

SEDIMENT IN DEN GEWÄSSERN

Funktion, Veränderungen und Maßnahmen
in der fischereilichen Bewirtschaftung



Projektleitung: **Johannes Schnell (LFV Bayern)**

Koordination: **Felix Reeb, Johannes Schnell (LFV Bayern)**

Sarah Höfler, Gerald Ringler, Clemens Gumpinger (blattfisch e.U.)

Sediment in den Gewässern Funktion, Veränderungen und Maßnahmen in der fischereilichen Bewirtschaftung



blattfisch



Inhalt

- 05** Vorwort
- 06** Einleitung
- 07** Funktion des Sediments im Gewässerlebensraum
- 08** Einteilung des Sediments
- 10** Sedimentansprüche der Fischfauna
- 13** Aktuelle Problemfelder im Sedimenthaushalt
- 15** Projekte des Landesfischereiverbands
 - 16** Projektskizze Erosion und Feinsedimente
 - 27** Projektskizze Geschiebeumsetzung Isar
 - 36** Projektskizze Interreg HyMoCARES
- 38** Maßnahmenansätze
 - 38** Maßnahmen bei erhöhten Feinsedimentfrachten
 - 45** Maßnahmen bei Geschiebedefiziten
- 46** Weiterführende Informationen und Literatur
 - 46** Informationen
 - 46** Literatur



Vorwort



Wir wissen heute sehr viel über die Bedeutung des Geschiebes für die Stabilität des Gewässerbettes und für das Leben im Gewässer. Mangelhaftes Verständnis dieses Zusammenwirkens haben bei fast allen geschiebedominierten Voralpenflüssen nach Begradigung und Uferfixierung zu gefährlichen Eintiefungen sowie weitreichender Verarmung der Gewässerökologie geführt. Trotz der inzwischen seit drei Jahrzehnten vorangetriebenen Gewässerrenaturierung sind wir in ganz Europa noch weit weg vom guten ökologischen Zustand nach EU Wasserrahmenrichtlinie. Vielmehr sind unsere Flüsse und Bäche auf weiten Strecken arm an Strukturvielfalt, naturnahen

Uferstreifen, Gehölzen und begleitenden Auen. Am allermeisten fehlen die Durchgängigkeit und die natürliche Geschiebedynamik. Ohne ausreichende Geschiebeführung verarmt ein Gewässer in vielfältiger Weise. Wo Feinsedimente das Interstitial überlagern, verschlammte der Lückenraum in der Gewässersohle: Laichplätze gehen verloren, die benthische Fauna erstickt.

Hinzu kommen in Bayern die über 60.000 für Fische nicht durchgängigen Querbauwerke. Sie wurden gebaut, um entweder Wasser auszuleiten oder die Gewässersohle zu stabilisieren. Sie beenden den natürlichen Geschiebetrieb und die flusstypischen Veränderungen des Gewässerbettes und seiner Ufer. Als wäre dies noch nicht genug, leiden nahezu alle Gewässer in Bayern unter der massiven Einschwemmung von Feinsedimenten aus Bodenerosion. Sie sind der Preis intensiver landwirtschaftlicher Nutzung und betreffen quasi alle Gewässer, vom Wegseitengraben bis zu den großen Flüssen, vom Dorfweiher bis zum Chiemsee.

Der Landesfischerverband Bayern untersucht seit Jahren die Auswirkungen der morphologischen Verarmung der Gewässer auf Fische und Fischnährtiere, wir entwickeln und veröffentlichen Lösungsansätze. Zunehmend steht dabei der Mangel an natürlichem Substrat, vor allem Kies und Sand in den Fließgewässern und ihre Umlagerung bei bettbildenden Hochwasserabflüssen im Fokus.

In der aktuellen Broschüre zeigen wir die komplexen Zusammenhänge von Geschiebehaushalt und Fischfauna grundlegend und praxisbezogen auf. Sie soll dazu beitragen, die nachteiligen Auswirkungen von Geschiebemangel einerseits und Feinsedimenteintrag andererseits zu erkennen. Sie soll zu einem Umdenken bei Planern und Behörden, bei Wasserkraftbetreibern und Outdoor Unternehmen führen und zu einem nachhaltigeren Umgang mit Geschiebe im Gewässer führen. Nur so können wir die erheblichen Nachteile für die Fischfauna überwinden. Möge unser Umgang mit den Gewässern umsichtiger werden. Auf die Unschuld früherer Generationen und ihr mangelndes Verständnis für den Geschiebe- und Sedimenthaushalt, können wir uns mit dem Vorliegen dieser Broschüre jedenfalls nicht mehr berufen.

Prof. Dr.-Ing. Albert Göttle
Präsident, Landesfischereiverband Bayern e.V.



Sediment bestimmt den Gewässerlebensraum, das Gewässer formt das Sediment. (Abb. 1)

Einleitung

Der Lebensraum Fließgewässer ist von den chemischen und physikalischen Gegebenheiten geprägt. Neben Strukturgebern wie Totholz oder anderen Einflussgrößen wie Gefälle, Wassermenge und Wassertemperatur wird das Leben im Gewässer sehr stark vom Sediment beeinflusst. Steine, Sand und Feinsedimente formen die Gewässersohle, geben Strukturen und bestimmen so die groß- wie kleinflächigen Habitate für die unterschiedlichen Fischarten. Art und Umfang des Sediments hängen natürlicherweise von den natürlichen Substratgegebenheiten im Einzugsgebiet des Gewässers ab.

Der Mensch hat speziell in den letzten 100 Jahren sehr stark in die Gewässer und deren Umland eingegriffen und damit auch die Sedimentbedingungen stark verändert.

Daraus ergeben sich Probleme für die Gewässerökologie und Fischerei. Der Landesfischereiverband Bayern hat diese in verschiedenen Projekten untersucht und die drei Hauptaspekte herausgearbeitet:

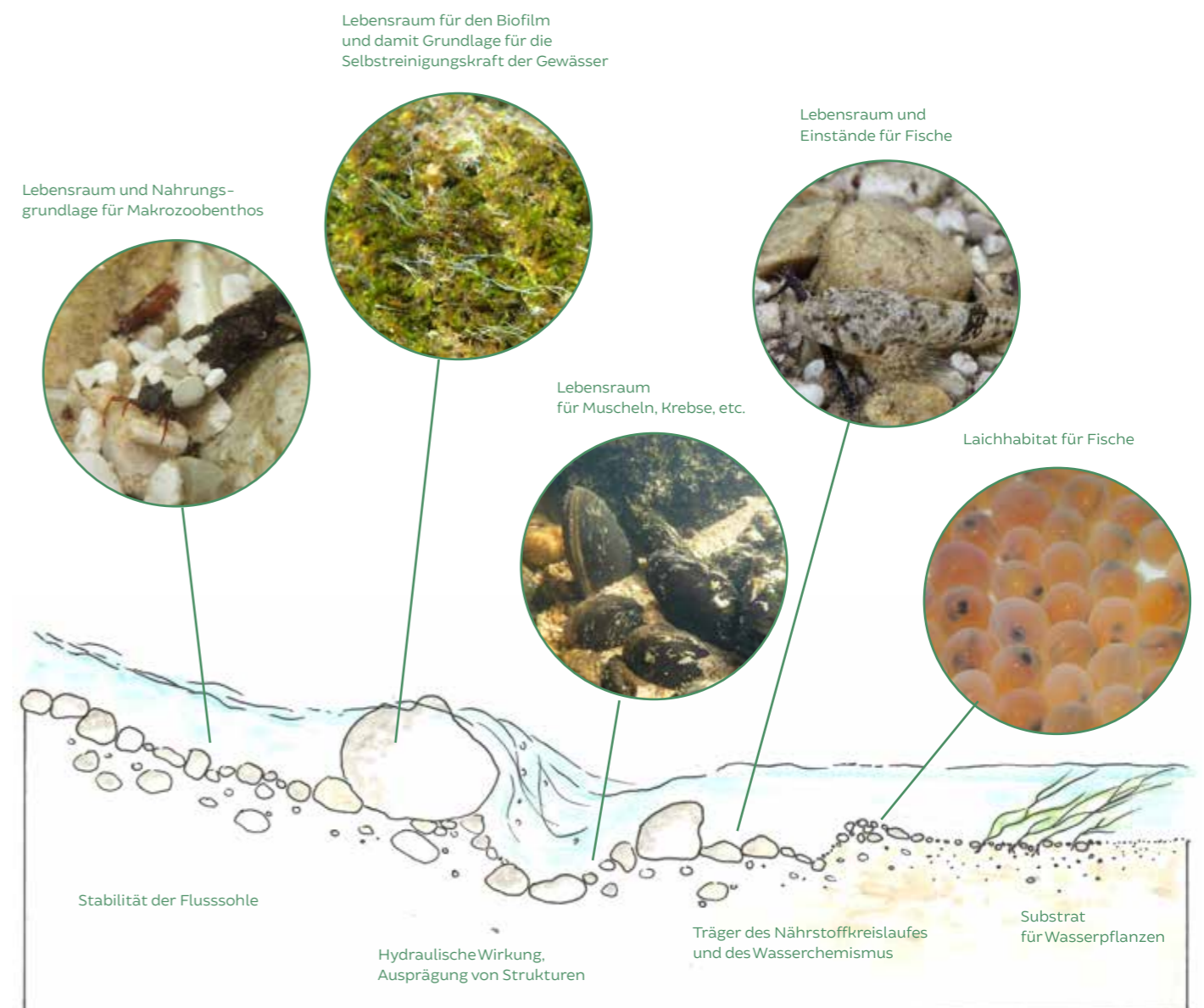
In den großen und mittelgroßen Flüssen des Alpenvorlandes fehlt Geschiebe aufgrund starker Flussverbauungen und Flusskorrekturen, gleichzeitig leiden Bäche und Flüsse in der intensiv genutzten Kulturlandschaft unter erhöhten Frachten an Feinsedimenten. In vielen Gewässern treten erhöhte Mengen an sehr mobilen Sand- und Feinstofffrachten auf. Diese bieten für die Biologie sehr ungünstige Bedingungen wie z.B. niedrige Besiedlungsdichten an Makrozoobenthos.

Aus den Ergebnissen der Projekte des Landesfischereiverbands lassen sich wichtige Schlüsse für die Maßnahmensetzung ableiten, um entstandene Sediment-Defizite zu beheben.

Funktion des Sediments im Gewässerlebensraum

Das Sediment im Gewässer erfüllt verschiedenste Funktionen für das Ökosystem und damit für alle darin vorkommenden Tiere und Pflanzen. Die Zusammensetzung ändert sich im Längsverlauf eines Gewässers und auch bei unterschiedlichen Gefällesituationen und Flusstypen.

Übersicht über die Funktionen des Sediments im Gewässer (Abb. 2)



Einteilung des Sediments

Die vielfältigen Funktionen des Sediments werden stark von seiner Größe und damit auch vom Transport des Materials durch das Gewässer bestimmt. Die in Gewässern transportierten Feststoffe werden grundsätzlich in **Geschiebe**, **Schweb- und Schwimmstoffe** unterteilt. Während das Geschiebe an der Sohle und die Schwimmstoffe an der Oberfläche eines Fließgewässers transportiert werden, werden die Schwebstoffe in der fließenden Welle mittransportiert. Als allgemeine Annäherung für die Unterscheidung zwischen Schwebstoff und Geschiebe wird häufig ein Grenzkorndurchmesser im Bereich von 0,2 bis 1 mm angegeben. Wobei sich der Transport naturgemäß stark mit der natürlichen Abflussdynamik und der damit vorherrschenden Hydraulik ändert.

Neben dieser Einteilung nach dem Transportverhalten bietet die Einteilung in sogenannte **Korngrößenklassen** eine standardisierte Klassifizierung (Abb. 3).

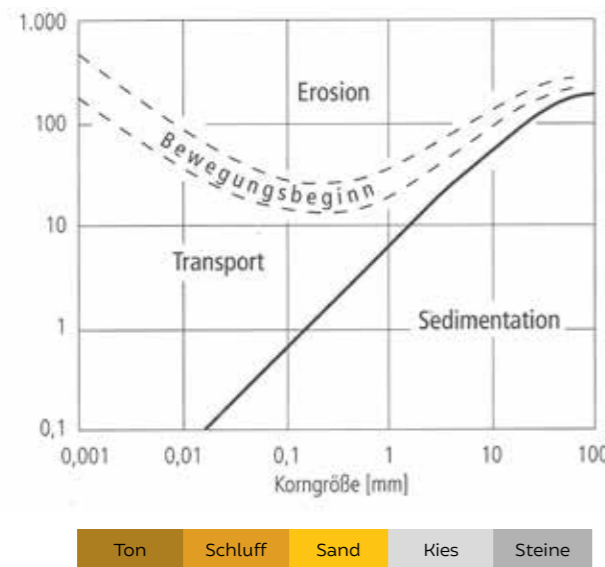
Gängig ist auch die Unterteilung der Sedimentzusammensetzung in sogenannte **Choriotope**. Diese fokussieren mehr auf die Bedeutung als Habitat, folgen aber ebenfalls den Korngrößenklassen.

Begriffe, die mehrere dieser Klassen zusammenschließen aber ebenfalls oft Verwendung finden, sind neben dem **Geschiebe** auch **Sand** und **Feinsediment**. Als Geschiebe versteht man wie oben beschrieben Material, das überwiegend am Boden an der Gewässersohle transportiert wird. Zum sogenannten **Feinsediment** werden zumeist **Partikel kleiner als 2 mm** gezählt. Das heißt die Kornfraktionen Sand, Schluff und Ton werden in die Betrachtungen einbezogen (Abb. 3).

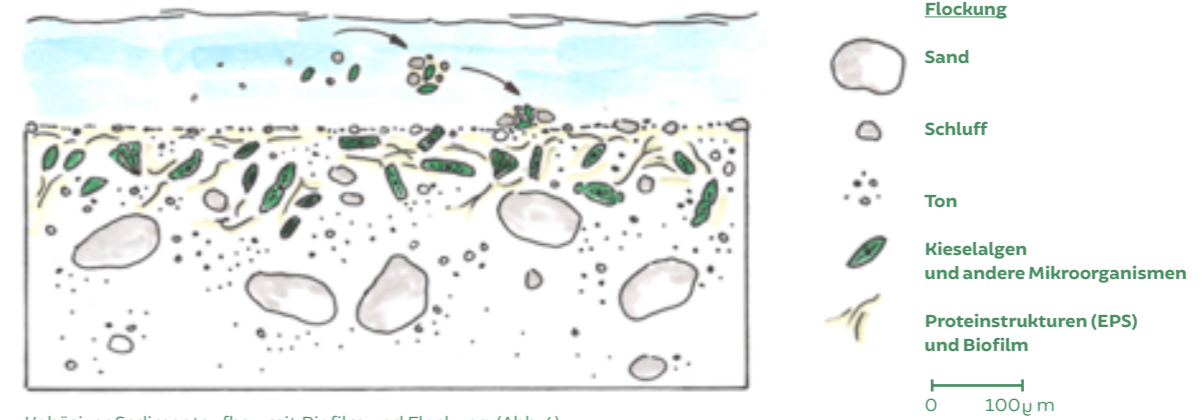
Sand kommt in bestimmten geologischen Einheiten vermehrt vor (z.B. Granit und Gneis, Sandstein) und weist hinsichtlich seines Transportverhaltens Besonderheiten auf. Er kann je nach Abfluss auf der Sohle oder als Schwebstoff transportiert werden und ist jene Fraktion, die am schnellsten mobilisiert wird (Abb. 3) und sich dann in der Bewegung auch stark sortiert. Dadurch entstehen oftmals Sandbänke, die auch bereits bei sehr niedrigen Wasserständen in ständiger Bewegung sind und dadurch einen sehr ungünstigen Lebensraum für das Makrozoobenthos oder auch Fischlarven und Muscheln darstellen.

Korngrößenklassen		
Bezeichnung	Größenklasse	Choriotope
Blöcke	> 20 cm	Makrolithal
Steine	6,3 - 20 cm	Mesolithal
Grobkies	2 - 6,3 cm	Mikrolithal
Mittelkies	6,3 - 20 mm	Akal
Feinkies	2,0 - 6,3 mm	
Grobsand	0,63 - 2 mm	Psammal
Mittelsand	0,2 - 0,63 mm	
Feinsand	0,063 - 0,2 mm	Pelal
Schluff	0,002 - 0,063 mm	
Ton	< 0,002 mm	

Fließgeschwindigkeiten



Korngrößenklassen nach der Norm EN ISO 14688-1 und benützte Allgemeinbegriffe sowie die Unterteilung nach Choriotopen, inklusive der Darstellung des Hjulström-Diagramms, das darüber Auskunft gibt bei welchen Fließgeschwindigkeiten Kornfraktionen in Bewegung geraten. (Abb. 3)



Kohäsiver Sedimentaufbau mit Biofilm und Flockung. (Abb. 4)

Da **Feinsedimente** als Stressor in Gewässerökosystemen in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen haben und einige chemisch-physikalische Besonderheiten aufweisen, soll hier noch etwas eingehender auf die Eigenschaften der sehr kleinen Kornfraktionen eingegangen werden.

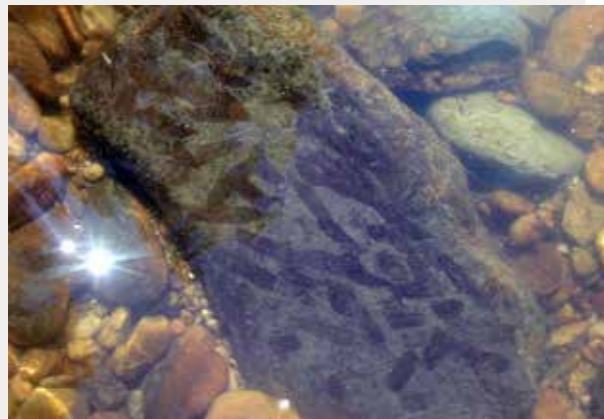
Neben der Korngröße sind für das Transportverhalten auch die **Interaktion mit biologischen Komponenten und chemische Verbindungen** von großer Bedeutung. Speziell für den Bewegungsbeginn bei der Remobilisierung von feinen Sedimenten von der Gewässersohle ist entscheidend, wie diese miteinander verbunden sind. Sogenannte **kohäsive Sedimente** entstehen in Verbindung mit Mikroorganismen, die den sogenannten Biofilm bilden (Abb. 4). Hauptverantwortlich für das „Verkleben“ des Sediments sind dabei sogenannte „Extracellulär polymeric substances“ (EPS), also Sekrete von Mikroorganismen wie beispielsweise Kieselalgen. Um solche Überzüge von der Gewässersohle wieder zu remobilisieren, sind höhere Kräfte erforderlich als bei nicht kohäsiven Sedimenten. Auch die entstehenden Bettformen und Gewässerstrukturen unterscheiden sich in den kohäsiven und nicht kohäsiven Sedimenten. Ein Prozess der in diesem System ebenfalls wichtig ist, ist die sogenannte Flockung. Durch biogene und chemische Prozesse verbinden sich kleine Partikel bereits beim Transport im Wasser und sedimentieren damit schneller ab.

Je nachdem aus welchen Quellen die Feinsedimente stammen, bestehen sie zu unterschiedlichen Anteilen aus verschiedenen großen **anorganischen und organischen Partikeln**. Hier kommen den Teilchen < 0,63 mm vor allem hinsichtlich der biogeochemischen Eigenschaften eine besondere Bedeutung zu. Viele Nährstoffe und auch Schadstoffe sind aufgrund der großen Oberfläche der feinen Partikel in dieser Fraktion gebunden und werden mit ihr transportiert. Seit der indus-

triellen Revolution werden von Menschen verschiedenste Chemikalien und Spurenstoffe in die Gewässer eingeleitet. So kann nicht nur die Quantität der Feinsedimente, sondern auch deren Zusammensetzung infolge der Wirkung auf die aquatische Biozönose ein ökologisches Problem darstellen. Während in unseren Breiten im Fall hoher **Schwermetallbelastungen** (z.B. Zinn, Nickel, Cadmium, Blei) von Flüssen in Siedlungsgebieten wie auch bei den Nährstoffeinträgen aus Punktquellen seit den 1990er Jahren massive Reduktionen erreicht werden konnten, treten zunehmend neue, in der Regel nur sehr schwer nachweisbare **Spurenstoffe** (z.B. Hormone bzw. Hormonanaloga, Medikamenten- und Pestizidrückstände) auf. Diese Stoffe, deren Wirkweisen größtenteils noch nicht bekannt sind, können ebenfalls ans Sediment angelagert sein und mittransportiert werden.

