

**Zeitschrift:** Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria  
**Band:** 97 (2005)  
**Heft:** 1-2

**Artikel:** Abspülen von Geschwemmselteppichen : Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit von Stahlwasserbauten  
**Autor:** Kälin, Roland / Ballini, David / Meier, Jürg  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-941712>

### **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:** 19.11.2024

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

# Abspülen von Geschwemmsteppichen: Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit von Stahlwasserbauten

■ Roland Kälin, David Ballini, Jürg Meier

## Einleitung

Bei Hochwasser können vor dem Einlaufrechen gewaltige Mengen an Geschwemmsteppich anfallen. Das Entfernen des Geschwemmsteppichs mittels Rechenreinigungsmaschine ist aufgrund der immensen Materialmengen nicht immer möglich und effizient. Eine technisch praktikable Lösung bei dieser Überlastsituation besteht darin, den Geschwemmsteppich über die Wehranlage abzuschwemmen.

In Anbetracht der grossen Geschwemmsteppichmengen, der Grösse und des Gewichts der einzelnen Treibgutstücke (Baumstämme, Wurzelstöcke und massives Astwerk) stellt sich die Frage der Zulässigkeit des Abspülens. Liegen die auftretenden Belastungen und die möglichen Risiken in einem zu vertretenden Bereich?

Aufgrund dieser Fragestellungen sind die Tragsicherheit und die Gebrauchstauglichkeit folgender Elemente zu prüfen:

- Schützenanlagen (Segment, Aufsatzklappe)
- Einlaufrechen
- Rechenreinigungsmaschine

Recherchen in Normen, insbesondere der DIN 19704 (Stahlwasserbauten), ergaben jedoch, dass Einwirkungen durch Geschwemmsteppich dort nicht festgehalten sind. Vergleiche mit Eisauflast und Eisdruck können nur bedingt gemacht werden, da die Gefährdungsbilder anders sind.

Eine Möglichkeit, diesen Belastungsfall zu erfassen und zu bewerten, besteht in der Definition eines Normbaumstammes. Da-

durch wird dem Geschwemmsteppich ein Charakter verliehen, welcher für die Überprüfung der Bemessung und der weiteren Annahmen als richtungweisend gelten soll.

Folgender Normbaumstamm wurde definiert:

Baum:  $\varnothing = 0,5 \text{ m}$   
 $L = 5,8 \text{ m}$   
 $\rho_{\text{Holz}} = 900 \text{ kgm}^{-3}$

Daraus ergibt sich eine Masse  $m_{\text{Baum}} = 1025 \text{ kg}$  oder eine Gewichtskraft von rund  $F_{\text{Baum}} = 10 \text{ kN}$ .

Vereinfacht kann bei den Berechnungen immer von einem Stoss normal zum Blechfeld ausgegangen werden. Des Weiteren wird angenommen, dass das Geschwemmsteppich dieselbe Geschwindigkeit aufweist wie das Wasser.

Für Geschwindigkeit, Richtung und Aufprallfläche sollen Einflussfaktoren bestimmt werden. Mit den Einflussfaktoren ist es möglich, individuell für jeden Belastungsfall die tatsächlich mögliche Beanspruchung zu ermitteln.

## Tragsicherheit

Die folgenden Formeln dienen zur Überprüfung der Einwirkungen auf Schützenanlagen. Sie wurden im konkreten Fall am Kraftwerk Ruppoldingen angewendet.

## Formeln für elastischen Fall

Die Deformation der Platte wird vereinfachend kreisrund angenommen, weshalb das betroffene Blechfeld näherungsweise als kreisförmig und fest eingespannt betrachtet wird.

$$F_{\text{max}} = \frac{\sigma_s 2m\pi s^2}{3} \left[ (m+1) \log \frac{a}{r_0} + (m+1) \frac{r_0^2}{4a^2} \right]^{-1} \text{ max. zul. Kraft [N]}$$

$$k = \frac{4\pi E m^2 s^3}{3(m^2 - 1)a^2} \text{ Federkonstante [N/mm]}$$

$$E_{\text{el}} = \frac{F_{\text{max}}^2}{2k} \text{ Energie elastischer Fall [Nm]}$$

$$M = \frac{2E_{\text{el}}}{v^2} \text{ Masse Baumstamm [kg]}$$

- $\sigma_s$  Streckgrenze
- $r_0$  Radius der Lastverteilung
- $E$  E-Modul
- $1/m$  Querkontraktionszahl
- $s$  Blechdicke
- $a$  Radius des Blechfeldes
- $k$  Federkonstante
- $v$  Strömungsgeschwindigkeit

