

**Zeitschrift:** Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria  
**Herausgeber:** Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband  
**Band:** 103 (2011)  
**Heft:** 2

**Artikel:** Auswirkungen der 3. Rhonekorrektion auf Geschiebehaushalt und Flussmorphologie  
**Autor:** Jäggi, Martin / Hunziker, Roni / Arborino, Tony  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-941805>

#### **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:** 12.01.2026

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

# Auswirkungen der 3. Rhonekorrektion auf Geschiebebehaushalt und Flussmorphologie

Martin Jäggi, Roni Hunziker, Tony Arborino

## Zusammenfassung

Die Geschiebezufluss zur Rhone oberhalb des Genfersees ist wesentlich höher als die Transportleistung, welche durch Profileinengung im Rahmen der 1. und 2. Rhonekorrektion erreicht worden ist. Die Sohle kann nur durch Geschiebebewirtschaftung stabil gehalten werden. Im Rahmen der 3. Rhonekorrektion kann deshalb das Gerinne verbreitert werden, um die Hochwasserabflusskapazität zu steigern. Zur Bestimmung der möglichen hydraulisch noch wirksamen Gerinneverbreiterung kann die Regime-theorie herangezogen werden. Berechnungselemente sind ein zwei- bis fünfjährliches Hochwasser und die Grenzbelastung für eine Deckschicht der Sohle. Die Regimebreiten betragen für die Rhone 60 bis 100 m. Eine breitere Rhone wird weniger Geschiebe transportieren, was aber durch eine relativ geringfügige Anpassung der Geschiebebewirtschaftung kompensiert werden kann.

## Résumé

L'apport solide du Rhône en amont du Lac Léman est de loin plus important que sa capacité de transport, telle qu'elle résulte du resserrement de profil lors de la 1<sup>ère</sup> et 2<sup>ème</sup> correction du Rhône. Le fond ne peut rester stable que par la gestion des matériaux. Dans le cadre de la 3<sup>ème</sup> correction du Rhône le chenal peut donc être élargi, afin d'augmenter la capacité d'écoulement des crues. La théorie de régime permet de quantifier l'élargissement possible qui soit encore effectif au point de vue hydraulique. Les paramètres de calcul sont les débits d'un temps de retour de deux à cinq ans, ainsi que les conditions de stabilité d'un pavage naturel du fond. La largeur de régime est estimée de 60 à 100 m pour le Rhône. Le Rhône élargi charriera moins d'alluvions, ce qui peut être compensé par une légère adaptation de la gestion des matériaux.

## Abstract

The sediment supply to the Rhone upstream of Lake of Geneva largely exceeds its transport capacity, as it results from channel narrowing during the 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> river regulation. Only sediment management by extraction can keep the bed level stable. Within the 3<sup>rd</sup> regulation, the channel may therefore be widened, in order to increase flood discharge capacity. Regime theory allows determining the possible amount of widening, which is still hydraulically effective. A 2 and 5 year flood as well as the limiting conditions for a natural armourlayer are used for calculation. Regime width for the Rhone varies from 60 to 100 m. A wider Rhone will carry less sediment, what can be compensated by adapting sediment management.

## 1. Introduction

Les première et deuxième corrections du Rhône ont resserré le fleuve pour évacuer les crues et maîtriser la remontée du fond. La deuxième correction en particulier a tenté d'éviter le phénomène de dépôt naturel dans le Rhône des alluvions provenant des affluents. La 3<sup>e</sup> correction vise une solution durable pour la protection de la population et des biens. Elle doit assurer non seulement le transit de crues supérieures à celles prises en compte dans les premières corrections mais aussi assurer la stabilité du fond.

La gestion du charriage a donc été intégrée au développement des solutions d'aménagement du fleuve établies dans le cadre du Plan d'Aménagement Rhône, avec pour objectif de comprendre, quantifier et maîtriser les processus en jeu, afin de garantir l'efficacité et la durabilité de l'aménagement.

## 2. Ziele der 3. Rhonekorrektion

Die heutige Abflusskapazität der Rhone ist ungenügend. Dies zeigen sowohl das Hochwassereignis aus dem Jahre 2000 als auch aktuelle hydraulische Berechnungen. Aufgrund der bisherigen Untersuchungen muss die Abflusskapazität um ca. 25% gesteigert werden, um ein hundertjährliches Ereignis schadlos abzuführen. Der Kanton Wallis initiierte darum das Projekt 3. Rhonekorrektion mit dem Ziel, die hydraulischen Defizite zu lösen.

Die 3. Rhonekorrektion ist ein Mehrzweckprojekt. Wenn auch die Erhöhung der Sicherheit im Vordergrund steht, so soll das Gerinne auch ökologisch aufgewertet und der Gewässerraum für Freizeitaktivitäten besser nutzbar gemacht werden.

Zur Erhöhung der Abflusskapazität stehen verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung. Die Aufweitung des Gerinnes

stellt eine effiziente Variante zur Steigerung derselben dar, gleichzeitig dient sie auch den anderen Zielen. Dammerhöhungen würden hydraulisch zwar eine Verbesserung bringen, je höher sie jedoch ausgebildet werden, desto höher ist das Risiko im Überlastfall. Sohlenabsenkungen sind aus hydraulischer Sicht zielführend, sie können sich jedoch ungünstig auf das Grundwasser auswirken.