Weiter ist die Zusammensetzung zwischen **anorganischen und organischen Anteilen** entscheidend für chemische und biologische Prozesse. Die organischen Bestandteile sind zum einen Grundlage für das Nahrungsnetz. Andererseits ergibt sich durch deren Abbau auch die Gefahr von sauerstoffzehrenden Prozessen im Kieslückenraum. Während anorganische Partikel natürlicherweise vor allem aus der Verwitterung der Gesteine stammen und zumeist überwiegen, bilden sich organische Bestandteile normalerweise vor allem aus Falllaub (Detritus) und aus dem Pflanzenwachstum im Gewässer. Besonders hohe organische Anteile entstehen speziell durch menschliche Eingriffe in das System. In dieser Weise belastete Sedimente finden sich in früher stark organisch verunreinigten Gewässern, in Fließgewässern unterhalb bedeutender Abwassereinleitungen und im Ablauf großer Stauhaltungen, Rückhaltebecken und Seen aber auch durch Einträge aus Erosion.

Sedimentansprüche der Fischfauna



Die Nase hat eine spezielle Maulform, die ihr dazu dient Algen von Steinen zu schaben. (Abb. 5)

Im **Längsverlauf** eines Fließgewässers ändern sich verschiedenste Parameter wie Wassertemperatur, Fließgeschwindigkeit, Nährstoffniveau und auch das Sediment. Das Konzept der **Fischregionen** spiegelt diese Änderungen wider. Die Fischarten haben daher auch sehr unterschiedliche Ansprüche an das Sediment in ihrem Lebensraum.

So ist die **Nase** (*Chondrostoma nasus*) darauf angewiesen, dass Aufwuchs-Rasen aus Algen und Bakterien auf Steinen vorhanden sind, die ihre Nahrungsgrundlage darstellen. D.h. sie braucht einerseits größere Steine und entsprechende Wassertemperaturen und Nährstoffe die das Algenwachstum ermöglichen (Abb. 5). Zudem stellt sie als Substratlaicher bestimmte Ansprüche an den kiesigen Untergrund des Laichplatzes.

Dass es nicht nur auf grobes Substrat sondern eine dem Fließgewässertyp angepasste Substrat-Diversität ankommt, zeigt sich am Beispiel des **Bachneunauges**. Während die Tiere normalerweise vergraben in sandigen Habitaten sehr verborgen leben, suchen sie für das Abbläichen Kieslaichplätze mit geringer Strömung auf.

Besonders sensibel auf die Sedimentbedingungen reagieren jene Fischarten, die im oder auf dem Substrat abbläichen, sogenannte **Kies- und Substratlaicher**. Dazu gehören neben der Nase vor allem verschiedene heimische **Salmoniden** wie **Bachforelle** (*Salmo trutta fario*), **Äsche** (*Thymallus thymallus*) oder **Huchen** (*Hucho hucho*). Nach dem Abbläichen kann die heimische Fischfauna in verschiedene ökologische Gilden eingeteilt werden (Tab. 1).

Laichgilden der heimischen Fischfauna und Ansprüche an die Sedimentbedingungen (Tab. 1)

(+ wenig, +++ sehr hohe Ansprüche)

Bezeichnung	Erklärung	Beispiele für Arten	Ansprüche Sediment	Beispiele für typisches Laichsubstrat (d=Korndurchmesser)
A) Gelege wird nicht bewacht (Non-Guarders)				
Substratlaicher – Eier werden oberflächlich auf das Substrat gelegt bzw. ins Wasser abgegeben				
Pelagophile	Eier werden ins freie Wasser abgelaicht und schweben	Aal, Coregonen		
Lithopelagophile	Substratlaicher mit pelagischen Embryonen und Larven	Störe, Aalrutte	++	
Lithophile	Substratlaicher mit benthischen Larven	Zobel, Schied, Barbe, Nase, Aitel, Rußnase, Donaukaulbarsch, Schrätzer	+++	Nase: Laichplatz: d=20-63 mm Barbe: Laichplatz: d=2-60 mm
Phytolithophile	Fakultative Kraut- oder Kieslaicher mit photophoben Larven mit mäßig entwickelten respiratorischen Strukturen	Brachse, Zope, Laube, Nerfling, Rotauge, Perlfisch, Flußbarsch, Kaulbarsch	+	
Phytophile	Krautlaicher, deren Larven nicht photophob sind und extrem gut ausgebildete Respirationsorgane haben	Hecht, Karpfen, Güster, Karausche, Frauenerfling, Rotfeder, Schleie, Steinbeißer, Schlammpeitzger		
Psammophile	Sandlaicher oder Eiablage an feinen Wurzeln über Sandgrund	Gründling, Bachschmerle	+	
Kieslaicher – Eier werden im Substrat versteckt				
Lithophile	Kiesgrubenlaicher; Eier werden im Lückensystem (Interstital) versenkt	Salmoniden, Äschen, Elritze, Hasel, Schneider, Strömer, Zingel	+++	Äsche: Laichplatz: d=16-64 mm Larvenhabitat: d<2mm Jungfischhabitat: d=8-32 mm Bachforelle: Laichplatz: d=10-70 mm Huchen: Laichplatz: d=20-200 mm
Ostracophile	Eier werden in lebende Muscheln eingebracht	Bitterling		
B) Gelege wird bewacht (Guarders)				
Gezielte Substratwahl				
Lithophile	Laich wird an Steine geheftet	Kesslergründling	+	
Phytophile	Pflanzenlaicher	Hundsfisch, Moderlieschen, Wels		
Ariadnophile	Männchen bauen Schleimnester	Stichling		
Phytophile	Eier werden in Nester aus pflanzlichem Material gelegt	Zander		
Speleophile	Eier werden in Höhlen oder leere Muscheln gelegt und bewacht	Koppe	++	

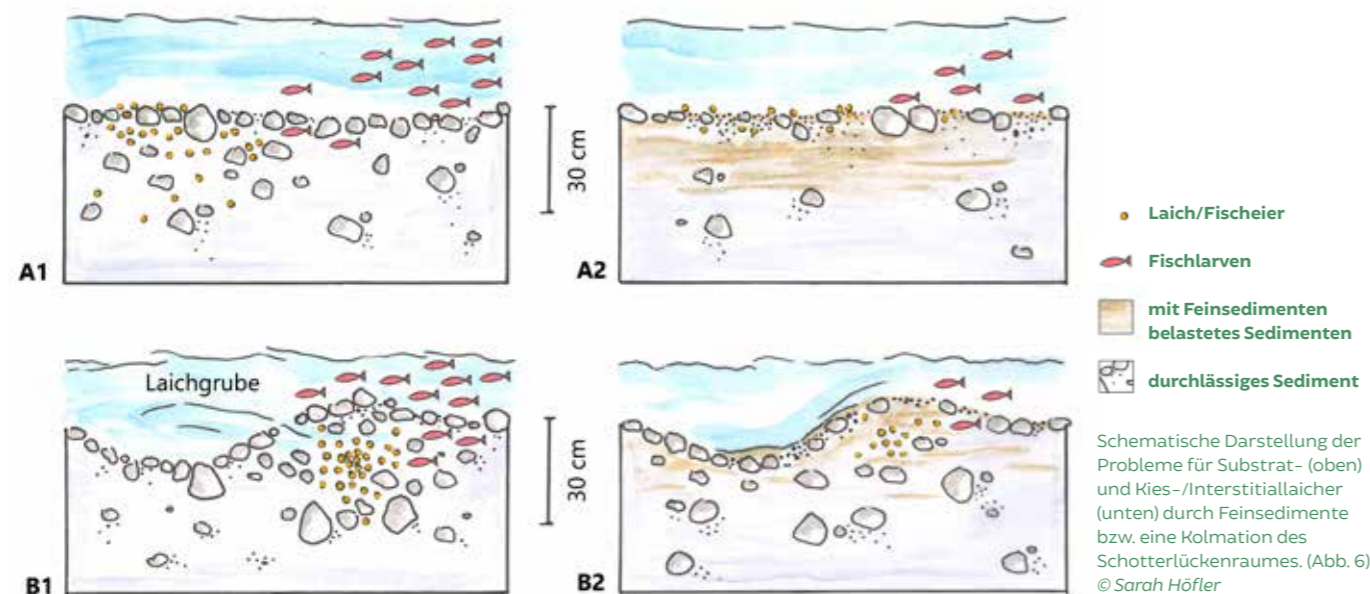
Aktuelle Problemfelder im Sedimenthaushalt

Zahlreiche wissenschaftliche Arbeiten belegen, dass der Reproduktionserfolg dieser Substrat- bis Kieslaicher wesentlich von einem nicht kolmatierten, offenen Kieslückenraum abhängt. Das gilt sowohl für die Salmoniden, die Laichgruben schlagen, aber z.B. auch für die Nase, die auf dem Substrat ablaicht (siehe Abb. 6). Hier kommt es ebenfalls zu einem Eintrag der Eier in tiefere Sedimentschichten und auch die Larven verbringen die erste Zeit teilweise geschützt im Kieslückenraum (A1). Liegt eine Kolmation des Sediments vor, können Eier nur oberflächennah überleben (A2), der Reproduktionserfolg kann teilweise deutlich reduziert sein. Kies- oder Interstitiallaicher schlagen Laichgruben und bilden somit einen lockeren Kieshügel flussab, der gut durchflossen ist und in dem sich die Eier entwickeln (B1). Da die Salmonidengewässer typischerweise niedrige Wassertemperaturen aufweisen bzw. die Laichzeiten z.B. bei der Bachforelle auch im Winter liegen, brauchen die Eier bzw. Larven mehrere Wochen für die Entwicklung. Eine ausreichende Sauerstoffversorgung muss in dieser Zeit sichergestellt sein. Legt sich Feinsediment oberflächlich ab oder verstopft den Kieslückenraum (B2) sterben die Eier bzw. Larven ab. Jensen et al., (2009) stellten fest, dass die Überlebensrate von Eiern und Larven verschiedener Salmoniden rapide absinkt, wenn Feinsedimente kleiner 0,85 mm Durchmesser mehr als 5-10 % Anteil des Sedimentes ausmachen.

Im Juvenilstadium sind Salmoniden zunächst auf flache wärmere Bereiche mit Einständen und vor allem auch strukturreiche Quartiere für den ersten Winter angewiesen. Die Adulten besiedeln wiederum gänzlich andere Bereiche.

Zusammenfassend bedarf es somit für **natürliche Fischbestände**:

- ▶ eine für die jeweilige Fischregion typische **Sedimentzusammensetzung**
- ▶ einen entsprechenden **Sedimentnachschub**
- ▶ Daneben ist die **Heterogenität** der Sedimentverhältnisse entscheidend, da die Entwicklungsstadien unterschiedliche Lebensräume benötigen. Diese bilden sich durch dynamische, variable Strömungsverhältnisse aus, wie sie durch Totholzstrukturen, morphologische Strukturen wie Nebenarme oder verschiedene Gefällesituationen entstehen. Die Abflussdynamik spielt dabei eine entscheidende Rolle.



Im Bereich des Sedimenthaushalts ergeben sich drei größere Problemfelder, wobei die Ursachen und Auswirkungen sehr individuell sein können:

- ▶ **In den großen und mittelgroßen Flüssen des Alpenvorlandes fehlt Geschiebe.** Das hat verschiedenste Ursachen. Unter anderem tragen dazu bei: Geschiebesperren in den Bächen, Geschieberückhalt in Stauräumen, Längsverbauungen zur Vermeidung von Seitenerosion, Veränderungen in den Abflüssen und damit im Geschiebe-Transportverhalten sowie auch geänderte Transportbedingungen durch Regulierungen.
- ▶ **In den Bächen und Flüssen der intensiv genutzten Kulturlandschaft im Alpenvorland, den Mittelgebirgsbereichen und den großen Flussebenen besteht eine erhöhte Fracht an Feinsedimenten.** Diese sedimentieren auf dem Grobgeschiebe ab bzw. verfüllen den Kieslückenraum. Man spricht dann von der sogenannten äußeren und inneren **Kolmation**. Die Ursachen sind ein Zusammenspiel aus erhöhten Einträgen und verminderten Austrägen sowie strukturellen Defiziten. Die Sedimentation wird durch ausgeprägte Stauhaltungen stark begünstigt.
- ▶ **In den Gewässern der Böhmisches Masse (z.B. Bayerischer Wald) und anderen Grundgesteinen, die zu sandigen Verwitterungsprodukten zerfallen, treten erhöhte Mengen an sehr mobilen Sand- und Feinkiesfrachten auf.** Dieses Phänomen instabiler feinerer Körnungen kann je nach hydraulischen Bedingungen auch bei etwas größeren Fraktionen in größeren Fließgewässern auftreten. Das mobile Sediment bietet für die Biologie sehr ungünstige Bedingungen. Sand weist beispielsweise die niedrigsten Besiedlungsdichten an Makrozoobenthos auf. Größere Sandmengen haben teilweise auch direkten Einfluss auf die morphologische Gestalt der Gewässer indem z.B. Kolke durch das Material aufgefüllt werden und dann nicht mehr für die aquatische Fauna als Habitat zur Verfügung stehen. Durch Feinsediment- und Sandablagerung entstehen auch Hochwasserprobleme.

Diese Änderungen sind das Resultat der unterschiedlichsten Eingriffe die der Mensch in die Gewässer und auch die gesamte umgebende Kulturlandschaft getätigt hat. Die Ursachen sind, durch die sich überlagernden Eingriffe, oftmals nicht einfach zu benennen. Die Wissenschaft hat für diese gänzliche Umgestaltung der Erdoberfläche nunmehr das Zeitalter des Anthropozäns eingeführt.

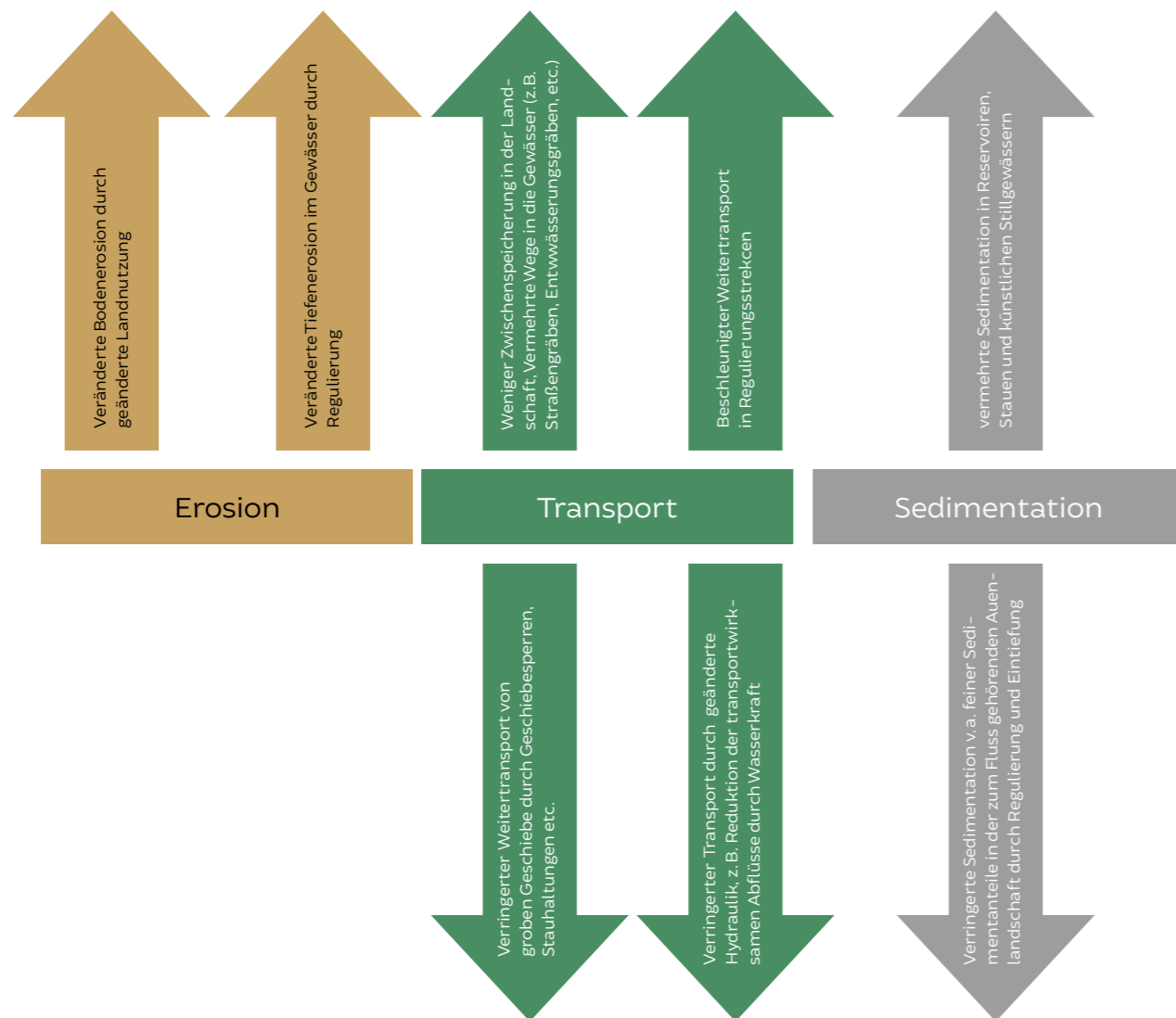
Folgt man dem Weg des Wassers von dem Ort, an dem der Tropfen auf den Boden trifft und sich durch die Landschaft seinen Weg ins Gewässer bahnt, können die einzelnen Faktoren, die den Sedimenteintrag in die Gewässer beeinflussen zumindest punktuell, aufgezeigt werden. Die drei wichtigsten Prozesse Erosion, Transport und Deposition finden dabei im gesamten Verlauf statt und werden an unterschiedlichsten Stellen beeinflusst (Abb. 7). Die Veränderungen überlagern sich auf verschiedene Art und Weise in den Landschaften und Gewässertypen. Darüber hinaus wirkt sich die Klimakrise in allen Bereichen aus. Beispiele dafür sind: verstärkte Erosion durch vermehrte Starkregenereignisse, Änderung der hydrologischen Verhältnisse und damit des Sedimenttransportes in den Gewässern oder auch veränderte Grundwasserstände und damit auch andere Bedingungen in den Auen.

Eine genaue Analyse der Problemfelder ist daher vor einer Maßnahmenplanung unerlässlich.

In vielen Gewässern ergibt sich zusammenfassend folgendes Bild:

- ▶ die ökologisch bedeutsamen **mittleren Korngrößen** (z.B. Laichkies) sind **unterrepräsentiert**
- ▶ feine Fraktionen sind überproportional häufig vorhanden und **verstopfen** den oft nur noch spärlich vorhandenen **Kieslückenraum** oder bilden **mobile Sedimentdünen**. Gleichzeitig sind **Ufer** sowie teilweise auch die Sohle mit unnatürlich **grobem Gesteinsmaterial** (Blockwurf) **gesichert**.

Die wichtigsten Eingriffe bzw. Veränderungen durch den Menschen im Gesamtgefüge Sedimenthaushalt (Abb. 7)



Projekte des Landesfischereiverbands

In dieser Broschüre findet sich eine Zusammenfassung der wesentlichen Projektergebnisse. Details zur Methodik und den Ergebnissen sind in den jeweiligen Projektberichten zusammengefasst.



