Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria

Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband

Band: 99 (2007)

Heft: 1

Artikel: Schwall und Sunk : technisch-ökonomische Situation in den grösserern Flussgebieten der Schweiz

Autor: Minor, Hans-Erwin / Möller, Georg

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-940107

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 02.07.2025

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

Schwall und Sunk, technisch-ökonomische Situation in den grösseren Flussgebieten der Schweiz

■ *Hans-Erwin Minor, Georg Möller*

Zusammenfassung

Kraftwerksbedingte Abflussschwankungen, Schwall und Sunk genannt, können sich neben ungünstiger Gewässermorphologie und schlechter Wasserqualität nachteilig auf die ökologische Situation von Fliessgewässern auswirken. Deshalb wird diskutiert, wie diese Abflussschwankungen auf ein vertretbares Mass reduziert werden können. Für den Alpenrhein untersuchte die IRKA (2004) für die Messstelle Domat/Ems betriebliche Einschränkungen und bauliche Massnahmen zur Schwallreduktion sowie die damit verbundenen finanziellen Auswirkungen. Kürzlich wurde eine Studie im Auftrag des Schweizerischen Wasserwirtschaftsverbandes fertig gestellt (VAW/LCH 2006), die alle grösseren Flussgebiete der Schweiz oberhalb der Alpenrandseen untersucht. Das Ziel war unter anderem die Bestimmung der notwendigen Volumen, um das Schwall-Sunk-Verhältnis auf wünschbare Werte begrenzen zu können. Dabei wurde auch der Einfluss der Periode (Tag, Woche, Wintermonate) untersucht, über den ein mögliches Schwall-Sunk-Verhältnis konstant gehalten werden soll.

Der vorliegende Artikel fasst die wesentlichen Ergebnisse dieser beiden Studien zusammen. Er ist die schriftliche Version eines Vortrages, der am 7. September 2006 in Bellinzona an der Fachtagung Wasserkraft 2006 des SWV gehalten wurde.

1. Einleitung

Die Wasserkraft trägt 60 % zur Stromproduktion in der Schweiz bei und übernimmt darüber hinaus im Netz die Regelung. Deshalb richtet sich der Betrieb von Wasserkraftwerken nach dem Strombedarf. Dabei wird die Wasserführung eines Flusses um den Durchfluss der Turbinen, der durch die Speicherseen bereitgestellt wird, erhöht. Werden die Turbinen abgestellt oder gedrosselt, nimmt die Wasserführung wieder ab. Diese kraftwerksbedingten Abflussschwankungen bezeichnet man als Schwall und Sunk.

Mit dem Ausbau der Wasserkraft in der Schweiz hat sich die Wasserführung in den Flüssen verändert. *Bild 1* (Meile et al. 2005) zeigt den Vergleich der Ganglinien der Rhone bei Porte du Scex für eine Woche im Oktober des Jahres 1907 und eine des Jahres 2003. Während im Jahr 1907 die Wasserführung, abgesehen von einem kleinen Hochwasser am 17. Oktober sehr gleichmässig war, sieht man im Jahr 2003 die ausgeprägten täglichen Abflussschwankungen an Werktagen. An den Wochenenden ist der Abfluss kleiner und weist wesentlich geringere Schwankungen auf. Die gezeigte Ganglinie für das Jahr 2003 ist typisch für viele Flüsse in der Schweiz.

Die Ausprägung von Schwall und Sunk ist im Winter wesentlich stärker als in den Sommermonaten, da im Winter der Basisabfluss sehr viel kleiner ist als im Sommer. Der aus den Turbinen abgegebene Abfluss ist deshalb im Winter im Verhältnis zur Wasserführung im Fluss viel grösser.

Aus ökologischer Sicht werden die raschen Abflussschwankungen, die mit schnellen Änderungen der Wassertiefe, der Fliessgeschwindigkeit und der benetzten Breite verbunden sind, negativ beurteilt (ARGE Trübung Alpenrhein 2001; Baumann P. und Schälchli U. 2002; Bau-

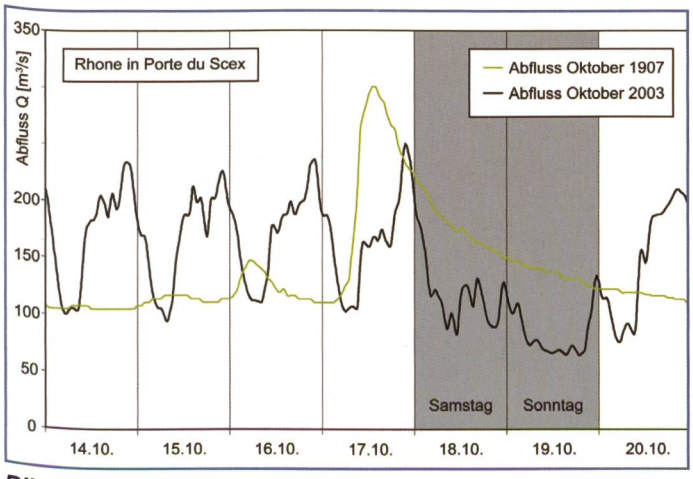


Bild 1. Ganglinie der Rhone bei Port du Scex Vergleich Oktober 1907 mit Oktober 2003 (Meile et al. 2005).

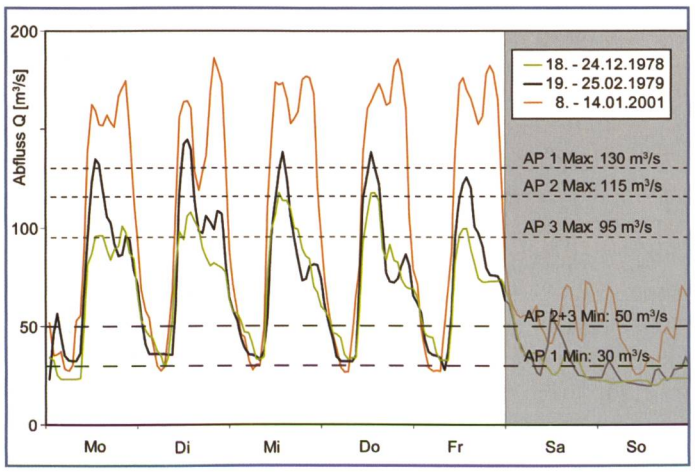


Bild 2. Zielvorstellung aus ökologischer Sicht für maximale und minimale Abflüsse Beispiel Alpenrhein, Ganglinie für Winter 1978 und 1979 (Felsberg) sowie 2001 (Domat/Ems) mit den drei Anforderungsprofilen (nach IRKA 2002).

