

# Wasserwirtschaftliche Optimierung der Stauraumpülungen an der Oberen Mur

## Best practise flushing strategy at the Upper Mur River

von H. BADURA, H. KNOBLAUCH, J. SCHNEIDER, H. HARREITER und S. DEMEL

### KURZFASSUNG/SUMMARY

Durch Stauhaltungen wird der Feststoffhaushalt der Steirischen Oberen Mur beeinflusst und ein Feststoffdefizit im Unterwasser erzeugt. Weiters können bei Spülungen von Flusskraftwerken für die Flussbiozönose schädliche Schwebstoffbelastungen und bei den Abstauvorgängen Schwall- und Sunkerscheinungen auftreten. Durch Spülungen von vier Flusskraftwerken wird den negativen Auswirkungen des Feststoffrückhalts in den Stauräumen entgegengewirkt. Bisher war es unklar, welche Spülabstände an der Oberen Mur zu einem wasserwirtschaftlichen Optimum führen, um die Stauräume bestmöglich entlanden zu können. Mit dem EU Interreg IIIB Projekt ALPRESERV wurde ein wasserwirtschaftliches Konzept entwickelt, das zusammen mit einem umfangreichen ökologischen Untersuchungsprogramm Teil eines Spülkonzepts bildet. Im vorliegenden Artikel wird das optimierte, wasserwirtschaftliche Spülprogramm präsentiert und auf einzelne Elemente eingegangen.

*Run-of river hydro power plants (HPP) have great influence on the sediment balance and ecosystem of the Upper Mur River in Austria. Flushing of the four HPP on the Upper Mur River is an important task in order to avoid negative impact on downstream sediment balance. Until now, the flushing interval was not clearly defined to establish an optimal sediment management. Additionally, weir operations can generate surge and sunk and together with high suspended sediment concentrations, these effects have great influence on the sensitive ecosystem of the river. In this paper the technical part of a sediment management strategy is presented. Summarized, the EU Interreg IIIB ALPRESERV Project Partners have been working on an integrative flushing concept to fulfill the requirements of both economy and ecology.*

### 1. EINLEITUNG

Wie bereits von KNOBLAUCH et al. (2005) berichtet, wurde in den Jahren 2004 bis 2006 das EU Interreg IIIB Projekt ALPRESERV durchgeführt. Das Projekt hatte das Ziel, die nachhaltige Sedimentbewirtschaftung an alpinen Speichern und Stauräumen anhand von sieben Pilotprojekten zu untersuchen und zu bewerten. Das Projekt gewährleistete des Weiteren einen intensiven Erfahrungsaustausch zwischen Behörden, Universitäten, Betreibern und NGOs.

Ein Pilotprojekt war dabei das Flusskraftwerk Bodendorf an der Oberen Mur. Im vorliegenden Bericht wird auf das wasserwirtschaftliche Konzept der Stauraumpülungen an der Oberen Mur eingegangen, das vom Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Universität Graz in Zusammenarbeit mit der Verbund – Austrian Hydro Power AG erarbeitet wurde. Das wasserwirtschaftliche Konzept ist dabei ein wesentlicher Teil der Untersuchungen und zielt auf einen optimierten Geschiebeaustrag bei gleichzeitiger Minimierung der Schwebstoff-Konzentrationspitzen im Unterwasser ab.

Auf die ökologischen Untersuchungen, die vom Büro Eberstaller und Zauner, Wien, in Zusammenarbeit mit dem Institut für Hydrobiologie und Gewässermanagement, Universität für Bodenkultur in Wien, und dem Institut für Fischforschung in Innsbruck erarbeitet wurden, wird in diesem Artikel nicht eingegangen.

### 2. PROBLEMSTELLUNG

An der Oberen Mur werden die Stauräume der Kraftwerke Bodendorf und St. Georgen durch Spülungen entlandet. Diese beiden Kraftwerke bilden eine kleine Kraftwerkskette. Die beiden Unterliegerkraftwerke Murau und Unzmarkt/Frauenburg werden ebenfalls in die Entlandungsmaßnahmen einbezogen, um Anlandungen in den Stauräumen durch das ankommende Geschiebe aus den Oberliegerkraftwerken zu verhindern. In Abb. 1 sind sowohl die Kraftwerke als auch die wichtigsten Messstellen für das Monitoring während einer Spülung eingezeichnet.

Das Kraftwerk Bodendorf der Verbund – Austrian Hydro Power AG nimmt in der Reihe von Kraftwerken eine besondere Stellung ein, da es sich um die Kopfstufe der Murkraftwerke handelt (Abb. 2).

Größtenteils lagern sich die transportierten Sedimente im Stauraum Bodendorf ab, wobei eine starke Korngrößensortierung im Längsverlauf des Stauraums erfolgt. Daraus ergeben sich Anlandungen von Geschiebe, die im Bereich der Stauwurzel zum Anheben des Wasserspiegels führen und damit der Hochwasserschutz in diesem Bereich gefährdet ist (Jährlichkeiten in Abb. 3). Im Unterwasser hingegen kommt es in der Mur durch den fehlenden Geschiebeeintrag zu Eintiefungserscheinungen und verringerten Umlagerungen von Schotterbänken, die als Fischlaichplätze dienen.

### 3. ZIELSETZUNGEN

Im Gegensatz zu einem Speicher ist bei einem Flussstau das Verhältnis der mittleren Jahreswasserfracht zum Stauvolumen gering (z.B. BRÜNE, 1953). Diese Gegebenheit erfordert ein Feststoffmanagement, das eine regelmäßige Entlandung des Stauraums ermöglicht. Die Beantwortung der komplexen Fragestellungen einer Spülung erfolgten in den letzten drei Jahren auf der Grundlage von Messungen im Stauraum des KW Bodendorf und entlang der Oberen Mur. Mit den Messungen konnte der Geschiebe- und Schwebstofftransport während der Spülung quantifiziert werden. Sohlgrundaufnahmen des Stauraums Bodendorf mittels Echolot dienten als Grundlage der Sedimentmassenbilanzen.