Projekt Erosion und Feinsedimente

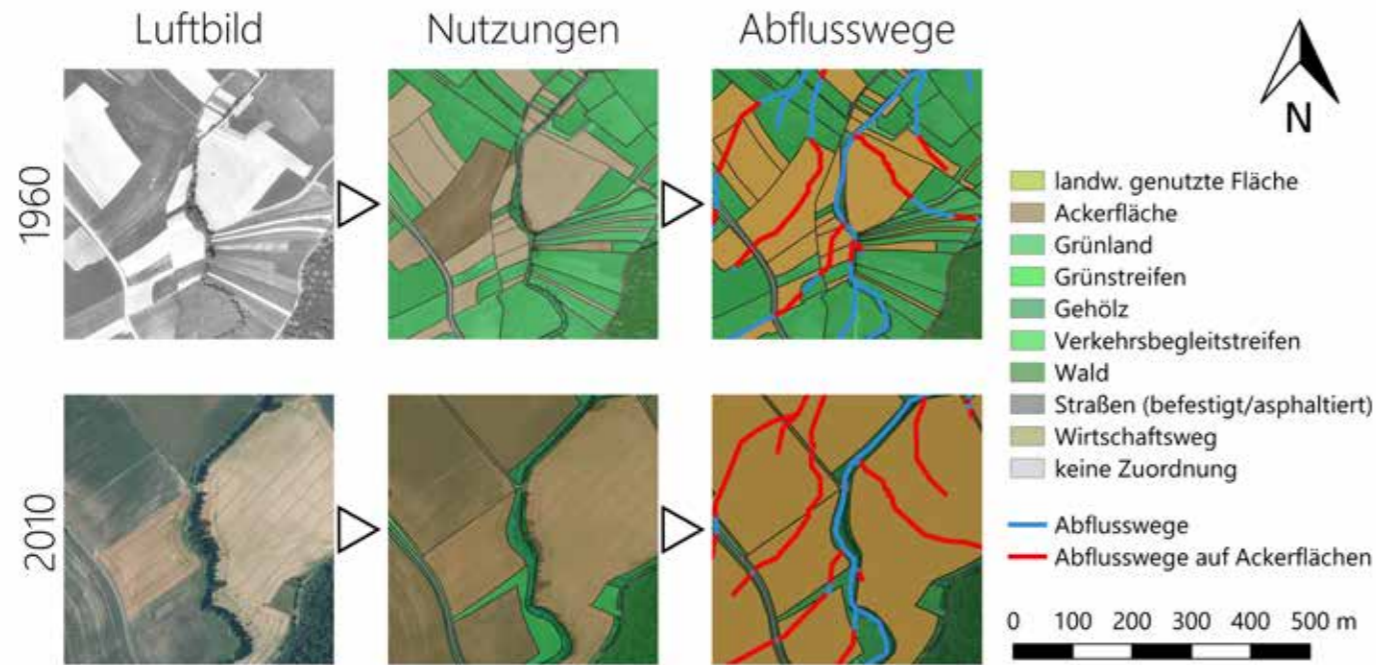
Projekt fischökologische Optimierung Geschiebeweitergabe Isar



Projekt Interreg HyMoCARES

Projektskizze Erosion und Feinsedimente

Titel: Geschiebe- und Sedimentmanagement – Mindestanforderungen an die gute fachliche Praxis in der Landwirtschaft für den Gewässerschutz in Bayern
Fertigstellung: 2020
Auftragnehmer: blattfisch e.U. Ingenieurbüro für Gewässerökologie



Darstellung der Methodik anhand eines Ausschnittes: Digitalisierung der Luftbilder in Nutzungskategorien und Vergleich der Abflusswege auf Ackerflächen in den 1960er Jahren und den 2010er Jahren. (Abb.8)

Projektintention und Projektdesign

Dieses Projekt wurde konzipiert, um die Veränderungen der Landnutzung in den letzten Jahrzehnten in Bayern abzubilden und die sich daraus ergebenden Auswirkungen auf die Boden-erosion und in der Folge auf den Feinsediment-Eintrag in die Bayerischen Gewässer zu analysieren. Darüber hinaus wurden diverse Maßnahmenansätze zusammengetragen, um eine Verbesserung der Situation zu erreichen.

Hauptwerkzeug dafür waren Digitalisierungen von Orthofotos aus den 1960er und 2010er Jahren in fünf Projektgebieten in einem GIS-Programm (GIS...Geografische Informationssysteme) (Abb. 8). Die Gebiete befinden sich in unterschiedlichen Landschaften des Bayerischen Alpenvorlandes.

Im Anschluss wurden Erosionswege und Abtragungsmengen auf Basis der Allgemeinen Bodenabtragungsgleichung (ABAG) und weiterer Modellierungsansätze ebenfalls über GIS-Anwendungen für zwei Gebiete berechnet und mittels Kartierungen verifiziert.

Ergebnisse

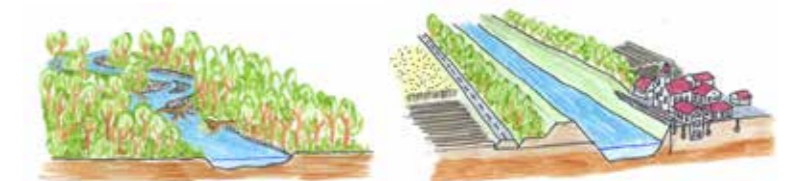
Ergebnisse - Ursachegefüge

Besonderes Augenmerk sollte neben der vermehrten Erosion auf drei Aspekte gelegt werden:

- ▶ Im Vergleich zum Naturzustand ergeben sich heutzutage viel mehr durch den Menschen geschaffene **Eintragswege** in die Gewässer. Eine wesentliche Rolle spielen dabei **Straßentwässerungen**, die Material auch von weit entfernten Erosionsherden in die Gewässer transportieren (Abb. 9).
- ▶ **Gewässer** haben immer als **Einheit** mit ihrem **Umland** funktioniert, in dem das Sediment ausgetragen wurde und auch wieder remobilisiert werden konnte. Diese Verbindung ist durch unterschiedlichste Eingriffe in vielen Bereichen deutlich reduziert (Abb. 10).
- ▶ Die Klimakrise hat Auswirkungen auf die unterschiedlichen Bereiche. Ein Aspekt zeigt sich in der Zunahme der **Erosivität der Niederschläge (R-Faktor)**. Diese musste über die letzten Jahre in den Untersuchungsgebieten bereits deutlich angepasst werden (Tab. 2).



Straßengraben entlang von Ackerflächen im Schwimmbachsystem (Landkreis Dingolfing-Landau) (links) mit einer typischen Übersichts-situation (rechts). (Abb. 9)



Schematische Darstellung des Gewässer-Umland-Gefüges im Naturzustand und heute. (Abb. 10)

Veränderung der Niederschlagserosivität in den Untersuchungsgebieten

R-Faktor in $MJ \cdot mm \cdot ha^{-1} \cdot h^{-1} \cdot Jahr^{-1}$ (Tab. 2)

		1960	2010	Zunahme
Otterbach	Himmelmühlbach	65	100	55 %
Ascha	Hornmühlbach	70	95	36 %
Schwarzach	Kadenzhofen	60	100	67 %
Große Vils	Moosbach	75	110	47 %
Zenn	Wimmelbach	50	80	60 %

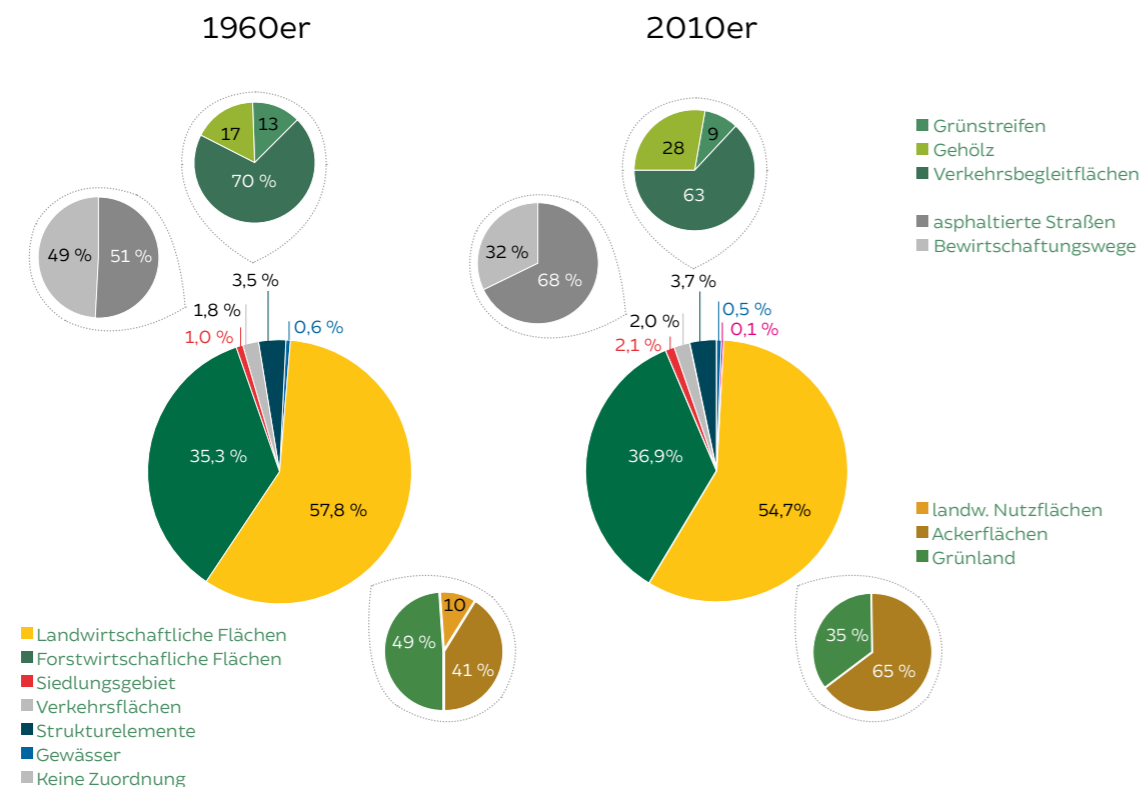
Aus den dargestellten Prozessen ergibt sich für die Gewässer im zentraleuropäischen Alpenvorland eine menschlich erhöhte Feinsediment- und Nährstoffbelastung. Eine Konzentration der Problematik ist in den Regionen mit entsprechender Topografie und intensiver landwirtschaftlicher Nutzung der kritischen Bereiche (z.B. Tertiäres Hügelland) erkennbar. Speziell kleine und mittelgroße Gewässer in intensiven Kulturlandschaften, die eine geringere Transportkapazität aufweisen, sind betroffen. Die stärksten Auswirkungen ergeben sich auf: Staubereiche, überbreit regulierte, strukturlose Abschnitte und noch verbliebene naturnahe gewundene oder mäandrierende Bereiche, die im Verlauf gesichert wurden und sich daher eingetieft haben. Stark betroffen sein können aber auch im Zuge von gewässerökologischen Maßnahmen aufgeweitete Abschnitte, in denen geringere Schleppkräfte wirken. So kann auch der gewässerökologische Erfolg von Renaturierungsbemühungen durch Feinsedimentablagerungen konterkariert werden.

Ergebnisse – Landnutzungsänderungen zwischen 1960 und 2010

Bayern hat in den letzten fünf Jahrzehnten einen erheblichen Strukturwandel durchlebt. Neben dem stetigen Bevölkerungswachstum und dem kontinuierlichen Ausbau der Infrastruktur war es vor allem der Wandel in der Landwirtschaft, der das Landschaftsbild veränderte. Die Ergebnisse für die fünf Projektgebiete waren dabei teilweise recht unterschiedlich, sie können aber als durchaus repräsentativ für unterschiedliche Regionen angenommen werden, wie Vergleiche mit Zahlen für ganz Bayern zeigen.

Der Wandel fand weniger zwischen den Hauptnutzungskategorien (Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Siedlung, etc.) statt, sondern vielmehr wurde die Struktur innerhalb der Landnutzungen intensiviert (Abb. 11). In den untersuchten Gebieten kam es insgesamt zu einem leichten Rückgang der landwirtschaftlich genutzten Flächen von 58 % auf 55 % Gesamtflächenanteil. Der Anteil an Grünland an diesen

landwirtschaftlichen Flächen fiel dabei von 49 % auf 35 % und reduzierte sich somit um ein Drittel. Diese Wirtschaftsflächen werden nun zumeist von Ackerflächen belegt, deren Anteil an der Landwirtschaft um zwei Drittel gestiegen ist (Abb. 15). Der Großteil der restlichen Gesamtfläche wird von Waldflächen (geringfügiger Anstieg um +5 %) und versiegelten Flächen (Verkehrs- und Siedlungsflächen) eingenommen. Vor allem Siedlungsflächen haben sich im Betrachtungszeitraum mehr als verdoppelt (von 1,0 % auf 2,1 % Flächenanteil). Innerhalb der Infrastruktur hat die Versiegelung ebenfalls deutlich zugenommen, indem bspw. viele unbefestigte Wirtschaftswege asphaltiert wurden. Waren früher etwa die Hälfte der Wege und Straßen unbefestigte Wirtschaftswege, sind es heute nur mehr circa ein Drittel des gesamten Infrastrukturnetzwerks. Somit verdoppelte sich insgesamt die Fläche der versiegelten Flächen über alle Einzugsgebiete gerechnet.



Nutzungsaufteilung über alle fünf Projektgebiete in den 1960er und 2010er Jahren für die Hauptnutzungskategorien (Mitte) und den Unterkategorien für landwirtschaftliche Flächen, Verkehrsflächen und Strukturelemente. (Abb. 11)

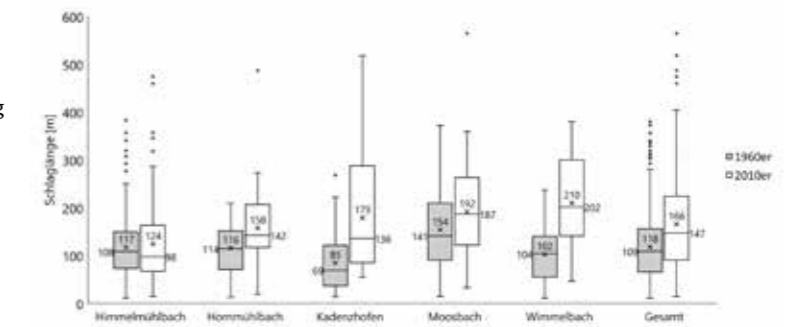
Ergebnisse – Entwicklung der Schlaglängen und -größen von Ackerflächen

Durch Flurneuordnungsverfahren, betriebliche Änderungen und Förderungen für eine leistungsfähigere Landwirtschaft wurde speziell die Struktur der landwirtschaftlichen Flächen in den letzten 50-60 Jahren verändert. Folgende, für die Erosion entscheidende Kennwerte zeigten eine deutliche Änderung (Prozentwerte bezogen auf die Medianwerte aus den beiden Zeitschritten über alle Gebiete):

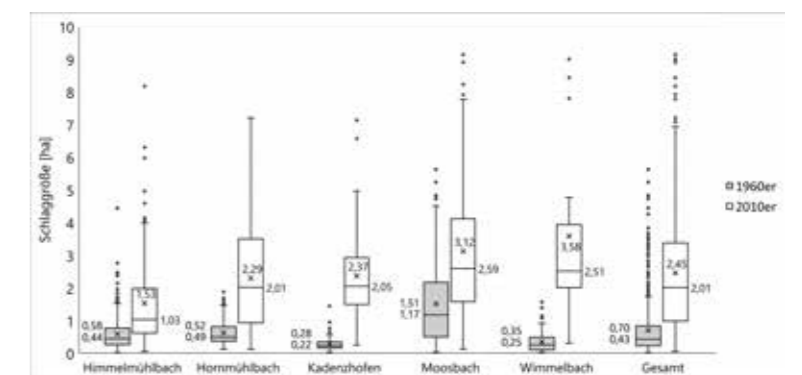
- Die **Längen der Schläge/Felder erhöhten sich im Schnitt um ein Drittel** (+ 35 %). Die Darstellung der Längenentwicklung der Ackerflächen aller Einzugsgebiete in Abb. 12 zeigt – über alle Gebiete betrachtet – einen Zuwachs des Medians von 109 m in den 1960er Jahren auf aktuell 147 m. Lag das obere Maximum (ohne Ausreißer) in den 1960er Jahren noch bei 280 m ist es auf aktuell 404 m angewachsen. Als einziges Einzugsgebiet reduzierte sich der Median der Feldlängen am Himmelmühlbach von 108 m auf 98 m. Wobei die Werte im oberen Bereich sich ebenfalls erhöhten.
- Die **Flächen der Schläge Felder vergrößerten sich um fast das Vierfache** (+ 370 %); Abb. 13 stellt die Verteilung der Schlaggrößen der Ackerflächen dar. Der Median aller Einzugsgebiete zusammen erhöhte sich von 0,43 ha in den 1960er Jahren auf 2,01 ha im aktuellen Zeitraum. Ebenso erhöhte sich der Interquartilsbereich (die mittleren 50 % der Werte) von 0,22 ha bis 0,83 ha auf 0,98 ha bis 3,37 ha.

- Die **ununterbrochenen Abflusslängen auf Ackerflächen stiegen um drei Viertel** (+ 70 %). Da die Schlaglänge bzw. -größe an sich noch nichts darüber aussagt wie lang die Erosionswege sind, die sich darauf ergeben, da dies von Exposition und Anordnung der Felder abhängt, wurden die Veränderung der Abflusswege berechnet, die durchgehend über Ackerflächen führen. Die in Abb. 14 dargestellten Abflusswege auf Ackerflächen erhöhten sich über die letzten 60 Jahre im Median von 34 m auf 58 m. Der längste ununterbrochene Abflussweg auf Ackerflächen lag zu beiden Zeitschritten im Einzugsgebiet des Moosbaches und war 1968 bei 378 m und aktuell bei 515 m. Auffallend ist, dass die Maximalwerte deutliche Steigerungen erfahren haben.

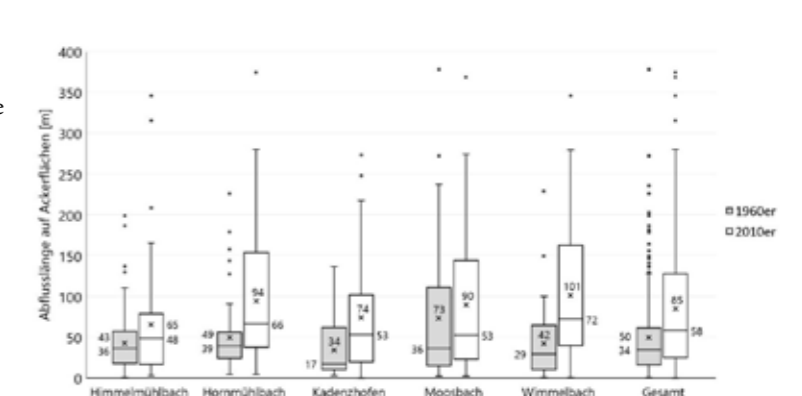
Schlaglängenentwicklung. (Abb. 12)

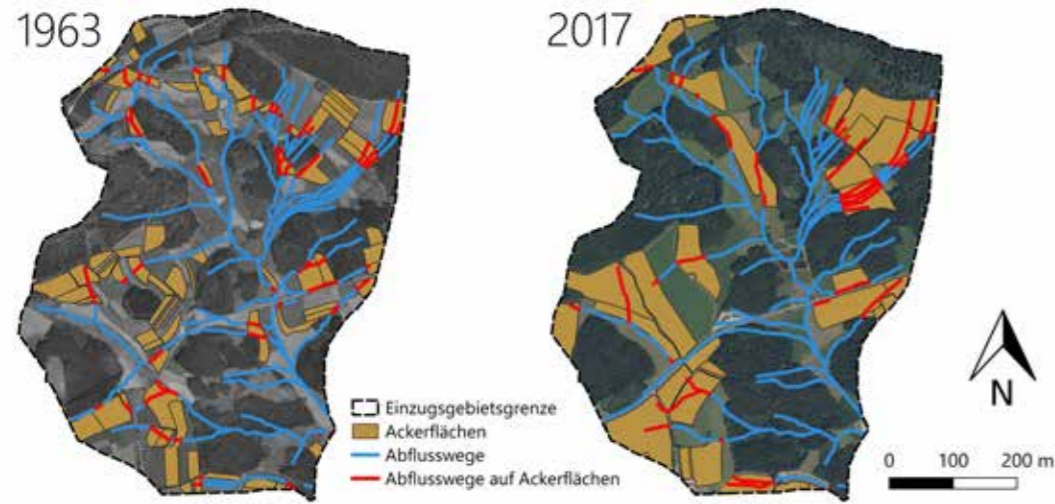


Schlaggrößenentwicklung. (Abb. 13)

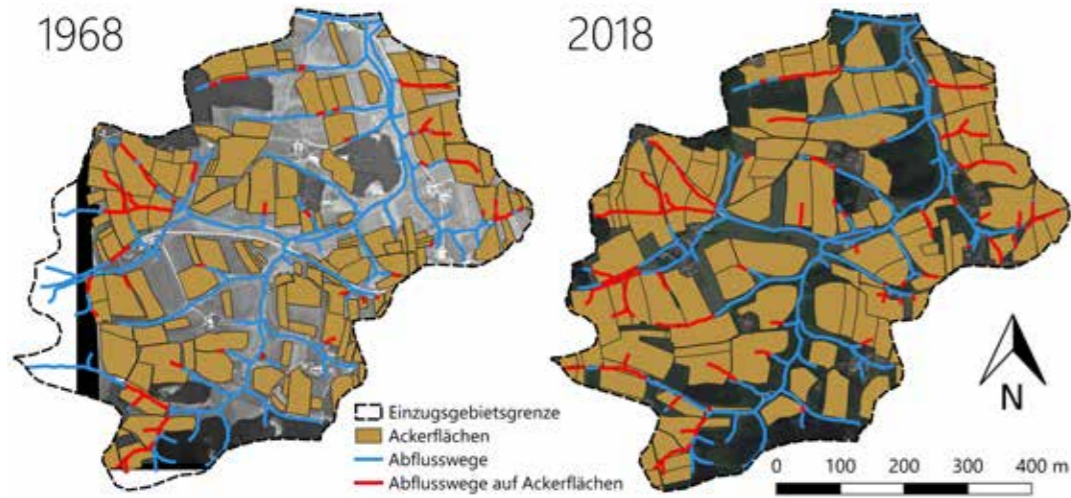


Entwicklung der Abflusswege auf Ackerflächen. (Abb. 14)





Ackerflächen und Abflusswege am Hornmühlbach zu den beiden Zeitschritten. (Abb. 15)



Ackerflächen und Abflusswege am Moosbach zu den beiden Zeitschritten. (Abb. 16)

Die grafische Darstellung der Abflusswege der Einzugsgebiete Hornmühlbach (Abb. 15) und Moosbach (Abb. 16) zeigen, dass es speziell an den Oberläufen der Abflusswege zu einem Zuwachs an Ackerflächen und somit zu einer Verlängerung der durchgehenden Abflusswege auf Ackerflächen kam.