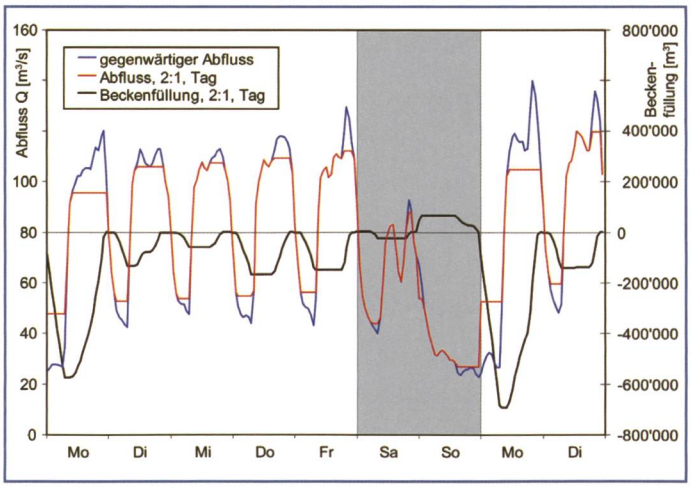


Bild 3. Reregulierung im Tagesausgleich Beispiel Rhone bei Branson. Gegenwärtige Abflussganglinie und reregulierter Abfluss für ein Schwall-Sunk-Verhältnis von 2:1 sowie Beckenfüllung.

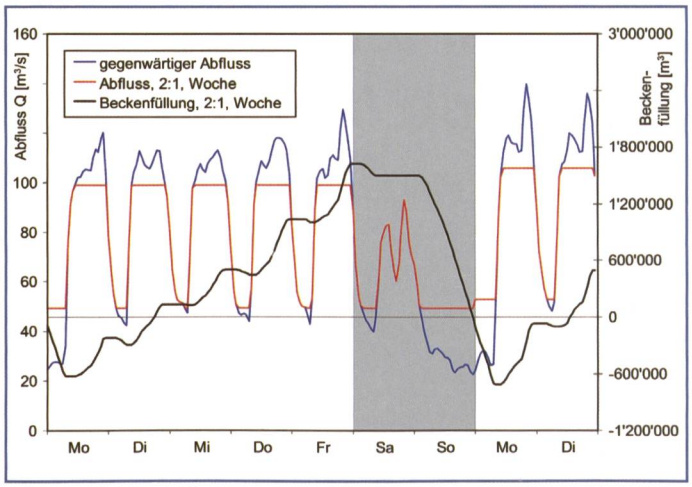


Bild 4. Reregulierung im Wochenausgleich Beispiel Rhone bei Branson. Gegenwärtige Abflussganglinie und reregulierter Abfluss für ein Schwall-Sunk-Verhältnis von 2:1 sowie Beckenfüllung.

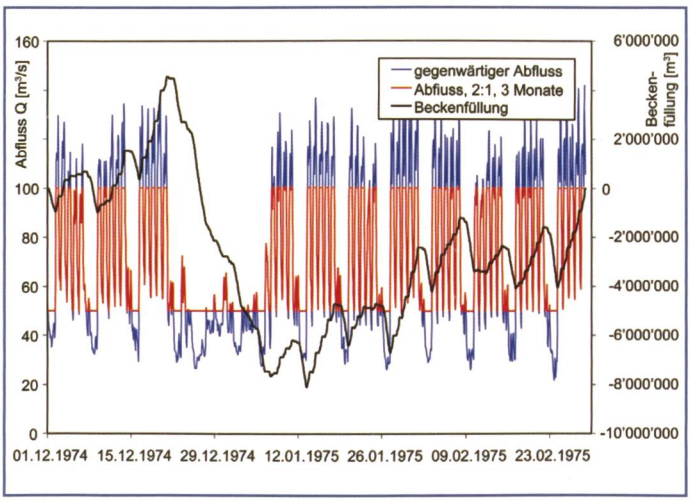


Bild 5. Reregulierung im 3-Monats-Ausgleich (Wintermonate Dez., Jan., Feb.) Beispiel Rhone bei Branson. Gegenwärtige Abflussganglinie und reregulierter Abfluss für ein Schwall-Sunk-Verhältnis von 2:1 sowie Beckenfüllung.

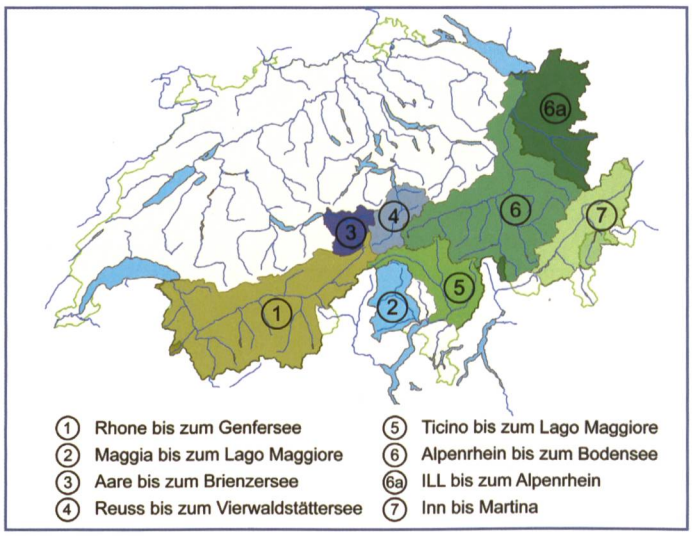


Bild 6. Karte zeigt die Schweiz mit den betrachteten Einzugsgebieten der grossen Schweizer Flüsse bis zu den jeweiligen Alpenrandseen (Karte BWG, 2005).

mann P. und Klaus I. 2003), denn damit verändern sich gewässertypische Parameter wie Trübung und Sohlenschubspannungen sowie verschiedene Prozesse (Stranden von Fischen, Abdrift von Algen und Makroinvertebraten, Ablagerung von Feinsedimenten, usw).

