



> Umwelt-Vollzug

> Gewässerschutz

> Geschiebehaushalt – Massnahmen

Anhang

Ein Modul der Vollzugshilfe Renaturierung der Gewässer

Titelblatt wird weggelassen

V 20 –24.07.2020

Version für die BAFU interne Anhörung

rote Schrift: wird in einer späteren Fassung vervollständigt

Herausgegeben vom Bundesamt für Umwelt BAFU

Bern, **xxxx**

ENTWURF

Anhang A – Rechtliche Grundlagen

A.1 Gewässerschutzgesetz vom 24. Januar 1991 (GSchG, SR 814.20)

Art. 43a Geschiebehaushalt

- 1 Der Geschiebehaushalt im Gewässer darf durch Anlagen nicht so verändert werden, dass die einheimischen Tiere und Pflanzen, deren Lebensräume, der Grundwasserhaushalt und der Hochwasserschutz wesentlich beeinträchtigt werden. Die Inhaber der Anlagen treffen dazu geeignete Massnahmen.
- 2 Die Massnahmen richten sich nach:
 - a. dem Grad der Beeinträchtigungen des Gewässers;
 - b. dem ökologischen Potenzial des Gewässers;
 - c. der Verhältnismässigkeit des Aufwandes;
 - d. den Interessen des Hochwasserschutzes;
 - e. den energiepolitischen Zielen zur Förderung erneuerbarer Energien.
- 3 Im Einzugsgebiet des betroffenen Gewässers sind die Massnahmen nach Anhörung der Inhaber der betroffenen Anlagen aufeinander abzustimmen.

Art. 44 Ausbeutung von Kies, Sand und anderem Material^[1]_{SEP}

- 1 Wer Kies, Sand oder anderes Material ausbeuten oder vorbereitende Grabungen dazu vornehmen will, braucht eine Bewilligung^[1]_{SEP}.
- 2 Die Bewilligung für solche Arbeiten darf nicht erteilt werden:
 - a. in Grundwasserschutzzonen;
 - b. unterhalb des Grundwasserspiegels bei einem Grundwasservorkommen, das sich nach Menge und Qualität für die Wassergewinnung eignet;
 - c. in Fliessgewässern, wenn der Geschiebehaushalt nachteilig beeinflusst wird.

Art. 50 Information und Beratung

- 1 Bund und Kantone prüfen die Auswirkungen der Massnahmen dieses Gesetzes und informieren die Öffentlichkeit über den Gewässerschutz und den Zustand der Gewässer; insbesondere: a. veröffentlichen sie die Erhebungen über den Erfolg der Massnahmen dieses Gesetzes; b. können sie, soweit dies von allgemeinem Interesse ist, nach Anhören der Betroffenen die Ergebnisse der Erhebungen und Kontrollen an privaten und öffentlichen Gewässern veröffentlichen (Art. 52).

Art. 62b Revitalisierung von Gewässern

- 1 Der Bund gewährt den Kantonen im Rahmen der bewilligten Kredite und auf der Grundlage von Programmvereinbarungen Abgeltungen als globale Beiträge an die Planung und Durchführung von Massnahmen zur Revitalisierung von Gewässern.
- 2 Für besonders aufwendige Projekte können den Kantonen die Abgeltungen einzeln gewährt werden.
- 3 Die Höhe der Abgeltungen richtet sich nach der Bedeutung der Massnahmen für die Wiederherstellung der natürlichen Funktionen der Gewässer sowie nach der Wirksamkeit der Massnahmen.
- 4 Keine Beiträge werden an den Rückbau einer Anlage geleistet, wenn der Inhaber dazu verpflichtet ist.

- 5 Den Bewirtschaftern des Gewässerraums werden die Abgeltungen gemäss Landwirtschaftsgesetz vom 29. April 1998 für die extensive Nutzung ihrer Flächen entrichtet. Das Landwirtschaftsbudget sowie der entsprechende Zahlungsrahmen werden zu diesem Zweck aufgestockt.

Art. 83a Sanierungsmassnahmen

Die Inhaber bestehender Wasserkraftwerke und anderer Anlagen an Gewässern sind verpflichtet, innert 20 Jahren nach Inkrafttreten dieser Bestimmung die geeigneten Sanierungsmassnahmen nach den Vorgaben der Artikel 39a und 43a zu treffen.

Art. 83b Planung und Berichterstattung

- ¹ Die Kantone planen die Massnahmen nach Artikel 83a und legen die Fristen zu deren Umsetzung fest. Die Planung umfasst auch die Massnahmen, die nach Artikel 10 des Bundesgesetzes vom 21. Juni 1991 über die Fischerei von den Inhabern von Wasserkraftwerken zu treffen sind.
- ² Die Kantone reichen die Planung bis zum 31. Dezember 2014 dem Bund ein.
- ³ Sie erstatten dem Bund alle vier Jahre Bericht über die durchgeführten Massnahmen.

A.2 Gewässerschutzverordnung vom 28. Oktober 1998 (GSchV, SR 814.201)

Art. 42a Wesentliche Beeinträchtigung durch veränderten Geschiebehaushalt

Eine wesentliche Beeinträchtigung der einheimischen Tiere und Pflanzen sowie von deren Lebensräumen durch einen veränderten Geschiebehaushalt liegt vor, wenn Anlagen wie Wasserkraftwerke, Kiesentnahmen, Geschiebesammler oder Gewässerverbauungen die morphologischen Strukturen oder die morphologische Dynamik des Gewässers nachteilig verändern.

Art. 42c Massnahmen zur Sanierung des Geschiebehaushalts

- ¹ Die Kantone erstellen für Anlagen, für die gemäss der Planung Massnahmen zur Sanierung des Geschiebehaushalts zu treffen sind, eine Studie über die Art und den Umfang der notwendigen Massnahmen.
- ² Die kantonale Behörde ordnet gestützt auf die Studie nach Absatz 1 die Sanierungen an. Bei Wasserkraftwerken muss das Geschiebe soweit möglich durch die Anlage durchgeleitet werden.
- ³ Bevor sie bei Wasserkraftwerken über das Sanierungsprojekt entscheidet, hört sie das BAFU an. Das BAFU prüft im Hinblick auf das Gesuch nach Artikel 30 Absatz 1 EnV, ob die Anforderungen nach Anhang 3 Ziffer 2 EnV erfüllt sind.
- ⁴ Die Inhaber von Wasserkraftwerken prüfen nach Anordnung der kantonalen Behörde die Wirksamkeit der getroffenen Massnahmen.

Art. 49 Information

- ¹ Das BAFU informiert über den Zustand der Gewässer und den Gewässerschutz, soweit dies im gesamtschweizerischen Interesse liegt; es veröffentlicht insbesondere Berichte über den Stand des Gewässerschutzes in der Schweiz. Die Kantone stellen ihm die notwendigen Angaben zur Verfügung.
- ² Die Kantone informieren über den Zustand der Gewässer und den Gewässerschutz in ihrem Kanton; dabei informieren sie auch über die getroffenen Massnahmen und deren

Wirksamkeit sowie über Badeplätze, bei denen die Voraussetzungen für das Baden (Anhang 2 Ziff. 11 Abs. 1 Bst. e) nicht erfüllt sind.

A.3 Energiegesetz vom 30. September 2016 (EnG, SR 730.0)

Art. 34 Entschädigung nach Gewässerschutz- und Fischereigesetz

Dem Inhaber einer Wasserkraftanlage (Wasserkraftwerk im Sinne der Gewässerschutzgesetzgebung) sind die vollständigen Kosten für die Massnahmen nach Artikel 83a des Gewässerschutzgesetzes vom 24. Januar 1991 oder nach Artikel 10 des Bundesgesetzes vom 21. Juni 1991 über die Fischerei zu erstatten.

A.4 Verordnung über den Schutz der Auengebiete von nationaler Bedeutung von 28. Oktober 1992 (Auenverordnung, SR 451.31)

Art. 4 Schutzziel

Die Objekte sollen ungeschmälert erhalten werden. Zum Schutzziel gehören insbesondere:

- a. die Erhaltung und Förderung der autotypischen einheimischen Pflanzen- und Tierwelt und ihrer ökologischen Voraussetzungen;
- b. die Erhaltung und, soweit es sinnvoll und machbar ist, die Wiederherstellung der natürlichen Dynamik des Gewässer- und Geschiebehaushalts;
- c. die Erhaltung der geomorphologischen Eigenart.

Art. 8 Beseitigung von Beeinträchtigungen

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

Anhang B – Literaturverzeichnis

Abegg J., Kirchhofer A. & Rutschmann P. (2013). Masterplan – Massnahmen zur Geschiebereaktivierung im Hochrhein. *Bundesamt für Energie, Bern und Regierungspräsidium Freiburg*. 115 S. ([PDF](#))

Ahmari H. & da Silva A.M.F. (2011): Regions of bars, meandering and braiding in da Silva and Yalin's plan. *Journal of Hydraulic Research*, 49:6, 718-727. <https://doi.org/10.1080/00221686.2011.614518>. ([PDF](#))

BAFU (2014): Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz. Aktionsplan 2014–2019. Zweiter Teil der Strategie des Bundesrates. ([PDF](#))

BAFU (2016): Ökologische Sanierung bestehender Wasserkraftanlagen: Finanzierung der Massnahmen. Ein Modul der Vollzugshilfe «Renaturierung der Gewässer». Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1634: 51 S. ([PDF](#))

BAFU (2018): Handbuch Programmvereinbarungen im Umweltbereich 2020 – 2024. Mitteilung des BAFU als Vollzugsbehörde an Gesuchsteller. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1817: 294 S. ([PDF](#))

BAFU (Hrsg.) (2020): Wirkungskontrolle Revitalisierung – Gemeinsam lernen für die Zukunft. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern. ([PDF](#))

BAFU (in Arbeit): Anforderungen an das Fachgutachten Gewässerraum für die grossen Fliessgewässer. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. xxx: x S.

BAFU & EAWAG (Hrsg.) (2006): Ökomorphologie Stufe S (systembezogen). Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer gemäss dem Modul-Stufen-Konzept. Entwurf. *Bundesamt für Umwelt*, Bern, 72 S. ([PDF](#))

Bezzola, Gian Reto (2019): Flussbau. Vorlesungsmanuskript. ETH Zürich.

BRP, BWG & BUWAL (2005): Empfehlung Raumplanung und Naturgefahren. ([PDF](#))

Church, Michael (2006): "Bed Material Transport and the Morphology of Alluvial River Channels." *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 34(1): 325-354.

Dietrich, W. E., Kirchner J. W., Ikeda H. & Iseya F. (1989). Sediment supply and the development of the coarse surface layer in gravel-bedded rivers. *Nature* 340(6230): 215-217. <https://doi.org/10.1038/340215a0>.

Friedl F., Kammerer S. Vanzo D., Weitbrecht V., Vetsch D., Boes R. (2017). Grundlagenversuche zur Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Geschiebefracht und Morphodynamik in Kiesflüssen. Im Auftrag des Bundesamts für Umwelt BAFU. VAW Bericht 4348. VAW ETH Zürich, 89 S.

Gessler J. (1965). Der Geschiebetriebbeginn bei Mischungen untersucht an natürlichen Abpflästerungserscheinungen in Kanälen. *Mitteilung der Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau der ETH Zürich, Hydrologie und Glaziologie*, **69**.

