



Umwelt-Vollzug

> Gewässerschutz

> Geschiebehaushalt – Massnahmen

Ein Modul der Vollzugshilfe Renaturierung der Gewässer

V 20 –24.07.2020

Version für die Begleitgruppe

rote Schrift: wird in einer späteren Fassung vervollständigt

Herausgegeben vom Bundesamt für Umwelt BAFU

Bern, xxxx

Rechtlicher Stellenwert

Diese Publikation ist eine Vollzugshilfe des BAFU als Aufsichtsbehörde und richtet sich primär an die Vollzugsbehörden. Sie konkretisiert unbestimmte Rechtsbegriffe von Gesetzen und Verordnungen und soll eine einheitliche Vollzugspraxis fördern. Berücksichtigen die Vollzugsbehörden diese Vollzugshilfe, so können sie davon ausgehen, dass sie das Bundesrecht rechtskonform vollziehen; andere Lösungen sind aber auch zulässig, sofern sie rechtskonform sind. Das BAFU veröffentlicht solche Vollzugshilfen (bisher oft auch als Richtlinien, Wegleitungen, Empfehlungen, Handbücher, Praxishilfen u.ä. bezeichnet) in seiner Reihe «Umwelt-Vollzug».

Impressum

Wird im definitiven Dokument erstellt.

Herausgeber

Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

Autoren

Lukas Hunzinger, Ueli Schälchli, Manuel Nitsche, Arthur Kirchhofer, Martin Pfändler, Tobias Rüesch, Christian Roulier

Begleit- und Expertengruppe

Begleitgruppe:

Roger Pfammatter, SWV
Daniel Devanthery, Kanton Wallis
Michael Döring, ZHAW Wädenswil
Rémy Estoppey, BAFU
Alessandro Grasso, BAFU
Philipp Gyr, Kanton St. Gallen
Daniel Hefti, BAFU
Oliver Hitz, Kanton Bern
Bernhard Hohl, Bundesamt für Energie
Urs Zehnder, Kanton Luzern
Christian Marti, Kanton Zürich
Ricardo Méndez, Axpo
Antoine Magnollay, BAFU
David Schmid, Kanton Graubünden

Sabin Nater, Kanton Aargau
Anton Schleiss, ETH Lausanne
Steffen Schweizer, Kraftwerke Oberhasli
Luca Vetterli, ProNatura
Christine Weber, EAWAG
Simona Weber, BAFU
Frédéric Zuber, Kanton Wallis

Expertengruppe für Methodik «erforderliche Geschiebefracht»:

Silke Wieprecht, Uni Stuttgart
Robert Boes, ETH Zürich
Christian Marti, Kanton Zürich
Volker Weitbrecht, ETH Zürich

Zitierung

Hunzinger L., Schälchli U., Nitsche M., Kirchhofer A., Pfändler M., Roulier C., Rüesch T.: Geschiebehaushalt – Massnahmen. Ein Modul der Vollzugshilfe Renaturierung der Gewässer. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. **X**: **X S.**

Gestaltung

Wird im definitiven Dokument erstellt.

Titelbild

Wird im definitiven Dokument erstellt.

PDF-Download

Wird im definitiven Dokument erstellt.

Diese Publikation ist auch in französischer und italienischer Sprache verfügbar.

ENTWURF

> Inhalt

> Inhalt.....	4
> Zusammenfassung	7
> Vorwort.....	8
1 Einleitung	9
1.1 Ausgangslage	9
1.2 Bedeutung des Geschiebes und Ziele der Sanierung	9
1.3 Vollzugshilfe «Renaturierung der Gewässer»	11
1.4 Übersicht Modul «Geschiebehaushalt – Massnahmen».....	12
1.5 Rechtliche Grundlagen	14
2 Ablauf der Sanierung	16
2.1 Übersicht über den Ablauf der Sanierung bei Wasserkraftanlagen	16
2.2 Übersicht über den Ablauf der Sanierung bei Nicht-Wasserkraftanlagen	18
2.3 Besonderheiten beim Bau von neuen Anlagen und Erweiterung bestehender Anlagen	20
3 Studie über Art und Umfang der Massnahmen	21
3.1 Überblick	21
3.1.1 Arbeitsschritte	21
3.1.2 Interessenabwägung und Berücksichtigung Hochwasserschutz	22
3.1.3 Synergien mit bestehenden Untersuchungen	23
3.1.4 Vereinfachte Massnahmenplanung in kleinen Einzugsgebieten	23
3.2 Ist- und Referenzzustand des Gewässers vertieft untersuchen (Arbeitsschritt 1).....	24
3.2.1 Einführung.....	24
3.2.2 Definition von Naturzustand, Referenzzustand, Istzustand und Defizit	24
3.2.3 Charakterisierung der Morphologie.....	25
3.2.4 Charakterisierung der Gewässer aufgrund von Auflandungs-, Gleichgewichts-, Erosions- oder latentem Erosionszustand	32
3.2.5 Quantifizieren der Geschiebefracht.....	34
3.3 Ziele für das Gewässer und die erforderliche Geschiebefracht festlegen (Arbeitsschritt 2).....	37
3.3.1 Einführung.....	37
3.3.2 Überblick über Sanierungsziele und Anforderungen ans Geschiebe.....	38
3.3.3 Ziele und Anforderungen an Geschiebefracht bei naturnahen Gewässerabschnitten.....	41

3.3.4	Ziele und Anforderungen an Geschiebefracht bei Auen nationaler Bedeutung.....	42
3.3.5	Ziele und Anforderungen an Geschiebefracht bei eingeschränkter Breite.....	44
3.3.6	Ziele und Anforderungen an Geschiebefracht bei verändertem Abflussregime	45
3.3.7	Ziele und Anforderungen an Geschiebefracht bei veränderter Geschiebelieferung	48
3.3.8	Methoden zur Bestimmung der erforderlichen Geschiebefracht.....	49
3.4	Das Sanierungsziel für Anlagen festlegen (Arbeitsschritt 3).....	51
3.5	Einen Massnahmenkatalog erarbeiten (Arbeitsschritt 4)	53
3.5.1	Einführung.....	53
3.5.2	Mögliche Massnahmen	53
3.5.3	Massnahmen bei Hochwasserschutz- und Revitalisierungsprojekten	54
3.5.4	Auswirkungen auf Hochwasserschutz und Grundwasserhaushalt prüfen und minimieren.....	55
3.5.5	Kostenschätzung.....	56
3.6	Massnahmenvarianten erarbeiten und bewerten (Arbeitsschritt 5)	57
3.6.1	Einführung.....	57
3.6.2	Verhältnismässigkeit des Aufwandes.....	58
3.6.3	Grad der Beeinträchtigung, ökologisches Potenzial, Interessen des Hochwasserschutzes und energiepolitische Ziele	61
3.7	Die Bestvariante festlegen (Arbeitsschritt 6).....	62
3.8	Mit anderen Massnahmen am Gewässer koordinieren (Arbeitsschritt 7).....	64
3.9	Das Konzept der Wirkungskontrolle festlegen (Arbeitsschritt 8)	65
3.10	Vereinfachtes Vorgehen	66
4	Wirkungskontrolle.....	68
4.1	Einführung	68
4.2	Indikatoren	69
4.3	Umfang der Wirkungskontrolle	72
4.4	Zielerreichung überprüfen.....	73
4.5	Nachbesserung der Massnahme	74

Anhang A	Rechtliche Grundlagen	76
Anhang B	Literaturverzeichnis	79
Anhang C	Inhalt einer Sanierungsverfügung	82
Anhang D	Ansätze zur Bestimmung der Geschiebefracht im Ist- und Referenzzu- stand.....	83
Anhang E	Methoden zum Bestimmen der erforderlichen Geschiebefracht	86
Anhang F	Hinweise zur Planung, Projektierung und Umsetzung von einzelnen Massnahmenarten.....	96
Anhang G	Checkliste: Studie über Art und Umfang der Massnahmen.....	100
Anhang H	Indikatoren für die Wirkungskontrolle	103

ENTWURF

> Zusammenfassung

Zusammenfassungen d, f, e, i werden im definitiven Dokument erstellt.

Das vorliegende Modul der Vollzugshilfe «Renaturierung der Gewässer» beschreibt das Vorgehen zur Planung von Sanierungsmassnahmen an Anlagen, welche den Geschiebehaushalt eines Gewässers verändern. Das Modul, zeigt ein zweckmässiges Vorgehen auf, mit dem die Anforderungen der Gewässerschutzgesetzgebung erfüllt werden können. Es beschreibt vor allem die Studie über Art und Umfang von Massnahmen, welche von den Kantonen durchgeführt wird. Im Modul wird auch eine pragmatische Methodik zur Bestimmung einer erforderlichen Geschiebefracht vorgeschlagen sowie ein Konzept und Indikatoren für die Wirkungskontrolle von Geschiebemassnahmen.

Stichwörter: Geschiebehaushalt, Geschiebesanierung, Gewässerschutzgesetz, Sanierungsmassnahmen, Wasserkraftnutzung, Fliessgewässer

> Vorwort

Der umfassende Schutz der Gewässer und ihrer vielfältigen Funktionen sowie die nachhaltige Nutzung der Gewässer durch den Menschen sind zentrale Ziele des Gewässerschutzrechts des Bundes. Bei der jüngsten Änderung des Gewässerschutzgesetzes ging es genau darum: unter Berücksichtigung von berechtigten Schutz- und Nutzungsinteressen ausgewogene Lösungen im Bereich des Gewässerschutzes zu finden. Die Änderungen wurden im Dezember 2009 als Gegenvorschlag zur Volksinitiative «Lebendiges Wasser» vom Parlament beschlossen, worauf die Volksinitiative zurückgezogen wurde.

Die Revision von Gewässerschutzgesetz und -verordnung betreffend die Renaturierung der Gewässer trat am 1. Januar 2011, respektive 1. Januar 2016 in Kraft und stellt einen weiteren Meilenstein im Schweizer Gewässerschutz dar. Sie hat zum Ziel, die Gewässer als Lebensraum aufzuwerten, damit sie naturnäher werden und einen Beitrag zur Erhaltung und Förderung der Biodiversität leisten. Die eingezwängten Gewässer müssen wieder mehr Raum erhalten und die negativen Auswirkungen der Wasserkraftnutzung sollen gedämpft werden.

Die Vollzugshilfe «Renaturierung der Gewässer» soll die Kantone bei der Umsetzung dieser neuen gesetzlichen Bestimmungen unterstützen und einen Schweiz weit koordinierten und einheitlichen Vollzug des Bundesrechts ermöglichen. Die modular aufgebaute Vollzugshilfe umfasst alle relevanten Aspekte der Renaturierung der Gewässer in den Bereichen Revitalisierung von Fliess- und stehenden Gewässern, Auen, Wiederherstellung der freien Fischwanderung und des Geschiebehaushalts, Sanierung von Schwall-Sunk sowie die Koordination wasserwirtschaftlicher Vorhaben. Der Vollzug des Umweltrechts ist Aufgabe der Kantone. Deshalb wurde die Erarbeitung dieser Vollzugshilfe von Arbeitsgruppen mit kantonalen Vertretern begleitet.

Das vorliegende Modul ist der Erarbeitung und Bewertung von Massnahmen im Bereich Sanierung des Geschiebehaushaltes gewidmet. Es zeigt auf, welches die wichtigsten Vorgaben und Rahmenbedingungen für die Wahl von Massnahmen sind, wie diese bewertet werden können, welche Anforderungen an die Resultate der Bewertung gestellt werden, und es definiert die Methodik für die Erfolgskontrolle nach Umsetzung der Massnahmen.

Das BAFU dankt allen, die zum Gelingen der Publikation beigetragen haben, insbesondere den Mitgliedern des Projektteams, der Begleitgruppe und den externen Experten, die sich für praxistaugliche Lösungen eingesetzt haben.

Franziska Schwarz

Vizedirektorin

Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Stephan Müller

Chef der Abteilung Wasser

Bundesamt für Umwelt (BAFU)

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

Die eidgenössischen Räte haben 2009 mehrere Gesetzesänderungen beschlossen, mit dem Ziel, die Renaturierung der Gewässer in der Schweiz voran zu treiben. Die Gesetzesänderungen geben mehrere Stossrichtungen vor:

- Die Förderung von Revitalisierungen (Wiederherstellung der natürlichen Funktionen eines verbauten, korrigierten, überdeckten oder eingedolten oberirdischen Gewässers mit baulichen Massnahmen),
- die Sicherung und extensive Bewirtschaftung des Gewässerraums,
- die Wiederherstellung der freien Fischwanderung,
- die Reduktion der negativen Auswirkungen von Schwall-Sunk unterhalb von Wasserkraftanlagen und
- die Verbesserung des Geschiebehaushalts.

Zur Verbesserung des Geschiebehaushalts haben die Kantone in einer ersten Phase die strategische Planung erarbeitet und per 31. Dezember 2014 abgeschlossen. In der strategischen Planung haben sie die Gewässerabschnitte identifiziert, welche durch einen veränderten Geschiebehaushalt wesentlich beeinträchtigt sind und die Anlagen bezeichnet, welche den Geschiebehaushalt verändern. Die Kantone und die Inhaber der Anlagen stehen nun vor der Aufgabe, diese Planungen in einer zweiten Phase zu konkretisieren und Massnahmen zur Sanierung des Geschiebehaushalts zu planen und zu projektieren. Der Bund beabsichtigt mit dieser Publikation, alle an der Sanierung des Geschiebehaushalts beteiligten Akteure (Inhaber von Anlagen, Kantone und private Büros) bei der Planung und Auswahl von Sanierungsmassnahmen zu unterstützen.

1.2 Bedeutung des Geschiebes und Ziele der Sanierung

Zusammenhang Geschiebe, Breite und Morphologie

In der Gewässerschutzverordnung wird in Art. 42 der kausale Zusammenhang zwischen Geschiebehaushalt und morphologischen Strukturen im Gewässer angesprochen. Der Einfluss des Geschiebetransports auf die Breite des Gerinnes und die morphologischen Strukturen wurde in zahlreichen wissenschaftlichen Arbeiten beschrieben (z.B. Parker 1979, Church 2006). Die Morphologie eines natürlichen Gewässers hängt neben dem Geschiebetransport auch von anderen Faktoren wie Abfluss, Vegetation und geologischen Gegebenheiten ab.

Wenn das Gewässer in der Breite nicht eingeschränkt ist, stellen sich Gerinnebreite und Morphologie auf das gegebene Abflussregime und die Geschiebelieferung ein. So entstehen Gerinneformen von mäandrierend bis hin zu verzweigten Gerinnen. Ein wesentliches Unterscheidungsmerkmal dieser Gerinneformen ist die relative Breite des Gerinnes (Ahmari & da Silva 2011, Métivier & Barrier 2012): verzweigte Gerinne sind im Verhältnis zu ihrer Abflusstiefe deutlich breiter als mäandrierende oder gewundene Gerinne. In verbauten Gewässern ist die Breite oft eingeschränkt, so dass die Gerinneform dort vor allem auch von dieser Einschränkung bestimmt wird.

Die Beziehungen zwischen Geschiebetransport, Breite und Morphologie sind in der internationalen Fachliteratur bis heute kaum quantifiziert worden, unter anderem, weil der Geschiebe-

transport komplex und schwer zu messen ist. Veränderungen der Gerinnebreite und Morphologie aufgrund einer veränderten Geschiebelieferung wurden aber bereits in Modellversuchen (z.B. Marti 2006) und in einer Untersuchung an Schweizer Gewässern (Schälchli & Hunzinger 2018) gezeigt.

Lebensraum Kiessohle

Die meisten Schweizer Fließgewässer führen Geschiebe, also Steine, Kies und Grobsand die bei erhöhtem Abfluss über die Gewässersohle transportiert werden. Geschiebe ist das Baumaterial unserer Flüsse, aus dem das Wasser immer wieder neue Strukturen und damit vielfältige Lebensräume modelliert. Auf der Gewässersohle abgelagertes Kies dient etwa kieslaichenden Fischen zur Laichablage und die Randzonen von Kiesbänken mit geringen Abflusstiefen bieten Lebensräume für Jungfische. Die Oberfläche und der Porenraum der Kiessohle ist der Lebensraum für Insektenlarven, welche Fischen als Nahrung dienen. Kiesbänke, die bei Niedrig- und Mittelwasser trockenfallen, bilden Standorte für Pioniervegetation und Kleinlebewesen (Grashüpfer, Spinnen, Vögel, etc.). Eine ausgeprägte Geschiebedynamik, also die Erosion, Umlagerung und Ablagerung von Sand, Kies und Steinen ist typisch für die Auen kiesführender Flüsse und ist Grundlage für deren aussergewöhnliche Vielfalt heimischer Tier- und Pflanzenarten. Nicht zuletzt stärkt ein natürliches, gut durchströmtes Substrat auch die Selbstreinigungskraft des Gewässers und verbessert die Wasserqualität.

Defizite bei zu wenig Geschiebe

In Flüssen mit ungenügender Geschiebezufuhr können der Talweg und Kiesbänke erodieren. Das Hauptgerinne tieft sich ein und die seitlich angrenzenden Gerinne und Bänke werden weniger häufig überflutet und verbuschen. Dadurch nimmt die dynamische Breite ab und die Gerinneform verändert sich hin zu einem pendelnden Einzelgerinne. Infolge des Geschiebedefizits wird das Substrat gröber, die Sohle pflästert sich ab und kolmatiert zunehmend. All diese Veränderungen sind mit einer Abnahme der morphologischen Dynamik verbunden. Dies hat zur Folge, dass sich der Gewässer-Lebensraum grundlegend verändert. Der Bestand der Insektenlarven nimmt ab, kieslaichende Fische finden kein geeignetes Substrat für die Reproduktion, für Jungfische stehen weniger Flachwasserzonen mit lockerem Substrat zur Verfügung, die trockenfallenden groben Bänke weisen oft eine äussere Kolmation aus vertrockneten Algen und Feinsedimenten auf. Bei möglichen Grundwasserspiegelabsenkungen verändert sich die Zusammensetzung der Auenvegetation hin zu Arten, welche trockene Standorte bevorzugen. Das Geschiebedefizit führt insgesamt zu einer Verarmung der Morphologie und damit einhergehend zu einem Verlust der natürlichen Artenzusammensetzung und -vielfalt.

Ziele der Sanierung des Geschiebehaushalts

In der Gewässerschutzgesetzgebung wird ein durch Anlagen veränderter Geschiebehaushalt als eine Ursache für veränderte morphologische Strukturen und Dynamik anerkannt. Das Ziel der Sanierung des Geschiebehaushalts ist es, die von Anlagen verursachten wesentlichen Beeinträchtigungen zu beseitigen und die naturnahen morphologischen Strukturen und Dynamik wiederherzustellen. Mit Massnahmen wird in erster Linie die Geschiebefracht erhöht und zwar auf ein Niveau, mit welchem in naturnahen oder revitalisierten Gewässerabschnitten wieder naturnahe morphologische Strukturen und Dynamik möglich sind.

Sanierung des Geschiebehaushalts als Teilmassnahme der Renaturierung

Zur Renaturierung der Gewässer und zur Wiederherstellung der natürlichen Funktionen der Gewässer sieht das Gewässerschutzgesetz verschiedene Massnahmen vor (Abbildung 1). Die Sanierung des Geschiebehaushalts ist ein Teilaspekt dieser Renaturierungsmassnahmen. Für die Gewässermorphologie sind neben dem Geschiebehaushalt aber immer auch die Breite und die Wasserführung des Gewässers entscheidend. Für erfolgreiche Renaturierungen müssen daher auch die anderen Teilaspekte wie Revitalisierungen, Restwassersanierungen und Sanierung von Schwall und Sunk umgesetzt werden. Das heisst wiederum, dass die Wirkung von Geschiebemassnahmen dort am grössten ist, wo Gewässerabschnitte mit naturnaher Breite und naturnaher Wasserführung und Dynamik vorhanden sind oder wiederhergestellt werden.



Abbildung 1 > Die verschiedenen Massnahmen zur Renaturierung der Gewässer.

Es gibt Sanierungsfälle, bei denen ausreichend breite Gewässerabschnitte fehlen oder die Abflussdynamik stark reduziert ist und sich ein naturnaher Geschiebehaushalt und eine naturnahe Morphologie nicht einstellen kann, auch wenn bei der sanierungspflichtigen Anlage die Geschiebefracht saniert wird. Auch für solche Fälle wird im vorliegenden Modul ein Vorgehen zur Massnahmenplanung gezeigt (Kapitel 3.3.5-3.3.7).

Sanierung des Geschiebehaushalts und Hochwasserschutz

Bei der Planung von Geschiebemassnahmen wird das Interesse des Hochwasserschutzes ausdrücklich berücksichtigt. Die Massnahmen dürfen nicht dazu führen, dass die Geschiebefracht über das natürliche Mass erhöht wird und dadurch verursachte Auflandungen zu Hochwasserschutzproblemen führen. Dies wird bei der Festlegung des Umfangs der Massnahmen sichergestellt. Wo notwendig, kann der Hochwasserschutz auch mit begleitenden Massnahmen sichergestellt werden. Diese Massnahmen sind dann auch Teil der Renaturierung des Gewässers.

1.3 Vollzugshilfe «Renaturierung der Gewässer»

Das vorliegende Dokument ist ein Modul der Vollzugshilfe «Renaturierung der Gewässer». Die Vollzugshilfe umfasst alle relevanten Aspekte in den Bereichen Revitalisierung Fließgewässer, Revitalisierung stehende Gewässer, Auen, Wiederherstellung der freien Fischwanderung, Schwall-Sunk-Sanierung, sowie Sanierung des Geschiebehaushalts. Sie ist modular aufgebaut und beinhaltet für die verschiedenen Bereiche Module zur strategischen Planung, zur Planung konkreter Massnahmen, zur Finanzierung, zum Datenmodell und den Anforderungen

an die Daten gemäss Geoinformationsgesetz vom 5. Oktober 2007 (GeolG, SR 510.62) sowie ein über den Themenbereich der Renaturierung hinausgehendes Modul zur Koordination wasserwirtschaftlicher Vorhaben (Abbildung 2).

Revitalisierung Fließgewässer	Revitalisierung Seen	Auen	Fisch- wanderung	Schwall- Sunk	Geschiebe- haushalt
Strategische Planung:					
Februar 2012	Februar 2019		Mai 2012	Januar 2012	Dezember 2012
Umsetzung der Massnahmen:					
 Konsultation Januar 2020  Vorlage Stellungsname		geplant		April 2017	
Finanzierung:					
Handbuch Programmvereinbarungen 2020-2024 			 November 2016		
Datenmodelle und Daten:					
November 2013	geplant	November 2017	November 2013		
Koordination wasserwirtschaftlicher Vorhaben:					
Mai 2013					

Abbildung 2 > Übersicht Module der Vollzugshilfe «Renaturierung der Gewässer». Rot umrandet: vorliegendes Modul. Die vorhandenen Module stehen auf der Website www.bafu.admin.ch/umsetzungshilfe-renaturierung zur Verfügung. Stand der Vollzugshilfe vom 13.06.18.

1.4 Übersicht Modul «Geschiebehaushalt – Massnahmen»

Inhalte

Im vorliegenden Modul wird ein gesetzeskonformes Vorgehen für die Planung von Sanierungsmassnahmen im Anschluss an die strategischen Planungen bis hin zur Projektierung und zur Erfolgskontrolle empfohlen (Kapitel 2). Vor allem wird konkretisiert, wie die gesetzlich geforderte Studie über Art und Umfang der Massnahmen erarbeitet (Kapitel 3) und wie die Wirkungskontrolle geplant werden soll (Kapitel 4).

Zur Studie über Art und Umfang der Massnahmen gehören Arbeitsschritte zur Situationsanalyse, zur Zieldefinition und zur Massnahmendefinition. Eine Besonderheit ist, dass die Studie für alle sanierungspflichtigen Anlagen im Einzugsgebiet durchgeführt wird, um die Massnahmen an den verschiedenen Anlagen aufeinander abzustimmen.

Die Wirkungskontrolle dient dazu, die Zielerreichung zu überprüfen und hilft, die umgesetzten Massnahmen bei Bedarf zu optimieren.

Methodik „erforderliche Geschiebefracht“

Ein wichtiger Teil des vorliegenden Moduls ist eine Methodik zur Bestimmung der «erforderlichen Geschiebefracht», d. h. jener Geschiebefracht, die notwendig ist, um die nachteiligen Veränderungen des Geschiebehaushaltes und damit die wesentlichen Beeinträchtigungen zu beseitigen. Die Methodik wurde eigens für die Anforderungen des Gewässerschutzgesetzes entwickelt, welches in der veränderten Geschiebefracht eine Ursache für Defizite bei morphologischen Strukturen und Dynamik sieht.