Für die Diskussion des Problems Schwall und Sunk sind, abgeleitet aus den ökologischen Parametern, hydraulische Kenngrössen notwendig. In der *Tabelle 1* (VAW/LCH 2006) sind solche hydraulischen Kenngrössen, mit denen der Schwall und Sunk charakterisiert werden kann, zusammengestellt. Für den Alpenrhein hat die Projektgruppe Gewässerökologie der IRKA (2002) drei Anforderungsprofile (AP) definiert, die zu einer Verbesserung von Teilbereichen des Lebensraums (AP 1), einer bedeutenden Aufwertung einer Mehrzahl von Teilbereichen des Lebensraums (AP 2) bzw. zu einer umfassenden Aufwertung der Lebensraumbedingung (AP 3) führen. Diese Grenzen sind in Bild 2 (nach IRKA 2002) für den Alpenrhein bei Domat/Ems in typische Wochenganglinien eingetragen. In diesem Fall werden ein Maximalwert und ein Minimalwert für den Abfluss gefordert. Es stellt sich die Frage, ob nur mit solch einer starren Festlegung die Bedürfnisse der Ökologie beschrieben werden können oder ob einige weitere Kenngrössen aus *Tabelle 1* auch geeignet sein könnten. International wird häufig das Schwall-Sunk-Verhältnis zur Beurteilung des Gewässers herangezogen (Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie 2000/60/EU 2005 Österreich).

2. Möglichkeiten zur Reduktion von Schwall und Sunk

Es gibt zwei Möglichkeiten zur Reduktion von Schwall und Sunk: Betriebseinschränkungen und Reregulierungsbecken. In einer Studie der IRKA (2004) (Wickenhäuser et al 2005) wurden neben anderem die finanziellen Auswirkungen betrieblicher Einschränkungen für den Alpenrhein an der Messstelle Domat/Ems untersucht. Selbst wenn das mildeste Anforderungsprofil 1 (siehe oben) zu Grunde gelegt wird, führt das zu einem Barwert für den Ertragsausfall aus Energieumlagerung und Bereitstellung von Leistung von 322 Mio. Euro (Zinssatz 6 %, durchschnittliche Restlaufzeit 30 Jahre) (Wickenhäuser et al. 2005). Die höheren Anforderungsprofile sind noch wesentlich teurer. In derselben Studie für den Alpenrhein wurden deshalb die Kosten für Reregulierungsbecken und eventuell damit verbundene kleine Betriebseinschränkungen ermittelt, nachdem die notwendigen Beckenvolumen bestimmt worden waren. Es zeigt sich, dass mit Reregulierungsbecken, die unterhalb der Kraftwerke zu erstellen wären, das gleiche

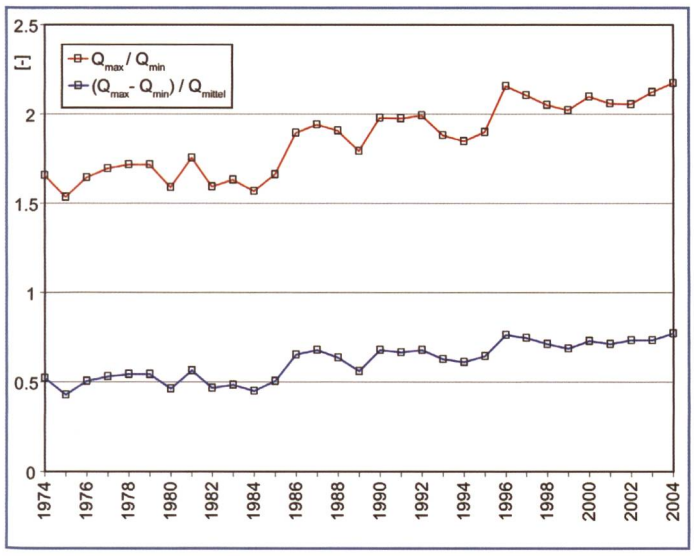


Bild 7. Zeitliche Entwicklung des Schwall/Sunk-Verhältnisses sowie der relativen Schwall/Sunk-Differenz (Mittelwerte über die Wintermonate Dez., Jan., Feb.) für den Alpenrhein bei Diepoldsau.

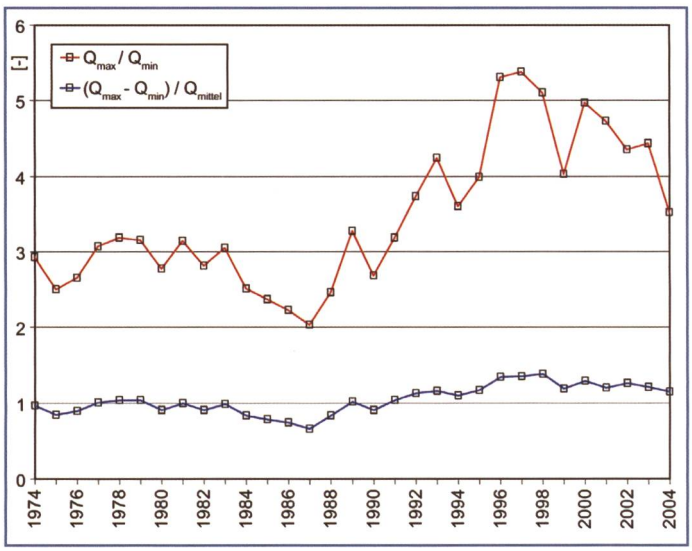


Bild 8. Zeitliche Entwicklung des Schwall/Sunk-Verhältnisses sowie der relativen Schwall/Sunk-Differenz (Mittelwerte über die Wintermonate Dez., Jan., Feb.) für den Alpenrhein bei Domat/Ems.