Günter A. (1971). Die kritische mittlere Sohlenschubspannung bei Geschiebemischungen unter Berücksichtigung der Deckschichtbildung und der turbulenzbedingten Sohlenschubspannungsschwankungen. *Mitteilung der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich*, **3**. ([PDF](#))

Hanus E., Roulier C., Paccaud G., Bonnard L. & Fragnière Y. (2014): Besoins de valorisation des zones alluviales d'importance nationale. Assainissement du charriage, des débits résiduels, des éclusées. Revitalisation. – Aufwertungsbedarf in den Auen von nationaler Bedeutung - Sanierung von Geschiebehaushalt, Restwasser und Schwall-Sunk. Revitalisierung. *Office fédéral de l'environnement (OFEV)*, Berne. 28 pp. + annexes. ([PDF](#))

Hunziker R., Niedermayer A., Irniger A., Lehmann C., Gertsch E. & Heim, G. (2014): Abschätzung der mittleren jährlichen Geschiebelieferung in Vorfluter. Praxishilfe. *Bericht im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt*. ([PDF](#))

Leopold, L. B., & Wolman, M. G. (1957). *River channel patterns: braided, meandering, and straight*. US Government Printing Office.

Marti C. (2006): Morphologie von verzweigten Gerinnen. Ansätze zur Abfluss-, Geschiebetransport- und Kolkiefenberechnung. *Mitteilung der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich*, **199**, 282 S. ([PDF](#))

Métivier, F. & L. Barrier (2012). Alluvial Landscape Evolution: What Do We Know About Metamorphosis of Gravel-Bed Meandering and Braided Streams? 474-501.

Montgomery, D. R., & Buffington J. M. (1997): Channel-reach morphology in mountain drainage basins. *Geological Society of America Bulletin* **109.5**, 596-611. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1997\)109%3C0596:CRMIMD%3E2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1997)109%3C0596:CRMIMD%3E2.3.CO;2).

Parker G. (1979). Hydraulic Geometry of Active Gravel Rivers. *Proc. ASCE, J. of Hydr. Div.*, **105(HY9)**, 1185-1201.

Rosgen, D. L. (1994). A classification of natural rivers. *CATENA* **22(3)**, 169-199.

Schager, E. & Peter A. (2001): Bachforellensömmerlinge Phase I. *Netzwerk Fischrückgang Schweiz Teilprojekt 00/12*: 321 S.

Schager, E. & Peter A. (2002): Bachforellensömmerlinge Phase II. *Netzwerk Fischrückgang Schweiz Teilprojekt 01/12*: 224 S.

Schager, E. & Peter A. (2004): Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer - Fische Stufe F (flächendeckend). *BAFU Vollzug Umwelt, Mitteilungen zum Gewässerschutz*, **44**: 63 S. ([PDF](#))

Schälchli, U. (1992). The clogging of coarse gravel river beds by fine sediment. *Sediment/Water Interactions: Proceedings of the Fifth International Symposium*. B. T. Hart and P. G. Sly. Dordrecht, Springer Netherlands: 189-197.
<https://doi.org/10.1007/BF00026211>.

Schälchli U. (2005): Mathematische Modellierung des Geschiebehaushalts der Thur und des Sitter-Unterlaufs. *VAW 75 JAHRE, Festkolloquium 7. Oktober 2005. Mitteilung der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich*, **190**, 121-135. ([PDF](#))

Schälchli, U., Breitenstein M. & Kirchhofer A. (2010). Kiesschüttungen zur Reaktivierung des Geschiebehaushalts der Aare – die kieslaichenden Fische freut's. *Wasser Energie Luft* 102/3: 209-213.

Schälchli, U. & Hunzinger, L. (in Arbeit): Die erforderliche Geschiebefracht. Fachbericht zum Modul «Geschiebehaushalt – Massnahmen» der Vollzugshilfe Renaturierung der Gewässer. *Bericht im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt*. ([PDF](#))

Schälchli U. & Kirchhofer A. (2012). Sanierung Geschiebehaushalt. Strategische Planung. Ein Modul der Vollzugshilfe Renaturierung der Gewässer. *Bundesamt für Umwelt*, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1226: 74 S. ([PDF](#))

Schumm, S. A. (1985). Patterns of Alluvial Rivers. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, **13**, 5-27.

Schwindt S., Franca M. J., De Cesare G. & Schleiss A. (2016). Gestaltung effizienter Geschiebesammler anhand physikalischer Modellversuche mit Fallbeispiel. *18. Wasserbausymposium*, Wallgau, Germany, 275-284. ([PDF](#))

Thomas, G., Baumgartner, S., Haertel-Borer, S. (2019): Finanzierung. Merkblatt 6, V1.02. In: *Wirkungskontrolle Revitalisierung – Gemeinsam lernen für die Zukunft*. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern, 2020.

VAW (2011, nicht publiziert): Alpenrhein Internationale Strecke. Nachhaltiger Hochwasserschutz auf der Flussstrecke der Internationalen Rheinregulierung. Machbarkeitsuntersuchung (11.7.2011). Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich. VAW 4262-4. *Im Auftrag der Internationalen Rheinregulierung*.

Yalin S. & da Silva A.M.F. (2001): Fluvial processes. *IAHR Monograph, IAHR International Association of Hydraulic Engineering and Research*, Delft, The Netherlands.

Zurwerra A, Meile T. & Käser S. (2016): Künstliche Hochwasser. Massnahme zur Beseitigung ökologischer Beeinträchtigungen in Restwasserstrecken unterhalb von Speicherseen. Auslegeordnung Grundlagen & Handlungsbedarf. Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt. ([PDF](#))

Anhang C – Inhalt einer Sanierungsverfügung

Damit die Anlageninhaber die Sanierungen fristgerecht und zielgerichtet durchführen können sollten die kantonale Verfügung der Sanierungspflicht an die Anlagenbetreiber wenigstens die folgenden Punkte enthalten:

- Anordnung der Sanierung, d.h. Sanierungspflicht klar statuieren (Art. 42c Abs. 2 GSchV) mit Bezugnahme auf die beschlossenen strategischen Planungen.
- Verpflichtung zur Ausarbeitung eines Sanierungsprojektes mit möglichst konkreter Vorgabe der Sanierungsziele (Art und Umfang). Der Detaillierungsgrad der Vorgaben hängt ab und stützt sich auf die Ergebnisse der strategischen Planung und die Studie über Art und Umfang von Massnahmen.
- Eine Frist, innert welcher die Massnahmen projektiert (d.h. Vorlage eines bewilligungsfähigen Dossiers) und eine Frist innert welcher die Massnahmen umgesetzt werden müssen. Grundlage bilden die Angaben in den strategischen Planungen.
- Aufforderung zur Ausarbeitung eines Konzepts zur Wirkungskontrolle. Da bereits vor Umsetzung der Massnahme der Ausgangszustand des Gewässers dokumentiert sein muss, ist es sinnvoll, die Wirkungskontrolle bereits im Rahmen der Projektierung zu entwickeln.
- Eventuell Angaben über notwendige Abstimmung der Massnahmen im Einzugsgebiet.

Wenn mit der vom Kanton durchzuführenden Studie über Art und Umfang von Massnahmen kein Variantenentscheid gefällt wird, sondern das Variantenstudium vom Kraftwerksinhaber durchgeführt werden soll, muss die Verfügung zudem enthalten:

- Frist, bis zu welcher ein Vorschlag für die Bestvariante vorgelegt wird.
- Regelung zum Entscheid über die Bestvariante.

Anhang D – Ansätze zur Bestimmung der Geschiebefracht im Ist- und Referenzzustand

Die möglichst genaue Bestimmung der Geschiebefracht ist von zentraler Bedeutung für die Ermittlung der erforderlichen Fracht und die Planung von Geschiebemaßnahmen. Wir stellen sechs Möglichkeiten vor und geben praktische Hinweise zu deren Anwendung (Tabelle D-1). Die Ansätze verwenden verschiedene Grundlagen und hydrologische oder hydraulische Parameter. Die Grundlagen sind immer auf ihre Qualität zu prüfen und zu plausibilisieren (z.B. bei Angaben aus Geschiebesammlern: Genauigkeit der Volumenangaben und Anteil Geschiebe, Feinsedimente, Holz, Geschwemmset). Parameter, auf welche die Geschiebefracht sehr sensitiv reagiert (z.B. Korndurchmesser Geschiebe), sind mit grosser Sorgfalt und möglichst grosser Genauigkeit zu erheben.

Ansatz 1 «Entnahmestatistiken» umfasst das Auswerten von verfügbaren Daten zu Kiesentnahmen (aus Fliessgewässern, Geschiebesammlern, etc.) und Ablagerungen in Seen (Deltawachstum). Anhand von Kiesentnahmen können die Frachten von Teileinzugsgebieten oft mit hoher Genauigkeit abgeschätzt werden. Diese Frachten können auch als Kalibriergrößen für benachbarte Einzugsgebiete mit ähnlichen Eigenschaften dienen (Ansatz 3). Aufgrund des Deltawachstums oder Kiesentnahmen an Mündungen in Seen (Alpenrhein, Linth) kann die Geschiebefracht ganzer Gewässersysteme bestimmt werden.

Ansatz 2 «Prozessanalysen» umfasst die Erhebung des Geschiebeaufkommens im Feld durch Prozessanalysen und Volumenabschätzungen. Dabei werden Ereignisfrachten (bei HQ_{300} , HQ_{100} , HQ_{30} , HQ_{10} , HQ_2) in den Seitenzubringern bestimmt und anschliessend auf mittlere Jahresfrachten umgerechnet. Bestehen längere Zwischenstrecken, so ist der Abrieb zu berücksichtigen. Die Methode liefert robuste Resultate. Das Vorgehen ist in (Hunziker *et al.* 2014) beschrieben. Bei Verfügbarkeit von Kiesentnahmen in Teileinzugsgebieten (Ansatz 1) können die Resultate von Ansatz 2 plausibilisiert und deren Genauigkeit erhöht werden.

Ansatz 3 «Vergleichsgewässer» umfasst das Übertragen der Geschiebefracht von Vergleichsgewässern auf das zu untersuchende (Teil-) Einzugsgebiet oder das Plausibilisieren der im Untersuchungsperimeter ermittelten Geschiebefracht. Dabei sind die für das Geschiebeaufkommen massgebenden Charakteristiken der Einzugsgebiete zu vergleichen und zu werten (Relief, Geologie, Geomorphologie, Bewuchs, Anteil Lockergestein und Konnektivität zum Gerinne etc.). In der Regel wird die spezifische Geschiebefracht unter Berücksichtigung der Einzugsgebietsgrösse abgeschätzt, resp. bei der Plausibilisierung die spezifischen Geschiebefrachten verglichen.

Ansatz 4 «Schlüsselstrecken» umfasst die Berechnung der Geschiebefracht in Schlüsselstrecken. Schlüsselstrecken sind Gewässerabschnitte mit der kleinsten Geschiebetransportkapazität innerhalb eines Betrachtungsperimeters. Dabei wird für ein Querprofil oder ein Abschnitt die transportierbare Geschiebefracht berechnet. Bei Gewässern, die sich bezüglich Geschiebetransport in einem Gleichgewichtszustand befinden, entspricht die berechnete Fracht der effektiven Geschiebefracht. Bei Gewässern, die sich im Zustand der latenten Erosion befinden, stellen die berechneten Frachten nur einen oberen Grenzwert dar. Die Berechnung der transportierbaren Geschiebefracht ist mit grossen Unsicherheiten verbunden. Die Anwendung von Ansatz 4 wird daher nur empfohlen, wenn sich ein Gewässer offensichtlich im Gleichgewichtszustand befindet und die sensitiven Parameter zuverlässig ermittelbar sind.