Die Messergebnisse fanden einerseits in die wasserwirtschaftliche Beurteilung einer Spülung Eingang, andererseits dienten sie zur Kalibrierung eines Geschiebomodells für den Stauraum und eines instationären Strömungsmodells. Im Projekt ALPRESERV sollte durch den Vergleich zwischen den Messungen vor, während und nach einer Spülung und den Ergebnissen von Berechnungen ein Instrument zur Beschreibung der dynamischen Schweb- und Geschiebetransportvorgänge gefunden werden. Es kann so zu einer wesentlichen Verbesserung der Sedimentbewirtschaftung und dabei insbesondere zur Verbesserung des Geschiebetransports in den Stauräumen bei gleichzeitiger Ver-

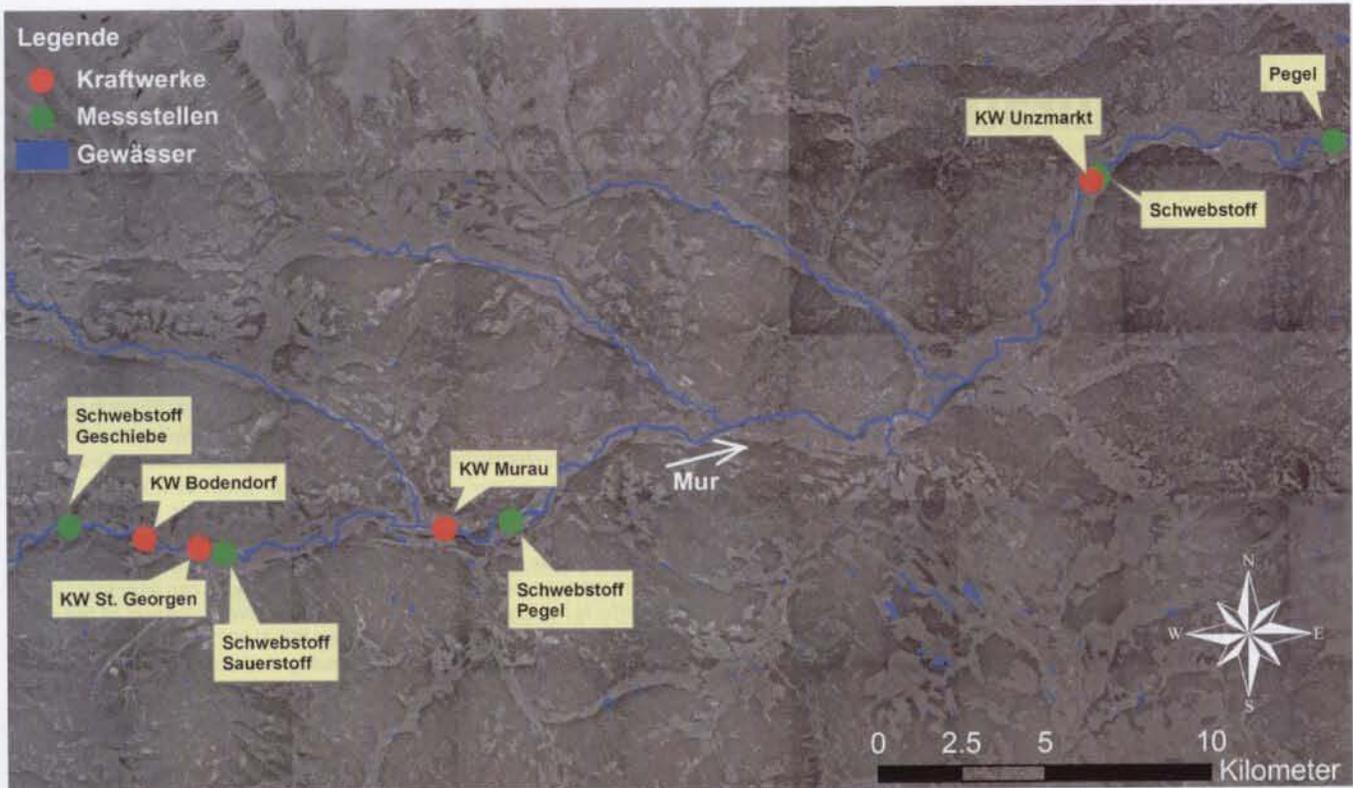


Abb. 1. Übersicht über das Projektgebiet und Messstellen an der Oberen Mur (Hintergrund: GIS-Stmk)

ringerung der für die Fischpopulation schädlichen Schwebstoff-Konzentrationspitzen in der Mur kommen.

Im Rahmen des Projektes ALPRESERV wurde somit ein Sedimentbewirtschaftungskonzept erarbeitet, wo-

bei die Kraftwerke an der Steirischen Oberen Mur als „Best Practise“ Studienobjekte für Flusskraftwerke an geschiebeführenden Flüssen dienen könnten.

#### 4. SCHWEBSTOFFTRANSPORT WÄHREND STAURAU MSPÜLUNGEN

Die Spülungen im Jahr 2004 und Jahr 2006 waren von einem intensiven wasserwirtschaftlichen Monitoring begleitet. Aus den Ergebnissen der Echolotungen, Schwebstoff-, Geschiebe- und Pegelmessungen konnten die