Ziel der Reduktion von Schwall und Sunk zu wesentlich niedrigeren Kosten erreicht werden kann. Zur 100%igen Erreichung des Anforderungsprofils 1 in Domat/Ems würden Kosten von 80 Mio. Euro entstehen. Wenn die Randbedingungen so gelockert werden könnten, dass AP 1 nur zu 90 % einzuhalten wäre, betrügen die Kosten nur 30 Mio. Euro, das entspricht 10 % der Kosten der betrieblichen Einschränkung (Wickenhäuser et al. 2005).

Aus diesen vergleichenden Betrachtungen kann geschlossen werden, dass eine Reduktion von Schwall und Sunk, dort wo sie notwendig ist, über den Zubau von Reregulierungsbecken gesucht werden sollte.

3. Reregulierung zur Reduktion von Schwall und Sunk

Für die Bestimmung des notwendigen Volumens der zu erstellenden Reregulierungsbecken wurde in Anlehnung an internationale Praxis als massgebende Kenngrösse das Schwall-Sunk-Verhältnis (siehe *Tabelle 1* [VAW/LCH 2006]) gewählt. Die notwendigen Volumen hängen aber zusätzlich noch wesentlich von der Periode ab, in der ein gewähltes Schwall-Sunk-Verhältnis eingehalten werden soll. *Bild 3* zeigt am Beispiel der Rhone bei Branson den Verlauf der reregulierten Abflüsse für ein Schwall-Sunk-Verhältnis von 2:1 sowie die zugehörige Beckenfüllung. Das Schwall/Sunk-Verhältnis ist eingehalten, die minimalen und maximalen Abflüsse schwanken aber von Tag zu Tag. Im *Bild 4* ist die Periode, in der ein Schwall-Sunk-Verhältnis, hier 2:1, eingehalten werden muss, eine Woche. Hierbei werden die maximalen und minimalen Abflüsse innerhalb einer Woche konstant gehalten. Allerdings schwanken sie, wenn auch erheblich geringer, von Woche zu Woche. Die notwendigen Beckenvolumen sind wesentlich grösser als bei der Tagesbetrachtung (*Bild 3*). Nochmals wesentlich grösser werden die notwendigen Reregulierungsbecken, wenn über die gesamten Wintermonate der maximale und minimale Abfluss konstant gehalten werden muss (*Bild 5*). Aus der Beckenfüllung wird deutlich, dass der grösste Teil des Volumens zur Aufhöhung der Wasserführung des Flusses während der Ferientage (Weihnachten und Silvester), wo wenig Strom benötigt wird, bereit gestellt werden müsste.

Der Vergleich zeigt, dass pauschale bzw. starre Festlegungen von hydraulischen Kenngrössen verglichen mit flexiblen Festlegungen zu immensen Kosten führen können, der Nutzen für die Umwelt aber sehr beschränkt bis inexistent sein kann.

Der Tagesausgleich wäre die finanziell günstigste Lösung, da die bereitzustellenden Becken am kleinsten wären. Es müsste aber noch eingehend untersucht werden, ob solch eine Regelung in der Praxis durchgeführt werden kann. Der Wochenausgleich scheint den Autoren praktikabel.

4. Betrachtung der grösseren Flüsse in der Schweiz

Der kraftwerksbedingte Schwall und Sunk der grösseren Schweizer Flüsse oberhalb der Alpenrandseen wurde im Auftrag des Schweizerischen Wasserwirtschaftsverbandes in einer Studie untersucht (*Bild 6*) (VAW/LCH 2006). Unterhalb der Alpenrandseen ist der Schwall und Sunk durch die Dämpfungswirkung (Retention) der Seen kein Problem mehr. Dabei ging es um eine Standortbestimmung und um allfällige Veränderungen von Schwall und Sunk seit 1960 (bzw. soweit Daten vorliegen) zu erfassen und zu beschreiben sowie mögliche bauliche Massnahmen zur Dämpfung der durch Kraftwerke erzeugten Abflussschwankungen zu untersuchen. Diese beiden Aspekte werden im Folgenden etwas näher erläutert. Im vorliegenden Artikel werden die Ergebnisse der Studie exemplarisch für den Alpenrhein dargestellt, bevor ein Flussgebietsvergleich durchgeführt wird.

Betrachtet man die Schwallindikatoren Schwall-Sunk-Verhältnis und relative Schwall-Sunk-Differenz je für zwei Messstellen am Alpenrhein (*Bild 7, Bild 8*) kann man erkennen, dass diese sehr unterschiedlich sind. Das hängt zum einen damit zusammen, dass der mittlere Abfluss des Rheins von Domat/Ems nach Diepoldsau zunimmt und zum anderen, dass die Abflussänderungen (Schwall und Sunk) zwar am gleichen Tag in den Zuflüssen ungefähr zur gleichen Zeit auftreten, dass aber durch die verschiedenen Laufzeiten die Spitzen im Unterlauf ausgeglichen werden können. Während man bei Diepoldsau den Eindruck von einer leichten stetigen Zunahme der analysierten Schwallindikatoren haben könnte (*Bild 7*), sieht man bei Domat/Ems (*Bild 8*) eine auf eine Periode begrenzte Zunahme, die mit dem Zubau von Wasserkraftanlagen oberhalb dieser Messstelle erklärt werden können (Wickenhäuser et al 2005). Auch an der Ill,