## 3. Die erste und zweite Rhonekorrektion

Mit der ersten Rhonekorrektion, deren Umsetzung etwa in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts (1863–1897) erfolgte, wurde die Talebene zum ersten Mal systematisch mit Hochwasserschutzdämmen geschützt. Das Gerinne wurde eingeebnet und seitlich mit Buhnen gesichert (Bild 1). Durch die Einengung wurde die Geschiebetransportkapazität gesteigert, die natür-

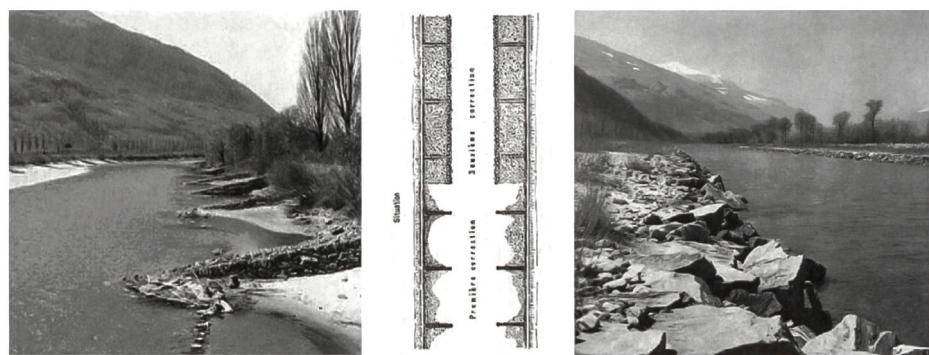
liche Auflandungstendenz konnte jedoch nicht unterbunden werden. Auch im neuen eingeengten Gerinne landete die Sohle auf; dies umso mehr, als durch die Einengung die Speicherkapazität für Ablagerungen wesentlich reduziert wurde.

In der 2. Rhonekorrektion, welche ab 1930 erfolgte, versuchte man darum, die Transportkapazität weiter zu steigern und dem Auflandungstrend entgegenzuwirken. Das Gerinne wurde dazu noch weiter eingeengt (Bild 1). Gemäss einer Publikation des Eidgenössischen Departements des Innern (1964) schien das Ziel der Korrektion, die Sohlenstabilität, nun erreicht. Wie aber die Analyse von Bianco et al. (1999) zeigte, brachte die weitere Einengung des Gerinnes zwar eine Erhöhung der Transportkapazität, die Auflandungsproblematik konnte sie jedoch nicht lösen.

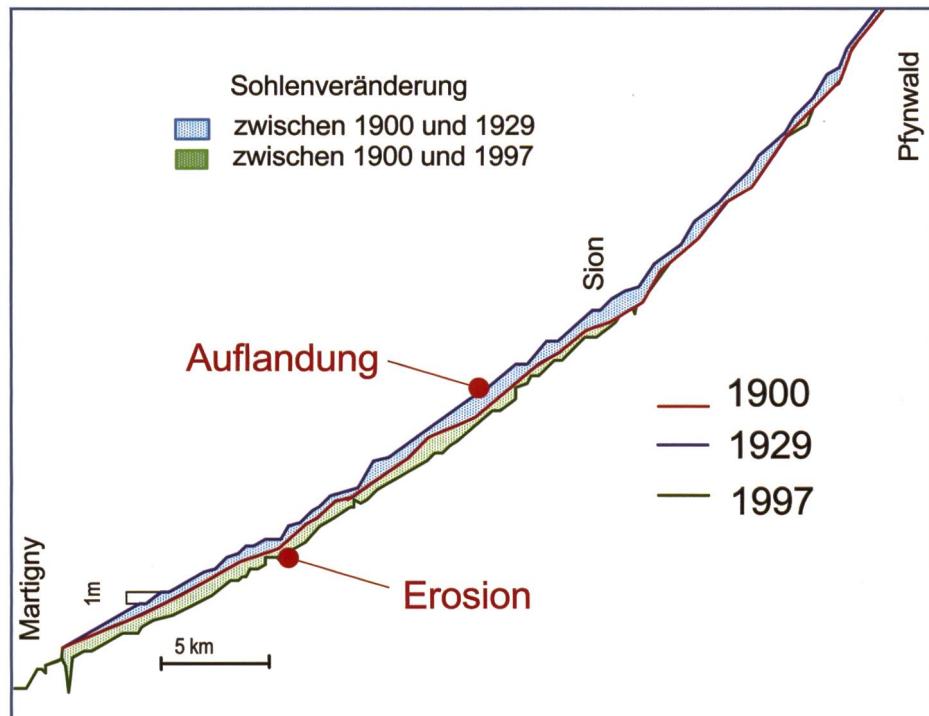
Schon während der Korrektion wurden aus dem Mittelgerinne grosse Materialmengen entnommen, um die Felder zwischen den Buhnen aufzufüllen und ein Vorland herzurichten. In den nachfolgenden Jahren und Jahrzehnten nahmen die Materialentnahmen wegen des zunehmenden Rohstoffbedarfs der Bauwirtschaft noch zu. Als Folge davon tiefte sich die Sohle massiv ein. Diese Erosionserscheinungen maskierten den Auflandungstrend. Sie waren vermutlich auch der Grund, welcher 1964 zur falschen Einschätzung des Geschiebehaushaltes führte. Bild 2 zeigt die entsprechende Entwicklung des Längenprofils der Rhone zwischen Chippis und Martigny.