Abb. 2. KW Bodendorf, Ansicht der Wehranlage und des Krafthauses vom Unterwasser

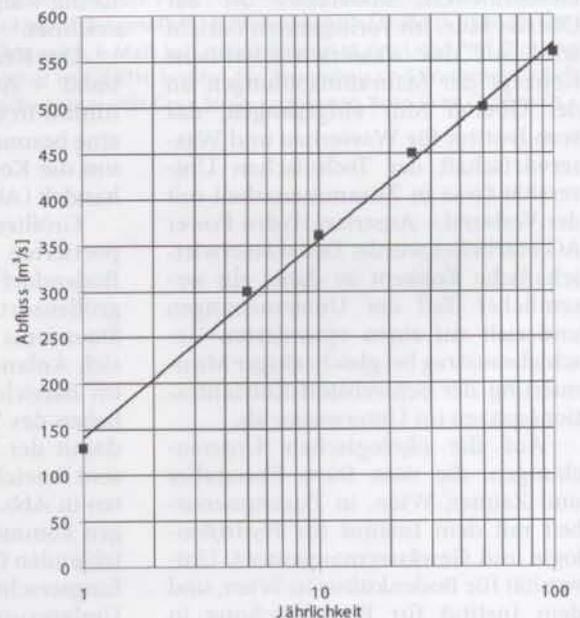


Abb. 3. Hochwasserjährlichkeit am Zufluss des KW Bodendorf

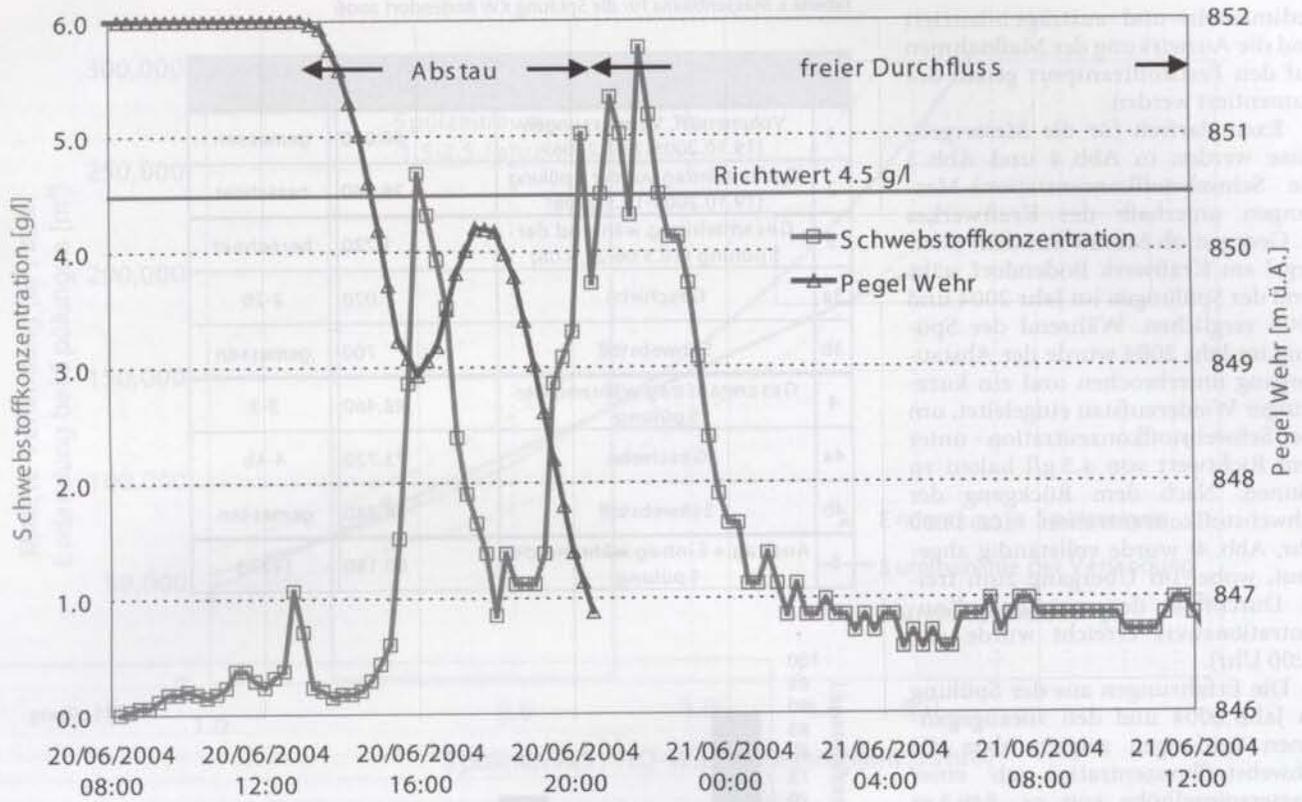


Abb. 4. Pegel Bodendorf und Schwebstoffkonzentrationen St. Georgen (2004), Wiederaufstau nach Überschreiten der Schwebstoffkonzentration von 4,5 g/l.

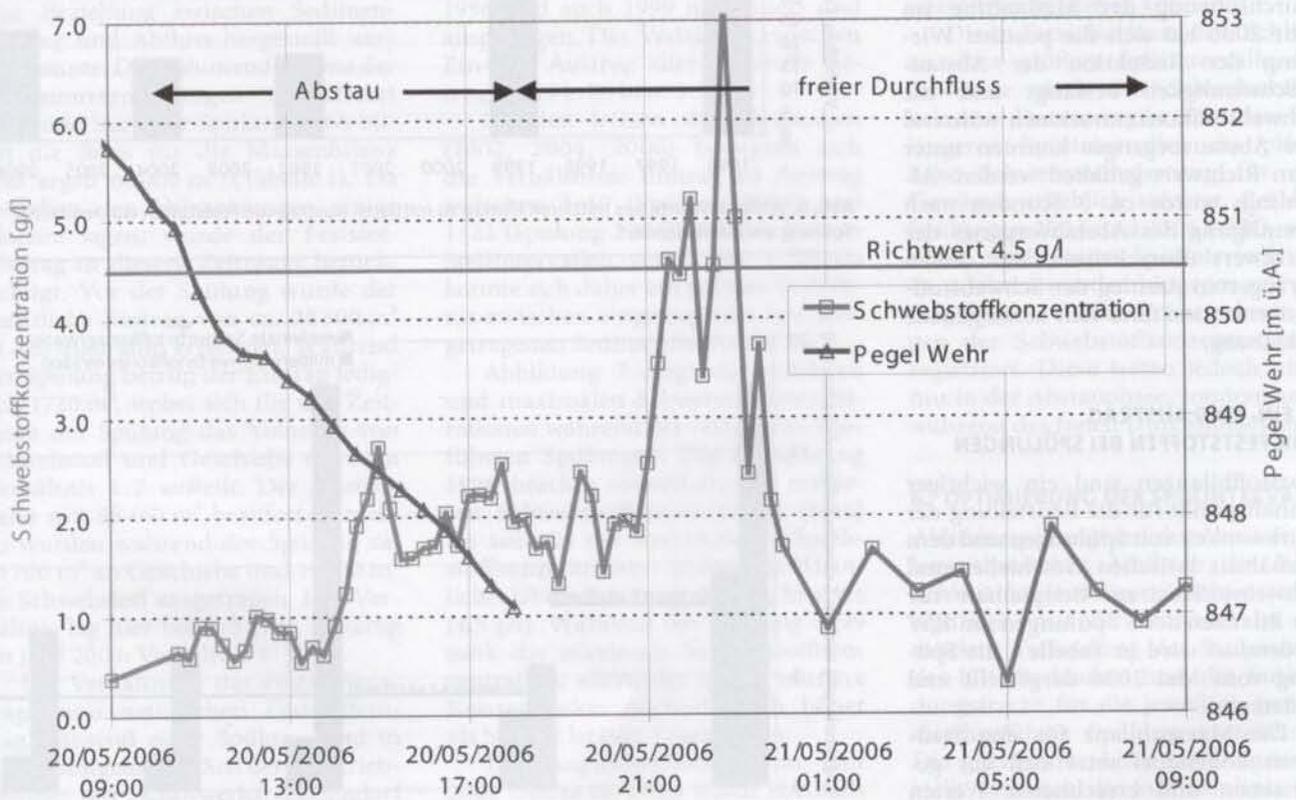


Abb. 5. Pegel Wehr Bodendorf und Schwebstoffkonzentrationen St. Georgen (2006), Reduktion der Abstaugeschwindigkeit nach Erreichen der Wasserspiegelhöhe 849,5 m ü.A.

Sedimente- und -austräge bilanziert und die Auswirkung der Maßnahmen auf den Feststofftransport genau dokumentiert werden.