Veränderungen im Geschiebehaushalt

Das Gewässerschutzgesetz schreibt vor, dass Anlagen den Geschiebehaushalt nicht so verändern dürfen, dass Tiere und Pflanzen, deren Lebensräume, der Grundwasserhaushalt und der Hochwasserschutz wesentlich beeinträchtigt werden. Als ein veränderter Geschiebehaushalt wird in dieser Vollzugshilfe betrachtet:

- eine verminderte Geschiebefracht im Unterwasser einer Anlage, z. B. wegen des Rückhaltes von Geschiebe in Geschiebesammlern und Stauhaltungen oder wegen der Entnahme von Geschiebe,
- ein verminderter Geschiebeeintrag, zum Beispiel wegen der Verbauung der Sohle bei nicht eingeeengten Gewässern und von Ufern
- eine verminderte Geschiebetransportkapazität wegen eines veränderten Hochwasserregimes durch Wasserentnahmen.

Sohlenauflandungen infolge von Geschiebeablagerungen in den Stauräumen von Wasserkraftanlagen können auch zu einer wesentlichen Beeinträchtigung des Hochwasserschutzes führen. Diese Fälle werden in der vorliegenden Vollzugshilfe aber nicht behandelt.

Nicht Gegenstand der vorliegenden Vollzugshilfe sind:

- Veränderte Geschiebetransportkapazität aufgrund der Einengung eines Gewässers.
- Reduzierte Dekolmation der Sohle infolge Wasserentnahmen,

da es sich nicht um einen veränderten Geschiebehaushalt im Sinne des Gesetzes handelt.

Relevante Anlagen

Für Sanierungen relevante Anlagen sind Wasserkraftanlagen (Fassungen, Wehre, Speicher, etc.) aber auch Anlagen ohne Bezug zur Wasserkraft wie beispielsweise Kiesentnahmen, Geschiebesammler oder Gewässerverbauungen. Dabei kann es sich um bestehende Anlagen, aber auch um neue oder erweiterte Anlagen handeln. Auch Wasserbauvorhaben zum Hochwasserschutz und zur Revitalisierung der Gewässer gehören zu den Anlagen, weil sie den Geschiebehaushalt verändern können. Das heisst, dass Wasserbauvorhaben so geplant

werden müssen, dass sie den Bestimmungen zum Geschiebehaushalt im Gewässerschutzgesetz genügen.

1.5 Rechtliche Grundlagen

Pflicht zur Beseitigung einer wesentlichen Beeinträchtigung

Gemäss Art. 43a Abs. 1 Gewässerschutzgesetz (GSchG, SR 814.20) sind Inhaber von Anlagen verpflichtet, durch Massnahmen eine wesentliche Beeinträchtigung des Gewässers durch einen veränderten Geschiebehaushalt zu verhindern. Eine wesentliche Beeinträchtigung der einheimischen Tiere und Pflanzen sowie deren Lebensräume 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. 42a Gewässerschutzverordnung, GSchV, SR 814.201). Für kommerzielle Kiesentnahmen gilt die bereits bestehende Spezialregelung von Art. 44 GSchG. Von der Pflicht betroffen sind sowohl Inhaber von Neuanlagen als auch Inhaber bestehender Anlagen.

Dort, wo Fliessgewässer bereits durch einen unausgeglichene Geschiebehaushalt wesentlich beeinträchtigt sind, müssen diese Anlagen bis 31. Dezember 2030 saniert werden (Art. 83a GSchG). Bei der Festlegung der Massnahmen sind die in Art. 43a Abs. 2 Bst. a bis e GSchG genannten Interessen zu berücksichtigen. Ausserdem sind die Massnahmen im Einzugsgebiet des betroffenen Gewässers nach Anhörung der Inhaber der betroffenen Anlagen aufeinander abzustimmen (Abs. 3).

Im Weiteren gilt ein generelles Koordinationsgebot mit anderen wasserwirtschaftlichen Vorhaben (Art. 46 Abs. 1 GSchV). Einzelheiten dazu sind im Modul «Koordination wasserwirtschaftlicher Vorhaben» der Vollzugshilfe Renaturierung der Gewässer festgehalten.

Studie über Art und Umfang

Der Kanton erstellt für Anlagen, die Massnahmen treffen müssen, eine Studie über die Art und den Umfang der notwendigen Massnahmen (Art. 42c Abs. 1 GSchV). Dabei muss bei Wasserkraftwerken das Geschiebe soweit möglich durch die Anlage durchgeleitet werden (Art. 42c Abs. 2 GSchV).

Wirkungskontrolle

Nach Umsetzung der Sanierungsmassnahmen prüft der Inhaber der Wasserkraftanlage nach Anordnung der zuständigen Behörde mit einer Wirkungskontrolle, ob die Sanierungsziele erreicht wurden (Art. 42c Abs. 4 GSchV). Der Inhaber teilt der zuständigen Behörde die Ergebnisse mit, damit sie gemäss Art. 50 GSchG und Art. 49 Abs. 2 GSchV die Wirksamkeit der erfolgten Gewässerschutzmassnahmen beurteilen, darüber informieren kann und gegebenenfalls Nachbesserungen anordnen kann. Bei Neuanlagen und Nicht-Wasserkraftanlagen ist die Durchführung einer Wirkungskontrolle ebenfalls notwendig, da die Kantone dazu verpflichtet sind, über die getroffenen Massnahmen und deren Wirksamkeit für den Gewässerschutz zu informieren (Art. 49 Abs. 2 GSchV).

Berichterstattung der Kantone

Die Kantone müssen sodann dem Bund alle vier Jahre Bericht über die durchgeführten Massnahmen erstatten (Art. 83b Abs. 3 GSchG).

Ungeschmälerte Erhaltung bei Auen von nationaler Bedeutung

Bei der Sanierung des Geschiebehaushalts ist auch das Naturschutzrecht zu berücksichtigen insbesondere, wenn Auen von nationaler Bedeutung betroffen sind. Die Auenverordnung formuliert als Schutzziel die «ungeschmälerte» Erhaltung und, soweit es sinnvoll und machbar ist, die Wiederherstellung der natürlichen Dynamik des Gewässer- und Geschiebehaushalts, sowie die Erhaltung der geomorphologischen Eigenart (Art. 4 Abs. 1 Bst. b und c).

Die Kantone sind gemäss Art. 5 Abs. 1 Auenverordnung verpflichtet, die zur Erhaltung der Objekte geeigneten Schutz- und Unterhaltmassnahmen zu treffen. Sie sorgen unter anderem dafür, dass Auenbereiche mit einem vollständig oder weitgehend intakten Gewässer und Geschiebehaushalt vollumfänglich geschützt werden, bestehende und neue Nutzungen mit dem Schutzziel in Einklang stehen, sowie seltene und gefährdete Pflanzen und Tiere sowie ihre Lebensgemeinschaften gezielt gefördert werden (Art. 5 Abs. 2 Auenverordnung). Schliesslich gilt gemäss Art. 8 Auenverordnung, dass die Kantone dafür sorgen, dass bestehenden Beeinträchtigungen, insbesondere der natürlichen Dynamik des Gewässer- und Geschiebehaushalts, bei jeder sich bietenden Gelegenheit soweit als möglich beseitigt werden.

Ausnahmsweise ist ein Abweichen vom Schutzziel der ungeschmälerten Erhaltung zulässig, wenn es sich um unmittelbar standortgebundene Vorhaben handelt, die dem Schutz des Menschen vor schädlichen Auswirkungen des Wassers oder einem anderen überwiegenden öffentlichen Interesse von ebenfalls nationaler Bedeutung dienen (Art. 4 Abs. 2 Auenverordnung). Für Wasserkraftanlagen sind in Art. 8 Energieverordnung (EnV, SR 730.01) Schwellenwerte definiert.

Die für die Planung von Massnahmen zur Sanierung des Geschiebehaushalts massgeblichen Gesetzesartikel sind im Anhang A aufgeführt.

2 Ablauf der Sanierung

2.1 Übersicht über den Ablauf der Sanierung bei Wasserkraftanlagen

Phasen der Sanierung

Die Sanierung des Geschiebehaushaltes ist in fünf Phasen geteilt: 1) kantonale strategische Planung, 2) Studie über Art und Umfang von Massnahmen und Projektierung, 3) Entschädigungsgesuch und Umsetzung, 4) Abrechnung und Auszahlung sowie 5) Erfolgskontrolle.

Abbildung 3 gibt einen Überblick über den Ablauf der Sanierung bei Wasserkraftanlagen und zeigt die Rolle und Aufgaben der verschiedenen Akteure: Anlageninhaber, Kantone und Bundesamt für Umwelt (BAFU).

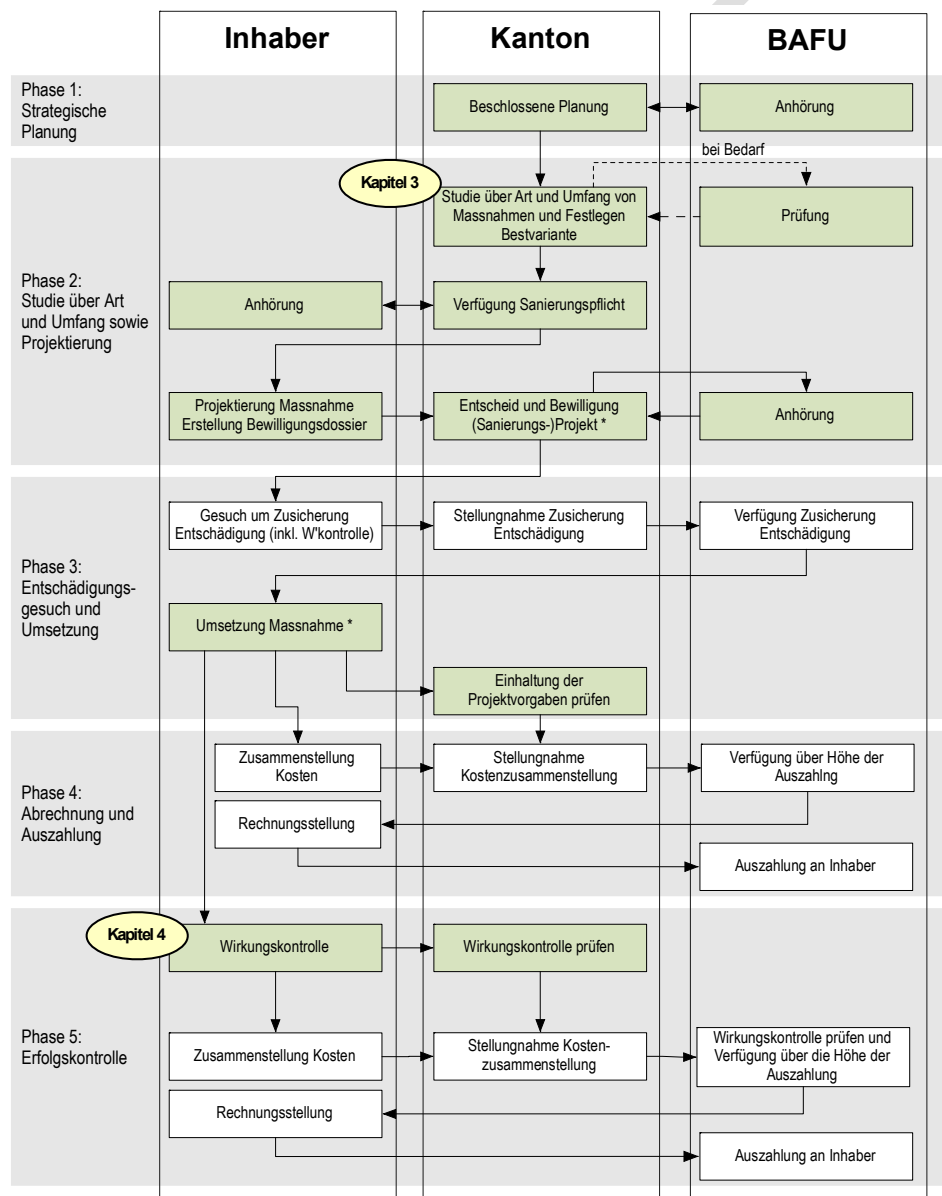


Abbildung 3 > Gesamtablauf der Sanierung von Wasserkraftanlagen. Bei Wasserkraftanlagen an Grenzgewässern tritt im Ablauf das Bundesamt für Energie (BFE) an die Stelle des Kantons als Vollzugsbehörde.

Grüne Kästchen bezeichnen inhaltliche Bearbeitungsschritte der Sanierung, weisse Kästchen solche zur Finanzierung der Massnahmen.

Bei Wasserkraftanlagen an Grenzgewässern tritt im Ablauf das Bundesamt für Energie (BFE) als Vollzugsbehörde an die Stelle der Kantone. Dieses stimmt die Massnahmen mit den Behörden des betroffenen Nachbarstaates ab.

Phase 1 Kantonale strategische Planung

Die Kantone haben bis Ende 2014 die wesentlich beeinträchtigten Gewässerabschnitte und die sanierungspflichtigen Anlagen identifiziert. Diese Ergebnisse wurden vom Kanton beschlossen und als kantonale Planung veröffentlicht. Das BAFU hat 2015 zu allen kantonalen Planungen Stellung genommen.

Phase 2 Studie über Art und Umfang von Massnahmen sowie Projektierung

An die strategische Planung schliesst sich die konkrete Massnahmenplanung an. In der Gewässerschutzgesetzgebung wird für diese Arbeiten der Begriff «Studie über Art und Umfang von Massnahmen» verwendet. Im Rahmen der Studie werden konkrete Ziele für die Gewässer bestimmt und festgelegt, mit welchen Massnahmen an den Anlagen im Einzugsgebiet, diese Ziele erreicht werden. Die Studie entspricht einer Planung auf Stufe Vorstudie (Phase 2 des Leistungsmodells nach sIA 112). Sie wird von den Kantonen aus der Perspektive des Einzugsgebiets erarbeitet. Es wird empfohlen, die Inhaber der Anlagen in die Erarbeitung der Studie mit einzubeziehen.

Nachdem der Kanton die Inhaber der Anlagen angehört hat, ordnet er, gestützt auf diese Studie, die Sanierungspflicht sowie die Art und den Umfang der Massnahmen mittels einer Verfügung an. Der Anlageninhaber projektiert die verfügbare Massnahme und erstellt das entsprechende Bewilligungsdossier. Der Kanton entscheidet schliesslich nach Anhörung des BAFU über das Sanierungsprojekt.

Phase 3 Entschädigungsgesuch und Umsetzung

Hat der Kanton über die Sanierungsmassnahme entschieden und liegen alle notwendigen Bewilligungen vor, stellt der Inhaber einer Wasserkraftanlage ein Gesuch für die Entschädigung der Kosten. Nach der Stellungnahme durch den Kanton prüft das BAFU seinerseits das Gesuch. Das BAFU sichert dem Inhaber die Entschädigung der voraussichtlichen Kosten mit einer Verfügung zu. Sobald das BAFU die Finanzierung zugesichert hat, kann die Massnahme durch den Anlageninhaber umgesetzt werden (BAFU 2016, Kapitel 7).

Phase 4 Abrechnung und Auszahlung

Wenn Sanierungsmassnahmen oder Teile davon umgesetzt sind, können die Inhaber von Wasserkraftanlagen dem Kanton die Kostenzusammenstellung einreichen, der dazu Stellung nimmt und die Einhaltung der Vorgaben aus dem Projekt prüft. Der Kanton leitet die Kostenzusammenstellung mit seiner Stellungnahme an das BAFU weiter. Das BAFU prüft ebenfalls, stimmt seine Beurteilung mit dem Kanton ab und verfügt die Höhe der tatsächlichen Entschädigung. Gestützt auf diese Verfügung kann der Inhaber Rechnung stellen (BAFU 2016, Kapitel 7).

Phase 5 Erfolgskontrolle

Die Erfolgskontrolle besteht aus der Umsetzungs- und einer Wirkungskontrolle.

Mit der Umsetzungskontrolle soll der Nachweis erbracht werden, dass die verfügbaren Massnahmen gemäss Vorgaben und Auflagen umgesetzt wurden. Der Kanton kontrolliert, ob die verfügbaren Massnahmen sachlich korrekt und fristgerecht umgesetzt werden. Die Umsetzung wird im einfachen Fall (z. B. Aufhebung eines Geschiebesammlers) ein einziges Mal kontrolliert und beinhaltet die Prüfung der angeordneten Sanierungsmassnahme. Im Fall wiederkehrender Massnahmen (z. B. periodische Kiesschüttungen) wird die Ausführung jeweils nach jeder Realisierung überprüft. Die Kantone erstatten dem BAFU alle vier Jahre (erstmalig per 2018) Bericht über die Umsetzung der Sanierungsmassnahmen an allen Anlagen (Art. 83b Abs. 3 GSchG).

Mit der Wirkungskontrolle prüfen die Anlageninhaber die Wirkung der von ihnen umgesetzten Massnahmen und legen dem Kanton einen entsprechenden Bericht vor. Dieser beurteilt die Wirkung anhand der Zielvorgaben aus der Studie über Art und Umfang von Massnahmen und ordnet bei Bedarf eine Nachbesserung der Massnahme an. Die Kosten der Wirkungskontrolle können gestützt auf Art. 34 EnG ebenfalls entschädigt werden. Die Abläufe zur Abrechnung und Auszahlung der Wirkungskontrolle sind gleich wie die Abläufe bei der Abrechnung der Massnahmen (siehe Phase 4). Die notwendigen Inhalte der Wirkungskontrolle sind in Kapitel 4 dieses Vollzugshilfemoduls aufgeführt.

2.2 Übersicht über den Ablauf der Sanierung bei Nicht-Wasserkraftanlagen

Der Ablauf bei der Sanierung von Nicht-Wasserkraftanlagen (Abbildung 4) entspricht grundsätzlich demjenigen bei Wasserkraftanlagen. Trotzdem sind folgende Besonderheiten zu erwähnen:

Anhörung bei Sanierungsprojekten (Phase 2)

Das BAFU wird vor dem Sanierungsentscheid nur angehört, wenn die Sanierung im Rahmen eines Einzelprojekts¹ zum Hochwasserschutz oder zur Revitalisierung umgesetzt und finanziert wird.

Finanzierung (Phasen 3, 4, 5)

Kosten für Sanierungsmassnahmen bei Nicht-Wasserkraftanlagen können nicht gestützt auf Art. 34 EnG über den Netzzuschlagsfonds (Art. 35 Abs. 2 Bst. h EnG) entschädigt werden. Einmalige bauliche Massnahmen wie Umbau oder Rückbau gelten aber als Revitalisierung und sind entsprechend beitragsberechtigt, wenn damit die natürlichen Funktionen eines durch die betreffende Anlage beeinträchtigten Gewässers wiederhergestellt werden. Allerdings werden Beiträge an den Rückbau einer Anlage nur dann geleistet, wenn kein Inhaber dazu verpflichtet ist (Art. 62b Abs. 4 GSchG), bzw. der Um- oder Rückbau nicht aus Hochwasserschutzgründen erfolgt (z.B. aufgrund notwendiger baulicher Ertüchtigung). Das Vorgehen bei der Subventionierung folgt den Regeln für Revitalisierungsprojekte, wie sie im Handbuch Programmvereinbarungen im Umweltbereich festgelegt sind (BAFU 2018, Teil 11).

¹

Einzelprojekt im Sinne des Handbuchs Programmvereinbarungen im Umweltbereich (BAFU 2018).

Werden Umbau und Rückbau aus Hochwasserschutzgründen durchgeführt, wird eine allfällige Entschädigung über das Programm Schutzbauten abgewickelt. Das Vorgehen bei der Subventionierung folgt den Regeln für Hochwasserschutzprojekte, wie sie im Handbuch Programmvereinbarungen im Umweltbereich festgelegt sind (BAFU 2018, Teil 6).

Betriebliche Massnahmen und Massnahmen bei Kiesentnahmen werden nicht subventioniert.

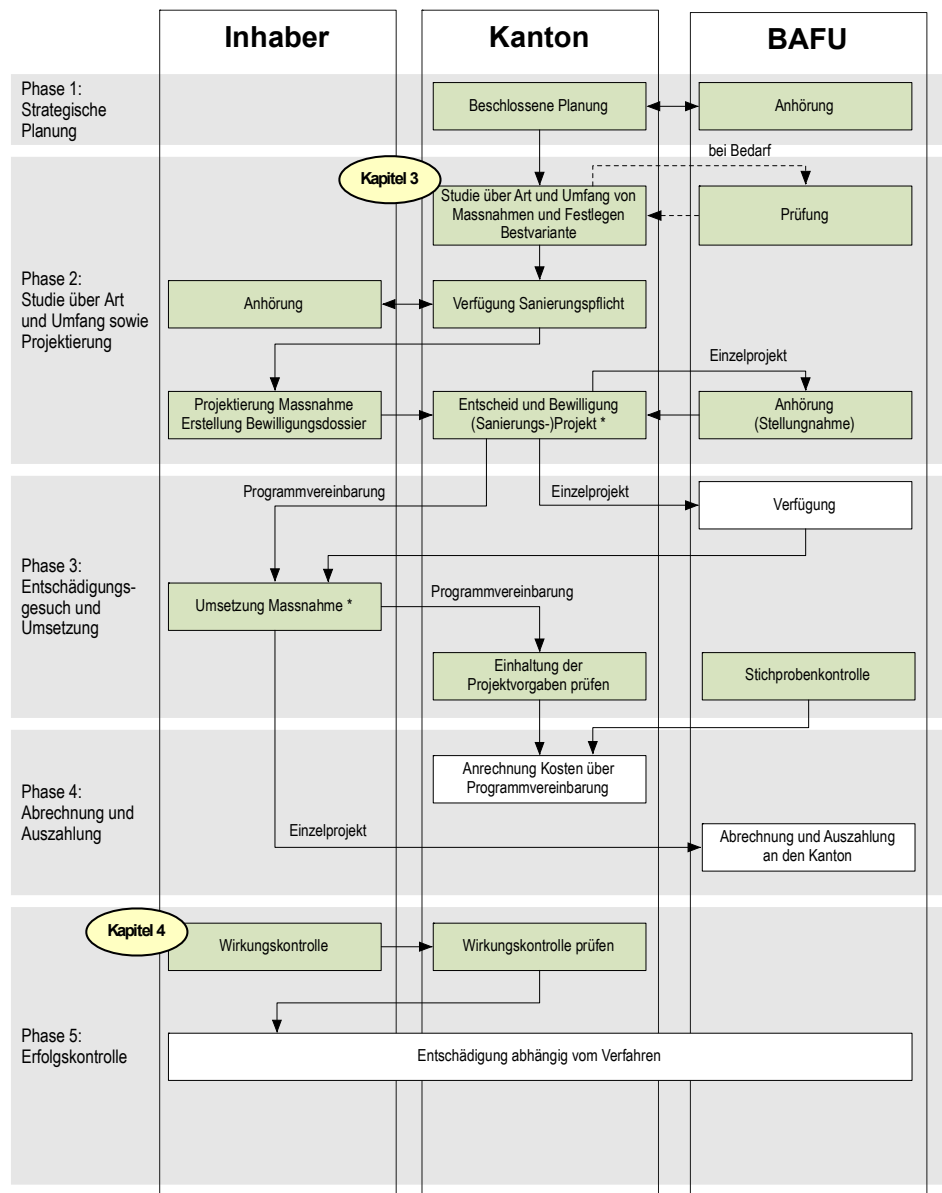


Abbildung 4 > Gesamtablauf der Sanierung von Nicht-Wasserkraftanlagen. Die Finanzierung bei Einzelprojekten und Projekten nach Programmvereinbarungen ist im Handbuch Prorammmvereinbarungen im Umweltbereich geregelt.

2.3 Besonderheiten beim Bau von neuen Anlagen und Erweiterung bestehender Anlagen

Der in den vorangehenden Kapiteln beschriebene Ablauf der Sanierung bestehender Wasserkraft- und Nicht-Wasserkraftanlagen gilt sinngemäss auch für die Planung, Projektierung und Umsetzung von neuen Anlagen bzw. bei Neukonzessionierungen. Es gelten die folgenden Grundsätze:

- Bei neuen Anlagen oder bei der Erweiterung einer bestehenden Anlage muss eine wesentliche Beeinträchtigung durch einen veränderten Geschiebehaushalt verhindert werden.
- Neue Anlagen müssen grundsätzlich für Geschiebe durchgängig konzipiert werden.
- Bei der Erstellung neuer Anlagen muss das Gewässer möglichst naturnah gestaltet werden (im Sinne Art. 4 WBG und Art. 37 GSchG)
- Bei Hochwasserschutzprojekten darf nur so viel Geschiebe entnommen werden, wie zum Schutz vor Hochwasser unbedingt notwendig ist. Sohlenabsenkungen, mit welchen ein Gefälle kleiner als das Talgefälle resultiert, sind zu vermeiden und nur dann gesetzeskonform, wenn dadurch der Geschiebehaushalt im Unterwasser nicht wesentlich beeinträchtigt wird.
- Bei Neuanlagen und Erweiterungen von Anlagen muss der Inhaber der Anlage aufzeigen, welche Auswirkungen die Anlage auf den Geschiebehaushalt hat. Es wird empfohlen, dass der Inhaber der Anlage die entsprechenden Arbeitsschritte der Studie über Art und Umfang der Massnahmen (Kapitel 3) im Rahmen der Projektierung, beziehungsweise bei Kraftwerksanlagen im Rahmen des Konzessionsverfahrens durchführt.
- Bei Neuanlagen werden Kanton und BAFU im Rahmen der Projektierung, beziehungsweise des Konzessionsverfahrens einbezogen.
- Bei der Erweiterung einer Wasserkraftanlage wird nur der Teil der Massnahmen entschädigt, welcher die bereits bestehenden Beeinträchtigungen durch einen veränderten Geschiebehaushalt beseitigt.

