Rechnerische Simulation von Abflüssen in Kanälen

Autor(en): **Naef, Otto**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **105 (1987)**

Heft 17

PDF erstellt am: **01.06.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-76574

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Rechnerische Simulation von Abflüssen in Kanälen

Von Otto Naef, Baden

Bei einem Flusskraftwerk mit einer Ausbauwassermenge von 380 m³/s sollte abgeklärt werden, welche Schwallhöhen im Bereich des Oberwasserkanals bei komplettem Lastabwurf mit den aktuellen Einrichtungen und Betriebsvorschriften maximal erreicht werden, und welche baulichen sowie betrieblichen Massnahmen diese Schwallwellen gegebenenfalls reduzieren könnten. Als bauliche Massnahme kam vor allem die Möglichkeit des Umbaus einer bestehenden Kahn- oder Bootsschleuse beim Kraftwerk in Frage.

Allgemeine Gesichtspunkte

Änderungen der gewohnten Abflussverhältnisse in Kanälen z. B. von Flusskraftwerken können mannigfache Gründe haben:

- Änderung von Betriebsreglementen aufgrund von Erfahrungen, die sich im Laufe des Betriebes ergeben haben, oder Änderung des zeitlichen Wasserbedarfs, zum Beispiel temporäres Kennlinienfahren bei Spitzenlast;
- Änderung des Abflussregimes des Flusses durch neue Stau- oder Entnahmeanlagen, Flussverbauungen usw. oder Präventivmassnahmen zum Hochwasserschutz, zum Beispiel gegen gehäuftes Auftreten von Hochwasserabflüssen;
- Modernisierung der Anlagen, wie Ersetzen von ausgedienten Turbinengeneratoren durch neue.

Eine erste Beurteilung des neuen Abflussverhaltens mit eventuellen kritischen Phasen, sei es infolge Schwall, Sunk oder allgemeinen Freibord- oder Kapazitätsgrenzen, kann durch den erfahrenen Hydrauliker mit Fallstudien und Handrechnungen durchgeführt werden. Damit kann er beurteilen, ob eine genauere Abklärung des neuen zeitlichen Fliessverhaltens notwendig ist.

Für genauere Abklärungen gibt es generell drei Methoden:

- hydraulische Versuche in situ;
- hydraulische Versuche an einem physikalischen Modell;
- rechnerische Simulation des Abflussverhaltens.

Hydraulische Versuche in situ

Diese Methode ist kostengünstig und exakt, falls:

- die Versuche nicht schon *vor* einer (evtl. substantiellen) baulichen Änderung durchgeführt werden müssen;
- die Versuche mit genügend Sicherheitsreserven und unter Umständen schrittweise durchgeführt werden können;
- nicht aufwendige Messeinrichtungen und -auswertungen zur Erfassung des gesamten instationären Fliessablaufes erforderlich sind;
- der Versuchsbetrieb technisch und operationell überhaupt möglich ist.

Hydraulische Versuche an einem physikalischen Modell

Der Vorteil dieser Methode ist das Nachbilden und Erfassen auch von komplexen Abflussvorgängen. Die Genauigkeit der Resultate ist u. a. vom Massstab abhängig.
Von Nachteil sind die relativ zeitintensiven Modellversuche mit Messungen und Auswertungen, welche dadurch auch verhältnismässig teuer sind (physik. Modellversuche können ein bis mehrere Prozente der Bausumme des untersuchten Projektes kosten).

Rechnerische Simulation des Abflussverhaltens

Der Vorteil dieser Methode ist: wenn einmal die notwendigen Unterlagen (Geometrie, Randbedingungen, usw.) abgespeichert sind und das Rechenprogramm läuft, können rasch verschiedene Abflusszustände und -änderungen simuliert werden.

Ein Nachteil ist, dass praktisch nur ein- bis zweidimensionale Abflussvorgänge simuliert werden können, da sonst Rechen- und Speicheraufwand zu gross werden, falls das Problem überhaupt analytisch erfassbar ist.