## Formeln für plastische Verformung

$$s = \sqrt{\frac{E_{\text{zug}}}{\pi \sigma_s \Delta p_m} - \frac{5 \Delta p_m^2}{36}}$$

$$\text{Gültigkeit: } \Delta p_m < 1,3 \left( \frac{E_{\text{zug}}}{\sigma_s} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$E_{\text{zug}} = \frac{1}{2} m v^2$$

$$\rightarrow M = \frac{2\pi \sigma_s \Delta p_m [36s^2 + 5\Delta p_m^2]}{36v^2}$$

$$\text{Gültigkeit: } \Delta p_m < 1,3 \left( \frac{E_{\text{zug}}}{\sigma_s} \right)^{\frac{1}{3}}$$

- $\Delta p_m$  Maximale plastische Deformation
- $E_{\text{zug}}$  zugeführte Energie (mgh)
- $m$  Masse

## Werkstoff

Die vom Hersteller verwendete Stahlqualität für die Segmente ist durchgehend S355NL:

- $\sigma_s = 350 \text{ Nmm}^{-2}$
- $\sigma_s \text{ Typenwert} = 380 \text{ Nmm}^{-2}$



Bild 1. Geschwemmsteppich vor Einlaufrechen.



Bild 2. Überforderte Rechenreinigungsmaschine.



Bild 3. Geschwemmsteppich treibt in Richtung Grundablass.

## Strömungsgeschwindigkeit über der Aufsatzklappe

$$v = \frac{2}{3} \mu \sqrt{2g h \bar{u}}$$

$\mu$  0,65...0,73

$h \bar{u}$  Überfallhöhe

## Strömungsgeschwindigkeit unter dem Segment

Eine erste Näherungsformel lautet:

$$v = \sqrt{2gH}$$

Eine genauere Berechnung erfolgt durch die Formeln und Daten, welche bei der Auslegung des Stauwehrs bereits durch den Hersteller verwendet wurden. In der unten stehenden Formel ist die Abflussmenge in Abhängigkeit der Segmentöffnung beschrieben. Somit kann die Strömungsgeschwindigkeit an der Segmentunterkante bestimmt werden.

$$v = \xi \cdot \mu \cdot \sqrt{2gH}$$

wobei:  $\xi = A + B(a - D) + C(a - D)^4$

$\mu$  0,75

$\xi$  A = 0,97, B = 0,025, C = 0,0035,  
D = 2,75

a 1,80 m und 3,20 m  
(Hubhöhe Segment)

$H_{200m^3/s}$  398,4 - (391,2 + 3,20) = 4,0 m

## Geschwemmselgeschwindigkeit aufgrund des Auftaucheffektes

Das Geschwemmsel wird über die Aufsatzklappe gespült, fällt in das Tosbecken und taucht wieder aus dem Wasser auf. Dabei besteht die Möglichkeit, dass das auftauchende Holz von hinten an das Segment geschleudert wird.

$$a = \frac{\rho_{\text{Wasser}} - \rho_{\text{Holz}}}{\rho_{\text{Holz}}} \cdot g$$

$$v = \sqrt{2 a h}$$

h Wassertiefe

a Beschleunigung Baumstamm

Das  $\rho_{\text{Holz}}$  entspricht mit 900 kgm<sup>-3</sup> konsequenterweise den bisherigen Annahmen.

## Resultate des Beispiels Stahlwasserbau Ruppoldingen

Die unten angegebenen Werte sind mit dem «worst-case» berechnet worden, das heisst, der Radius der Lastverteilung beim Aufprall ist sehr klein gewählt worden. Ebenfalls wurde mit der für die Wehranlage maximal möglichen Fliessgeschwindigkeit gerechnet. Die Dichte des Holzes ist mit 900 kg/m<sup>3</sup> ebenfalls absichtlich hoch gewählt worden. Faktoren wie geringere Fliessgeschwindigkeit, schräger Aufprallwinkel und grössere Aufprallfläche wurden noch nicht berücksichtigt. Die Resultate sind in Tabelle 1 kurz zusammengefasst.

	Maximale Masse des Baumstammes ohne plastische Verformung	Maximale plastische Verformung des Elementes mit def. Masse von 1025 [kg]
	[kg]	[mm]
Aufsatzklappe	497	4
Segmentverschluss (oberwasserseitig)	13,3	44
Segmentkasten (unterwasserseitig)	29,3	28
Seitenschild	76	19

Tabelle 1. Plastische Verformungen Wehr Ruppoldingen ohne Einflussfaktoren.

