

**Zeitschrift:** Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria  
**Herausgeber:** Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband  
**Band:** 90 (1998)  
**Heft:** 5-6

**Artikel:** Verladung und Spülung des Rempenbeckens  
**Autor:** Suter, Peter  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-939397>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 29.11.2024

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

## Verlandung und Spülung des Rempenbeckens

### der AG Kraftwerk Wägital

Peter Suter

Zusammenfassung: Langjährige Betriebserfahrung mit Beckenspülungen, Umweltgutachten und Bewilligungsverfahren.

### Sicherheit

Die Eidg. Talsperrenverordnung verlangt die dauernde Sicherheit einer Stauanlage. Grundablässe sind für die Sicherheit einer Stauanlage äusserst wichtige Organe, weil sie im akuten Notfall eine rasche Absenkung des Wasserspiegels sowie dessen Tiefhaltung ermöglichen und im Hochwasserfall die verfügbare Entlastungskapazität erhöhen.

Zur Betriebssicherheit gehört das Verhindern der Blockierung der Schützen oder der Verstopfung des Grundablasses durch abgelagerte Sedimente. Gefährdet ist die Sperre und damit die unterliegende Bevölkerung.

Die Ablagerungen müssen periodisch entfernt werden. In den meisten Fällen haben sich Spülungen durch die Grundablässe als wirkungsvollstes Verfahren erwiesen. Diese Spülungen haben leider Auswirkungen auf die Ökologie. Es entstehen Nutzungskonflikte zwischen der Wasserkraftnutzung und den Vertretern von Gewässer- und Landschaftsschutz, Fischerei und Sport. Die Berufs- und Sportfischerei stellt ihre Anliegen als quasi ökologisch dar.

### Gesetzliche Grundlage

In Art. 40 des Gewässerschutzgesetzes ist das Vorgehen bei Spülungen geregelt. Der Kanton erteilt die notwendige Bewilligung, wenn der Nachweis erbracht wird, dass die Tier- und Pflanzenwelt nicht geschädigt wird. Er legt lediglich den Zeitpunkt und die Art der Durchführung fest.

In einzelnen Kantonen (zum Beispiel Graubünden und Tessin) bestehen schon langjährige Regelungen und Erfahrungen mit umweltschonenden Spülverfahren.

In unserem Fall werden die Spülungen aus den Fischereikreisen heftig mit allen Mitteln bekämpft, obwohl die Spülung als Methode zur Entschlammung von Staubecken im Gesetz ausdrücklich anerkannt ist. Von den Gegnern wird übersehen, dass alle andern möglichen Verfahren mit Baggerung, Transporten und Deponierung summenmässig erheblich grössere Umweltbelastungen mit sich bringen.

### Die Kraftwerkanlagen

Die AG Kraftwerk Wägital (Bild 1) nutzt die Wasserkraft des Wägitals mit zwei Kraftwerkstufen Rempen und Siebnen. Das 1924 erstellte Werk produziert vorwiegend Energie zur Deckung des Spitzenbedarfs für die Versorgungsgebiete Stadt Zürich und der NOK.

Das hydrologische Einzugsgebiet des Werks ist durch stark erosionsaktive geologische Verhältnisse geprägt. Es liegt im Fylsch-Mergel-Gebiet.

Vor dem Bau der Kraftwerkanlage gelangten pro Jahr etwa 24 000 m<sup>3</sup> Feststoffe mit der Aa in den Zürich-Obersee, wo sie das Aa-Delta gebildet haben.

Seit 1924 wird etwa die Hälfte der abgetragenen Feststoffe im Wägitalersee problemlos im nicht nutzbaren Stauraum zurückgehalten. Von der andern Hälfte lagerten sich etwa 10 000 m<sup>3</sup> pro Jahr im Ausgleichsbecken Rempen ab, während rund 2000 m<sup>3</sup> Schwebstoffe pro Jahr mit dem Turbinenwasser direkt in den Zürichsee gelangten.

Das natürliche Ausgleichsbecken Rempen (Bilder 2 und 4) von 500 000 m<sup>3</sup> Inhalt dient als Zwischenspeicher für den Pumpspeicherbetrieb der oberen Stufe und zur Aufnahme von Laufwasser für die untere Stufe.

