

Geschiebe- und Schwebstoffproblematik in Schweizer Fliessgewässern

Zürich, den 3. November 2005



Schälchli, Abegg + Hunzinger
dipl. Ing ETH / SIA, Fluss- und Wasserbau
Holbeinstr. 34, CH-8008 Zürich, Tel. 044 251 51 74
Email sah.zh@flussbau.ch

Mitarbeit:

Hunziker, Zarn & Partner
Via Flucs. 10, CH-7013 Domat/Ems, Tel. 081 630 36 18

Inhalt

1	Der Feststoffhaushalt von Fliessgewässern	1
2	Einflussgrössen des Feststoffhaushalts und Phänomene der Fliessgewässer	1
3	Bedeutung des Feststoffhaushalts (Wasserbau, Ökologie, Wasserwirtschaft)	2
4	Anthropogene Eingriffe und Auswirkungen	4
4.1	Wildbach- und Flussverbauungen zur Stabilisierung von Talflanken, Hängen, Ufern und der Flusssohle	4
4.2	Flusskorrekturen	5
4.3	Geschiebesammler, Kiesentnahmen	6
4.4	Wasserkraftwerke	7
5	Übersicht Geschiebehaushalt in Schweizer Fliessgewässern	9
6	Massnahmen zur Verbesserung des Geschiebehaushalts	12
6.1	Gewässerverbauungen und Korrekturen	13
6.2	Geschiebesammler, Kiesentnahmen	13
6.3	Wasserkraftwerke	14
6.4	Kostenfolgen	15
7	Diskussion von Schlüsselgrössen für eine gesetzliche Regelung	15
8	Zusammenfassende Beurteilung	16

1 Der Feststoffhaushalt von Fliessgewässern

Der Feststoffhaushalt eines Fliessgewässers umfasst das Feststoffaufkommen im Einzugsgebiet, den Feststofftransport bei erhöhtem Abfluss sowie Erosions-, Um- und Ablagerungsprozesse im Sohlen- und Uferbereich der Gewässer sowie deren Vorländer. Die Sohle der Fliessgewässer besteht vorwiegend aus kiesigem Material, das mit zunehmendem Gefälle mit Steinen und Blöcken angereichert ist.

Zu den Feststoffen gehören das Geschiebe und die Schwebstoffe. Das Geschiebe (Kies und Steine mit Durchmesser $>$ ca. 5 mm) wird bei Hochwasser gleitend, rollend oder springend über die Gewässersohle transportiert. Die Schwebstoffe betreffen Feinpartikel, die im Wasser schwebend transportiert werden und bei erhöhter Konzentration zur Trübung des Abflusses führen.

Der Abfluss in einem Gewässer kann eine bestimmte Menge von Feststoffen transportieren. Bei Nieder- oder Mittelwasserabfluss können in der Regel nur Feinpartikel transportiert werden und sofern keine verfügbar sind, ist das Wasser klar. Mit steigendem Abfluss nimmt die Schleppkraft des Wassers zu und ab einem bestimmten Grenzwert kann Geschiebe transportiert werden. Wird nicht ausreichend Geschiebe aus dem Einzugsgebiet aus Runsen, Schutthalden oder Anrissstellen geliefert, so kann der Abfluss Geschiebe aus der Sohle erodieren und es kommt zur Sohleneintiefung. Bei vielen Fliessgewässern ist die Sohle gröber als das zugeführte Geschiebe. Diese Flusssohlen weisen einen hohen Erosionswiderstand auf und können daher erst bei grossen Hochwasserabflüssen erodiert werden.

Der Lauf von Fliessgewässern kann in den steilen Oberlauf, den Mittellauf und den flachen Unterlauf eingeteilt werden. Im Oberlauf besteht häufig eine Erosionstendenz, im Mittellauf wird das Geschiebe durchtransportiert und im Unterlauf abgelagert. Dieses vereinfachte Längenprofil wird in Wirklichkeit durch lokale Fixpunkte (z.B. Felsschwellen), Profiländerungen oder unterschiedlich grobes Sohlenmaterial zusätzlich gegliedert.

2 Einflussgrössen des Feststoffhaushalts und Phänomene der Fliessgewässer

Der Feststoffhaushalt eines Fliessgewässers wird geprägt durch das Feststoffaufkommen im Einzugsgebiet, den Abfluss, die Gerinnegeometrie und die Zusammensetzung von Sohle und Geschiebe (Bild 1).

Die Geschiebetransportkapazität eines Flussabschnitts wird bestimmt durch die Gerinnegeometrie, das Sohlenmaterial und den Abfluss. Es können drei Fälle unterschieden werden:

1. *Geschiebedefizit:* Es wird weniger Geschiebe vom Oberwasser in den Flussabschnitt zugeführt als in diesem transportiert werden kann. Bei einem Geschiebedefizit kommt es zur Sohlenerosion oder die Sohle pflästert sich ab. Bei einer Sohlenabpflasterung werden feinere Körner an der Sohlenoberfläche weggespült und die Deckschicht (Sohlenoberfläche) vergrößert sich zunehmend.

2. *Geschiebeüberschuss*: Es wird mehr Geschiebe zugeführt, als transportiert werden kann. Geschiebe wird abgelagert und die Sohle landet auf.
3. *Geschiebegleichgewicht*: In einer Periode wird gleich viel Geschiebe zugeführt wie weitertransportiert werden kann.

Die Schwebstoffführung wird geprägt durch die Schwebstoffzufuhr und die Strömungsverhältnisse. Bei abnehmender Fliessgeschwindigkeit können zunehmend feinere Partikel auf der Sohle abgelagert werden.

Der Feststoffhaushalt prägt die Gestalt (Morphologie), den Aufbau und die Zusammensetzung der Sohle (Substrat) und die Veränderung (Dynamik) des Fliessgewässers. Morphologie, Substrat und Dynamik beschreiben die Phänomene eines Fliessgewässers.

Die *Morphologie* charakterisiert die Gestalt und Form der Gewässersohle und der Ufer. In einem natürlichen Fliessgewässer besteht oft eine grosse Strukturvielfalt mit Schnellen, tiefen Rinnen, Flachwasserzonen, Uferbuchten, Kiesbänken und anderen Elementen. Bei kanalisiertem Fliessgewässern ist die Sohle oft eben und die Ufer sind durchgehend verbaut.

Das *Substrat* charakterisiert die Zusammensetzung, den Aufbau und die Variation des Materials, das die Sohlenoberfläche bildet. Wird das Substrat bei erhöhtem Abfluss regelmässig bewegt, so ist es locker und durchlässig. Wasser kann durch die Sohle zirkulieren und den Lückenraum mit Sauerstoff versorgen. Wird das Substrat kaum bewegt, so kommt es mit der Einlagerung von Schwebstoffen zur Abdichtung (Kolmation) der Gewässersohle. In einem natürlichen Gewässer zeigt das Substrat mosaikartig eine variable Zusammensetzung mit zumindest bereichsweiser lockerer Lagerung. In kanalisiertem Gewässern mit ebener Sohle zeigt das Substrat meist eine einheitliche Zusammensetzung und die Sohle ist oft übermässig kolmatiert.

Die *Dynamik* charakterisiert die Veränderung von Morphologie und Substrat in Raum und Zeit. Die wiederkehrende Umgestaltung der Strukturen und die Umlagerung des Substrats führen zu einer wiederkehrenden Erneuerung des Fliessgewässers. Bei natürlichen Fliessgewässern kann sich bei Hochwasserereignissen der gesamte Gewässerverlauf verlagern und neue Gerinne können entstehen. Bei verbauten Gewässern sind Ufer und Sohle oft fixiert und die Dynamik wird verhindert.

3 Bedeutung des Feststoffhaushalts (Flussbau, Ökologie, Wasserwirtschaft)

Der Feststoffhaushalt eines Fliessgewässers hat eine flussbauliche, eine ökologische und eine wasserwirtschaftliche Bedeutung.

Flussbau:

Die flussbauliche Bedeutung betrifft den Hochwasserschutz. Bei einem Geschiebedefizit kann die Sohle erodiert, Ufer können unterspült, bestehende Schutzbauten zerstört und Brücken gefährdet werden. Bei einem Geschiebeüberschuss landet die Sohle auf, der Hochwasserspiegel wird angehoben, Brücken und Durchlässe können verstopft (verklaust) und das Umland überflutet werden. Aus flussbaulicher Sicht wird daher ein dynamisches Geschiebegleichgewicht angestrebt, wo weder bedeutende Erosionen noch Auflandungen auftreten. Zur Erreichung dieser Ziele können folgende

Parameter beeinflusst werden: Gewässerbreite, Längenprofil, Geschiebeaufkommen (Erosionsschutz, Geschiebesammler, Kiesentnahmen oder – zugaben), Rauheit, Abfluss.

Ökologie:

Der Feststoffhaushalt hat einen umfassenden Einfluss auf die Ökologie eines Fliessgewässers. Daneben spielt vor allem auch die Bettbreite und das Abflussregime eine wichtige Rolle. Die Phänomene (Bild 1) bestimmen die Lebensraumverhältnisse (Habitats) in den Fliessgewässern.

Die Verjüngung von Flussauen erfolgt durch Ufererosion und Gerinneverlagerung (Dynamik). Dadurch entstehen neue Kiesflächen, auf welchen sich Pioniervegetation und Weichholzaunen entwickeln können. Bei fehlender oder ungenügender Geschiebezufuhr tieft sich das Gerinne ein, Kiesbänke werden erodiert und die zunehmend über der Wasserlinie liegenden Anschlussflächen verbuschen. Davon betroffen sind alle im und am Gewässer lebenden Tiere und Pflanzen.