3 Studie über Art und Umfang der Massnahmen

3.1 Überblick

3.1.1 Arbeitsschritte

Ziel der Studie ist es, dass Art und Umfang von Massnahmen an allen Anlagen in einem Einzugsgebiet feststehen. Mit diesen Angaben kann der Kanton den Anlageninhabern die Sanierungspflicht verfügen und die Projektierung der festgelegten Massnahmenart im ermittelten Umfang anordnen (siehe Anhang C).

Die Studie über Art und Umfang von Massnahmen umfasst acht Arbeitsschritte (Abbildung 5).

Arbeitsschritte zur Situationsanalyse	Fokus	Kapitel
1) Ist- und Referenzzustand des Gewässers vertieft untersuchen	Einzugsgebiet, Zielgewässer und Anlagen	3.2
Arbeitsschritte zur Zieldefinition		
2) Ziele für das Gewässer und die dazu erforderliche Geschiebefracht festlegen	Zielgewässer	3.3
3) Das Sanierungsziel für Anlagen festlegen	Anlagen	3.4
Arbeitsschritte zur Massnahmendefinition		
4) Einen Massnahmenkatalog erarbeiten	Anlagen	3.5
5) Massnahmenvarianten erarbeiten und bewerten	Anlagen	3.6
6) Die Bestvariante festlegen	Anlagen	3.7
7) Mit anderen Massnahmen zum Gewässerschutz koordinieren	Einzugsgebiet	3.8
Arbeitsschritte zur Umsetzung		
8) Das Konzept der Wirkungskontrolle festlegen	Anlagen und Zielgewässer	3.9

Abbildung 5 > Arbeitsschritte der Studie über Art und Umfang von Massnahmen. Der Fokus der Arbeiten liegt auf unterschiedlichen Perimetern: Im Arbeitsschritt 1 wird das gesamte Einzugsgebiet mit seinen Anlagen betrachtet. Die Arbeitsschritte 2 und 8 behandeln ausschliesslich die Zielgewässer und die Arbeitsschritte 3 bis 6 behandeln die Anlagen. In Arbeitsschritt 7 wiederum muss das gesamte Einzugsgebiet betrachtet werden. Der Pfeil von Arbeitsschritt 6 zu Arbeitsschritt 3 weist darauf hin, dass das Sanierungsziel der Anlage überdacht werden muss, wenn keine verhältnismässige Massnahme gefunden werden kann, mit welcher das Sanierungsziel für eine Anlage erreicht wird.

Situationsanalyse

Arbeitsschritt 1: Als Grundlage für alle weiteren Planungsschritte muss die Situation im Gewässersystem bekannt sein. Dazu gehören eine Beschreibung der Morphologie und des Geschiebehauhalts der Gewässer im Ist- und im Referenzzustand mit Fokus auf die in der strategischen Planung bezeichneten Zielgewässer sowie eine quantitative Analyse des Einflusses der Anlagen auf dieselben. Dazu werden im Arbeitsschritt 1 die entsprechenden Grundlagen aufbereitet, soweit sie nicht bereits im Rahmen der strategischen Planung erarbeitet worden sind.

Zieldefinition

Arbeitsschritt 2: Die Sanierungsmassnahmen müssen sich an definierten Zielen für das Gewässer und die Anlage orientieren. Diese Ziele sind in allgemeiner Form in Abschnitt 3.3.2 formuliert. Im Arbeitsschritt 2 werden sie für das zu untersuchende Gewässer quantifiziert und es wird diejenige Geschiebefracht in einem Gewässer bestimmt, welche erforderlich ist, damit sich gewässertypische morphologische Strukturen und eine Dynamik einstellen können, sowie der Grundwasserhaushalt und der Hochwasserschutz nicht wesentlich beeinträchtigt werden.

Arbeitsschritt 3: Aus der erforderlichen Geschiebefracht im Gewässer und den bestehenden Defiziten kann ein Sanierungsziel für die einzelnen Anlagen im Einzugsgebiet des Gewässers abgeleitet werden.

Massnahmendefinition

Arbeitsschritt 4: Auf der Basis eines Massnahmenkatalogs sollen die am besten geeigneten Massnahmen bestimmt werden.

Arbeitsschritt 5: In den meisten Fällen ist es notwendig, verschiedene Varianten zu erarbeiten und diese in einem Variantenstudium zu bewerten. Bei diesem Arbeitsschritt ist es besonders wichtig, die verschiedenen Anlagen an einem Gewässer und in dessen Einzugsgebiet gesamthaft zu betrachten und die Massnahmen an den einzelnen Anlagen aufeinander abzustimmen.

Arbeitsschritt 6: Aus den vorgeschlagenen Varianten kann schliesslich eine Bestvariante festgelegt werden, die umgesetzt werden soll.

Arbeitsschritt 7: Die Bestvariante soll mit anderen Massnahmen zum Gewässerschutz, insbesondere mit Revitalisierungen koordiniert werden. Unter Umständen lässt sich das Sanierungsziel für eine Anlage mit verhältnismässigen Massnahmen nicht erreichen. In dem Fall muss das Sanierungsziel für die Anlage (Arbeitsschritt 3) überdacht werden und es müssen neue Varianten erarbeitet und bewertet werden (Pfeil in Abbildung 5).

Arbeitsschritt 8: Als letzter Arbeitsschritt soll ein Konzept für die Wirkungskontrolle erarbeitet werden.

3.1.2 Interessenabwägung und Berücksichtigung Hochwasserschutz

Bei der Geschiebesanierung ist eine Interessenabwägung unerlässlich. Das Sanierungsziel ist formal unabhängig von Interessensabwägungen (gemäss Artikel 43a Absatz 1 GSchG). Die Interessensabwägung wird jedoch bei der Festlegung der Massnahme durchgeführt (Arbeitsschritte 4-7), indem sich der Umfang der Massnahme auch nach den Interessen des Hochwasserschutzes, den energiepolitischen Zielen, sowie der Verhältnismässigkeit richtet (Artikel 43a Absatz 2 GSchG) (vgl. Kapitel 3.6).

Den Aspekten des Hochwasserschutzes wird in zweierlei Hinsicht Rechnung getragen: erstens bei der Definition des Ziels, dass keine Sohlenerosion die Hochwassersicherheit gefährden soll (Arbeitsschritt 2); zweitens bei der Massnahmenplanung, bei der Auflandungen, die den Hochwasserschutz beeinträchtigen, ver-

hindert werden (Arbeitsschritt 5, Kapitel 3.5.4). Letzteres wird gewährleistet indem mögliche negative Auswirkungen auf den Hochwasserschutz in die Bewertung von Massnahmen und die Auswahl der Bestvariante einfliessen und wo nötig begleitende Massnahmen zum Hochwasserschutz in die Planung einbezogen werden.

3.1.3 Synergien mit bestehenden Untersuchungen

Übernehmen von Ergebnissen der strategischen Planung

Wenn für einzelne Arbeitsschritte (Abbildung 5) der Studie über Art und Umfang von Massnahmen bereits Ergebnisse mit dem Detaillierungsgrad einer Vorstudie bestehen, zum Beispiel aus der strategischen Planung der Kantone oder aus bestehenden Geschiebehaushaltstudien, können diese als Grundlage für die Verfügung der Sanierungspflicht verwendet werden und müssen nicht mehr neu erarbeitet werden. Für Anlagen, für die alle Arbeitsschritte der Studie bereits durchgeführt wurden oder nicht alle zweckmässig sind, weil es nur eine machbare Massnahme gibt und es keiner Koordination bedarf, kann die Massnahme aus der strategischen Planung direkt verfügt werden.

Variantenstudium im Rahmen der Projektierung

In einzelnen Fällen ist es zweckmässig, die Arbeitsschritte zur Massnahmendefinition (Variantenstudium samt Festlegung der Bestvariante) auf Stufe Projektierung erarbeiten zu lassen. Dieses Vorgehen ist dann angezeigt, wenn der Variantenentscheid einen höheren Detaillierungsgrad in der Massnahmenplanung erfordert, als er mit einer Vorstudie erarbeitet werden kann. Eine Koordination von Massnahmen im Einzugsgebiet muss dann auf Stufe Projekt sichergestellt sein. Wenn das Variantenstudium auf die Stufe Projekt verlagert wird, muss dies der Kanton in der Sanierungsverfügung an den Anlageninhaber anordnen (siehe auch die Inhalte einer Sanierungsverfügung in Anhang B). Auch in diesen Fällen muss der Variantenentscheid jedoch durch den Kanton gefällt und verfügt werden.

3.1.4 Vereinfachte Massnahmenplanung in kleinen Einzugsgebieten

Wo der Aufwand für die Studie über Art und Umfang im Verhältnis zu den möglichen Massnahmen gross ist (weil das Gewässer beispielsweise klein ist), können die Massnahmen auf eine einfachere Art und Weise geplant und umgesetzt werden. Die Arbeitsschritte des vereinfachten Vorgehens sind in Kapitel 3.10 beschrieben.

3.2 Ist- und Referenzzustand des Gewässers vertieft untersuchen (Arbeitsschritt 1)

3.2.1 Einführung

Ziele und erwartete Ergebnisse des Arbeitsschritts

Mit diesem Arbeitsschritt sollen Kenntnisse über die Morphologie und den Geschiebehaushalt des Gewässers im Referenzzustand und im Istzustand gewonnen werden, so dass daraus die Defizite in der Geschiebefracht abgeleitet werden können.

Als Ergebnisse des Arbeitsschrittes werden erwartet:

- Eine Beschreibung der Morphologie und der Dynamik des Gewässers im Referenzzustand und im Istzustand.
- Eine Liste der Anlagen, welche die Geschiebefracht im Istzustand gegenüber der Fracht im Referenzzustand beeinflussen mit Angaben darüber, um welches Mass die Geschiebefracht von den Anlagen reduziert wird.
- Ein Längsprofil der Geschiebefracht im Referenzzustand und im Istzustand.
- Eine Beschreibung des Defizits in der Geschiebefracht im Istzustand gegenüber der Geschiebefracht im Referenzzustand.

Wurden diese Grundlagen bereits in der strategischen Planung oder in einem anderen Zusammenhang erarbeitet, können diese Ergebnisse verwendet werden.

3.2.2 Definition von Naturzustand, Referenzzustand, Istzustand und Defizit

Naturzustand

Der Naturzustand entspricht dem Zustand des Fliessgewässers ohne anthropogene Eingriffe. Breite, Gerinneform und Verlauf des Gewässers im Naturzustand sind näherungsweise in historischen Karten oder anderen Dokumenten wie Fotos dargestellt. Im Naturzustand ist der Geschiebehaushalt nicht anthropogen beeinflusst.

Referenzzustand

Der Referenzzustand ist der naturnahe Zustand bezüglich Morphologie und Breite, Abflussregime, Geschiebehaushalt. Der Referenzzustand unterscheidet sich vom Naturzustand nur durch grossräumige Waldrodungen, Trockenlegung von Feuchtgebieten und Gewässerumleitungen in einen See (Abbildung 6).

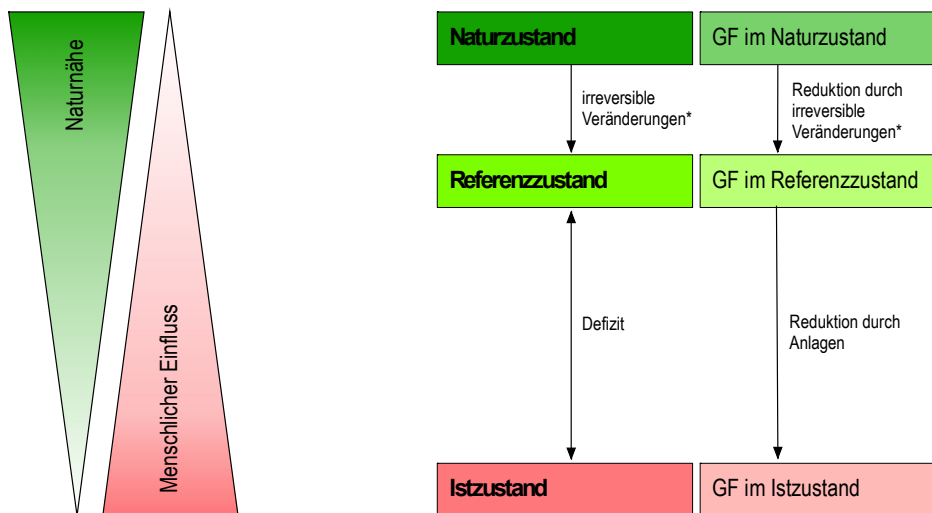


Abbildung 6 > Referenzzustand im Verhältnis zu Naturzustand und Istzustand. Adaptiert nach BAFU und EAWAG (2006). GF = Geschiebefracht. *Als irreversible Veränderungen werden bezeichnet: grossräumige Waldrodungen, Trockenlegung von Feuchtgebieten und Gewässerumleitungen in einen See.

Referenz für Abfluss und Geschiebelieferung sind die *heutigen* klimatischen Bedingungen.

Rahmenbedingungen wie veränderter Abfluss, veränderte Geschiebelieferung, veränderte Breite, werden bei der Zieldefinition berücksichtigt (vgl. Kapitel 3.3.2ff).

Der Referenzzustand stellt nicht das Ziel der Geschiebesanierung dar. Ziel der Sanierung ist ein Zustand ohne wesentliche Beeinträchtigungen. Dieser ist dem Referenzzustand ähnlich (siehe Kapitel 3.3.2ff). Der Referenzzustand dient dazu, die naturnahe Morphologie und Dynamik als Leitbild zu erkennen und aufzuzeigen, wie sich das Gewässer ohne Nutzungen im und am Gewässer entwickeln könnte. Darüber hinaus bildet der Referenzzustand des Fließgewässers die Basis für die Unterscheidung von wesentlichen und unwesentlichen Beeinträchtigungen und damit für die Bestimmung der erforderlichen Geschiebefracht.

Istzustand

Der Istzustand beschreibt den aktuellen Zustand der Gewässer mit allen Anlagen und Gewässerverbauungen. Im Istzustand ist der Geschiebehaushalt des Gewässers gegebenenfalls durch Wasserkraftanlagen, Geschiebesammler, Gewässerverbauungen, Kiesentnahmen und andere Anlagen verändert.

Defizit

Das Defizit ergibt sich aus der Differenz zwischen dem Referenz- und dem Istzustand. Dabei interessieren in erster Linie die Defizite in der Morphologie und der Geschiebefracht.

3.2.3 Charakterisierung der Morphologie

Morphologische Merkmale

Die Morphologie im Referenz- und im Istzustand kann durch Merkmale auf verschiedenen Skalen beschrieben werden. Auf der Skala des Gewässerabschnitts

ist das die Gerinneform, auf einer mittleren Skala das Vorkommen und die Ausdehnung von Geschiebeablagerungen, insbesondere von Kiesbänken und auf einer kleinen Skala das Substrat. Als weitere morphologische Merkmale werden die Breite und das Längsgefälle des Gewässers betrachtet.

Gerinneform

Die Gerinneform ist das Erscheinungsbild des Gewässers aus der Vogelperspektive. In Anlehnung an die Gerinneklassifizierung nach Leopold und Wolman (1959) und Ahmari und daSilva (2011) lassen sich Schweizer Gewässer gut mit den folgenden sechs Gerinneformen unterscheiden (Abbildung 7):

(1) Verzweigte Gerinne mit mehr als 2 Teilgerinnen: Der Lauf des Gewässers teilt sich bei Mittelwasser in mehrere Arme auf. Dazwischen liegen Kiesbänke ohne Gehölz. Die Kiesbänke werden bei Hochwasser überflutet und ihre Lage ändert sich mit jedem Hochwasserereignis. Das Flussbett ist breit und die mittlere Abflusstiefe auch bei Hochwasser relativ gering.

(2) Verzweigte Gerinne mit 2 Teilgerinnen: Sehr ähnlich wie Gerinneform (1). Der Unterschied besteht in der Anzahl Teilgerinne. Das Flussbett ist im Verhältnis zum verzweigten Gerinne mit mehr als 2 Teilgerinnen etwas weniger breit.

(3) Gewundenes Gerinne mit Inseln und Bänken: Gerinne besitzt ein bis mehrere Teilgerinne. Diese sind durch bewaldete Inseln voneinander getrennt, welche nur bei grossen Hochwasserereignissen durch Migration der Teilgerinne verändert werden. Kiesbänke begleiten die Inseln oder bilden sich an geeigneten Stellen entlang der Ufer.

(4) Gewundenen Gerinnen mit Bänken: Es bilden sich Bänke in strömungsberuhigten Zonen entlang des Ufers oder bei lokalen Verbreiterungen. Sie werden bei Hochwasser überflutet und sind, mit wenigen Ausnahmen, nicht mit Gehölz bewachsen. Diese Gerinneform kann auch als mäandrierendes Gerinne mit Geschiebetrieb bezeichnet werden.

(5) Mäandrierenden Gerinne ohne Geschiebetrieb: Bei diesem Typ fließen Hoch- und Niedrigwasser in einem und demselben Gerinne ab. Die Sohle besteht überwiegend aus Sand.

(6) Gewunden oder gestreckte Gerinne: Bei steilen Gerinnen mit Gefälle von mehr als 3 % ist die Gerinneform nicht von der Grösse der Geschiebefracht abhängig, sondern von Geologie und Topographie. Die Gerinneform ist *gewunden* oder *gestreckt*.

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 Dientigtal.
Fotos: Schmadri Lüttschine bei Stechelberg;
Verzasca bei Sonogno.

Abbildung 7 > Gerinneformen. Beispiele aus historischen Karten und aus aktuellen Luftbildern.

Die Gerinneform kann in Abhängigkeit der Hochwassergeschichte variiert haben. Oft stehen aber historische Karten verschiedener Jahre², historische Luftbilder oder Pläne der ersten Flusskorrekturen zur Verfügung. Auf dieser Grundlage kann die Gerinneform des Referenzzustandes eines Gewässers mit ausreichender Zuverlässigkeit bestimmt werden. Manchmal kann eine frühere Gerinneform aus Geländespuren, die in hochaufgelösten digitalen Geländemodellen noch heute sichtbar sind, oder aus einer bestehenden, naturnahen Strecke hergeleitet werden. Aus denselben Grundlagen kann die gehölzfreie Breite des Gewässers im Referenzzustand ermittelt werden.

Die Gerinneformen im Istzustand können aus aktuellen Karten oder Luftbildern oder anlässlich einer Feldbegehung bestimmt werden und allenfalls mit Abgrenzungskriterien verifiziert werden (z.B. mit Ahmari & da Silva 2011, vgl. Anhang E).

Breite

Die Breite ist ein wesentliches morphologisches Merkmal der Gewässer. Sie ist abhängig von Abflussregime, Geschiebefracht, Korngrößen und geologischen Eigenschaften. Verzweigte Gerinne sind im Verhältnis zur Abflusstiefe meist deutlich breiter als gewundene oder gestreckte Gerinne. Die Übergänge zwischen Sohle, Uferböschungen, Weich- und Hartholzauen sind meist fließend, sodass man die Breite je nach Anwendungszweck unterschiedlich definieren kann:

Für morphologische Vergleiche von Gewässern wird oft die Wasserspiegelbreite beim bettbildenden Abfluss (z. B. bei HQ2) verwendet («bordvolle Breite» oder «Gerinnebreite»). Die Basis zur Bestimmung des Gewässerraums ist die «natürliche Sohlenbreite» (BAFU in Arbeit).

Die Breite kann anhand historischer Karten, Korrektionsplänen, Luftbildern und Referenzstrecken hergeleitet werden. Der benetzte Bereich entspricht in diesen Grundlagen häufig Mittelwasserverhältnissen. Es können aber auch andere Abflussverhältnisse dargestellt sein.

Die Breite variiert in Fließrichtung und in Abhängigkeit der Hochwassergeschichte teilweise stark. In der Regel wird ein Mittelwert über eine morphologisch einheitliche Fließstrecke als massgebend betrachtet. Bei Auswertung mehrerer historischer Karten und Luftbilder können Unterschiede infolge des Abflussgeschehens und anthropogener Eingriffe aufgezeigt werden.

Falls keine entsprechenden Grundlagen bestehen, kann die Breite durch empirische Methoden und Faustformeln angenähert werden. Dabei sollte die Gerinneform im Referenzzustand berücksichtigt werden.

Längsgefälle

Das Längsgefälle wird im Istzustand aus aktuellen Querprofilvermessungen, aus topographischen Karten oder aus einem digitalen Höhenmodell ermittelt. Für den

² z. B. für den Alpenrhein CH/AT: Römer und Duile-Karte; für den Aargau: Michaelis-Karte, für die ganze Schweiz: Siegfried-Karten

Referenzzustand kann das Längsgefälle ebenfalls aus Karten bestimmt werden, wenn historische Karten mit Höhenlinien vorhanden sind (z. B. die Siegfriedkarte oder die Wild-Karte). Andernfalls wird das Längsgefälle aus dem Talgefälle abgeleitet.

Das Längsgefälle und das Talgefälle unterscheiden sich bei erodierenden und auflandenden Gewässern:

- Bei einem erodierenden Gewässer ist das Längsgefälle in der Regel kleiner als das Talgefälle.
- Bei einem Gewässer im Zustand der latenten Erosion³ ist die Sohle gegenüber der seitlich angrenzenden Talebene in der Regel eingetieft. Das Längsgefälle ist oft kleiner als das Talgefälle.
- Bei einem Gewässer im Gleichgewichtszustand entspricht das Längsgefälle dem Talgefälle.
- Bei einem auflandenden Gewässer ist das Längsgefälle tendenziell größer als das Talgefälle und entlang des Gewässers bestehen Uferwälle. Ein signifikantes Anwachsen des Längsgefälles über das Talgefälle hinaus wird bei Hochwasser durch Laufverlagerungen und Übersarungen verhindert.

Geschiebeablagerungen

Geschiebe lagert sich bei allen Gerinneformen mit Geschiebetransport in strömungsberuhigten Sohlenbereichen ab. Kies kann flächig oder in Form von Bänken abgelagert werden. Geschiebeablagerungen, insbesondere Kiesbänke, können bei Niedrig- und Mittelwasser aus dem Wasser ragen. Aufgrund der Lage und Anordnung können folgende Typen von Ablagerungen unterschieden werden (Abbildung 8):

- Ablagerung am Gleitufer einer Krümmung (stationäre Kiesbank; bei Migration des Gewässers beschränkt mobil).
- Ablagerung als Insel in einer Aufweitung oder in einem verzweigten Gewässer (stationäre oder mobile Kiesbank).
- An den Ufern alternierend angeordnete Ablagerungen in gestreckten Gewässerabschnitten (stationäre oder mobile Kiesbank).
- Ablagerungen hinter Hindernissen (stationäre Kiesbank).
- Ablagerungen im Talweg einer Rinne (bei kleinen Hochwasserabflüssen).

Substrat

Das Substrat wird durch das Vorkommen verschiedener Substrattypen an der Oberfläche und durch den Grad der inneren Kolmation beschrieben (Abbildung 9). Es wird beurteilt, ob verschiedene Substrattypen vorkommen oder ob ein Typ vorherrscht. Die innere Kolmation wird durch die Infiltration von Schwebstoffen verursacht und durch die Umlagerung der Gewässersohle wieder rückgängig gemacht (Dekolmation). Es wird untersucht wie stark die Sohle kolmatiert ist. Das

³ Bei einem Gewässer im Zustand der latenten Erosion ist die zugeführte Geschiebefracht kleiner als die transportierbare Geschiebefracht. Eine Eintiefung der Sohle wird durch grobes Sohlenmaterial verhindert.

Vorgehen zur Aufnahme und Auswertung der Substrateigenschaften ist in Anhang H beschrieben.