### Spülpraxis bis 1984

Die Ablagerungen im Ausgleichsbecken wurden bis 1984 durch regelmässige Spülungen entfernt. Dabei wurden bei entleertem Becken die Grundablässe vollständig geöffnet und die Sedimente durch maximal 30 m<sup>3</sup> Spülwasser pro Sekunde von den Turbinen Rempen her weggespült. Innert weniger Stunden konnten so die Ablagerungen im aktiven Staubecken und vor den Grundablässen beseitigt werden. Allenfalls abgesetzte Sandbänke im Unterlauf wurden nach der Spülung bei wieder gefülltem Ausgleichsbecken mit unbelastetem Turbinenwasser abgetragen.

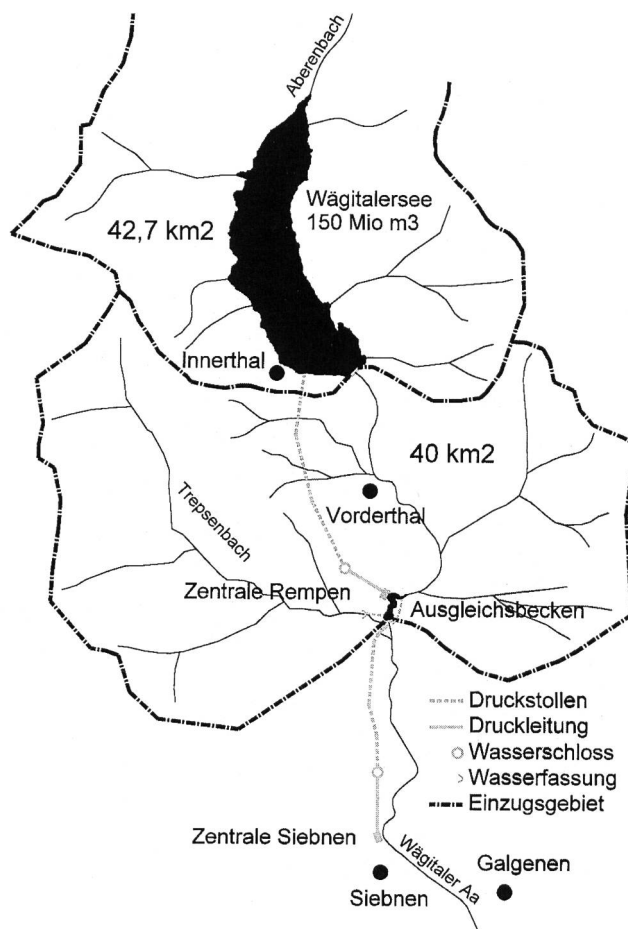


Bild 1. Übersichtssituation des Kraftwerks Wägital.

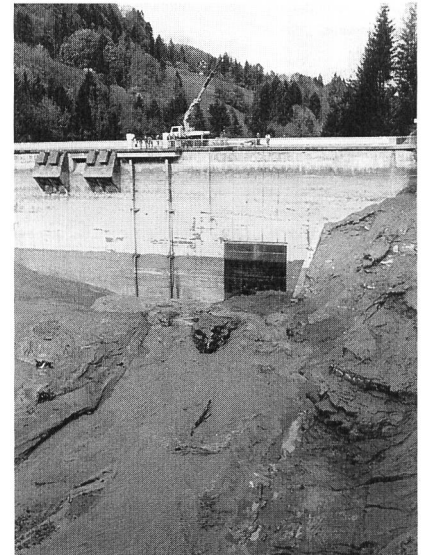
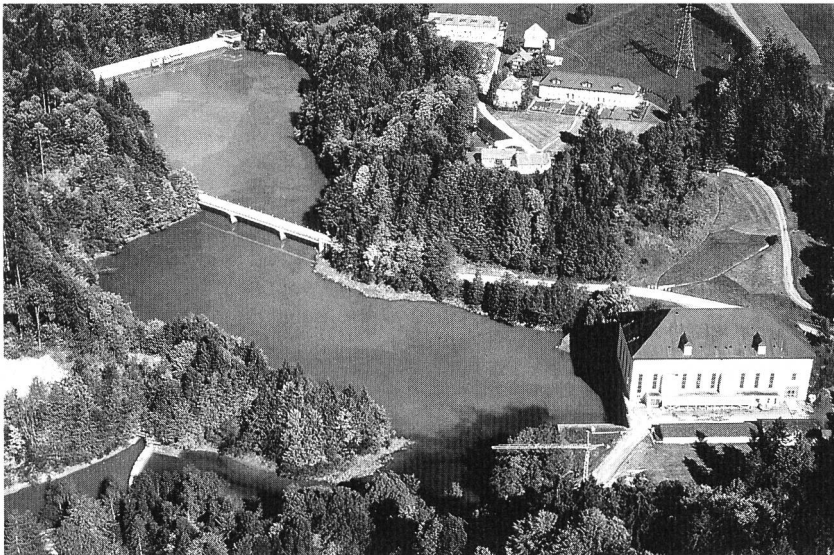