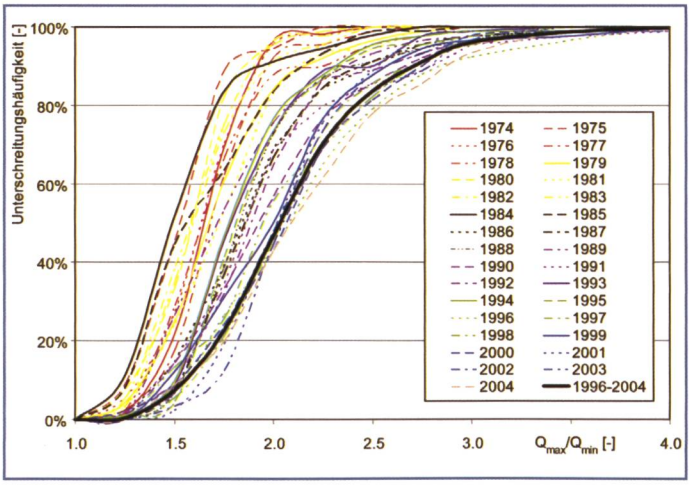


Bild 9. Unterschreitungshäufigkeit des Schwall-Sunk-Verhältnisses an der Messstelle Alpenrhein-Diepoldsau für die Jahre 1974 bis 2004 einzeln sowie eine Kurve für alle Werte zwischen 1996 und 2004.

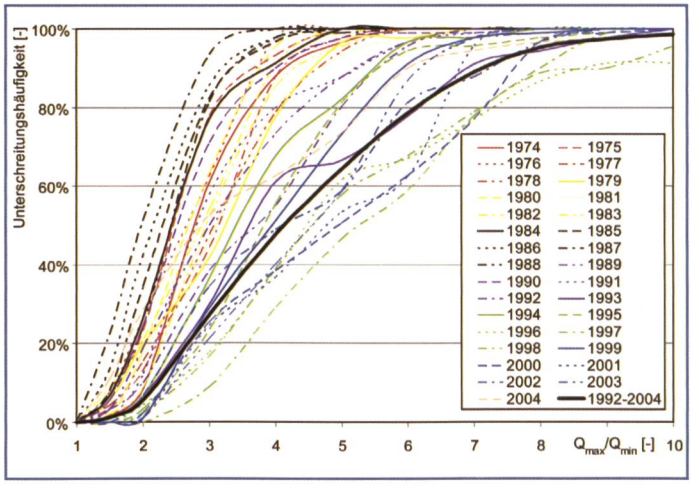


Bild 10. Unterschreitungshäufigkeit des Schwall-Sunk-Verhältnisses an der Messstelle Alpenrhein-Domat/Ems für die Jahre 1974 bis 2004 einzeln sowie eine Kurve für alle Werte zwischen 1992 und 2004.

die oberhalb Diepoldsau in den Alpenrhein einmündet, haben sich die Schwallindikatoren durch den Zubau erhöht. Generell kann kein Trend einer andauernden Erhöhung der Schwallindikatoren festgestellt werden. Die Schwankungen der Indikatoren über die Jahre sind gross und können klimatische und betriebliche Gründe haben. Diese Aussage wird auch durch die *Bilder 9* und *10* unterstrichen, die die Unterschreitungshäufigkeit des Schwall-Sunk-Verhältnisses für jedes Jahr seit 1974 sowie für die Periode 1992/1996–2004 für die zwei betrachteten Messstellen des Alpenrheins zeigen. Diese Aussagen treffen auch auf die anderen untersuchten Flussgebiete zu.

Auf der Basis der Messwerte im Zeitraum nach dem Zubau wurden nun die notwendigen Volumen für verschiedene Messstellen des Alpenrheins bestimmt, die notwendig sind, ein bestimmtes Schwall-Sunk-Verhältnis einzuhalten. Damit der Einfluss dieser Festlegung erkannt werden kann, wurden die vier Schwall-Sunk-Verhältnisse 5:1, 4:1, 3:1 und 2:1 gewählt. Alle Bewertungen wurden für den Tagesausgleich, den Wochenausgleich und den Ausgleich über die drei Wintermonate durchgeführt. Für den Alpenrhein bei Domat/Ems sind die notwendigen Rückhaltevolumen mit der entsprechenden Unterschreitungshäufigkeit für den Tages- und den Wochenausgleich dargestellt (*Bild 11*). Man sieht, dass die Kurven bei Unterschreitungshäufigkeiten von 90 % bis 100 % sehr flach verlaufen. Das bedeutet, dass die Erreichung der letzten 5–10 % ein vergleichsweise sehr grosses Volumen benötigt. Diskussionen im Rahmen der Studie für die IRKA (IRKA 2004) haben gezeigt, dass aus ökologischer Sicht auch ein Erreichen einer Unterschreitungshäufigkeit von 90–95 % genügen kann. Die weiteren Betrachtungen wurden deshalb mit einer Unterschreitungshäufigkeit von 95 % durchgeführt, und das dafür notwendige Volumen wurde mit V95 bezeichnet. *Bild 12* zeigt vergleichend die notwendigen Volumen V95 für die Reregulierung zur Erzielung der vier betrachteten Schwall-Sunk-Verhältnisse exemplarisch für den Alpenrhein bei Domat/Ems.

Im heutigen Zustand weisen die verschiedenen Flussgebiete sehr unterschiedliche Schwall-Sunk-Verhältnisse auf und ebenso wie beim Alpenrhein variieren sie sehr stark über die Flusslänge (*Bild 13*). Die grösseren Einzugsgebiete Alpenrhein-Diepoldsau, aber auch Rhone-Sion, Rhone-Branson und Rhone-Porte du Scex, weisen niedrigere Schwall-Sunk-Verhältnisse auf als die kleineren, wie Vispa-Visp, Ticino-Pollegio, Hinterrhein-Fürstenau oder Aare-Brienzwiler.

Durch Reregulierungsbecken unterhalb der Kraftwerke lassen sich diese Schwall-Sunk-Verhältnisse reduzieren. Für alle betrachteten Messstellen der untersuchten Flussgebiete wurden die notwendigen Rückhaltevolumen V95 für die verschiedenen Schwall-Sunk-Verhältnisse untersucht. *Bild 14* zeigt das Ergebnis dieser Untersuchung für den Wochenausgleich. Der Einfluss des gewünschten Schwall-Sunk-Verhältnisses auf die Volumen ist sehr gross.