Ansatz 5 «Sohldifferenzen» umfasst das Auswerten von Sohlenveränderungen zwischen verschiedenen Jahren. Mit der Methode wird die Änderung der Geschiebefracht in Fliessrichtung bestimmt und nicht die absolute Geschiebefracht. Die Methode eignet sich in langen Auflandungs- oder Erosionsstrecken zur Bestimmung des Längenprofils der Geschiebefracht, ausgehend von einer bekannten Geschiebefracht im Ober- oder Unterwasser. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die resultierende Geschiebefracht nur den Zustand des Gewässers im Zeitraum zwischen den betrachteten Vermessungen charakterisiert, d.h. meist im Zustand mit Anlagen wie Gewässerverbauungen, Kraftwerken, Kiesentnahmen, etc. und nicht im Referenzzustand.

Ansatz 6 «numerische Modellrechnungen» umfasst die Herleitung des Längenprofils der Geschiebefracht anhand von morphologischen Modellberechnungen. Dabei werden die Geschiebeeinträge in das Modell so gewählt, dass die Sohlenänderungen zwischen zwei Gerinnevermessungen möglichst genau reproduziert werden können. Neben den oft in hoher Genauigkeit zur Verfügung stehenden Grundlagendaten (Querprofile, Abflussganglinie) ist dem sensitiven Parameter Korndurchmesser grosse Aufmerksamkeit zu schenken. Zudem kann die resultierende Geschiebefracht bei Modellen mit verschiedenen Berechnungsansätzen (Transportformel, Schubspannung) stark variieren. Es empfiehlt sich Modelle mit Einstellungen zu verwenden, die bereits an Gewässern mit bekannter Fracht (z.B. bei vollständiger Kiesentnahme, Ablagerung im Delta) kalibriert und erprobt wurden.

Tabelle D-1: Ansätze zur Ermittlung der Geschiebefracht. Die Prozentangaben geben die erreichbare Abweichung (+/-) vom wahrscheinlichen Wert an.

| Nr. | Ansatz | Grundlagen | Sensitive Parameter (und Genauigkeit der Bestimmung) | Aufwand, Beurteilung und Nutzen des Ansatzes | Genauigkeit Geschiebefracht ¹ |
|-----|-------------------------------|---|---|--|--|
| 1 | Entnahmestatistiken | Entnahmekubaturen über mehrere Jahre Vermessungen, Luftbilder, etc. | <ul style="list-style-type: none"> • Datenverfügbarkeit (Jahre) und Zuverlässigkeit 10-40%) • Abschätzen Anteil an Gesamtfracht / Durchgängigkeit (10-40%) • Anteil Feinsedimente (10 - 30%) | Aufwand klein Bei Verfügbarkeit von Daten ist die Auswertung zwingend | gut |
| 2 | «Prozessanalysen» | Felderhebungen, Karten, Luftbilder etc. | <ul style="list-style-type: none"> • Erkennen der massgebenden Prozesse • Abschätzen Volumen Geschiebeherde (20-40%) • Anteil Feinsedimente (10 - 30%) • Abrieb (10 - 30%) | Aufwand mittel Liefert robuste Resultate Anwendung sehr empfohlen | gut |
| 3 | Vergleichsgewässer | Daten von Einzugsgebieten mit ähnlicher Charakteristik des EZG, bei dem robuste und plausibilisierte Geschiebefrachtdaten vorliegen | <ul style="list-style-type: none"> • Charakterisierung Einzugsgebiet • Übertragbarkeit | <ul style="list-style-type: none"> • Aufwand klein • Anwendung sehr empfohlen • Ermöglicht Plausibilisierung der anderen Methoden | mittel |
| 4 | Schlüsselstrecken | <ul style="list-style-type: none"> • Querprofile • Gefälle • Dauerkurve • Korndurchmesser • Rauheiten | <ul style="list-style-type: none"> • Abfluss-Dauerkurve • Korndurchmesser • Gefälle • Transportformel | Aufwand klein bis mittel Liefert nur oberen Grenzwert (Transportkapazität) -> Fracht kann begrenzt werden Anwendung nur in Strecken im Gleichgewichts- oder Auflandungszustand empfohlen | mittel |
| 5 | Sohldifferenzen | <ul style="list-style-type: none"> • Querprofile Vermessungen aus mindestens zwei verschiedenen Jahren | <ul style="list-style-type: none"> • Vergleichbarkeit der Profile (Breite etc.) • Abflüsse in der Periode zwischen Querprofil-Vermessungen | Aufwand klein - mittel Ergibt nicht absolute Fracht, sondern nur Änderung der Fracht in Fliessrichtung In Auflandungs- und Erosionsstrecken von grösseren Fliessgewässern ev. sinnvoll | gut |
| 6 | Numerische Modellberechnungen | <ul style="list-style-type: none"> • Querprofile von mindestens 2 Vermessungen • Abflussganglinie der Berechnungsperiode • Korndurchmesser • Rauheiten • Kiesentnahmen | <ul style="list-style-type: none"> • Korndurchmesser Geschiebe (5-20%) • Korndurchmesser Sohle (5-20%) • Transportformel (bis 50%) • Hydraulik, Schubspannungen (bis 30%) • Kalibriergüte, Abweichungen soll/ist (bis 20%) | Aufwand gross Bei Kenntnis der GF (Kiesentnahmen, Stauhaltung, Delta, etc.) gute Kalibrierung möglich Ohne Kenntnis der GF ist die zuverlässige Bestimmung der massgebenden Korndurchmesser zwingend -> je nach Anwender und Modelle sind grosse Unterschiede zu erwarten, weil viele Varianten für die Berechnung der Geschiebefracht möglich sind | gut |

¹ Die absolute Genauigkeit hängt stark davon ab, wie zuverlässig die Grundlagen sind und wie gut die sensitiven Parameter ermittelt werden können.

Grundsätzlich sollten zur Bestimmung der Geschiebefracht eine Kombination von mehreren Ansätzen verfolgt werden, weil damit eine grössere Genauigkeit erreicht werden kann. Abhängig von der Einzugsgebietsgrösse und des zu betreibenden Aufwandes ist beispielsweise folgende Kombination von Ansätzen sinnvoll:

- Grobabschätzung der Geschiebefracht im Schnellverfahren: Ansätze 1 und 3 (nur in kleinen Einzugsgebieten und mittelgrossen Einzugsgebieten mit eher geringer Bedeutung empfohlen).
- Robuste Bestimmung der Geschiebefracht mit mittlerem Aufwand: Ansätze 1, 2 und 3 (empfohlen in allen Einzugsgebietsgrössen).
- Zuverlässige und redundante Bestimmung der Geschiebefracht mit grossem Aufwand: Methoden 1, 2, 3 sowie 6, eventuell ergänzt mit Methoden 4 und 5.

ENTWURF

Anhang E – Methodik zum Bestimmen der erforderlichen Geschiebefracht

E.1 Einleitung

Der vorliegende Anhang erläutert das Vorgehen zur Bestimmung der erforderlichen Geschiebefracht, mit der die Ziele für das Gewässer erreicht werden können. Die Methoden wurden im Rahmen der Erarbeitung des Vollzugshilfemoduls entwickelt. Sie sind mit ihrer Herleitung im Detail in Schälchli und Hunzinger (2020) beschrieben. In diesem Anhang werden sie nur soweit ausgeführt, als es für das Verständnis der Anwendung erforderlich ist.

E.2 Methode: Gerinneform

E.2.1 Konzept der Methode

Methode «Gerinneform» ist die Hauptmethode, mit welcher die Geschiebefracht bestimmt wird, die für das Erreichen der morphologischen Ziele erforderlich ist. Sie gründet auf dem Zusammenhang zwischen der Geschiebefracht und der Breite und damit der Gerinneform eines kiesführenden Gewässers. Je grösser die Geschiebefracht in einem Gewässer ist, desto grösser ist seine Breite¹ und je breiter ein Gewässer ist (bei gleichem Abfluss und Gefälle), desto stärker ist es verzweigt.

Es wird also jene Geschiebefracht gesucht, mit der ein Gewässer eine Breite und Gerinneform ähnlich wie im Referenzzustand erreichen kann. Die erforderliche Geschiebefracht wird mit der vorliegenden Methode als Prozentsatz der Fracht im Referenzzustand angegeben. Die Herleitung der Prozentwerte basiert auf den in Schälchli und Hunzinger (2020) hergeleiteten Formeln und deren Anwendung auf mehr als 30 Beispielgewässer (Abbildung E-1).

¹

Wenn die Breitenentwicklung nicht durch Talflanken oder durch Verbauungen eingeschränkt ist.

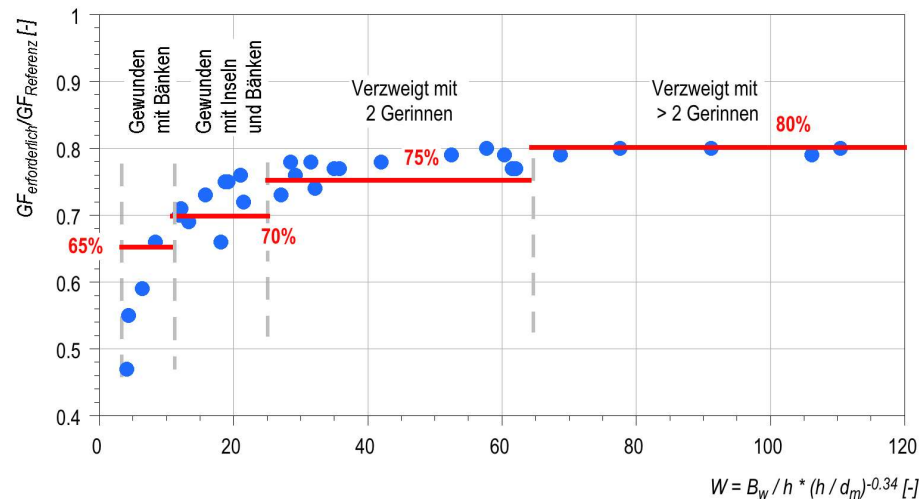


Abbildung E-1 > Verhältnis der erforderlichen Geschiebefracht zur Geschiebefracht im Referenzzustand in Abhängigkeit der Gerinneform für 30 Gewässer aus Schälchli und Hunzinger (2020).

E.2.2 Vorgehen

Für die Beurteilung werden die folgenden Grundlagen benötigt.

- Historische Karten (erste massstäbliche Karten) und Korrekionspläne, frühe Luftbilder.
- Geschiebefracht im Ist-Zustand (aus Geschiebehaushaltsstudien, Sanierungsplanung Geschiebehaushalt Phase I, Erhebungen im Feld).
- Geschiebefracht im Referenzzustand (Geschiebefracht im Ist-Zustand zuzüglich der Änderung an der Geschiebefracht, welche durch bestehende Anlagen verursacht wird).

Schritt 1: Gerinneform

Aus historischen Karten, Korrekionsplänen und frühen Luftbildern wird die Gerinneform im Referenzzustand visuell bestimmt. Es werden die Gerinneformen von Abbildung E-2 unterschieden.

① Verzweigte Gerinne mit mehr als 2 Teilgerinnen.



Karte: Hinterrhein bei Rhäzüns.
Fotos: Rotten bei Leuk;
Sense bei Plaffeien.

② Verzweigte Gerinne mit 2 Teilgerinnen.



Karte: Alpenrhein bei Kriessern.
Fotos: Schwarzwasser bei Rüscheegg;
Ärgera bei Gifers.