Bild 2, links. Das Ausgleichsbecken Rempen der AG Kraftwerk Wägital. Bild 3, rechts. Verlandungen von Grundablass und Stolleneinlauf im Ausgleichsbecken Rempen.

### *Bau des Umleitstollens*

Am 12. März 1984 wurde der Bau des 300 m langen Umleitstollens Rempen bewilligt. Der Stollen mit einer Kapazität von 100 m<sup>3</sup>/s dient zur Erhöhung der Abflusskapazität der Entlastungsorgane des Ausgleichsbeckens im Hochwasserfall und ermöglicht zusammen mit einem Rückhaltebecken das Auffangen und die Ableitung der groben Gesteine aus der Wägitaler-Aa. Der frühere Aa-Durchstich wurde mit Dammbalken verschlossen.

Somit gelangen seit 1986 nur noch Schwebstoffe in das Ausgleichsbecken Rempen.

### *Auflagen des Kantons Schwyz*

Der Kanton Schwyz verlangte im Jahr 1984 nach verschiedenen Einsprachen aus Fischereikreisen den Nachweis der Umweltverträglichkeit und unterstellte die Spülungen einer Bewilligungspflicht.

Die anerkannten Experten Basler & Hofmann und das Büro für Gewässer- und Fischereifragen Heinz Marrer erhielten den Auftrag, verschiedene, alternative Varianten zur Entfernung der Sedimente zu prüfen. In der Folge wurde, nach Aussage des Buwals, eine einmalig umfassende Studie erarbeitet.

Eine im Oktober 1989 durchgeführte See-Absenkung zu einer dringenden, vom Bundesamt für Wasserwirtschaft verlangten Freilegung der Grundablässe und zur Vornahme von Reparaturarbeiten nach Massgabe der Auflagen des Verwaltungsgerichtes verursachte eine gefährliche Verstopfung der beiden Grundablässe mit verheerender Umweltbelastung. Zur Entfernung der Schlammablagerung im Bachbett war eine von den kantonalen Behörden angeordnete Nachspülung notwendig.

Infolge der Einsprachen und Gerichtsverfahren konnte erstmals 1995 wieder gespült werden. In der Zwischenzeit hatten sich 80 000 bis 100 000 m<sup>3</sup> Sedimente im Becken abgelagert und bildeten eine Gefahr für den sicheren Betrieb der Grundablassorgane.

Im Mai 1994 reichte die AG Kraftwerk Wägital beim Regierungsrat des Kantons Schwyz die Expertenberichte und das Gesuch für die Bewilligung von Spülungen nach dem «neuen Spülverfahren» ein. Der Regierungsrat bewilligte im September 1994 zwei Probespülungen für die Jahre 1995 und 1996, gegen welche aus Fischereikreisen wiederum

Einsprache erhoben wurde. Das Verwaltungsgericht des Kantons Schwyz bestätigte jedoch die erteilte Bewilligung mit geringfügigen Modifikationen (Bild 3).

### *Untersuchte Verfahren für die periodische Entfernung der Ablagerungen*

#### *Trockenbaggerung*

Die Sedimente werden alle zwei Jahre, jeweils in den Sommermonaten, im entleerten Ausgleichsbecken Rempen ausgeräumt, aufbereitet und mittels Lastwagen in eine Deponie verbracht.