Der technische Fortschritt in der Forst- und Landwirtschaft – die zusammen mehr als 80 % des bayerischen Staatsgebietes einnehmen – ermöglichte und vereinfachte die Bewirtschaftung von größeren Flächen. Darüber hinaus ist aus den Gesprächen mit Bewohnern und Vertretern der Landwirtschaft zu schließen, dass sich auch die Eigentumsstruktur geändert hat. Die Pachtflächen haben im Vergleich zu den Eigenflächen zugenommen. Für solche Flächen bestehen zumeist mehrjährige Pachtverträge und der wirtschaftliche Gewinn steht oftmals mehr im Vordergrund als der Werterhalt des Bodens. Es ist anzunehmen, dass damit auch die Vorsorge zum Bodenschutz oder andere ökologische Gesichtspunkte hinter das wirtschaftliche Interesse zurücktreten.

Ergebnisse – Bodenerosion allgemein

Am Beginn des Transportprozesses steht der Boden selbst, der in einer von Agrarwirtschaft geprägten Landschaft der menschlichen Beeinflussung ausgesetzt ist. Die Anforderungen an Produktivität, Wechsel der Kulturpflanzen und der technische Wandel waren ausschlaggebend für die Umgestaltung der landwirtschaftlichen Nutzflächen. Als Folge reduzierte sich in vielen Bereichen die Pufferfunktion des Bodens und es kam zu einem Anstieg an erosiven Prozessen. Die Darstellung von Erosionsprozessen am Boden lässt sich sehr anschaulich durch die allgemeine Bodenabtragsgleichung (ABAG, USLE) darstellen. Einen guten Überblick über landwirtschaftliche Erosion in Bayern liefert der Bayerische Erosionsatlas.

Wie alle Modelle ist auch die Bodenabtragsgleichung eine theoretische Annahme der Prozesse. Die tatsächliche Situation auf einem Schlag kann je nach aktueller Bewirtschaftung davon selbstverständlich abweichen. Darüber hinaus ist die Angabe in Tonnen pro Hektar und Jahr mit allen sich durch die Einschränkungen der Allgemeinen Bodenabtragsgleichung, ergebenden Unsicherheiten zu interpretieren. So werden in der Abtragsberechnung verschiedene hydraulische Prozesse (z.B. Infiltration) außer Acht gelassen, es findet keine Simulation der Deposition des Materials in der Landschaft statt und bereits die Eingangsparameter beruhen auf vergleichsweise allgemeinen Annahmen. Nichtsdestotrotz ist es nach wie vor ein weitverbreitetes Modell, um sich der Thematik Bodenabtrag anzunähern und erfüllt mit einem überschaubaren Parameterset die Aufgabe jene Flächen zu identifizieren, die vor Erosion geschützt werden sollten. So sollten die Ergebnisse auch gelesen werden: wenn sich auf einer Fläche 50 kg/ha/Jahr Abtrag durch das Modell ergeben, heißt das nicht, dass diese Menge gänzlich in ein Gewässer transportiert wird, aber es kann jedenfalls impliziert werden, dass es sich dabei um sogenannte Hot-Spot Flächen handelt, auf denen es jedenfalls zu sehr hohen Abtragsraten kommt, die in der Regel irgendwann gewässerrelevant werden. Der Abtrag ist dabei als langjähriges Mittel zu verstehen. Auch ist das Modell nie dafür entwickelt worden um den gesamten Sedimentabtrag eines Einzugsgebietes zu quantifizieren. Eine Summation auf Einzugsgebietsebene ist daher nicht zulässig.

In einem ersten Schritt wurde versucht abzubilden, was die **Änderungen der Landbewirtschaftungsstruktur, v.a. die Verlängerung der Abflusswege auf Ackerflächen und auch die Änderung der Erosivität des Regens, in den letzten Jahrzehnten**, für den Bodenabtrag von einem typischen Maisacker

bedeuten. Dafür wurde ein Maisacker in konventionellem Anbau auf einer mit 5° geneigten Fläche angenommen. Die klimatischen und geologischen Gegebenheiten wurden an die Projektgebiete angepasst und die Veränderung durch die Änderung der Abflusslängen / effektiven Hanglängen zwischen den zwei Zeitschritten auf die jeweiligen Graphen aufgetragen (Abb. 17). Die Grafik zeigt den Zusammenhang zwischen Hanglängen (in diesem Fall die Abflusswege auf Ackerflächen) und Bodenabtrag. Da die Parameter für Hangneigung (S), Bedeckungs- und Bearbeitungsfaktor (C), und Bodenschutzfaktor (P) in allen Einzugsgebieten gleich angenommen wurden, wird die Steigung der Geraden in diesen Überlegungen allein durch den Bodenerodierbarkeits-Faktor (K) und den Regenfaktor (R) bestimmt. Daraus wird ersichtlich, wie stark, unabhängig vom Zuwachs der Abflusswege auf Ackerflächen, bereits die Bodenzusammensetzung und der jährliche Niederschlag den Bodenabtrag bestimmen. Des Weiteren zeigen die in Abb. 17 illustrierten Geraden, dass sich durch die Annahmen der Bodenabtragsgleichung ein linearer Zusammenhang zwischen Abflusslänge und langjährigem mittlerem Bodenabtrag ergibt.

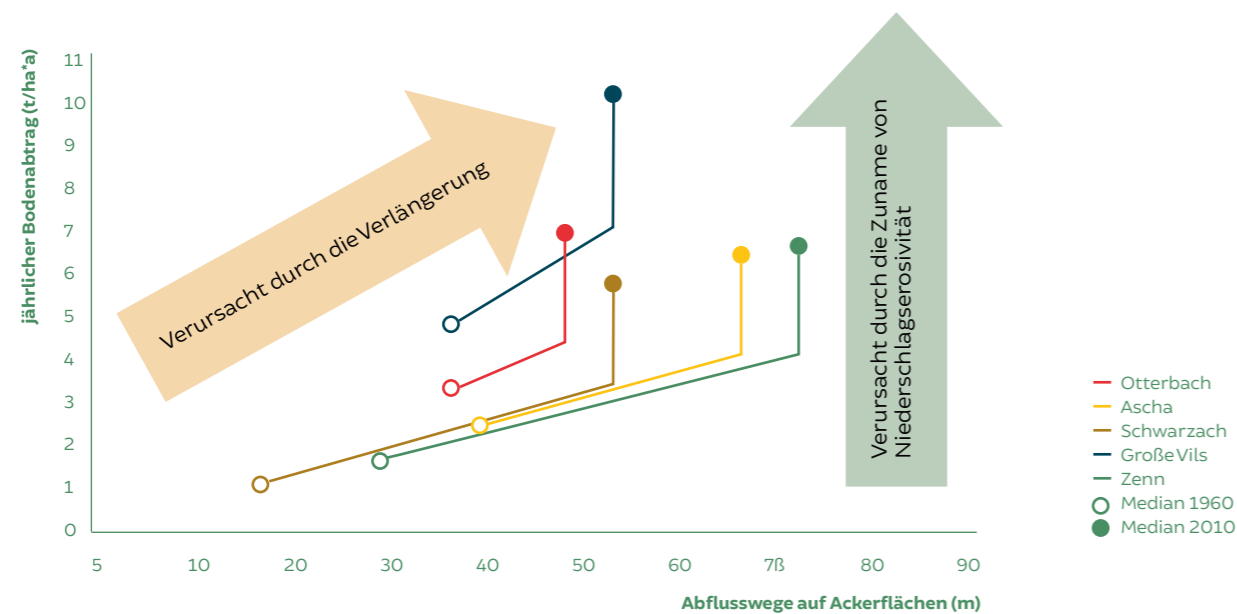
Konkret ergibt sich durch die naturgegebenen Unterschiede, dass bei einer Abflusslänge von 50 m auf Ackerflächen im Einzugsgebiet der Zenn ein potentieller jährlicher Bodenabtrag von 2,3 t/(ha*a) verursacht wird, während an der Großen Vils potentiell 6,8 t/(ha*a) erodieren. An der Ascha und an der Schwarzach ergibt sich ein langjähriger mittlerer Bodenabtrag von 3,2 t/(ha*a), während sich am Otterbach potentiell ein Bodenabtrag von 4,7 t/(ha*a) auf so einem standardisierten Maisacker mit 50 m Abflusslänge ergibt.

Betrachtet man nun die Verschiebung der Abflusslängen zwischen den beiden Zeitschritten ist ersichtlich, dass bereits allein die Änderung der Abflusslängen deutlichen Einfluss auf den potentiellen Bodenabtrag von solchen Risikoflächen wie Mais auf geneigten Flächen hat.

Speziell in Gebieten, in denen klimatisch und geologisch bedingt höhere Abtragsraten zu erwarten sind, wie im Bereich der Großen Vils oder der Zenn, ist mit erheblichen Mehreinträgen durch gesteigerte Schlaglängen zu rechnen.

Zudem wird klar ersichtlich, welche Änderung in diesem Berechnungsansatz die Veränderung der Niederschlagserosivität (R-Faktor), durch das Landesamt für Landwirtschaft (LfL), die

aufgrund der klimatischen Änderungen notwendig war, für den Bodenabtrag in den einzelnen Regionen bedeutet. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass alleine die strukturelle Veränderung und damit Verlängerung der Schläge und die im Zuge des Klimawandels notwendig gewordene Anpassung des R-Faktors zu einer Erhöhung der Abträge von solchen anfälligen Ackerflächen wie Maiskulturen um das 3- bis 5-fache geführt hat. Dabei wurden noch keine Bewirtschaftungsentscheidungen (Kulturwahl, konservierende Bearbeitung, etc.) in die Betrachtung mit einbezogen.



Berechneter jährlicher Bodenabtrag auf Ackerflächen in den fünf Projektgebieten auf einem standardisierten Maisacker mit 5° Neigung. (Abb. 17)

Ergebnisse – detailliertes Ursachen-Wirkungsmodell

In einem weiteren Schritt wurde die Bodenabtragsgleichung für zwei der Projektgebiete im Detail durchgespielt. Die Eingangsparameter wurden im GIS-Programm QGIS als räumliche Informationen zusammengeführt und miteinander verrechnet. Hinsichtlich der Bewirtschaftung wurden für den jeweiligen Zeitschritt repräsentative Fruchtfolgen angenommen und der Bewirtschaftungsfaktor (C) über die Internetseite: ABAG interaktiv der LfL ermittelt. Die verwendeten Anbausysteme können in Tab. 3 abgelesen werden. Der jeweilige C-Faktor wird für die Modellierung auf den in der Flächenanalyse erhobenen Ackerflächen angewandt. Zusammenfassend wurden die in Tab. 4 dargestellten Szenarien durchgerechnet, um die Entwicklungen abzubilden und mögliche Erosionsschutzmaßnahmen bewerten zu können.

Die in Abb. 18 und Abb. 19 dargestellten Einzugsgebietskarten zeigen die Simulationsergebnisse der Erosionsmodellierung in den unterschiedlichen Zeitschritten. Während die oberen Karten die Situation in den 1960er Jahren und die aktuelle abbilden, repräsentieren die unteren Karten (2020+ und 2020++) die Prognose für unterschiedliche konservierende (=erosionsmindernde) Bodenbearbeitungen (siehe Tab. 3). Mit dem angenommenen, aktuellen Bewirtschaftungs-Szenario (2017) wird über weite Bereiche in den Einzugsgebieten ein simulierter mittlerer langjähriger Bodenabtrag von 20 t/(ha*a) überschritten, was als nicht tolerabel anzusehen ist.

In den 1960er Jahren (links oben) erreicht der mittlere, langjährige Bodenabtrag nur sehr lokal Werte über 20 t/(ha*a). Bei konventioneller Bewirtschaftung mit hohem Maisanteil auf den Flächen (rechts oben) sowie bei einer Bewirtschaftung mit Bodenbedeckung über den Winter durch Zwischenfrüchte (links unten) werden großflächig berechnete Abtragswerte von mehr als 40 t/(ha*a) erreicht. Nur durch sehr umfangreiche konservierende Bearbeitung oder Änderung der Fruchtfolgen (2020+, rechts unten) kann der Bodenabtrag annähernd an jenen der 1960er Jahre herangebracht werden, jedoch kommt es aufgrund der seit damals deutlich größeren Anbauflächen vereinzelt immer noch zu Erosionsherden mit Werten über 40 t/(ha*a).

Die Ergebnisse der Erosionsmodellierung zeigen, dass auch bei einem kompletten Umschwenken der Landwirtschaft hin zu bodenkonservierenden Bewirtschaftungsmethoden, der mittlere langjährige Bodenabtrag auf vielen Flächen nicht unter 20 t/(ha*a) zu reduzieren ist. Dieser Entwicklung liegen mehrere Ursachen zugrunde.

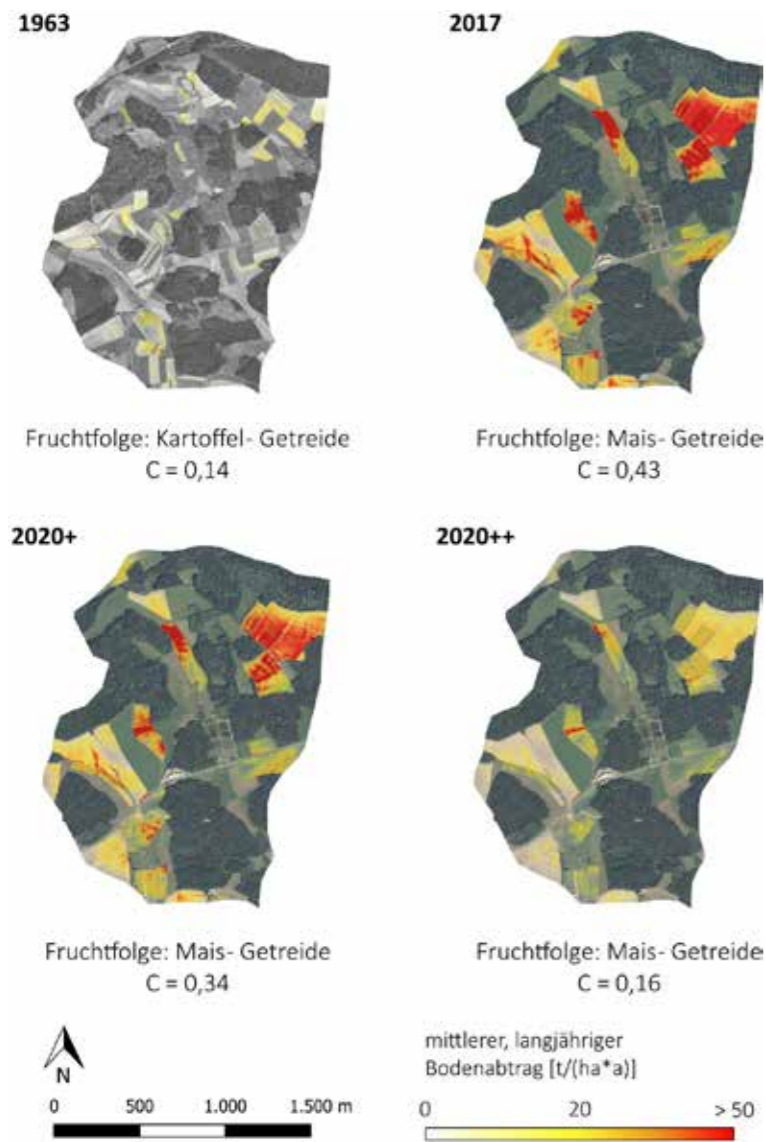
Bewirtschaftungsfaktor (C-Faktor) in Abhängigkeit vom Anbausystem. (Tab. 3)

	1960	2010	2020+	2020++
Anbausystem	Kartoffel-Getreide Fruchtfolge	Mais-Getreide-Fruchtfolgen (auch Mischung von Reihenfrüchten)		
Bodenbedeckung über den Winter vor der Reihenfrucht/Kartoffeln	ohne	ohne	mit (Zwischenfrucht, Grünroggen, Getr. GPS)	
Zwischenfrucht-Aufwuchs			bleibt auf dem Feld	
Pflugeinsatz vor der Reihenfrucht-Saat/Kartoffeln (nach einer evtl. Zwischenfrucht)	ja	ja		nein
Dammbau	Frühjahr	-		
Saatbereitung vor der Reihenfrucht	-	flächig		
Pflugeinsatz vor dem Getreide	ja	-		
Bodenbedeckung durch Stroh bzw. Zwischenfrucht Aufwuchs nach der Saat der Reihenfrucht	-	<5%		<10%
Anteil der Reihenfrucht	25%	75%		50%
Bewirtschaftungsfaktor (C-Faktor)	0.14	0.43	0.34	0.16

Überblick der Eingangsparameter der USLE (Universal soil loss equation). (Tab. 4)

EZG	Zeitschritt	Eingangsparameter der USLE				
		R	K	C (auf Ackerflächen)	LS	P
Moosbach	1960	75	0,4	0,14	indiv. dueller Zellenwert	1
	2010	106		0,43		
	2020+			0,34		
	2020++			0,16		
Hornmühlbach	1960	70	0,25	0,14	indiv. dueller Zellenwert	1
	2010	107		0,43		
	2020+			0,34		
	2020++			0,16		

EZG = Einzugsgebiet
R = Erosivitätsfaktor
K = Bodenerodierbarkeitsfaktor
C = Bodenbedeckungs- und Bearbeitungsfaktor
L = Hanglängenfaktor
S = Hangneigungsfaktor
P = Erosionsschutzfaktor



Simulierter mittlerer, langjähriger Bodenabtrag [t/(ha*a)] im Einzugsgebiet des Hornmühlbaches auf Basis der ABAG.. (Abb. 18)

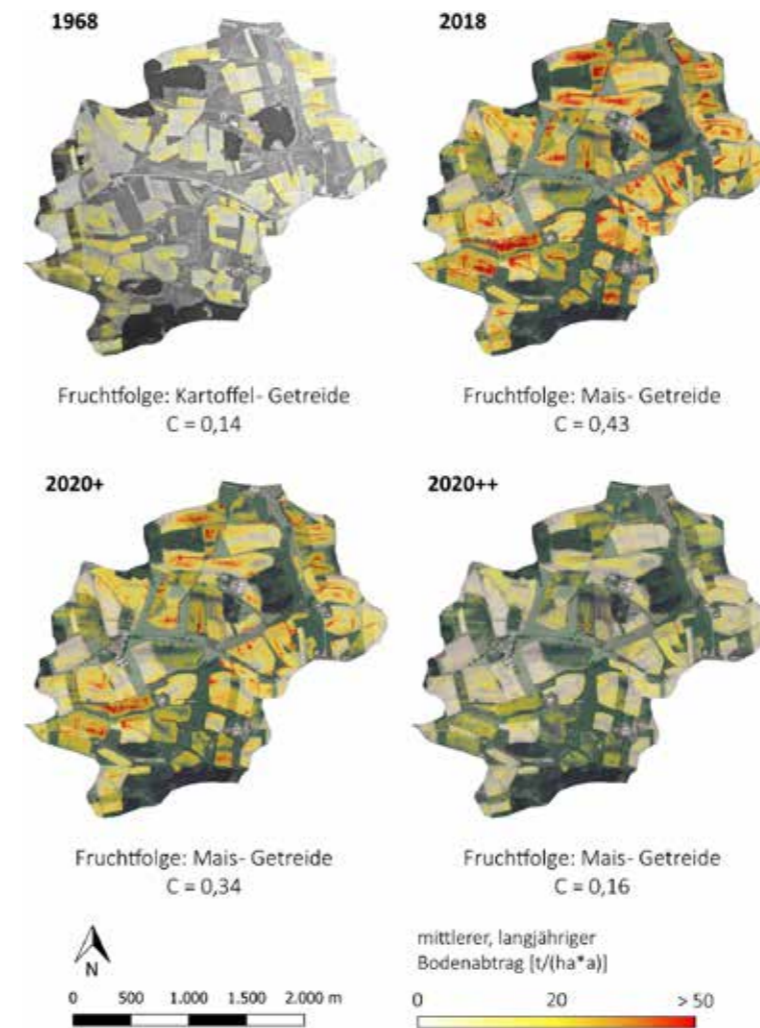
Einerseits haben sich die klimatischen Bedingungen verändert und dazu geführt, dass die Erosivität von Regenfällen erheblich zugenommen hat. In Bayern kam es in manchen Regionen zu einem Anstieg um mehr als 200 % (Tab. 2).