#### 4. Der aktuelle Geschiebe- haushalt

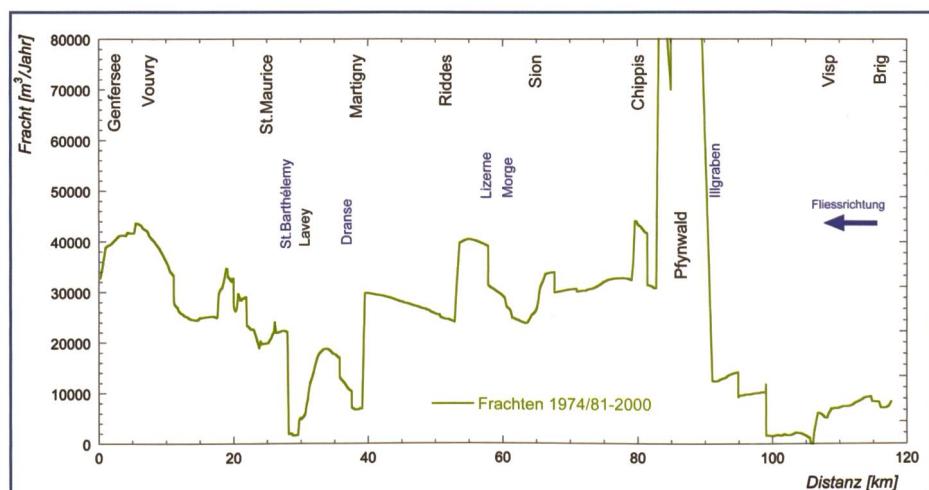
Mit Hilfe des numerischen Geschiebetransportmodells MORMO wurde im Rahmen der Projektentwicklung der 3. Rhonekorrektion der Geschiebehaushalt untersucht. Dazu wurden die während der Eichperiode von 1974 bis 2000 gemessenen Sohlendeformationen rechnerisch nachvollzogen. Der Geschiebeeintrag am oberen Ende des Modells sowie jener der seitlichen Zuflüsse wurden solange variiert, bis die berechneten Sohlendeformationen und die an den verschiedenen Baggerstellen entnommenen Geschiebemengen mit den gemessenen übereinstimmten. Das Transportdiagramm, welches den Verlauf der Geschiebeführung entlang der betrachteten Strecke darstellt, illustriert den Geschiebehaushalt für die betrachtete Periode (Bild 3). Eine leicht fallende Kurve entspricht einem Geschiebegleichgewicht unter Berücksichtigung des Geschiebeabtriebs. Ein sprunghafter Anstieg deutet



**Bild 1. Ausbau der Rhone bei Raron (links) und St. Léonard (rechts) in der 1. und 2. Korrektion: 1. Korrektion mit Dämmen und Buhnen, 2. Korrektion durch Auffüllung der Buhnenfelder und Längsverbau (Quelle: DFI, 1964).**



**Bild 2. Entwicklung des Sohlenlängenprofils der Rhone seit der 1. Korrektion.**



**Bild 3. Transportdiagramm des aktuellen Geschiebehaushalts der Rhone.**

auf den Geschiebeeintrag eines Zubringers hin, ein sprunghafter Abfall auf eine Geschiebeentnahme. Eine Sohlenerosion wird durch einen mehr oder weniger starken Anstieg der Kurve beschrieben, während ein Abfall auf eine Auflandung

hindeutet.

Wie Bild 3 zeigt, ist der Geschiebehaushalt der Rhone zwischen Brig und dem Genfersee sehr ungleichmässig. Lokale Einträge durch die seitlichen Zubringer und Entnahmen durch die Kieswerke prägen

das Bild. Zwischen Brig und Leuk werden jährlich zwischen 2000 m<sup>3</sup> und 14 000 m<sup>3</sup> transportiert, da die Kieswerke bei Naters, Visp und oberhalb Raron nur noch wenig Geschiebe im Rotten belassen. Sehr auffällig ist der extrem hohe Eintrag durch den Illgraben. Das Transportniveau wird durch die Kieswerke im Pfynwald auf einen Bruchteil des Eintrags des Illgrabens reduziert. Zwischen Chippis und Martigny liegt das Transportniveau etwa auf 30 000 m<sup>3</sup> pro Jahr. Die Einträge der Lizerne und der Morge führen zu einem lokalen Maximum, welches durch das Kieswerk bei Riddes wieder reduziert wird. Oberhalb der Mündung der Dranse fällt die Kurve massiv ab, was auf ein während der Eichperiode dort betriebenes Kieswerk zurückzuführen ist. Das Wehr Lavey unterbricht den Geschiebetransport praktisch vollständig. Durch den St. Barthélemy und weitere Zuflüsse nimmt der Transport bis zum Genfersee wieder auf gegen 40 000 m<sup>3</sup> pro Jahr zu.