Exemplarisch für die Messergebnisse werden in Abb. 4 und Abb. 5 die Schwebstoffkonzentrations-Messungen unterhalb des Kraftwerkes St. Georgen ob Murau mit dem Staupegel am Kraftwerk Bodendorf während der Spülungen im Jahr 2004 und 2006 verglichen. Während der Spülung im Jahr 2004 wurde der Abstauvorgang unterbrochen und ein kurzzeitiger Wiederaufstau eingeleitet, um die Schwebstoffkonzentration unter dem Richtwert von 4,5 g/l halten zu können. Nach dem Rückgang der Schwebstoffkonzentration (ca. 18:00 Uhr, Abb. 4) wurde vollständig abgestaut, wobei im Übergang zum freien Durchfluss der maximale Konzentrationswert erreicht wurde (ca. 22:00 Uhr).

Die Erfahrungen aus der Spülung im Jahr 2004 und den vorangegangenen Spülungen zeigten, dass die Schwebstoffkonzentration ab einer Wasserspiegelhöhe von ca. 849,5 m ü. A. ansteigt (Stauziel 853,0 m ü. A.). Für die Spülung im Jahr 2006 wurde daher eine Reduktion der Abstaugeschwindigkeit von 0,5 m/h auf 0,3 m/h ab einer Wasserspiegelhöhe 849,5 m ü. A. vorgeschlagen. Bei der Durchführung der Maßnahme im Jahr 2006 hat sich die positive Wirkung der Reduktion der Abstaugeschwindigkeit bestätigt und die Schwebstoffkonzentrationen während des Abstauvorganges konnten unter dem Richtwert gehalten werden. Allerdings wurde ca. 3 Stunden nach Beendigung des Abstauvorganges der Richtwert überschritten. Für diesen verzögerten Anstieg der Schwebstoffkonzentration fand sich keine genaue Erklärung.

**5. EIN- UND AUSTRAG VON FESTSTOFFEN BEI SPÜLUNGEN**

Feststoffbilanzen sind ein wichtiger Anhaltspunkt für die Beurteilung der Wirksamkeit von Spülungen und dem Verhältnis zwischen Geschiebe- und Schwebstoffaustrag. Beispielhaft für die Bilanzen der 5 Spülungen am KW Bodendorf wird in Tabelle 1 die Spülung vom Mai 2006 dargestellt und erläutert.

Die Massenbilanz für den Stauraum Bodendorf setzt sich aus gemessenen und errechneten Werten zusammen. Der Sedimenteintrag in den Stauraum vor und während der Spülung wurde mittels einer Trans-

Tabelle 1. Massenbilanz für die Spülung KW Bodendorf 2006

#	Position	Volumen [m³]	Ermittlungsmethode
1	Volumendiff. Vermessungen (19.10.2005-23.5.2006)	60.000	gemessen
2	Gesamteintrag vor der Spülung (19.10.2005-19.5.2006)	28.460	berechnet
3	Gesamteintrag während der Spülung (20.5.06-21.5.06)	1.720	berechnet
3a	Geschiebe	1.020	2-2b
3b	Schwebstoff	700	gemessen
4	Gesamtaustrag während der Spülung	88.460	5-3
4a	Geschiebe	73.720	4-4b
4b	Schwebstoff	14.740	gemessen
5	Austrag + Eintrag während der Spülung	90.180	1+2+3

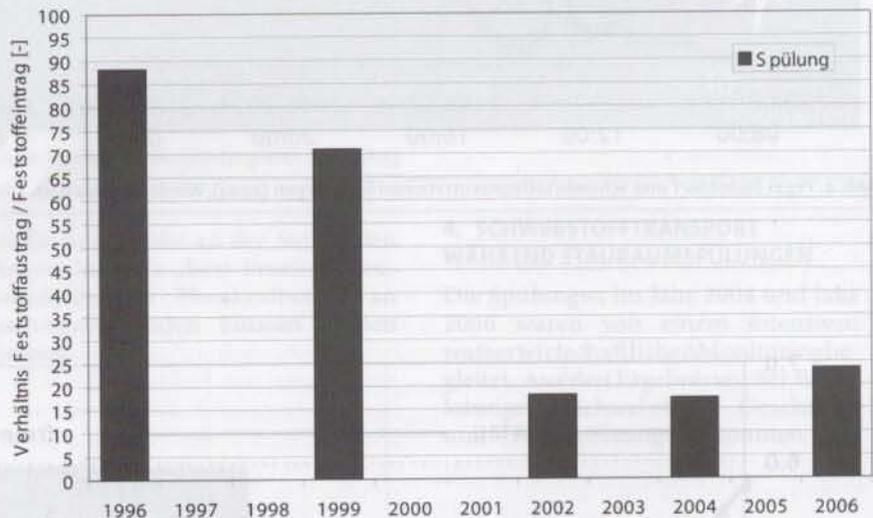


Abb. 6. Verhältniswerte aus mittleren Eintrag zu mittleren Austrag von Feststoffen während einer Spülung am KW Bodendorf

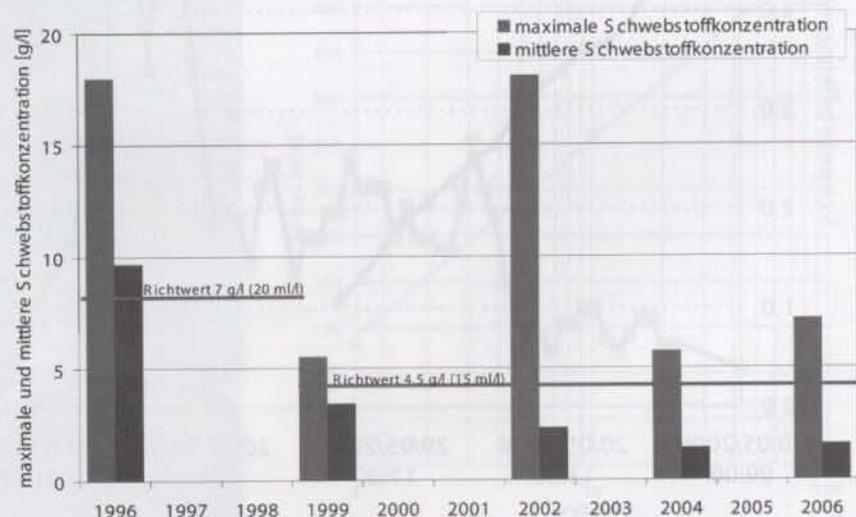


Abb. 7. Mittlere und maximale Schwebstoffkonzentrationen, Messstelle St. Georgen ob Murau