Ebenso kam es, wie schon in der Flächenanalyse dargelegt, zu einem erheblichen Strukturwandel in den letzten sechs Jahrzehnten. Dieser hat, gemeinsam mit dem technischen Fortschritt, die Bewirtschaftung von immer größeren Flächen ermöglicht. Auf kleinteiligen Flurstücken wurde der Oberflächenabfluss früher nach kurzer Abflusslänge durch Grundstücksgrenzen und Nutzungsänderungen sowie Feldwege oder -raine unterbrochen und zurückgehalten. Vom Abfluss aufgenommenes Material konnte sich absetzen und ein Teil des Oberflächenwassers versickerte bereits auf dem Feld im Boden. Somit fungieren kleinteilige Strukturen neben ihrer Rückhaltefunktion für das Wasser in der Landschaft auch als Filter und Puffer von abgeschwemmtem Material. Diese Rückhaltmöglichkeiten wurden durch die Verlängerung der Flurstücke drastisch reduziert.

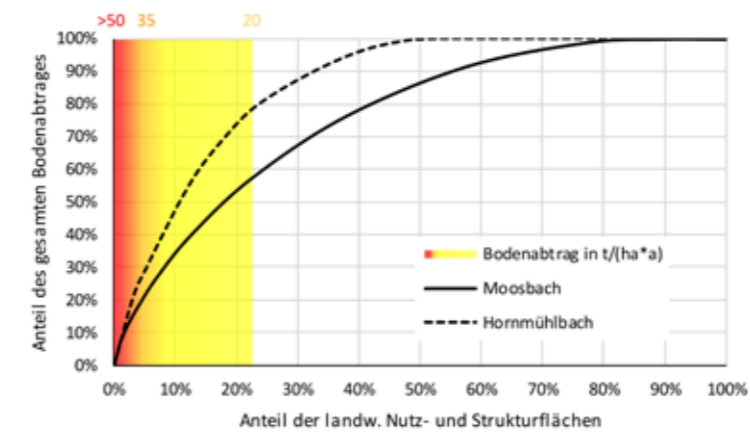
Zusätzlich fand bei den angebauten Kulturpflanzen ein Wandel statt. Vor allem der Maisanbau hat durch die Energieträgerproduktion, also die energetische Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen zugenommen. Laut Rath (2013) beanspruchte der Maisanbau 1960 deutschlandweit 56.000 ha, im Jahr 2014 waren es 2,57 Millionen Hektar.

Die drei Entwicklungen: die Veränderung der klimatischen Bedingungen, die Zunahme der Schlaglängen von Ackerflächen und der Anbau erosionsanfälliger Kulturpflanzen resultierten in einem sehr deutlichen Anstieg des Bodenabtrages.

Wieviel vom abgetragenen Boden tatsächlich in die Gewässer gelangt, lässt sich mit den durchgeführten Berechnungen nicht exakt abbilden. Da jedoch auch die Abflusswege vielfach länger geworden sind, ist von einem sehr großen Anteil auszugehen. Es muss nochmals darauf hingewiesen werden, dass die Abtragsraten, die sich durch die ABAG ergeben, nicht den tatsächlichen Werten entsprechen müssen. Es handelt sich dabei um ein empirisches Modell mit diversen Einschränkungen. Eine Überschätzung erscheint wahrscheinlich, da keine Zwischenspeicherung des Materials u.ä. in die Berechnungen eingehen.



Simulierter mittlerer, langjähriger Bodenabtrag [t/(ha*a)] im Einzugsgebiet des Moosbaches auf Basis der USLE.. (Abb. 19)



Der Flächenbedarf der Erosion dargestellt als Summenlinie. (Abb. 20)

Schlussfolgerungen für die Praxis

Werden die Erosionsergebnisse der Modellierung als Summenlinie des Flächenverbrauchs abgebildet, entsteht die in Abb. 20 dargestellte Grafik. An der vertikalen Achse wird der Anteil an der Gesamterosion und an der horizontalen Achse der Flächenanteil an den landwirtschaftlichen Nutz- und Strukturflächen abgelesen. Die beiden Funktionen bilden die jeweiligen Ergebnisse der beiden Einzugsgebiete ab und spiegeln deren unterschiedliche Eigenschaften wie Nutzung, Bewirtschaftung oder Topographie wider. Die Steigung im Diagramm stellt die Erosion pro Flächeneinheit dar. Daraus folgt, dass bei einem steilen Anstieg der Funktion auf einem geringen Anteil der Fläche ein großer Anteil der Erosion stattfindet.

Der gelb-orange-rot markierte Bereich zeigt jenen Flächenanteil, der Bodenabtragswerte von 20 t/(ha*a) überschreitet. **Demzufolge nehmen Flächen mit erhöhten Erosionswerten zwar nur etwa 22 % der landwirtschaftlichen Nutz- und Strukturflächen in Anspruch, verursachen jedoch je nach Beschaffenheit des Einzugsgebiets 60 % bzw. 80 % der Erosion.**

Auf Basis dieser Ergebnisse wurde für beide Einzugsgebiete Konzepte entwickelt, deren Maßnahmen speziell an den Rückhalt von ausgewaschenem Material von Flächen mit erhöhter Erosion angepasst sind (siehe Kap. 7.1) (v.a. begrünte Abflusswege, Unterbrechungen auf langen Schlägen durch Grünstreifen und Pufferstreifen bei Straßengraben und kleinen Zuflüssen). Daraus konnte abgeleitet werden, dass durch die Verwendung von 3,5 bis 4,5 % der Einzugsgebietsfläche für Erosionsschutzmaßnahmen bis zu 80 % des Bodenabtrages – über die Felder hinaus – eingedämmt werden kann.

Durch eine vorgeschaltete Analyse mit GIS-Anwendungen können Nutzungsverhältnisse und Bewirtschaftungsformen, ebenso wie Topographie und Bodeneigenschaften in diese Planung einbezogen werden. Dadurch können Maßnahmen entsprechend den simulierten Erosionsmengen gestaltet und dimensioniert werden. Dies wiederum erhöht deren Wirksamkeit und reduziert den zum Stoffrückhalt erforderlichen Flächenbedarf.

In weiterer Folge haben die Ergebnisse gezeigt, dass der entstehende Bodenabtrag an einem Teil der Erosionsherde sehr einfach durch Verringerung der Schlaglänge verhindert oder zumindest aufgefangen werden kann. In Abb. 21 sind Acker-

Projektskizze Geschiebeweitergabe Isar

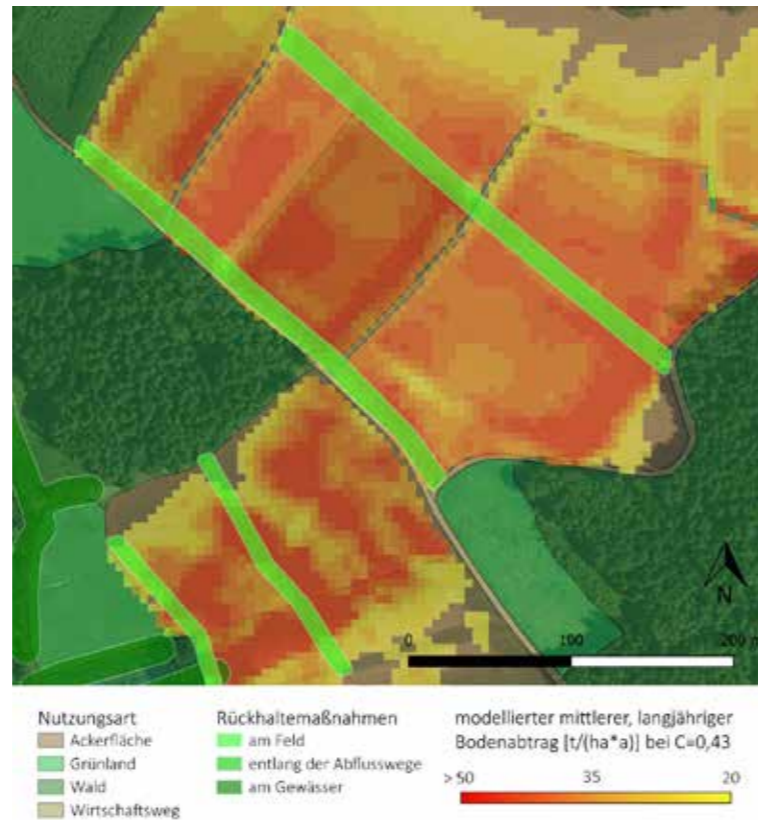
Titel: Bewertung der Geschiebeweitergaben unterhalb des Isar-Kraftwerks Bad Tölz aus fischökologischer Sicht und Handlungsempfehlungen für die zukünftige Bewirtschaftung

Fertigstellung: 2015

Auftragnehmer: Dipl.-Biologe Michael von Siemens

flächen im Einzugsgebiet des Hornmühlbaches dargestellt. Die Simulationsergebnisse zeigen, dass aktuell (Stand Juli 2019) auf einer Hanglänge von ca. 300 m keine Rückhaltemaßnahmen vorhanden sind. Mit Hilfe der Simulation können die Schläge gezielt entlang der Höhenschichtlinien geteilt und Grünstreifen angelegt werden. Auch streifenförmige Untersaaten in Maiskulturen sind möglich. Somit wird das ausgeschwemmte Material noch auf dem Grundstück aufgefangen und der prognostizierte Bodenabtrag kann mit einem vergleichsweise geringen Flächenverbrauch an Rückhaltemaßnahmen erheblich reduziert werden.

Im Ergebnis ist eine Kombination von gezielten Maßnahmen entlang der Abflusswege sowie die Anpassung der Bewirtschaftungsmethoden erforderlich, um den Verlust von wertvollem Boden und eine weitere Degradation der Gewässer durch unnatürlich hohe Stoffeinträge verhindern zu können. Dabei stellt sich die Frage, ob der Anbau erosionsanfälliger Pflanzen, v.a. in Reihenkultur, im Bereich von ausgeprägten Hanglagen, u.a. auch mit Blick auf die zunehmende Niederschlagserosion im Zuge des Klimawandels, noch als gute fachliche Praxis einzustufen ist.



Detailansicht von Ackerflächen am Hornmühlbach mit Nutzungsart, Rückhaltemaßnahmen und simulierten Bodenabtrag. (Abb. 21)



Blick von der Stufe Bad Tölz Isar-abwärts nach Einbringen des Geschiebes. (Abb. 22)

Projektintention und Projektdesign

Ziel des Projektes war es die Geschiebeweitergaben (Abb. 22) unterhalb des Isar-Kraftwerks Bad Tölz aus fischökologischer Sicht zu bewerten und Handlungsempfehlungen für die zukünftige Bewirtschaftung auszusprechen.

Dabei entstand eine eindrucksvolle Gesamtzusammenschau, wie der Sedimenthaushalt bzw. menschliche Eingriffe in diesen, den Gesamtlebensraum Voralpenfluss und damit auch die Fischerei bestimmen.

Ausgangsbedingungen – Änderungen im Geschiebehaushalt

Die Eingriffe in die Gewässergeometrie, in das Abflussgeschehen sowie in den Feststoffhaushalt durch den Menschen, haben das natürliche Erscheinungsbild der Isar zwischen Bad Tölz und München stark verändert. Aus dem einstmalig netzartig verzweigten Flusslauf, der sich innerhalb teils sehr breiter alluvialer Überschwemmungsflächen ständig neue Abflusswege bahnte, wurde nach und nach ein kaum noch veränderliches, meist gestrecktes Hauptgerinne ohne regelmäßig wasserführende Seitenarme (Abb. 24). Das wesentliche, strukturgebende Element im natürlichen Zustand der Isar war Totholz, das hydraulische Prozesse initiierte und Lebensraum für Fische und Makrozoobenthos schuf.

Mit der durch Begradigung des Flusses bedingten Erhöhung des Feststofftransportvermögens in den regulierten Strecken und dem nachlassenden Geschiebenachschub aus dem Einzugsgebiet durch Querbauwerke, entwickelte sich die Ein-



Reste der ursprünglichen Ausprägung der Isar in der Ascholdinger Au (oben) und begradigter Isar-Verlauf bei Geretsried (unten), Google (2015), 1:5000. (Abb. 24)

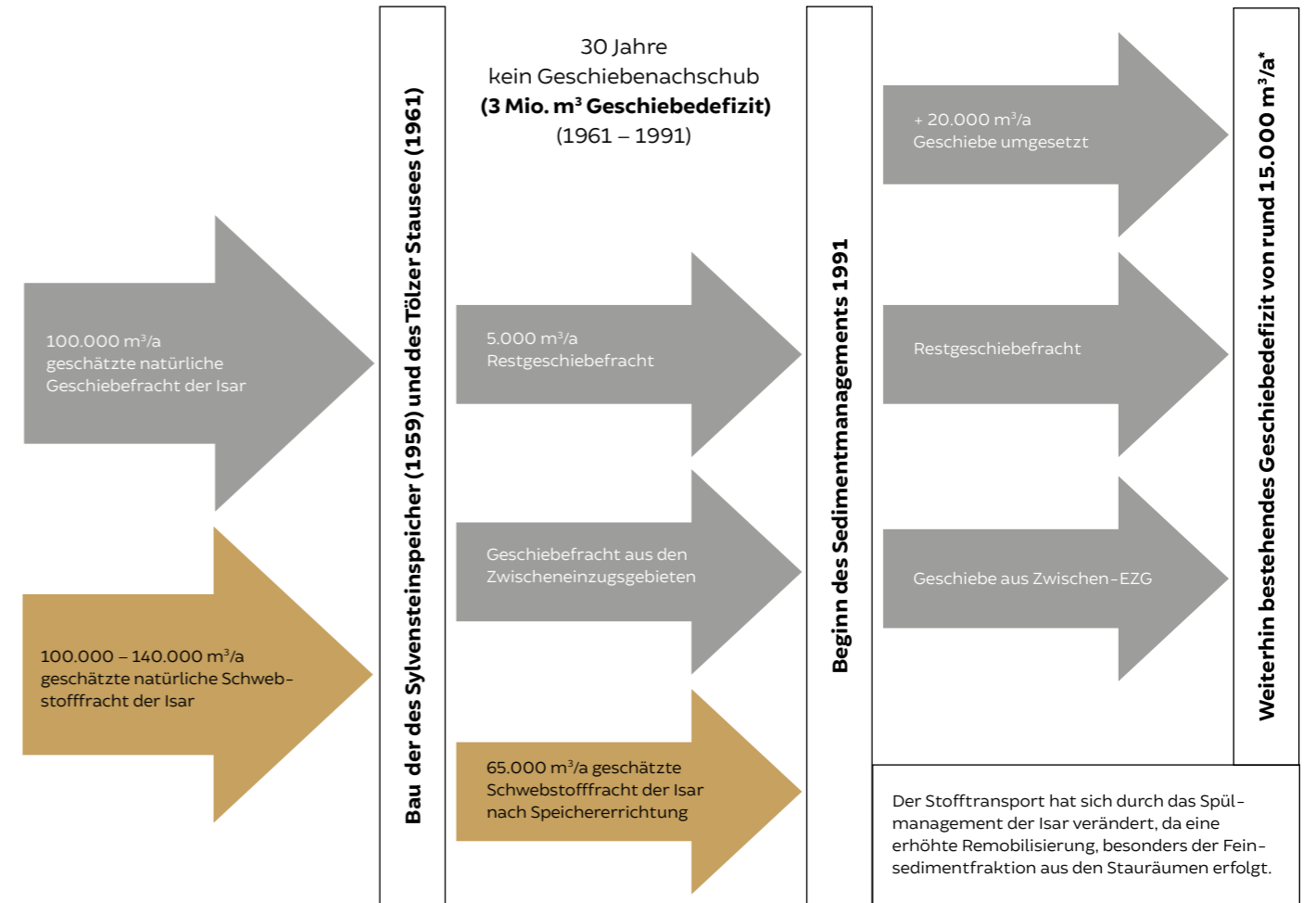
tiefung der Isar zu einem zunehmenden Problem. Infolgedessen traten Probleme wie die Absenkung des Grundwasserspiegels im Umland oder die Monotonisierung des Gewässerlebensraumes auf. So senkte sich der mittlere Wasserstand der Isar am Pegel Puppling zwischen 1900 und 1990 um rund 2,5 m ab. Maßgeblich verantwortlich für das Geschiebedefizit in der Isar unterhalb von Bad Tölz sind der Sylvensteinspeicher (Inbetriebnahme 1959) sowie der Tölzer Stausee (1961), in welchen das natürlich bewegte Geschiebe ebenso wie das, für die Strukturbildung wichtige Totholz nahezu vollständig zurückgehalten werden.

Zum Schutz der letzten verbliebenen, mehrfach verzweigten Umlagerungsstrecken (Ascholdinger Au, Pupplinger Au) und zur Abwendung der fortschreitenden Sohleintiefung sowie der damit verbundenen Gefahr eines „Sohldurchschlags“ wurde von der Wasserwirtschaft ein Maßnahmenkatalog entwickelt und seitdem fortlaufend optimiert. Hierbei wurde die Geschiebefracht der Isar erhöht und seit 1991 werden bei Hochwasserabfluss regelmäßig Stauraumpülungen am Kraftwerk Bad Tölz durchgeführt. Geschiebeablagerungen im Stauwurzelbereich, die sich mittels dieser Spülungen nicht mobilisieren lassen, das Abflussprofil in Bezug auf den Hochwasserschutz jedoch zu stark einengen, werden dem Flusssystem seit 2001 nicht mehr entzogen und anschließend vermarktet, sondern maschinell in das Unterwasser des Kraftwerks Bad Tölz weitergegeben (Geschiebweitergabe). Dabei wurden wiederholt bis zu 50.000 m³ Isargeschiebe als Geschiebedepot eingebracht um bei Hochwasser verfrachtet zu werden. Seit 1991 wurden im Schnitt (allerdings sehr unregelmäßig) nun wieder rund 20.000 m³ pro Jahr Geschiebe in das Unterwasser des Kraftwerks Bad Tölz, in die Isar weitergegeben.

Infolge der Geschiebezugabe veränderten sich in der anschließenden Isar vielfach die Höhenlagen der Gewässersohle, das Querprofil und die mittlere Korngrößenverteilung deutlich. Im Projektgebiet entwickelten sich seither wieder Abschnitte mit Sohlanhebung, hier dominieren die kiesigen und locker gelagerten Sohlsubstrate. Andere Abschnitte hingegen haben sich teils sogar noch weiter eingetieft.

Die Korngrößenverteilung des Geschiebes hat sich in vielen Bereichen mit Beginn der Geschiebweitergabe verändert, das Substrat ist feinkörniger als zuvor. Die nun auftretenden Feinkiesbänke, sind mobiler und verfüllen auch Strukturen wie Kolke und Nebenarme („monotone Kies-Autobahn“).

Veränderung der geschätzten Geschiebe- und Schwebstofffrachten durch die beiden Speicher und das ab 1991 beginnende Geschiebemanagement. (Abb. 23)



* Unter Berücksichtigung der geänderten Abflussbedingungen und der Geschiebefrachten aus den Zwischeneinzugsgebieten.

Ergebnisse – Veränderung der Fischfauna

Das Fischartenspektrum zwischen Rißbachstollen und Loisachmündung ist auch heute noch nahezu vollständig vorhanden, leider jedoch meist mit deutlichen Abweichungen in der Abundanz sowie mit teils erheblichen Defiziten in der Altersstruktur.