	Geschwindigkeit	Richtung	Aufprallfläche	Maximale Masse des Baumstammes ohne plastische Verformung, ohne Einflussfaktoren	Maximale Masse des Baumstammes ohne plastische Verformung	Maximale plastische Verformung des Elementes mit def. Masse von 1025 [kg]
				[kg]	[kg]	[mm]
Aufsatzklappe	1,2	1,5	2	497	1790	1
Segmentverschluss (oberwasserseitig)	1,2	1,5	2	13,3	48	12
Segmentkasten (unterwasserseitig)	1,8	1,5	2	29,3	159	5
Seitenschild	1,8	2	2	76	548	3

Tabelle 2. Plastische Verformungen Wehr Ruppoldingen auch mit Einflussfaktoren.

## Nachweis möglich

Mit den oben erwähnten Formeln ist also ein Nachweis möglich. Nun gilt es abzuschätzen, wie stark die Einflussfaktoren zu gewichten sind.

Unter Berücksichtigung der in Tabelle 2 gewählten Einflussfaktoren, kann davon ausgegangen werden, dass an der Aufsatzklappe keine plastischen Verformungen auftreten werden. Allfällige Stösse werden elastisch absorbiert. Beschädigungen am Rostschutzanstrich können nicht grundsätzlich ausgeschlossen werden.

Ebenfalls kann die Dichtung zwischen Aufsatzklappe und Segment durch das aufprallende Geschwemmsel beschädigt werden. Vor allem bei umgelegter Aufsatzklappe liegt die Dichtung exponiert.

Am oberwasserseitigen Segmentverschluss können beim Abspülen von Geschwemmsel kleine plastische Deformationen auftreten, was aber bis anhin in der Praxis noch nie beobachtet wurde.

Die Segmentverschlüsse halten also der zusätzlichen Einwirkung «Geschwemmsel» stand.

## Gebrauchstauglichkeit

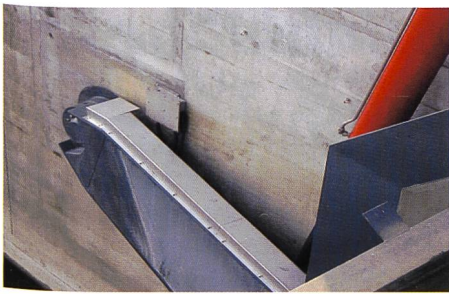
### Schützenanlage

- Die hydraulische Leitungsführung und elektrische Verkabelung der Segmente ist bei dieser Anlage gut geschätzt angeordnet worden. Die Leitungsführung wurde

möglichst von oben ausgeführt, sodass sie nicht mit dem strömenden Wasser in Berührung kommen kann. Einzig die Kabelführung für den Zylinder der Aufsatzklappe und die Heizung der Seitenschilder kann bei hohem Unterwasserpegel mit Wasser in Kontakt kommen. Diese Schläuche/Verkabelungen werden im Bereich des Drehlagers der Stützarme zum Segment geführt (Bild 4).

Alle Schläuche und Kabel werden im gefährdeten Bereich durch rostfreie Abdeckungen geschützt. Auch wurde von unten ein Blech an den Stützarm montiert, um die Verschlauchung bei angehobenem Segment vor Geschwemmsel zu schützen. Ein noch höherer Schutz wäre durch die Führung der Kabel direkt im Stützarm gegeben.

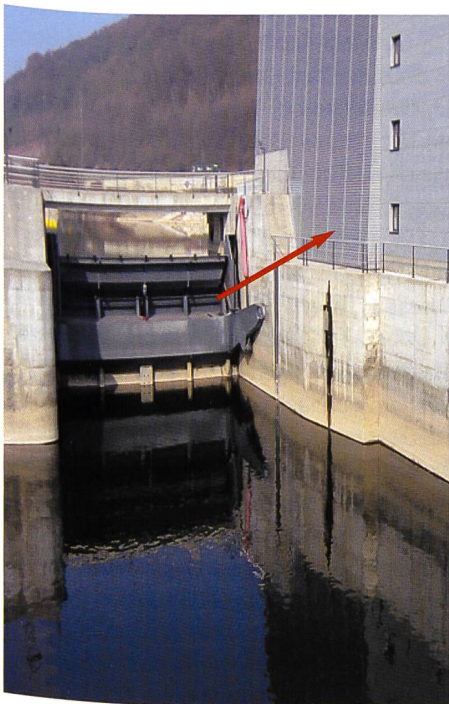
- Die Hydraulik für die Aufsatzklappe ist gut geschützt.
- Bis anhin konnten Verklausungen immer mit den vorhandenen Einwirkungen gelöst werden. Dies bedingt aber genügend Wasser im Oberlauf der Aare. Sollte der Wasserdruck nicht ausreichen, um eine Verklausung zu lösen, müssen andere Lösungen gefunden werden. Es empfiehlt sich diesbezüglich, auch das Segment nicht vollständig zu öffnen, damit eine allfällige Verklausung durch weiteres Öffnen gelöst werden kann. Durch das Lösen der Verklausung sollte keine zusätzliche Belastung für die Wehranlage entstehen.