Bei der Beurteilung der Kolmation sind die geologischen Verhältnisse und die Abflussgeschichte zu berücksichtigen. In Gewässern mit natürlicherweise hoher Trübung (zum Beispiel Einzugsgebiete mit Flysch, Mergel, Schiefer) kolmatiert die Sohle schneller, als diejenige von Gewässern in Einzugsgebieten mit harten Gesteinen (zum Beispiel Kalk, Granit). Ist seit langer Zeit kein Hochwasserereignis aufgetreten, bei dem die Sohle mobilisiert wurde, so ist ebenfalls von verstärkter Kolmation auszugehen.

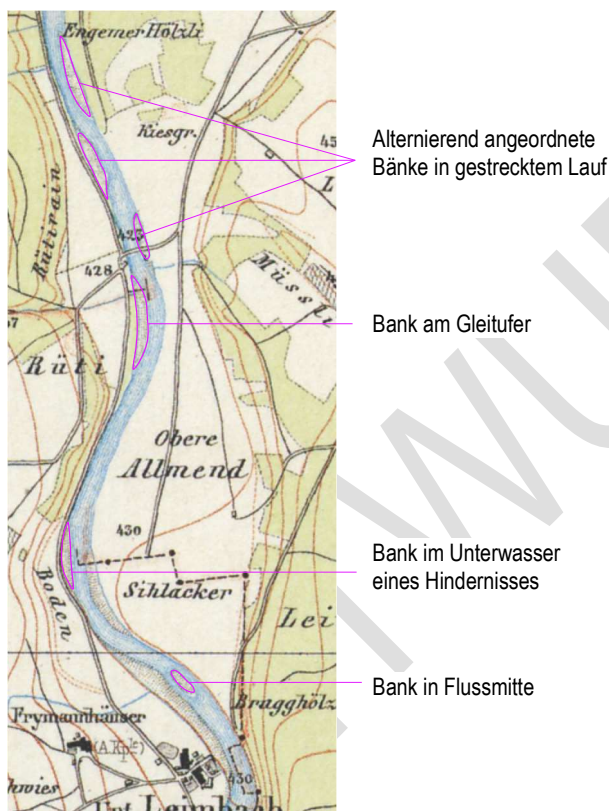


Abbildung 8 > Unterschiedliche Kiesbankstrukturen in der Sihl bei Zürich. Fließrichtung von Süd nach Nord. Wild Karte 1843-51. Massstab 1:15'000.

Für den Referenzzustand darf man davon ausgehen, dass bei verzweigten Gerinnen (Gerinneformen 1 und 2 in Abbildung 7) die Geschiebeablagerungen auf der Sohle dominieren (Substrattypen 2 und 3 von Abbildung 9 vorherrschend) oder alle gleichmässig vorkommen und die Sohle vergleichsweise wenig kolmatiert ist. Bei gewundenen Gerinnen dürfte entlang von Gleithängen vor allem Geschiebe abgelagert sein (Substrattyp 2 und 3 von Abbildung 9) und im Talweg mehrheitlich Sohlenmaterial mit Geschiebe durchsetzt oder abgepflastertes Sohlenmaterial vorkommen (Substrattyp 4 und 5 von Abbildung 9 vorherrschend). Die Sohle dürfte vergleichsweise wenig bis mittelmässig kolmatiert sein (Kolmationsgrad 1 bis 3 in Abbildung 9). Vom Geschiebedefizit unbeeinflusste Vergleichsstrecken mit ähnlicher Neigung und ähnlichem Abfluss (zum Beispiel oberhalb von Anlagen) können Hinweise auf das Substrat im Referenzzustand liefern.



1: Schwebstoffablagerungen
Sand, Silt.



1: Keine Kolmation.
Unter den Deckschichtkörnern hat es vor allem Kies und wenig Sandablagerungen.



2: Feingestriebe
Feinere Anteile des regelmässig transportierten Gestriebes.



2: Geringe Kolmation.
Unter den Deckschichtkörnern hat es wenig siltige und tonige Ablagerungen.



3: Grobgestriebe
Gröbere Anteile des regelmässig transportierten Gestriebes.



3: Mittlere Kolmation.
Der Porenraum ist etwa zu einem Viertel mit siltigen und tonigen Ablagerungen verfüllt.



4: Sohlenmaterial mit Gestriebe
Zwischen den grossen Körnern des Sohlenmaterials sind Körner des Gestriebes abgelagert.



4: Starke Kolmation.
Der Porenraum ist etwa zur Hälfte mit siltigen und tonigen Ablagerungen verfüllt.



5: Grobes Sohlenmaterial
Grosse Körner des Sohlenmaterials dominieren.



5: Vollständige Kolmation.
Der Porenraum ist praktisch flächendeckend mit siltigen und tonigen Ablagerungen verfüllt.

Abbildung 9 > Links: Substrattypen. Beispiel Kander unterhalb des Zusammenflusses mit der Simme. Die absoluten Korngrössen der Substrattypen sind gewässerspezifisch. Die Bilder 2 bis 5 haben ungefähr den gleichen Massstab. **Rechts: Grad der inneren Kolmation.**

3.2.4 Charakterisierung der Gewässer aufgrund von Auflandungs-, Gleichgewichts-, Erosions- oder latentem Erosionszustand

In Bezug auf den Geschiebehaushalt können Gewässerstrecken in Auflandungsstrecken, in Gleichgewichtsstrecken (auch als Umlagerungsstrecken bezeichnet), Strecken mit latenter Erosion und in Erosionsstrecken unterteilt werden (Tabelle 1).

Auflandungsstrecken kommen hauptsächlich oberstrom der Einmündung in Seen (zum Beispiel Alpenrhein) oder von Rieden und Mooren (zum Beispiel Alte Aare, Minster) vor. Der Sättigungsgrad⁴ ist grösser als 1. In Auflandungsstrecken sind die Korngrössenverteilungen des transportierten Geschiebes und des Sohlenmaterials identisch.

Bei Gleichgewichtsstrecken entspricht die Geschiebezufuhr der transportierbaren Geschiebefracht und der Sättigungsgrad beträgt 1. Oft handelt es sich um postglaziale Auflandungsstrecken, bei denen der Auflandungsprozess seit langem abgeschlossen ist. In Gleichgewichtsstrecken sind die Korngrössenverteilungen des transportierten Geschiebes und des Sohlenmaterials identisch.

Viele Schweizer Fliessgewässer befinden sich im Zustand der latenten Erosion. Die Geschiebezufuhr ist kleiner als die transportierbare Geschiebefracht (Sättigungsgrad kleiner als 1) und eine stabile Deckschicht aus vergleichsweise grobem Sohlenmaterial verhindert Erosionen. Die Deckschicht bildet sich, wenn bei Hochwasserabfluss verhältnismässig wenig Geschiebe herangeführt wird und die feinen Kornfraktionen aus der Unterschicht ausgetragen werden. Sie wird erst bei grossen Hochwasserabflüssen über dem Grenzabfluss Q_D aufgerissen. Das transportierte Geschiebe bei Abflüssen kleiner als Q_D ist feiner als das Untergrundmaterial.

Bei Erosionsstrecken ist die Geschiebezufuhr kleiner als die transportierbare Geschiebefracht (Sättigungsgrad kleiner als 1) und der Abfluss deckt das Geschiebedefizit aus der Sohle, womit sich die Sohle eintieft. Erosionsstrecken kommen vorwiegend im oberen Einzugsgebiet von Gewässersystemen vor. Die Korngrössenverteilungen des transportierten Geschiebes und des Sohlenmaterials sind identisch.

⁴ Als Sättigungsgrad (auch relativer Geschiebetransport) wird das Verhältnis zwischen zugeführter Geschiebefracht und transportierbarer Geschiebefracht bezeichnet.

Tabelle 1: Charakterisierung der Gewässer aufgrund des Geschiebehaushalts

Gewässer / Sättigungsgrad	Prozesse	Korngrößenverteilung Geschiebe/Sohlenmaterial	Beispiele im Naturzustand
Auflandungsstrecke / Sättigungsgrad > 1	Gewässer mit langfristiger Auflandungstendenz. Die Sohle hebt sich parallel an oder das Längsgefälle nimmt zu	Korngrößen Geschiebe = Korngrößen Sohlenmaterial	Geschiebeführende Gewässer, die in Seen münden: Alpenrhein unterhalb Chur, Urner Reuss unterhalb Erstfeld, Ticino in der Magadinoebene; Geschiebeführende Gewässer, die in verlandete Seen oder in Riedemünden: Wyna oberhalb Zetzwil, Aare Aarberg bis Büren
Gleichgewichtsstrecke / Sättigungsgrad = 1	Gewässer mit Fixpunkt im Unterwasser. Die Sohlenlage schwankt um einen Mittelwert und ist langfristig im Gleichgewicht. Im Gegensatz zur Auflandungsstrecke ändert sich die Lage und die Höhe des Fixpunktes nicht.	Korngrößen Geschiebe \leq Korngrößen Sohlenmaterial	Aare vor Brugg, Limmat vor Oetwil, Reuss vor Bremgarten, Brenno in den Auen bei Marogno und Loderio.
Strecke in latenter Erosion / Sättigungsgrad < 1	Gewässer, bei dem die Geschiebefracht kleiner als die transportierbare Geschiebefracht ist, aber wegen der groben Deckschicht nur bei sehr grossen Hochwassern Sohlenerosionen auftreten.	Korngrößen Geschiebe < Korngrößen Sohlenmaterial	Mehrheit der Schweizer Flüsse: Sihl Schindellegi bis Adliswil, Doubs im CH-Abschnitt., Urner Reuss von Göschenen bis Amsteg.
Erosionsstrecke / Sättigungsgrad < 1	Gewässer mit fortschreitender Erosion bei Hochwasserabfluss.	Korngrößen Geschiebe \leq Korngrößen Sohlenmaterial	Viele Gewässeroberläufe, insbesondere Wildbäche.



Abbildung 10 > Zusammensetzung von Sohlenmaterial und Geschiebe. Links: Sohlenmaterial gröber als Geschiebe, Beispiel Brenno; rechts: Sohlenmaterial und Geschiebe identisch, Beispiel Alpenrhein. Fotos Flussbau AG SAH.

3.2.5 Quantifizieren der Geschiebefracht

Bedeutung der Geschiebefrachtabschätzungen

Die Geschiebefrachten im Referenz- und im Istzustand bilden die wichtigste Grundlage für die Planung von Geschiebemaßnahmen und damit der Sicherstellung von Hochwasserschutz und ökologischen Zielen.

Ansätze zur Quantifizierung der Geschiebefracht

Zur Charakterisierung der für die Gewässermorphologie typischen Geschiebefracht wird die mittlere jährlich transportierte Geschiebefracht verwendet.

Die Geschiebefrachten entlang eines Gewässers werden bestimmt, in dem die Geschiebelieferung aus allen Seitenbächen des Einzugsgebiets ermittelt und dabei der Einfluss der Anlagen berücksichtigt wird.

Auf langen Strecken müssen Sohlenerosionen, Ablagerungen und der Abrieb ebenfalls berücksichtigt werden. Für den Istzustand können diese Sohlenveränderungen durch die Auswertung von Querprofilvermessungen verschiedener Jahre abgeschätzt werden oder mit Hilfe einer numerischen Simulation quantifiziert werden. Im Referenzzustand sind Ablagerungen nur in ausgewiesenen Auflandungsstrecken massgebend. Der Abrieb kann nach dem Gesetz von Sternberg und einem Abriebskoeffizienten berechnet werden, der von der Gesteinsart abhängig ist (siehe zum Beispiel Bezzola 2019).

Im Anhang D werden sechs etablierte Ansätze vorgestellt mit praktischen Hinweisen zu deren Anwendung. Die Unsicherheiten bei der Bestimmung der Geschiebefracht können gross sein. Es ist daher wichtig sie zu minimieren, indem die Geschiebefrachten bestmöglich und mithilfe Kombination verschiedener dieser Ansätze bestimmt wird.

Die Geschiebefracht im Referenzzustand

Die Geschiebefracht im Referenzzustand $GF_{Referenz}$ entspricht der Geschiebefracht im Istzustand GF_{Ist} plus/minus der Änderung der Geschiebefracht durch Anlagen A:

$$GF_{Referenz} = GF_{Ist} \pm A.$$

Daraus folgt, dass die Geschiebefracht im Referenzzustand hinsichtlich Klima, Bewaldung, Geschiebeherde, etc. auf dem heutigen Zustand des Einzugsgebietes basiert.

Defizite im Geschiebehaushalt

Die Differenz zwischen der Geschiebefracht im Istzustand und der Geschiebefracht im Referenzzustand zeigt die Defizite im Geschiebehaushalt des Gewässersystems.

Einfluss von Anlagen auf die Geschiebefracht

Anlagen im Gewässer wirken sich unterschiedlich auf die Geschiebefracht aus. Stauseen, Flusstauhaltungen oder Kiesentnahmen führen in der Regel zu einer Reduktion der Geschiebefracht. Das heisst, dass zur Bestimmung der Geschiebefracht des Referenzzustandes deren Rückhalt oder die Entnahmen zur Geschiebefracht im Istzustand dazuzuzählen sind.

Der Einfluss von Geschiebesammlern und Gewässerverbauungen ist teilweise etwas differenzierter:

Geschiebesammler führen dann zu einer Reduktion der Geschiebefracht, wenn im Sammler mehr Kies zurückgehalten und entnommen wird, als im Referenzzustand in der Unterwasserstrecke weiter transportiert werden konnte.

Wildbachsperrern führen zumindest bei grossen Hochwasserereignissen zu einer bedeutenden Reduktion der Geschiebefracht. Bei kleinen Hochwasserereignissen, bei welchen auch im Zustand ohne Wildbachsperrern die Sohle nicht erodiert, sind die Unterschiede zwischen der Geschiebefracht im Referenz- und im Istzustand gering.

Gewässerverbauungen auf Schwemmkegeln (Kanalisation, Bachschalen) verhindern die Ablagerung von Geschiebe und führen daher, verglichen mit dem Referenzzustand zu einer Erhöhung der Geschiebefracht. Im Referenzzustand kam es bei grossen Hochwasserereignissen zu einer Übersarung des Schwemmkegels, wodurch die Geschiebefracht und der Geschiebeeintrag in den Vorfluter stark abnahm. Bei kleinen Hochwasserereignissen sind die Unterschiede eher gering.

Dementsprechend haben Wildbachverbauungen und die Kanalisation der Gewässer auf Schwemmkegeln gegensätzliche Wirkungen. Die summierte Wirkung der zwei Anlagen ist stark von den spezifischen Verhältnissen abhängig und kann sich ausgleichen oder die Fracht kann im Unterwasser vergrössert oder verkleinert werden.

Die Einengung und Kanalisierung von Gewässern führt oft zu Sohlenerosion und einer Zunahme der Geschiebefracht in Fließrichtung. Wird die Sohle mit Schwellen gesichert, so wird dieser Prozess reduziert oder verhindert.

Mit Uferverbauungen wird der Eintrag von Geschiebe infolge Ufererosion verhindert.

Längsprofil der Geschiebefracht

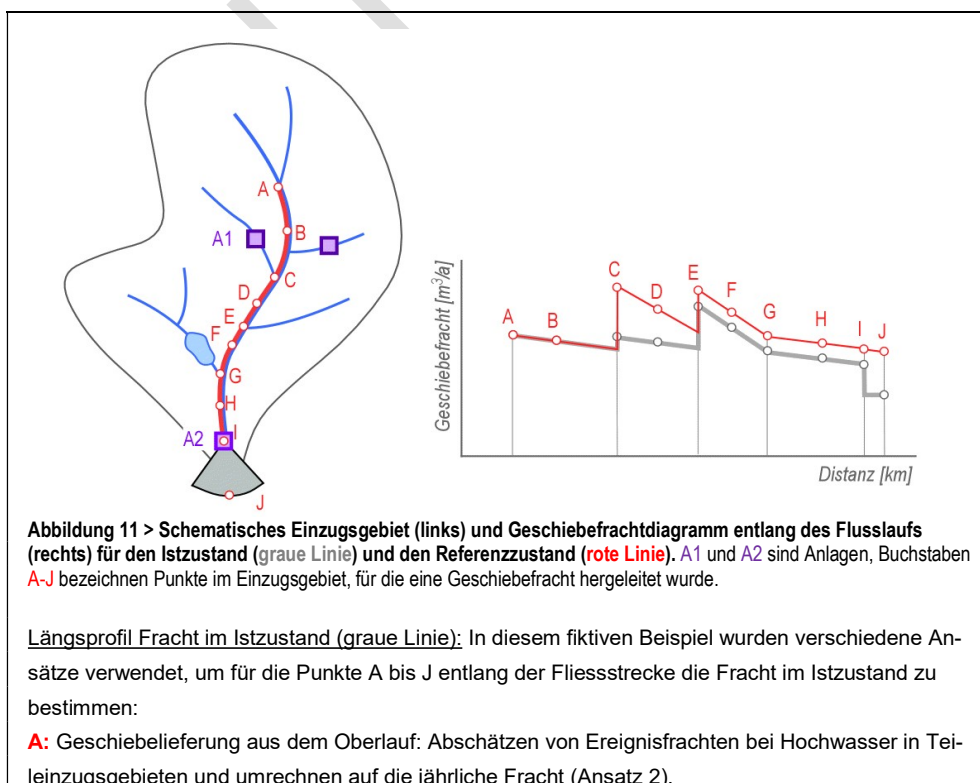
Auf Grundlage der ermittelten Geschiebefrachten, dem Einfluss von Anlagen sowie dem Abrieb wird ein Längsprofil der mittleren jährlichen Geschiebefracht hergeleitet und dargestellt (Abbildung 11 >).

Bei der Herleitung des Längsprofils der Geschiebefracht im Referenzzustand und im Istzustand muss das Transportvermögen in den Zwischenstrecken zwischen zwei Seitenzubringern berücksichtigt werden.

In Gleichgewichtsstrecken wird Geschiebe ablagerungsfrei flussabwärts verfrachtet. Die Geschiebefracht nimmt dann nur mit dem Abrieb ab.

In Auflandungsstrecken muss ausserdem eine Abnahme der Fracht in Fließrichtung berücksichtigt werden. Auflandungsstrecken bestanden beispielsweise im Oberwasser von Seen. Die Annahme einer Auflandungsstrecke im Referenzzustand muss gut plausibilisiert werden. Morphologische Modellrechnungen können helfen, Auflandungsstrecken im Referenzzustand zu identifizieren. Für den Istzustand kann Auflandung durch die Auswertung von Querprofilvermessungen verschiedener Jahre abgeschätzt werden.

In Erosionsstrecken nimmt die Geschiebefracht zu, es sei denn, der Abrieb ist grösser als die Erosionsraten.



B: Das Geschiebe wird in einer Gleichgewichtsstrecke ablagerungsfrei transportiert. Die Geschiebefracht nimmt durch den Abrieb in Fließrichtung ab.

C: Geschiebelieferung aus dem Seitenzubringer mit Geschiebesammler (Anlage A1): Auswerten der Daten aus der Bewirtschaftung des Sammlers (Ansatz 1), Beurteilen der Geschiebedurchgängigkeit und Abschätzen der unterhalb des Sammlers mobilisierten und transportierten Geschiebefracht bei Hochwasser (Ansatz 2).

D: Das Geschiebe wird in einer Gleichgewichtsstrecke ablagerungsfrei transportiert. Die Geschiebefracht nimmt durch den Abrieb in Fließrichtung ab.

E: Geschiebelieferung aus dem Seitenzubringer: Übertragen der Geschiebefracht aus Vergleichsgewässern, zum Beispiel aus den Zubringern von Punkt A und den Daten von Anlage A1 (Ansatz 3).

F: Auflandungsstrecke: Die Abnahme der Geschiebefracht entlang der Fließstrecke wird aus beobachteten Sohlenveränderungen ermittelt (Ansatz 5). Die Geschiebefracht nimmt ausserdem auch durch den Abrieb in Fließrichtung ab.

G: Keine Geschiebelieferung aus dem Seitenzubringer (Seeausfluss).

H: Die Geschiebefracht wird mit einer Transportrechnung in der flachen Schlüsselstrecke bestimmt (Ansatz 4).

I: Abnahme der Geschiebefracht an einer Baggerstelle (Anlage A2) wird über Kiesentnahmestatistiken hergeleitet (Ansatz 1).

J: Der resultierende Geschiebeeintrag in den See wird überprüft und das Längenprofil allenfalls angepasst, indem Daten zum Längenwachstum des Deltas ausgewertet werden (Ansatz 1).

Fracht im Referenzzustand (rote Linie): wird bestimmt, indem Einfluss von Anlagen entfernt wird:

C: Das im Sammler zurück gehaltene und entnommene Geschiebe wird zum Teil in den Vorfluter transportiert und zum Teil bei Hochwasser auf dem Schwemmkegel abgelagert. Die Geschiebezufuhr aus dem Seitenzubringer nimmt zu.

D: Die Fracht im Referenzzustand kann nicht mehr ablagerungsfrei transportiert werden. Die Fracht nimmt flussabwärts ab (größerer Gradient, aber auf höherem Ausgangsniveau).

I: Ohne Kiesentnahmen wird mehr Geschiebe in den See transportiert und im Delta (Punkt J) abgelagert.

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

3.3.1 Einführung

Ziele und Ergebnisse des Arbeitsschritts

Mit diesem Arbeitsschritt sind die Ziele für das Gewässer sowie die Anforderungen an die Geschiebefracht definiert.

Als Ergebnisse des Arbeitsschrittes werden erwartet:

- Eine Beschreibung der im Zielzustand angestrebten morphologischen Strukturen.
- 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.

3.3.2 Überblick über Sanierungsziele und Anforderungen ans Geschiebe

Übergeordnetes Ziel

Als übergeordnetes Ziel für die Gewässer steht im Artikel 43a GSchG, dass die einheimischen *Tiere und Pflanzen, deren Lebensräume*, der *Grundwasserhaushalt* und der *Hochwasserschutz* nicht wesentlich beeinträchtigt werden. Massnahmen zur Sanierung des Geschiebehaushalts dienen diesem übergeordneten Ziel (Abbildung 12). Ob das übergeordnete Ziel erreicht werden kann, hängt aber auch von Faktoren ab, die unabhängig vom Geschiebehaushalt sind: Zum Beispiel kann der Fischbestand in einem Gewässer trotz unbeeinträchtigtem Geschiebehaushalt durch physikalisch-chemische Parameter wie Wasserqualität und Temperatur oder durch Wanderhindernisse beeinträchtigt sein.

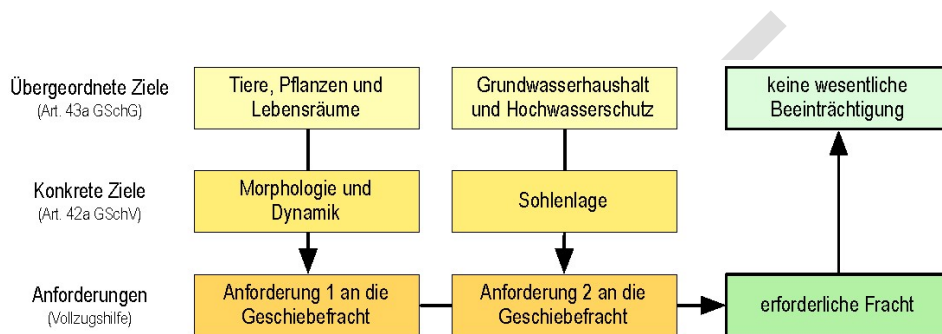


Abbildung 12 > Übergeordnete und konkrete Ziele der Geschiebesanierung. Aus den konkreten Zielen werden Anforderungen an die Geschiebefracht gestellt, auf welche die Massnahmen ausgerichtet werden. Erreicht die Geschiebefracht im Gewässer das erforderliche Mass, besteht keine wesentliche Beeinträchtigung mehr durch einen veränderten Geschiebehaushalt.

Konkrete Ziele und Anforderungen ans Geschiebe

Das übergeordnete Ziel für *Tiere, Pflanzen und Lebensräume* wird daher in der Gewässerschutzverordnung weiter konkretisiert: Die morphologischen Strukturen oder die morphologische Dynamik des Gewässers darf nicht nachteilig verändert sein (Art. 42a GSchV). Geschiebetrieb und Morphologie sollen naturnahen Verhältnissen entsprechen (Art. 1 Abs. 2 Anhang 1 GSchV). Ziele für den *Grundwasserhaushalt* und den *Hochwasserschutz* werden anhand der Sohlenlage konkretisiert.

Weil morphologische Strukturen und die Sohlenlage auch von der Grösse der Geschiebefracht abhängig sind, können die konkreten morphologischen Ziele mit einer erhöhten Geschiebefracht und in manchen Fällen – insbesondere in Restwasserstrecken und Auengebieten – mit ausreichend häufigen Hochwasserereignissen, welche das Geschiebe umzulagern vermögen, erreicht werden. Aus den konkreten Zielen werden deshalb Anforderungen an die Geschiebefracht abgeleitet.