Im Vergleich zur Referenzzönose ergeben sich im Projektgebiet folgende, klar erkennbare Defizite:

- ▶ Die **Äsche** zeigt in vielen Gewässern, in denen sie einst eine wichtige Leitfischart darstellte, erhebliche Bestandsrückgänge (2-5 % der ursprünglichen Dichten), so auch grundsätzlich an der Oberen Isar. Erhebungen nach Beginn des Sedimentmanagements attestierten der Äsche jedoch einen vergleichsweise hohen Reproduktionserfolg, was mitunter auf die verbesserte Laichplatzqualität infolge der Geschiebeweitergabe zurückgeführt werden kann.
- ▶ Die Fischarten **Bachforelle, Barbe, Nase, Aitel und Schmerle** kommen nur noch sporadisch oder deutlich zu selten vor und die Populationen weisen hohe Defizite im Altersaufbau auf. Die Nase, die bis vor 30-40 Jahren eine häufige Leitfischart der Isar war, wird nur noch sehr vereinzelt nachgewiesen. Ein Nachweis von Exemplaren der unteren Jahrgangsstufen, die aus natürlicher Reproduktion stammen, gelingt kaum noch.
- ▶ Die Fischart **Strömer** fehlt, kommt aber schon seit längerem in der gesamten Isar nicht mehr vor.
- ▶ Die Fischarten **Schneider, Hasel und Rutte** fehlen im Projektgebiet, während sie in der Isar von Einöd flussabwärts durchaus noch vorkommen.
- ▶ Eine sehr hohe Bedeutung hat die Obere Isar für den **Huchen**. Diese ausschließlich im Donaugebiet heimische Fischart ist aus weiten Teilen ihres ursprünglichen Verbreitungsgebietes bereits ganz verschwunden oder lässt sich dort nur noch durch Besatz erhalten. Von den wenigen innerhalb Bayerns verbliebenen selbsterhaltenden Huchen-Populationen lebt derzeit die weitaus größte in der Isar zwischen Bad Tölz und München. Das Projektgebiet deckt etwa 20 % dieses sehr bedeutenden, zusammenhängenden Huchen-Lebensraumes ab. Es zeigen sich in der Huchen-Population Defizite in der Altersstruktur.

Teilweise konnten seit dem Sedimentmanagement Verbesserungen in einzelnen Beständen (z.B. Äsche) beobachtet werden. Die Gesamtfischbiomasse ist jedoch nach wie vor niedrig. Die Änderungen und Defizite der Fischartenzusammensetzung haben ihre Ursachen in einer Vielzahl von abiotischen Änderungen, die sich auf das Geschiebedefizit und die damit einhergehende Eintiefung zurückführen lassen.



Jungfische in einem Nebenarm der Isar (Ascholdinger Au). (Abb. 25)

Ergebnisse – Wassertemperatur

In sommerkalten Flüssen sind vor allem die Vertreter der Cypriniden (Nase, Barbe, etc.) zwingend auf eine heterogene laterale Temperaturverteilung angewiesen, wie sie z.B. in einer verzweigten Gerinnemorphologie verlässlich auftritt. Insbesondere die Juvenilstadien können sich nur adäquat entwickeln, wenn ihnen im Sommerhalbjahr wärmere Flachwasserkörper mit entsprechender Nahrungsgrundlage und Strukturausstattung als Lebensraum zur Verfügung stehen (Abb. 26).

Mit der Eintiefung und der Entwicklung zu einem unverzweigten Flussbett sind die sich rasch erwärmenden Flachwasserkörper (Alt- und Nebenarme) sukzessive verloren gegangen. Im verbliebenen Hauptgerinne wurden die Neigungen der einstmaligen breiten, flach auslaufenden Gleitflügel immer steiler und die Temperaturverteilung im Querschnitt deshalb immer homogener. Dies brachte nicht nur für die eher wärmeliebenden Arten Nachteile mit sich. Auch alle anderen Arten werden dadurch zunehmend in ihren Möglichkeiten beschnitten, sich je nach Bedarf gezielt in diejenige Temperaturzone und Habitate begeben zu können, welche dem art-, alters- und jahreszeitspezifischen Temperaturanspruch (Optimalbereich) jeweils am nächsten kommen.

Verstärkt wird die Problematik noch dadurch, dass die wenigen im Projektgebiet verbliebenen Flachzonen mit Erwärmungspotenzial bevorzugt auch von Badegästen und anlegenden Bootsfahrern aufgesucht werden. Das Störungspotenzial ist dort speziell also zu den Zeiten am höchsten, zu welchen die wärmeliebende Brut den größten Nutzen aus solchen Standorten ziehen würde.



Eine der wenigen im Untersuchungsgebiet noch vorhandenen Altarm-Mündungsbuchten mit wärmeliebender Cyprinidenbrut. (Abb. 26)



Drei charakteristische Choriotypen der Gewässersohle im Projektgebiet. (Abb. 27)

Ergebnisse – Korngrößen

Der als sog. „Mikrolithal“ bezeichnete Sohltyp (2 – 6,3 cm Korn-Durchmesser) (Abb. 27) dominiert das gesamte Projektgebiet (53 %), wobei eher Größen am unteren Rand des Spektrums bestimmend sind. Die Bereiche sind zumindest bei sommerlichem Normalabfluss zumeist lagestabil und können somit von Makrozoobenthos zumindest vorübergehend besiedelt werden. Auch als Substrat für die meisten Kieslaicher ist diese Korn-Fraktion noch gut geeignet. Speziell für die Äsche ist diese Korngrößenzusammensetzung sogar als besonders günstig anzusehen. Für die Laichplatzansprüche des Huchens und weiterer Arten ist sie hingegen eher etwas zu fein sortiert. Insgesamt kann das Angebot an geeignetem Substrat für kieslaichende Fischarten im gesamten Projektgebiet derzeit als vergleichsweise gut bis sehr gut bezeichnet werden. Mit rund 34 % der zweithäufigste Sohltyp sind die von Mesolithal dominierten Substrate, die mehr oder weniger stark auch von Elementen des Makro- und Megalithals (Gesamtflächenanteil 5 %) durchsetzt sein können. Diese beiden eher groben bis sehr groben Choriotope repräsentieren die Sohle, wie sie im Projektgebiet noch vor Beginn der Geschiebeweitergabe typisch war. Eine meist stark ausgeprägte Sohldeckschicht erweist sich hier selbst bei sehr hohen Abflüssen noch als recht lagestabil. Mit 8 % Flächenanteil der dritthäufigste Sohl-Grundtyp besteht vorwiegend aus Akal.

Im Vergleich zu anderen Flüssen der Äschenregion ist dieser Akal-Anteil als typisch zu bezeichnen, der Mikrolithal-Anteil ist hingegen zu Ungunsten größerer Korngrößen erhöht. Das wäre grundsätzlich kein Problem, wenn die Isar durch die Eintiefung und damit die Reduktion der Breite nicht erhöhte Schleppkräfte aufweisen würde. Dies hat zur Folge, dass die abflussabhängige Geschiebemobilisierung schon bei leicht erhöhten Wasserführungen und dann oft gleich in voller Breite einsetzt. Die unnatürlich leichte Mobilisierbarkeit hat entsprechende Auswirkungen auf das Makrozoobenthos und auch Fischeier und -larven, die sich im Sedimentlückenraum befinden (Abb. 28).

Die Schleppkräfte sind unmittelbar von der Breitenausdehnung des Gewässers abhängig. Betrachtet man die Habitatverteilung daher nach diesem Gesichtspunkt wird klar, dass die Regulierung bzw. die Eintiefung durch das Geschiebedefizit, diese Entwicklungen stark begünstigt.

Wie kann man sich also die Korngrößenzusammensetzung der beweglichen Sohle vorstellen, die vor dem Bau der beiden großen Barrieren Sylvensteinspeicher und Staustufe Bad Tölz vorlag?

Unterschiedliche Abschätzungen lassen den Schluss zu, dass das weitgehend vom Menschen unbeeinflusste, locker gelagerte Geschiebe der Isar im Untersuchungsgebiet eine maßgebende Korngröße von mindestens 30 mm aufwies und sich zu mehr als 10 % aus Komponenten zusammensetzte, die größer als Grobkies ($\geq 63\text{mm}$) waren.

Im Vergleich hierzu liegt die maßgebende Korngröße bezogen auf den unter dem Einfluss der Geschiebeweitergabe wieder deutlich angestiegenen Anteil einer normal beweglichen Sohle im Projektgebiet klar darunter.

Um vermehrt gröberes Geschiebe (mittlerer Korndurchmesser $\geq 30\text{ mm}$) in die Isar zu bringen, wurde daher begonnen gröberes Substrat aus der Stauwurzel in Bad Tölz zu entnehmen und umzusetzen.

Ein nicht zu unterschätzendes Potenzial für eine Anreicherung mit größeren Geschiebeanteilen bergen zudem die im Zwischeneinzugsgebiet vom Sylvensteinspeicher bis Bad Tölz einmündenden Wildbäche. Bislang führen lediglich Arzbach und Hirschbach ihre halbwegs natürliche Geschiebemenge ungehindert in die Isar ab. Wegen bestehender Barrieren und weiterhin erfolgreicher quantitativ spürbarer Geschiebeentnahmen gelangt aus Jachen und Schwarzenbach hingegen nahezu gar kein Geschiebe mehr in die Isar. Auch aus dem Steinbach (Gaißach) wird nach wie vor ein Großteil des Geschiebes entnommen. Als positiver Schritt ist der inzwischen am Steinbach (Wackersberg) erfolgte Umbau der Geschieberückhaltesperre in eine Geschiebedosiersperre zu werten. Dennoch wird auch aus diesem Zubringer weiterhin Geschiebe entnommen, welches die Isar dringend benötigt.

Ergebnisse – Auswirkungen auf Fischhabitate

- **Sommer-Jungfischhabitate:** Während die Habitate für die stärker kälteliebenden (oligo-stenothermen) Arten Huchen, Äsche und Elritze praktisch durchweg gut geeignet sind, ergeben sich für die wärmeliebenderen (meso-eurythermen) Arten wie Nase, Barbe und andere Cypriniden teils erhebliche Defizite, die sich vor allem darin begründen, dass das Projektgebiet den Jungfischen als Folge der Eintiefung kaum noch Wasserkörper zu bieten hat, welche im Sommer regelmäßig deutlich wärmer als das Hauptgewässer werden.
- **Wintereinstände für Jungfische:** Dabei handelt es sich z.B. um Totholzbereiche in strömungsberuhigten Nebenarmen. Deren Vorhandensein ist durch die Eintiefung deutlich reduziert. Die wenigen existierenden Strukturen reichen bei weitem nicht aus, um den zum Aufbau und Erhalt eines leitbildkonformen Fischbestandes benötigten Nachwuchs in ausreichender Zahl schadlos über den Winter zu bringen.
- **Standplätze Adulthuchen:** Vor der Geschiebeweitergabe war der Kies in vielen Bereichen soweit ausgezogen, dass tiefe Gumpen und Querstrukturen durch den freiliegenden Seeton entstanden. Dies führte dazu, dass unnatürlich viele Strukturen für adulte Huchen zur Verfügung standen. Vor den Veränderungen wurden zwar mehr, dafür aber wesentlich kleinere Individuen gefangen. Ein Huchen jenseits der 6 kg-Klasse zählte schon zu den kapitalen Fängen. Mit durchschnittlich 9,8 kg sind die entnommenen Huchen heute gegenüber der Periode 1938-1967 weit mehr als doppelt so schwer. Dies lässt sich nur zum Teil mit einer veränderten Entnahmepolitik (z.B. angehobenes Schonmaß) erklären. Denn wäre dies der einzige Grund, hätte das Gesamtgewicht nicht ansteigen dürfen, wie es der Fall ist, sondern eher abnehmen müssen (gemäß der Gesetzmäßigkeit, dass mit steigendem Durchschnittsgewicht der entnommenen Individuen die Ertragskraft einer fischereilich genutzten Population fällt).

Die Daten weisen darauf hin, dass die Alterspyramide der Huchenpopulation in der Oberen Isar heute wesentlich schmaler ist, als dies im Naturzustand der Fall war, d.h. es gibt heute weniger Individuen, die im Gegenzug aber deutlich größer werden können. Dies passt sehr gut mit den strukturellen Veränderungen im Flussbett zusammen. Im Verhältnis zur guten Ausstattung mit Laichplätzen, Jungfisch-Sommer- und Winterhabitaten waren die von adulten Huchen bevorzugten, tiefen Standplätze früher eher unterrepräsentiert. Heute ist es genau umgekehrt: Während es an Sommer- und insbesondere an Winterhabitaten für Jungfische teils erheblich mangelt, finden sich geeignete Standplätze für große Huchen nun wesentlich häufiger. Daraus lässt sich ableiten, dass neben der Geschiebeweitergabe auch weitere strukturelle Maßnahmen notwendig wären um die Fischbestände dem Leitbild wieder näher zu bringen.



Die leicht beweglichen Mikrolithal Bereiche erscheinen immer „freigeputzt“ und weisen auch bei sommerlichen Niederwasserphasen kein Algenwachstum auf. (Abb. 28)

Schlussfolgerungen für die Praxis

Schlussfolgerungen – Spülmanagement

Für das Spülmanagement wurden im Projekt weitere Feinjustierungen vorgeschlagen. Diese umfassen vor allem:

- ▶ Verringerung der Geschwindigkeit der Anlauf- und Absenkphase der Spülungen um ein Stranden von Jungfischen zu verhindern. Der erzeugte Abflusswechsel darf vom Stauraumzufluss nach unten maximal um 20 %, nach oben maximal um 40 % abweichen. Pro 15minütiger Zeitspanne darf der Abfluss am Kraftwerk im Falle einer Drosselung jedoch maximal um 5 %, im Falle einer Erhöhung maximal um 10 % künstlich verändert werden.
- ▶ Es wurden jahreszeitlich, und damit auch mit den sensiblen Lebensphasen der Jungfische angepasste, Zeitfenster für unterschiedliche Spülregime vorgeschlagen.
- ▶ Die Spülungen sollten noch besser mit dem natürlichen Gang von Hochwässern gekoppelt werden.
- ▶ Auch bezüglich der mechanischen Geschiebeumlagerung sollte es Einschränkungen geben. Während der entsprechenden Laichzeiten und der anschließenden Entwicklungsphasen zum fressfähigen Brütling sollten Arbeiten in der Gewässersohle möglichst unterbleiben. Die störungsfreie Kernzeit sollte hier zumindest die Monate März bis Mai umfassen.

Schlussfolgerung – Menge und Korngröße

Als dringend erforderlich wird eine Erhöhung der mittleren Jahresmenge an umgesetzten Geschiebe von derzeit 20.000 m³/a auf 30.000 - 40.000 m³/a erachtet, die einen mittleren Korndurchmesser von mindestens 30 mm und einen hohen Anteil von Steinen mit einem Durchmesser von mindestens 63 mm (≥ Grobkies) aufweist.

Zudem ließe sich der Geschiebeeintrag aus den innerhalb dieses Abschnitts mündenden Wildbächen mittels wasserbaulicher Maßnahmen weiter erhöhen. Auch die mittelfristig weiterhin kaum zu vermeidenden Geschiebeentnahmen aus den Wildbächen sollten möglichst nicht mehr als Baumaterial verwertet, sondern vollumfänglich in die Isar als Geschiebestütze umgesetzt werden, insbesondere wenn es sich dabei um eher gröberes Material handelt.

Schlussfolgerung – Struktur, naturnahe Morphologie, Breiten

Im Projektgebiet wurde ein genereller Mangel an Lebensraumvielfalt (Verzweigungsgrad, Breiten- und Tiefenvarianz, Temperaturgradient im Querschnitt, grobe Störstrukturen) festgestellt. Dies wirkt sich direkt negativ auf Qualität und Ausstattung von Teillebensräumen aus, die von den isartypischen Fischarten benötigt werden. Daraus resultieren teilweise erhebliche Defizite in der Populationsstruktur und den Biomassen (Tab. 5).

Im Rahmen vorangegangener Untersuchungen wurde das grundlegende Problem des Geschiebedefizites erkannt. Die seit 1991 erfolgenden Geschiebeweitgaben im Projektgebiet haben bislang noch keine ausreichenden Veränderungen der Sohllagen bewirkt, sondern bislang nur kleinräumige Verbesserungen gebracht. Die Geschiebemengen und Korngrößenzusammensetzungen, welche dem Fluss eine schrittweise Entwicklung aus seinem eingetieften, teils auch verbauten Korsett einer unverzweigten Mittelwasserrinne heraus in die Breite aus eigener Kraft ermöglichen, sind noch nicht erreicht. Die bis dato praktizierte Geschiebewirtschaftung mit zu kleinen Korngrößen hat – in Kombination mit den strukturellen Defiziten – bislang eher noch zu einer weiteren Monotonisierung des Lebensraumes geführt.

Es ist davon auszugehen, dass sich daran auch auf absehbare Zeit nicht viel ändern wird, sofern man nicht das Geschiebekonzept weiter optimiert. Zudem bedarf es zur Förderung der Eigendynamik als begleitende Maßnahmen auch gezielter Eingriffe in die Gewässermorphologie (z.B. Rückbau von Ufersicherungen), sodass Mangelhabitate wie Winterstände, Flachwasserzonen, Nebenarme etc. wieder vermehrt entstehen können.

Wenn es um die Beseitigung unterschiedlichster Defizite geht, ist dem Rückbau von Ufersicherungen höchste Priorität einzuräumen, da im Zuge dessen die größten Synergie-Effekte zu erwarten sind. Dadurch lässt sich eine Verminderung der Schleppkraft induzieren, was sich unterstützend auf die sohlanhebende Funktionsweise des zugeführten Geschiebes auswirkt. Steigt die Sohle und stehen dem Fluss seitlich ausreichend „Angriffsflächen“ zur Verfügung, kann er seinen Lauf in die Breite entwickeln, sich dann letztlich auch wieder verzweigen und in einem weiteren Schritt auch wieder Altarmstrukturen ausbilden. Unter Mithilfe des durch Seitenerosion natürlich in den Wasserkörper gelangenden Geschiebes und Totholzes können defizitäre Teillebensräume



Pupplinger Au mit großen Mengen an Totholz als Strukturbildner (links) und erodierte Uferverbauung als effektive Ersatzstruktur (rechts). (Abb. 29)

dabei ganz von alleine neu entstehen. Feinkörniges Geschiebe (aus Mittel- und Feinkies), welches in der Sohle eines vorwiegend steilufrigen, eingetieften Mittelwasserbetts eher fehlt am Platze ist, weil es dort viel zu leicht beweglich ist und damit produktionshemmend wirkt, kann seine ökologische Bedeutung als Substrat bei der Wiederherstellung bzw. Neubildung flach auslaufender, gut strukturierter Gleitufer wieder voll entfalten.

Die aufgelösten Ufersicherungen können teilweise auch als Ersatzstrukturen für das fehlende Totholz gesehen werden, das grundsätzlich den Lebensraum prägen würde aber in den Stauhaltungen ebenfalls zurückgehalten wird (Abb. 29). Speziell in tiefen, schmalen Kolkrinnen, deren Gerinnegeometrie sich so stark in eine unnatürliche Form verändert hat, dass ein

Gegensteuern ohne Einsatz weiterer Hilfsmittel kaum noch möglich erscheint, ließen sich Sohlhebungen einleiten, indem man dort gezielt grobe Ufersteine als sohlstabilisierenden Unterbau einbringt.

Im Projektgebiet liegt der Anteil der verzweigten Abschnitte an der Gesamtlauflänge derzeit unter 10 %. Das ist entschieden zu wenig. Der Anteil sollte mittelfristig auf mindestens 30 % erhöht werden. Da eine entsprechend initiierte Flussdynamik erfahrungsgemäß viele Jahre benötigt, bis sich in der Folge eine adäquate Ausstattung mit Teillebensräumen von alleine ausgebildet haben wird, erscheint es zur Überbrückung zweckmäßig, bestandslimitierende Teilhabitate zwischenzeitlich künstlich aufzuwerten bzw. neu zu schaffen.