Soll eine Abschätzung gemacht werden, wie gross das gesamte notwendige Volumen zur Reregulierung an einem Flussgebiet gewählt werden muss, um ein bestimmtes Schwall-Sunk-Verhältnis einzuhalten, so ist zu beachten, dass im Oberlauf liegende Reregulierungsbecken auch die Verhältnisse im Unterlauf beeinflussen. Obwohl im Allgemeinen durch Reregulierung eine nachhaltige Dämpfung der Schwall- und Sunk-Prozesse erreicht werden kann, ist bei besonderen Situationen auch eine Verschlechterung denkbar. In allen Fällen muss deshalb eine integrale Betrachtung des Flusslaufes erfolgen.

5. Schlussfolgerungen

5.1 Generelles

Kleine bis mittelgrosse Flüsse bzw. Flussabschnitte weisen heute generell deutlich höhere Schwall-Sunk-Verhältnisse auf als grosse Flüsse. Dies ist durch den relativ geringen Grundabfluss im Winter bedingt. Ebenso sind bei diesen Gewässern die jährlichen Schwankungen der Kennzahlen, hydrologisch bedingt, ausgeprägter. An Messstellen mit grossen Einzugsgebieten, wie z.B. Alpenrhein-Diepoldsau und Rhone-Porte du Scex, liegt der Grundabfluss in der Grössenordnung der kraftwerksbedingten Abflussschwankungen. Daraus resultiert ein deutlich kleineres Schwall-Sunk-Verhältnis. Die relative Schwall-Sunk-Differenz, welche auch den mittleren Abfluss berücksichtigt, ist in grossen Einzugsgebieten ebenfalls kleiner. Durch eine Überlagerung der kraftwerksbedingten Abflussschwankungen mehrerer Zentralen in grossen Einzugsgebieten nehmen das Schwall-Sunk-Verhältnis und die relative Schwall-Sunk-Differenz tendenziell ab.

In den letzten 30 Jahren sind keine kontinuierlichen Veränderungen der Kenngrössen des Schwall und Sunks feststellbar. Teilweise haben sich diese sprunghaft erhöht, was auf Um- und Neubauten von

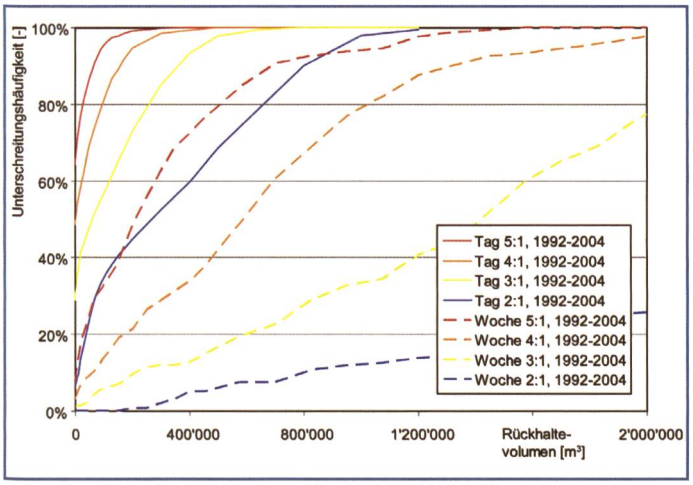
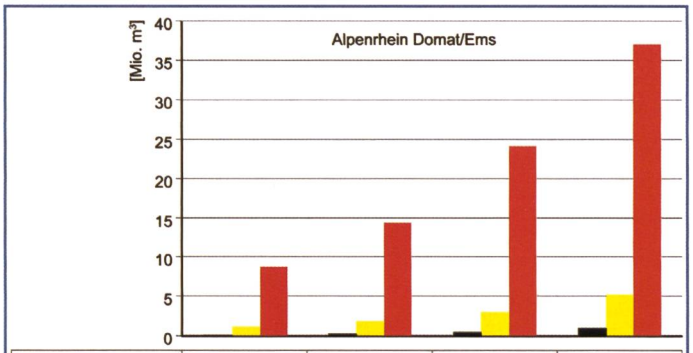


Bild 11. Notwendige Rückhaltevolumen in Abhängigkeit der Unterschreitungshäufigkeit für die Schwall-Sunk-Verhältnisse 5:1; 4:1, 3:1 und 2:1 bei Tagesausgleich und Wochenausgleich für den Alpenrhein bei Domat/Ems.



Q_{max}/Q_{min}	5 : 1	4 : 1	3 : 1	2 : 1
Tagesausgleich	95'000	206'000	432'000	917'000
Wochenausgleich	1'080'000	1'728'000	2'916'000	5'203'000
3 Monatsausgleich	8'000'000	14'308'000	24'072''000	37'013'000

Bild 12. Notwendige Rückhaltevolumen V95 am Alpenrhein bei Domat/Ems für die vier untersuchten Schwall-Sunk-Verhältnisse bei Tages-, Wochen- und 3-Monats-Ausgleich.

Kraftwerken zurückzuführen ist. Veränderungen der Kenngrössen durch die Strommarktliberalisierung sind bis zum heutigen Zeitpunkt in den untersuchten Gewässern nicht erkennbar. Aufgrund der heute schon voll genutzten Speichervolumen und Ausbauwassermengen der Turbinen ist ein verschärfter Betrieb der Kraftwerke ohne bauliche Leistungssteigerung kaum möglich. Dies lässt den Schluss zu, dass eine allfällige, zunehmende Verarmung der Fauna in den untersuchten Fliessgewässern in den letzten 20 bis 30 Jahren in erster Linie mit anderen Einflussgrössen (Gewässermorphologie, Wasserqualität) in Zusammenhang gebracht werden muss.