③ Gewundene Gerinne mit Inseln und Bänken.



Fotos folgen

Karte: Limmat bei Dietikon.

④ Gewundene Gerinne mit Bänken.



Karte: Aare bei Wynau.
Fotos: Saane bei Rougemont;
Töss bei Dättikon.

⑤ Mäandrierende Gerinne ohne Geschiebeführung.



Karte: Aare bei Grenchen.
Fotos: Aare bei Grenchen;
Biber bei Rothenthurm.

⑥ Gestreckte und gewundene Gerinne.



Karte: Chirel im Diemtigtal.
Fotos: Schmadri Lüttschine bei Stechelberg;
Verzasca bei Sonogno.

Abbildung E-2 > Gerinneformen. Die Gerinneformen 1 - 5 weisen in der Regel Gefälle $\leq 3\%$ auf, die Gerinneform 6 stellt sich vorwiegend in steilen Gewässern mit einem Gefälle $> 3\%$ ein.

Kritische Einordnung historischer Karten

Historische Karten zeigen den Zustand eines Gewässers zum Aufnahmezeitpunkt. Bei der Verwendung der Karten sollten folgende Punkte beachtet werden:

- Zeigt die Karte einen Zustand mit nicht eingeschränkter Breite oder sind die Breite und die Gerinneform durch Verbauungen bereits verändert?
- Kann der dynamische Bereich (benetzter Bereich, Kiesbänke ohne / mit Pioniervegetation) gut vom angrenzenden Bereich (Wald, Streuwiesen, Riede) unterschieden werden? Ist die Unterscheidung plausibel?
- Welche Variation der Breite und der Gerinneform zeigen historische Karten aus verschiedenen Jahren? Sind die Unterschiede auf anthropogene Eingriffe oder auf die Hochwassergeschichte zurückzuführen?
- Sind bei gewundenen Gerinnen Anzeichen von Migration erkennbar?
- Wie stark schwankt die Gerinnebreite in Fließrichtung? Ist die Breite durch geomorphologische Formen eingeschränkt (Schwemmkegel, Bergsturzkegel, anstehende Talflanken)?

Mit einer entsprechenden Analyse der historischen Karten kann der Referenzzustand mit ausreichender Genauigkeit hergeleitet und Fehlinterpretationen können vermieden werden.

Bei Bedarf kann die Gerinneform mit Hilfe des modifizierten Ahmari & Da Silva Diagramms (Abbildung E-3) plausibilisiert und im Übergangsbereich zwischen zwei Gerinneformen eindeutig zugeordnet werden. Dazu sind folgende Eingangsgrößen erforderlich: Gerinnebreite B im Referenzzustand, Sohlgefälle, bettbildender Abfluss HQ_2 und charakteristische Korndurchmesser (d_{90} , d_m) des Sohlenmaterials. Anhand einer Normalabflussberechnung in einem Rechteckgerinne mit Uferauheiten $k_{St(Ufer)} = 21m^{1/3}/s$ und Sohlenrauheit $k_{St(Sohle)} = 21/d_{90}^{1/6}$ werden die Abflusstiefe h und anschliessend die Größen relative Breite B/h und relative Abflusstiefe h/d_m bestimmt.

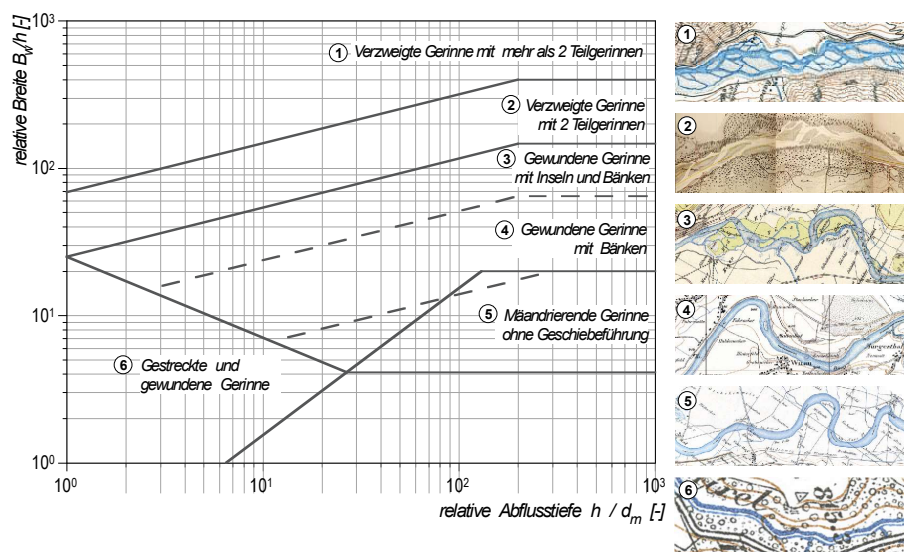


Abbildung E-3 > Modifiziertes Diagramm von Ahmari & da Silva zur Abgrenzung verschiedener Gerinneformen in Abhängigkeit der relativen Abflusstiefe und der relativen Breite.

Schritt 2: Erforderliche Geschiebefracht:

Die erforderliche Geschiebefracht $GF_{\text{erforderlich}}$ wird als prozentualer Anteil der Geschiebefracht im Referenzzustand GF_{Referenz} bestimmt. Es gelten die Werte von Tabelle E-1 in Abhängigkeit der Gerinneform.

Tabelle E-1 > Vereinfachter Ansatz. Verhältnis der erforderlichen Geschiebefracht ($GF_{\text{erforderlich}}$) zur Geschiebefracht im Referenzzustand (GF_{Referenz}).

| Gerinneform im Referenzzustand | $GF_{\text{erforderlich}} / GF_{\text{Referenz}}$ |
|---|---|
| Verzweigte Gewässer mit mehr als 2 Gerinnen | 0.80 |
| Verzweigte Gewässer mit 2 Gerinnen | 0.75 |
| Gewundene Gewässer mit Inseln und Bänken | 0.70 |
| Gewundene Gewässer mit Bänken | 0.65 |
| Gestreckte bis gewundene Gewässer ($J > 3\%$) | 0.65 |

Bei mehrfach verzweigten Gewässern entspricht das 80 % der Fracht im Referenzzustand; bei verzweigten Gewässern sind es 75 %; bei gewundenen Gewässern mit Inseln und Bänken 70%; bei gewundenen Gewässern mit Bänken sowie bei gestreckten bis gewundenen Gewässern 65 %. Damit kommt zum Ausdruck, dass die Gerinneform verzweigter Systeme sensibler auf Geschiebeentzug reagiert als die Gerinneform gewundener Gewässer.

Bei steilen Gerinnen von mehr als 3 % ist die Gerinneform weniger von der Höhe der Geschiebefracht abhängig, sondern vielmehr von den topographischen Verhältnissen (grosses Gefälle, geologisch vorgegebene Talflanken). Die Gerinneform ist gewunden bis gestreckt. Was sich bei Geschiebedefiziten ändert, ist vorrangig die Zusammensetzung des Substrats und die lokalen Sohlenformen im Längenprofil. Als pragmatischer Ansatz kann davon ausgegangen werden, dass die Substratzusammensetzung und die Kiesablagerungen nicht wesentlich

beeinträchtigt sind, wenn die Geschiebefracht $\geq 65\%$ der Geschiebefracht im Referenzzustand erreicht.

E.3 Methode: Substrat

E.3.1 Verteilung von Substrattypen und Kolmation

Das Substrat wird durch die Variabilität der Substrattypen an der Oberfläche und die innere Kolmation beschrieben (vgl. Kap. 3.2.3). Die Variabilität der Substrattypen auf der Sohlenoberfläche ist das Ergebnis von Transport- und Ablagerungsprozessen. Es wird beurteilt, welche Substrattypen vorkommen und wie stark die Sohle kolmatiert ist. Die innere Kolmation wird durch die Infiltration von Feinsedimenten verursacht und durch die Umlagerung der Gewässersohle wieder verringert (Dekolmation). Bei der Bewertung sind die geologischen und hydrologischen Eigenschaften des Einzugsgebiets zu berücksichtigen, die einen starken Einfluss auf Substrat und Kolmation haben.



Abbildung E-4 > Kleinräumige morphologische Strukturen mit verschiedenen Substrattypen. Links: naturnaher Zustand (Brenno bei Castro). Rechts: Zustand mit Geschiebedefizit (Sihl, Finsterseebrugg). Fotos Flussbau AG SAH.

Dynamik des Substrats

Die Dynamik von Mikrostrukturen äussert sich in einer Dekolmation der Gewässersohle und einer Änderung der lokalen Zusammensetzung des Substrats. Bei einer Mobilisierung der Deckschicht dekolmatiert die Sohle und die Durchlässigkeit des Substrats erreicht einen Maximalwert. Damit ist die innere Kolmation der Gewässersohle ein geeigneter Parameter zur Beurteilung der Dynamik des Substrats. Damit sich die Zusammensetzung des Substrats lokal wesentlich ändert, ist in der Regel eine Migration des Gerinnes oder eine Verlagerung von Bänken erforderlich.

E.3.2 Vorgehen

Für die Beurteilung werden die folgenden Grundlagen benötigt.

- Kartierung von Substrattypen und Kartierung des Grads der inneren Kolmation.
- Bewertungsmuster für die Verteilung der Substrattypen und der Klassen der inneren Kolmation (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

Schritt 1: Substrattypen

Erheben des Flächenanteils der fünf Substrattypen im Feld entweder durch flächendeckende Kartierung oder Erhebung in mehreren Transsekten. Die Erhebungen erfolgen bei Niederwasserabfluss und umfassen auch sichtbare benetzte Sohlenbereiche. Für jeden Substrattyp werden die Flächenanteile in Prozent bestimmt und im Histogramm dargestellt. Die Verteilung des Vorkommens der fünf Substrattypen wird anhand der Musterverteilungen von Abbildung E-6 bewertet.

Schritt 2: Innere Kolmation der Sohle

Erhebung des Flächenanteils der fünf Grade der Kolmation im Feld in mehreren Transsekten. Die Erhebungen erfolgen bei Niederwasserabfluss und umfassen trockene Sohlenbereiche. Für jeden Grad der Kolmation werden die Flächenanteile in Prozent bestimmt und im Histogramm dargestellt. Die Verteilung des Vorkommens der fünf Grade wird anhand der Musterverteilungen von Abbildung E-6 bewertet.

Schritt 3: Beurteilen, ob eine Erhöhung der Geschiebefracht notwendig ist

Die in den Schritten 1 und 2 zugeordneten Verteilungen von Substrattypen und Kolmationsgraden werden in der Matrix von Abbildung E-5 eingetragen und das resultierende Schnittfeld bestimmt. Resultieren blaue oder grüne Schnittfelder, ist die Geschiebefracht ausreichend. Bei gelben Feldern ist die Geschiebefracht nach Möglichkeit zu erhöhen. Bei roten Feldern ist die Geschiebefracht zwingend zu erhöhen. Mit einer Erhöhung der Geschiebefracht wird die Bewertung des Substrats nach oben links verlagert.

Die lachs- und lilafarbenen Flächen E und F stellen Gewässerabschnitte dar, die in der Regel durch andere Prozesse dominant geprägt sind. Fläche E können beispielsweise erodierende und Fläche F auflandende Gewässerabschnitte betreffen. Die Ursachen können natürlicher oder anthropogener Art sein. Eine Ursachenabklärung ist erforderlich.