Erforderliche Geschiebefracht

Die notwendige Geschiebefracht, um die Ziele zu erreichen, wird hier als «erforderliche Geschiebefracht» bezeichnet. Wird sie im Gewässer erreicht oder überschritten, kann man davon ausgehen, dass die übergeordneten Ziele erreicht werden, das heisst, dass Tiere, Pflanzen und deren Lebensräume sowie der Grundwasserhaushalt und der Hochwasserschutz nicht mehr durch einen veränderten Geschiebehaushalt wesentlich beeinträchtigt sind (Abbildung 12).

Zielzustand

Der Zielzustand ist dem Referenzzustand möglichst ähnlich. Die Morphologie und die Sohlenlage müssen aber nicht genau dem Referenzzustand entsprechen. (siehe konkrete Ziele in den Kapiteln 3.3.3-3.3.7). Unwesentliche Beeinträchtigungen sind erlaubt (Abbildung 13). In Auen nationaler Bedeutung wird jedoch der ungeschmälernte Naturzustand angestrebt.

Die Gerinneform im Zielzustand soll dem gleichen Typ (Abbildung 7) zugeordnet werden können wie im Referenzzustand; die Formen dürfen aber weniger stark ausgeprägt sein. Eine quantitative Zieldefinition für die Gerinneform in Funktion der relativen Breiten (Verhältnis Breite zu Abflusstiefe) wird in Schälchli & Hunzinger (2020) vorgeschlagen.

Eine Morphologie und Sohlenlage ähnlich dem Referenzzustand kann sich nur einstellen, wenn:

- ausreichend Raum mit natürlicher Sohle und unbefestigten Uferbereichen vorhanden ist,
- das Abflussregime ähnlich ist wie im Referenzzustand, und
- die Geschiebelieferung ähnlich ist wie im Referenzzustand.

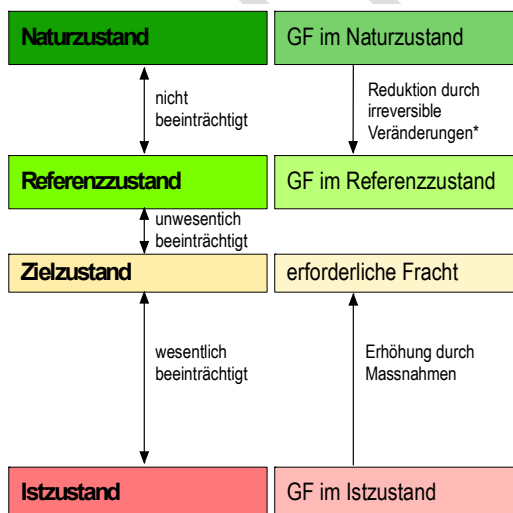


Abbildung 13 > Zielzustand im Verhältnis zu Referenzzustand und Istzustand und die entsprechenden Geschiebefrachten (GF). Adaptiert nach BAFU und EAWAG (2006). *Als irreversible Veränderungen werden bezeichnet: grossräumige Waldrodungen, Trockenlegung von Feuchtgebieten und Gewässerumleitungen in einen See.

Besondere Rahmenbedingungen

Es gibt Sanierungsfälle, wo ausreichend breite Gewässerabschnitte fehlen, die Abflussdynamik stark reduziert ist oder die Geschiebelieferung reduziert ist. Diese besonderen (externen) Rahmenbedingungen verhindern eine naturnahe Morphologie und Sohlenlage. Die oben genannten Ziele können in diesem Fall nicht vollständig erreicht werden und werden «nach unten» angepasst (Abbildung 14).

Bei der Formulierung von besonderen Rahmenbedingungen wird vorausgesetzt, dass die Renaturierungsmassnahmen gemäss strategischer Planung der Kantone, Hochwasserschutzprojekten und Restwassersanierungen nach Art. 31-33 und Art. 80 GSchG umgesetzt sind.

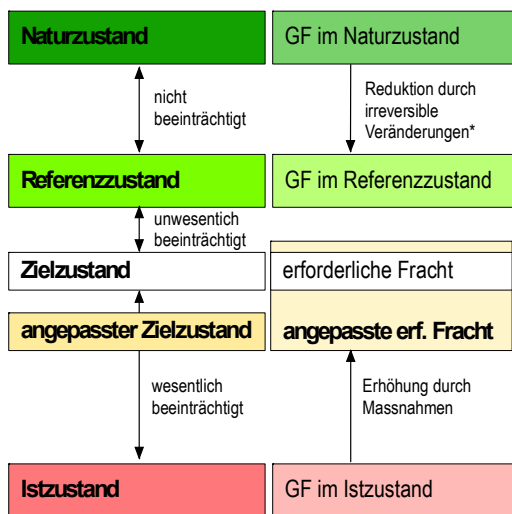







Abbildung 14 > Anpassung der Ziele, wenn unabänderliche besondere Rahmenbedingungen naturnahe Strukturen und Dynamik verhindern. *Als irreversible Veränderungen werden bezeichnet: grossräumige Waldrodungen, Trockenlegung von Feuchtgebieten und Gewässerumleitungen in einen See.

Es gibt insgesamt fünf unterschiedliche Situationen oder Rahmenbedingungen, die bei der Zieldefinition zu beachten sind: Sanierungen in naturnahen Gewässern, in Auengebieten nationaler Bedeutung, in Gewässern mit eingeschränkter Breite, mit verändertem Abflussregime oder veränderter Geschiebelieferung (Tabelle 2). Je nach Situation müssen Details der oben genannten Ziele und Anforderungen angepasst werden. Sie sind in den folgenden Kapiteln 3.3.3 bis 3.3.7 beschrieben.

Tabelle 2 > Übersicht über Rahmenbedingungen und Zieldefinitionen.

Symbolbilder					
Situation	Naturnahe Gewässerabschnitte vorhanden oder durch Revitalisierung möglich	Auengebiet nationaler Bedeutung	Gerinnebreite eingeschränkt	Abflussregime verändert	Geschiebelieferung flussaufwärts verändert
Ziel Morphologie	Morphologie und Dynamik ähnlich wie im Referenzzustand.	Morphologie und Dynamik wie im Referenzzustand .	Reduziert, massgebend ist potenziell erreichbare Gerinnebreite, welche nur durch harte Randbedingungen beschränkt ist («Sollzustand» in Wasserbauprojekten).	Reduziert, situativ skaliert.	Reduziert, abhängig von Geschiebezufuhr.
Ziel Sohlenlage	Längsgefälle ist ähnlich dem Referenzzustand. In Auflandungsstrecken: Längsgefälle ist nicht grösser als Talgefälle.	Sohlenlage wie im Referenzzustand.	Keine Auflandung über das Talgefälle.	Längsgefälle ist ähnlich dem Referenzzustand. Kein Auflandung über das Talgefälle.	Keine Auflandung über das Talgefälle.
Anforderung an die Geschiebefracht	Erforderliche Fracht nach Methoden von Kapitel 3.3.8.	Fracht im Referenzzustand.	Erforderliche Fracht nach Methoden von Kapitel 3.3.8.	Erforderliche Fracht skaliert.	Erforderliche Fracht = Geschiebezufuhr.
Kapitel	3.3.3	3.3.4	3.3.5	3.3.6	3.3.7

3.3.3 Ziele und Anforderungen an Geschiebefracht bei naturnahen Gewässerabschnitten

Situation

In den meisten Fällen gibt es im Gewässersystem naturnahe Gewässerabschnitte oder solche, die sich zu einem naturnahen Gewässerabschnitt revitalisieren lassen (Abbildung 15). Die entsprechenden Abschnitte zeichnen sich dadurch aus, dass ihre Breite nicht eingeschränkt ist oder dass das Potenzial besteht, sie auf die natürliche Sohlenbreite zu verbreitern, dass ihre Wasserführung naturnah ist und dass die Geschiebelieferung einzig durch die sanierungspflichtigen Anlagen beeinflusst ist. Der Gewässerabschnitt ist für morphologische Prozesse ausreichend lang, also mindestens etwa 10-mal so lang wie das Gerinne im Referenzzustand breit ist. Die unten definierten Ziele sind in den bezüglich Breite und Abflussregime naturnahen Abschnitten erreichbar.

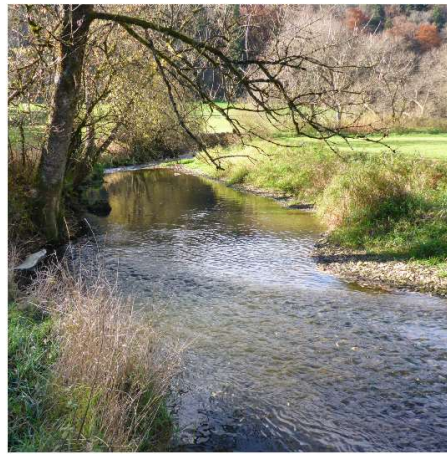
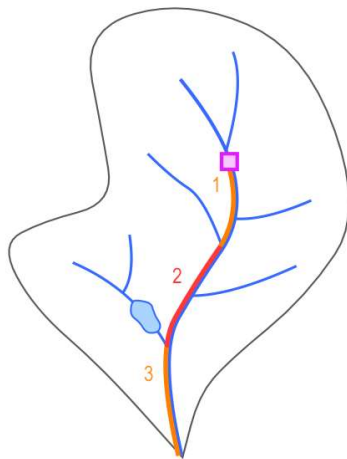


Abbildung 15 > Links: Von den Zielgewässerabschnitten 1 bis 3 gibt es einen naturnahen Abschnitt 2. Rechts: Beispiel Basse Allaine.

Konkrete Ziele für die Morphologie und Sohlenlage

Ziel 1: Morphologie

- Die Gerinneform des Gewässers ist ähnlich wie im Referenzzustand (gleicher Typ).
- Geschiebeablagerungen haben eine ähnliche Ausdehnung und Mächtigkeit wie im Referenzzustand.
- Die örtliche Verteilung der Substrattypen ist anteilmässig ähnlich wie im Referenzzustand. Die Geschiebeablagerungen werden mehr als einmal im Jahr erneuert.

Ziel 2: Sohlenlage

- Die Sohle und der mit dem Fliessgewässer korrespondierende Grundwasserspiegel liegen genügend hoch, so dass das nutzbare Grundwasservorkommen nicht beeinträchtigt ist.
- Das Längsgefälle im Gewässer ist ähnlich wie im Referenzzustand.
- Für Gewässer, welche im Referenzzustand eine Auflandungstendenz haben: Das Längsgefälle im Gewässer ist nicht grösser als das Talgefälle.

Anforderung an die Geschiebefracht

Die Geschiebefracht ist so gross, dass sich in den naturnahen Abschnitten eine Morphologie und Dynamik und eine Sohlenlage wie oben beschrieben einstellen können. Die erforderliche Geschiebefracht kann mit den Methoden von Kapitel 3.3.8 bestimmt werden.

3.3.4 Ziele und Anforderungen an Geschiebefracht bei Auen nationaler Bedeutung

Situation

Eine Anlage verursacht eine wesentliche Beeinträchtigung in einer Aue von nationaler Bedeutung.

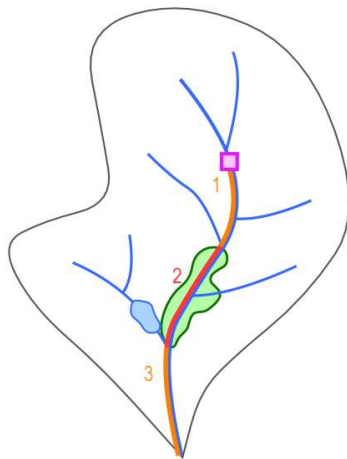


Abbildung 16 > Links: Von den Zielgewässerabschnitten 1 bis 3 gibt liegt Abschnitt 2 in einem Auengebiet nationaler Bedeutung. Rechts: Beispiel Bünz bei Möriken-Wildegg.

Konkrete Ziele für die Morphologie und die Sohlenlage

Die in Art. 4 Auenverordnung festgelegten Schutzziele verlangen die ungeschmälernde Erhaltung und, soweit es sinnvoll und machbar ist, die Wiederherstellung der natürlichen Dynamik des Wasser- und Geschiebehaushalts sowie die Erhaltung der geomorphologischen Eigenart:

Ziel 1: Morphologie

- Die Gerinneform des Gewässers entspricht möglichst dem Referenzzustand.
- Geschiebeablagerungen haben möglichst eine Ausdehnung und Mächtigkeit wie im Referenzzustand.
- Die örtliche Verteilung der Substrattypen ist anteilmässig möglichst wie im Referenzzustand. Die Geschiebeablagerungen werden mehr als einmal im Jahr erneuert.
- Weitere auentypische Strukturen - beispielsweise Trockenterrassen, Altläufe, Giessen oder vermoorte Senken - entsprechen möglichst dem Referenzzustand.

Ziel 2: Sohlenlage

- Die Sohle und der mit dem Fliessgewässer korrespondierende Grundwasserspiegel liegen genügend hoch, so dass auentypische Feuchtgebiete und Giessen wie im Referenzzustand benetzt sind.
- Die Sohle liegt genügend hoch, so dass an das Gewässer angrenzende Auengebiete bei Hochwasser regelmässig überflutet werden.

Anforderungen an die Geschiebefracht

Wenn sinnvoll und machbar sollte die Geschiebefracht der Fracht im Referenzzustand entsprechen. Die Geschiebefracht muss aber mindestens so gross sein, dass sich eine naturnahe Morphologie und Dynamik einstellen kann. Die minimal erforderliche Geschiebefracht kann mit den Methoden von Kapitel 3.3.8 ermittelt werden.

3.3.5 Ziele und Anforderungen an Geschiebefracht bei eingeschränkter Breite

Situation

In einigen Fällen ist die Gewässerbreite auf der ganzen Länge des Zielgewässers unterhalb einer Anlage eingeschränkt und es ist nicht absehbar, dass die natürliche Sohlenbreite je erreicht werden kann, weil zum Beispiel harte Randbedingungen wie Siedlungen oder wichtige Verkehrsinfrastrukturanlagen die verfügbare Breite einschränken (Abbildung 17).

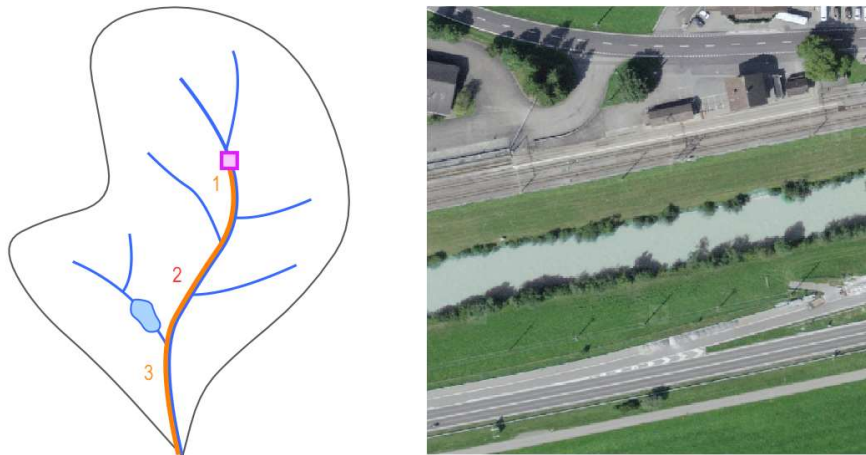


Abbildung 17 > Links: Situation mit eingeschränkter Breite: Von den Zielgewässerabschnitten 1 bis 3 gibt es keinen, in welchem sich eine natürliche Sohlenbreite realisieren liesse. Rechts: eingeschränkte Breite, Symbolbild.

Im Rahmen der Geschiebesanierung wird die *potenziell erreichbare* Gerinnebreite betrachtet, welche nur durch harte Randbedingungen eingeschränkt wird. Sie unterscheidet sich unter Umständen von der Breite, welche später mit einem Revitalisierungsprojekt auch tatsächlich realisiert wird. Letztere ist das Ergebnis eines Aushandlungsprozesses im Rahmen einer Projektierung und kann im Rahmen der Geschiebesanierung nicht vorweggenommen werden.

Konkrete Ziele für die Morphologie und Sohlenlage

Die Ziele wie in naturnahen Gewässerabschnitten (3.3.3) können nicht vollständig erreicht werden und werden angepasst.

Ziel 1: Morphologie

- Die Gerinneform, die Geschiebeablagerungen, die örtliche Verteilung der Substrattypen sind dem Referenzzustand soweit ähnlich, wie aufgrund der potenziell erreichbaren Gerinnebreite möglich.

Ziel 2: Sohlenlage

- Das Längsgefälle im Gewässer ist nicht grösser als das Talgefälle.

Anforderung an die Geschiebefracht

Die Anforderung an die Geschiebefracht ist die gleiche wie bei naturnahen Gewässerabschnitten (3.3.3). Auch bei eingeschränkter Breite kann die Morphologie mit einer Fracht grösser oder gleich $GF_{erforderlich}$ verbessert werden. Das Ziel

der Gerinneform kann wegen der eingeschränkten Breite zwar nicht erreicht werden, aber die Ausdehnung von Kiesablagerungen und die Qualität des Substrats können mit einer höheren Geschiebefracht verbessert werden. Aus der Gesetzgebung lässt sich aber keine Fracht fordern, welche grösser ist als diejenige die notwendig ist, um in einem Zustand ohne einschränkende Randbedingungen die im Gesetz formulierten Ziele zu erreichen.

Wenn die Transportkapazität in einem eingegengten Gewässerabschnitt grösser ist als die erforderliche Geschiebefracht und daraus Erosionsprobleme entstehen, müssen zusätzliche Massnahmen zur Eindämmung der Erosion im Rahmen von Wasserbauprojekten ergriffen werden.

3.3.6 Ziele und Anforderungen an Geschiebefracht bei verändertem Abflussregime

Situation

Unter dem Einfluss der Wasserkraftnutzung kann das Abflussregime in einem Zielgewässer gegenüber dem Abflussregime im Referenzzustand massgeblich verändert sein. Je nach Situation ist der Einfluss auf die Morphologie und die Dynamik eines Gewässers verschieden. Der Einfluss muss daher im Einzelfall analysiert werden. Das hier beschriebene Vorgehen gibt eine Hilfestellung, wie man morphologische Ziele und Anforderungen an die Geschiebefracht festlegen kann, wenn ein verändertes Abflussregime vorliegt. Als verändertes Abflussregime wird ein Regime bezeichnet, bei dem der bettbildende Abfluss (ungefähr HQ_2) gegenüber dem Referenzzustand um mehr als 10 % vermindert ist.

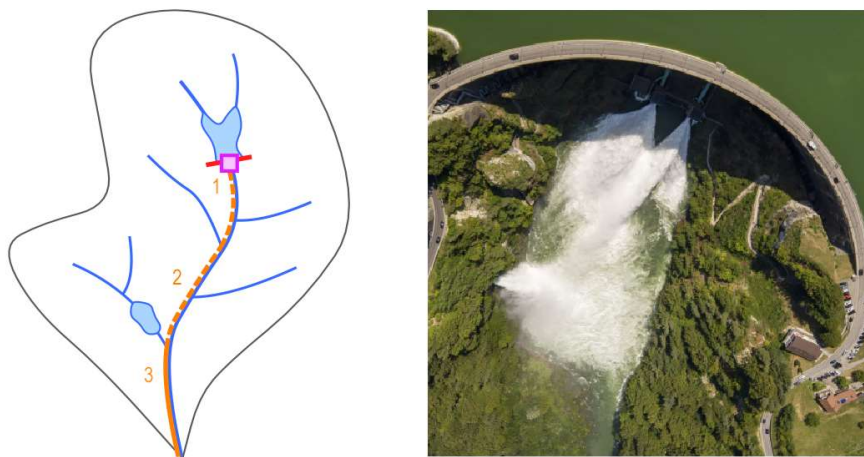


Abbildung 18 > Links: Situation mit reduziertem bettbildendem Abfluss: In den Zielgewässerabschnitten 1 und 2 ist HQ_2 mehr als 10 % kleiner als im Zustand ohne Wasserkraftnutzung. Rechts: Beispiel Staumauer Rossens an der Sarine (Bild: Forschungsgruppe Ökohydrologie ZHAW).

Hinweis: nach dem Zufluss eines oder mehrerer Seitenzubringer nähert sich der bettbildende Abfluss wieder dem Abfluss ohne Wasserentnahmen. Der Betrachtungsperimeter für diesen Fall ist demnach in der Länge begrenzt. Sanierungsmaßnahmen müssen auch auf die Abschnitte ausgerichtet sein, bei denen der Abfluss nicht mehr verändert ist (Gewässerabschnitt 3 in Abbildung 18).

Für das Vorgehen zur Bestimmung der Sanierungsziele ist es sinnvoll unterschiedliche Situationen zu berücksichtigen (Tabelle 3):

Tabelle 3 > Situationen und Vorgehen bei unterschiedlich verändertem Abflussregime

Situation	A) Zielgewässer = Restwasserstrecke unterhalb eines Speichersees ohne oder mit episodischem Abfluss über die Hochwasserentlastung.	B) Zielgewässer = Restwasserstrecke unterhalb eines Speichersees mit periodischem Abfluss über die Hochwasserentlastung.	C) Zielgewässer = Restwasserstrecke eines Laufkraftwerks	D) Das Zielgewässer befindet sich unterhalb der Wasserrückgabe von grossen Speichern.
Beispiel	Grande Dixence Lago di Lei	Kraftwerk Rosens Eitzelwerk Lai dad Ova Spin	Kraftwerk Wildegg-Brugg, Kraftwerk Felsenau	Alpenrhein Reichenau bis Illmündung
Merkmale des veränderten Abflussregimes	Nie oder nur selten Überlauf mit transportrelevanten Abflüssen. (weniger als einmal alle 3 Jahre)	Vereinzelte bis regelmässige Überläufe mit transportrelevanten Abflüssen. (ca. alle 3 Jahre einmal bis dreimal pro Jahr)	Jährlich mehrmals transportrelevante Abflüsse.	Häufig transportrelevante Abflüsse, aber reduzierte Abflussspitzen im Sommer. Verlagerung von Sommer- auf Winterabflüsse.
Ziele Morphologie	Es werden keine Ziele formuliert. Wegen des geringen Abflusses lässt sich die Morphologie durch Geschiebezugaben nicht verbessern.	Die morphologischen Ziele werden «skaliert» (s. unten).	Die morphologischen Ziele werden «skaliert» (s. unten).	Die morphologischen Ziele werden «skaliert» (s. unten).
Anforderung an die Geschiebefracht	$GF_{erforderlich} = 0$	$GF_{erforderlich}$ wird skaliert (s. unten). ¹	$GF_{erforderlich}$ wird skaliert (s. unten). ²	$GF_{erforderlich}$ wird skaliert (s. unten).
Wirkungskontrolle	keine Wirkungskontrolle	keine Besonderheiten	keine Besonderheiten	keine Besonderheiten

¹ Befinden sich im Unterwasser der Anlage ökologisch wertvolle Gewässerstrecken, so sind der Zielzustand, $GF_{erforderlich}$ und allenfalls künstliche Hochwasser sind im Einzelfall zu bestimmen.

² Die Massnahme ist mit den Gewässerabschnitten im Ober- und Unterwasser abzustimmen. Falls vom Oberwasser mehr Geschiebe als in der RW Strecke transportiert werden kann zugeführt wird und im Unterwasser Abschnitte mit grösserer erforderlicher Geschiebefracht bestehen, so ist zum Beispiel durch betriebliche Massnahmen zu gewährleisten, dass die erforderliche Fracht der Unterwasserstrecke durch die Restwasserstrecke transportiert werden kann.

Konkrete Ziele für die Morphologie und Sohlenlage

Die Ziele wie in naturnahen Gewässerabschnitten (3.3.3) können nicht vollständig erreicht werden und werden «nach unten» angepasst.

Ziel 1: Morphologie

- Die Gerinneform, die Kiesablagerungen, die örtliche Verteilung der Substrattypen sind dem Referenzzustand soweit ähnlich, wie aufgrund des veränderten Abflussregimes möglich:

Skalierung des Gewässers

Mit einem veränderten Hochwasserregime wird die Geschiebetransportkapazität verändert und es kann weniger Geschiebe transportiert werden. Damit sich mit dem veränderten Abflussregime eine ähnliche Morphologie wie im Referenzzustand einstellt, muss die Geschiebefracht ebenfalls reduziert werden. Unter diesen Verhältnissen wird die Grösse des Gewässers skaliert. Diese Skalierung ist zulässig, solange die (unveränderten) Korngrössen keinen signifikanten Einfluss auf die Gerinneform haben.