Die Geschiebeentnahmen durch die Kieswerke sind seit der Eichperiode etwas zurückgegangen. In den Jahren zwischen 2000 und 2006 betrugen sie gesamthaft etwa 235 000 m<sup>3</sup> pro Jahr. Dieser Zahl stehen Einträge aus den Seitenbächen von etwa 245 000 m<sup>3</sup> gegenüber. Da aber der Abrieb die Geschiebemenge während des Transports bis zum Kieswerk immer etwas reduziert, sind die Entnahmengen für die heutige Rhone immer noch etwas zu hoch.

Aufgrund der aktuellen Geschiebesimulationen kann folgender Schluss gezogen werden: Die Geschiebezufuhr zur Rhone übersteigt deren Transportvermögen massiv. Die Untersuchungen zeigen klar, dass die Sohle nur durch eine gezielte Bewirtschaftung stabil gehalten werden kann und dass es unmöglich ist, das Gerinne so zu gestalten, dass das

anfallende Geschiebe bis zum Genfersee durchtransportiert wird. Eine Verengung des Gerinnes mit dem Ziel, das anfallende Geschiebe weiter zu transportieren, ist darum nicht nötig.

Während früher die Korrekturen zum Ziel hatten, durch eine Einengung des Gerinnes die Geschwindigkeit im Fluss und damit die Geschiebetransportleistung zu maximieren, kann von diesem Grundsatz im Rahmen der 3. Rhonekorrektion abgewichen werden. Ein Grossteil des anfallenden Geschiebes muss bewirtschaftet werden, nur ein kleiner Teil kann durch die Strömungskraft in den Genfersee gelangen. Eine Reduktion der Transportleistung infolge einer Verbreiterung des Gerinnes kann darum akzeptiert werden. Im Hinblick auf eine Steigerung der Abflusskapazität ist eine Gerinneverbreiterung somit eine wichtige Option.

## 5. Gerinneaufweitung und Regimetheorie

Wie breit soll nun das neue Gerinne der Rhone sein? Nimmt die Breite zu, so nimmt die Abflusstiefe ab. Es stellt sich die Frage, ob mit einer sehr grossen Breite die Höhe der Dämme auf ein Minimum begrenzt werden kann. Natürliche Flüsse geben sich meist mit einer endlichen Breite zufrieden (Bild 4). Nur unter gewissen Umständen beansprucht ein Fluss eine sehr grosse Breite und pendelt von Talflanke zu Talflanke (Bild 5), dies infolge einer starken Auflandungstendenz.

Der hydraulischen Wirksamkeit einer Gerinneverbreiterung sind somit offensichtlich Grenzen gesetzt. Um jene Breite zu bestimmen, welche im Rahmen der 3. Rhonekorrektion für die hydraulischen Berechnungen in den aufgeweiteten Abschnitten berücksichtigt werden darf, kann die Regimetheorie herangezo-

gen werden.

Die Regimetheorie wurde ursprünglich um etwa 1920 von britischen Ingenieuren entwickelt, welche in Indien Bewässerungskanäle planten. Es ging darum, die optimale Breite eines Kanals zu bestimmen, durch den eine bestimmte Wassermenge möglichst ohne Seitenerosionen und aufwendige Sicherungsmaßnahmen abgeführt werden kann. Später wurde dieses Konzept auf natürliche Flüsse übertragen und der Zusammenhang zwischen Abfluss und Gerinnebreite untersucht.

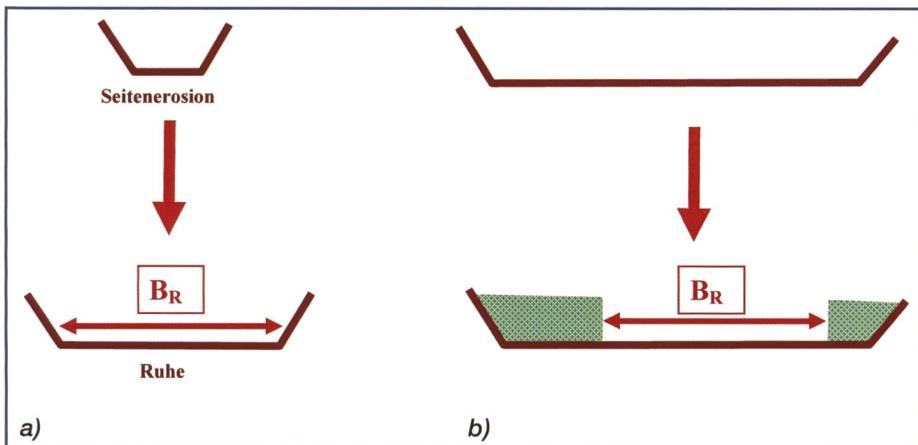
Während für die Bewässerungskanäle der massgebende Abfluss definiert ist, da die abgeleitete Wassermenge üblicherweise konstant gehalten wird, musste für Flüsse und Bäche ein massgebender Abfluss bestimmt werden. In der Regimetheorie hat sich der Begriff eines dominanten Abflusses («dominant discharge») eingebürgert. Hochwasserabflüsse mit einer Jährlichkeit von zwei bis fünf Jahren werden als dominanter Abfluss angesehen. Die kleineren Abflüsse wären demnach für die Sedimentverlagerung und damit die Gerinnebildung zu wenig wirksam, während die grösseren Abflüsse während zu kurzer Zeit auftreten oder die Schwemmebene ausserhalb des Gerinnes überfluten und so ebenfalls nicht signifikant zur Gerinnebildung beitragen. Aber es gibt auch da Ausnahmen. In Gebirgsflüssen gibt es wohl die Gerinnebildung bei den häufigen Abflüssen. Doch bei Extremereignissen, wie etwa bei den Hochwassern von 1987, 1993, 2000 und 2005 in der Schweiz, kann die Gerinnebreite massiv zunehmen. Für die Gebirgsflüsse muss also auch die Wirkung von seltenen Abflüssen als dominanter Abfluss betrachtet werden. Die Gerinneverbreiterungen und -umlagerungen, wie sie zum Beispiel Bezzola et al.