Schritt 4: Erforderliche Erhöhung der Geschiebefracht

Aufgrund der Beurteilung gemäss Schritt 3 kann die Veränderung des Geschiebehaushalts qualitativ bewertet und das Ausmass der Sanierungsmassnahme eingegrenzt werden. Befindet sich ein Gewässerabschnitt in der Bewertungsmatrix unten rechts, so muss die Geschiebeführung stark erhöht werden. Je weiter oben links sich der Gewässerabschnitt befindet, desto eher kann sich die Massnahmenplanung auf eine moderate Erhöhung der Geschiebeführung beschränken.

Weil die Verteilung der Substrattypen und die innere Kolmation der Sohle im Referenzzustand nicht bekannt sind, kann die erforderliche Geschiebefracht mit dieser Methode nicht quantifiziert werden.

| Kolmation | Substrat-typen | | | | |
|----------------|----------------|-----|--------|----------------|----------|
| | Sehr gut | Gut | Mässig | Unbefriedigend | Schlecht |
| Sehr gut | A | | B | | |
| Gut | | | | E | |
| Mässig | C | | | | |
| Unbefriedigend | | | | D | |
| Schlecht | | F | | | |

A Hohe Geschiebeführung, hohe Dynamik

B Eher geringe Geschiebeführung, hohe Dynamik

C Hohe Geschiebeführung, eher geringe Dynamik

D Grosses Geschiebedefizit

E Ursachenabklärung z. B. erodierende Gewässer

F Ursachenabklärung z. B. Rückstaubereich

Abbildung E-5 > Beurteilungsmatrix Geschiebehaushalt Anforderung 3: Substrat. Blau und Grün: Keine Massnahmen. Gelb: Massnahme nach Möglichkeit anordnen. Rot: Massnahme anordnen. E und F: Ursachenabklärung erforderlich

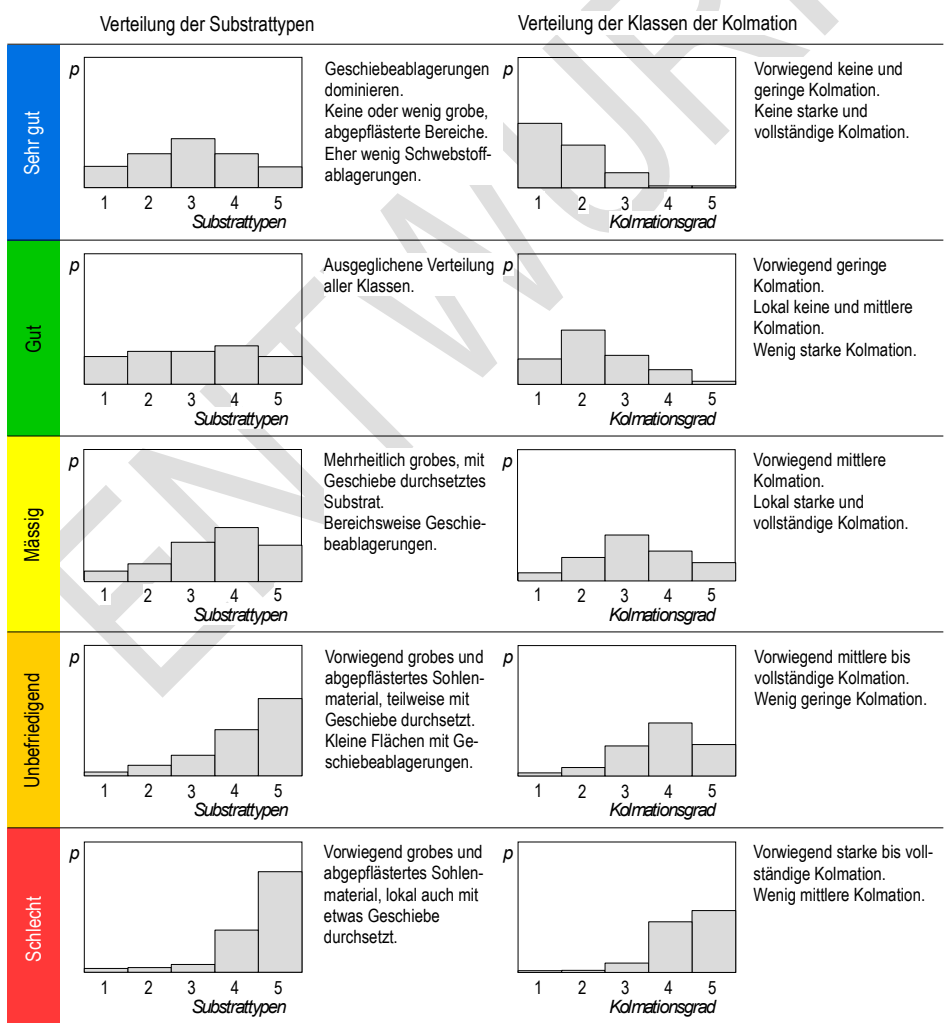


Abbildung E-6 > Bewertung der Verteilung der Substrattypen und des Kolmationsgrades. Die Verteilungskurven sind schematisch dargestellt, die absoluten Verteilungen sind natürlich abhängig von Einzugsgebieteigenschaften.

E.4 Methode Sohlenlage

E.4.1 Vorbemerkung

Wird die mit Methode «Gerinneform» bestimmte erforderliche Fracht erreicht, so kann man davon ausgehen, dass der Grundwasserhaushalt und der Hochwasserschutz durch den veränderten Geschiebehaushalt nicht mehr signifikant beeinflusst werden. Die Anwendung der Methode «Sohlenlage» erübrigt sich dann.

E.4.2 Methode Sohlenlage für das Ziel Grundwasserhaushalt

Hydrogeologische Bedeutung

Für Grundwasservorkommen, die hydraulisch ans Fließgewässer angeschlossen sind, sind die Wasserspiegellage im Gewässer und die Durchlässigkeit der Sohle von grosser Bedeutung. Gewässerkorrekturen und Verbauungen haben diese stark verändert, wodurch auch der Grundwasserspiegel und der Grundwasserhaushalt beeinflusst worden ist. In den meisten Fällen hat sich der Grundwasserspiegel mit zunehmender Sohlenerosion im Gewässer und mit zunehmender Kolmation der Sohle abgesenkt. In der Folge sind Giessen und Feuchtwiesen trockengefallen und torfhaltige Böden haben sich abgesenkt. Grundwassernutzungen, Bauten und Infrastrukturen haben sich oft an diesem anthropogen beeinflussten Zustand orientiert, weshalb die Rückführung in naturnahe Verhältnisse oft nur noch beschränkt möglich ist.

Vorgehen

Für die Beurteilung werden die folgenden Grundlagen benötigt:

- Grundwasserkarten.
- Karten der Aueninventare.
- Beobachtungen von Sohlenveränderungen im Feld (Spuren von Sohlenerosion oder -auflandung).
- Längenprofil des Talwegs der Gewässersohle vor und nach der Realisierung von Anlagen, die zu einer wesentlichen Veränderung des Geschiebehaushalts haben führen können.
- Grundwasserspiegelbeobachtungen vor und nach der Realisierung von Anlagen, die zu einer wesentlichen Veränderung des Geschiebehaushalts haben führen können.

Schritt 1: Grundwasservorkommen

Es wird abgeklärt, ob im Gewässerabschnitt bedeutende Grundwasservorkommen bestehen oder inventarisierte Auengebiete vorkommen. Falls dies nicht der Fall ist, entfällt das Kriterium.

Schritt 2: Beeinträchtigung des Geschiebehaushalts

Es wird beurteilt, ob es in den Gewässerabschnitten ohne Einschränkung der Gerinnebreite zu einer bedeutenden Änderung der Höhenlage des Talwegs infolge verändertem Geschiebehaushalt gekommen ist. Deutet die Feldbegehung sowie die Auswertung allfällig verfügbarer Sohlenvermessungen

auf entsprechende Prozesse hin, so sind folgende hydrogeologische Fragen zu klären:

- Hat sich der Grundwasserspiegel infolge der veränderten Sohlenlage signifikant verändert?
- Ist es infolge der Veränderung zu einer wesentlichen Beeinträchtigung des Grundwasserhaushalts gekommen?²

Falls beide Fragen mit «ja» beantwortet werden, so ist eine Sanierung des Geschiebehauhalts erforderlich.

Schritt 3: Festlegen der erforderlichen Geschiebefracht

Liegt eine wesentliche Beeinträchtigung des Grundwasserhaushalts durch einen veränderten Geschiebehauhalt vor, so sind in langen Flussabschnitten morphologische Modellberechnungen mit verschiedenen Geschiebefrachten durchzuführen. Anhand der Berechnungsergebnisse kann aufgezeigt werden, welche Geschiebefracht zur Stabilisierung der Sohle erforderlich ist. Die erforderliche Geschiebefracht wird (nach oben) durch die Geschiebefracht im Referenzzustand begrenzt.

E.4.3 Methode Sohlenlage für das Ziel Hochwasserschutz

Bedeutung

Eine stabile Sohlenlage mit tolerierbarem Schwankungsbereich aber ohne Auflandungs- oder Erosionstendenz ist für den Hochwasserschutz von grosser Bedeutung. Damit können Sohlenerosionen, die zu einer Gefährdung von Anlagen wie Ufersicherungen und Brücken führen können ebenso verhindert werden wie Auflandungen, welche die Abflusskapazität über Gebühr vermindern.

Vorgehen

Schritt 1: Längenprofile darstellen

Das Längenprofil der Sohle im Istzustand und im Referenzzustand sowie das Längenprofil der Talebene werden dargestellt.

Schritt 2: Längenprofile vergleichen

Es wird beurteilt, ob eine Erhöhung der Geschiebefracht erforderlich ist. Dazu werden aus den Längenprofilen die Längsgefälle von Istzustand, Referenzzustand und das Talgefälle herausgelesen und miteinander verglichen.

Falls das Sohlengefälle im Istzustand signifikant flacher als im Referenzzustand und auch flacher als das Talgefälle ist, liegt eine wesentliche Beeinträchtigung des Hochwasserschutzes infolge Reduktion der Geschiebefracht vor. Weil der Geschiebetransport sensibel auf Änderungen des Gefälles reagiert, können bereits kleine Abweichungen von Bedeutung sein.

² Eine Beurteilung, ob der Grundwasserhaushalt durch einen veränderten Geschiebehauhalt wesentlich beeinträchtigt wird, ist ohne umfangreiche Modellierungen nur in Gewässerabschnitten ohne Einschränkung der Gerinnebreite möglich.

Schritt 3: Festlegen der erforderlichen Geschiebefracht

Liegt eine wesentliche Beeinträchtigung des Hochwasserschutzes durch einen veränderten Geschiebehaushalt vor, so sind in möglichst langen Flussabschnitten morphologische Modellberechnungen mit verschiedenen Geschiebefrachten durchzuführen. Anhand der Berechnungsergebnisse kann aufgezeigt werden, welche Geschiebefracht zur Stabilisierung der Sohle erforderlich ist. Die erforderliche Geschiebefracht wird (nach oben) durch die Geschiebefracht im Referenzzustand begrenzt.

ENTWURF

Anhang F – Hinweise zur Planung, Projektierung und Umsetzung von einzelnen Massnahmenarten

Im Folgenden werden zu einzelnen baulichen (M1.1 bis M1.12) und zu betrieblichen Massnahmen (M2.1 bis M2.6) Hinweise für die Planung und Projektierung gegeben.