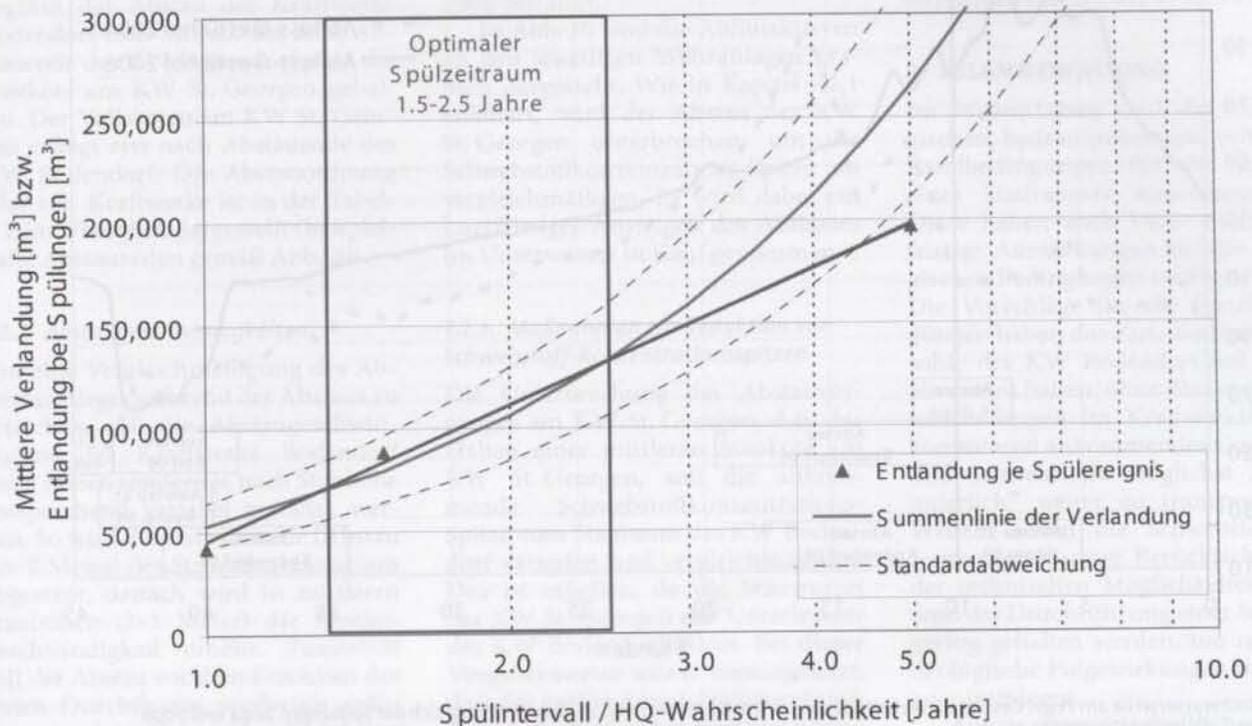


Abb. 8. Entlandungskapazität einer Spülung für den Stauraum des KW Bodendorf

portformel errechnet, bei der auf Basis von Stauraumvermessungen und Tagesmittelabflüssen der letzten 10 Jahre eine Beziehung zwischen Sedimenteintrag und Abfluss hergestellt werden konnte. Die Volumendifferenz der Stauraumvermessungen im Herbst 2005 und nach der Spülung 2006 bildet die Basis für die Massenbilanz und ergab  $60\,000\text{ m}^3$  (Tabelle 1). Da zwischen den Vermessungen einige Monate lagen, wurde der Feststoffeintrag in diesem Zeitraum berücksichtigt. Vor der Spülung wurde der natürliche Eintrag von ca.  $28\,500\text{ m}^3$  in den Stauraum errechnet. Während der Spülung betrug der Eintrag lediglich  $1720\text{ m}^3$ , wobei sich für den Zeitraum der Spülung das Volumen von Schwebstoff und Geschiebe etwa im Verhältnis 1:2 aufteilt. Der Austrag kann mit  $88\,460\text{ m}^3$  beziffert werden. So wurden während der Spülung ca.  $73\,700\text{ m}^3$  an Geschiebe und  $14\,700\text{ m}^3$  an Schwebstoff ausgetragen. Das Verhältnis lag hier bei 1:5 (vgl. Spülung im Jahr 2004; Verhältnis 1:3).

Die Verhältnisse des Feststoffauszugs zum natürlichen Feststoffeintrag während einer Spülung sind in Abb. 6 festgehalten. Seit der Inbetriebnahme des Kraftwerks Bodendorf bis zur ersten Spülung im Jahre 1996 sind 14 Jahre vergangen. Dementsprechend groß ist die Menge an Feinsedi-

menten, die sich im Laufe der Jahre im Stauraum absetzen konnten. Schluffe und Sande wurden in den Spülungen 1996 und auch 1999 mobilisiert und ausgetragen. Das Verhältnis zwischen Ein- und Austrag aller Feststoffe betrug dabei 1:86 bzw. 1:71.

Bei den letzten drei Spülungen (2002, 2004, 2006) bewegten sich die Verhältnisse Eintrag zu Austrag zwischen 1:19 (Spülung 2002) und 1:22 (Spülung 2006). Bei den kurzen Spülintervallen von 2 bis 3 Jahren konnte sich daher ein stabiles Verhältnis zwischen eingetragenen und ausgetragenen Sedimenten einstellen.

Abbildung 7 zeigt die mittleren und maximalen Schwebstoffkonzentrationen während der bisher durchgeführten Spülungen. Die Erstspülung 1996 brachte sowohl in der mittleren Schwebstoffkonzentration (blau) als auch in der maximalen Schwebstoffkonzentration (rot) eine deutliche Überschreitung des Richtwerts ( $4,5\text{ g/l}$ ). Während der Spülung 1999 sank die maximale Schwebstoffkonzentration, allerdings ist die mittlere Konzentration noch deutlich höher als bei den letzten 3 Spülungen.

Das Augusthochwasser im Jahr 2002 (Spitze ca. HQ<sub>3</sub>) wurde ebenfalls für eine Spülung genutzt. Es ist dabei deutlich zu erkennen, dass bei einem derart großen Hochwasser wie im

Jahr 2002 die mittlere Konzentration absinkt (Verdünnungseffekt), gleichzeitig jedoch deutliche Konzentrationsspitzen entstehen können.

Diese Tatsache lässt den Schluss zu, dass größere Spülintervalle das Gewässer stark mit Schwebstoffen belasten. Daraus ergibt sich, dass bei längeren Spülintervallen die plötzliche Schwebstoffbelastung für das Gewässer erheblich ansteigt. Bei den Spülungen 2004 und 2006 ( $\sim\text{HQ}$  und  $\sim\text{HQ}_{1,2}$ ) mit einem Spülintervall von ca. 2 Jahren wurden hingegen nur geringfügige Richtwertüberschreitungen der Schwebstoffkonzentrationen registriert. Diese traten jedoch nicht nur in der Abstauphase, sondern auch während des freien Durchflusses auf.