Stellvertretend für die in und an Fliessgewässern lebenden Tier- und Pflanzenarten sind nachfolgend die Lebensraumsprüche einzelner Vorzeigarten sowie weitere Zusammenhänge aufgeführt:

- Kieslaichende Fische (z.B. Forelle, Aesche, Groppe) benötigen lockere Geschiebeablagerungen zur Fortpflanzung.
- Insektenlarven (Fischnährtiere), die auf und in der Gewässersohle leben, benötigen lockeres, gut durchströmtes Substrat.
- Verschiedene Vogelarten (z.B. Flussregenpfeifer) benötigen Kiesflächen und offene Flachwasserzonen als Lebensraum und zur Fortpflanzung.
- Verschiedene Amphibien- und Reptilienarten sind spezialisiert auf die Besiedlung von Pionierstandorten.
- Am und im Wasser lebende Säugetiere (Biber) benötigen einen strukturierten Lebensraum mit Weichholzaunen. Weichholzaunen erhalten sich längerfristig nur bei ausreichender Dynamik und Feststoffzufuhr.
- Ein regelmässiger Geschiebetrieb reduziert das Wachstum von Algen und Wasserpflanzen und verhindert damit übermässiges Wachstum.
- Ein regelmässiger Geschiebetrieb fördert den Selbstreinigungsprozess von Fliessgewässern.

Wasserwirtschaft:

Die wasserwirtschaftliche Bedeutung betrifft die Nutzung der Fliessgewässer zur Stromproduktion (Wasserkraftwerke), als Verkehrswege (Schiffsverkehr) sowie die Lage und die Neubildung des Grundwassers.

Bei Wasserkraftwerken und der Schifffahrt kann eine grosse Feststoffführung zu folgenden Beeinträchtigungen führen:

- Speicherbecken verlanden, wodurch das Speichervolumen reduziert wird.

- Wasserfassungen können verlanden oder durch Geschiebeablagerungen beeinträchtigt werden, wodurch weniger Wasser gefasst und die Stromproduktion vermindert wird¹.
- Geschiebetrieb durch die Turbinen führt zur verstärkter Abrasion an den Schaufelrädern.
- Geschiebeebänke können die Schifffahrt beeinträchtigen (nur am Hochrhein bei Basel von wirtschaftlicher Bedeutung).

Ein Defizit oder ein Überschuss beim Geschiebe können auch zu Veränderungen beim Grundwasser führen:

- Veränderungen der Höhenlage der Gewässersohle beeinflussen den Wasserspiegel im Gerinne und damit auch beim Grundwasser. Betroffen davon sind Erneuerung, Lage und Ausmass des Grundwasservorkommens. Diese Parameter können Auswirkungen auf Trinkwasserversorgung, landwirtschaftliche Nutzflächen, Feuchtgebiete, Auen, Quellbäche (Giessen) oder Bauten haben.
- Bei verminderter oder ausbleibender Umlagerung des Sohlenmaterials kann die Sohle zunehmend kolmatieren (sich abdichten), wodurch weniger Wasser infiltriert und die Grundwasserneubildung reduziert wird.

4 Anthropogene Eingriffe und Auswirkungen

Die anthropogenen Eingriffe, welche den Feststoffhaushalt von Fliessgewässern verändern, werden unterteilt in (Bild 2):

- Wildbach- und Flussverbauungen zur Stabilisierung von Talflanken, Hängen, Ufern, der Flusssohle sowie zur Reduktion des Geschiebeaufkommens
- Flusskorrekturen
- Geschiebesammler (inkl. Geschieberückhaltebecken), Kiesentnahmen
- Wasserkraftwerke (alle Typen)

Viele dieser Eingriffe haben in unserer modernen Gesellschaft einen hohen Stellenwert, so z.B. für den Schutz vor Naturgefahren, die Produktion erneuerbarer Energie und zur Landgewinnung.

Nachfolgend werden die Ursachen, die Ziele und die Auswirkungen der Eingriffe zusammengefasst. Die aufgeführten Beispiele sind in Bild 3 angegeben.

4.1 Wildbach- und Flussverbauungen zur Stabilisierung von Talflanken, Hängen, Ufern und der Flusssohle

Die **Wildbachverbauungen** im Alpenraum führen häufig zu einem vorübergehenden Unterbruch der Geschiebeführung gerinneabwärts. Nach Hinterfüllung der Bauwerke sowie der Stabilisierung von Ufern und Hängen pendelt sich die Geschiebeführung auf tieferem Niveau ein. Weil die ursprünglich

¹ Wasserfassungen können durch bauliche Anpassungen so gestaltet und betrieben werden, dass auch bei starker Geschiebeführung nur unbedeutende Geschiebemengen in die Fassungen transportiert werden.

extrem hohe Geschiebeführung vor allem zu Übersarungen auf dem Schwemmkegel oder zu einer Überlastung des Vorfluters im Ereignisfall führte, haben diese Verbauungen bei Wildbächen mit hohem Geschiebepotenzial meist keine oder nur geringe unerwünschte Auswirkungen auf den Geschiebehaushalt des Vorfluters zur Folge. Bei niedrigem Geschiebeaufkommen können Verbauungen den Geschiebeeintrag in den Vorfluter substantiell reduzieren.

Beispiel 1: Durnagelbach im Kt. Glarus

Beispiel 2: Schraubach im Kt. Graubünden

Beispiel 3: Gürbe und Lombach im Kt. Bern

Uferverbauungen verhindern den seitlichen Geschiebeeintrag durch Ufererosion bei Hochwasserereignissen. Dadurch wird die Geschiebeführung langfristig reduziert.

Beispiel 4: Ufererosion Hochrhein bei Rüdlingen (durchschnittlicher Eintrag 11'000 m³/a, verbaut um 1900)

Hanganrisse an Prallhängen sind vielerorts verbaut und der Geschiebeeintrag in das Gewässer reduziert. Unverbaute Abschnitte bestehen beispielsweise in abgelegenen Flussstrecken der Thur, der Sitter, der Sense und am Vorderrhein.

4.2 Flusskorrekturen

Die **grossen Flusskorrekturen**, bei denen die Gewässer begradigt, kanalisiert und eingeeignet wurden, führten zu einer starken Erhöhung der Geschiebetransportkapazität. Diese anfänglich erwünschte Wirkung führte längerfristig zu einer übermässigen Erosion der Gewässersohle, wobei Ufersicherungen zerstört und Brücken unterspült wurden. Infolge der Sohlenerosion nahm die Geschiebeführung stark zu. Zur Begrenzung der Sohlenerosion wurden an vielen Gewässern in regelmässigen Abständen Schwellen eingebaut. Zwischen den Schwellen tiefte sich die Sohle in reduziertem Mass weiter ein. Diese Prozesse sind in vielen korrigierten Flüssen noch lange nicht abgeschlossen. Je nach aktuellem Geschiebeaufkommen und Stand des Eintiefungsprozesses kann die Geschiebeführung um ein Mehrfaches über der Fracht der unbeeinflussten Verhältnissen liegen oder auch darunter (wegen lokal verbauten Geschiebeherden). Die Korrekturen führten auch zu einer erheblichen Beeinträchtigung (Monotonisierung) der Morphologie.

Beispiel 5: Emme: Kanalisierung und Schwellenbau. Der Erosionsprozess zwischen den Schwellen ist noch nicht abgeschlossen.

Beispiel 6: Thur: Kanalisierung mit Schwellenbau im St. Galler Abschnitt (Will – Bischofszell); Kanalisierung mit weiter fortschreitender Sohleneintiefung im Thurgauer Abschnitt.

Beispiel 7: Alpenrhein unterhalb Landquart: Die Einengung des Alpenrheins auf 90 m bewirkte eine Erhöhung der Geschiebetransportkapazität um ein Mehrfaches. Trotz der Eintiefung, der damit verbundenen Gefällsabnahme und den Kiesentnahmen wird im St. Galler Rheintal heute mehr Geschiebe transportiert als vor der Korrektur.

Gewässerumleitungen in Seen wie der Kanderdurchstich (Thunersee) und die Linthkorrektur (Walensee) führten zu einer Reduktion, resp. einer Einstellung der Geschiebeführung im Unterwasser.

4.3 Geschiebesammler, Kiesentnahmen

Geschiebesammler werden aus flussbaulichen oder wasserwirtschaftlichen Gründen erstellt:

Geschiebesammler befinden sich oft am oberen Ende eines Wildbachkegels (Übergang Erosions-/Transportstrecke zu Ablagerungsstrecke) oder im Gefällsknick eines Talflusses. Mit dem Geschieberückhalt und den Materialentnahmen wird verhindert, dass es in flachen Strecken zu Geschiebeablagerungen und damit zu Hochwasserschutzproblemen kommt.

Kiesentnahmen betreffen direkte Geschiebeentnahmen aus Fliessgewässern aus kommerziellen Gründen. Das Material wird als Baustoff verwertet (Wege- und Strassenbau, Betonkies).

Geschiebesammler werden zudem im Zusammenhang mit Flusskraftwerken erstellt, um Geschiebeablagerungen in den Stauhaltungen oder in den abgetieften Unterwasserstrecken zu verhindern.

Beispiel 8: Geschiebesammler an der Emmemündung in Zusammenhang mit dem Bau des Flusskraftwerks Flumenthal an der Aare. Alles von der Emme zugeführte Geschiebe wird vollständig abgelagert (und der Aare entzogen).