Die Gerinnebreite, welche mit dem reduzierten Abflussregime erreicht werden kann lässt sich in erster Näherung zu

$$BG_{red} = BG \sqrt{\frac{HQ_{red}}{HQ_2}}$$

bestimmen. Darin bezeichnen: BG_{red} die Gerinnebreite bei reduziertem Abfluss, BG die Gerinnebreite mit unverändertem Abflussregime, HQ_2 wird als bettbildender Abfluss im Referenzzustand betrachtet, HQ_{red} ist der massgebende Hochwasserabfluss im veränderten Abflussregime. Für die Situationen C und D (Tabelle 3) entspricht HQ_{red} dem Abfluss HQ_2 des veränderten Regimes. Für Restwasserstrecke unterhalb eines Speichersees mit periodischem Abfluss über die Hochwasserentlastung (Situation B von Tabelle 3) muss HQ_{red} im Einzelfall bestimmt werden.

Ziel 2: Sohlenlage

- Die Sohle und der mit dem Fliessgewässer korrespondierende Grundwasserspiegel liegen genügend hoch, so dass das nutzbare Grundwasservorkommen nicht beeinträchtigt ist.
- Das Längsgefälle im Gewässer ist ähnlich wie im Referenzzustand.
- Das Längsgefälle im Gewässer ist nicht grösser als das Talgefälle.

Anforderung an die Geschiebefracht

Um die erforderliche Geschiebefracht zu bestimmen wird die Methode 1 verwendet. Der Prozentsatz wird allerdings auf eine reduzierte Fracht im Referenzzustand $GF_{Referenz\ red}$ angewandt. Für diese gilt:

$$GF_{Referenz\ red} = GF_{Referenz} \frac{HQ_{red}}{HQ_2}$$

Damit bleibt das Verhältnis von Geschiebefracht und bettbildendem Abfluss gleich wie bei unverändertem Abflussregime.

3.3.7 Ziele und Anforderungen an Geschiebefracht bei veränderter Geschiebelieferung

Situation

In einigen Gewässern wird die Geschiebelieferung aus dem Einzugsgebiet durch Anlagen, die nicht sanierungspflichtig sind oder bei denen eine Sanierung unverhältnismässig ist, gegenüber dem Referenzzustand verändert (zum Beispiel bei Wildbachverbauungen wie Sperren und Wildbachschalen auf dem Schwemmkegel) (Abbildung 19). Wenn dadurch die Geschiebezufuhr im Gewässersystem unterhalb dieser Anlagen kleiner ist als die erforderliche Fracht, ist dies bei den morphologischen Zielen und Anforderungen an die Geschiebefracht im Zielgewässer zu berücksichtigen.

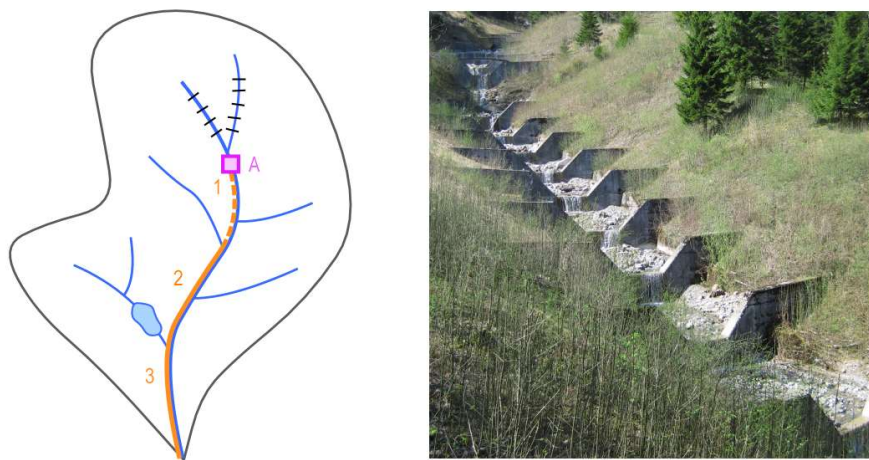


Abbildung 19 > Links: Situation mit reduzierter Geschiebezufuhr zur Anlage A. Geschiebezufuhr durch nicht sanierungspflichtige Anlagen im Einzugsgebiet reduziert, zum Beispiel durch Wildbachverbauungen. Rechts: Beispiel Steinbach Dallenwil, Obwalden.

Konkrete Ziele für die Morphologie und Sohlenlage

Ziel 1: Morphologie

- Die Ziele wie bei naturnahen Gewässerabschnitten können eventuell nicht vollständig erreicht werden und können «nach unten» angepasst werden. Die Gerinneform und die zu erwartende Gerinnebreite bei verminderter Geschiebezufuhr muss in Abhängigkeit der Geschiebezufuhr abgeschätzt werden.

Ziel 2: Sohlenlage

- Für Gewässer, welche im Referenzzustand eine Auflandungstendenz haben: Das Längsgefälle im Gewässer ist nicht grösser als das Talgefälle.

Anforderung an die Geschiebefracht

Die erforderliche Fracht entspricht der Geschiebezufuhr zur Anlage.

3.3.8 Methoden zur Bestimmung der erforderlichen Geschiebefracht

Methode «Gerinneform»

Die 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 eines kiesführenden Gewässers.

Dabei wird die erforderliche Geschiebefracht folgendermassen ermittelt: Sie entspricht einem prozentualen Anteil der Fracht im Referenzzustand. Bei Flüssen und Bächen, die im Referenzzustand verzweigt sind, ist der Prozentsatz höher als bei solchen, die im Referenzzustand ein gewundenes Gerinne aufwiesen:



Verzweigte Gerinne mit mehr als 2 Teilgerinnen. 80 %
Beispiel: Hinterrhein bei Rhäzüns.



Verzweigte Gerinne mit 2 Teilgerinnen. 75 %
Beispiel: Alpenrhein bei Kriessern.



Gewundene Gerinne mit Inseln und Bänken. 70 %
Beispiel: Limmat bei Dietikon.



Gewundene Gerinne mit Bänken. 65 %
Beispiel: Aare bei Wynau.



Mäandrierende Gerinne ohne Geschiebeführung. --
Beispiel: Aare bei Grenchen



Gestreckte und gewundene Gerinne. 65 %
Beispiel: Chirel im Diemtigtal.

Abbildung 20 > Die erforderliche Geschiebefracht ist ein Anteil der Geschiebefracht im Referenzzustand in Abhängigkeit der Gerinneform im Referenzzustand

Die Prozentwerte sind mit den für morphologische Prozesse typischen Unsicherheiten behaftet. Diese Unsicherheiten sind aber klein im Vergleich zu den Unsicherheiten bei der Bestimmung der Fracht im Referenzzustand, welche letztlich entscheidender fürs Ergebnis sind. Aus diesem Grund ist es wichtig, die Geschiebefracht im Referenzzustand so gut wie möglich, also auf Basis verschiedener und plausibler Grundlagen oder Annahmen abzuschätzen (vgl. Kapitel 3.2.5). Die Anwendung der Methode ist im Anhang E beschrieben.

Methode «Substrat»

Bei gestreckten und gewundenen Gewässern steiler als 3 % empfehlen wir zusätzlich die erforderliche Geschiebefracht qualitativ anhand der Verteilung von Substrattypen und dem Kolmationsgrad abzuschätzen. In Abhängigkeit des Zustands der Sohle wird beurteilt ob die Geschiebefracht im Gewässer ausreicht oder ob sie erhöht werden muss. Die Methode ist im Anhang E beschrieben.

Methode «Sohlenlage»

Die Methode Sohlenlage wird zur Überprüfung der Auswirkungen eines veränderten Geschiebehaushalts auf den Grundwasserhaushalt und den Hochwasserschutz angewandt.

Die Auswirkungen auf den Grundwasserhaushalt werden nur in Gewässerabschnitten mit Grundwasservorkommen und inventarisierten Auengebieten untersucht. Dabei wird überprüft, ob es infolge des veränderten Geschiebehaushalts zu einer wesentlichen Veränderung des Grundwasserspiegels gekommen ist. Als Indikatoren werden die Lage der Gewässersohle und des Grundwasserspiegels im Istzustand und im Referenzzustand verwendet. In Auengebieten kann zudem der Zustand der Auenvegetation berücksichtigt werden. Hat sich die Lage der Gewässersohle und des Grundwasserspiegels zwischen Ist- und Referenzzustand wesentlich verändert, so liegt eine wesentliche Beeinträchtigung des Grundwasserhaushalts vor.

Eine wesentliche Beeinträchtigung des Hochwasserschutzes liegt vor, wenn sich die Sohlenlage infolge verändertem Geschiebehaushalt wesentlich verändert hat. Als Indikatoren werden der Verlauf der Sohle im Istzustand und im Referenzzustand sowie der Verlauf des Talgefälles verwendet. Falls sich der Verlauf der Sohle infolge verändertem Geschiebehaushalt zwischen Ist- und Referenzzustand wesentlich verändert hat und das Längsgefälle kleiner als das Talgefälle ist, so ist von einer wesentlichen Beeinträchtigung des Hochwasserschutzes infolge verändertem Geschiebehaushalt auszugehen. Die Methode ist im Anhang E beschrieben.

Die Anwendung der Methode Sohlenlage auf Basis des Vergleichs von Sohlenlage, Gefälle und Grundwasserspiegel ist nur in Gewässerabschnitten ohne Einschränkung der Breite möglich. In eingeeengten Gewässerabschnitten wird der Verlauf der Sohlenlage durch die Einengung dominiert. In diesem Fall ist eine entsprechende Beurteilung nur mit aufwändigen morphologischen Modellberechnungen möglich.

In der Regel kann aber davon ausgegangen werden, dass bei Erfüllung des Kriteriums Gerinneform der Grundwasserhaushalt und der Hochwasserschutz durch den veränderten Geschiebehaushalt nicht mehr signifikant beeinflusst wird.

Hintergrund der Methoden

Die Methoden wurden gezielt zur Umsetzung der Gewässerschutzgesetzgebung entwickelt. Die Anwendung der Methoden stellt ein gesetzeskonformes Vorgehen sicher. Andere Methoden zur Bestimmung der erforderlichen Geschiebefracht sind auch erlaubt, wenn sie die gesetzlichen Anforderungen erfüllen.

Die ermittelten erforderlichen Geschiebefrachten sind als bestmögliche Schätzung bei Sanierungs- und Wasserbauprojekten anzusehen. Auf Basis der ermittelten erforderlichen Fracht werden Massnahmen erarbeitet, mit dem Ziel einen dynamischen und ausgeglichenen Geschiebehaushalt zu erhalten. Mit Wirkungskontrollen wird überprüft, ob die Geschiebefracht ausreicht, um die Sanierungsziele zu erreichen und ob sie angepasst werden muss.

Die Herleitung der Methode «Gerinneform» wurde von Schälchli und Hunzinger (2020) dokumentiert.

3.4 Das Sanierungsziel für Anlagen festlegen (Arbeitsschritt 3)

Ziel und Ergebnis des Arbeitsschritts

Mit diesem Arbeitsschritt sollen aus den Zielen für die Gewässer und der entsprechenden erforderlichen Geschiebefracht konkrete Sanierungsziele für eine Anlage abgeleitet werden.

Als Ergebnis des Arbeitsschritts wird erwartet:

- Eine konkrete Vorgabe zur Geschiebefracht im Unterwasser einer Anlage. Angabe als Geschiebevolumen in m^3 pro Jahr, welches unterhalb der Anlage im Gewässer transportiert werden soll⁵, oder
- Eine Vorgabe zur Häufigkeit von Geschiebetransportereignissen. Angabe als Anzahl Ereignisse pro Jahr, an denen im Unterwasser der Anlage Geschiebe transportiert werden soll.

Vorgehen bei einer und mehreren Anlagen im Gewässersystem

Besteht an einem Fliessgewässer nur eine sanierungspflichtige Anlage, entspricht das Sanierungsziel für die Anlage der erforderlichen Geschiebefracht für das Gewässer.

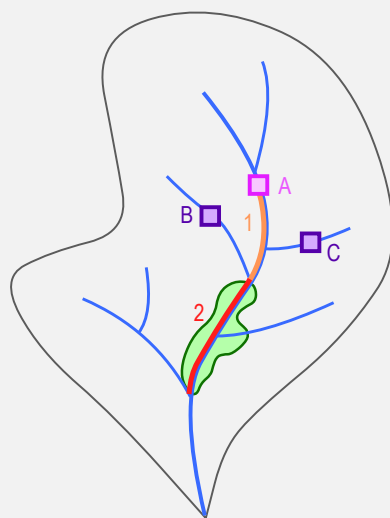
Sind in einem Gewässersystem mehrere Anlagen vorhanden, welche den Geschiebehaushalt verändern, muss das Sanierungsziel für die einzelnen Anlagen individuell festgelegt werden. Das nachfolgende Beispiel zeigt, dass bei gleichbleibendem Ziel für den Geschiebehaushalt des Gewässers verschiedene Sanierungsziele für eine Anlage möglich sind. Unter Umständen kann das Sanierungsziel für die Anlage erst definitiv festgelegt und verfügt werden, nachdem im Rahmen eines Variantenstudiums die optimale Massnahmenkombination für das gesamte Gewässersystem gefunden wurde.

⁵

Durchschnittswert über einige Jahre.

Im Gewässersystem von **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** verändern drei Anlagen (A, B und C) den Geschiebehaushalt und sind sanierungspflichtig. Anlage A hält von 1000 m^3 zugeführtem Geschiebe 800 m^3 zurück und lässt 200 m^3 passieren. Die Anlagen B und C halten sämtliches Geschiebe zurück, nämlich jeweils $200 \text{ m}^3/\text{a}$ und $100 \text{ m}^3/\text{a}$.

Gewässerabschnitte 1 und 2 sind Zielgewässer. Für den Gewässerabschnitt 1 wurde eine erforderliche Geschiebefracht von $700 \text{ m}^3/\text{a}$ festgelegt, für den Gewässerabschnitt 2, welcher in einem Auengebiet liegt, eine erforderliche Geschiebefracht von $1000 \text{ m}^3/\text{a}$.



	Anlage A	Anlage B	Anlage C
Geschiebezufuhr	1000	200	100
Rückhalt	800	200	100
Durchgang	200	0	0
	Abschnitt 1		Abschnitt 2
Erforderliche Geschiebefracht	700		1000

alle Werte in m^3/a

Abbildung 21 > Abstimmen des Sanierungsziels pro Anlage bei mehreren Anlagen im Gewässersystem. Fiktives Beispiel mit den Anlagen A, B und C und zwei Gewässerabschnitten mit unterschiedlicher erforderlicher Geschiebefracht.

Die erforderlichen Geschiebefrachten lassen sich auf zwei Arten erreichen. Erstens: Anlage A lässt neu 70 % des zugeführten Geschiebes durch, also $700 \text{ m}^3/\text{a}$, und Anlagen B und C jeweils 100 %; oder zweitens: Anlage A lässt 100 % des zugeführten Geschiebes durch und Anlagen B und C müssen kein Geschiebe durchlassen. Damit wird die erforderliche Fracht in Gewässerabschnitt 1 übertroffen, was zulässig ist, sofern der Geschiebeeintrag in diesen Abschnitt zu keinem Hochwasserschutzproblem führt.

3.5 Einen Massnahmenkatalog erarbeiten (Arbeitsschritt 4)

3.5.1 Einführung

Ziele und Ergebnisse des Arbeitsschrittes

Mit diesem Arbeitsschritt sollen alle Massnahmen, mit denen die Geschiebefracht im Unterlauf einer bestimmten Anlage erhöht werden kann, gesammelt und beschrieben sein. Die Massnahmen sollen der Planungsstufe entsprechend so detailliert beschrieben sein, dass ihre Wirkung und ihre Kosten in den nachfolgenden Schritten beurteilt werden können.

Als Ergebnisse des Arbeitsschrittes werden erwartet:

- 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 in Kapitel 3.6 formulierten Beurteilungskriterien.
- Eine Kostenschätzung für die Massnahmen.

3.5.2 Mögliche Massnahmen

Bei Wasserkraftanlagen sind Massnahmen zum Durchleiten des Geschiebes der Zugabe von Kies zu bevorzugen. Bei allen Anlagentypen ist auch ein vollständiger Rückbau der Anlage als Massnahme denkbar, sofern dies verhältnismässig ist. Zu den einzelnen baulichen und zu betrieblichen Massnahmen werden im Anhang Hinweise für die Planung und Projektierung gegeben (Anhang F).

Tabelle 4: Mögliche Massnahmen

		Fluss und Ausleitkraftwerke	Speicherkraftwerke	Hochwasserrückhaltebecken	Geschiebesammler	Wasserbauliche Kiesentnahmen	Kommerzielle Kiesentnahmen	Gewässerverbauungen
Bauliche Massnahmen								
M 1.1	Wehrumbau	x						
M 1.2	Grundablassstollen umbauen		x					
M 1.3	Geschiebeumleitstollen		x					
M 1.4	Auslaufbauwerk umbauen, erst bei seltenen Hochwasserabflüssen eingestaut			x	x			
M 1.5	Abflussrinne zur Geschiebedurchleitung bei kleinen Hochwasserereignissen				x			
M 1.6	Anpassen der Anordnung von Rechenstäben				x			
M 1.7	Bauliche Hochwasserschutzmassnahmen entlang des Gewässers				x	x		
M 1.8	Rückbau von Querbauwerken und Zulassen von Sohlenerosion					x		x
M 1.9	Rückbau von Ufersicherungen und Zulassen von Seitenerosion							x
M 1.10	Beseitigen von Engstellen im Gerinne					x		
M 1.11	Errichten eines Geschiebeablagerungsplatzes im Nebenschluss					x		
M 1.12	Rückbau	x	x	x	x	x	x	x
Betriebliche Massnahmen								
M 2.1	Absenken Staupegels bei Hochwasser	x						
M 2.2	Optimierung Stauraumspülung und -entleerung	x	x					
M 2.3	Stauraum mit Geschiebe verlanden lassen, bis die Kontinuität wiederhergestellt ist	x			x			
M 2.4	Kies im Unterwasser zugeben	x	x	x	x	x		
M 2.5	Künstliche Hochwasser	x	x					
M 2.6	Entnahme reduzieren oder ganz einstellen						x	

3.5.3 Massnahmen bei Hochwasserschutz- und Revitalisierungsprojekten

Hochwasserschutz- und Revitalisierungsprojekte bilden eine wichtige Grundlage für erfolgreiche Renaturierungen. Damit sie den Anforderungen an die Geschiebehaushaltssanierung genügen, sind die Projekte so zu konzipieren, dass

- möglichst keine Entnahmen notwendig sind (ausser bei natürlichen Auflandungsstrecken),
- Ablagerungen möglich sind. Notwendige Interventionen sollen z. B. nicht vorbeugend getätigt werden, sondern erst nachdem sich die angestrebten morphologischen Strukturen durch Ablagerungen haben bilden können,
- bei notwendigen Entnahmen oder Interventionen Ort und Zeitpunkt auch nach ökologischen und morphologischen Aspekten gewählt werden,

- das Längsgefälle möglichst nicht unter das Längsgefälle im Referenzzustand reduziert wird. In weiterhin eingengten Abschnitten kann dieses Längsgefälle unterschritten werden, solange die Transportkapazität nicht kleiner ist, als in Abschnitten ohne Einschränkung der Gerinnebreite.
- soweit möglich kein Geschiebedefizit unterhalb des Projektperimeters entsteht.

3.5.4 Auswirkungen auf Hochwasserschutz und Grundwasserhaushalt prüfen und minimieren

Mit Geschiebemaßnahmen wird die Geschiebefracht im Unterlauf der Anlage gegenüber dem Istzustand erhöht. Die erforderliche Geschiebefracht wurde im Arbeitsschritt 2 so festgelegt, dass in Gewässerabschnitten ohne Einschränkung der Sohlenbreite keine Tendenz zur Sohlenerosion mehr besteht.

Je nach Änderung der Geschiebefracht (klein, mittel, gross), des Schadenpotenzials und Gewässertyp sind die Auswirkungen der Massnahmen auf den Hochwasserschutz abzuklären. Abhängig vom möglichen Ablagerungsprozess kann sich die Massnahme unterschiedlich auf den Hochwasserschutz auswirken (Tabelle 5). Zur genauen Abklärung der Auswirkungen stehen verschiedenen Methoden zur Verfügung (Tabelle 6).

Führt die grössere Geschiebefracht zu unerwünschten Ablagerungen, welche die Abflusskapazität so verändert, dass der Hochwasserschutz entlang dieses Abschnittes wesentlich beeinträchtigt würde, muss die Geschiebefracht reduziert werden. Die Hochwassergefahr darf nicht grösser werden. Es ist zu prüfen, ob auch begleitende Hochwasserschutzmassnahmen notwendig und möglich sind, z. B. das Entfernen von Sperren zum Absenken der Sohle oder eine massvolle Anpassung des Terrains und der Böschungsoberkanten, um sowohl die Ziele der Geschiebesanierung als auch das Interesse am Schutz vor Hochwasser zu berücksichtigen. Die begleitenden Hochwasserschutzmassnahmen sind dann Teil der Massnahme zur Sanierung des Geschiebehauhalts und müssen in die Kostenschätzung und in die Bewertung von Massnahmenvarianten einberechnet werden. Können keine begleitenden Massnahmen zum Hochwasserschutz ergriffen werden, wird die Beeinträchtigung des Hochwasserschutzes als negative Wirkung der Massnahme in der Variantenbewertung berücksichtigt (vgl. Tabelle 9).

Tabelle 5 > Auswirkung möglicher Ablagerungsprozesse auf den Hochwasserschutz

Ablagerungsprozess	Wesentliche Beeinträchtigung des Hochwasserschutzes
Lokale Bankbildung	nein
Lokale Anhebung der Sohle	abklären
Anhebung der Sohle mit Erhöhung des Längsgefälles über eine längere Strecke ($\geq 10 \cdot$ Sohlenbreite)	abklären (siehe Tabelle 6)

Gibt es keine verhältnismässige Massnahme, mit welcher die in Arbeitsschritt 3 definierten Ziele erreicht werden können, ohne dass der Hochwasserschutz durch die Massnahme wesentlich beeinträchtigt würde, müssen alternative Massnahmen geprüft werden, welche die Ziele gegebenenfalls nur teilweise erreichen (vgl. auch die Ausführung in Kapitel 3.7).

Tabelle 6 > Mögliche Methoden zur Abklärung der Auswirkungen auf den Hochwasserschutz

Prozessanalyse und qualitative Beurteilung	Siehe Tabelle 5
Morphologische Modellberechnungen	Anhand von morphologischen Modellberechnungen wird abgeklärt, ob die Erhöhung der Geschiebefracht zu einer signifikanten Anhebung der Sohle und des Hochwasserspiegels führt. Dazu möglichst bewährte Modelle verwenden, deren Modelleinstellungen (Geschiebetransportformel, Berechnung der Schubspannung, etc.) an mehrfach vermessenen Gewässern mit bekannter Geschiebefracht (vollständige Kiesentnahme, Deltaablagerrung, etc.) kalibriert und erprobt wurden.
Auswerten von Vermessungen	Die Gewässersohle wird vor und nach Erhöhung der Geschiebefracht in den bezüglich Geschiebetransport limitierenden Abschnitten vermessen. Die Auswertung zeigt, ob die Sohle auflandet. Die Anhebung des Hochwasserspiegels kann durch hydraulische Berechnungen ermittelt werden. Falls ältere Vermessungen verfügbar sind, sollten diese ebenfalls ausgewertet werden. Damit kann aufgezeigt werden, ob infolge der erhöhten Geschiebefracht frühere Eintiefungen (infolge des ausgelösten Geschiebedefizits) kompensiert wurden.

Die quantitative wie auch qualitative Auswirkungen der Massnahmen auf das Grundwasser sind ebenfalls bei der Auswahl der Massnahmen zu berücksichtigen. Dazu gehören insbesondere Auswirkungen auf Fassungen im öffentlichen Interesse bzw. Grundwasserschutzzonen oder Grundwasserschutzzonen, bei welchen auch die Bestimmungen des planerischen Grundwasserschutzes einzuhalten sind. Ebenso sind Störungen der Vegetation durch Änderungen des Grundwasserspiegels zu beachten.