- M 1.1 **Umbau des Stauwehrs** so, dass Geschiebe bei Hochwasser über die Wehrschwelle transportiert werden kann: Der Geschiebetransport über die Wehrschwelle kann zu Abrasion an der Wehrschwelle führen. Die Gefahr der Verklausung durch Treibgut muss beachtet werden.
- M 1.2 **Umbau des Grundablasses** so, dass Geschiebe während Hochwasser bei abgesenktem Staupegel durch den Grundablass transportiert werden kann: Diese Massnahme ist nur bei sehr kleinen Stauhöhen möglich und sinnvoll. Bei grossen Stauanlagen müsste der See vollständig entleert werden. Die Massnahme muss in Folge dessen mit der betrieblichen Massnahme „Entleeren und spülen“ kombiniert werden. Dabei muss die Auswirkung einer erhöhten Schwebstoffkonzentration im Unterwasser (Trübung, Kolmation) beachtet werden. Der Geschiebetransport durch den Grundablass kann zu Abrasion der Anlage führen.
- M 1.3 Erstellen eines **Geschiebeumleitstollens** oder eines Gerinnes zur Umleitung von Geschiebe: Der Geschiebetransport durch einen Stollen kann zu Abrasion im Stollen führen. Die Gefahr der Verklausung durch Treibgut muss beachtet werden.
- M 1.4 **Umbau des Auslaufbauwerks** so, dass das Becken erst bei seltenen Hochwasserabflüssen eingestaut wird: Häufige kleinere Hochwasser sollen ohne Rückstau durch das Becken fliessen können. Zu durchgängigen Geschiebesammlern hat die EPFL Lausanne geforscht und Bemessungsgrundlagen publiziert (z.B. Schwindt *et al.*, 2016).
- M 1.5 **Bau einer Abflussrinne im Geschiebesammler** mit ausreichender Geschiebetransportkapazität bei kleinen Hochwasserereignissen: Geschiebe soll sich dann nur bei grossen Hochwasserabflüssen ablagern, wenn die Rinne überläuft. Beim Betrieb ist zu beachten, dass die Abflussrinne nach Ablagerungen durch mittlere Hochwasserereignisse gegebenenfalls geräumt werden muss, auch wenn im Sammler noch ausreichend Platz für die Ablagerung bei grossen Hochwasserereignissen vorhanden wäre. Die Massnahme kann in Kombination mit M 1.4 durchgeführt werden. Zu durchgängigen Geschiebesammlern hat die EPFL Lausanne geforscht und Bemessungsgrundlagen publiziert (z.B. Schwindt *et al.*, 2016).

- M 1.6 **Anpassen der Anordnung von Rechenstäben:** Die Rechenstäbe in einem Geschiebe- oder Schwemmholtzrückhalt können nur auf einem Teil des Abflussquerschnitts angeordnet werden, so dass Geschiebe mit dem Abfluss im freien Abflussquerschnitt transportiert wird.
- M 1.7 **Bauliche Hochwasserschutzmassnahmen** entlang des Gewässers: Bauliche Hochwasserschutzmassnahmen (z. B. Hochwasserschutzdämme) dienen als permanente Alternative zu Kiesentnahmen.
- M 1.8 **Rückbau von Querbauwerken** und Zulassen von Sohlenerosion: Mit dem Entfernen von Schwellen wird die Sohlenlage abgesenkt. Es kann ein grösseres Längsgefälle toleriert werden, bei welchem mehr Geschiebe transportiert wird. Kiesentnahmen zum Schutz vor Hochwasser sind nicht mehr oder nur noch in geringerem Masse notwendig. Die Massnahme bietet sich im Oberlauf von Gewässern des Mittellandes oder der Voralpen an. In Wildbächen der Alpen gibt es oft keine verhältnismässige Alternative zur Sohlensicherung mittels Querbauwerken. Als begleitende bauliche Massnahmen müssen gegebenenfalls die Fundationen von Ufersicherungen angepasst werden.
- M 1.9 **Rückbau von Ufersicherungen und Zulassen von Seitenerosion:** Mit Seitenerosion wird die Geschiebeführung in einem Gewässer nur dort erhöht, wo durch die Erosion Kies aus einer hohen Schotterterrasse, einem Schwemmkegel oder aus einer Nagelfluhwand mobilisiert werden kann. Bei der Erosion einer niedrigen alluvialen Uferböschung wird an dem der Erosionsstelle gegenüberliegenden Ufer Geschiebe abgelagert, so dass die Gesamtbilanz ausgeglichen ist.
- M 1.10 **Beseitigen von Engstellen im Gerinne:** Engstellen, welche durch einen Rückstau bei Hochwasser die Ablagerung von Geschiebe verursachen, können gegebenenfalls beseitigt werden.
- M 1.11 **Errichten eines Geschiebeablagerungsplatzes im Nebenschluss:** Mit der gezielten Ablagerung von Geschiebe flussaufwärts der Entnahmestelle, z. B. in einem Geschiebeablagerungsplatz im Nebenschluss, kann die Belastung eines Gewässerabschnittes mit Geschiebe bei grossen Hochwasserabflüssen vermindert werden.
- M 1.12 **Rückbau der Anlage:** Bei allen Anlagentypen ist auch ein Rückbau der Anlage als Massnahme denkbar, sofern dies verhältnismässig ist.
- M 2.1 **Absenken des Staupegels bei Hochwasser:** Die Massnahme ist bei Wehranlagen geeignet, bei denen Geschiebe über die Wehrschwelle transportiert werden kann. Gegebenenfalls muss die Anlage umgebaut werden (M 1.1). Der Geschiebetransport über die Wehrschwelle kann zu Abrasion an der Wehrschwelle führen. Die Gefahr der Verklausung durch Treibgut muss beachtet werden.

Die Planung kann folgende Schritte enthalten:

- 1) Technische Machbarkeit prüfen
- 2) Randbedingungen für Staupegelabsenkungen ermitteln
- 3) Die Wirkung von Absenkszenarien ermitteln
- 4) Pilotversuche durchführen

Randbedingungen, welche das Ausmass von Staupegelabsenkungen beeinflussen können, sind: das bestehende Wehrreglement, die Stabilität von Uferböschungen, die Mobilisierung von Schadstoffen aus dem Stauraum, das Trockenfallen von Flachwasserzonen, die Trübung im Unterwasser, bestehende Freizeitnutzungen.

- M 2.2 **Stauraumspülungen und Entleerungen optimieren:** Der Stauraum muss bei Hochwasser abgesenkt werden, damit das Geschiebe von der Stauwurzel bis zum Grundablass transportiert werden kann. Die Spülung muss mit Unterliegern (Kraftwerken, Freizeitanlagen, etc.) abgesprochen sein. Bestehende Vorgaben für Stauraumspülungen müssen beachtet werden, damit insbesondere die Schwebstoffkonzentration im Unterwasser der Anlage wenig Auswirkungen hat (Trübung, Kolmation). Die Massnahme kann in Kombination mit der baulichen Massnahme Umbau des Grundablasses (M 1.2) umgesetzt werden.
- M 2.3 **Den Stauraum oder den Geschiebesammler mit Geschiebe verlanden** lassen, bis die Kontinuität wiederhergestellt ist: Bei grösseren Stauhaltungen dauert es sehr lange, bis der Stauraum verfüllt ist. Potenzielle Auswirkungen auf die Hochwassersicherheit müssen geprüft werden. Die Massnahmen kann deshalb mit temporären Kiesschüttungen im Unterwasser der Stauanlage (M 2.4) kombiniert werden.
- M 2.4 **Kiesschüttung im Unterwasser:** Kies sollte nur im Unterwasser zugegeben werden, wenn Massnahmen zum Durchleiten von Geschiebe durch die Anlage nicht machbar oder unverhältnismässig sind. Der Kies muss sich für die Zugabe eignen, d. h.: Die Korngrössenverteilung des zugegebenen Materials muss der natürlichen Verteilung des Geschiebes entsprechen. Gewässereigener Kies oder aus nahen Gewässern ist Kies aus Kieswerken zu bevorzugen. Es ist zu klären, ob das Risiko der Verschleppung invasiver Arten besteht.
- Der Zeitpunkt der Zugabe muss auf die Fischschonzeiten abgestimmt sein. Das Intervall von Schüttungen soll so optimiert werden, dass Geschiebe regelmässig zum Weitertransport zur Verfügung steht und dass gleichzeitig möglichst selten Störungen durch die Schüttung verursacht werden. Die Schüttjahre und Schüttmengen können auch in Abhängigkeit der verfügbaren Geschiebemengen flexibel festgelegt werden, sodass die erforderliche Geschiebefracht im Mittel erreicht wird.
- Als begleitende bauliche Massnahmen muss unter Umständen eine Dauerhafte Zufahrt zur Entnahme- und zur Zugabestelle errichtet werden.
- M 2.5 **Künstliche Hochwasser:** In Restwasserstrecken können künstliche Hochwasser zur Umlagerung von Geschiebe und zur Dekolmation der Sohle dotiert werden. Bei ungenügender Geschiebelieferung sind Kieszugaben erforderlich, um Abpflasterung und Erosion der Sohle zu verhindern. Wenn möglich sollen Synergien mit Stauraumspülungen genutzt werden. Hinweise zur Planung von künstlichen Hochwassern finden sich in der Auslegeordnung zu künstlichen Hochwassern von Zurwerra *et al.* (2016).
- M 2.6 **Entnahme reduzieren oder ganz einstellen:** Einrichtungen zur Entnahme sollen gleichzeitig zurück gebaut werden (M 1.12).

Anhang G – Checkliste: Studie über Art und Umfang der Massnahmen

Die folgende Liste enthält die inhaltlichen Anforderungen an die Studie über Art und Umfang von Massnahmen:

Ist- und Referenzzustand des Gewässers (Arbeitsschritt 1)

- Eine Beschreibung der Morphologie (Gerinneform, Sohlenform und Substrat) des Gewässers im Referenzzustand und im Ist-Zustand.
- Eine Liste der Anlagen, welche die Geschiebefracht im Ist-Zustand gegenüber der Fracht im Referenzzustand beeinflussen mit Angaben darüber, um welches Mass die Geschiebefracht von den Anlagen reduziert wird.
- Ein Längsprofil der Geschiebefracht im Referenz- und im Ist-Zustand.
- Eine Beschreibung des Defizits in der Geschiebeführung im Ist-Zustand gegenüber der Geschiebeführung im Referenzzustand.

Ziele für das Gewässer und die erforderliche Geschiebefracht (Arbeitsschritt 2)

- Eine Beschreibung der im Zielzustand angestrebten morphologischen Strukturen (Gerinneform, Kiesablagerungen und Substrat).
- Die Geschiebefracht, die in den Gewässerabschnitten erforderlich ist, um diese Ziele zu erreichen.
- Die Geschiebefracht, die erforderlich ist, um den Hochwasserschutz und den Grundwassershaushalt nicht zu beeinträchtigen.

Das Sanierungsziel für Anlagen (Arbeitsschritt 3)

- Eine konkrete Vorgabe zur Geschiebefracht im Unterwasser einer Anlage. Angabe als Geschiebevolumen in m³ pro Jahr, welches unterhalb der Anlage im Gewässer transportiert werden soll, oder
- eine Vorgabe zur Häufigkeit von Geschiebetransportereignissen. Angabe als Anzahl Ereignisse pro Jahr, an denen im Unterwasser der Anlage Geschiebe transportiert werden soll.

Einen Massnahmenkatalog (Arbeitsschritt 4)

- Eine Liste von baulichen und betrieblichen Massnahmen für jede der zu sanierenden Anlagen im Gewässersystem.
- Eine Beschreibung der Wirkung der Massnahmen in Bezug auf die Beurteilungskriterien.
- Eine Kostenschätzung für die Massnahmen.