Beispiel 9: Im Unterwasser des Kraftwerks Flumenthal wurde die Aaresohle um bis zu 5 m abgesenkt und an der Siggernmündung ein Geschiebesammler erstellt. Dieser Geschiebesammler wird seit einigen Jahren nicht mehr entleert (Massnahme zur Reaktivierung des Geschiebehaushalts der Aare).

Bei Wildbächen werden Geschiebesammler oder -rückhaltebecken in der Regel aus Hochwasserschutzgründen realisiert. Je nach Geologie, Ausbildung der Sammler und Holzanteil muss das abgelagerte Material deponiert oder es kann als Baurohstoff verwendet werden.

Beispiel 10: Im Bündner und St. Galler Rheintal (zwischen Reichenau und dem Bodensee) hat es eine Vielzahl von Rückhalteeinrichtungen, weil das Geschiebe nicht oder nur zu einem geringen Teil durch die flache Talebene bis zum Alpenrhein transportiert werden kann.

Beispiel 11: Geschiebe aus dem Rückhaltebecken des Schluenerbachs (Ereignis 2004) wurde auf seinen Wildbachkegel deponiert, so dass der Vorderrhein bei Hochwasser Teile davon abschwemmen kann. Das Material kann aus Qualitätsgründen nicht als Baurohstoff verwendet werden.

Bei Talflüssen kann entnommenes Geschiebe praktisch immer kommerziell genutzt werden. Häufig ist dies der Grund für die Entnahmen und nicht der Hochwasserschutz.

Beispiel 12: Geschiebesammler an der Wigger bei Dagmersellen. Der Sammler wird regelmässig geleert und der Kies verkauft. Das Geschiebe könnte praktisch ablagerungsfrei bis in die Aare weitertransportiert werden. Einzig oberhalb einer hochliegenden Wehrschwelle eines Kleinwasserkraftwerks, wo es (beim Aufheben des Sammlers) zu Ablagerungen und einer leichten Beeinträchtigung des Hochwasserschutzes kommen würde, müssten die Uferlinien angehoben werden. Weil diese Massnahmen bisher nicht umgesetzt wurden, wird der Geschiebesammler weiterhin entleert und das Geschiebe der Aare entzogen.

Beispiel 13: An der Sitter bei Appenzell wird praktisch alles Geschiebe aus kommerziellen Gründen entnommen (Kiesentnahme).

Beispiel 14: An der Urnäsch wird beim Rossfall (flussaufwärts von Urnäsch) alles Geschiebe aus einer Kombination von flussbaulichen und kommerziellen Gründen entnommen.

Beispiel 15: Die Kiesentnahmen aus dem Alpenrhein bei Chur und Landquart dienen der kommerziellen Gewinnung von Baurohstoffen.

In verschiedenen Gewässerabschnitten kann aus Hochwasserschutzgründen nicht auf den Rückhalt und die Entnahme von Geschiebe verzichtet werden. Bei Talflüssen lassen sich Sammler oft durch bauliche Anpassungen so in ein Gewässer integrieren, dass nur soviel Geschiebe zurückgehalten wird, wie aus Hochwasserschutzgründen erforderlich ist. Ein Teil des Geschiebes wird bei Hochwasserabfluss flussabwärts weitertransportiert. Solche Sammler führen im Unterwasser zu einer weit- aus geringeren ökologischen Beeinträchtigung als solche, wo alles Geschiebe entnommen wird. Bei Wildbächen wird bei Hochwasserereignissen infolge von Verklausungen des Auslaufbauwerkes mit Holz das Geschiebe praktisch vollständig zurückgehalten. Bei kleinen Hochwasserereignissen ist ein beschränkter Geschiebweitertransport möglich.

Beispiel 16: Geschiebeentnahmestellen an der Reuss bei Amsteg und Erstfeld.

Beispiel 17: Mehrere Abschlussbauwerke von Geschieberückhaltebecken in Sachseln verklausten mit Holz, so dass praktisch alles Geschiebe zurückgehalten wurde (Ereignis 1997).

4.4 Wasserkraftwerke

Bei den Wasserkraftwerken ist zwischen Hochdruckanlagen mit Stauseen, Flusskraftwerken und Ausleitkraftwerken zu unterscheiden (Bild 2).

Nachfolgend sind die wesentlichen geschiebetechnischen Merkmale und Auswirkungen der Anlage-typen beschrieben. Bei einzelnen Werken sind auch davon abweichende Prozesse und Auswirkungen möglich.

Hochdruckanlagen mit Stauseen und Wasserfassungen:

Stauseen liegen meist in Flachstrecken, welche den Geschiebetransport natürlicherweise begrenzen. Das aus dem oberen Einzugsgebiet anfallende Geschiebe (und ein Grossteil der Schwebstoffe) wird vollständig im **Stausee** abgelagert. Im Unterwasser des Stausees fehlen sowohl Abfluss als auch Geschiebe.

Beispiel 18: Lac de Mauvoisin, Zervreila Stausee, Lago di Livigno

Beim Geschiebeeintrag in **Ausgleichsbecken** wird das Geschiebe abgelagert und bei Spülungen stossweise in das Unterwasser abgegeben. Die Spülungen erfolgen in Abhängigkeit der Becken-grösse und der Spülvorschriften. Bei langen Spülintervallen kann es im Unterwasser zu Sohlenerosionen kommen.

Beispiel 19: Lagh da Palü, Ausgleichsbecken Ferrera und Bärenburg

Bei **Wasserfassungen** ohne nennenswerte Stauhaltung (z.B. Tirolerfassungen) wird das Geschiebe bei Hochwasserabfluss meist vollständig flussabwärts weiter transportiert. Im Unterwasser kann es unter Umständen zu einem Geschiebeüberschuss kommen. Die Auswirkungen auf den Geschiebe-haushalt sind in der Regel gering.

Flusskraftwerke mit grosser Stauhaltung:

Bei Flusskraftwerken sind Wehr und Maschinenhaus in einer Achse quer zum Fliessgewässer angeordnet. Die nutzbare Wasserspiegeldifferenz wird durch den Aufstau des Oberwassers und

zusätzlich oft durch die Ausbaggerung der Unterwasserstrecke bestimmt. Flusskraftwerke verfügen daher in der Regel über eine lange Stauhaltung mit grossem Volumen, wo das bei Hochwasserabfluss zugeführte Geschiebe im Stauwurzelbereich abgelagert wird. Hier führen die resultierenden Sohlenuflandungen zu einer Anhebung des Hochwasserspiegels und im Unterwasser, wo das Geschiebe fehlt, zu einer Ausräumung und Eintiefung des Flussbetts. Ohne Massnahmen zur Weitergabe des Geschiebes reduzieren Flusskraftwerke den Geschiebeeintrag ins Unterwasser stark oder können ihn vollständig unterbinden.

Bei Flusskraftwerken wird häufig die Flusssohle im Unterwasser abgesenkt (ausgebaggert), was die nutzbare Fallhöhe erhöht. Dabei wird davon ausgegangen, dass kein Geschiebe durch das Stauwehr transportiert wird (geschiebeloser Zustand). Ausbaggerungen der Unterwassersohle erschweren damit eine zukünftige Reaktivierung des Geschiebehaushalts massgebend.

Beispiel 20: Kraftwerk Bremgarten-Zufikon (Reuss): Das von der Kleinen Emme in die Reuss transportierte Geschiebe wird vollständig im Stauwurzelbereich abgelagert. Im Unterwasser führt das Geschiebedefizit zu Sohlenerosionen. Zur Zeit wird ein Bewirtschaftungskonzept erarbeitet, mit dem verhindert werden soll, dass es im Oberwasser zu Hochwasserschutzproblemen kommt. In den 80er Jahren wurde die Reussole mehrmals ausgebaggert und das anfallende Geschiebe kommerziell verwertet.

Beispiel 21: Kraftwerk Flumenthal (Aare): Mit dem Bau des Kraftwerks Flumenthal wurde an der Emmemündung ein Geschiebesammler (Beispiel 8, Bild 3) erstellt. Der Sammler verhindert Sohlenanhebungen und damit verbundene Hochwasserschutzprobleme in der Stauhaltung.

Beispiel 22: Kraftwerk Ruppoldingen (Aare): Mit dem erfolgten Höherstau des Oberwasserspiegels (1999) wird während der gesamten Konzessionsdauer das vom Oberwasser zugeführte Geschiebe in der Stauhaltung abgelagert. Das Geschiebe fehlt im Unterwasser.

Beispiel 23: Kraftwerk Klingnau (Aare): In der Stauhaltung wird alles zugeführte Geschiebe abgelagert. Das Kraftwerk verhindert den Geschiebeeintrag in den Hochrhein.

Beispiel 24: Kraftwerk Eglisau (Rhein). Im Stauwurzelbereich wird alles von der Thur zugeführte Geschiebe abgelagert und periodisch entnommen. Im Rahmen der Neukonzessionierung wurde der Kraftwerksbetreiber verpflichtet, im Unterwasser des Kraftwerks für einen ausreichenden Geschiebetrieb zu sorgen (Entscheid Bundesgericht). Zur Zeit werden entsprechende Massnahmen ausgearbeitet.

Ausleitkraftwerke:

Ausleitkraftwerke (Kanalkraftwerke) verfügen über ein Stauwehr, bei dem der Kraftwerk-Kanal abzweigt. Das Kraftwerk befindet sich zwischen dem Ober- und dem Unterwasserkanal. Die nutzbare Wasserspiegeldifferenz wird durch das Stauwehr, respektive die Niveaudifferenz bis zur Wasserrückgabe und die geringen Fließwiderstände im Ober- und Unterwasserkanal bestimmt. Zwischen dem Stauwehr und dem Rücklauf des Unterwasserkanals befindet sich die Ausleitstrecke des Fliessgewässers mit reduziertem Abfluss (Restwasserstrecke). Die meist kurze Stauhaltung führt zu einem vorübergehenden Geschieberückhalt. Mit zunehmender Verlandung wird Geschiebe im

Hochwasserfall über die Wehrschwelle in die Ausleitstrecke und anschliessend weiter flussabwärts transportiert. Das Ausmass der Verlandung ist stark von der Höhenlage der Wehrschwelle abhängig.