## 6. OPTIMIERUNG DER SPÜLINTERVALLE

Abbildung 8 zeigt auf der Abszisse im logarithmischen Maßstab die Jährlichkeit des jeweiligen Hochwasserereignisses. Auf der Ordinate ist die mittlere Verlandung des Stauraumes des KW Bodendorf bzw. die Entlandungsfracht für die jeweilige, bereits durchgeführte Spülung verzeichnet. Die gekrümmte Linie im Diagramm stellt demnach die Summenlinie der Verlandung dar, basierend auf einer durchschnittlichen Verlandungsfracht von  $53\,000\text{ m}^3$  pro Jahr. Die gerade

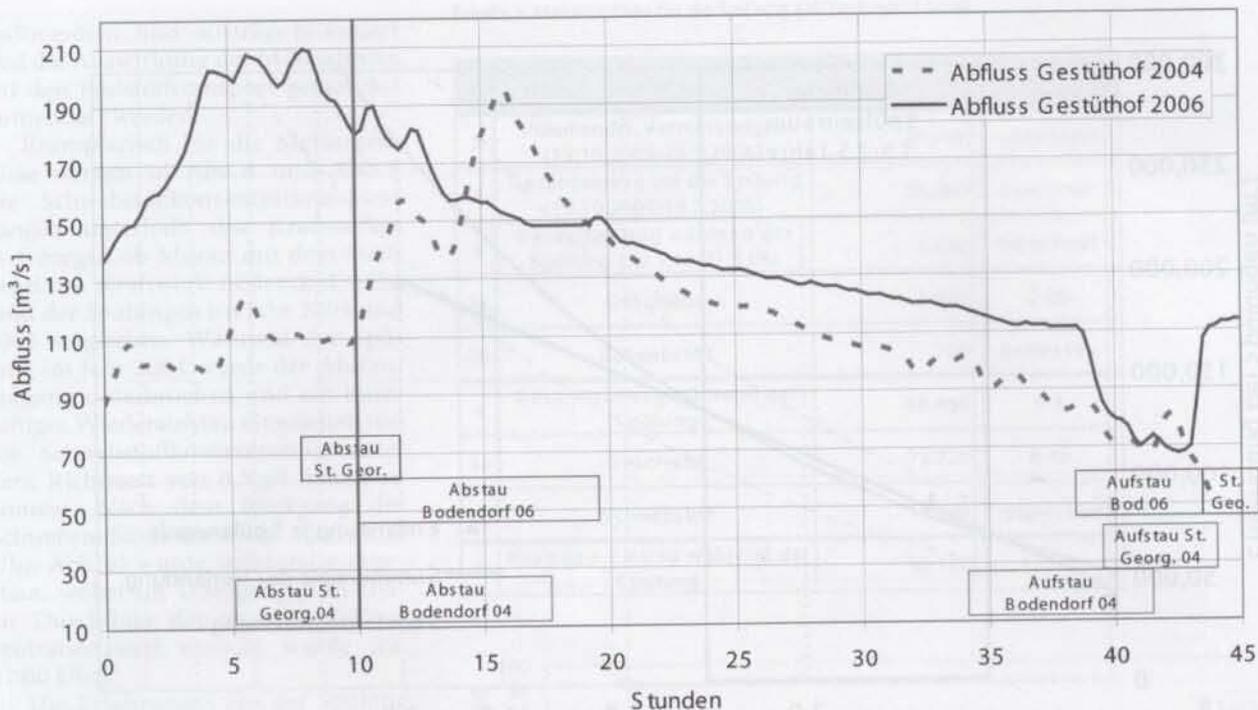


Abb. 9. Hochwasserwelle am Pegel Gestüthof: Wehrsteuerungen KW Bodendorf und St. Georgen, Vergleich der Spülungen 2004 und 2006 (Stunde 10 = Abstaubeginn KW Bodendorf)

Linie kennzeichnet die bei den jeweiligen Spülungen entlandeten Feststofffrachten.

Man erkennt, dass die beiden Kurven im Bereich einer Jährlichkeit von ca. 1,5 bis 2,5 Jahren einander gleichen. Zu groß gewählte Spülintervalle weisen eine hydrologische Unsicherheit auf, da das Auftreten von Hochwässern statistischen Charakter hat. Bei großen Intervallen sind überdurchschnittlich hohe Abflussmengen notwendig, um das abgelagerte Material im Stauraum abspülen zu können. Gleichzeitig werden aber hohe Geschiebemengen aus dem Oberwasser eingetragen, die ebenfalls durch den Stauraum transportiert werden müssen. Zwangsläufig können daher auch große Hochwässer die angelandete Feststoffmenge nur bei Spülintervallen zwischen 1,5 und 2,5 Jahren effektiv abtransportieren.

Im Gegensatz dazu stehen zu kurz gewählte Spülintervalle. Um ein kurzes Spülintervall aufrecht zu erhalten, können meist nur kleinere Hochwässer (~HQ) zur Spülung herangezogen werden, die aber gleichzeitig eine zu geringe Geschiebetransportkapazität aufweisen und daher den Spülerfolg nicht gewährleisten können.

Der „optimale Spülzeitraum“ wird demnach durch den Bereich, wo die Summenlinie der Verlandung unterhalb der Kapazitätskurve der Ent-

landung liegt, definiert. Dies gilt lt. Abb. 8 für einen Zeitraum von 1,5 bis 2,5 Jahren.

## 7. OPTIMIERUNG DER ABSTAU-VORGÄNGE DER KRAFTWERKE

Das Thema der Vergleichsmäßigung der Hochwasserwelle während des Abstaus wurde mit Naturmessungen überprüft. Zusätzlich wurde mit dem instationären, hydraulischen Rechenmodell HEC-RAS der Abstauvorgang der Kraftwerke optimiert (DORFMANN, 2006). Bei den Berechnungen wurden als Parameter die stehende und fließende Retention, die Abstaugeschwindigkeiten und die Abstaurihenfolge der vier beteiligten Kraftwerke auf die Hochwasserwelle berücksichtigt. Die Berechnungen zielten nicht nur auf eine Vergleichsmäßigung der abgegebenen Wassermenge, sondern auch auf eine Reduktion der Schwebstoff-Konzentrationspitzen während des Abstauvorganges des KW Bodendorf ab. Die Ergebnisse der Naturmessungen und die der Berechnungen werden hier dargestellt und sollen in weiterer Folge in dem neuen Wasserrechtsbescheid für die Spülungen an der Oberen Mur einfließen.

## 7.1. Naturmessungen

Während der Spülung 2006 wurde an den Kraftwerken Bodendorf und St. Georgen gegenüber den vorhergehenden Spülungen die Abstauordnung geändert. Der wesentliche Unterschied war die Überschneidung des Abstaus von Bodendorf mit dem Abstau vom KW St. Georgen von 2,5 Stunden. Die Überschneidung sollte verhindern, dass es zu einem Sunk während des Abstaus der beiden Kraftwerke und damit zu einer negativen Beeinflussung der Fließgewässerbiozönose kommt.