**Bild 4. Ok Tedi River in Papua-Neuguinea.** Die Breite dieses Flusses im Regenwald beträgt etwa 90 m. Das Alter der Bäume an den Ufern lässt darauf schliessen, dass das Gerinne in seiner Lage über einige Jahre bis Jahrzehnte stabil bleibt.



**Bild 5. Harper River, Canterbury, Neuseeland.** Vermutlich infolge starker Geschiebezufuhr und Auflandungstendenz ist das Gerinne auch in seiner Lage sehr instabil und beansprucht die ganze zur Verfügung stehende Talfläche.



**Bild 6. Schematische Darstellung der Gerinnebildung von einem engen Richtkanal aus (a), durch sukzessive Verengung durch Aufkommen der Vegetation (b).**

(1990) beschreiben, sind in diesem Licht zu sehen.

Über die Regimetheorie gibt es eine Vielzahl von Publikationen und Textbüchern. Eine grössere Zusammenfassung findet sich bei Blench (1969). Zeller (1965) hat die Regimetheorie einer deutschsprachigen Leserschaft vorgestellt. Ein relativ neues Textbuch stammt von Yalin und da Silva (2001). Diese Autoren haben einen grossen Datensatz untersucht und halb-empirische Regeln aufgestellt, die gegenüber den früheren zum grossen Teil rein empirisch abgeleiteten Gleichungen nachvollziehbarer sind.

Um sich den Mechanismus der Gerinnebildung vorzustellen, geht man von einem sehr engen Gerinne aus, das in alluviales Material eingetieft ist (Bild 6a). Sediment der gleichen Körnung wie das alluviale Material wird in der Menge zugeführt, die es braucht, um das Längsgefälle zu erhalten. Im engen Gerinne ist der Sedimenttransport intensiv. Aus der Sohle wird immer Material erodiert, im Besonderen auch am Fuss der Uferböschungen. Dies führt zu Nachrutschungen an den Ufern, wodurch die Gerinnebreite zunimmt, bis die Regimebreite erreicht ist.

Nun gibt es einen fundamentalen Unterschied zwischen kies- und sandführenden Flüssen. Bestehen Sohlen- und Ufermaterial wie auch das zugeführte Geschiebe aus Kies, so wird dieses im Gerinne nur als Geschiebe bewegt. Dieses Geschiebe befindet sich immer in Sohlennähe. Das aus den Böschungen abrutschende Material kann dort nicht ersetzt werden. Die Verbreiterung des Gerinnes kann erst aufhören, wenn am Böschungsfuss kein Geschiebe mehr bewegt wird. Dies entspricht den Bedingungen für den Transportbeginn, oder in diesem Fall dem Transportende. Da die Schleppkraft in Gerinnemitte etwas höher ist als am Rand,

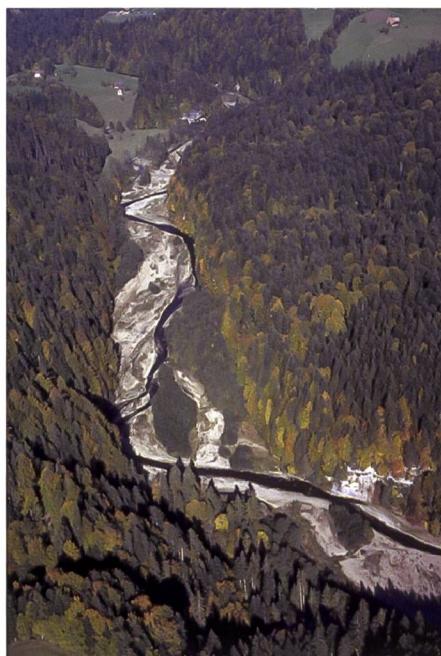
kann bei diesen Bedingungen immer noch eine gewisse Geschiebemenge bewegt werden. Grundsätzlich erlauben aber die Gleichungen für den Geschiebetransportbeginn eine Bestimmung der Regimebreite bei Gebirgsflüssen.