Beispiel 25: Aare-Kraftwerke Olten-Gösgen, Aarau-Stadt, Aarau-Rüchlig, Rapperswil-Auenstein, Wildegg-Brugg, Beznau (in Bild 3 nicht eingezeichnet). Die Kraftwerke waren bereits im Betrieb, bevor die Geschiebesammler an der Emme und der Wigger erstellt wurden. Das in die Stauhaltung zugeführte Geschiebe wird bei Hochwasserabfluss in die Ausleitstrecke transportiert.

5 Übersicht Geschiebehaushalt in Schweizer Fliessgewässern

Aufgrund der verfügbaren Daten der zwei bearbeitenden Büros wurde begonnen, eine Übersichtskarte der anthropogenen Beeinflussung der Geschiebeführung in Schweizer Fliessgewässern zu erstellen (Bild 3). Die Angaben sind nicht flächendeckend und bei der Interpretation sind folgende Aspekte zu berücksichtigen:

- Die unbeeinflusste Geschiebeführung ist in vielen Gewässern oft nur grob bekannt.
- Der Einfluss von Wildbachverbauungen wird nur qualitativ berücksichtigt.
- Der Einfluss der Flusskorrekturen wurde nicht überall berücksichtigt (oft nicht genügend bekannt).

In Bild 3 ist primär angegeben, ob oder um wieviel Prozent die durchschnittliche jährliche Geschiebeführung in einem Fliessgewässerabschnitt durch Geschiebesammler, Kiesentnahmen oder Wasserkraftwerke gegenüber den unbeeinflussten Verhältnissen mengenmässig reduziert wurde.

Die Beeinflussung der Geschiebeführung wird in 4 Klassen gegliedert:

< 20 %	keine, schwache Reduktion oder Zunahme
20 – 50 %	mässige Beeinträchtigung
50 – 80 %	starke Beeinträchtigung
80 – 100 %	sehr starke bis vollständige Beeinträchtigung

Aufgrund der verfügbaren Daten kann die Situation in den Schweizer Fliessgewässern wie folgt beurteilt werden:

Wildbäche:

Der Geschiebetransport konzentriert sich in der Regel auf mittlere und grosse Hochwasserereignisse und ist dann extrem gross. Aus Hochwasserschutzgründen sind deshalb viele Wildbäche verbaut und bei besiedelten Wildbachkegeln sind in der Regel Geschieberückhaltebecken anzutreffen. Ohne Verbauungen wurde in der Regel mehr Geschiebe in den Vorfluter eingetragen. Wieviel Geschiebe im unbeeinflussten Zustand in den Vorfluter transportiert wurde, ist sehr unterschiedlich und im Einzelfall kaum oder nur qualitativ bekannt.

Gebirgsbäche im Alpenraum:

Das Geschiebeaufkommen und die Geschiebeführung sind gross. Im Unterwasser aller Speicherseen ist die Geschiebeführung stark reduziert. Aus ökologischer Sicht besteht dann Handlungsbedarf, wenn

über eine längere Strecke kein bedeutendes Seitengewässer einmündet, das Geschiebe zuführt und dieses regelmässig umlagert.

Hauptzuflüsse im Alpenraum (z.B. Rotten, Simme, Brenno, Hinterrhein, Landquart):

Die Gewässer verfügen im unbeeinflussten Zustand über eine hohe Geschiebeführung, die durch Korrekturen, Geschiebeentnahmen und Kraftwerke (Stauseen, Ausgleichsbecken) unterschiedlich beeinflusst ist (z.B. Landquart geringe, Hinterrhein ab Thusis starke Reduktion).

Hauptflüsse im Alpenraum (z.B. Rhone, Reuss, Linth, Alpenrhein):

Meist kanalisierte Talflüsse mit erhöhter oder schwach bis stark reduzierter Geschiebeführung. Die Ursache einer erhöhten Geschiebeführung sind die Korrekturen. Die reduzierte Geschiebeführung besteht in der kombinierten Wirkung von Kraftwerksanlagen, Geschiebesammlern und Kiesentnahmen (aus kommerziellen Gründen). Weil die Wirkung eines Eingriffs in Fliessrichtung abnimmt, ist die Beeinträchtigung im Unterlauf oft geringer. Trotz der Eingriffe verfügen die (meist kanalisierten Flussläufe) über einen regelmässigen Geschiebetrieb. Eine stark reduzierte Geschiebeführung haben z.B. der Rotten zwischen Brig und Steg und der Alpenrhein im Kt. Graubünden.

Hauptgewässer in den Voralpen (z.B. Saane, Sense, Emme, Kleine Emme, Thur, Sitter):

Die Fliessgewässer verfügen im unbeeinflussten Zustand über eine mittlere bis starke Geschiebeführung. Die Gewässer verlaufen oft in eingeschnittenen Tälern (Saane, Sense, Thur, Sitter). Dort, wo der Talboden breit und besiedelt ist, ist der Fluss in der Regel kanalisiert. An einzelnen Gewässern besteht eine starke bis sehr starke Reduktion der Geschiebeführung infolge Kraftwerksbau (Saane) oder kommerziellen Geschiebeentnahmen (Sitter). Bei den anderen Flüssen ist die Geschiebeführung nicht wesentlich beeinträchtigt (Sense, Emme, Kleine Emme, Thur).

Bäche und kleine Flüsse des Mittellandes (z.B. Langete, Wigger, Dünnern, Suhre, Reppisch, Töss, Murg):

Die Gewässer verfügen über ein kleines bis mittelgrosses Geschiebeaufkommen im oberen Einzugsgebiet. An den Seitenbächen bestehen bei den Gefällsknicken oft Geschiebesammler, welche die Geschiebeführung des Hauptgewässers wenig bis stark beeinträchtigen. An einzelnen Hauptgewässern bestehen Geschiebesammler, wo Geschiebe zurückgehalten und entnommen wird (Dünnern, Wigger, Hochwasserentlastung Langete). Kleinwasserkraftwerke stellen in der Regel keine Hindernisse für die Geschiebeführung dar.

Die Beeinträchtigung der Bäche und der kleinen Flüsse des Mittellandes ist sehr unterschiedlich. Wenig beeinträchtigt sind beispielsweise die Siggern, die Önz, die Pfaffnern, die Reppisch und die Murg. Stark beeinträchtigt sind beispielsweise der Unterlauf der Wigger, die Dünnern und die Suhre.

Hauptflüsse im Mittelland (Aare, Reuss, Limmat, Rhein):

Die grossen Hauptflüsse des Mittellandes entspringen Seen und haben bis zu den ersten bedeutenden Zuflüssen eine vernachlässigbare Geschiebeführung. Die aktuelle Beeinträchtigung der vier Flüsse kann wie folgt zusammengefasst werden:

Aare: Im unbeeinflussten Zustand waren die Emme, die Wigger, die Reuss und die Limmat die massgebenden Geschiebebringer. Heute ist die Aare über weite Strecken praktisch geschiebelos. Die stark reduzierte Geschiebezufuhr beruht auf dem Bau von Geschiebesammlern an der Emmemündung und an der Wigger (Dagmersellen) sowie

den grossen Flusskraftwerken an Aare (KW Flumenthal, KW Bannwil, KW Ruppoldingen, KW Klingnau), Reuss (KW Bremgarten-Zufikon) und Limmat (KW Wettingen).

Im Unterwasser der Kraftwerke Flumenthal und Bannwil wird der Geschiebehaushalt durch das Schütten von grossen Kiesbänken reaktiviert, die bei Hochwasserabfluss zunehmend erodiert werden.

Reuss: Die Reuss zeigt bis zum Stauwurzelbereich des Kraftwerks Bremgarten-Zufikon einen intakten Geschiebehaushalt. Flussabwärts des Kraftwerks besteht ein ausgeprägtes Geschiebedefizit, das zu einer erheblichen flussbaulichen und ökologischen Beeinträchtigung des Flusses führt.

Limmat: Die Limmat zeigt bis zum Stauwurzelbereich des Kraftwerks Wettingen eine mässig beeinträchtigte Geschiebeführung. Flussabwärts des Kraftwerks besteht ein ausgeprägtes Geschiebedefizit, das zu einer erheblichen ökologischen Beeinträchtigung des Flusses führt.

Rhein: Im unbeeinflussten Zustand waren die Thur, die Töss, die Wutach, die Aare und die Birs die massgebenden Geschiebezubringer. Heute ist der Rhein über weite Strecken praktisch geschiebelos. Die stark reduzierte Geschiebeführung beruht im Wesentlichen auf dem Bau von Flusskraftwerken am Rhein, dem fehlenden Geschiebeeintrag der Aare (KW Klingnau) und den Baggerungen an der Birmündung.

Der Geschiebehaushalt dieser Flüsse ist zumindest abschnittsweise stark beeinträchtigt.