#### *Nassbaggerung*

Die Sedimente werden alle zwei Jahre, jeweils im Sommer, mit einem Seilbagger an die Wasseroberfläche gehoben, am Ufer aufbereitet und mit Lastwagen in eine Deponie transportiert.

#### *Saugbaggerung mit Sedimentrückgabe in die Aa*

Alle zwei Jahre, jeweils zwischen August und September, werden Sedimente mittels eines Saugbaggers entfernt. Das Wasser-Schlamm-Gemisch mit fein- und grobkörnigen Anteilen wird über eine Rohrleitung nach Siebnen geführt und unterhalb der Zentrale in die Aa eingeleitet. Hier werden die Sedimente mit Turbinenwasser verdünnt. Die mittlere Schwebstoffkonzentration liegt unter 3 g/l.

#### *Saugbaggerung ohne Sedimentrückgabe in die Aa*

Bei dieser Variante werden sämtliche Sedimente mit Lastwagen zur Deponie abtransportiert.

#### *Variante Bolgenach*

Aufgrund von weiteren Einsprachen mit Hinweis auf die geplante, neuartige Sedimententfernung im österreichischen Kraftwerk Bolgenach wurde im Frühjahr 1997 auch noch eine zusätzliche Variante mit Sedimentrückgabe in den Triebwasserstollen Siebnen untersucht, wobei die Konzentration 2,5 g/l bei einer maximalen Korngrösse von 1 mm nicht übersteigen soll.

Von der Gewässer- und Umweltbelastung her entstehen ähnliche Belastungen wie bei der früher untersuchten Variante mit Sedimentrückgabe in die Aa beim Kraftwerk Siebnen.

Von der technischen Seite aus ist das von den Einsprechern vorgeschlagene Airliftverfahren im Ausgleichsbecken wegen teilweise zu geringer Wassertiefe nicht geeignet und durch die dem Betriebswasser beigegebenen Sedimente entstehen erhöhte Abnützungen an den technischen Anlagen. Zudem sind wegen der grobkörnigen Anteile mehr Strassentransporte als in der früher untersuchten Variante zu erwarten.

Eine von den Einsprechern vorgeschlagene Höherlegung der Grundablässe und des Einlaufbauwerkes zur Schaffung eines Retentionsbeckens ist aus betrieblichen Gründen nicht sinnvoll.

#### Verlandungsvariante

Wenn die Sedimente nicht aus dem Becken entfernt werden können, wird das Becken innert weniger Jahre verlanden. Der aktive Stauraum für die untere Stufe wird geschmälert. Durch das periodische Anheben der Grundablässe kann jeweils kurzfristig ein Trichter unmittelbar vor den Grundablassorganen freigespült werden, der aber durch Nachrutschungen der Schlammassen sofort wieder gefüllt wird. Die betriebliche Sicherheit der Grundablässe ist in Frage gestellt. Sedimente werden in den Stollen gelangen und den Betrieb behindern.

#### Nutzung der Sedimente

Es bestehen langfristig keine Möglichkeiten zur Nutzung der anfallenden Sedimente. Falls sie aus dem Wasserkreislauf entfernt werden, müssen sie in der Umgebung von Siebnen deponiert werden.

#### Neues Spülverfahren

Die Sedimente werden alljährlich in der Zeit von Mai bis Oktober, ausserhalb der Laichzeit der massgebenden Fische, während eines natürlichen Hochwassers durch eine Spülung entfernt (Bild 4). Dabei werden die ökologischen Auswirkungen in der Aa und im Zürichsee gegenüber der früheren Spülpraxis erheblich reduziert, indem die mittlere Schwebstoffkonzentration in der Aa für normale, wiederholte Spülungen auf 10 g/l begrenzt wird.