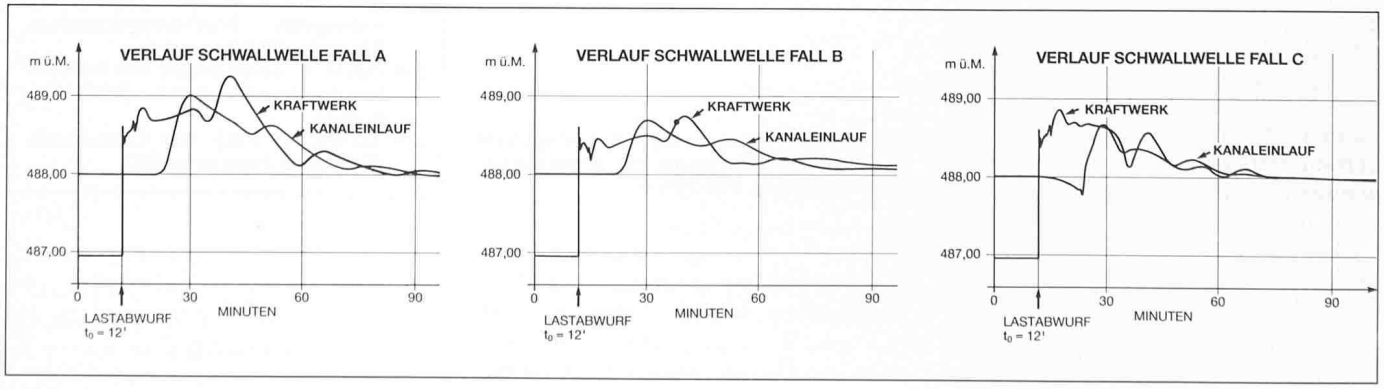
Konkretes Beispiel

Bei einem Flusskraftwerk mit einer Ausbauwassermenge von 380 m³/s sollte abgeklärt werden, welche Schwallhöhen im Bereich des Oberwasserkanals bei komplettem Lastabwurf mit den bestehenden Einrichtungen und Betriebsvorschriften maximal erreicht werden, und welche baulichen sowie betrieblichen Massnahmen diese Schwallwellen gegebenenfalls reduzieren könnten. Als bauliche Massnahme kam vor allem die Möglichkeit des Umbaus einer bestehenden Kahn- oder Bootsschleuse beim Kraftwerk in Frage.

Die Untersuchung konnte in zwei Phasen unterteilt werden:

1. Aktuelle Situation *ohne* irgendwelche Gegenmassnahmen: kompletter Lastabwurf in 4 Sekunden von 380 m³/s hinunter auf 35 m³/s Leerwassermenge (Maximalfall).
2. Aktuelle Situation *mit* Gegenmassnahmen:
   Lastabwurf wie unter 1, jedoch
   - mit Schwallentlastung beim Kraftwerk durch umzubauende Kahnschleuse,
   - Verlängern der Turbinenschliesszeit von 4 auf 10 Sekunden,
   - mit Schwallentlastung beim Flusswehr, nahe ein Kanaleinlauf.