Eine Bewertung von Massnahmenvarianten (Arbeitsschritt 5)

- Eine Liste von Varianten, welche die Massnahmen an verschiedenen Anlagen im Einzugsgebiet zusammenfassen.
- Ein Set von Kriterien für die Beurteilung der Varianten mit Hinweisen zu ihrer Bewertung.
- Eine Matrix, in welcher die Varianten beurteilt und bewertet werden.

Die Bestvariante (Arbeitsschritt 6)

- Eine Begründung für die Wahl der Bestvariante.
- Eine Einschätzung der absoluten Verhältnismässigkeit der Bestvariante.

Koordination mit anderen Massnahmen am Gewässer (Arbeitsschritt 7)

- Eine Liste mit weiteren Massnahmen im Einzugsgebiet und den möglichen Synergien und Opportunitäten mit den Massnahmen zur Sanierung des Geschiebehaushalts.

Konzept der Wirkungskontrolle (Arbeitsschritt 8)

- Ein Vorgehen zur Funktionskontrolle.
- Eine Liste der gewählten Indikatoren und eine Begründung für deren Wahl.
- Eine Bezeichnung der Untersuchungsabschnitte inkl. Vergleichsstrecken.
- Einen Zeitplan für die Erhebungen inkl. der Nullmessung.
- Die voraussichtlichen Kosten der Wirkungskontrolle.
- Die Koordination mit Wirkungskontrollen bei anderen Massnahmen.

Anhang H – Indikatoren für die Wirkungskontrolle

H.1 Indikatoren

H.1.1 Abiotische Indikatoren

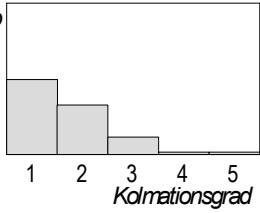
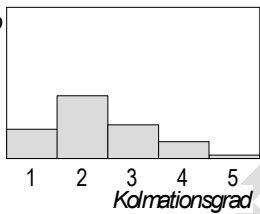
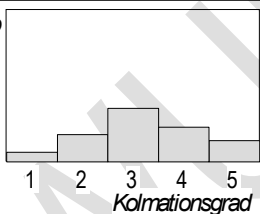
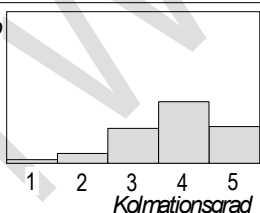
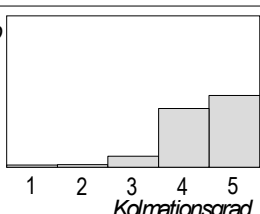
| Indikator | Ablagerungen in der Anlage oder an Zugabestellen | |
|------------------------|---|--|
| Erhebungsmethode | <ul style="list-style-type: none"> Vermessen von Querprofilen im unmittelbaren Wirkungsbereich der Massnahme (Zugabestelle o.ä.) Prüfen, ob Geschiebe nicht mehr zurückgehalten wird oder ob zugegebenes Geschiebe weiter transportiert wurde. | |
| Zeitpunkt der Erhebung | Bei Niedrigwasser | |
| Besonderheiten | <p>Je nach Massnahme wird der Nachweis an unterschiedlichen Stellen im Gewässer erbracht:</p> <ul style="list-style-type: none"> Geschiebe durch Wehr durchleiten (M 1.1, M 1.2, M 2.1, M 2.2): An der Stauwurzel Bau eines Geschiebeumleitstollen: (M 1.3): An der Stauwurzel Kiesschüttung im Unterwasser (M 2.4): An der Zugabestelle Umbau Geschiebesammler (M 1.4, M 1.5, M 1.6): Im Geschiebesammler Künstliche Hochwasser in Ausleitstrecken (M 2.5): An der Sohle und den Ufern der Ausleitstrecke | |
| Bewertung | Zustand | effektive Geschiebefracht [m ³ /a] |
| | Gut | keine Ablagerungen mehr oder alles Geschiebe wurde weiter verfrachtet |
| | Mässig | weiterhin Ablagerungen aber in geringem Umfang oder nur ein Teil des Geschiebes wurde weiter verfrachtet |
| | Schlecht | Ablagerungen unverändert oder Geschiebe wurde nicht weiter verfrachtet. |

| Indikator | Geschiebefracht | |
|------------------------|--|---|
| Erhebungsmethode | <ul style="list-style-type: none"> Vermessen von Querprofilen an neuralgischen Stellen Bestimmen der effektiven Geschiebefracht (mehrfähriger Durchschnitt) durch eine Bilanzierung von Sohlenveränderungen und Geschiebezugaben indirekte Geschiebemessungen (z.B. Geophone) | |
| Zeitpunkt der Erhebung | Bei Niedrigwasser, bei indirekten Geschiebemessungen kontinuierlich | |
| Besonderheiten | Die Sohlenveränderung in Querprofilen sollte auch im Feld visuell überprüft werden. | |
| Bewertung | Zustand | effektive Geschiebefracht [m^3/a] |
| | Sehr gut | \geq Geschiebefracht im Referenzzustand |
| | Gut | = erforderliche Geschiebefracht |
| | Mässig | < erforderliche Geschiebefracht |
| | Unbefriedigend | < 50 % der erforderlichen Geschiebefracht |
| | Schlecht | ≈ 0 |

| Indikator | Gerinneform | |
|------------------------|---|---|
| Erhebungsmethode | <ul style="list-style-type: none"> Bestimmen der Gerinneform visuell durch Feldbegehung oder aus aktuellen Luftbildern, Bestimmen der Sohlenbreite durch Feldbegehung oder aus aktuellen Luftbildern, Bestimmen der Korngrössenverteilung bzw. des Korndurchmessers d_m mit Hilfe von Linienzahlanalysen, Berechnen der Abflusstiefe bei HQ_2 und Bestimmen der Wasserspiegelbreite B_W (in erster Näherung gleich der Sohlenbreite). Überprüfen der visuell bestimmten Gerinneform mit Hilfe der Wertepaare (B_W/h; h/d_m) im Diagramm von Ahmari & da Silva und vergleichen mit der Gerinneform im Referenzzustand. | |
| Zeitpunkt der Erhebung | Felderhebungen und Luftbilder bei Niedrigwasser | |
| Besonderheiten | Im Ist-Zustand kann der massgebliche Querschnitt für die Bestimmung der Breite und Abflusstiefe aus vermessenen Querprofilen bestimmt werden. | |
| Bewertung | Zustand | Gerinneform (Typen gemäss Kapitel 3.2.3) |
| | Sehr gut | Eindeutig gleiche Gerinneform wie im Referenzzustand $B_W/h = B_W/h_{\text{Referenz}}$ |
| | Gut | Gleiche Gerinneform wie im Referenzzustand oder im Übergangsbereich zur nächsten Gerinneform ($B_W/h \leq B_W/h_{\text{Referenz}}$) |
| | Mässig | – |
| | Unbefriedigend | Gerinneform deutlich anders als im Referenzzustand ($B_W/h << B_W/h_{\text{Referenz}}$) |
| | Schlecht | Mäandrierende Gerinne ohne Geschiebeführung |

| Indikator | Ausdehnung und Mächtigkeit von Geschiebeablagerungen | |
|------------------------|--|---|
| Erhebungsmethode | <ul style="list-style-type: none"> Vermessen der Ausdehnung von Kiesbänken in m² mittels Profilen oder aus aktuellen Luftbildern und Vergleich mit der Fläche im Referenzzustand. Bestimmen der Mächtigkeit von Kiesbänken aus dem Vergleich von Querprofilaufnahmen verschiedener Jahre. | |
| Zeitpunkt der Erhebung | Bei Niedrigwasser | |
| Besonderheiten | Die Bewertung ist qualitativ und auch abhängig davon, wie genau die Ausdehnung im Referenzzustand bestimmt werden kann. | |
| Bewertung | Zustand | Ausdehnung Kiesbänke |
| | Sehr gut | Gleich wie im Referenzzustand |
| | Gut | Ausdehnung ähnlich wie im Referenzzustand (> 60%) |
| | Mässig | Ausdehnung wesentlich geringer als im Referenzzustand (< 60%) |
| | Unbefriedigend | Ausdehnung viel geringer als im Referenzzustand (< 30%) |
| | Schlecht | ≈ 0 |

| Indikator | Substrattypen | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|---|---|--|----------------------|------------|----------|---|--|-----|---|---|--------|---|---|----------------|---|---|----------|---|---|
| Erhebungsmethode | <ul style="list-style-type: none">Erheben des Vorkommens der Substrattypen im Feld entweder durch flächendeckende Kartierung oder Erhebung in mehreren Transekten. Es werden auch sichtbare, benetzte Bereiche der Sohle erhoben.Bestimmen der Flächenanteile der Substrattypen in Prozent und darstellen im Histogramm. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Zeitpunkt der Erhebung | Bei Niedrigwasser | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Bewertung | <table><tr><th></th><th>Verteilung der Typen</th><th>Qualitativ</th></tr><tr><td>Sehr gut</td><td><p>p</p><p>1 2 3 4 5</p><p>Substrattypen</p></td><td>Geschiebeablagerungen dominieren. Keine oder wenig grobe, abgeplästerte Bereiche. Eher wenig Schwebstoffablagerungen</td></tr><tr><td>Gut</td><td><p>p</p><p>1 2 3 4 5</p><p>Substrattypen</p></td><td>Ausgeglichene Verteilung aller Klassen.</td></tr><tr><td>Mässig</td><td><p>p</p><p>1 2 3 4 5</p><p>Substrattypen</p></td><td>Mehrheitlich grobes, mit Geschiebe durchsetztes Substrat. Bereichsweise Geschiebeablagerungen.</td></tr><tr><td>Unbefriedigend</td><td><p>p</p><p>1 2 3 4 5</p><p>Substrattypen</p></td><td>Vorwiegend grobes und abgeplästertes Sohlenmaterial, teilweise mit Geschiebe durchsetzt. Kleine Flächen mit Geschiebeablagerungen.</td></tr><tr><td>Schlecht</td><td><p>p</p><p>1 2 3 4 5</p><p>Substrattypen</p></td><td>Vorwiegend grobes und abgeplästertes Sohlenmaterial, lokal auch mit etwas Geschiebe durchsetzt.</td></tr></table> | | | Verteilung der Typen | Qualitativ | Sehr gut | <p>p</p> <p>1 2 3 4 5</p> <p>Substrattypen</p> | Geschiebeablagerungen dominieren. Keine oder wenig grobe, abgeplästerte Bereiche. Eher wenig Schwebstoffablagerungen | Gut | <p>p</p> <p>1 2 3 4 5</p> <p>Substrattypen</p> | Ausgeglichene Verteilung aller Klassen. | Mässig | <p>p</p> <p>1 2 3 4 5</p> <p>Substrattypen</p> | Mehrheitlich grobes, mit Geschiebe durchsetztes Substrat. Bereichsweise Geschiebeablagerungen. | Unbefriedigend | <p>p</p> <p>1 2 3 4 5</p> <p>Substrattypen</p> | Vorwiegend grobes und abgeplästertes Sohlenmaterial, teilweise mit Geschiebe durchsetzt. Kleine Flächen mit Geschiebeablagerungen. | Schlecht | <p>p</p> <p>1 2 3 4 5</p> <p>Substrattypen</p> | Vorwiegend grobes und abgeplästertes Sohlenmaterial, lokal auch mit etwas Geschiebe durchsetzt. |
| | Verteilung der Typen | Qualitativ | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sehr gut | <p>p</p> <p>1 2 3 4 5</p> <p>Substrattypen</p> | Geschiebeablagerungen dominieren. Keine oder wenig grobe, abgeplästerte Bereiche. Eher wenig Schwebstoffablagerungen | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Gut | <p>p</p> <p>1 2 3 4 5</p> <p>Substrattypen</p> | Ausgeglichene Verteilung aller Klassen. | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mässig | <p>p</p> <p>1 2 3 4 5</p> <p>Substrattypen</p> | Mehrheitlich grobes, mit Geschiebe durchsetztes Substrat. Bereichsweise Geschiebeablagerungen. | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Unbefriedigend | <p>p</p> <p>1 2 3 4 5</p> <p>Substrattypen</p> | Vorwiegend grobes und abgeplästertes Sohlenmaterial, teilweise mit Geschiebe durchsetzt. Kleine Flächen mit Geschiebeablagerungen. | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Schlecht | <p>p</p> <p>1 2 3 4 5</p> <p>Substrattypen</p> | Vorwiegend grobes und abgeplästertes Sohlenmaterial, lokal auch mit etwas Geschiebe durchsetzt. | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| Indikator | Innere Kolmation der Gewässersohle | |
|------------------------|---|--|
| Erhebungsmethode | <ul style="list-style-type: none"> Bestimmen der inneren Kolmation im Feld in mehreren Transekten. Darstellen der prozentualen Flächenanteile der fünf Klassen der Kolmation im Histogramm. | |
| Zeitpunkt der Erhebung | Bei Niedrigwasser | |
| Bewertung | Verteilung der Klassen | Qualitativ |
| | <p>Sehr gut</p> <p>p</p>  <p>Kolmationsgrad</p> | <p>Vorwiegend keine und geringe Kolmation. Keine starke und vollständige Kolmation.</p> |
| | <p>Gut</p> <p>p</p>  <p>Kolmationsgrad</p> | <p>Vorwiegend geringe Kolmation. Lokal keine und mittlere Kolmation. Wenig starke Kolmation.</p> |
| | <p>Mässig</p> <p>p</p>  <p>Kolmationsgrad</p> | <p>Vorwiegend mittlere Kolmation. Lokal starke und vollständige Kolmation.</p> |
| | <p>Unbefriedigend</p> <p>p</p>  <p>Kolmationsgrad</p> | <p>Vorwiegend mittlere bis vollständige Kolmation. Wenig geringe Kolmation.</p> |
| | <p>Schlecht</p> <p>p</p>  <p>Kolmationsgrad</p> | <p>Vorwiegend starke bis vollständige Kolmation. Wenig mittlere Kolmation.</p> |