5.2 Massnahmen zur Schwall- und Sunkreduktion

Grundsätzlich können kraftwerksbedingte Abflussschwankungen im Fluss durch zwei Möglichkeiten reduziert werden, zum einen durch betriebliche Einschränkung der Wasserkraftanlagen, zum anderen mit Hilfe von baulichen Massnahmen, d.h. Reregulierungsbecken unterhalb der Kraftwerke.

Rein betriebliche Massnahmen würden die notwendige Flexibilität der Stromerzeugung aus Wasserkraftwerken sehr stark einschränken. Der Strom könnte während der Bedarfsspitzen nicht mehr durch die Speicherkraftwerke produziert werden. Alternativen zu den Speicherkraftwerken wären Gasturbinen- oder Pumpspeicherkraftwerke, letztere allerdings nur für beschränkte Betriebsstunden. Die durch betriebliche Massnahmen entstehenden Ertragseinbussen und volkswirtschaftlichen Kosten zur Deckung der entstehenden Strombedarfslücken wären um ein Vielfaches höher als bauliche Massnahmen mit vergleichbarer hydraulischer Wirkung. Ein angestrebtes Schwall-Sunk-Verhältnis kann innerhalb eines unterschiedlich langen Zeitraums eingehalten werden. Die zugehörigen Grenzabflüsse Minimal- und Maximalabfluss können dabei von Tag zu Tag ändern (Tagesausgleich) oder innerhalb einer Woche (Wochenausgleich) bzw. über die Wintermonate (3-Monats-Ausgleich) konstant gehalten werden. Im Tagesausgleich variieren diese Grenzabflüsse von Tag zu Tag relativ stark, da ein deutlicher Unterschied zwischen dem Kraftwerksbetrieb an den Werktagen und demjenigen am Wochenende besteht. Im Wochenausgleich variieren die Grenzabflüsse von Woche zu Woche nur geringfügig, dafür liegen die ermittelten Rückhaltevolumen teilweise um das 10-fache höher als die beim Tagesausgleich. Sollen die Grenzabflüsse über die Wintermonate konstant gehalten werden, vergrössert sich das nötige Rückhaltevolumen im Vergleich zum Tagesausgleich um das Hundertfache. Diese enorme Zunahme ist massgeblich durch die geringe Stromnachfrage in der Zeit von Weihnachten bis Neujahr begründet. Um das Schwall-Sunk-Verhältnis mit konstanten Grenzabflüssen auch in dieser Zeit einzuhalten, müsste ein sehr grosses Wasservolumen zur Aufhöhung des Abflusses während dieser Zeit zur Verfügung stehen. Zu bedenken ist auch, dass der geringe Abfluss über die Feiertage und den Jahreswechsel ebenso durch eine anhaltende Trocken- resp. Kälteperiode entstehen könnte.

An 95 % aller Wintertage könnte an der Aare ein Schwall-Sunk-Verhältnis von 5:1 mit einem Rückhaltevolumen von 31 000 m^3 im Tagesausgleich, an 95 % aller Winterwochen mit 296 000 m^3 (Wochenausgleich) und mit 3,3 Mio. m^3 zu 95 % im 3-Monats-Ausgleich eingehalten werden.

Am Alpenrhein in Domat/Ems wäre mit einem Rückhaltevolumen von 95 000 m^3 im Tagesausgleich ein Schwall/Sunk-Verhältnis von 5:1 zu 95 % einzuhalten (Wochenausgleich 1,1 Mio. m^3, 3-Monats-Ausgleich 8,7 Mio. m^3). Flussabwärts an der Messstelle Diepoldsau ist dieses Verhältnis 5:1 bereits ohne Rückhaltevolumen immer eingehalten. Ein Schwall-Sunk-Verhältnis von 2:1 könnte mit 370 000 m^3 (Tagesausgleich), mit 3,6 Mio. m^3 (Wochenausgleich) und 28,5 Mio. m^3 (3-Monats-Ausgleich) zu 95 % erzielt werden. Ein Rückhaltevolumen so kurz vor dem Bodensee macht jedoch wenig Sinn.

Um an der Messstelle Inn-Martinsbruck im Tagesausgleich zu 95 % ein Verhältnis von 5:1 einhalten zu können, wäre ein Rückhaltevolumen von 341 000 m^3 notwendig (Wochenausgleich 1,8 Mio. m^3, 3-Monats-Ausgleich 12,6 Mio. m^3).

An der Messstelle Reuss-Seedorf ist ein Verhältnis von 5:1 innerhalb jedes Tages bereits heute eingehalten. Mit einem Rückhaltevolumen von 28 000 m^3 könnte im Wochenausgleich dieses Verhältnis (5:1) zu 95 % gewährleistet werden, der 3-Monatsausgleich zu 95 % mit 3,9 Mio. m^3.

An der Rhone können Schwall-Sunk-Verhältnisse von 5:1 im Tagesausgleich zu 95 % in Brig, Sion, Branson und Porte du Scex auch ohne Rückhalt eingehalten werden. An der Vispa in Visp sind dafür 61 000 m^3 notwendig. Im Wochenausgleich betragen die Volumen zur 95%igen Einhaltung eines Verhältnisses von 5:1 an der Vispa in Visp 255 000 m^3.

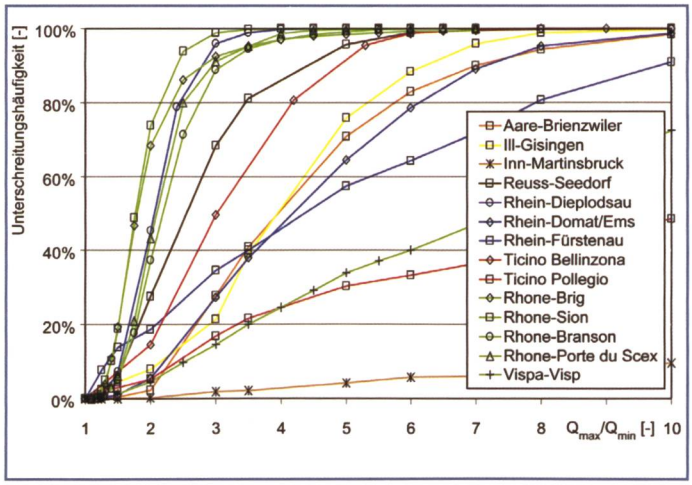


Bild 13. Unterschreitungshäufigkeit des Schwall-Sunk-Verhältnisses (Standortbestimmung) für die einzelnen Messstellen in den untersuchten Flussgebieten.