Bild 1. Vergleich der Auswirkungen von Gegenmassnahmen



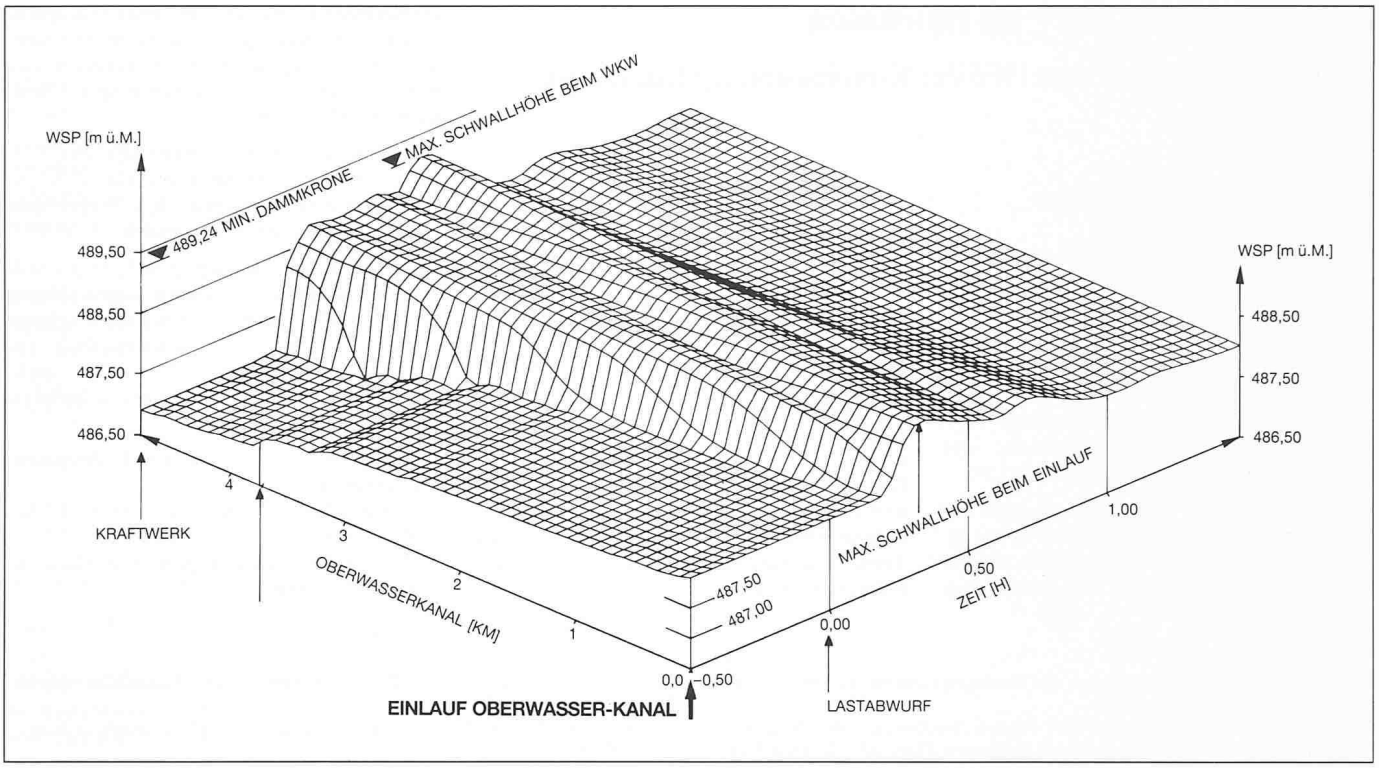


Bild 2. Entstehung und Ausbreitung einer Schwallwelle im Oberwasserkanal eines Wasserkraftwerkes in dreidimensionaler Darstellung. Der komplette Lastabwurf erfolgte in nur 4 Sekunden zur Zeit 0 : 00 und verringerte den Durchfluss schlagartig um 345 m³/s, von 380 m³/s Ausbau- auf 35 m³/s Leerwassermenge. Als Antwort auf diese plötzliche Durchflussänderung entstehen am Ort der Änderung, beim Kraftwerk, ein sogenannter Schwall im Oberwasser und Sunk im Unterwasser. Beide Phänomene pflanzen sich wellenförmig fort, der Schwall stromauf- und der Sunk stromabwärts.