Bemerkungen zur Bewertung einer reduzierten Geschiebeführung:

Die Reduktion der Geschiebeführung gemäss Bild 3 stellt kein eindeutiges Indiz für die ökologische Beeinträchtigung eines Fliessgewässers hinsichtlich Geschiebehaushalt dar, wohl aber für die quantitative Verminderung von Lebensraum. Bei einem im unbeeinflussten Zustand stark geschiebeführenden Fliessgewässer kann die Geschiebeführung oft mehr reduziert werden als in einem Fliessgewässer mit (im unbeeinflussten Zustand) geringer Geschiebeführung, bis von einer erheblichen Beeinträchtigung des Lebensraums gesprochen werden kann. Neben der Geschiebemenge sind auch die Häufigkeit des Geschiebetransportes und der Grad der Auslastung des Transportvermögens wichtige Beurteilungsparameter.

Mit den nachfolgenden Beispielen soll veranschaulicht werden, dass Beeinträchtigungen gewässerspezifisch beurteilt werden müssen und Massnahmen zur Reaktivierung des Geschiebehaushalts individuell zu lösen sind.

Beispiel Kiesschüttungen Aare: Mit den zwei Kiesschüttungen bei Deitingen und Aarwangen wird die durchschnittliche Geschiebeführung von Null auf rund 15 % des unbeeinflussten Zustandes angehoben. Erste fischbiologische Erhebungen zeigen eine starke Zunahme der Reproduktion kieslaichender Fische. Falls dieser Trend in Zukunft bestätigt wird, ist davon auszugehen, dass mit dieser anteilmässig eher geringen Erhöhung der Geschiebeführung die unerwünschten ökologischen Auswirkungen infolge Geschiebedefizit stark reduziert werden können.

- Beispiel Limmat: Die Geschiebeführung der Limmat wird durch den Sihlsee und flussbauliche Massnahmen um 20 – 50 % reduziert. Die bereits im unbeeinflussten Zustand eher geringe Geschiebeführung erreicht damit eine Transportrate, die zur Aufrechterhaltung der ökologischen Funktionen nicht weiter reduziert werden darf.
- Beispiel Sitter-Unterlauf: Die ausgedehnten Kiesentnahmen im oberen Einzugsgebiet reduzieren die Geschiebeführung im Sitter-Unterlauf (St. Gallen bis Bischofszell) um 50 – 80 %. Im weitgehend unverbauten Fliessgewässer führt das Geschiebedefizit zu unerwünschten Sohlen- und Ufererosionen. Wegen der natürlichen Linienführung und Gerinnebreite sind an verschiedenen Stellen weiterhin Geschiebeablagerungen vorhanden. Eine Reaktivierung des Geschiebehaushalts (resp. eine Einstellung der Kiesentnahmen) ist daher prioritär aus flussbaulichen Aspekten erforderlich.
- Beispiel Alpenrhein und Rhone: Beide Alpenflüsse haben abschnittsweise eine schwach bis stark reduzierte Geschiebeführung, die zur Zeit zu keiner namhaften Beeinträchtigung der Lebensraumverhältnisse führt. Für die Ökologie limitierende Faktoren sind im aktuellen Zustand die mangelnde Strukturvielfalt und der Kraftwerkschwall.

6 Massnahmen zur Verbesserung des Geschiebehaushalts

Für die Reaktivierung des Geschiebehaushalts eines Fliessgewässers gibt es einerseits Massnahmen, welche die Durchgängigkeit des Geschiebetransports verbessern und andererseits Massnahmen, wo Geschiebe aktiv in einen zu sanierenden Gewässerabschnitt zugeführt wird. Bei einer Verbesserung der Geschiebedurchgängigkeit wird der früher erfolgte Eingriff auf die Geschiebeführung teilweise oder vollständig aufgehoben (Annäherung oder Wiederherstellung der unbeeinflussten Verhältnisse durch Beheben der Ursache). Bei der aktiven Geschiebezugabe in einen zu sanierenden Gewässerabschnitt werden die unerwünschten Symptome reduziert. Diese Massnahmen sind mit einem wiederkehrenden Aufwand verbunden.

In den nachfolgenden Kapiteln sind für die Eingriffe gemäss Bild 2 verschiedene Massnahmen aufgeführt, mit denen der Geschiebehaushalt reaktiviert werden kann. Die Machbarkeit der Massnahmen ist im Einzelfall zu überprüfen. Unzulässige Auswirkungen auf den Hochwasserschutz sind zu verhindern und unerwünschte Auswirkungen auf den Kraftwerkbetrieb zu minimieren.

Bei korrigierten Flüssen ist abzuklären, ob das Geschiebe bei einer Erhöhung der Geschiebeführung auch nach einer allfälligen Verbreiterung oder abschnittweisen Aufweitung des Gewässers ohne unerwünschte Auflandungen weitertransportiert werden kann. Umgekehrt bedeutet dies, dass unter Umständen auf eine Erhöhung der Geschiebeführung verzichtet werden kann, wenn ein Gewässer aufgeweitet oder generell verbreitert wird.

6.1 Gewässerverbauungen und -korrekturen

Wildbachverbauungen, Stabilisierung von Feststoffquellen im Einzugsgebiet:

Ein vollständiger Rückbau der Verbauungen ist in der Regel aus Hochwasserschutzgründen nicht möglich. Im Ausnahmefall können bestehende Verbauungen teilweise, schrittweise oder vollständig rückgebaut werden. Das Geschiebeaufkommen wird erhöht und die Geschiebedurchgängigkeit verbessert.

Flussverbauungen und Korrekturen:

Durch den Rückbau von Uferverbauungen (insbesondere entlang Prallhängen) kann der Geschiebeeintrag erhöht werden. Das von der fortschreitenden Erosion betroffene Gelände muss erworben (verfügbar) sein. Durch die Seitenerosion dürfen keine Rutschungen mit Schadenfolge ausgelöst werden.

Durch den Rückbau von Schwellen kann eine Sohleneintiefung ausgelöst und die Geschiebeführung erhöht werden. Entsprechende Massnahmen sind aus Sicht Hochwasserschutz und/oder Grundwasser in der Regel nicht zulässig.

Mit Aufweitungen kann die Geschiebeführung im Unterwasser dann erhöht werden, wenn das Volumen der seitlich erodierenden Flussschotter grösser ist als das Geschiebevolumen, das sich in der Aufweitung auf der Sohle ablagert. Bei seitlich geringmächtigen Flussschottern kann durch Aufweitungen die Geschiebeführung flussabwärts reduziert werden. Die Auswirkung auf die Geschiebeführung ist zeitlich befristet.

6.2 Geschiebesammler, Kiesentnahmen

Geschiebesammler:

Durch den Umbau von Geschiebesammlern und eine angepasste Bewirtschaftung kann ein Teil des Geschiebes flussabwärts weitertransportiert werden. Im Hochwasserfall wird soviel Geschiebe zurückgehalten, dass sich im Unterwasser keine unerwünschten Sohlenauflandungen entwickeln können. Bei Wildbächen kann auch bei optimierten konventionellen Geschiebesammlern der Geschiebedurchgang bei Hochwasser nicht garantiert werden. Im Einzelfall sind die Machbarkeit und die Wirtschaftlichkeit (Kosten-Nutzen-Verhältnis) abzuklären.

Bestehende Geschiebesammler werden regelmässig entleert. Das entnommene, qualitativ brauchbare Geschiebe kann, anstatt abgeführt zu werden, im Unterwasser oder im Vorfluter an geeigneter Stelle dem Gewässersystem zurückgegeben werden. Das Material hat bestimmte Qualitätsanforderungen zu erfüllen (nur geringe Anteile an Feinsedimenten und biologischem Material, keine Schadstoffe). Beispiel: Maschanser Rüfi – Alpenrhein; Schlueinerbach – Vorderrhein.

Kiesentnahmen:

Kiesentnahmen aus Fliessgewässern können eingeschränkt oder eingestellt werden. Im Einzelfall ist abzuklären, ob das Geschiebe ohne unerwünschte Sohlenauflandungen flussabwärts weitertransportiert wird. Beispiele: Kiesentnahmen am Vorderrhein bei Trun und Rabius und an der Emme im Kanton Bern wurden aus Hochwasserschutzgründen vollständig eingestellt; Kiesentnahmen am Vorderrhein bei Schluein wurden aus ökologischen Gründen stark reduziert und die Entnahmetechnik angepasst, so dass keine unerwünschte Trübung stattfindet.

6.3 Wasserkraftwerke

Stauseen, Ausgleichsbecken:

Bei Stauseen kann das Geschiebe meist nur durch Transporte ins Unterwasser weitergegeben werden. Die Massnahme ist in der Regel nicht sinnvoll.

Bei Ausgleichsbecken kann das Geschiebe durch Spülungen stossweise flussabwärts weitergegeben werden. Die Häufigkeit der Massnahmen ist von den örtlichen Gegebenheiten abhängig. Eine jährliche Spülung in der Jahreszeit mit natürlicherweise auftretenden Hochwasserabflüssen ist anzustreben. Dabei sind verschiedene ökologische Kriterien zu erfüllen (z.B. Trübung, Zusammensetzung des Spülgutes, Ablagerungen im Unterwasser).

Fluss- und Ausleitkraftwerke:

Bei Fluss- und Ausleitkraftwerken bestehen folgende Möglichkeiten, den Geschiebehaushalt im Unterwasser zu reaktivieren:

Verlandenlassen der Stauhaltung: Das in die Stauhaltung zugeführte Geschiebe wird solange in der Stauhaltung abgelagert, bis ein Weitertransport durch das Wehr möglich ist. Kleine und mittelgrosse Stauhaltungen sind oft auf diesen Fall dimensioniert.