Erhaltungszustände typspezifischer Fischarten im Projektgebiet sowie Art und Ausmaß von Defiziten bei den Teillebensräumen. (Tab. 5)

Fischart	(Kies-) Laichplatz	Jungfischhabitat	Winterstand	Hochwasser-Einstand	Einstand Adulte	Population	Populations-limitierend
Huchen	○	●	●●	○	●	●●	1,3,5,6,8
Bachforelle	○	●●●	●●	○	●●●	●●●	1,3,6,10
Äsche	○	○	●	○	●	●	1,7,9
Barbe	○	●●●	●●●	○	●	●●●	1,2,3,4,5,6,8
Nase	○	●●●	●●●	○	●	●●●	1,2,3,4,5,6,8
Aitel	○	●●	●●	○	●●	●●	1,2,3,4,5,6
Hasel	○	●	●●●	○	●	x	1,3,4,5,6,9
Elritze	○	●●	●●	○	●	●	1,2,3,4,5,6,7
Schneider	○	●●	●●●	○	●●	x	1,2,3,4,5,6
Strömer	○	●●●	●●●	○	●●	x x	1,3,4,6,8
Schmerle	○	●●	●	○	●	●●	1,3,7
Mühlkoppe	○	●	○	○	○	●	1,3,7

- kein oder geringeres Defizit
- mäßiges Defizit
- hohes Defizit
- sehr hohes Defizit
- x Fischart im Projektgebiet fehlend
- x x Fischart in der gesamten Isar fehlend
- 1 Mangel an struktur- und deckungsreichen Nebenarmen
- 2 Mangel an Altwasserstrukturen mit Anbindung
- 3 Allgemeiner Totholz mangel
- 4 Sommer: Mangel an Gleitufeln mit deckungsreichen, wärmeren Flachzonen/Buchten

- 5 Winter: Mangel an gut strukturierten Wasserkörpern im Hochwasserbett
- 6 Winter (bei Niedrigabfluss): Mangel an massiven Totholzlagern im Wasserkörper
- 7 Mangel an lückenreichen Sohlbereichen vorwiegend aus Grobkies, Steinen, (Blöcken)
- 8 Mangel an kolkbildenden Grobstrukturen
- 9 zu hoher Fraßdruck durch Kormoran/Gänsesäger
- 10 (zu starke) Überlappung der Lebensräume adulter Huchen und adulter Bachforellen

Die Hydromorphologie von Fließgewässern wird durch Wassermenge, Strömungs- und Substratvielfalt bestimmt. Dies sind die Grundlagen für die Vielfalt der Ökosystemdienstleistungen entlang alpiner Flüsse. Doch besonders menschliche Einflüsse wie die Stauhaltung durch Wasserkraftanlagen oder Einengung des Gewässerbettes für die Ausweitung der Landnutzung in der Aue wirken auf dieses empfindliche Gefüge ein. Die Alpenstaaten der EU und die Schweiz haben diese Zusammenhänge mit dem Projekt HyMoCARES nun genauer untersucht. Die Erkenntnisse sollen aktiv in die Planung, das Management und die Umsetzung zukünftiger Eingriffe in Fließgewässer eingehen.

Projektdesign

Zur genauen Erfassung und Bewertung von Einflussfaktoren auf Gewässer, deren Umland und die damit verbundenen Ökosystemleistungen wurden die bestehenden Daten der Projektgewässer aller Partnerländer zur Bewertung herangezogen. Darunter auch Daten der Wasserrahmenrichtlinie, Gewässerstrukturkartierungen, Flächennutzung der Aue und naturschutzfachliche Aspekte.

Projektintention

Dieses Projekt ist auf die Bedürfnisse und Situationen der Fließgewässer in den EU Alpenstaaten und der Schweiz ausgerichtet. Da Flüsse keine Grenzen kennen und oftmals durch mehrere Länder fließen, wo oftmals mit unterschiedlichsten Ansätzen versucht wird, die Defizite zu korrigieren, ist es Ziel dieses Projektes, einen wissenschaftlich fundierten, einheitlichen und gemeinsamen Lösungs- und Handlungsansatz für die Probleme der Fließgewässer der europäischen Alpenstaaten anzubieten. Die Anwendungen sind speziell für Behörden, Wasserwirtschaftsämter und Gewässerunterhalter aufgearbeitet, um hier die notwendigen Werkzeuge für ein nachhaltiges und ökologisch wertvolles Fließgewässermanagement kostenlos für alle Benutzer bereit zu stellen.

Ergebnisse

Um die Erkenntnisse der einzelnen Themenbereiche möglichst anwendungsfreundlich aufzuarbeiten, wurden spezielle Werkzeuge und Beschreibungen, sogenannte Factsheets entwickelt und nach Themenbereichen sortiert zusammengetragen. Diese stehen unter www.alpine-space.eu/projects/hymo-cares zur Verfügung und werden nachstehend kurz skizziert.

Sedimentbasierte Restaurierung von Flüssen: Neben der Kanalisierung ist es besonders die Trennung von ihren Sedimentquellen und der daraus resultierenden Änderung des Sedimentregimes, die die Hydromorphologie der Alpenflüsse stark beeinflussen. Daher ist für eine erfolgreiche Wiederherstellung der Hydromorphologie eines Flusses die Berücksichtigung des Einzugsgebiets und des Sedimentregimes von entscheidender Bedeutung. HyMoCARES präsentiert ein mehrstufiges Konzept für die sedimentbasierte Flussrestaurierung, das ein besseres Verständnis der Auswirkungen verschiedener Maßnahmen auf die Hydromorphologie eines Flusses ermöglicht. Das Konzept berücksichtigt zwei wichtige Rahmenfaktoren, die für die Hydromorphologie der Alpenflüsse relevant sind: das Einzugsgebiet und die Sedimentbilanz eines Flussabschnittes. Der Sedimentaustrag bestimmt die Morphologie von Flüssen, wie z. B. die laterale Dynamik und den daraus resultierenden Zustand zwischen einer verzweigten und einer unverzweigten Morphologie. Zusätzlich bestimmt die Sedimentversorgung die Gerinneneigung eines Flussabschnittes. Wenn die Sedimentversorgung erhöht wird, wird die Neigung steiler, bis der Kanal das zugeführte Sediment mit ansteigenden Schleppkräften durch die gesamte Strecke transportieren kann. Wenn das Angebot reduziert wird, flacht sich die Neigung ab, um die Sedimenttransportkapazität anzupassen. Hangsteigung und Abflachung werden durch Ablagerung und Abtragung erreicht.

Geschiebetransport: Aufgrund der hohen Geschwindigkeiten des Geschiebetransportes in alpinen Flüssen besteht eine dringende Notwendigkeit der Kopplung von Sedimentzugaben mit der Verbreiterung (im Falle einer Kanalisierung), um die Ablagerung des Sediments in den Zielregionen auszulösen und die Hydromorphologie wiederherzustellen. Diese zwei Aspekte gehören zusammen:

- ▶ Die Wiederherstellung des **Sedimentnachschiebs** ist eine erfolgreiche Lösung, um die Tiefenerosion in kanalisierten Gewässern zu stoppen oder die verzweigte Morphologie in stark veränderten alpinen Kiesbettflüssen wiederherzustellen.
- ▶ Die **Verbreiterung des Gewässerbettes** ist eine erfolgreiche Lösung zur Verbesserung der morphologischen Bedingungen in einst verzweigten Alpenflüssen und der davon abhängigen Habitatdiversität, sofern die Sedimentversorgung hoch ist.

Werkzeuge zur Modellierung der Laufentwicklung

- ▶ **HyMoCARES Chevo:** (Channel evolution) Dieses Tool ermöglicht eine standardisierte Bewertung der hydromorphologischen Entwicklung eines Gerinnes anhand von realen Messwerten und liefert Informationen zu den lateralen und vertikalen Änderungen auf der Grundlage von Querschnittserhebungen, sodass die Hydromorphologie von Flussabschnitten bewertet oder überprüft werden kann. Alle Informationen werden gleichzeitig im Gewässerbettentwicklungsdiagramm angezeigt.
- ▶ **RIVER BAR PREDICTOR:** Crosato und Mosselman (2009) entwickelten ein einfaches Modell, um die Anzahl der Flussbänke vorherzusagen, die innerhalb eines Querschnitts bei einer bestimmten Kanalbreite auftreten. Es kann verwendet werden, um die Auswirkung von Breitenänderungen auf das morphologische Erscheinungsbild zu bestimmen.
- ▶ **(B / H; h / d) -PLAN:** Da Silva (1991) bezog das Verhältnis zwischen Kanalbreite und Wassertiefe auf das Verhältnis zwischen Wassertiefe und Korngröße, wodurch verschiedene morphologische Typen abgegrenzt werden konnten. Dieses Diagramm kann verwendet werden, um die minimale Kanalbreite zu schätzen, die man bereitstellen muss, um eine bestimmte Morphologie wiederherzustellen. Es kann die Strömung in unterschiedlichen Querschnittsbreiten modelliert werden und die Morphologie, die sich daraufhin im Fluss gemäß diesem Plan entwickeln würde, wird veranschaulicht.
- ▶ **BEDLOAD WEB** ist eine interaktive Online-Webanwendung von Irstea Grenoble, die sich der Quantifizierung des Geschiebetransports in Flüssen widmet und auf den am weitesten verbreiteten und fortschrittlichsten Geschiebetransportgleichungen basiert. Das Tool bietet die Möglichkeit, Geschiebedatensätze aus der Literatur leicht zu untersuchen, und bietet Unterstützung bei der Berechnung des Geschiebetransports für eine bestimmte Flussstrecke.
- ▶ **HyMoLINK** ist ein Werkzeug zur systematischen Analyse der Morphodynamik eines Flusses und zur Interpretation der Relevanz der Morphodynamik für die Bereitstellung von Flusslebensräumen, insbesondere von solchen, die für die Reproduktion vieler Flussarten (aquatisch-terrestrisch) von entscheidender Bedeutung sind.
- ▶ **SedRace:** Sedimente, die weiter stromaufwärts remobilisiert werden, um stromabwärts gelegene Bereiche zu versorgen (z. B. Entfernung oder Neugestaltung von Staudämmen in Nebenflüssen, Wiederauffüllung von Sedimenten), müssen zumeist transportiert werden, bevor sie in die interessan-

ten Bereiche gelangen. SedRace hilft bei der Bewertung der Zeit, die benötigt wird, bis die Sedimentversorgung im Zielgebiet wirksam wird, und hilft bei der Erstellung von Wiederherstellungsplänen auf Einzugsgebietsebene.

- ▶ **HyMoCARES Online Interactive Framework:** Dieses Tool wurde speziell entwickelt um die Visualisierung der funktionalen Abhängigkeiten von Ökosystemleistungen (ES) von der Flusshydromorphologie zu erleichtern und den einfachen Zugriff auf die wichtigsten Informationen und Tools des Projekts zu ermöglichen. Managementmaßnahmen an Fließgewässern (Verbauung oder Renaturierung) wirken sich auf verschiedene Flussfunktionen aus, die wiederum positive oder negative Auswirkungen auf die typische Ökosystemleistungen von Flüssen und ihren Auen haben. Daher ist die Identifizierung der relevanten Prozesse und Funktionen, die die ES beeinflussen, und der Zusammenhänge zwischen Aktionen, Funktionen und ES ein wichtiger Schritt, um die funktionalen Abhängigkeiten der ES von der Fließgewässerhydromorphologie zu verstehen. Darüber hinaus fasst das HyMoCARES Online Interactive Framework die wichtigsten Ergebnisse des Projektes zusammen, indem es synthetische Beschreibungen, Referenzen, Grafiken, Videos und Bilder zu Aktionen, Flussfunktionen und Ökosystemleistungen bereitstellt.

Schlussfolgerungen für die Praxis

Die, im Rahmen des Projektes erarbeiteten Ergebnissen geben eine Vielzahl von geeigneten Werkzeugen und Lösungsansätzen für die Gewässerunterhaltung und Entwicklung. Die Möglichkeiten der Eingriffsbewertung und Abschätzung der Auswirkungen auf das Gewässer sind über die Wirkpfadprognose einzelner Gewässerbaulicher Maßnahmen auf Ökosystemleistungs-Ebene durch das HyMoCARES Conceptual Framework möglich und bieten damit eine sehr wichtige Entscheidungshilfe bei der Planung von Maßnahmen.

Über die Feldforschung konnten grundsätzliche Erkenntnisse über die direkten Auswirkungen des Sedimenthaushalts alpiner Fließgewässer auf die Ökosystemleistungen alpiner Fließgewässer gewonnen und zusammengetragen werden. Der Geschiebehaushalt und besonders der Nachschub an Geschiebe aus dem Einzugsgebiet ist der Schlüsselfaktor für die Morphologie und damit die Habitatdiversität alpiner Flüsse. Damit ist für jede Erfolgreiche Renaturierung auch die Berücksichtigung des Sedimentregimes auf Einzugsgebietsebene von zentraler Bedeutung.

Maßnahmenansätze

Maßnahmen bei erhöhten Fein- sedimentfrachten

Wer ökologisch intakte Gewässer und damit eine naturnahe, sich selbst erhaltende Fischfauna haben möchte – mit entsprechenden Erträgen bei einer nachhaltigen fischereilichen Bewirtschaftung – muss Gewässer und Umland als Einheit betrachten.

Längst ist klar, dass die Umlandnutzung neben den Gegebenheiten direkt im Gewässer die Fischartenzusammensetzung wesentlich beeinflusst. Sowohl der Nährstoff- wie auch der Feinsedimenteintrag sind wesentliche Stressoren für die Gewässerökologie. Studien lassen dabei auch den Schluss zu, dass die physikalischen Auswirkungen des Feinsediments auf den Lebensraum sogar die trophischen Auswirkungen der Nährstoffeinträge übersteigen.

Daraus resultiert, dass es auch bei der Maßnahmenkonzeption zur Erreichung eines guten ökologischen Zustandes in den Gewässern eine Kombination aus Maßnahmen im Einzugsgebiet und gewässerökologischen Verbesserungsmaßnahmen im Gewässer braucht.

Auch für Fischereivereine, FischerInnen und TeichbesitzerInnen ergeben sich ganz konkrete Ansatzpunkte. Neben der Zusammenarbeit mit Land- und Forstwirtschaftlichen bei der Maßnahmenumsetzung im Umland, können Rückhaltmaßnahmen z.B. an Mündungen von kleinen Zuflüssen und strukturelle Aufwertungen im Gewässer die Situation verbessern.

Grundsätze der Maßnahmenplanung

- **Fundierte Ursachenforschung:** Gewässerökologische Probleme und damit auch Defizite im Fischbestand haben ihre Ursachen im Gesamtsystem Gewässers. Es zahlt sich daher aus das Gesamtsystem einer eingehenden Betrachtung zu unterziehen, um die Ansatzpunkte für Verbesserungsmaßnahmen zu eruieren. Wie in Kap. 5 dargestellt hat der Mensch an vielen Stellen in das Gesamtsystem eingegriffen und verursacht so verschiedene sich überlagernde Auswirkungen. Das Wissen über mögliche Rückkoppelungen verhindert auch, dass bei Umsetzungsmaßnahmen der Erfolg nicht durch sich überlagernde Effekte konterkariert wird (z.B. übermäßige Feinsedimentablagerung in einem Renaturierungsbereich).
- **Punktgenaue Verortung der Maßnahmen:** Verschiedene Studien lassen den Schluss zu, dass das Gießkannenprinzip bei Maßnahmen im Bereich Erosionsvermeidung und Reduktion von Einträgen in Gewässer deutlich geringere Erfolge aufweist als ein punktgenauer Mitteleinsatz an den neuralgischen Stellen. Um einen möglichst großen Effekt zu erzielen müssen die Maßnahmen immer individuell auf der Ebene von relativ kleinen Einzugsgebieten verortet werden.

Maßnahmenansätze

Diverse mögliche Maßnahmenansätze auf land- und forstwirtschaftlichen Flächen, wie auch in der Raumplanung sind in Tab. 6 zusammengefasst. Die ebenfalls beinhalteten Maßnahmen im Bereich Wasserwirtschaft, Gewässerökologie, Fischereiwirtschaft sind nachstehend noch detaillierter skizziert. Eine Vielzahl von Praxisbeispielen zu den unterschiedlichen Maßnahmentypen finden sich auf der Seite www.bodenstaendig.eu.

Übersicht über die gesammelten Maßnahmenansätze (Tab.6)

Akteur/-innen	Maßnahme	Landwirtschaftliche Flächen	Forstwirtschaftliche Flächen / Wald	Abflusswege	Am Gewässer	Im Gewässer
Landwirt/-innen und Entscheidungsträger/-innen in der ländlichen Planung und im Naturschutz	Erosionsmindernder Ackerbau					
	Konservierende Bodenbearbeitung	X				
	Fahrgassenmanagement / Vorgewendemanagement	X				
	Zwischenfruchtanbau und Erhalt einer Mulchschicht	X				
	Untersaaten / Begrünungen in Dauerkulturen	X				
	Spezielle Vorkehrungen bei Hackfrüchten	X				
	Angepasste Fruchtfolge	X				
	Schlagteilung	X		X		
	Querfurchen zur Unterbrechung von Abflusswegen	X		X		
	Raumplanung, Ländliche Planung, Naturschutz					
	Konturanbau / Höhenlinienparallele Bewirtschaftung	X		X		
	Streifenanbau	X		X		
	Terrassierung	X		X		
	Abflussbarrieren schaffen z.B. durch Anheben von Wirtschaftswegen			X		
	Überleitung aus versiegelten Flächen oder Nachbargrundstücken verhindern	X	X	X		
Begrünte Abflusswege	X		X			
Grünstreifen / Pufferstreifen	X		X			
Rückhaltegräben / Sedimentationsflächen	X	X	X	X		
Waldbewirtschaftler/-innen	Entsprechende Forststraßen Entwässerung		X	X		
	Naturnahe Uferbestockung v.a. an Gewässern		X	X	X	
Raumplanung / Verkehrsplanung	Straßenentwässerungsnetz adaptieren	X		X		
	Verstärkte Berücksichtigung von Abflusswegen in der Raumplanung			X		
	Vermehrte Versickerung von Niederschlagswässern			X		
Wasserwirtschaft, Gewässerökologie, Fischereiwirtschaft	Gewässerunterhaltung					
	Angepasste Bewirtschaftung / Laichplatzpflege					X
	Umsichtige Reinigung von Teichen			X	X	X
	Mündungssituation Gräben, Drainagen				X	X
	Naturnahe Gestaltung und Instandhaltung von Gräben und kleinen Zuflüssen			X	X	
	Strukturen einbringen					X
Renaturierung				X	X	
Betroffene	Privatrecht					X



Blick in eine Whitlock-Vibert Box mit Forelleneiern. (Abb. 30)

Angepasste Bewirtschaftung

Um die fischereilichen Erträge zu optimieren, empfiehlt sich eine eingehende Analyse des Leitbildes (natürliche Fischfauna) und der Umweltbedingungen (Wassertemperatur über den Jahresverlauf, vorhandene Habitate, Sedimentbedingungen). Darauf sollte die Erarbeitung des fischereilichen Managements und die Festlegung etwaiger Besatzbemühungen aufgebaut werden. Auch ist der Besatz mittels Brutboxen (z.B. Whitlock-Vibert- oder Firzlaff-Boxen) dazu geeignet, besser angepasste Individuen hervorzubringen als Besatz mit größeren Individuen (Abb. 30, Abb. 31).



Blick in eine Firzlaff-Box mit Forellenbrütlingen. (Abb. 31)

Laichplatzpflege, Schotterzugabe

Eine Möglichkeit die direkt den Fischern obliegt, ist die konkrete Stützung der natürlichen Vermehrung der jeweiligen Fischarten. Neben der mechanischen Reinigung von Laichplätzen für Kieslaicher (z.B. durch Rechen vor der Laichzeit), besteht auch die Möglichkeit Laichkiesschüttungen vorzunehmen. Diese Maßnahmen sind aber lediglich als Überbrückungsmaßnahmen zu sehen bis Sanierungsmaßnahmen im Einzugsgebiet zu greifen beginnen. Sie können keine Dauerlösung sein.

Umsichtige Reinigung von Teichen

Teiche stellen künstliche Sedimentfallen dar. Der Eintrag aus dem Vorfluter, der im Teich abgelagert, ist in der Regel deutlich höher als Sedimentmengen, die bspw. bei der Abfischung mobilisiert werden. Daher entsteht durch Teiche gerade beim Abfischen zwar augenscheinlich eine Gewässerverunreinigung, in der Stoffbilanz ist der für das Fließgewässer positive Rückhalt von Feinsedimenten jedoch deutlich größer als der Austrag. Dies gilt v.a. in Regionen, wo die Stoffeinträge aus dem Bereich Landwirtschaft stark zugenommen haben.

