

Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft
(Herausgeber und Verlag) · München 1999

**Studie über die
Möglichkeiten einer
Geschiebepflichtung
der Isar**

Bearbeiter:

BD Dipl.-Ing. H. Kortmann

ORR Dipl.-Geol. T. Grebmayer

(Geologie)

Inhaltsverzeichnis		Seite
1	Auftrag und Sachlage	4
2	Vorbemerkungen zur Gewässersituation und zur Problematik von Maßnahmen	6
3	Leitbild und Entwicklungsziele	12
4	Zur geologischen Situation der Isar	13
4.1	Geologischer Rahmen	13
4.2	Flußgeschichte im Quartär	15
4.2.1	Die spätglaziale Isar	15
4.2.2	Die postglaziale Isar	16
4.3	Geschiebezusammensetzung der Isar aus geologischer Sicht	16
5	Charakteristik der in der Isar gelegenen Anlagen und Bauwerke hinsichtlich ihrer Durchgängigkeit für den Geschiebetrieb (5.1 – 5.11).	18
6	Naturversuche und Erhebungen zur Geschiebewirtschaftung	38
6.1	Voraussetzungen und Gegebenheiten für eine Geschiebezugabe	38
6.2	Naturversuche künstliche Geschiebezugabe	41
6.3	Sonstige geschiebeaktivierende Maßnahmen	48
6.4	Erhebungen und ergänzende Untersuchungen	54
7	Stand der Gestaltungsvorgänge in den einzelnen Flußabschnitten	58
7.1	Allgemeines	58
7.2	Flußabschnitt Sylvensteinspeicher (Fkm 224,2) – Staustufe Bad Tölz (Fkm 199,0)	61
7.3	Flußabschnitt Staustufe Bad Tölz (Fkm 199,0) – Ickinger Wehr (Fkm 174,0)	65

7.4	Flußabschnitt Ickinger Wehr (Fkm 174,0) – Baierbrunner Wehr bei Höllriegelskreuth (Fkm 162,45)	68
7.5	Flußabschnitt Baierbrunner Wehr bei Höllriegelskreuth (Fkm 162,45) – Wehr bei Großhesselohe (Fkm 142,90)	70
7.6	Flußabschnitt Wehr bei Großhesselohe (Fkm 155, 98) – Stadtbereich München – Oberföhringer Wehr (Fkm 142,90)	70
7.7	Flußabschnitt Oberföhringer Wehr (Fkm 142,90) – Moosburger Wehr (Uppenbornwerke (Fkm 94,2) – Landshut/Staustufe Altheim (Fkm 70,37)	71
8	Problemanalyse des Verhaltens geschiebeführender Fließgewässer im veränderten Regelkreis und die Einschätzung von Gegenmaßnahmen	74
8.1	Flußgeschichtlicher Abriß	74
8.2	Naturgesetzliche Zusammenhänge	80
8.2.1	System der Bettbildung von Flüssen	80
8.2.2	Das Gleichgewicht und die Proportionalität in der Bettbildung	82
8.2.3	Schubspannungstheorie und Geschiebetrieb	87
8.2.4	Geschiebetrieb und Geschiebetransportvermögen	93
8.2.5	Der veränderte Regelkreis der Isar	97
8.3	Gestaltungsvorgänge und die Einschätzung vom Gegenmaßnahmen	105
9	Geschiebetransportvermögen und Effektivität einer künstlichen Geschiebezugabe	114
9.1	Vorbemerkungen	114
9.2	Ermittlung des Geschiebetransportvermögens	116
9.3	Diskussion der Ergebnisse und Schlußfolgerungen für eine künstliche Geschiebezugabe	136
10	Lösungsansätze und Möglichkeiten für eine Geschiebebewirtschaftung	152
10.1	Grundsätzliche Bemerkungen zu den Zielvorstellungen	152
10.2	Vorbemerkungen zu den Lösungsansätzen	156
10.3	Lösungsansätze und Maßnahmen	159

10.3.1	Künstliche Geschiebezugabe	159
10.3.2	Förderung des Geschiebeeintrags aus Wildbächen	161
10.3.3	Uferrückbau und Flußbettaufweitung	162
10.3.4	Remobilisierung von Kiesbänken	165
10.3.5	Bereitstellen von Flächen für die Flußentwicklung	166
10.3.6	Verbesserung der Geschiebedurchgängigkeit an Wehranlagen und sonstigen Bauwerken	168
10.3.7	Sohlstützende Querbauwerke	168
10.4	Instrumente einer qualitätssichernden Geschiebepflichtung	169
11	Anlagenverzeichnis	175
12	Quellenverzeichnis	177
13	Anlagen	