Für die Probespülungen 1995, 1996 und 1997 wurde ausnahmsweise eine Schwebstoffkonzentration von 20 g/l

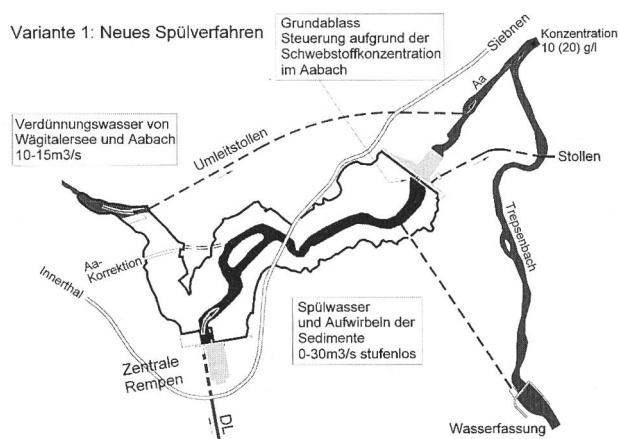


Bild 4. Situation Rempen mit Variante 1 (neues Spülverfahren).

bewilligt, um die im Becken seit mehreren Jahren abgelagerten «Altlasten» wirkungsvoll abtragen zu können.

Mit dem durch Überlauf oder Grundablass abgegebenen Wasser aus dem Wägitalerstauee wird die natürliche Wassermenge im Umleitstollen auf mindestens 12 bis 15 m<sup>3</sup>/s erhöht, so dass die geforderte mittlere Schwebstoffkonzentration durch dosierte Öffnung der Grundablässe und durch gezielte Abgabe von Turbinenspülwasser eingestellt werden kann. Allfällig kaum vermeidbare Belastungsspitzen von kurzer Dauer entstehen, wenn im Becken grössere Schlammportionen nachrutschen.

Die Spüldauer soll dabei 20 Stunden nicht überschreiten, um den biologischen «Stress» im Unterlauf zu vermeiden.

Die On-line-Messung der Schwebstoffkonzentration mit Fernübertragung zur Bedienungsmannschaft der Grundablässe auf der Staumauer erlaubt eine laufend feine, zeitlich nur leicht verzögerte Dosierung.

Das Verfahren mit periodisch vorgenommenen Absetzproben mittels Imhofrichter hat sich in unserer Praxis als zu träge erwiesen; Absetzproben werden nur zur periodischen Kontrolle und Bestätigung der Werte der On-line-Messung benötigt.

Zur Kontrolle der Umweltbelastung wurde zusammen mit der kantonalen Behörde eine Arbeitsgruppe gebildet,



Bild 5. Das Aa-Delta im Zürichsee. Bei Hochwasser und Spülungen taucht der Trübestrom rasch ab.

die das wissenschaftliche Mess- und Überwachungsprogramm festlegt.

Kontrolliert werden, in Anlehnung an die Empfehlungen des Buwal:

- Auswirkungen auf den Fischbestand der Aa zwischen Wägitalersee und Ausgleichsbecken Rempen,
- gerinnemorphologische Zustandsaufnahmen der Aa vor und nach der Spülung zwischen Wägitalersee und Zürich-Obersee sowie im Aa-Delta,
- Erfassung der Schwebstoffkonzentration unterhalb des Rempenbeckens,
- Erfassung der chemischen Wasserparameter Leitfähigkeit, pH-Wert, Sauerstoffgehalt und Temperatur.

Das Kraftwerk und die Gutachter hoffen, innert weniger Jahre die im Becken abgelagerten, sogenannten «Altlasten» wegschleppen zu können, bis die Gefährdung der Grundablässe nicht mehr gegeben ist und später ein stabiler Zustand erreicht werden kann, bei welchem jährlich jeweils nur noch die neu abgesetzten, feinen Sedimente im Umfang von rund 2000 m<sup>3</sup> abgetragen werden müssen.

Das im Obersee anfallende Treibgut ist wie bisher aufzufangen und in eine geeignete Deponie zu bringen.

Die von den Einsprechern immer wieder vorgeschobene Verschmutzung des gesamten Obersees kommt in der Praxis gar nicht vor. Wie in der von Dr. André Lambert beschriebenen Theorie über das Eintauchen von Trübe-strömen in stehende Gewässer tauchen die kälteren und spezifisch schwereren, mit Sedimenten belasteten Wassermengen sofort bei Eintritt in den Zürichsee auf den Seegrund ab. Dies wurde durch Messung durch die Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie an der ETHZ, VAW, überprüft und bestätigt. Eine Beeinträchtigung der Laichgebiete beim Aa-Delta und beim Seedamm in Hurden ist somit kaum gegeben (Bild 5).