In einem sandführenden Fluss wird ein Teil des Sediments in Sohlennähe, ein Teil in Suspension bewegt. Durch die Turbulenz wird das suspendierte Sediment auch seitlich bewegt und es kann in den oberen Teil der Böschung diffundieren. Das abrutschende Material wird so durch diffundiertes Material ersetzt. Die Regimebreite ist erreicht, wenn sich ein Gleichgewicht zwischen abgelagertem und abgerutschem Sediment ergibt. Dieses Gleichgewicht kann nicht analytisch bestimmt werden. Yalin und da Silva bieten ein Verfahren an, dessen wesentliches Element die Bestimmung des Fliesswiderstandes

durch Sohlenformen ist. Die Regimebreite wird erreicht, wenn bei der Verbreiterung und der Abnahme der Abflusstiefe ein maximaler Widerstand erreicht wird. Dies ist im Gegensatz zu den kiesführenden Flüssen bei relativ hohen Schleppkräften der Fall, die weit über jenen bei Transportbeginn liegen.

Man kann sich den Mechanismus der Gerinnebildung auch anders vorstellen. Vorerst steht im Gewässer eine wesentlich grössere Fläche zur Verfügung, als es der Regimebreite entspricht. Sukzessive wird sich nun Vegetation im Fliessquerschnitt ansiedeln. Dadurch wird die Breite eingeschränkt. Ist diese einmal auf die Regimebreite reduziert, so wird sich das Gerinne nicht mehr weiter verengen und der morphogene Abfluss ist genügend stark, um das Gerinne offen zu halten. Eine Illustration dieses Konzeptes findet sich in Bild 6b.

Das Schwarzwasser, ein Voralpenfluss im Kanton Bern, kann ebenfalls zur Illustration herangezogen werden. Bild 7 zeigt zwei verschiedene Abschnitte dieses Gewässers. In den Zwischeneiszeiten haben grössere Abflüsse eine Schlucht in der Molasse geformt. Später haben die heutigen morphogenen Abflüsse Geschiebe in diese Schlucht eingetragen, wodurch sich durch Auflandung eine alluviale Sohle bildete. Naturgemäß ist das Gefälle im oberen Teil grösser als weiter flussabwärts. Das Sohlenmaterial ist in beiden Abschnitten etwa das gleiche. Der Unterschied im Gefälle wirkt sich nun auch in der Regimebreite aus. Im obe-



**Bild 7. Schwarzwasser im Kanton Bern. Steilerer oberer Abschnitt a), flacherer unterer Abschnitt b). Die Regimebreite resp. vegetationsfreie Breite nimmt mit dem Gefälle ab (Aufnahmen J.Cl. Bersier, Freiburg).**



Bild 8. Detailaufnahme im Abschnitt von Bild 7b, mit Pioniergebiet innerhalb des Regimegerinnes.



Bild 9. Revitalisierung der Reppisch bei Birmensdorf ZH. a) Ausgangszustand 1984, b) Regimegerinne nach ca. 20 Jahren.



ren Abschnitt beträgt diese etwa  $\frac{3}{4}$  der Schluchtbreite, während sie im unteren Abschnitt nur noch etwa 20% entspricht. Sichtbar wird dies durch das Ausmass der einigermassen stabilen Vegetation (Hart-holzaue). Wie Bild 8 zeigt, kann sich innerhalb der aktiven Breite beziehungsweise der Regimebreite Pioniergebiet ansiedeln. Mit dem Durchfluss des dominanten Abflusses alle zwei bis fünf Jahre werden die Kiesbänke umgearbeitet und die Pioniergebiet verschwindet wieder.

Die Renaturierung der Reppisch bei der Kaserne Reppischtal ist ein anderes Beispiel für diesen Mechanismus. Das ursprüngliche kanalisierte Gerinne der Reppisch wurde aufgebrochen und dem Gewässer eine Fläche von mehr als 20 m Breite zur Verfügung gestellt. Innerhalb dieser Fläche durfte sich der Fluss dynamisch weiterentwickeln. Nach über 25 Jahren hat sich nun an dieser Stelle ein Regimegerinne gebildet. Wie Bild 9 zeigt, hat sich der Fluss in ein kleines Gerinne von etwa 6 m Breite zurückgezogen. Außerhalb dieser Regimebreite sind naturnahe Überflutungsflächen entstanden.

Diese Erkenntnisse sind für die Abflussberechnungen der 3. Rhonekorrektion bedeutsam. Die Regimebreite definiert den hydraulisch wirksamen Abflussquerschnitt, auch wenn der Rhone ein noch breiteres Gerinne zugeordnet wird.

Die Regimebreite lässt sich auf zwei Arten berechnen. Die beiden Methoden werden hier als jene von Yalin und da Silva einerseits und Parker/Günter anderseits bezeichnet. Yalin und da Silva (2001) geben eine Näherungsformel für kiesführende Flüsse an:

$$B_R = 1.42 \sqrt{\frac{Q}{\sqrt{\theta_{cr}(s-1)gd}}} \quad 1$$

$B_R$ : Regimebreite  
 $Q$ : dominanter Abfluss  
 $\theta_{cr}$ : dimensionsloser Strömungsparameter (auch Shields-Parameter) für den Transportbeginn für Einheitskorn, bei rauen Abflussverhältnissen ist  $\theta_{cr} \approx 0.047-0.05$   
 $s$ : relative Dichte des Sediments zum Wasser, in der Regel 2.65  
 $g$ : Erdbeschleunigung  
 Diese Formel bezieht sich allerdings auf Einheitskorn und berücksichtigt die Deckschichtbildung nicht.