3.5.5 Kostenschätzung

Als Grundlage für die Beurteilung und Bewertung von verschiedenen Massnahmenvarianten – insbesondere für die Beurteilung der Verhältnismässigkeit des Aufwands – müssen die Kosten der Massnahmen ermittelt werden. Die Kostenschätzung muss die folgenden Positionen mit einer der Vorstudie entsprechenden Genauigkeit der Kostenschätzung von $\pm 30\%$ beinhalten:

- Investitionskosten
 - Projektierungskosten
 - Baukosten
 - Landerwerb
 - Risikokosten
- Wiederkehrende Kosten
 - Kosten für betriebliche Massnahmen

- Kosten für den Unterhalt von Bauten und Anlagen⁶
- Ertragseinbussen infolge Minderproduktion bei Massnahmen an Wasserkraftanlagen
- Kosten für die Wirkungskontrolle

Damit man die Kosten von baulichen und betrieblichen Massnahmen miteinander vergleichen kann, sollen entweder die Investitionskosten in jährliche Kosten umgerechnet werden oder die jährlichen Kosten über die Betriebsdauer kapitalisiert werden. Bei Massnahmen an Wasserkraftanlagen wird eine Betriebsdauer von 40 Jahren eingesetzt. Das entspricht der in der Gesetzgebung veranschlagten Dauer der Finanzierung von betrieblichen Massnahmen (Anhang 3, Ziffer 1, EnV). Bei Massnahmen an nicht-Wasserkraftanlagen wird als Betriebsdauer die Lebensdauer von Bauwerken betrachtet, welche in der Regel 80 Jahre beträgt.

3.6 Massnahmenvarianten erarbeiten und bewerten (Arbeitsschritt 5)

3.6.1 Einführung

Ziele und Ergebnisse des Arbeitsschritts

Mit diesem Arbeitsschritt sollen aus dem Katalog von Massnahmen jene ausgewählt werden, welche die definierten Ziele für das Gewässer erfüllen, machbar und verhältnismässig sind.

Als Ergebnis des Arbeitsschritts wird erwartet:

- 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.

Aus dem im vorhergehenden Arbeitsschritt erarbeiteten Katalog von Massnahmen werden die machbaren Massnahmen zu Varianten kombiniert. Eine Variante umfasst Massnahmen an den verschiedenen Anlagen in einem Einzugsgebiet oder Gewässersystem, welche aufeinander abgestimmt sind.

Die Varianten werden nach verschiedenen Kriterien beurteilt. Die Kriterien stützen sich auf die Anforderungen von Art. 43a Abs. 2 GSchG, wonach sich die Massnahmen richten nach

- dem Grad der Beeinträchtigungen des Gewässers,
- dem ökologischen Potenzial des Gewässers,
- der Verhältnismässigkeit des Aufwandes,
- den Interessen des Hochwasserschutzes und

⁶

Diese Kosten sind allerdings nicht anrechenbar und werden nicht entschädigt.

- den energiepolitischen Zielen zur Förderung erneuerbarer Energien.

3.6.2 Verhältnismässigkeit des Aufwandes

Im Zentrum der Beurteilung einer Massnahme steht das Verhältnis zwischen Aufwand und angestrebter Wirkung. Dieses wird mit Hilfe einer Kosten-Wirkungs-Analyse ermittelt.

Die direkte Wirkung der Massnahme kann anhand der Geschiebefracht beurteilt werden. Dazu werden die zwei Kriterien Geschiebefracht und Dynamik sowie Länge des Gewässerabschnittes mit verbessertem Geschiebehaushalt herangezogen. Die Länge des Gewässerabschnittes mit verbessertem Geschiebehaushalt kann zwischen den Varianten variieren, zum Beispiel, wenn verschiedene Geschiebezugabestellen in Frage kommen.

Für die beiden Kriterien wird in Tabelle 7 ein Bewertungsschema vorgeschlagen. Im konkreten Einzelfall können die Bewertungen mit Punkten versehen und die beiden Kriterien gewichtet werden, womit ein Grad der Zielerreichung bestimmt werden kann. Gleichzeitig muss für die beiden Kriterien eine Zielgrösse festgelegt werden, d.h. es muss festgelegt werden, welche Bewertung (einzeln je Kriterium oder kombiniert) eine Massnahme im Mindesten aufweisen muss. Beim Kriterium «Geschiebefracht und Dynamik» ist das Ziel erreicht, wenn die Geschiebefracht der erforderlichen Fracht entspricht, beim Kriterium «Länge des Gewässerabschnittes», wenn ein grosser Anteil der wesentlich beeinträchtigten Strecke aufgewertet wird. Massnahmen, welche bei einem der Kriterien mit dem Minimum bewertet werden, werden als wirkungslos und nicht geeignet bezeichnet. Sie sind in dem Fall unabhängig ihrer Kosten nicht verhältnismässig und sollen nicht weiterverfolgt werden. Die Kriterien werden auf den Abschnitt im Gewässersystem mit der höchsten erforderlichen Geschiebefracht oder mit der grössten Bedeutung angewandt.

Tabelle 7 > Mögliche Bewertungen für die Beurteilung der Wirkung von Massnahmen.

Beurteilungskriterium	Ziel	Mögliche Bewertung
Geschiebefracht und Dynamik	→	<p>max Die Geschiebefracht erreicht das Niveau der Geschiebefracht im Referenzzustand oder alles Geschiebe wird durch die Anlage durchgeleitet.</p> <p>... Die Geschiebefracht erreicht das Niveau der erforderlichen Geschiebefracht.</p> <p>... Die Geschiebefracht wird gegenüber heute erhöht, die erforderliche Geschiebefracht wird aber nicht erreicht.</p> <p>min Die Geschiebefracht wird nicht erhöht oder die Dynamik im Gewässer wird durch begleitende Massnahmen (zum Beispiel Massnahmen zum Hochwasserschutz) eingedämmt.</p>
Länge des Gewässerabschnittes mit verbessertem Geschiebehauhalt	→	<p>max Der Geschiebehauhalt wird auf der gesamten wesentlich beeinträchtigten Gewässerstrecke verbessert.</p> <p>... Der Geschiebehauhalt wird auf einem grossen Teil der wesentlich beeinträchtigten Gewässerstrecke verbessert.</p> <p>... Der Geschiebehauhalt wird auf einem kleinen Teil der wesentlich beeinträchtigten Gewässerstrecke verbessert.</p> <p>min Der Geschiebehauhalt wird nur auf einem sehr kleinen Teil der wesentlich beeinträchtigten Strecke verbessert.</p>

Fiktives Beispiel Kosten-Wirkungsanalyse

In einem fiktiven Beispiel werden fünf Massnahmenvarianten für die Sanierung des Geschiebehaushalts einer kleinen Stauanlage beurteilt:

Variante 1: Absenken des Stauziels bei Hochwasser und Durchleiten sämtlichen Geschiebes durch die Anlage.

Variante 2: Entnahmen von Geschiebe bei der Stauwurzel und Zugabe eines Teils davon im Unterwasser der Anlage.

Variante 3: Bau eines Geschiebeumleitstollens, durch den bei Hochwasser sämtliches Geschiebe um die Anlage herumgeleitet wird.

Varianten 4 und 5: nicht näher spezifiziert.

In Abbildung 22 werden für die fünf Varianten die Wirkung den Kosten gegenüber aufgetragen (siehe auch Tabelle 8). Mit den Varianten V1 bis V3 werden die gesetzten Ziele erreicht, mit den übrigen Varianten nicht. Die Varianten V4 und V5 werden also nicht weiterverfolgt.

Tabelle 8 > Kosten-Wirkungsanalyse.

	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Wirkung			
Grad der Zielerreichung	gut erreicht	knapp erreicht	gut erreicht
Kosten			
Investitionskosten [Mio. CHF]	0.6	0.3	1.2
jährliche Kosten der Investition [CHF/a]	13'500	6'750	27'000
Wiederkehrende Kosten			
betriebl. Massnahmen [CHF/a]	10000	22000	10000
Unterhalt von Bauwerken [CHF/a]	4'000	2'000	8'000
Ertragseinbussen [CHF/a]	5'000	0	0
Total jährliche Kosten [CHF/a]	32'500	30'750	45'000
Wirkung im Verhältnis zu den Kosten	hoch	mittel	mittel

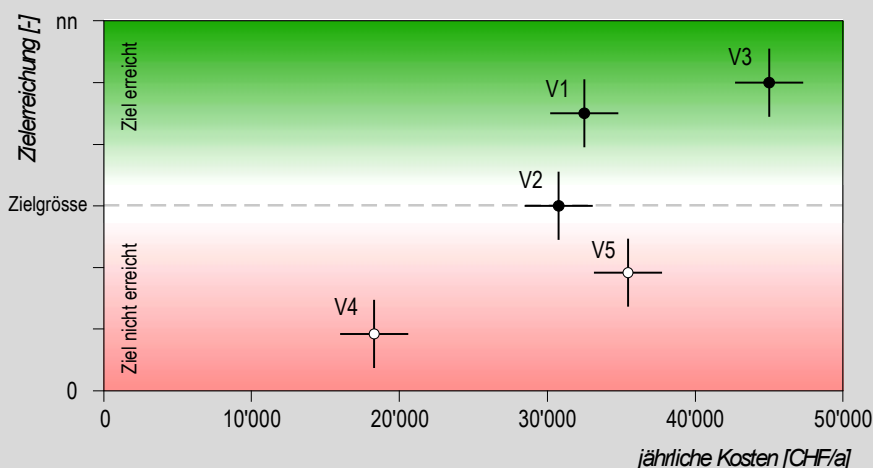


Abbildung 22 > Vergleich von Massnahmenvarianten: Bewertung von Wirkung und Kosten. Auf der Abszisse sind die jährlichen Kosten der Massnahmen aufgetragen, auf der Ordinate der Grad der Zielerreichung (Wirkung). Mit den Varianten V1 bis V3 werden die gesetzten Ziele erreicht, mit den Varianten 4 und 5 nicht.

3.6.3 Grad der Beeinträchtigung, ökologisches Potenzial, Interessen des Hochwasserschutzes und energiepolitische Ziele

Neben der Verhältnismässigkeit des Aufwandes richten sich die Massnahmen nach weiteren Kriterien: dem Grad der Beeinträchtigung des Gewässers, dem ökologischen Potenzial des Gewässers, den Interessen des Hochwasserschutzes und den energiepolitischen Zielen zur Förderung erneuerbarer Energien. Diese Kriterien sind deshalb für jede Variante zu bewerten, entsprechende Bewertungsvorschläge sind in Tabelle 9 aufgeführt. Auen von nationaler Bedeutung weisen grundsätzlich einen hohen ökologischen Wert und damit ein hohes ökologisches Potenzial auf.

Tabelle 9 > Set von Kriterien für die Beurteilung von Massnahmen.

Beurteilungskriterium	Mögliche Bewertung
Beeinträchtigung der Geschiebeführung im Istzustand	<p>max Der Grad der Beeinträchtigung im Istzustand ist sehr stark.</p> <p>... Der Grad der Beeinträchtigung im Istzustand ist stark.</p> <p>min Der Grad der Beeinträchtigung im Istzustand ist wesentlich.</p>
Ökologisches Potenzial des Gewässers mit verbesserter Geschiebeführung	<p>max Das Gewässer liegt in einem Auengebiet von nationaler Bedeutung.</p> <p>... Das Gewässer ist ökomorphologisch wenig beeinträchtigt oder naturnah oder eine Revitalisierung in absehbarer Zukunft bringt einen grossen Nutzen für Natur und Landschaft.</p> <p>... Das Gewässer ist ökomorphologisch stark beeinträchtigt oder naturfremd und eine Revitalisierung bringt einen mittleren Nutzen für Natur und Landschaft.</p> <p>min Das Gewässer ist ökomorphologisch stark beeinträchtigt oder naturfremd und es besteht kein Nutzen für Natur und Landschaft einer Revitalisierung.</p>
Auswirkungen auf die Hochwassersicherheit (sofern nicht durch begleitende Massnahmen abgewendet)	<p>keine Die Abflusskapazität im Gerinne wird nicht oder nur unwesentlich verändert und es werden keine Hochwasserschutzziele verletzt.</p> <p>... Die Hochwasserschutzziele für die Objektkategorie 2.2 werden mit der Massnahme verletzt⁷.</p> <p>... Die Hochwasserschutzziele für die Objektkategorie 2.3 und 3.1 werden mit der Massnahme verletzt.</p> <p>gross Die Hochwasserschutzziele für die Objektkategorien 3.2 und 3.3 werden mit der Massnahme verletzt.</p>

⁷ Objektkategorien und Hochwasserschutzziele nach BRP, BWG & BUWAL (2005): Raumplanung und Naturgefahren.

Beeinträchtigung der Produktion erneuerbarer Energie (nur bei Massnahmen an Wasserkraftanlagen beurteilen)	keine	Die Stromproduktion der Wasserkraftanlage wird nicht tangiert.
	...	Die Stromproduktion der Wasserkraftanlage wird nur unwesentlich vermindert.
	...	Die Stromproduktion der Wasserkraftanlage wird wesentlich vermindert.
	gross	Die Stromproduktion der Wasserkraftanlage wird verunmöglicht.

Beim Variantenvergleich können weitere Aspekte eine Rolle bei der Bewertung spielen, wie zum Beispiel das nationale Eingriffsinteresse an der Energieproduktion⁸ (insbesondere bei Auen von nationaler Bedeutung), Emissionen (z. B. CO₂-Emissionen und Lärmbelastung bei Kiestransporten), Ressourcenverbrauch (z. B. Landbedarf bei baulichen Massnahmen), erhöhte Trübung oder der Einfluss auf das Grundwasser (z. B. bei einer Massnahme in einer Grundwasserschutzzone einer im öffentlichen Interesse liegenden Grundwasserfassung). Diese Aspekte müssen fallweise berücksichtigt werden.

Fiktives Beispiel Die drei verbleibenden Varianten aus dem Beispiel des vorangehenden Kapitels werden gemäss Tabelle 10 bewertet.

Tabelle 10 > Bewertungsmatrix

	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Verhältnismässigkeit des Aufwandes	hoch	mittel	mittel
Grad der Beeinträchtigung im Istzustand	stark	stark	stark
Ökologisches Potential	gross	gross	gross
Beeinträchtigung der Hochwassersicherheit	keine	keine	keine
Beeinträchtigung der Produktion erneuerbarer Energie	gering	keine	keine

3.7 Die Bestvariante festlegen (Arbeitsschritt 6)

Ziel und Ergebnis des Arbeitsschritts

Mit diesem Arbeitsschritt soll die Bestvariante festgelegt werden, damit diese verfügt werden kann.

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

⁸ Ab wann bei Wasserkraftanlagen von einem nationalen Eingriffsinteresse auszugehen ist, wird in Art. 8 Abs. 1 Energieverordnung (EnV, SR 730.01) präzisiert. Neue Wasserkraftanlagen sind von nationalem Interesse, wenn sie über eine mittlere erwartete Produktion von jährlich mindestens 20 GWh oder eine mittlere erwartete Produktion von jährlich mindestens 10 GWh und über mindestens 800 Stunden Stauinhalt bei Volleistung verfügen. Bestehende Wasserkraftanlagen sind von nationalem Interesse, wenn sie durch die Erweiterung oder Erneuerung eine mittlere erwartete Produktion von jährlich mindestens 10 GWh erreichen oder eine mittlere erwartete Produktion von jährlich mindestens 5 GWh erreichen und über mindestens 400 Stunden Stauinhalt bei Volleistung verfügen.

Gesamtbeurteilung

Die Wahl der am besten geeigneten Massnahme (Bestvariante) erfordert eine Gesamtbeurteilung hinsichtlich der in Kapitel 3.6 definierten Kriterien. Dazu sind, besonders in komplizierteren Fällen, eine Gesamtsicht der Problematik, Erfahrung und Experten-Know-how notwendig.

Bei der vorzunehmenden Interessenabwägung handelt es sich um ein Werturteil, welches im Einzelfall gefällt werden muss und welches sich daher nur bis zu einem gewissen Grad schematisieren lässt. Gleichwohl ist die Wahl der Bestvariante in jedem Fall nachvollziehbar zu dokumentieren und zu erläutern.

Grundsätzlich muss die Bestvariante 1) die Sanierungsziele erreichen, 2) die kostengünstigste Variante sein und 3) möglichst die Durchgängigkeit der Anlage herstellen.

Fiktives Beispiel Im Beispiel von Kapitel 3.6 wurden von den fünf ursprünglichen Massnahmenvarianten die Varianten V1 bis V3 bewertet. Die Variante V1 wird aus folgenden Gründen als Bestvariante festgelegt:

- Sie erreicht das Ziel zusammen mit Variante 3 am besten.
- Sie hat einen ähnlich grossen Nutzen wie Variante 3, ist aber wesentlich günstiger.
- Sie ist ähnlich teuer wie Variante 2, hat aber einen deutlich grösseren Nutzen als diese.
- Die Variante 1 erfüllt den Grundsatz, dass die Durchgängigkeit der Anlage vollständig hergestellt wird.

Verhältnismässigkeit

Die Bestvariante kann dann zur Umsetzung verfügt werden, wenn sie als verhältnismässig betrachtet wird, das heisst, wenn sie die folgenden Kriterien erfüllt:

- Die Massnahme ist geeignet, die Sanierungsziele zu erreichen.
- Die Massnahme ist erforderlich, d. h. es liegt einerseits eine wesentliche Beeinträchtigung gemäss Art. 43a GSchG vor und andererseits kann das Sanierungsziel nicht mit einer mildereren, sprich kostengünstigeren, Massnahme erreicht werden.
- Die Massnahme weist einen Aufwand auf, der zur angestrebten Wirkung in einem vernünftigen Verhältnis steht.
- Die Massnahme ist zumutbar, d. h. der Eingriff in die Rechtsstellung von Privaten wiegt nicht schwer im Vergleich zum verfolgten öffentlichen Interesse. Zudem hat die Massnahme keine anderen, übermässig negativen Wirkungen.

Teilsanierungen und Konzessionserneuerung

Es kann sich erweisen, dass eine Massnahme, welche die gewünschte Wirkung für die Geschiebefracht erreicht, im konkreten Einzelfall als unverhältnismässig bezeichnet werden muss. Das ist der Fall, wenn ihre Kosten im Verhältnis zum Nutzen viel zu hoch sind oder wenn die Interessen des Hochwasserschutzes und

die energiepolitischen Ziele zur Förderung erneuerbarer Energie übermässig beschnitten würden.

In solchen Ausnahmefällen, bei denen keine verhältnismässige Massnahme gefunden werden kann, welche das Sanierungsziel vollständig erreicht, müssen alternative Massnahmen geprüft werden, welche die Ziele teilweise erreichen. Diese Massnahmen müssen ebenfalls ein vernünftiges Verhältnis zwischen Aufwand und Wirkung aufweisen und die wesentliche Beeinträchtigung von Tieren, Pflanzen und deren Lebensräumen mindestens teilweise beseitigen. Wird eine solche Teilsanierung umgesetzt, gilt die Anlage als teilsaniert und das Sanierungsverfahren nach Art. 83a GSchG ist abgeschlossen und die Anlage wird aus der Sanierungspflicht entlassen.

Gibt es auch keine verhältnismässige Teilsanierung, gilt die Anlage als nicht saniert, das Sanierungsverfahren nach Art. 83a GSchG ist aber abgeschlossen und die Anlage wird aus der Sanierungspflicht entlassen.

Bei einer späteren Konzessionserneuerung von nicht oder nicht vollständig sanierten Anlagen hat die Konzessionsbehörde folgende Grundsätze zu beachten:

- Bei der Konzessionserneuerung muss der Gesuchsteller grundsätzlich das geltende Recht einhalten. Dazu gehört auch Artikel 43a GSchG.
- In der Umweltverträglichkeitsprüfung ist aufzuzeigen, welche Beeinträchtigung des Gewässers durch einen veränderten Geschiebehaushalt besteht und ob es verhältnismässige Massnahmen gibt, um diese zu beheben.

Ohne triftige Gründe⁹ kann die Behörde bei gleicher Ausgangslage bei der Konzessionserneuerung nicht zu einem anderen Schluss kommen wie im Sanierungsverfahren. Entscheidend ob eine neue Konzession trotz Teilsanierung erteilt werden kann, ist immer die Gesamtinteressenabwägung.

3.8 Mit anderen Massnahmen am Gewässer koordinieren (Arbeitsschritt 7)

Ziele und Ergebnisse des Arbeitsschritts

Mit diesem Arbeitsschritt soll gezeigt werden, wie die Massnahmen zur Sanierung des Geschiebehaushaltes auf andere Massnahmen am Gewässer abgestimmt werden können.

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

⁹ Gründe, die für eine Neubeurteilung sprechen, können bspw. sein: a) Mit der Konzessionserneuerung werden Änderungen an der Anlage (z.B. Ausbau, Erweiterung) beantragt, b) Änderung der gesetzlichen Grundlage seit dem Sanierungsverfahren, c) falsche Beurteilung im Sanierungsverfahren, d) wesentliche Änderungen am Gewässer, welche im Rahmen des Sanierungsverfahren nicht berücksichtigt wurden, e) technische Neuerungen, die im Sanierungsverfahren noch nicht bekannt waren, f) Veränderung der wirtschaftlichen Situation.

Koordination mit Revitalisierungen

Der Geschiebetransport entfaltet seine ökologische Wirkung in naturnahen oder revitalisierten Gewässern am besten. Umgekehrt ist die Wirkung von Revitalisierungen in der Regel gering, wenn das Strukturbildende Geschiebe nicht in der erforderlichen Menge herangeführt wird. Aus diesem Grund ist es wichtig, dass Massnahmen zur Sanierung des Geschiebehaushaltes und solche zur Revitalisierung eng aufeinander abgestimmt sind und zeitnah umgesetzt werden.

Koordination mit Massnahmen zum Hochwasserschutz

Die Nutzung von Synergien und Opportunitäten zum Schutz vor Hochwasser und zur Revitalisierung von Fliessgewässern ist bei wasserbaulichen Vorhaben die Regel. Dementsprechend können und sollen auch Massnahmen zur Sanierung des Geschiebehaushaltes mit jenen des Hochwasserschutzes und umgekehrt kombiniert werden. Potenzielle Zielkonflikte zwischen Hochwasserschutz und Geschiebehaushaltssanierung sollten schon bei der Massnahmenplanung gelöst worden sein.

Koordination mit Massnahmen an Wasserkraftanlagen

Bei Wasserkraftanlagen werden gegebenenfalls auch Massnahmen zur Sanierung von Schwall und Sunk, der freien Fischwanderung oder Massnahmen zur Sicherung oder Sanierung Restwassermengen ergriffen. Aus Sicht des Anlageninhabers kann es sinnvoll sein, diese Massnahmen mit Massnahmen zur Sanierung des Geschiebehaushaltes zu kombinieren, insbesondere dann, wenn sie bauliche Veränderungen der Anlage erfordern.

Zeitpunkt der Umsetzung von Massnahmen

Die oben genannten Optionen der Koordination bedeuten nicht, dass Massnahmen zur Sanierung des Geschiebehaushaltes erst zum Zeitpunkt einer Revitalisierung oder einer Sanierungsmassnahme von Schwall und Sunk ergriffen werden sollen. Weil grössere Gewässersysteme träge auf Veränderungen im Sedimenthaushalt reagieren, sollen Massnahmen zur Sanierung des Geschiebehaushaltes immer so rasch als möglich eingeleitet werden. In den meisten Gewässersystemen gibt es Flussabschnitte, in welchen eine Sanierung des Geschiebehaushaltes auch ohne Revitalisierung eine Wirkung entfalten kann. Spätestens bis Ende 2030 muss mit der Umsetzung der Massnahmen begonnen worden sein.

3.9 Das Konzept der Wirkungskontrolle festlegen (Arbeitsschritt 8)

Ziele und Ergebnisse des Arbeitsschritts

Mit diesem Arbeitsschritt soll festgelegt werden, wie und in welchem Umfang die Wirkung der Massnahmen kontrolliert wird.

Als Ergebnisse des Arbeitsschrittes werden erwartet:

- Das Vorgehen zur Funktionskontrolle.
- Eine Liste der gewählten Indikatoren und eine Begründung für deren Wahl.
- Die Bezeichnung der Untersuchungsabschnitte inkl. Vergleichsstrecken.
- Der Zeitplan für die Erhebungen inkl. der Nullmessung.
- Die voraussichtlichen Kosten der Wirkungskontrolle.

- Die Koordination mit Wirkungskontrollen bei anderen Massnahmen.
- Details zu Zweck, Vorgehen und Umfang der Wirkungskontrolle sind in Kapitel 4 aufgeführt. In Anhang H sind mögliche Indikatoren ausführlich beschrieben.