Für die instationären Berechnungen wurde das firmeneigene, mathematisch-hydraulische Modell FLORIS (Flood Routing for River Systems) verwendet. Die erforderliche hohe Rechengenauigkeit von ± wenigen Zentimetern machte das Erfassen von 87 Querprofilen auf einer Kanallänge von rund 5 km notwendig. Vor dem Beginn der eigentlichen Schwalluntersuchungen wurden Eichrechnungen für verschiedene stationäre Abflüsse durchgeführt, für welche gemessene Abfluss-Pegel-Relationen zur Verfügung standen. Ebenfalls ein mit zwei Limnigraphen aufgezeichneter Lastabwurfsfall wurde zum Eichen herangezogen.

Die Resultate sind bemerkenswert: Die Verlängerung der Schliesszeit um den Faktor 2, 5, d. h. von 4 auf 10 Sekunden, brachte erstaunlicherweise eine Dämpfung der Initialschwallwelle von nur rund 10 Zentimetern.

Die andern Gegenmassnahmen sind aus den abgebildeten Hydrographen (Bild 1) ersichtlich:

□ Fall A, aktuelle Situation ohne Schwallentlastung: Der zeitliche Schwallverlauf beim Kraftwerk mit Initialschwallwelle bei Lastabwurf, etwa 1,60 m gross, gefolgt von drei weiteren Wellenkämmen – der letzte davon markant – den Maximalschwall bildend.

Die drei Wellen entstehen durch Überlagerung von Reflexionen, Schwingungen im Kanalsystem und Auffüllung des Oberwasserkanals durch den nun signifikant grösseren Zu- als Abfluss.

Am oberen Ende des Kanals sind die vier Wellen infolge unterschiedlicher Geschwindigkeiten, Reibung und Dämpfung, auf deren zwei zusammengeschmolzen. Entstehung, Verlauf und Wandlung des Lastabfallschwalls ersieht man eindrücklich aus der abgebildeten dreidimensionalen graphischen Darstellung (Bild 2).

□ Fall B, gleich wie A, jedoch mit zusätzlicher Schwallentlastung beim Kraftwerk: Die Sekundärwellen im unteren Kanalbereich konnten hier um rund einen halben Meter in der Höhe gegenüber Fall A verringert werden und erreichen nun etwa die Grösse der gedämpften Schwallwelle im oberen Bereich des Kanals. Diese konnte ebenfalls verkleinert werden, und zwar um rund die Hälfte des Reduktionsbetrages des Schwalles im Unterlauf.

□ Fall C, gleich wie A, jedoch mit zusätzlicher Schwallentlastung beim Stauwehr am Kanaleinlauf: Der Einfluss der Schwallentlastung ist gut sichtbar, logischerweise zuerst am Hydrographen des Kanaleinlaufes und mit entsprechender Zeitverzögerung im unteren Kanalende beim Kraftwerk. Diese Verzögerung, bedingt durch die Laufzeit des Entlastungsunkes, ist denn auch der Grund, warum die erste der drei markanten Sekundärwellen nicht wie die andern ebenfalls gekappt wird.

Der Erfolg der Gegenmassnahme B, das heisst mit Schwallentlastung beim Kraftwerk, ist offensichtlich am grössten, ihre Realisierung aber auch am teuersten.

Die Untersuchung hat auch gezeigt, dass mit realistischen Schliesszeitverlängerungen der Turbinen relativ wenig zur Dämpfung der Initialschwallwelle erreicht werden kann. Die Differenz zwischen maximalem Wasserstand (Sekundärwelle) und Initialwelle, im untersuchten Fall rund siebzig Zentimeter, kann durch geeignete Gegenmassnahmen (Schwallentlastungen) reduziert werden. Durch eine Kombination von Schwallentlastung am oberen und unteren Ende des Kanals gedenkt man die Wirkung von Fall B erzielen zu können, ohne grössere Umbauten an der Kahnschleuse (unter anderem Kapazitätserweiterungen) vornehmen zu müssen. Deren komplette Öffnung innert rund dreier Minuten sollte dann genügen.

Adresse des Verfassers: *O. Naef*, dipl. Bauing. ETHZ, Motor-Columbus Ingenieurunternehmung AG, 5401 Baden.