Absenken des Oberwasserspiegels: Das erforderliche Verlandungsvolumen wird reduziert, wenn im Hochwasserfall der Oberwasserspiegel abgesenkt wird. Dadurch wird das Geschiebe tiefer in die Stauhaltung und gegenüber dem Fall ohne Absenkung früher durch das Wehr transportiert (Beispiel KW Albruck Dogern, Rhein). Bei Nieder- und Mittelwasserabfluss wird der Staupegel nicht beeinflusst.

Entleerung und Spülung der Stauhaltung: Die Stauhaltung wird entleert und der freie (ungestaute) Abfluss über die Wehrschwelle ermöglicht. Dadurch wird das vom Oberwasser zugeführte Geschiebe stossweise weitergegeben. Die Entleerungen sind regelmässig (mindestens 1 Mal jährlich) und geordnet durchzuführen. Die Auswirkungen im Unterwasser sind abzuklären (Trübung, Ablagerung von Feinsedimenten). Beispiel: KW Reichenau, Alpenrhein (bei jedem Hochwasser über 400 m³/s, in der Regel mehr als einmal pro Jahr).

Baggerung des Geschiebes und teilweise oder vollständige Rückgabe im Unterwasser durch LKW- oder Schifftransporte. Bei den Schifftransporten kann das Geschiebe auch vor dem Wehr verklappt werden, sodass es bei Hochwasserabfluss unter den gezogenen Schützen in das Unterwasser verlagert wird. Bei sehr langen Stauhaltungen kann die Zufuhr von gleichwertigem Material ab einer nahegelegenen Kiesgrube wirtschaftlicher sein als der Transport von der Entnahmestelle.

Bei Ausleitkraftwerken besteht oft die Möglichkeit, dass die Geschiebedurchgängigkeit ohne einschneidende Massnahmen am Kraftwerk verbessert werden kann. Bei grossen Flusskraftwerken ist häufig eine aktive Geschiebezugabe im Unterwasser erforderlich. Es sind auch kombinierte Massnahmen zwischen Staupegelabsenkungen und Baggerungen möglich. Die Machbarkeit der Massnahmen ist im Einzelfall abzuklären.

6.4 Kostenfolgen

Bei den aufgeführten Massnahmen zur Reaktivierung des Geschiebehaushalts ergeben sich folgende Kostenfaktoren (Liste ohne Anspruch auf Vollständigkeit):

Rückbau von Gewässerverbauungen und Korrekturen:

- Rückbauarbeiten, Landerwerb

Geschiebesammler:

- Umbaukosten
- Transportkosten für Geschiebe, Deponiekosten für qualitativ ungeeignetes Material (ev. keine Erhöhung gegenüber der praktizierten Bewirtschaftung), Ausfall eines Erlöses im Falle einer bisherigen kommerziellen Nutzung der Ablagerungen.

Kiesentnahmen:

- Wegfall des Erlöses für die kommerzielle Verwendung des Materials.

Ausgleichsbecken:

- Spülungen sind in der Regel ein Bedürfnis und eine Auflage des Kraftwerkbetriebs (keine Kostenfolgen). Bei ökologisch optimierten Spülregimes können Ertragsausfälle entstehen.

Ausleit- und Flusskraftwerke:

- Auflagen können im Rahmen einer Konzessionserneuerung geregelt werden.
- Staupegelabsenkungen und Entleerungen haben eine Verminderung der Stromproduktion zur Folge. Bei grösseren Absenkungen können sich unerwünschte Auswirkungen auf Flachwasserzonen, Schifflanlegestellen und Ufer inkl. allfälliger Bauten mit entsprechenden Kostenfolgen ergeben.
- Bei Baggerungen des Geschiebes im Stauwurzelbereich und der Geschieberückgabe im Unterwasser des Stauwehrs fallen regelmässige Kosten für Installation, Aushub und Transport an. Wenn der Kraftwerkbetreiber innerhalb der Konzessionsstrecke für den Hochwasserschutz zuständig ist, gehen die Aufwendungen zu seinen Lasten (KW Betreiber ist Verursacher der Sohlenuflandungen).

7 Diskussion von Schlüsselgrössen für eine gesetzliche Regelung

Die bisherigen Untersuchungen zum Zustand und zur Reaktivierung des Geschiebehaushalts von Schweizer Fliessgewässern erlauben keine Herleitung eines fundierten Ansatzes zur Festlegung eines angemessenen Geschiebetriebs, resp. der erforderlichen Geschiebeführung. Die vorliegende Untersuchung zeigt, dass flussbauliche, ökologische und wasserwirtschaftliche Aspekte zu berücksichtigen sind.

Es sind folgende qualitative Anforderungen zu erfüllen, sodass die vielfältigen Funktionen der Fliessgewässer aufrecht erhalten werden können:

Die Geschiebeführung muss ein Niveau erreichen, sodass

- (1) keine unerwünschten Erosionen (Sohle, Ufer) ausgelöst werden (flussbauliche Anforderung),
- (2) die gewässertypischen Strukturen vorkommen,
- (3) das Substrat eine gewässertypische Zusammensetzung und Lagerung (Kolmation) aufweist,
- (4) die gewässertypische morphologische Dynamik erhalten bleibt und
- (5) das Grundwasser nicht negativ beeinflusst wird.

Dabei muss der Hochwasserschutz sichergestellt werden.

Aufgrund dieser Kriterien kann im Sanierungsfall abgeklärt werden, wieviel Geschiebe in die betroffene Gewässerstrecke zugeführt werden muss. Wie bereits erwähnt, ist dabei eine mögliche Reduktion der Transportleistung durch Flussbettverbreiterungen vor allem in den ehemals korrigierten Flüssen zu beachten.

Zur Erfüllung von Kriterium 1 kann im Einzelfall erforderlich sein, alles Geschiebe im Gewässer zu belassen (Sitter-Unterlauf, Thur Bischofszell – Weinfeldern).

Zur Erfüllung der Kriterien 2 – 4 ist oft eine gewisse Reduktion der Geschiebeführung zulässig. Die bisher untersuchten Fälle zeigen, dass vielfach (aber nicht immer) eine Reduktion auf die Hälfte der unbeeinflussten Geschiebeführung zulässig ist. In Einzelfällen können die Kriterien 2 – 4 auch bei einer weitergehenden Reduktion der Geschiebeführung noch erfüllt werden (Beispiel Kiesschüttungen Aare Deitingen und Aarwangen).

Zur Zeit werden am Hochrhein Versuche mit Geschiebezugaben durchgeführt. Die Resultate werden weitere Hinweise auf die Wirkung von prozentual tiefen Geschiebebeschickungen liefern.

8 Zusammenfassende Beurteilung

Die vorliegende Untersuchung gibt einen Überblick der anthropogene Beeinflussung des Geschiebehaushalts in einer Vielzahl von Schweizer Fliessgewässern. Die Karte von Bild 3 berücksichtigt vor allem die Veränderung der Geschiebeführung durch Geschiebesammler, Kiesentnahmen sowie Wasserkraftwerke und basiert auf den Kenntnissen der zwei bearbeitenden Ingenieurbüros. Es fehlen Angaben insbesondere im gesamten Jura, den Kantonen Waadt, Tessin sowie in Teilen des Kantons Graubünden.

Die verfügbaren Daten zeigen ein heterogenes Bild der anthropogenen Beeinflussung des Geschiebehaushalts:

Im **Alpenraum** sind vor allem die Gebirgsbäche im Unterwasser der hoch gelegenen Stauseen, die Hauptzuflüsse mit Stau- und Ausgleichsbecken sowie verschiedene Gewässer mit kommerziellen Kiesentnahmen betroffen. Handlungsbedarf besteht vor allem bei den Staubecken an den Hauptzuflüssen, welche das Geschiebe eines grösseren Einzugsgebietes zurückhalten (z.B. Stausee Solis sowie Ausgleichsbecken Ferrera und Bärenburg im Einzugsgebiet des Hinterrheins. Bei den beiden Ausgleichsbecken ist die Planung von regelmässigen Spülungen weit fortgeschritten und beim Stausee Solis werden verschiedene Varianten zur Geschiebebewirtschaftung geprüft).

Im **Voralpengebiet** ist der Geschiebehaushalt mehrerer Fliessgewässer stark beeinträchtigt. Inwieweit der Geschiebehaushalt reaktiviert werden kann, ist im Einzelfall zu prüfen. Oft kann durch

eine optimierte Geschiebebewirtschaftung ein Teil des zugeführten Geschiebes weitertransportiert werden (Reuss Amsteg – Urnersee, ev. Mündungsstrecke Engelberger Aa). In einzelnen stark beeinträchtigten Fliessgewässerstrecken kann die Geschiebeführung erhöht werden, ohne dass Hochwasserschutzprobleme entstehen (Beispiel Saane, Sitter, Sihl).

Im **Mittelland** ist der Geschiebehaushalt **der grossen Flüsse** Aare, Reuss, Limmat und Rhein über weite Strecken sehr stark beeinträchtigt. Massgebend verantwortlich sind die vielen grossen Flusskraftwerke, die mit dem heutigen Betrieb das Geschiebekontinuum vollständig unterbrechen. Hier sind spätestens bei Konzessionserneuerungen angepasste Lösungen zumindest zur teilweisen Weitergabe des Geschiebes zu finden. Dabei muss das Gesamtsystem des Fliessgewässers betrachtet werden.

Bei den **Bächen und kleineren Flüssen im Mittelland** ist der Geschiebehaushalt oft stark beeinträchtigt. Bestehende Geschiebesammler können manchmal ohne unerwünschte Auswirkungen aufgehoben werden (Beispiel Önz) oder es wird erst eingegriffen, wenn die Sohle in einer zu definierenden Schlüsselstrecke auflandet. Hier genügt es oft, den Gewässerunterhalt neu zu regeln.