Das Geschwemmsel wird auf dem Zürichsee aufgefangen und auf Ledischiffe verladen.

Varianten	1	2	3	4	4a	5	
	Neues Spülverfahren	Trockenbaggerung	Nassbaggerung	Saugbaggerung mit Rückgabe	Saugbaggerung mit (Boigenach) Rückgabe	Saugbaggerung ohne Rückgabe	Bisherige Spülpraxis
Technische Aspekte:							
Technische Vorbehalte	○	●	○	○	●	○	○
Installationsaufwand	○	●	●	●	●	●	○
Auswirkung auf die Umwelt:							
Gewässerbelastung	●	●	●	●	○	○	●
Luftbelastung	○	●	●	●	●	●	○
Lärmbelastung	○	●	●	●	●	●	○
Verkehrsbelastung	○	●	●	●	●	●	○
Weitere Auswirkungen	○	●	●	●	●	●	●
Energie:							
Sedimenträumung	○	●	●	○	○	●	○
Produktionsausfall	●	●	○	●	●	○	●
Kosten:							
Sedimenträumung	○	●	●	●	●	●	○
Produktionsausfall	●	●	○	●	●	○	○

○ nicht relevant; ● ungünstig; ● sehr ungünstig

Bild 6. Vergleich und Bewertung der verschiedenen Varianten für die Entfernung der Verlandungen im Rempenbecken.

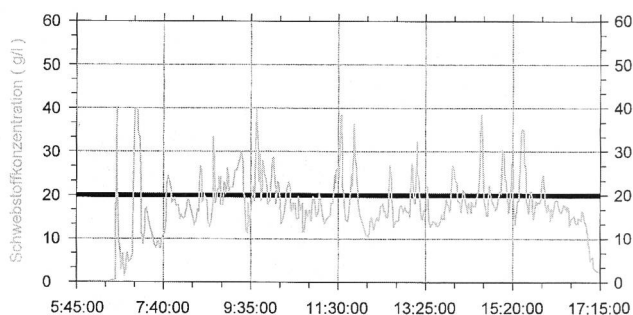


Bild 7. Schwebstoffkonzentration unterhalb des Rempenbeckens während der Spülung vom 13. August 1996.

## Bewertung der untersuchten Alternativen

Der Vergleich der untersuchten Varianten (Bild 6) umfasste neben der Beurteilung technischer Aspekte auch die ökologischen Auswirkungen auf die Umwelt, die Energie und die Kosten. Bei der Umweltbelastung wurde unterschieden in Gewässer-, Luft-, Lärm- und Verkehrsbelastung.

Beim «neuen Spülverfahren» bleibt eine Sedimentbelastung der Gewässer bestehen, wie sie auch bei starken Hochwasserereignissen auftreten kann. Der Energieproduktionsausfall ist erheblich. Alle übrigen untersuchten Kriterien haben keine massgebenden Nachteile.

Alle Varianten, bei denen die Sedimente aus dem natürlichen Wasserkreislauf entzogen werden, müssen bezüglich der Auswirkungen auf die Belastung der Umwelt und bezüglich Energie und Kosten als ungünstig bis sehr ungünstig beurteilt werden. Auch die Saugbaggerung mit Rückgabe der Sedimente in die Aa wirkt sich mehrheitlich ungünstig auf die Umwelt aus, entstehen doch längerdauernde Beeinträchtigungen des Aa-Deltabereichs im Zürichsee durch schwebstoffbelastetes Wasser.

Aus dem Variantenvergleich geht hervor, dass das «neue Spülverfahren» als günstigste und naturnahe Möglichkeit der Sedimententsorgung betrachtet werden muss.

## Erfahrung mit den Spülungen 1995/96

Die bisher nach dem «neuen Spülverfahren» durchgeführten zwei Probespülungen zeigen, dass die Umweltbelastung problemlos innerhalb der von den Experten festgelegten Grenzwerte eingehalten werden konnte (Bild 7).

Die abgespülte Schwebstoffmenge lag bei etwa 11 000 t, das Sedimentvolumen betrug etwa 24 000 m<sup>3</sup>. Während der Spülung wurden jeweils rund 1,2 Mio m<sup>3</sup> Wasser verbraucht.