In Abb. 9 ist die zeitliche Überlagerung zwischen dem Abstau des KW St. Georgen und dem KW Bodendorf im Jahr 2006 ersichtlich. Diese neue Regelung erbrachte eine Vergleichsmäßigung des Abflussanstieges während des Abstaus und in Summe eine Verkürzung der Abstauzeiten der Kraftwerke Bodendorf und St. Georgen.

## 7.2. Berechnungen

### 7.2.1. Abstauordnung und Abstauzeiten

Die Berechnungen ergaben, dass der Abstau zeitgleich beim KW St. Georgen und KW Unzmarkt-Frauenburg beginnen soll. Der Stauraum des KW Unzmarkt-Frauenburg wird innerhalb von 8 Stunden entleert. Nach 2 Stunden wird der Abstauvorgang am KW

St. Georgen unterbrochen. Dann beginnt der Abstau der Kraftwerke Bodendorf und Murau. Bis zum Abstauen des KW Bodendorf wird die Staukote am KW St. Georgen gehalten. Der Vollabstau am KW St. Georgen erfolgt erst nach Abstauen des KW Bodendorf. Die Abstauordnung aller vier Kraftwerke ist in der Tabelle 2 im Überblick dargestellt (beispielhafte Abstauzeiten gemäß Abb. 10).

### 7.2.2. Abstaugeschwindigkeiten

Um eine Vergleichmäßigung des Abflussanstieges während des Abstaus zu erreichen, soll die Abstaugeschwindigkeit des Kraftwerks Bodendorf nicht linear, sondern je nach Stauhöhe entsprechend variabel gestaltet werden. So wird die erste Lamelle (Abstau um 2 Meter) des Stauraumes langsam abgestaut, danach wird in mittleren Stauhöhen (2–3 Meter) die Abstaugeschwindigkeit erhöht. Zusätzlich soll der Abstau vor dem Erreichen des freien Durchflusses wiederum reduziert werden. Neben der Reduktion des Schalles durch diese Maßnahme kann auch mit einer Vergleichmäßigung des Schwebstofftransportes (geringere Konzentrationsspitzen) gerechnet werden. Diese optimierte Vorgehensweise wurde durch die Na-

turmessungen während der Spülung 2006 bestätigt.

In Abb. 10 sind die Abflusskurven an den jeweiligen Wehranlagen grafisch dargestellt. Wie in Kapitel 7.2.1 erläutert, wird der Abstau des KW St. Georgen unterbrochen, um die Schwebstoffkonzentrations-Spitze zu vergleichmäßigen. Es wird dabei ein kurzfristiges Ansteigen des Abflusses im Unterwasser in Kauf genommen.

### 7.2.3. Maßnahmen zur Reduktion von Schwebstoff-Konzentrationsspitzen

Die Unterbrechung des Abstauvorganges am KW St. Georgen, d.h. das Halten einer mittleren Staukote am KW St. Georgen, soll die ankommende Schwebstoffkonzentrations-Spitze vom Stauraum des KW Bodendorf dämpfen und vergleichmäßigen. Das ist möglich, da die Stauwurzel des KW St. Georgen das Unterwasser des KW Bodendorf bildet. Bei dieser Vorgehensweise wurde vorausgesetzt, dass der größte Anteil des Schwebstoffes mit der fließenden Welle transportiert wird.

Wie in Abb. 5 ersichtlich, kann durch eine Drosselung der Abstaugeschwindigkeit am KW Bodendorf ebenfalls die Schwebstoffkonzentrations-Spitze verringert werden, ohne

dabei den Geschiebetransport zu unterbrechen (BADURA et al., 2006).

## 8. ZUSAMMENFASSUNG

Im Wesentlichen sind die hydrologischen, hydraulischen und zeitlichen Randbedingungen für die Spülung eines Stauraumes ausschlaggebend. Diese haben auch kurz- bis mittelfristige Auswirkungen auf die ökologischen Bedingungen im Flusssystem. Die Vorschläge für die Randbedingungen haben das Ziel, die Stauraumsohle des KW Bodendorf auf einem Niveau zu halten, ohne dass es zu Einschränkungen im Kraftwerksbetrieb kommt und ankommendes Geschiebe und Schwebstoffe möglichst „kontinuierlich“ weiter zu transportieren. Weiters sollen die Schwebstoffkonzentrationen unter Berücksichtigung der technischen Möglichkeiten während der Durchführung einer Spülung gering gehalten werden, um negative ökologische Folgewirkungen im Fluss zu minimieren.

Aus wasserwirtschaftlicher Sicht haben sich fünf wesentliche Parameter ergeben, die für eine Optimierung des Spülintervalls und der Abstaueregulungen für die Kraftwerke herangezogen werden können:

- Auftretswahrscheinlichkeit und Dauer von Hochwasserereignissen,
- Eintrag in den Stauraum, jährliche Betrachtung,
- Austrag bei einer Spülung in Abhängigkeit des genutzten Hochwassers,
- Hydraulische Situation im Stauraum,
- Auftretende Schwebstoffkonzentration im Unterwasser in der Spitze und im Mittel.

Um die o.a. Punkte für die Obere Mur zu erfüllen, ergibt sich aus den Auswertungen und der Interpretation der Messungen und Berechnungen ein regelmäßiges Spülintervall von 1–2 Kalenderjahren. Damit wird verhindert, dass sich Feinsedimente im Stauraum ablagern, die bei einer Spülung zu übermäßig erhöhten Schwebstoffkonzentrationen in der Mur führen würden. Abgelagertes Geschiebe im Stauwurzelbereich kann leichter weitertransportiert werden. Weiters wird eine Staulegung jedenfalls ab einem  $HQ_5$  empfohlen, damit massive Anlandungen von Geschiebe an der Stauwurzel verhindert werden bzw. das Geschiebe ungehindert ins Unterwasser befördert werden kann.