Gemäss Parker (1978) kann das Konzept der Verbreiterung eines engen Kanals bis zum Erreichen der Regimebreite modifiziert werden. Die Verbreiterung hört dann auf, wenn die Grenzbedingungen der Stabilität der Deckschicht erreicht sind. Diese können nach einer Formel von Günter (1971) berechnet werden.

$$\theta_D = \frac{h_{Gr}J}{(s-1)d_{mUS}} = \theta_{cr} \left( \frac{d_{mDS}}{d_{mUS}} \right)^{\frac{2}{3}} \quad 2$$

$\theta_D$  = Shields-Parameter für den Erosionsbeginn der Deckschicht (Pflasterungsschicht) bei einer Mischsohle  
 $d_{mDS}$  Mittlerer Durchmesser der Deckschicht (näherungsweise  $d_{90}$  der Unterschicht)  
 $d_{mUS}$  Mittlerer Durchmesser der Unterschicht  
 Bei bekanntem Längsgefälle  $J$  lässt sich die Grenztiefe  $h_{Gr}$  für die Stabilität der Deckschicht berechnen. Für diese Abflusstiefe wird die Breite gesucht, welche erlaubt, den Abfluss  $Q_2$  bzw.  $Q_5$  abzuführen.

## 6. Regimebreiten für die Dritte Rhonekorrektion

Aus der Anwendung der Regimebreite ergeben sich die folgenden Breiten:

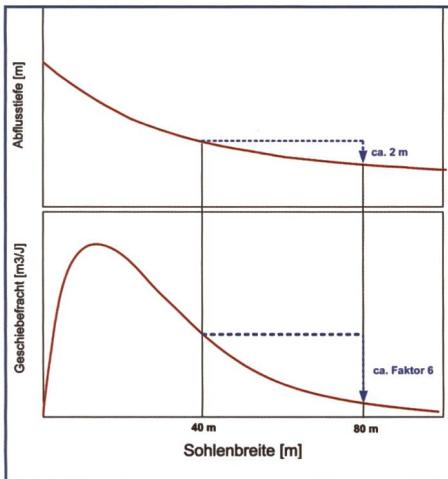
Massa-Vispa	60 m
Vispa-Susten	70 m
Chippis-Borgne	80 m
Borgne-Lavey	90 m
Lavey-St. Maurice	60-70 m
Massongex-Léman	95-100 m

Die Werte sind gerundet. Diese Breiten entsprechen ungefähr den Flussbreiten auf alten Karten vor der Ersten Korrektion.

## 7. Der Geschiebehaushalt nach der 3. Rhonekorrektion

Im Rahmen der Erarbeitung des generellen Projektes für die 3. Rhonekorrektion wurde der Grundsatz aufgestellt, wo immer möglich den Abflussquerschnitt durch Gerinneverbreiterung zu vergrössern. Für die Abflussberechnungen und die Geschiebesimulationen wird die Regimebreite als massgebend erachtet. Die hydraulischen Untersuchungen zeigen, dass durch eine Aufweitung des Gerinnes auf die Regimebreite die Abflusstiefen beim Dimensionierungshochwasser um ca. 2 m reduziert werden können (Bild 10). Die Verbreiterung bewirkt aber auch einen Abfall der Transportkapazität. Die Geschiebesimulation hat ergeben, dass das Transportniveau im Mittel von heute 30 000 m<sup>3</sup> pro Jahr auf etwa 5000 m<sup>3</sup> pro Jahr reduziert wird.

Es stellt sich die Frage, ob diese massive Abnahme der Transportleistung zu wesentlich grösseren Geschiebeentnahmen führt. Bild 11 zeigt dazu den Geschiebehaushalt nach der 3. Korrektion. Im Vergleich zu heute muss im Raum Chippis mehr Geschiebe entnommen werden, um das im aufgeweiteten Gerinne vorhandene tiefere Transportniveau zu erreichen. In den flussabwärts liegenden Strecken müssen, ähnlich wie heute, die Kieswerke den zusätzlichen Anfall aus den weiteren Zuflüssen aufnehmen. Insgesamt kann aber davon ausgegangen werden, dass die zukünftigen Entnahmemengen prozentual nur wenig ansteigen werden. Die Zunahme der durch die Gerinneverbrei-



**Bild 10.** Einfluss einer Verbreiterung von der heutigen Breite auf die Regimebreite auf die Wasserspiegel und den Geschiebe-transport.

terung bedingten Entnahmemenge wird in der Grössenordnung der in den vergangenen Jahren zu viel entnommenen Kiesmenge liegen.