| Indikator | Veränderung der mittleren Sohlenlage | | |
|------------------------|---|--------------------------------------|-------------------------------------|
| Erhebungsmethode | <ul style="list-style-type: none"> Vermessen von Querprofilen. Bestimmen der Lage der mittleren Sohle und darstellen des Längsprofils der mittleren Sohle. Vergleich des Längsprofils mit dem Längsprofil im Ausgangs-Zustand, mit dem Längsprofil im Referenzzustand und mit dem Tal-Längsprofil. | | |
| Zeitpunkt der Erhebung | Bei Niedrigwasser | | |
| Besonderheiten | Es wird unterschieden zwischen der Bewertung in Abschnitten ohne Einschränkung der Gerinnebreite und ohne potenziellen Schutzdefizite und kanalisierten Abschnitten mit eingeschränkter Sohlenbreite und potenziellen Hochwasserschutzdefiziten. | | |
| Bewertung | Zustand | Längsgefälle | |
| | | ohne Einschränkung der Gerinnebreite | mit Einschränkung der Gerinnebreite |
| | Sehr gut | – | – |
| | Gut | ≈ Längsgefälle im Referenzzustand | < Talgefälle |
| | Mässig | < Längsgefälle im Referenzzustand | ≈ Talgefälle |
| | Unbefriedigend | << Längsgefälle im Referenzzustand | > Talgefälle |
| | Schlecht | | |

| Indikator | Veränderung der Höhenlage des Talwegs | |
|------------------------|--|---|
| Erhebungsmethode | <ul style="list-style-type: none"> Vermessen von Querprofilen. Bestimmen der Höhenlage des Talwegs und darstellen im Längsprofil. Vergleich des Längsprofils mit dem Längsprofil im Ausgangszustand. | |
| Zeitpunkt der Erhebung | Bei Niedrigwasser | |
| Besonderheiten | <p>Der Talweg wird als Proxi-Indikator verwendet, um den Einfluss der Geschiebeführung auf den Grundwasserspiegel aufzuzeigen. Der Proxi-Indikator kann dort angewandt werden, wo der Grundwasserspiegel direkt mit dem Wasserspiegel des Fliessgewässers korrespondiert.</p> <p>Der Talweg interessiert in freien Fliessstrecken ohne Einschränkung der Sohlenbreite durch Uferverbauungen.</p> | |
| Bewertung | Zustand | Lage des Talweg |
| | Sehr gut | – |
| | Gut | Lage des Talwegs höher als im Ausgangszustand |
| | Mässig | Lage des Talwegs gegenüber dem Ausgangszustand unverändert. |
| | Unbefriedigend | Lage des Talwegs tiefer als im Ausgangszustand |
| | Schlecht | – |

H.1.2 Biotische Indikatoren

Vom Geschiebehaushalt direkt betroffen sind insbesondere kieslaichende Fischarten, die ihre Eier in der Kiessohle ablegen. Damit sich Eier und Embryonen richtig entwickeln können, muss die Kiessohle locker und gut durchströmt sein, damit die permanente Sauerstoffversorgung von Eiern und Embryonen gewährleistet ist. Die direkte Erhebung der Bestandesgrösse der Fischfauna ist speziell in grossen Flüssen kaum möglich. Zudem ist der Gesamtbestand der Fischarten in einem Gewässerabschnitt von vielen verschiedenen Faktoren abhängig (Abflussgeschehen, Befischungsintensität, Besatzmassnahmen, Temperaturbedingungen, Prädatorenhäufigkeit etc.). Deshalb ist im Rahmen der Wirkungskontrolle vor allem der Fortpflanzungserfolg kieslaichender Arten zu untersuchen. Dieser ist auch direkt abhängig vom Zustand der Flusssohle und vom Geschiebehaushalt. Je nach fischbiologischer Region sind einer oder mehrere der nachfolgend aufgeführten Indikatoren für die Wirkungskontrolle geeignet.

| Indikator | Vorkommen von Forellenbrütlingen | |
|-------------------------|---|-----------------|
| Fischbiologische Region | Gewässer der Forellenregion | |
| Erhebungsmethode | Punktbefischungen | |
| Zeitpunkt der Erhebung | Kurz nach der Emergenz (Verlassen der Kiessohle) der Brütlinge, je nach Höhenlage Anfangs April bis Anfangs Juni. | |
| Besonderheiten | – | |
| Bewertung | Zustand | CPUE* Brütlinge |
| | Sehr gut | >1 |
| | Gut | 0.6 – 1.0 |
| | Mässig | 0.4 – 0.6 |
| | Unbefriedigend | 0.1 – 0.4 |
| | Schlecht | <0.1 |

* CPUE = Catch per unit effort = Anzahl gefangene Individuen pro Standort

| Indikator | Vorkommen von jungen Bachforellen, Anteil am Gesamtbestand | | | |
|-------------------------|--|------------------------|-------------|-----------------|
| Fischbiologische Region | Hoch gelegenen Gewässer der Forellenregion mit starkem Einfluss der Schneeschmelze | | | |
| Erhebungsmethode | Abfischen und zählen der Jungfische | | | |
| Zeitpunkt der Erhebung | In den Sommer- und Herbstmonaten vor Wintereinbruch | | | |
| Besonderheiten | Alternative Erhebung zur Punktbefischung von Forellenbrütlingen. Die Erhebung erlaubt ebenfalls eine Aussage zum Fortpflanzungserfolg, der erfahrungsgemäss stark vom Geschiebehauhalt abhängig ist. | | | |
| Bewertung | Zustand | Sömmerlingsdichte n/ha | | |
| | | Alpen | Voralpen | Mittelland/Jura |
| | Sehr gut | > 400 | > 2000 | > 2500 |
| | Gut | 300 – 400 | 1000 – 2000 | 1500 – 2500 |
| | Mässig | 200 – 300 | 500 – 1000 | 1000 – 1500 |
| | Unbefriedigend | 100 – 200 | 250 – 500 | 250 – 1000 |
| | Schlecht | < 100 | < 250 | < 250 |

| Indikator | Anzahl von Laichgruben in Gewässern der Forellenregion |
|-------------------------|--|
| Fischbiologische Region | Gewässer der Forellenregion |
| Erhebungsmethode | Kartieren der Laichgruben und potenziellen Laichplätze |
| Zeitpunkt der Erhebung | Herbst/Frühwinter (möglichst kurz nach der Laichsaison der Bach- und Seeforellen) |
| Besonderheiten | Die Erhebung liefert einen Anhaltspunkt zum Bestand der vorhandenen Forellenpopulation und deren Fortpflanzungsaktivität und eine Einschätzung der Brütlingsvorkommen nach der Emergenz im Frühjahr. |
| Bewertung | wird noch aktualisiert |

| Indikator | Anzahl und Dichte von Brütlingen und Larven der Äsche | |
|-------------------------|--|-------------------|
| Fischbiologische Region | Gewässer der Äschen- und Barbenregion | |
| Erhebungsmethode | Zählen (visuell) der Anzahl der Äschenlarven in Streckenabschnitten von 100 - 200 m Länge in Ufernähe und Bestimmen der Dichte (Anzahl Larven je 100 m) | |
| Zeitpunkt der Erhebung | Frühling (April bis Mai). | |
| Besonderheiten | Das gleichzeitige Erfassen der potenziell für Äschenlarven geeigneten Kleinhabitate in Ufernähe erlaubt zudem Rückschlüsse zum Lebensraumangebot für diesen bestandesbestimmenden Lebensabschnitt der Äsche. | |
| Bewertung | Zustand | Äschenlarven/100m |
| | Sehr gut | >250 |
| | Gut | 100 – 250 |
| | Mässig | 10 – 100 |
| | Unbefriedigend | > 0 – 10 |
| | Schlecht | 0 |

| Indikator | Anzahl von Jungfischen von rheo-lithophilen Arten | |
|-------------------------|--|--|
| Fischbiologische Region | Artenreiche Gewässer der Äschen- und Barbenregion | |
| Erhebungsmethode | Punktbefischungen im Uferbereich und zählen der Jungfische des Jahres aus der Gilde der rheo-lithophilen Arten (Barbe, Nase, Schneider, Hasel, Bachforelle, Groppe etc.) | |
| Zeitpunkt der Erhebung | Spätsommer/Herbst | |
| Besonderheiten | – | |
| Bewertung | Zustand | CPUE rheo-lithophile Arten (Längen 1-5 cm) |
| | Sehr gut | > 2 |
| | Gut | 1 – 2 |
| | Mässig | 0.5 – 1 |
| | Unbefriedigend | 0.25 – 0.5 |
| | Schlecht | < 0.25 |

In Gewässern der Brachsmenregion ist der Geschiebehaushalt weniger relevant, da das Substrat sandig ist und lithophile Fischarten kaum noch vorkommen. Auf die Erhebung von Indikatoren zur Fischfauna kann deshalb verzichtet werden.