Bemerkungen zur Umsetzung

Der Geschiebehaushalt eines beeinträchtigten Fliessgewässers sollte spätestens dann saniert werden, wenn ein verbauter Abschnitt renaturiert wird oder das Gewässer noch gut strukturierte unverbaute Abschnitte aufweist. Renaturierte (und natürliche) Fliessgewässer benötigen einen regelmässigen Geschiebetrieb, damit die ökologische Wirkung der ausgeführten Massnahmen auch längerfristig erhalten bleibt. Der Geschiebehaushalt ist auf die Strategie mehr Raum für die Fliessgewässer abzustimmen, mit welcher das mit den Korrekturen (zu stark) erhöhte Geschiebetransportvermögen reduziert wird. Bei den Renaturierungsmassnahmen sind allfällige Auswirkungen auf den Geschiebehaushalt der oben- und untenliegenden Gewässerabschnitte zu berücksichtigen. Fliessgewässerstrecken mit natürlichen Strukturen *ohne* Geschiebe stellen einen öden Lebensraum dar (Beispiel Ausleitstrecke KW Wildeggen-Brugg).

Der Geschiebehaushalt vieler Bäche und kleiner Flüsse lässt sich wahrscheinlich mit relativ geringem Aufwand verbessern. Massnahmen sind auf ein günstiges Kosten-Nutzen-Verhältnis zu optimieren. Im Einzelfall kann auf die Reaktivierung des Geschiebehaushalts eines stark beeinträchtigten Gewässers zugunsten von Massnahmen an einem Gewässer mit hohem Renaturierungspotenzial verzichtet werden. Dasselbe gilt für stark verbaute Wildbäche. Bei den grossen Fliessgewässern, wo der Geschiebehaushalt durch Flusskraftwerke beeinträchtigt ist, ist eine Reaktivierung des Geschiebehaushalts oft mit grossem Aufwand verbunden. Die Sanierung dieser Flusssysteme (bezüglich Geschiebehaushalt) ist eine zentrale, aber langfristige Aufgabe.

Der Geschiebehaushalt vieler Schweizer Fliessgewässer ist auf grösseren Abschnitten zum Teil stark beeinträchtigt. Dies haben Bund und verschiedene Kantone seit Ende der 80er Jahre erkannt und entsprechende Massnahmen zur Reaktivierung des Geschiebehaushalts in die Wege geleitet und umgesetzt. Die Erfolgskontrolle einzelner umgesetzter Massnahmen weist nach, dass ein direkter Zusammenhang zwischen regelmässiger Geschiebeführung, lockeren Kiesbänken und der Reproduktion kieslaichender Fische besteht. Die ökologische Bedeutung des Geschiebehaushalts für die Fliessgewässer hat auch das Bundesgericht im Fall KW Eglisau bestätigt.

Gleichzeitig wurden seit Anfang der 90er Jahre verschiedene Projekte bewilligt, die den Geschiebehaushalt der betroffenen Gewässer weiter beeinträchtigt oder die Möglichkeit zur Sanierung des Geschiebehaushalts nicht genutzt haben (Beispiel KW Ruppoldingen, Aare; KW Wettingen, Limmat).

Dementsprechend ist auch das Bewusstsein über die Bedeutung des Geschiebehaushalts bei den bewilligenden Behörden und Planungsbüros noch unterschiedlich.

Der Geschiebehaushalt sollte bei jedem flussbaulichen und wasserwirtschaftlichen Projekt berücksichtigt und falls erforderlich verbessert werden. Dabei ist das ganze Gewässersystem zu berücksichtigen: wegen der Auswirkungen flussabwärts und auf andere Bereiche der Wasserwirtschaft ist eine rein lokale Betrachtung unzulässig und somit eine Einzugsgebietsbetrachtung bei Massnahmenplanungen zur Reaktivierung des Geschiebehaushaltes unerlässlich.

Der Geschiebehaushalt wird in den massgebenden Gesetzen und Verordnungen wie folgt behandelt:

Wasserbaugesetz:

Zum Gewährleisten eines angemessenen Geschiebehaushalts kann indirekt Art. 4, Absatz 2 beigezogen werden. Demnach muss bei „Eingriffen in das Gewässer dessen natürlicher Verlauf möglichst beibehalten oder wiederhergestellt werden. Gewässer und Ufer müssen so gestaltet werden, dass (a) sie einer vielfältigen Tier- und Pflanzenwelt als Lebensraum dienen können;...“

Gewässerschutzgesetz:

Der Geschiebehaushalt wird nicht explizit erwähnt. Bei der Festlegung von Restwassermengen (Kapitel 2), der Spülung und Entleerung von Stauräumen (Art. 40) und bei der Ausbeutung von Kies, Sand und anderem Material (Art. 44) fehlen Hinweise auf einen ausreichenden Geschiebehaushalt.

Gewässerschutzverordnung:

Anhang 1: Ökologische Ziele für Gewässer. Teil 1: Oberirdische Gewässer. Absatz 2: „Die Hydrodynamik (Geschiebetrieb, Wasserstands- und Abflussregime) und die Morphologie sollen naturnahen Verhältnissen entsprechen...“

Fischereigesetz:

Der Geschiebehaushalt wird nicht explizit erwähnt. Bei Art. 7, wonach Lebensräume erhalten, verbessert und wiederhergestellt werden müssen, gehört im weiteren Sinne der Geschiebehaushalt dazu. Dasselbe gilt für Art. 9, wonach zur fischereirechtlichen Bewilligung für Neuanlagen Massnahmen vorzuschreiben sind, die geeignet sind, günstige Lebensbedingungen für Wassertiere zu schaffen hinsichtlich ... (a3.) der Beschaffenheit der Sohle und der Böschungen.

Auenverordnung:

Der Geschiebehaushalt wird in drei Artikeln explizit erwähnt:

Art. 4 Schutzziel: Die Objekte sollen ungeschmälert erhalten werden. Zum Schutzziel gehören insbesondere die Erhaltung der autotypischen einheimischen Pflanzen- und Tierwelt und ihrer ökologischen Voraussetzungen sowie die Erhaltung und, soweit es sinnvoll und machbar ist, die Wiederherstellung der natürlichen Dynamik des Gewässer- und Geschiebehaushalts.

Art. 5 (Abs. 2): Schutz- und Unterhaltmassnahmen: Die Kantone sorgen insbesondere dafür, dass: (b.) Auenbereiche mit einem vollständig oder weitgehend intakten Gewässer- und Geschiebehaushalt vollumfänglich geschützt werden;...

Art. 8 Beseitigung von Beeinträchtigungen: Die Kantone sorgen dafür, dass bestehende Beeinträchtigungen der natürlichen Dynamik des Gewässer- und Geschiebehaushalts von Objekten bei jeder sich bietenden Gelegenheit soweit als möglich beseitigt werden.

Fazit:

Der Geschiebehaushalt ist in der Auenverordnung und im Anhang der Gewässerschutzverordnung explizit erwähnt. Die Auenverordnung bezieht sich ausschliesslich auf die Auengebiete von nationaler Bedeutung und der Anhang der Gewässerschutzverordnung wurde bisher kaum beachtet. In den Gesetzen wird der Geschiebehaushalt nur indirekt über die Erhaltung des natürlichen Lebensraums angesprochen.

Bild 1 Wirkungsanalyse Feststoffdynamik mit Einflussgrößen, Feststoffbilanz und Phänomenen