Aufgrund der 1995 und 1996 gewonnenen Erkenntnisse wurde Anfang 1997 ein Gesuch um Erteilung einer Dauerbewilligung für periodische Spülungen eingereicht und öffentlich ausgeschrieben.

Wegen noch nicht erledigter Stellungnahme der Natur- und Heimatschutzkommission zur Situation beim Aa-Delta wurde im Mai 1997 vom Baudepartement des Kantons Schwyz per Zwischenentscheid für 1997 nochmals eine Notspülung bewilligt.

## Pressepolemik

Wir orientieren die Bevölkerung regelmässig mit Hilfe der regionalen Radio- und Presseorgane über die Spülungen.

Leider sind einige wenige Gegner der Spülung, trotz wiederholter Aufklärung, nicht bereit, durch Messung und Expertisen erhärtete Werte anzuerkennen, und stellen mit

unsachlichen, polemischen Behauptungen alle objektiven Bemühungen in Frage. Selbst die Unbefangenheit der Bewilligungsbehörden und der Experten wird angezweifelt.

Die Systematik und die Vollständigkeit des Gesamtvergleichs der Expertisen der grundsätzlich möglichen Sedimententsorgung entspricht trotz Kritik aus Fischereikreisen dem neuesten Stand der Technik und Wissenschaft und wird vom Buwal ausdrücklich als Referenz betrachtet. Sie gelten als wesentliche Grundlage zur Entscheidungsfindung.

Somit bleibt uns bei der allfälligen, weiteren Unnachgiebigkeit und Uneinsicht der Einsprecher nur noch die Möglichkeit, ein massgebendes Gerichtsurteil abzuwarten.

#### Experten

Basler & Hofmann, Ingenieure und Planer AG, CH-8029 Zürich.  
Büro für Gewässer- und Fischereifragen AG, Heinz Marrer, CH-4500 Solothurn.

#### Quellen

Rudolf Gartmann: Spülung und Entleerung von Stauseen und Ausgleichsbecken. «wasser, energie, luft», 82. Jahrgang, 1990 Heft 1/2.

S. Gerster und P. Rey: Ökologische Folgen von Stauräumspülungen. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (Buwal), 1994.

Daniel Vischer: Wasserkraft im Widerstreit der Meinungen. «Schweizer Ingenieur und Architekt», Nr. 23, 27. Juni 1990.

André Lambert: Flüsse auf Tauchfahrt, «Neue Zürcher Zeitung», 24. April 1985.

#### Grundlagen

– Eidg. Talsperrenverordnung von 1957

– Verordnung zum Schutze des Aahorns vom 5. Mai 1980

– Verordnung über den Schutz der Auengebiete von nationaler Bedeutung vom 28. Oktober 1992

– Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer (Gewässerschutzgesetz GSchG) vom 24. Januar 1991

Art. 40: Spülungen und Entleerungen von Stauräumen

– Nur mit Bewilligung der kantonalen Behörden.

– Sind Spülungen notwendig, so legt die Behörde lediglich Zeitpunkt und Art der Durchführung fest.

– Wasserrechtsverleihung des Bezirkes March an die AG Kraftwerk Wägital vom 7. Mai 1961

– Kraftwerksanlagen sind nach den Regeln der Technik stets in gutem Zustand zu halten.

– Die Beliehene haftet für jeden Schaden, der nachweisbar infolge des Baues oder Betriebs der Wasserkraftanlagen an der Gesundheit oder am Eigentum Dritter oder an öffentlichem Eigentum entsteht.

Vortrag, den der Verfasser am 28. August 1997 in Valbella gehalten hat. Zur Fachtagung über das Langzeitverhalten von Talsperren, ihres Untergrundes und ihrer Umgebung lud die Arbeitsgruppe Talsperrenbeobachtung des Schweizerischen Nationalkomitees für grosse Talsperren ein.

Adresse des Verfassers: Peter Suter, Geschäftsleiter AG Kraftwerk Wägital, CH-8854 Siebnen.