Tabelle 2. Abstauordnung und Abstauzeiten (beispielhafte Darstellung der Uhrzeiten)

Kraftwerk	Entfernung zum KW Bodendorf [Fkm]	Abstaubeginn [Uhr]	Abstauende [Uhr]	Abstauzeit [h]
Bodendorf	0	10:00	20:00	10
St. Georgen	2	07:00 / 20:00	22:00	2+2
Murau	10,5	10:00	12:00	2
Unzmarkt	39	7:00	15:00	8

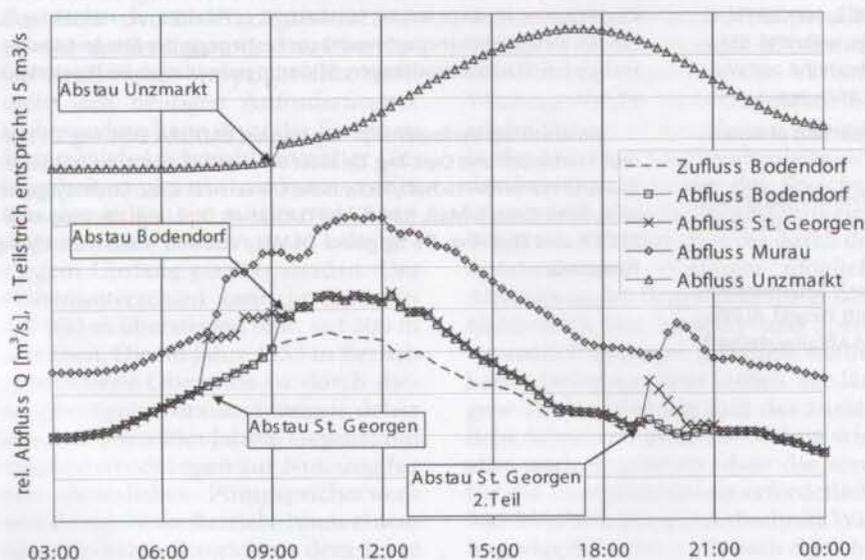


Abb. 10. Beispielhafte Abflussganglinien an den Wehren beim Abstau

Tabelle 3. Spülintervalle, deren technische Umsetzung und Vor- bzw. Nachteile

Spülintervall	1 Jahr	2 Jahre	5 Jahre	>=10 Jahre
Spüldauer	2 Tage	2 Tage	>2 Tage	> 2 Tage
Mindestabfluss	80 m <sup>3</sup> /s	90 m <sup>3</sup> /s	130 m <sup>3</sup> /s	130 m <sup>3</sup> /s
Vollabstau nach Prognose von Q	130 m <sup>3</sup> /s	180 m <sup>3</sup> /s	300 m <sup>3</sup> /s	360 m <sup>3</sup> /s
Spüldauer	2 Tage, nur unter Einhaltung des Mindestabflusses von 80	2 Tage, nur unter Einhaltung des Mindestabflusses von 90	Spüldauer kann eingehalten werden.	Spüldauer kann eingehalten werden.
Hydrologie / Statistik	Auftreten des Ereignisses ist gesichert.	Auftreten eines Ereignisses alle 2 Jahre ist nur bedingt gesichert.	Auftreten eines Ereignisses alle 5 Jahre ist nicht gesichert.	Auftreten eines Ereignisses alle 10 Jahre ist nicht gesichert.
Richtwert für die Schwebstoffkonzentration	Richtwert kann eingehalten werden.	Richtwert kann eingehalten werden.	Richtwert wird in der Spitze überschritten.	Richtwert wird in Spitze und Mittel überschritten.
Geschiebe	Das angelandete Geschiebe kann entlandet werden.	Das angelandete Geschiebe kann entlandet werden.	Erreichen der Ausgangssohle vor 5 Jahren nicht möglich.	Teilweise Entlandung im Stauraum, Verlandung der Stauwurzel

Um nachhaltig die Sedimentbewirtschaftung der Stauräume und damit auch der gesamten Oberen Mur vom KW Bodendorf bis zur Stauwurzel des KW Judenburg sicherzustellen, wird in der Tabelle 3 eine Übersicht der Ergebnisse bei unterschiedlichen Spülintervallen präsentiert. Es werden die Auswirkungen auf die Spülung sowie dessen Vor- und Nachteile aus technischer Sicht beschrieben.

Die Auswertungen der hydraulischen Berechnungen und der Messergebnisse zeigen, dass die über zwei Jahre eingetragene Feststofffracht mittels eines Hochwassers mit einer Spitze von ca. 180 m<sup>3</sup>/s unter Beibehaltung einer Spüldauer von zwei Tagen wieder ausgebracht werden kann.

Bereits ein 3-jährliches Spülintervall würde eine zunehmende Verlandung des Stauraumes Bodendorf bedeuten. Unter Berücksichtigung des Mindestabflusses (KNOBLAUCH et al., 2006) und den Auswertungen der Abflusszeitreihe der letzten 35 Jahre ist dieser Ansatz als realistisch und technisch umsetzbar einzuschätzen.

Die negativen, ökologischen Folgen hoher Schwebstoffkonzentrationen im Fall einer Spülung kann ebenfalls durch ein kurzes, regelmäßiges Spülintervall minimiert werden. Kurze Konzentrationsspitzen können durch eine gezielte Abstauregelung und durch eine nicht lineare Abstaugeschwindigkeit an den Wehren vermieden werden.

Die Messungen während der letzten fünf Spülungen, insbesondere aber die intensiven Messkampagnen der letzten drei Jahre im Rahmen des EU Interreg IIIB Projekt ALPRESERV, ergeben eine umfangreiche Datenbasis über den Feststoffhaushalt der Oberen Mur. Die in diesem Artikel beschriebenen Messungen und Berechnungen sind Teil eines wasserwirtschaftlich – ökologischen Gesamtkonzepts, das letztendlich in eine optimierte Sedimentbewirtschaftung der Oberen Mur einfließen soll und, mit Adaptierungen versehen, auch auf andere, geschiebeführende Flüsse mit Kraftwerksbetrieb angewendet werden könnten.

LITERATUR

BADURA, H., LARSEN, O., KNOBLAUCH, H., SCHNEIDER, J., HEIGERTH, G. (2006): Numerische Simulation des Abstauvorgangs während Stauraumspülungen am Beispiel der Oberen Mur. Schriftenreihe zur Wasserwirtschaft der Technischen Universität Graz, Band 46/1: 349.

BRUNE, G. M. (1953): Trap efficiency of reservoirs. Transaction of American Geophysical Union 34 (3): 407–418.

DORFMANN, C. (2006): Optimierung der Ab- und Aufstauvorgänge bei Stauraumspülungen an der Oberen Mur. Diplomarbeit an der Technischen Universität Graz.

KNOBLAUCH, H., HARTMANN, S., DECESARE, G. (2005): Sedimentmanagement an alpinen Speichern – Das EU-Interreg IIIB Projekt ALPRESERV. Schriftenreihe der Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaft 11–12: 185–190.

KNOBLAUCH, H., BADURA, H., SCHNEIDER, J., PICHLER, W., HEIGERTH, G. (2006): Geschiebetransportmodell zur Festlegung der Mindestwassermenge bei Stauraumspülungen. Strömungssimulation im Wasserbau: 97–104.

Anschrift der Verfasser: Dipl.-Ing Hannes BADURA, Dipl.-Ing. Dr. Helmut Knoblauch und Dipl.-Ing. Dr. Josef SCHNEIDER, Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Technische Universität Graz, Stremayrgasse 10/II, 8010 Graz, E-Mail: h.badura@TUGraz.at. Dipl.-Ing. Herfried HARREITER und Dipl.-Ing. Dr. Siegfried DEMEL, Verbund – Austrian Hydro Power AG.