„Hidrotechnische Gegenstände, und besonders der Wasserbau selbst sind von so einer Art, daß keine andere Kunde, wie diese, so vieler und strenger Kritik unterworfen ist.“

(A. v. Riedl, 1806)

1 Auftrag und Sachlage

Die flußmorphologische Situation der Isar ist seit Jahren Thema der fachlichen und öffentlichen Diskussion. Dabei stand insbesondere die Verbesserung der Geschiebetrift wiederholt im Mittelpunkt folgender Anlässe:

- Raumordnungs- und Wasserrechtsverfahren zu Umbaumaßnahmen am Sylvensteinspeicher (Beteiligte und Träger öffentlicher Belange)
- Isarkraftwerk Mühlthal mit Ickinger Wehr (verschiedene Verbände und Mandatsträger)
- Landtagsanträge (verschiedener Parteien: Isar vom Sylvensteinspeicher bis München)
- Eingabe des Bund Naturschutz an den Bayer. Landtag: Geschiebezugabe unterhalb des Sylvensteinspeichers)
- Eingaben an den Ministerpräsidenten Dr. Stoiber (Bürgermeister von Bad Tölz und Oberbürgermeister der Stadt Freising)
- Forderungen der „Isar-Allianz“ nach einem Gesamt-Geschiebekonzept für die Isar.
- Verfahren für eine Teilrückleitung der Mittleren Isar

Das Bayer. Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (StMLU) beauftragte deshalb mit MS vom 17.11.1994 das Bayer. Landesamt für Wasserwirtschaft, die Möglichkeiten der Geschiebepflichtung der Isar in Form einer Studie aufzuzeigen und zu bewerten.

Zunächst wurde nach einem mit dem Naturschutz abgestimmten Konzept [13] die grundsätzliche Vorgehensweise für die Untersuchung und deren Umfang festgelegt. Maßgebend für eine Geschiebepflichtung ist dabei die Geschiebedurchgängigkeit der Isar, die mehr oder weniger durch vorhandene Stauanlagen beeinflusst wird. Der Standort dieser Stauanlagen

gliedert den Flußlauf dementsprechend in 9 signifikante Flußabschnitte, wobei an der Oberen Isar der Sylvensteinspeicher für den Geschiebetransport seit 1959 eine wesentliche Unterbrechung darstellt, während am Übergang von Mittlerer Isar zu Unterer Isar, die ab Landshut folgende Stützkraftstufenkette beginnend mit der Stufe Altheim eine entsprechende Wirkung hat. Die dazwischen liegende und bestenfalls für eine durchgehende Geschiebebewirtschaftung in Frage kommende Flußstrecke bemißt sich immerhin auf rd. 154 km.

Gliederung der Isar in Flußabschnitte:

- 1 Mittenwald (Landesgrenze) - Krüner Wehr**
- 2 Krüner Wehr - Sylvensteinspeicher (Stauwurzel)**
- 3 Sylvensteinspeicher - Staustufe Bad Tölz**
- 4 Staustufe Bad Tölz (UW) - Ickinger Wehr**
- 5 Ickinger Wehr - Baierbrunner Wehr**
- 6 Baierbrunner Wehr - Anlagenkomplex im Bereich der Stadt München - Oberföhringer Wehr**
- 7 Oberföhringer Wehr - Landshut (Staustufe Altheim)**
- 8 Landshut (Staustufe Altheim) - Staustufe Pielweichs**
- 9 Staustufe Pielweichs - Mündung in die Donau**

Es war naheliegend, mit den Untersuchungen im Flußabschnitt unmittelbar unterhalb des Sylvensteinspeichers zu beginnen. Zum einen besteht dort durch die unterbrochene Geschiebezufuhr in der flußabwärts anschließenden Flußstrecke ein hohes Geschiebedefizit, zum anderen bietet sich hier noch die Möglichkeit zur Gewinnung isareigenen Geschiebes aus den Feststoffzubringern zum Speicher bzw. dessen Umsetzung in die flußabwärts anschließende Flußstrecke.

Das Untersuchungskonzept gliedert sich in:

- Naturversuche
- begleitende Erhebungen vor Ort, d.h. im Gelände
- flußmorphologische Begutachtung und
- zu entwickelnde Lösungsansätze.

Die Isar ist im Untersuchungsbereich ein Gewässer erster Ordnung (Art. 2. BayWG). Zuständig für die Wahrnehmung der wasserwirtschaftlichen Belange und staatlichen Aufgaben an

der Isar sind die WWÄ Weilheim, München, Freising und Landshut mit den Regierungen von Ober- und Niederbayern. Sie waren in die laufenden Arbeiten eingeschaltet und haben das Vorhaben in ihrem Wirkungsbereich unterstützt.