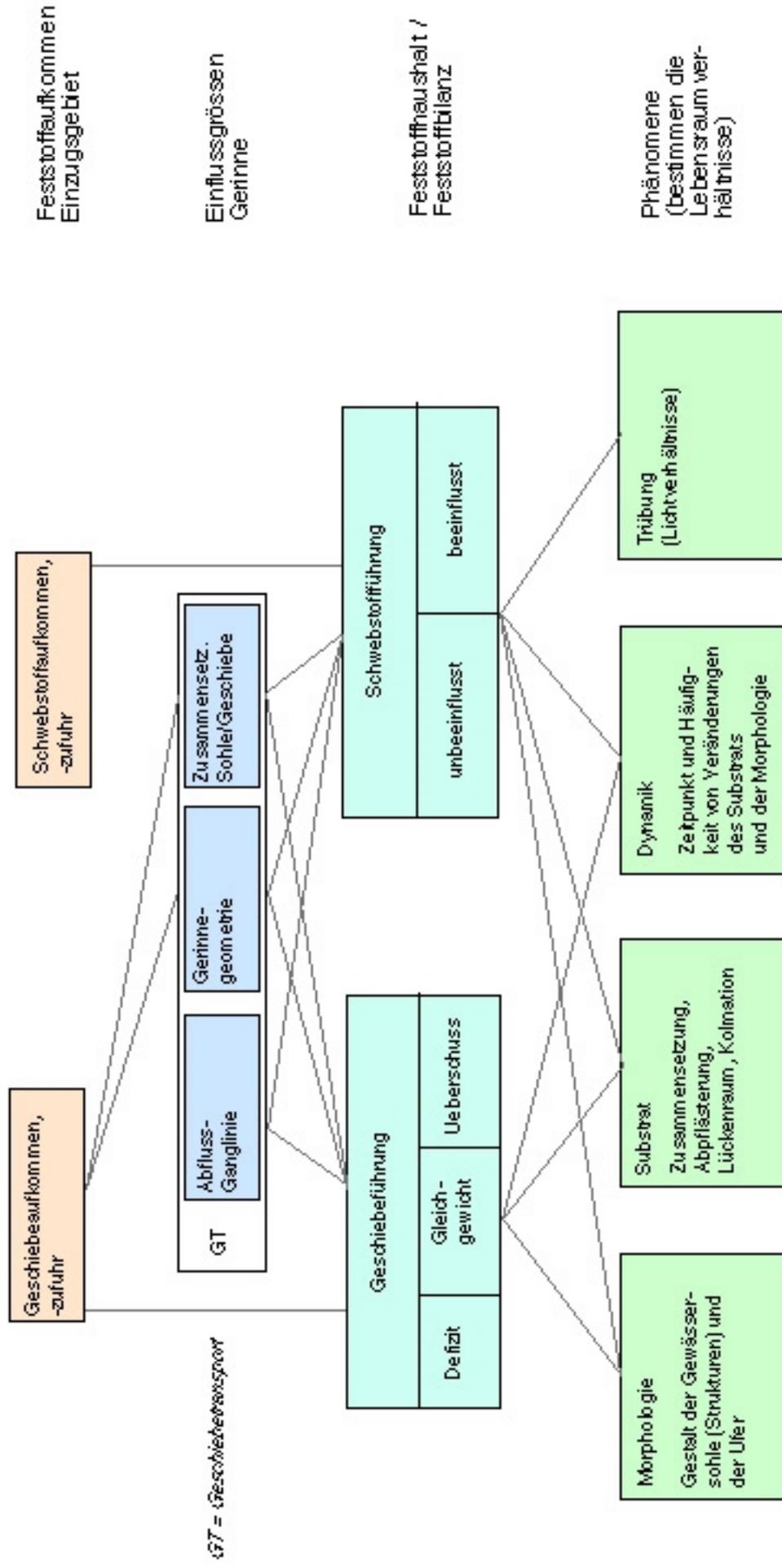


Bild 2 Anthropogene Eingriffe und Auswirkungen auf den Geschiebehaushalt.

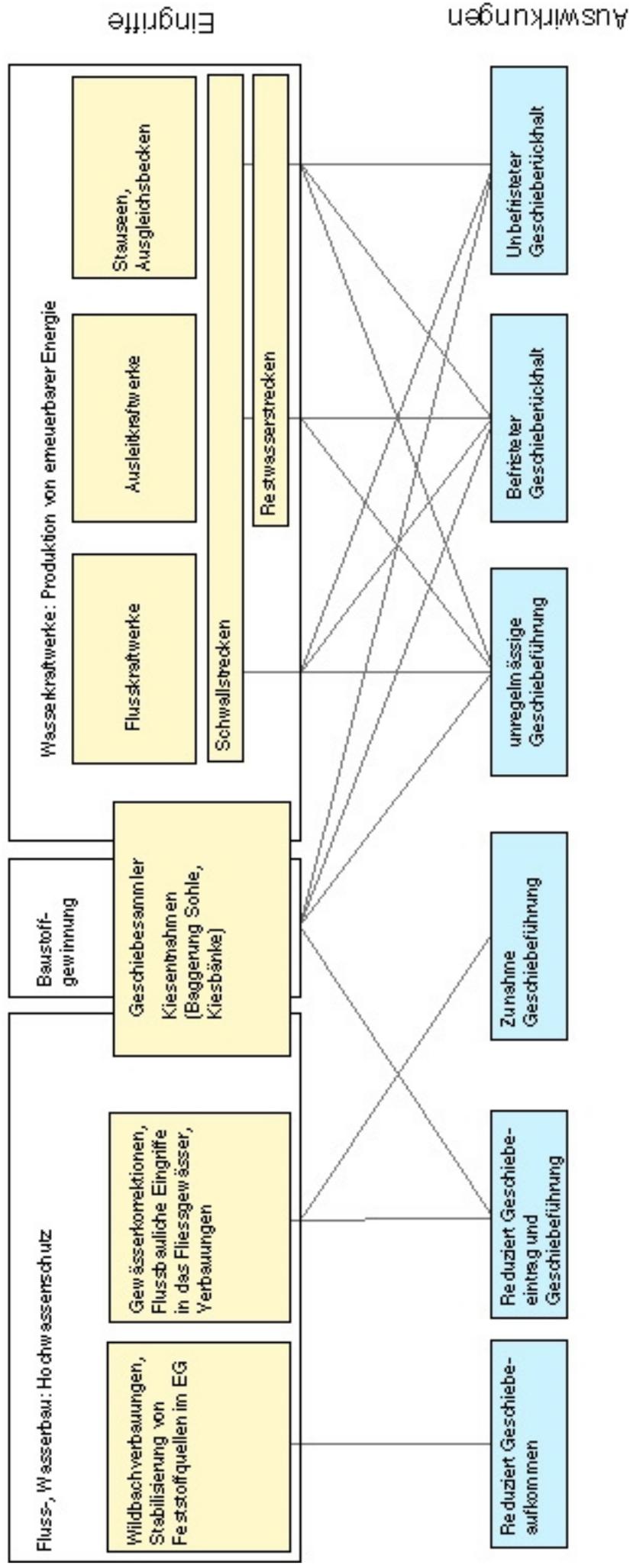


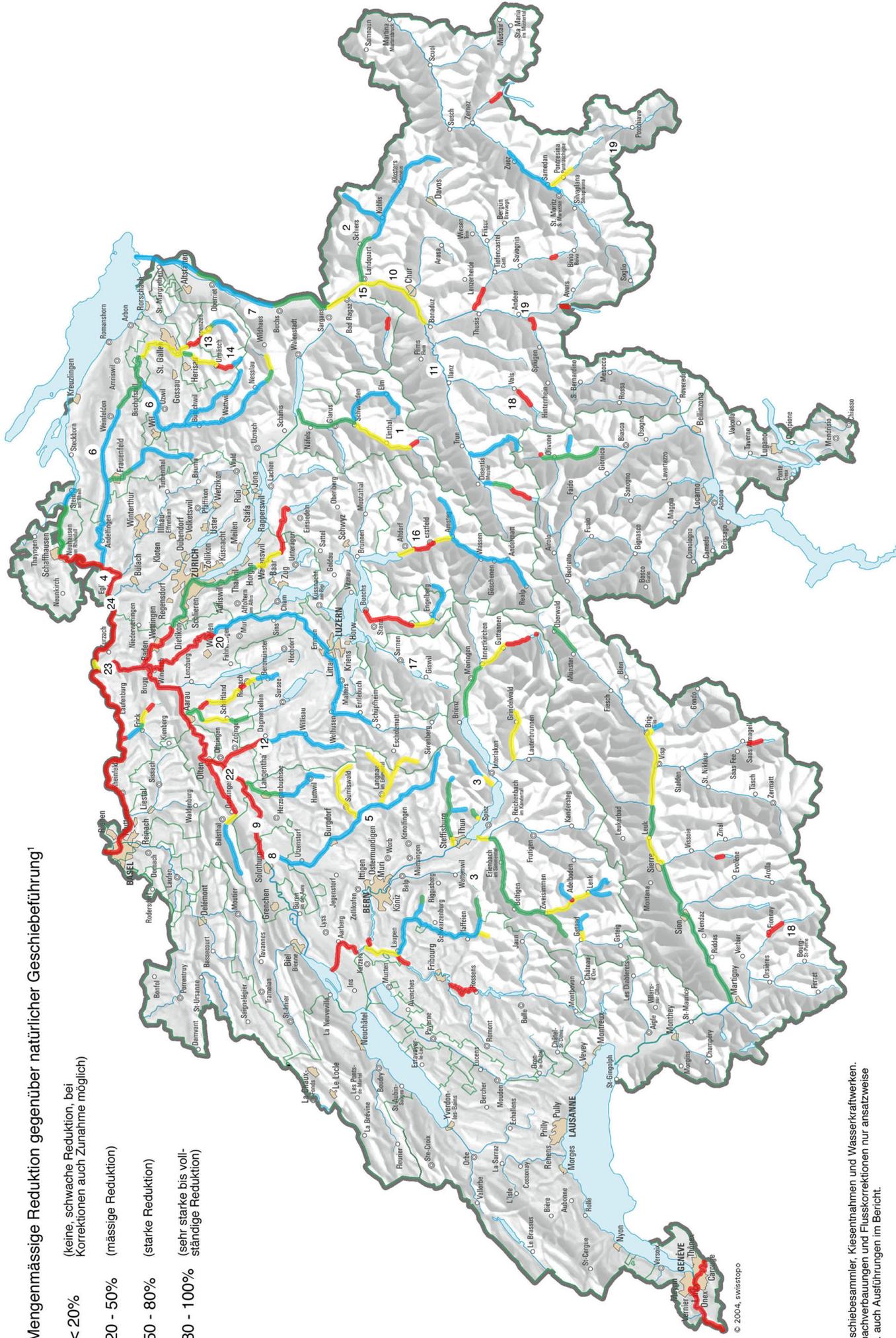
Bild 3

Anthropogene Beeinflussung der Geschiebeführung in Schweizer Fließgewässern

Übersicht Massstab 1 : 1'000'000

Mengenmässige Reduktion gegenüber natürlicher Geschiebeführung¹

-  < 20% (keine/schwache Reduktion, bei Korrekturen auch Zunahme möglich)
-  20 - 50% (mässige Reduktion)
-  50 - 80% (starke Reduktion)
-  80 - 100% (sehr starke bis vollständige Reduktion)



© 2004, swisstopo

¹ Insbes. infolge Geschiebesammler, Kiesentnahmen und Wasserkraftwerken. Einfluss von Wildbachverbauungen und Flusskorrekturen nur ansatzweise berücksichtigt, vgl. auch Ausführungen im Bericht.