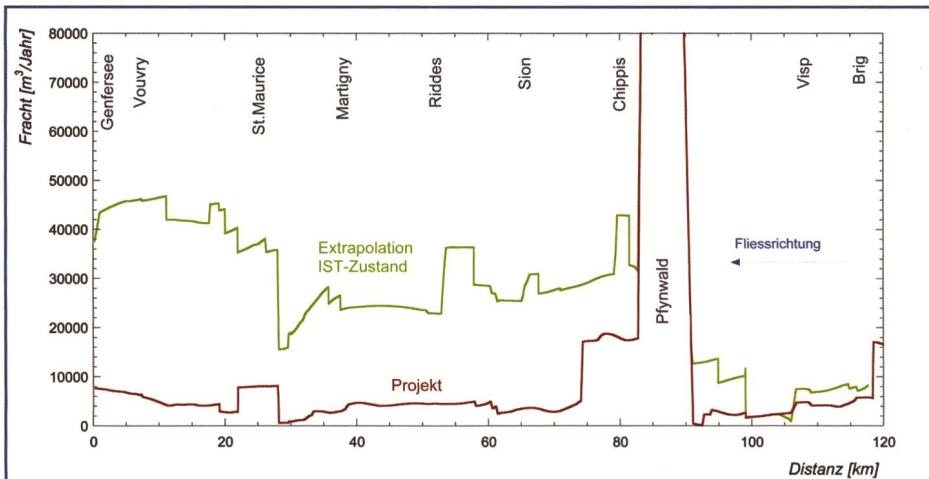
Im Zuge der weiteren Projektierung müssen die Bewirtschaftung der durch die Seitenbäche eingetragenen Geschiebemengen und die Entnahmen an den verschiedenen Standorten optimiert werden.

## 8. Folgerungen

Die Untersuchungen über den Geschiebehaushalt der Rhone ergeben, dass eine Aufweitung des Gerinnes aus geschiebetechnischer und morphologischer Sicht machbar ist. Hintergrund für die Verbreiterung ist die sogenannte Regimetheorie.

Zwar ist mit einer markanten Reduktion der Transportleistung zu rechnen, weil aber das Verhältnis zwischen der Geschiebezufuhr aus den Seitenbächen und dem Geschiebetransport in der Rhone schon heute sehr gross ist (ca. Faktor 8), sind die zu erwartenden zusätzlichen Entnahmemengen verhältnismässig gering. Es wird mit einer Zunahme von 0–15% gerechnet, je nach dem, welche Referenzbaggermenge zum Vergleich hinzugezogen wird.

Aus hydraulischer und morphologischer Sicht hat eine Aufweitung des Gerinnes Vorteile, weil die Wasserspie-



**Bild 11.** Transportdiagramm der Rhone für den IST-Zustand (Extrapolation des heutigen Zustandes ohne Massnahmen) sowie nach der 3. Rhonekorrektion gemäss generellem Projekt (Stand 2008).

gel markant gesenkt werden können und der Sohlenspeicher vergrössert wird. Ein grösserer Sohlenspeicher bewirkt, dass die morphologischen Prozesse langsamer ablaufen.

Dieser Artikel entspricht dem Inhalt des Vortrags an der KOHS-Tagung vom 21. Januar 2011 in Olten.

## Literatur

Bezzola, G.R., Kuster, P., Pellandini, St. 1990, The Reuss River Flood of 1987 – Hydraulic Model Tests and Reconstruction Concepts. International Conference on River Flood Hydraulics, Wallingford, UK, 17.–20. Sept., 1990, paper J2, 317–326.

Bianco, Ph., Genolet, F., Rebord, Y.G., 1999, La 2<sup>ème</sup> Correction du Rhône a-t-elle résolu le problème du charriage? «Wasser Energie Luft», 91. Jg., Heft 3/4, 56–60.

Blench, T. (1969) Mobile Bed Fluviology, The University of Alberta Press, Edmonton.

DFI Département Fédéral de l'Intérieur, 1964, La correction du Rhône en amont du lac Léman, Office fédéral des imprimés et du matériel, Berne.

Günter, A. (1971): «Die kritische mittlere Sohlenschubspannung bei Geschiebemischungen unter Berücksichtigung der Deckschichtbildung und der turbulenten Sohlenschubspannungsschwankungen», Mitt. der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zürich, Nr. 3,

Parker, G. (1978): «Self-Formed Straight Rivers with Equilibrium Banks and Mobile Bed. Part 2. The Gravel River», J. Fluid Mech., Vol. 89, Part 1, 127–146.

Yalin, S.M. and da Silva, A.M., 2001, Fluvial Processes, IAHR International Association for Hydraulic Engineering and Research, Delft, The Netherlands.

Zeller, J. 1965, Die «Regime-Theorie», eine Methode zur Bemessung stabiler Flussgerinne, Mitt. der Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau, ETH Zürich, Nr. 66.

## Anschrift der Verfasser

Martin Jäggi PD Dr.

Flussbau und Flussmorphologie

Bergholzweg 22, CH-8123 Ebmatingen  
www.rivers.ch

Roni Hunziker Dr.

Hunziker, Zarn & Partner

Schachenallee 29, CH-5000 Aarau  
www.hzp.ch

Tony Arborino

Chef de projet

DTEE Service des Routes et Cours d'Eau  
Projet Rhône, Av. de France, BP 478  
CH-1951 Sion, www.vs.ch/rhone