3.10 Vereinfachtes Vorgehen

Beim vereinfachten Vorgehen werden Massnahmen zur Sanierung des Geschiebehaushaltes schrittweise umgesetzt. Die Geschiebefracht wird schrittweise erhöht, bis im besten Fall sämtliches in den Anlagen zurück gehaltenes Geschiebe dem Gewässer zur Verfügung steht. Ein besonderes Augenmerk wird auf die Wirkungskontrolle gelegt, welche primär dazu dient, die Massnahmen zu optimieren und die Grenzen der möglichen Geschiebefracht auszuloten. Die Arbeitsschritte können dann sehr viel einfacher bearbeitet werden:

- Arbeitsschritt 1: Die Situationsanalyse beschränkt sich darauf aufzuzeigen, um welches Mass die Geschiebefracht von den Anlagen reduziert wird. Man kann darauf verzichten, die Morphologie im Referenz- und im Istzustand zu beschreiben.
- Arbeitsschritt 2: Die erforderliche Geschiebefracht des Gewässers entspricht der grösstmöglichen Geschiebefracht, welche transportiert werden kann, ohne dass unverhältnismässige begleitende Hochwasserschutzmassnahmen notwendig sind. Die Fracht wird nicht a priori definiert, sondern empirisch während der Massnahmenumsetzung ermittelt.
- Arbeitsschritt 3: Das Sanierungsziel für die Anlage ist die möglichst vollständige Geschiebedurchgängigkeit.
- Arbeitsschritt 4: Der Massnahmenkatalog ist grundsätzlich der gleiche wie in Kapitel 3.5 beschrieben. In kleinen Einzugsgebieten mit nur einer Anlage ist das Spektrum möglicher Massnahmen jedoch oft begrenzt.
- Arbeitsschritt 5: Wichtigstes Kriterium für die Beurteilung der Wirkung der Variante ist die Länge des Gewässerabschnitts mit verbessertem Geschiebehaushalt.
- Arbeitsschritt 6: Zwei Aspekte bestimmen die Wahl der Bestvariante: Die Kosten und die Möglichkeit, Massnahmen schrittweise zu erweitern.
- Arbeitsschritt 7: Die Koordination mit anderen Massnahmen im Einzugsgebiet entfällt häufig.
- Arbeitsschritt 8: Die Wirkungskontrolle dient vor allem dazu, das Funktionieren der Massnahme aufzuzeigen und sie bei Bedarf nach oben oder nach unten anzupassen.

Fiktives Beispiel

In einem fiktiven Beispiel mündet ein kleiner Bach in einen See. Das Gewässer ist ein Fischgewässer. Als einzige sanierungspflichtige Anlage besteht ein Geschiebesammler oberhalb des Siedlungsgebiets.

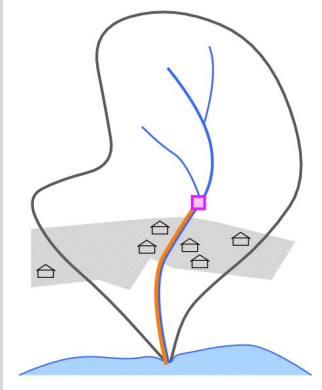


Abbildung 23 > Fiktives Beispiel: Kleines Einzugsgebiet mit einem Geschiebesammler (rosa Quadrat) oberhalb des Siedlungsgebiets (graue Fläche).

- Arbeitsschritt 1:** Aus der periodischen Bewirtschaftung des Sammlers wird abgeleitet, dass im Sammler im langjährigen Durchschnitt 25 m^3 Geschiebe zurückgehalten werden.
- Arbeitsschritt 4:** Folgende Massnahmen sind denkbar: Auslaufbauwerk des Geschiebesammlers umbauen (M1.4); Rückbau des Geschiebesammlers (M1.12); Kies aus dem Sammler unterhalb des Siedlungsgebiets zugeben (M2.4) sowie eine Kombination von M1.4 und M2.4.
- Arbeitsschritt 5:** Der Rückbau des Geschiebesammlers (M1.12) verlangt nach aufwändigen und unverhältnismässigen begleitenden Hochwasserschutzmassnahmen im Siedlungsgebiet. Diese Massnahmen werden deshalb nicht empfohlen. Weil sich eine geeignete Kiesrückgabestelle erst unterhalb des Siedlungsgebiets befindet, kann die Massnahme M2.4 ihre Wirkung nur auf einem kurzen Abschnitt des Gewässers entfalten.
- Arbeitsschritt 6:** Eine Kombination von Massnahmen wird als Bestvariante gewählt: Auslaufbauwerk umbauen (M1.4) und Kies im Unterwasser zugeben (M2.4). Dabei wird vorerst die bauliche Massnahme M1.4 umgesetzt und nach einigen Jahren mit der betrieblichen Massnahme M2.4 ergänzt. Die Kieszugaben werden so lange erhöht, als keine Ablagerungen auf der Sohle die Hochwassersicherheit beeinträchtigen.
- Arbeitsschritt 8:** Es werden die Indikatoren zum Funktionieren der Massnahme erhoben (Anhang H) und in kritischen Querschnitten die Sohle vermessen. Die Indikatoren werden alle zwei Jahre erhoben.

4 Wirkungskontrolle

4.1 Einführung

Zweck der Wirkungskontrolle

Die Wirkungskontrolle bildet zusammen mit der Umsetzungskontrolle (vgl. Kapitel 2.1) die Erfolgskontrolle. Mit der Wirkungskontrolle soll gezeigt werden, dass mit den Massnahmen die Geschiebefracht des Gewässers tatsächlich im erforderlichen Mass erhöht wurde und dass die wesentlichen Beeinträchtigungen des Gewässers durch einen veränderten Geschiebehaushalt bei bestehenden Anlagen beseitigt und bei Neuanlagen verhindert wurden.

Die Wirkungskontrolle dient auch der Optimierung von Massnahmen, vor allem von betrieblichen Massnahmen. Damit kann den Unsicherheiten bei der Bestimmung der Anforderungen, der Dimensionierung der Massnahmen und der Prognose der Auswirkungen begegnet werden. Ganz besonders kommt das bei der erstmaligen Umsetzung von Massnahmen zum Tragen.

Schliesslich dient die Wirkungskontrolle dazu, der Öffentlichkeit Rechenschaft über die sinnvolle Verwendung der Ressourcen abzugeben,

Damit von den Erfahrungen aus einzelnen Massnahmen auch weitere Sanierungsprojekte in anderen Gewässern profitieren können, müssen Vorgehen und Methodik der Wirkungskontrollen möglichst einheitlich sein.

Arbeitsschritte

Das Vorgehen der Wirkungskontrolle beinhaltet vier Arbeitsschritte (Abbildung 24). Zunächst wird der Istzustand des Gewässers vor der ersten Umsetzung der Massnahme erhoben. Nach Umsetzung der Massnahme wird ihre Zweckmässigkeit geprüft (Funktionskontrolle) und zu definierten Zeitpunkten der Zustand des Gewässers erneut erhoben. Mit den Resultaten aus diesen Messungen wird die Zielerreichung überprüft und daraus der Bedarf für Anpassungen der Massnahmen abgeleitet.

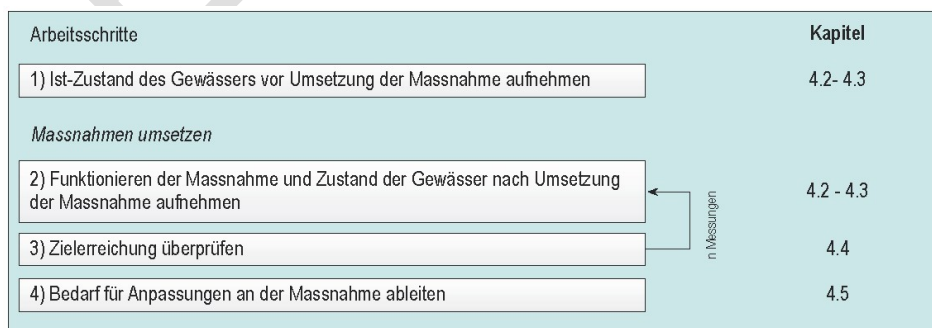


Abbildung 24 > Arbeitsschritte der Wirkungskontrolle. Je nach Indikator sind mehrere Messungen erforderlich, um die Wirkung aufzeigen zu können.

Koordination

Die Wirkungskontrolle sollte mit derjenigen anderer Gewässerschutzmassnahmen – vor allem Revitalisierungen und Sanierung der Fischwanderung – koordiniert werden. Damit können Doppelspurigkeiten bei den Messungen vermieden und Synergien, beispielsweise bei der Erhebung biotischer Indikatoren, genutzt werden. Einzelne der weiter unten aufgeführten Indikatoren werden auch bei der nationalen Wirkungskontrolle für Revitalisierungen empfohlen (BAFU 2020).

Aufwand der Wirkungskontrolle

Der Aufwand für die Wirkungskontrolle muss in einem vernünftigen Verhältnis

- zum Aufwand und Bedeutung der Sanierungsmassnahme und
- zur ökologischen Bedeutung des Gewässers

stehen. Aus diesem Grund werden je nach Umfang der Massnahme und ökologischer Bedeutung des Gewässers unterschiedliche Indikatoren für die Wirkungskontrolle verwendet.

4.2 Indikatoren

Mit Indikatoren wird kontrolliert, ob die gesetzten Ziele erreicht werden, das heisst ob die Massnahmen die gewünschte Wirkung entfalten. Die hier vorgeschlagenen biotischen und abiotischen Indikatoren (Tabelle 11 und Tabelle 12) eignen sich um zu zeigen, ob Massnahmen funktionieren, ob die Geschiebefracht erhöht wurde, ob die konkreten Ziele zur Morphologie und Sohlenlage erreicht wurden und ob das übergeordnete Ziel für *Tiere, Pflanzen und ihre Lebensräume* erreicht wurde.

Indikatoren haben eine gute Aussagekraft und sind zweckmässig, wenn sie:

- messbar sind,
- stark auf die Massnahmen reagieren,
- zeitnah reagieren,
- möglichst unabhängig von anderen Einflussfaktoren sind,
- nicht oder nur schwach mit anderen, gleichzeitig erhobenen Indikatoren korrelieren.

Tabelle 11 > Abiotische Indikatoren

Indikator	Was wird überprüft?
▪ Ablagerungen von Geschiebe in Anlagen oder an Zugabestellen	Funktionieren einer Massnahme
▪ Geschiebefracht	Erreichen der erforderlichen Geschiebefracht
▪ die Gerinneform	Erreichen der konkreten und der übergeordneten Sanierungsziele
▪ die Ausdehnung von Kiesablagerungen	
▪ die Verteilung von Substrattypen an der Sohlenoberfläche	
▪ die innere Kolmation der Gewässersohle	
▪ die Veränderung der Höhenlage des Talwegs	
▪ die Veränderung der mittleren Sohlenlage	

Tabelle 12 > Biotische Indikatoren

Indikator	Was wird überprüft?
▪ das Vorkommen von Forellenbrütlingen	Erreichen der übergeordneten Sanierungsziele
▪ das Vorkommen von jungen Bachforellen	
▪ die Anzahl von Laichgruben in Gewässern der Forellenregion	
▪ die Anzahl und Dichte von Brütlingen und Larven der Äsche	
▪ die Anzahl von Jungfischen von rheo-lithophilen (kieslaichenden) Arten	

Je nach zu sanierendem Gewässerabschnitt und insbesondere für Auen sind weitere biotische Indikatoren zu untersuchen, die auch amphibische und terrestrische Lebensräume und Organismen beschreiben. Weil die Erhebung und Auswertung dieser Indikatoren jedoch deutlich aufwendiger sind als für die o. g. Indikatoren, sollen sie nur fallweise einbezogen werden und ihre Anwendung gegebenenfalls mit der Erfolgskontrolle von Revitalisierungen koordiniert werden:

- die Zusammensetzung und Abundanz des Makrozoobenthos
- die Sukzession von Pflanzengesellschaften oder Pflanzenformationen
- die Zusammensetzung der Laufkäferfauna
- die Zusammensetzung der Kleinsäugerfauna
- die Brut des Flussregenpfeifers.

Die Indikatoren und Erhebungsmethoden sowie die zu beachtenden Besonderheiten sind im Anhang H beschrieben.

Gestützt auf die bisherigen Erfahrungen zu Aufwand, Kosten und Aussagekraft der verschiedenen Indikatoren wird vorgeschlagen, die abiotischen Indikatoren immer und die biotischen Indikatoren fallweise anzuwenden. Von den biotischen Indikatoren sollen primär diejenigen zur Fischfauna (Brüttingsvorkommen im Frühling und Jungfischvorkommen im Herbst) in die Wirkungskontrolle einbezogen werden. Indikatoren zum Funktionieren der Massnahme müssen in jedem Fall betrachtet werden.

Messintervalle und -dauer

Messung vor Umsetzung: Die Zustandserhebung vor Umsetzung der Massnahme («Nullmessung») ist notwendig, damit die Wirkung der Massnahme überhaupt qualitativ und quantitativ ermittelt werden kann.

Intervalle: Das Messintervall ist abhängig von der Art des Indikators. Neben regelmässigen Messintervallen ist ein ereignisbasiertes Monitoring in Betracht zu ziehen, beispielsweise nach Hochwasserereignissen oder vor und nach künstlichen Hochwassern.

Saisonalität biotischer Indikatoren: Die zu prüfenden biotischen Indikatoren sind stark saisonabhängig. Deshalb muss die Wirkungskontrolle frühzeitig geplant werden. Im Hinblick auf die Klimaerwärmung sind dabei auch Verschiebungen gegenüber den bisherigen Perioden möglich welche bei der Planung zu berücksichtigt werden müssen.

Schwankungen durch Aufnahmen in mehreren Jahren ausgleichen: Weiter ist zu berücksichtigen, dass biologische Parameter häufig starke interannuelle Schwankungen aufweisen, die auf verschiedenste Einflüsse zurückgeführt werden können. Dies bedeutet, dass die entsprechenden Indikatoren mehrmals und über längere Zeitperioden erhoben werden müssen, um einigermaßen zuverlässige Aussagen zu ermöglichen.

Dauer: Die Dauer der Wirkungskontrolle richtet sich nach der Reaktionszeit der massgebenden Prozesse. Weil Veränderungen im Geschiebehaushalt sich erst mit Hochwassern manifestieren, kann dies unterschiedlich lang dauern. Der Geschiebehaushalt von grossen Gewässern reagiert zudem träge auf Veränderungen. Unter Umständen müssen mehrere geschiebeführende Hochwasserereignisse abgewartet werden, ehe bei manchen Indikatoren Veränderungen nachgewiesen werden können (siehe Kapitel 4.3).

Mess- und Kontrollabschnitte

Es werden jene Abschnitte untersucht, für welche die Ziele gemäss Kapitel 3 definiert wurden. Dies entspricht den Abschnitten, wo aufgrund der Gewässerbreite oder der hydraulischen Situation eine besonders grosse Wirkung erwartet wird. Die Anzahl zu bearbeitender Messabschnitte ist abhängig von der Länge des durch die Sanierungsmassnahme beeinflussten Gewässerabschnittes.

Weiter ist zu überlegen – zumindest für die biotischen Indikatoren – ob ein Kontrollabschnitt in die Untersuchungen einbezogen werden soll, der nicht von den Sanierungsmassnahmen beeinflusst wird. Dieser liegt in der Regel oberhalb der zu sanierenden Anlage. Damit können übergeordnete Einflüsse auf die Biozönose abgeschätzt werden, die nicht in Zusammenhang mit der Sanierung des Geschiebehaushaltes stehen. Dazu gehören insbesondere Klimaveränderung, Hochwasserhäufigkeit und -intensität, Parasiten- und Prädatorenhäufigkeit, Wassernutzung (Schwall-Sunk, Restwasser) und weitere anthropogene Einflüsse.

4.3 Umfang der Wirkungskontrolle

Der Umfang der Wirkungskontrolle richtet sich nach der Gewässergrösse, weil diese in der Regel stark korreliert mit:

- der Ereignisdynamik und damit der Reaktionszeit des Gewässers
- der ökologischen Bedeutung des Gewässers
- der Grösse und dem Aufwand der Sanierungsmassnahme.

Im Folgenden werden daher für vier typische Gewässergrössen die zu erhebenden Indikatoren, die Messintervalle und die Dauer der Erfolgskontrolle vorgeschlagen (s. auch Tab. 9). Der Indikator zur Prüfung der Funktion der Massnahme muss – ausser beim vollständigen Rückbau der Anlage – immer erhoben werden.

Kleine Gewässer

Für Anlagen in kleinen Fliessgewässern ist eine umfassende Wirkungskontrolle in der Regel unverhältnismässig. Eine einfache Wirkungskontrolle anhand der Indikatoren «Substrattypen» und «Innere Kolmation der Gewässersohle» und «Veränderung der mittleren Sohlenlage» ist ausreichend.

Beim vereinfachten Vorgehen in kleinen Einzugsgebieten, reicht es, das Funktionieren der Massnahme aufzuzeigen (Indikatoren «Ablagerungen in der Anlage oder an Zugabestellen» oder «Geschiebefracht») und zu prüfen, ob mit den Massnahmen die Hochwassersicherheit nicht über Gebühr vermindert wird (Indikator «Veränderung der mittleren Sohlenlage»).

Mittlere Gewässer

In Fliessgewässern mittlerer Grösse (zum Beispiel Ergolz, Gürbe, Reppisch) ist das Sanierungsprojekt im Kontext des gesamten Wirkungsabschnittes und dessen ökologischer Bedeutung zu betrachten. Bei geringer ökologischer Bedeutung des betroffenen Abschnittes ist die Aufnahme abiotischer Indikatoren ausreichend. Bei grösserer ökologischer Bedeutung sind auch biotische Indikatoren zur Fischfauna, insbesondere solche, welche die Fortpflanzung der Forelle beschreiben, mehrmals zu erheben. Dabei wird ein Zeitraum von fünf Jahren als Mindestdauer betrachtet.

Grosse Gewässer

In grossen Fliessgewässern (zum Beispiel Areuse, Emme, Simme, Thur) ist das Sanierungsprojekt mit Bezug zur ökologischen Bedeutung des gesamten betroffenen Abschnittes zu betrachten. Sind in absehbarer Zeit (< 10 Jahre) keine weiteren Revitalisierungen vorgesehen, oder beschränken sich die Auswirkungen der Geschiebehaushaltssanierung auf einen kurzen Gewässerabschnitt (< 3 km) mit geringer ökologischer Bedeutung, kann die Wirkungskontrolle auf die zwei- bis dreimalige Aufnahme abiotischer Indikatoren reduziert werden. Werden weitere Revitalisierungen geplant oder ist die ökologische Bedeutung gross, ist eine Wirkungskontrolle mit abiotischen und biotischen Indikatoren vorzusehen. Der Untersuchungszeitraum sollte sich dabei je nach Massnahme (einmalig oder wiederholt über mehrere Jahre) über fünf bis sieben und mehr Jahre erstrecken. Die biotischen Indikatoren müssen jährlich erhoben werden, um Auswirkungen der Massnahmen auf die kieslaichende Fischfauna mit einiger Sicherheit erkennen zu können.

Sehr grosse Gewässer

Bei grossen Flüssen (zum Beispiel Aare ab Thun, Alpenrhein und Hochrhein, Limmat ab Zürich, Reuss ab Luzern, Rhone ab Visp, Ticino ab Bellinzona) muss die Wirkungskontrolle auf einen Zeitraum von mindestens 5 – 10 Jahren nach Realisierung der Sanierungsmassnahmen ausgerichtet werden. Dabei sollten die abiotischen Indikatoren alle zwei Jahre oder ereignisbezogen nach grösseren Hochwassern, die biotischen Indikatoren jährlich aufgenommen werden. Bei der Interpretation der biologischen Daten sind auch die jeweiligen Abflussverhältnisse und Temperaturentwicklungen zu berücksichtigen, um übergeordnete Einflüsse auf die Bestandsentwicklung der kieslaichenden Fischarten zu erkennen. Um Art und Umfang der Sanierungsmassnahmen zu verifizieren und deren Wirkung zu überprüfen, soll anhand der Zwischenresultate in zwei- bis dreijährigen Intervallen vorläufige Bilanz gezogen und die Massnahmen bei Bedarf angepasst werden.

Tabelle 13: Indikatortypen nach Gewässergrösse und ökologischer Bedeutung.

Gewässergrösse	Einzugsgebietsgrösse, Mittlerer Abfluss	Ökologische Bedeutung	Abiotische Indikatoren	Biotische Indikatoren
Kleine	< 20 km ² < 0.5 m ³ /s	gering-mittel	●*	–
Mittel	20 – 200 km ² 0.5 – 5.0 m ³ /s	gering-mittel	●	–
		gross	●	●
Gross	200 – 2'000 km ² 5.0 – 50 m ³ /s	gering-mittel (keine Revitalisierung absehbar oder sanierter Abschnitt < 3 km)	●	–
		gross (Revitalisierung absehbar, oder sanierter Abschnitt ≥ 3 km)	●	●
Sehr gross	> 2'000 km ² > 50 m ³ /s	gross	●	●

* mit begrenzter Anzahl Indikatoren, s. Haupttext.

4.4 Zielerreichung überprüfen

Mit der Auswertung der Messgrössen der verschiedenen Indikatoren kann der Grad der Zielerreichung überprüft werden. Dazu wird der Zustand vor Umsetzung der Massnahmen (Istzustand) und der Zustand nach Umsetzung mit dem Zielzustand verglichen.

Das Ziel ist grundsätzlich erreicht, wenn die massgebenden Indikatoren den Wert «gut» erreichen. Abweichungen von dieser Stufe sind bei einzelnen Indikatoren zulässig. Der systematische Vergleich der Zustände (siehe fiktives Beispiel in Abbildung 25) dient als Interpretationshilfe. Im konkreten Einzelfall muss das Ergebnis jedoch mit einem Expertenurteil validiert werden.

Indikator (Beispiel)	Ist-Zustand			Zustand nach Massnahmen		
	Messabschnitt			Messabschnitt		
	a	b	c	a	b	c
Geschiebefracht	2	2	1	5	4	3
Gerinneform	3	3	2	4	3	3
Kiesbänke	2	1	1	4	4	3
Substrattypen	2	1	1	4	4	4
Kolmation	1	2	1	4	4	4
biot. Indikator 1	2	2	2	4	4	2
biot. Indikator 2	2	2	1	4	4	3

Bewertung

5 sehr gut

4 gut

3 mässig

2 unbefriedigend

1 schlecht

Abbildung 25 > Bestimmung der Zielerreichung der Massnahme. Fiktives Beispiel.

4.5 Nachbesserung der Massnahme

Aus der Wirkungskontrolle können Konsequenzen für die Massnahme abgeleitet werden, denn die Wirkungskontrolle ist Teil eines Optimierungsprozesses (Abbildung 26). Folgende Szenarien sind denkbar:

- Alle Indikatoren werden als gut bewertet (für Abweichungen bei einzelnen Indikatoren s. Kapitel 4.4): Die Massnahme wird im gleichen Umfang fortgeführt.
- Weder der Indikator Geschiebefracht noch die übrigen abiotischen und die biotischen Indikatoren werden als gut bewertet: Die Massnahme ist ungeeignet oder im Umfang nicht ausreichend und muss angepasst werden.
- Der Indikator Geschiebefracht wird gut bewertet, die übrigen abiotischen und die biotischen Indikatoren aber nicht: Entweder reicht die Dauer der Massnahme für die Zielerreichung noch nicht aus, dann wird die Massnahme fortgeführt, oder die erforderliche Geschiebefracht muss nach oben korrigiert werden und die Massnahme muss angepasst werden.
- Der Indikator Geschiebefracht wird höchstens als mässig bezeichnet, die übrigen abiotischen und die biotischen Indikatoren aber als gut: die Massnahme wird im gleichen Umfang fortgeführt, die erforderliche Geschiebefracht kann nach unten korrigiert werden.

Sollte sich aus der Wirkungskontrolle zeigen, dass die umgesetzten Massnahmen Sanierungsziele nicht erreichen, können vom Kanton zusätzliche Massnahmen verfügt werden. Bei Wasserkraftanlagen kann in diesem Fall die Inhaberin wiederum ein Gesuch um Kostenentschädigung nach Artikel 28 EnV stellen.

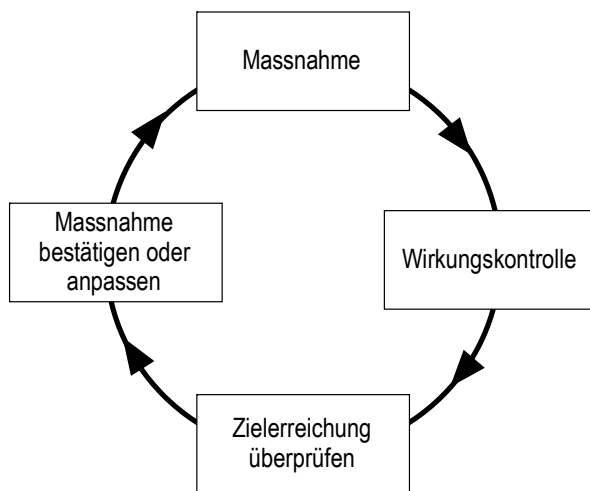


Abbildung 26 > Wirkungskontrolle als Teil des Optimierungsprozesses der Massnahme. Falls die Ziele nicht erreicht werden, muss die Massnahme angepasst werden.