## Fliessgeschwindigkeit in Wildbächen und Gebirgsflüssen

Diskussion von W. H. Hager

zum Aufsatz von D. Rickenmann

in «wasser, energie, luft» 11/12, 1996

### Parameterkombinationen

Seit rund 20 Jahren erfahren Rauhgerinne, also die von Rickenmann behandelten Wildbäche und Gebirgsflüsse, eine intensive Forschungsbearbeitung. Wesentliche Beiträge finden sich neben den bereits erwähnten Quellen bei Hey, et al. (1982) und Yen (1989, 1992). Kürzlich haben Julien und Wargadalam (1995) anhand eines grossen Datensets, welcher von 835 Natur- und 45 Laborkanälen stammt, ähnliche Korrelationen wie Rickenmann (1996) erarbeitet. Das Ziel dieser Diskussion ist zweifach:

- Einführung physikalischer Parameter, die den Rauhgerinneabfluss eindeutig charakterisieren,
- Verallgemeinerung der Resultate anhand der Daten von Julien und Wargadalam sowie von Rickenmann.

Die Hydraulik von nichtkohäsiven Alluvialkanälen lässt sich nach Julien und Wargadalam durch Stabilitätskriterien erfassen. Dabei sind die folgenden Parameter von Bedeutung:

- Oberflächenbreite  $w$
- Mittlere Wassertiefe  $h$
- Mittlere Fliessgeschwindigkeit  $V$  und
- Mittleres Sohlgefälle  $J_s$ .

Diese variieren im geradlinigen Rauhgerinne wesentlich mit den Grössen:

- Durchfluss  $Q$ ,
- Massgebender Sedimentdurchmesser  $d_s$  und
- Shieldszahl  $\tau_{*i}$ .

Julien et al. (1995) beziehen sich auf Durchflüsse zwischen  $0,2 \text{ Ls}^{-1}$  bis  $26\,560 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Die meisten Messungen beinhalten bank-full-Abflüsse, andere sind jedoch unkorrigiert enthalten. Für  $d_s$  sind Grössen wie  $d_{50}$ ,  $d_{65}$ ,  $d_{84}$  oder  $d_{90}$  als typisch betrachtet worden. Die amerikanische Studie bezieht sich auf  $d_{50}$ , während Rickenmann  $d_{90}$  als massgebend betrachtet. Die Sedimentgrösse hat zwischen drei Grössenordnungen variiert. Die Shieldszahl  $\tau_{*i}$  entspricht dem Verhältnis der Scherkraft  $\tau_{*i}$  auf ein Partikel zu dessen Gewicht  $(\rho_s - \rho)gd_s$  mit  $\rho_s$  als Sedimentdichte,  $\rho$  als Wasserdichte und  $g$  als Erdbeschleunigung.

### Massgebende Parameter

In einer Diskussion der Arbeit von Julien und Wargadalam identifiziert Hager (1996) als die massgebenden Strömungsparameter:

- Relativwassertiefe  $y = h/d_s$
- Relativbreite  $W = w/d_s$
- Relativgeschwindigkeit  $\mu = V/(gJ_s d_s)^{1/2}$
- Relativ-Shieldszahl  $\tau_{*i}^*/J_s$  und
- Relativdurchfluss  $q = Q/(gJ_s d_s^3)^{1/2}$ .

Für  $1 < h/d_s < 100$  lässt sich für den Durchfluss die folgende Beziehung auf  $\pm 5\%$  ableiten

$$y = (q/123)^{3/8} \quad (\text{A})$$

entsprechend mit  $d_s = d_{50}$

$$Q = 123(gJ_s)^{1/2} h^{8/3} d_s^{1/6} \quad (\text{B})$$

Weiter gilt als Beziehung zwischen Wasserbreite und Wassertiefe auf  $\pm 20\%$  genau

$$W = 30y \quad (\text{C})$$

also  $w = 30h$ . Eliminiert man  $h$  aus Gl. (B), so folgt

$$Q = 4,1(gJ_s)^{1/2} (wh)h^{2/3} d_s^{-1/6} \quad (\text{B1})$$

Geht man beim mittleren Profil von einem Parabelquerschnitt der Querschnittsfläche  $F=(2/3)(wh)$  aus, so folgt weiter

$$Q = 6,15(gJ_s)^{1/2} F h^{2/3} d_s^{-1/6} \quad (\text{B2})$$