Bei der Reinigung sollte soweit möglich eine zeitweise Umleitung des Wassers über einen Bypass hergestellt werden, sodass das Material im Trockenen entnommen werden kann. Ebenfalls hilfreich sind Feinsedimentsperren in den abfließenden Gewässern. Dafür gibt es technische Filterlösungen oder auch vergleichsweise einfache Möglichkeiten (z.B. temporäres Absperren mit Strohballen (Abb. 32, unten).

Mündungssituation von Gräben und Drainagen anpassen

Für diese Maßnahme sind zumeist nur vergleichsweise kleine Bereiche im Gewässerumland notwendig. Auf diesen Flächen wird der Zufluss von Wasser aus künstlichen Entwässerungssystemen rückgehalten und in einer naturnahen Feuchtfäche langsam in das Gewässer geführt. Natürlich können solche Projekte nur mit dem Einverständnis des Grundbesitzers und der jeweils zuständigen Behörden umgesetzt werden.

Darüber hinaus sollte dieser Maßnahmentyp nur bei sehr kleinen und künstlichen Einleitungen angewendet werden, die an sich nicht als Fischlebensraum dienen, da auch kleine, passierbar angebundene Zuflüsse wichtige Funktionen im Gesamtökosystem Gewässer haben.

Naturnahe Gestaltung und Instandhaltung von Gräben und kleinen Zuflüssen

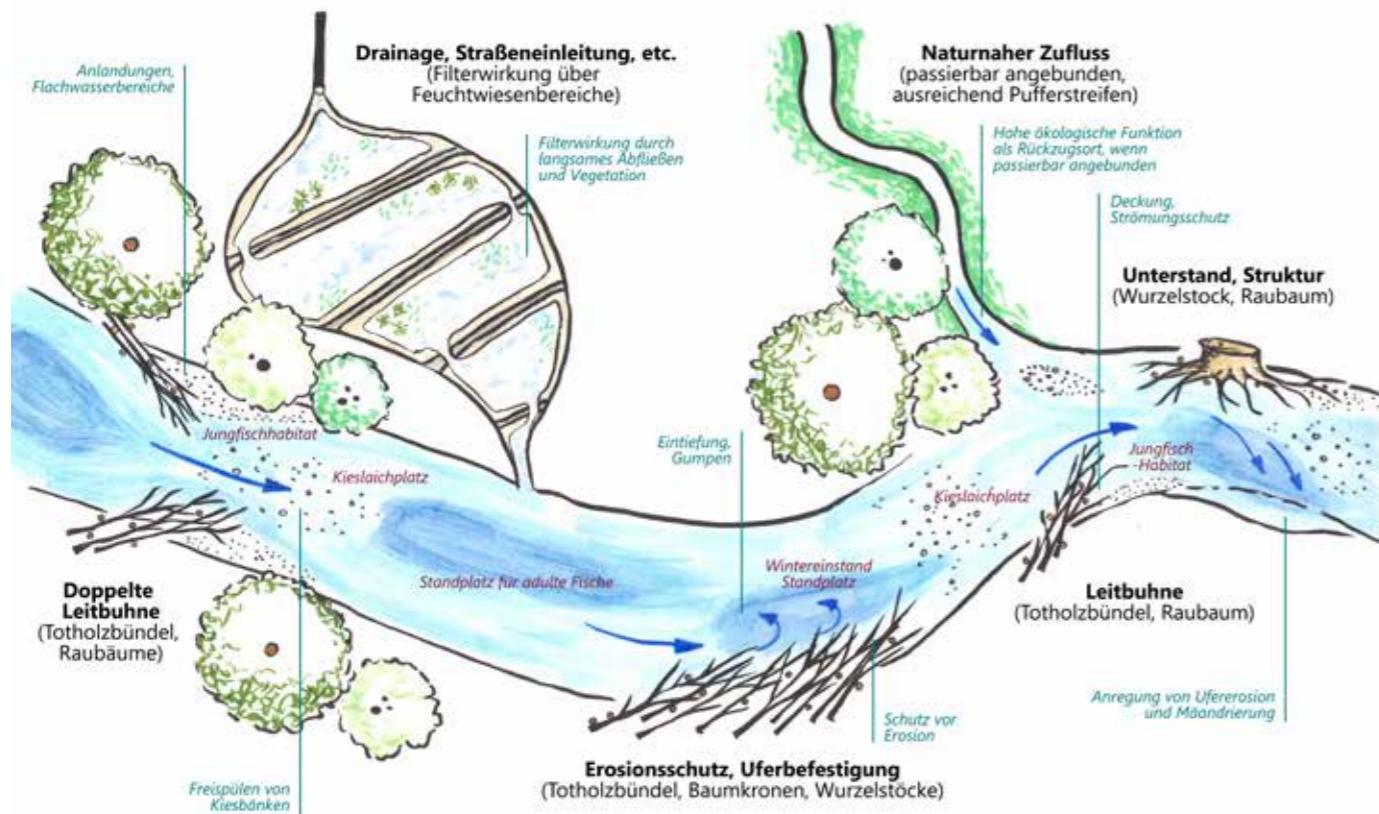
Kleine Zuflüsse und permanent wasserführende Gräben spielen eine wichtige Rolle in Fließgewässerökosystemen. Sie übernehmen vielfältige Puffer- Filter und Lebensraumfunktionen. Deshalb sollte ihnen von Seiten der Gewässerökologie und der Fischerei bei ökologischen Aufwertungsmaßnahmen eine erhöhte Aufmerksamkeit geschenkt werden.

Sie sollten so erhalten bzw. adaptiert werden, dass es in ihrem Verlauf immer wieder Bereiche gibt wo Feinsedimente und



Reinigung eines Teiches mit relativ großer Materialmobilisierung (oben) und Sperre eines Teichabflusses mittels Strohballen während der Teichreinigung (unten). (Abb. 31)

Nährstoffe zurückgehalten werden. Notwendige Erhaltungsmaßnahmen sollten so durchgeführt werden, dass es zu keinen großen Feinsediment-Mobilisierungen kommt bzw. nicht das gesamte System beeinträchtigt wird (z.B. abschnittsweise Räumung und Mahd, Belassen von Strukturen).



Vielfältige Strukturen beeinflussen das Strömungsverhalten und schaffen Einstände für Fische sowie weniger Feinsedimentbelastung. (Abb. 33)

Strukturen in Gewässer einbringen – Mikrostrukturen

Wie dargestellt sind Strukturen aufgrund ihres Einflusses auf das Strömungsverhalten entscheidend dafür wie sich eine Feinsedimentbelastung im Gewässer abbildet (Abb. 33). Die Förderung von Strukturen ist ein Anliegen das von den Fischern vertreten und forciert werden kann. Ohne wasserrechtliche Genehmigung sind zumeist Mikrostrukturen wie Äste oder kleine Struktursteine möglich. Bei größeren Einbauten wie Raubäumen oder Bühnen und speziell im bebauten Gebiet muss die Auswirkung der Einbauten auf die Hochwassersituation mitberücksichtigt werden. Deshalb ist dann ein wasserrechtliches Genehmigungsverfahren notwendig. Hinter solchen Strukturen können sich dann sehr attraktive Einstände und feinsedimentarme Bereiche ausbilden.

Beispiele gelungener Renaturierungsmaßnahmen an der Neufnach (oben) und einem Donauseitengewässer mit natürlichen Strukturen, gutem Umlandanschluss und einem hohen Maß an Dynamik (unten). (Abb. 34)



Renaturierungen

Die umfassendste Form einer gewässerökologischen Verbesserung ist eine Renaturierung (Abb. 34). Neben der Verbesserung der strukturellen Ausstattung ist dabei vor allem die Wiederherstellung der Gewässer-Umland-Beziehung und damit der Bachau, für den Sedimenthaushalt von entscheidender Bedeutung. Es ist in jedem Fall die anthropogene Veränderung der (Fein-) Sedimentsituation und der Abflussdynamik zu beachten. Es sollte vor allem in stark Feinsediment-belasteten Systemen eine klare Zieldefinition stattfinden, die eventuell auch vom Leitbild abweicht, da ansonsten die Gefahr besteht, dass die Standorte sehr schnell wieder degradieren. Allgemein gilt für die wasserbauliche Umsetzungspraxis: Eine gute ökologische Maßnahme – im Speziellen auch unter Einfluss einer erhöhten Feinsedimentfracht – zeichnet sich durch ein hohes Maß an Dynamik, einem hohen Anteil an natürlichen Strukturen (leitbildkonform zumeist Totholz) und einen guten Umlandanschluss aus. Oft ist diese ein Kompromiss aus Leitbildkonformität und Vielfalt. Unbedingt wahrzunehmen ist die Chance kleine zufließende Drainagen, Straßengräben o.ä. naturnah im Umland zu versickern und somit den Feinsedimentrückhalt zu fördern. Die wichtigsten Punkte bei der Maßnahmenumsetzung sind zusammengefasst.

Als Instrumentarium wären die sogenannten Umsetzungskonzepte (UK), die von den Wasserwirtschaftsämtern als Planungsgrundlage für ganze Gewässersysteme erstellt werden, in hohem Maße geeignet das Thema Feinsediment- und Nährstoffeinträge inklusive Lösungsansätzen zu bearbeiten. Zuständig sind je nach Gewässergröße Gemeinden oder die Wasserwirtschaftsämter.



Maßnahmenbausteine bei einem Geschiebedefizit (Tab.7)



Teiche sind als Sedimentfallen in besonderem Maß von unnatürlich hohen Stoffeinträgen betroffen. (Abb. 35)

Privatrechtliche Hebelpunkte eruieren

Als letzter Ansatzpunkt sind auch die Möglichkeiten des Privatrechts zu nennen. Dort wo jemand in seinem Recht beeinträchtigt wird (z.B. Einschränkungen im Fischereirecht, Einträge in Teichwirtschaften, Verunreinigungen von Privatgrundstücken), besteht normalerweise die Möglichkeit eine Unterlassung zu erwirken, wenn die Verursacher auszumachen sind. Hier handelt es sich zumeist um langwierige juristische Wege, die eher als letzte aber ggf. wirkungsvolle Möglichkeit zu sehen sind. Darüber hinaus ist davon auszugehen, dass das Ausjudizieren einzelner Fälle auch zu einer weiterreichenden Bewusstseinsbildung führt.

Eine Situation in der sich zukünftig vermutlich auch vermehrt Teichbesitzer wiederfinden werden, denen die wiederkehrenden Einträge von Nährstoffen und Feinsedimenten erhebliche Probleme bereiten. Auch diese sind darauf angewiesen gemeinsam mit den im Einzugsgebiet (EZG) gelegenen Landnutzern Lösungen zu finden. In diesem Zusammenhang sind Einzugsgebietsweite und integrative Projektumsetzungen, wie sie z.B. im Projekt *boden:ständig* forciert werden, eine konfliktärmere Alternative (Abb. 35).

Maßnahmen bei Geschiebedefiziten

Bei einem vorherrschenden Geschiebedefizit stehen ebenfalls unterschiedliche Maßnahmen im Einzugsgebiet und in den Gewässern selbst zur Verfügung. Die Bausteine können je nach Maßnahme auf unterschiedliche Weise miteinander kombiniert werden (Tab. 8).

Wirkung				Maßnahme	Eingriffsbereich				
Verbesserter Geschiebenachschub	Remobilisierung von Geschiebe	Verhinderung einer weiteren Eintiefung	Verbesserung von Morphologie & Dynamik		Einzugsgebiete	Zuflüsse/Wildbäche	Gewässerumland	Uferbereiche	Im Gewässer
	X	X	X	Uferrückbau / Partieller Uferrückbau				X	
	X	X	X	Vorlandabsenkung / Abtrag im Bereich der Aue			X		
	X	X	X	Abtrag / Rückverlegung von Wegen und Dämmen			X		
			X	Anlage / Adaptierung eines Altwassers bzw. eines Winterestandes			X		
	X	X	X	Anlage / Anbindung eines Nebenarmes			X		
	X			Remobilisierung verfestigter Kiesbänke/Gleitufer			X	X	
X			X	Verbesserte Anbindung eines Zuflusses		X	X		
		X		Verlagerung von grobem Deckschichtmaterial zur Sohlanhebung in einer Kolkrinne					X
	X	X		Verlagerung von Geschiebematerial (aus Stauräumen)					X
		X		Anfuhr von Grobkorn aus Kiesgruben zur Sohlanhebung (in einer Kolkrinne)					X
			X	Verwendung alter Ufersteine / Struktursteine zur Bildung von Ersatzhabitaten und Strukturen zur Strömunglenkung				X	X
			X	Verwendung von Totholz und Ufergehölzen zur Schaffung von Habitaten und als Strukturen zur Strömunglenkung				X	X
	X	X		(Verbessertes) Spülmanagement an Sperren und Kraftwerken	X				X
X				Umbau von Geschiebesperren in Geschiebedosiersperren	X	X			
X				Entfernen nicht notwendiger Querbauwerke und Geschiebesperren	X	X			X

Weiterführende Informationen und Literatur

Informationen

Homepage des Landesfischereiverbands Bayern e.V.

www.lfvbayern.de

Projekt-Homepage HymoCares

www.alpine-space.eu/projects/hymocares/

Homepage Initiative boden:ständig

www.boden-staendig.eu/

Homepage blattfisch e.U.

www.blattfisch.at

Bodenerosion und ihre Einflussfaktoren für Bayern

Umweltatlas Bayern

www.lfu.bayern.de/umweltdaten/kartendienste/umweltatlas/index.htm

Erosionsatlas Bayern

<https://www.lfl.bayern.de/iab/boden/029288/>

Erosionsschutz-App „ABAGinteraktiv“

<https://www.lfl.bayern.de/iab/boden/240546/index.php>

LfL-Information Bodenerosion

<https://www.lfl.bayern.de/publikationen/informationen/040109/index.php>

LfL Broschüre Starkregen, Bodenerosion, Sturzfluten

https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/schriftenreihe/starkregen-bodenerosion_sturzfluten_lf-schriftenreihe.pdf

LfL-Broschüre Wirksamkeit von Erosionsschutzmaßnahmen

https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/schriftenreihe/051476_erosionsschutzmassnahmen.pdf

LfL-Broschüre Bayerischer Fischzustandsbericht

<https://www.lfl.bayern.de/publikationen/informationen/064029/>

Literatur

BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT

(2019): Erosionsatlas Bayern, Freising-Weißenstephan.

<https://www.lfl.bayern.de/iab/boden/029288/>

BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT

(2014): Agrarstrukturentwicklung in Bayern IBA-Agrarstrukturbericht, Freising-Weißenstephan, p. 21, 2014.

BIERSCHENK, A. M., MUELLER, M., PANDER, J. and

GEIST, J. (2019): Science of the Total Environment Impact of catchment land use on fish community composition in the headwater areas of Elbe, Danube and Main, *Sci. Total Environ.*, vol. 652, pp. 66–74.

BRANDHUBER, R., AUERSWALD, K., LANG, R., MÜLLER, A.

and TREISCH, M. (2019): Erosionsschutz-App „ABAGinteraktiv“, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising-Weißenstephan.

DÜRREGGER, A., PANDER, J., PALT, M., MUELLER, M.,

NAGEL, C. and GEIST, J. (2018): The importance of stream interstitial conditions for the early-life-stage development of the European nase (*Chondrostoma nasus* L.), *Ecol. Freshw. Fish*, vol. 27, no. 4, pp. 920–932.

HAUER, C. et al. (2015): Feststoffmanagement im Mühlviertel

und im Bayerischen Wald. Endbericht. - Studie im Auftrag des Amtes der Oö. Landesregierung, gefördert durch das BMLFUW und das Interreg Programm Bayern – Österreich 2007 – 2013, Wien/Wels.

HÖFLER, S., PIBERHOFER, B., PICHLER-SCHEDER, C. and

GUMPINGER, C. (2018): Feinsediment in den Flüssen Oberösterreichs – Vertiefende Bearbeitung der Feinsedimentthematik hinsichtlich der Auswirkungen auf die aquatische Fauna, die Zielerreichung WRRL und die Integration des Themas in der Maßnahmenumsetzung, Wels.

HÖFLER, S., GUMPINGER, C. and HAUER, C. (2016): Öko-

logische Maßnahmen an kleinen und mittelgroßen Fließgewässern, „Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft“, vol. 68, no. 11–12, pp. 519–533.

JUNGWIRTH, M., HAIDVOGL, G., MOOG, O., MUHAR,

S. and SCHMUTZ, S. (2003): *Angewandte Fischökologie an Fließgewässern*. Vienna: Facultas.

JUNGWIRTH, M., HAIDVOGL, G., HOHENSINNER, S.,

WAIDBACHER, H. and ZAUNER, G. Ed. (2014): *Österreichs Donau - Landschaft, Fisch, Geschichte*, Vienna.

KNOTT, J., MUELLER, M., PANDER, J. and GEIST, J. (2018):

Effectiveness of catchment erosion protection measures and scale-dependent response of stream biota, *Hydrobiologia*, vol. 9.

MANGELSDORF, J. and SCHEURMANN, K. (1980): *Fluß-*

morphologie - Ein Leitfaden für Naturwissenschaftler und Ingenieure. R. Oldenbourg Verlag, München, Wien.

RATH, J. (2013): *Deutsches Maiskomitee e. V. (DMK)*.

SCHINEGGER, R., TRAUTWEIN, C., MELCHER, A. and

SCHMUTZ, S. (2012): Multiple human pressures and their spatial patterns in European running waters, *Water Environ. J.*, vol. 26, no. 2, pp. 261–273.

SSYMANK, A. (1994): *Neue Anforderungen im europäischen*

Naturschutz. Das Schutzgebietssystem Natura 2000 und die FFH-Richtlinie der EU., *Natur und Landschaft*, vol. 69, no. 9, pp. 395–406.

STEFFAN, A. (1965): *Zur Statik und Dynamik im Ökosystem*

der Fließgewässer und zu den Möglichkeiten ihrer Klassifizierung [Static and dynamic in fluvial ecosystems and possibilities to their classification], in *Biosoziologie - Bericht über das 4. Internationale Symposium der Internationalen Vereinigung für Vegetationskunde*, pp. 65–118.

STROHMEIER, P. and BRUCKNER, G. (2013): *Sedimentma-*

agement in Einzugsgebieten von Fließgewässern am Beispiel des Ökosystems Wiesent.

THURMANN, C. and ZUMBROICH, T. (2013): *Resilienzver-*

mögen von Interstitialräumen verschiedener Gewässertypen bezüglich Kolmation - UBA Texte 90/2013.

ZESSNER, M., STRENGE, E., HEPP, G., KUDERNA, M.,

WEINBERGER, C. and GABRIEL, O. (2018): *Prognose der Nährstoffbelastung in oberösterreichischen Gewässern für den Zeitraum 2015 – 2020, Ableitung von Handlungsoptionen sowie Quantifizierung ihrer Wirksamkeit*.

ZESSNER M. et al. (2019): *Feinsediment- und Phosphorprob-*

lematik in oberösterreichischen Fließgewässern und Ansätze zur Lösung.

IMPRESSUM

Herausgeber

Landesfischereiverband Bayern e.V.
Mittenheimer Str. 4
85764 Oberschleißheim
Telefon (089) 642 726-0
E-Mail: poststelle@lfvbayern.de
www.lfvbayern.de

Autoren

Clemens Gumpinger, Sarah Höfler, Felix Reeb, Gerald Ringler, Michael v. Siemens

Redaktion

Thomas Funke, Steffi Schütze
Fachredaktion: Felix Reeb, Johannes Schnell

Grafische Gestaltung

Sabina Sieghart, www.gestaltungsinstitut.de

Druck

flyeralarm, gedruckt auf 100% Recyclingpapier

Bezug

Landesfischereiverband Bayern e.V.
Mittenheimer Str. 4
85764 Oberschleißheim
Telefon (089) 642 726-0
E-Mail: poststelle@lfvbayern.de
www.lfvbayern.de

Bildnachweis Illustrationen und Fotos

Copyright Fotos bei den Fotografen; Copyright Illustrationen beim LFV Bayern

Titelmotiv: Sarah Höfler, Blattfisch e.U., S. 4, 6, 10, 15 oben u. unten, 17 oben, 40, 41 oben,
Google-Karte: S. 28, Höfler S., U1, S. 7, 9, 12, 17 Mitte, 42, Meier L., S. 43, Noll S., S. 5, Spisar O., S. 41 unten, Schütze M., S. 44
Von Siemens. M., S. 15 Mitte, 27, 30, 31, 32, 33, 35.

Alle Rechte vorbehalten. Nachdruck und Wiedergabe – auch auszugsweise – nur mit Genehmigung des Herausgebers.

Gefördert aus Mitteln der Fischereiabgabe
© Landesfischereiverband Bayern e.V. August 2021