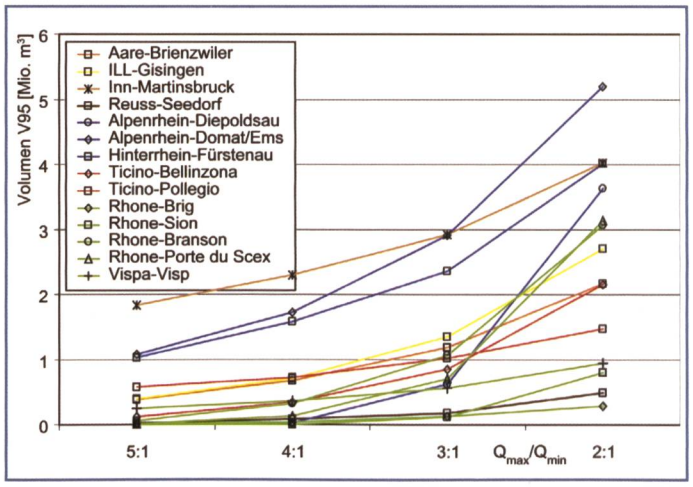


Bild 14. Notwendige Rückhaltevolumen V95 in Abhängigkeit des Schwall-Sunk-Verhältnisses im Wochenausgleich für alle untersuchten Flussgebiete.

An der Rhone in Brig, Sion, Branson und Porte du Scex sind dazu praktisch keine Regulierungsmassnahmen notwendig. Zur 95%igen Einhaltung eines Schwall-Sunk-Verhältnisses von 3:1 im Wochenausgleich betragen die Volumen 131 000 m^3 (Brig), 119 000 m^3 (Sion), 1,1 Mio. m^3 (Branson) und 703 000 m^3 (Porte du Scex).

Am Ticino könnte an der Messstelle Pollegio ein Schwall-Sunk-Verhältnis von 5:1 im Tagesausgleich zu 95 % mit einem Rückhaltevolumen von 75 000 m^3 gewährleistet werden (Wochenausgleich 569 000 m^3, 3-Monats-Ausgleich 3,6 Mio. m^3). An der Messstelle Bellinzona wäre für die 95%ige Einhaltung des Verhältnisses 5:1 im Tagesausgleich ein Rückhaltevolumen von 2000 m^3 notwendig (Wochenausgleich 114 000 m^3, 3-Monats-Ausgleich 8,8 Mio. m^3).

Deutlich wird der Unterschied zwischen den drei Ausgleichsarten, dem Tages-, Wochen- und 3-Monats-Ausgleich, der jeweils eine Grössenordnung betragen kann. Die grossen Volumen von mehreren Millionen Kubikmetern Inhalt sind in der Praxis nicht realisierbar.

Zu beachten ist, dass mit einem Becken, welches es erlaubt, während 95 % der Tage (im Tagesausgleich) und 95 % der Wochen (im Wochenausgleich) ein festgelegtes Schwall-Sunk-Verhältnis einzuhalten, bei intelligenter Bewirtschaftung über lange Zeiträume eine erhebliche Übererfüllung des Schwall-Sunk-Verhältnisses erzielt werden kann.

Literatur

Meile T., Schleiss A., Boillat J.-L. (2005) Entwicklung des Abflussregimes der Rhone seit dem Beginn des 20. Jahrhunderts. Wasser, Energie, Luft 97, 133–142.

IRKA (2002), Trübung und Schwall im Alpenrhein. Ein Synthesebericht im Auftrag der Internationalen Regierungskommission Alpenrhein (IRKA) Projektgruppe Grundwasser- und Fischökologie, Vaduz.

Baumann P., Schälchli U. (2002), Trübung und Schwall im Alpenrhein, Wasser Energie Luft 94, 307–315.

Baumann P., Klaus I. (2003), Gewässerökologische Auswirkungen des Schwallbetriebes in BUWAL. (Herausgeber) Mitteilungen zur Fischerei, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern.

Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie 2000/60/EU (2005). Österreichischer Bericht der Ist-Bestandesaufnahme, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien.

IRKA (2004), Internationale Regierungskommission Alpenrhein, Projektgruppe Energie Schwallreduktion bzw. Hochwasserspitzenminderung im Alpenrhein, Mögliche Massnahmen und deren Auswirkungen.

Wickenhäuser M., Hauenstein W., Minor H.-E. (2005). Massnahmen zur Schwallspitzenreduktion und deren Auswirkung, Wasser Energie Luft 97, 29–38.

VAW, ETH Zürich und LCH, EPF Lausanne (2006), Kraftwerksbedingter Schwall und Sunk, Eine Standortbestimmung, Studie im Auftrag des Schweizerischen Wasserwirtschaftsverbandes, Bericht VAW 4232–LCH 05, http://www.swv.ch/downloads.cfm.

Anschrift der Verfasser
Prof. Dr.-Ing. *Hans-Erwin Minor*
VAW, ETH Zürich, CH-8092 Zürich

Dipl.-Bauing. *Georg Möller*
VAW, ETH Zürich, CH-8092 Zürich

Die Resultate der vorliegenden Studie lassen deshalb den Schluss zu, dass eine allfällige Verarmung der Fauna in den untersuchten Fliessgewässern in den letzten 20 bis 30 Jahren in erster Linie mit anderen Einflussgrössen als dem Schwall und Sunk in Zusammenhang gebracht werden muss. Die Studie kann unter www.swv.ch, Rubrik Publikationen / Download, heruntergeladen werden.