**Bild 4. Verkabelung für Seitenschildheizung und Verschlauchung für Aufsatzklappenzylinder.**



**Bild 5. Verklauung bei Segment.**



**Bild 6. Fassade, welche durch Geschwemmsele beschädigt wurde.**

- Die Erfahrung hat gezeigt, dass beim Abspülen des Geschwemmseles das Betriebspersonal und Drittpersonen gefährdet werden können. Sowohl der Bereich auf der Brücke, also über den Segmenten, als auch der Bereich unterhalb des geöffneten Segments ist durch das Geschwemmsele gefährdet. Im Bereich des Segments kann ein Geschwemmsele durch das abfliessende Wasser aufgerichtet werden und Personen, welche sich im Bereich des Geländers aufhalten, gefährden. Dies ist auf Bild 5 fotografisch festgehalten. Nach dem Unterqueren des Segmentverschlusses fliessen das Wasser und das Geschwemmsele mit hoher Geschwindigkeit in den Unterlauf. Aufgrund der starken Strömung kann es durchaus vorkommen, dass das Geschwemmsele aus dem Wasser in die Luft katapultiert wird. Auf Bild 6 ist die Fassade zu sehen, welche während des Abschwemmvorganges durch einen Baumstamm beschädigt wurde. Dieser ist durch das Geländer hindurch in die Fassade geschleudert worden.
- Das Wehr, durch welches das Geschwemmsele abgespült wird, ist weiträumig abzusperren. Dadurch kann die Unfallgefahr für das Betriebspersonal verringert werden. Insbesondere ist auch darauf zu achten, dass Passanten das Kraftwerksgelände nicht betreten können. Nur so kann ein unfallfreier Betrieb sichergestellt werden.

#### Einlaufrechen

Bei der Notabschaltung der Turbinen wird der Leitapparat geschlossen. Dadurch baut sich ein Druckstoss auf. Dieser entsteht, wenn die bewegte Wassersäule ( $\text{Masse} \times \text{Geschwindigkeit} = \text{Impuls}$ ) verzögert wird. Je schneller geschlossen wird, desto grösser wird der Druckstoss. In unserem Fall wird der Leitapparat innerhalb von 20 Sekunden geschlossen.

Zu überprüfen war, ob der Rechen und dessen Befestigung den entstehenden Druckstössen entgegen der normalen Strömungsrichtung bei Verstopfung gewachsen sind. Der Rechen hält den Belastungen, welche durch die Notabschaltung entstehen, stand. Dies gilt auch, wenn der Rechen teilweise mit Geschwemmsele verstopft sein sollte.

#### Rechenreinigungsanlage

Der enorme Geschwemmselefall im Sommer 2002 hat die Grenzen der Rechenreinigungsmaschine erbarmungslos aufgezeigt. Die Probleme sind zum Teil konzeptbedingt, teilweise aber auch gegeben durch die Konstruktion. Der Greifer taucht nur durch sein Ei-

gengewicht ins Wasser ein. Wenn sich nun viel und vor allem grösseres Geschwemmsele vor dem Rechen anstaut, bleibt der Greifer auf dem Geschwemmsele liegen. Ebenfalls kann er nicht weit genug geöffnet werden, um grosse Treibgutstücke aufnehmen zu können.

Der zur Rechenreinigungsmaschine gehörende Kranarm ist zu kurz und ist mit dem zurzeit montierten Greifer nicht geeignet, um dicke Baumstämme zu greifen.

Mittels einer sauberen Konzeption und durchdachten Logistik zum Abführen der Baumstämme könnten hohe Geschwemmseleanhäufungen besser bewältigt werden.

Entsprechende Grundlagendaten für eine nachhaltige Projektierung und einen kostengünstigen Betrieb sind Gegenstand einer weiteren Untersuchung, die am Sitec läuft.

Anschrift der Verfasser

Roland Kälin, Masch.-Ing. FH

David Ballini, Masch.-Ing. FH

Prof. Jürg Meier, Masch.-Ing. ETH

HSR, Hochschule für Technik Rapperswil, Institut für Anlagen- und Sicherheitstechnik Sitec, Oberseestrasse 10, CH-8640 Rapperswil.