der Tagungsband kann kostenlos unter [http://www.vaw.ethz.ch/publications/vaw\\_reports/2010-2019](http://www.vaw.ethz.ch/publications/vaw_reports/2010-2019) heruntergeladen werden.

## Publikationen:

- Albayrak I., Felix D., Hagmann M., Boes R. M. (2015). Suspended sediment and bed load transport monitoring techniques. 38. *Dresdner Wasserbaukolloquiums „Messen und Überwachen im Wasserbau und am Gewässer“* Wasserbauliche Mitteilung Heft 53 (J. Stamm, ed.), TU Dresden, Germany: 405-414.
- Auel C., Hagmann M., Boes R. M., Albayrak I. (2015). Optimizing the sustainability of sediment bypass tunnels to counter reservoirs sedimentation. *ICOLD 25<sup>th</sup> Annual Meeting*, Stavanger, Norway: Q.99-R.31: 431-452.
- Boes R. M., Auel C., Hagmann M., Albayrak I. (2014). Sediment bypass tunnels to mitigate reservoir sedimentation and restore sediment continuity. *Proc. International Riverflow Conference*, (A. Schleiss et al., eds.), Lausanne. 221-228.
- Boes R. M., Hagmann M. (2015). Sedimentation countermeasures - examples from Switzerland. *Proc. First International Workshop on Sediment Bypass Tunnels*, VAW-Mitteilungen 232 (R. M. Boes, ed.), ETH Zurich, Switzerland: 193-210.
- Hagmann M., Albayrak I., Boes R. M. (2015). Field research: Invert material resistance and sediment transport measurements. *Proc. International Workshop on Sediment Bypass Tunnels*, VAW-Mitteilungen 232 (R. M. Boes, ed.), ETH Zurich, Switzerland: 123-135.
- Hagmann, M., Albayrak, I., Boes R. M. (2014). Untersuchung verschleissfester Materialien im Wasserbau mit in-situ-Geschiebetransportmessung. *Proc. Symposium „Wasserbau und Flussbau im Alpenraum“*, VAW-Mitteilung 227/228 (R. Boes, ed.), VAW, ETH Zürich: 97-106.
- Hagmann, M., Albayrak I., Boes R. M. (2012). Reduktion der Hydroabrasion bei Sedimentumleitstollen - In-situ-Versuche zur Optimierung der Abrasionsresistenz, *Proc. Wasserbausymposium „Wasser – Energie, Global denken – lokal handeln“* (G. Zenz, ed.), TU Graz: 91-97.
- Hagmann M., Auel C., Albayrak I., Boes R. (2012). Hydroabrasion in Sedimentumleitstollen. *Proc. 35. Dresdner Wasserbaukolloquium „Staubauwerke – Planen, Bauen, Betreiben“* (J. Stamm, ed.), TU Dresden: 95-104.
- Jacobs F., Hagmann M. (2015). Sediment bypass tunnel Runcahez. *Proc. International Workshop on Sediment Bypass Tunnels*, VAW-Mitteilungen 232 (R. M. Boes, ed.), Zurich, Switzerland: 211-221.

## Referenzen:

- Auel C. (2014). Flow characteristics, particle motion and invert abrasion in sediment bypass tunnels. *VAW-Mitteilungen* 229 (R. M. Boes, ed.), ETH Zurich, Switzerland.
- Sklar L. S., Dietrich W. E. (2004). A mechanistic model for river incision into bedrock by saltating bed load. *Water Resources Research* 40 (6).

## Link:

[http://www.vaw.ethz.ch/people/wb/hagmannm/projects/data/hydroabrasion\\_at\\_sediment-bypass\\_tunnels](http://www.vaw.ethz.ch/people/wb/hagmannm/projects/data/hydroabrasion_at_sediment-bypass_tunnels)