Das von der Wasserwirtschaft und dem Naturschutz gemeinsam erarbeitete „Leitbild und Entwicklungsziele für die Isar von der Landesgrenze bis Landshut“ ist in die Studie eingearbeitet und stellt somit eine wesentliche Grundlage und Zielorientierung dar.

2 Vorbemerkungen zur Gewässersituation und zur Problematik von Maßnahmen

Die Gestaltungsvorgänge an unseren Flüssen erfolgten über erdgeschichtlich lange Zeiträume ohne Eingriffe des Menschen, allein der Dynamik der Naturkräfte folgend.



Bild: Mensch und Flußlandschaft (Isar, München von Föhring aus gesehen,W. Kobell 1815)

Wer heute durch die Flußtäler des bayerischen Oberlandes wandert, macht sich kaum ein Bild des ehemaligen Zustandes. Donau, Lech, Isar, Inn verliefen ohne festes Bett in unzähligen



Bild: Mensch und Flußkorrektur - Baustelle einer Flußkorrektur (Lech 1925)

Durch diese Eingriffe hat sich das Feststofftransportvermögen, insbesondere der geschiebeführenden Flüsse wesentlich erhöht, andererseits aber wurde der Geschiebetrieb nachhaltig reduziert oder gar ganz unterbunden. Das daraus resultierende Geschiebedefizit leistet der Erosion Vorschub, da die Flüsse nunmehr bestrebt sind, das fehlende Geschiebe aus dem Flußbett zu entnehmen. Diese Tiefenerosion wird überall dort begünstigt, wo in der Flußsohle erodible Schichten anstehen.



Bild: Die Höhe des Bruchufers gibt die in der Hauptsache etwa seit 1920 zustande gekommene Eintiefung wieder. Die Höhe der unteren Eintiefungsstufe dürfte etwa der Eintiefung seit den 60 iger Jahren entsprechen. (Isar 1984, Fkm 216,3, unterhalb Flecker Wehr)

Mit Blick auf den ursprünglichen Zustand der Flüsse werden heute von der Gesellschaft zunehmend Bedürfnisse geltend gemacht, den früher rein zweckorientiert ausgebauten Gewässern wieder mehr Naturnähe zu verschaffen. Da aus verschiedenen Gründen eine vollständige Rückführung in den früheren, natürlichen Zustand nicht mehr möglich ist, sind vor allem Maßnahmen zu fördern, die zur Eigenentwicklung der Gewässer beitragen und die Situation im Rahmen des Möglichen verbessern helfen. Bei den größeren Gewässern können tiefgreifendere Eingriffe und Umgestaltungen jedoch bald in Konflikt mit den in den Talräumen allgegenwärtigen Nutzungen und Infrastrukturen geraten, weshalb renaturierende Maßnahmen dann gegebenenfalls eingeschränkt und außerdem behutsam ins Werk gesetzt werden müssen. Dies auch, um beispielsweise über das Ziel hinauschießenden Veränderungen rechtzeitig gegensteuern zu können, um unter Umständen größeren Schaden zu verhüten. Eine Umsetzung derartiger Maßnahmen setzt die Kenntnis der wichtigsten naturgesetzlichen Zusammenhänge des Systems der Flußbettbildung voraus.

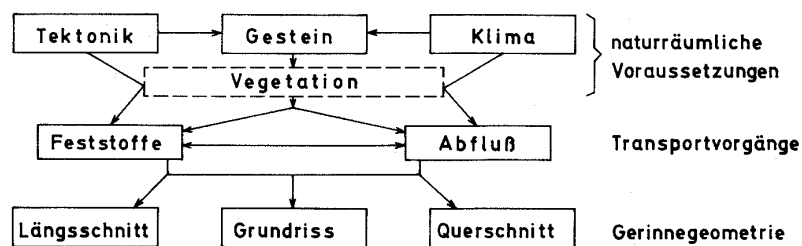


Bild: System der Bettbildung von Flüssen

Neben den naturräumlichen Voraussetzungen formen zwei Transportvorgänge - der Abfluß und der Feststofftransport - ganz wesentlich die Flußbettgeometrie und letztlich die Gewässerlandschaft. Auch im Fall der hier zu behandelnden Isar ist die Renaturierung bzw. Gewässerentwicklung wie bei allen geschiebeführenden Fließgewässern eng mit dem Feststoffhaushalt des Gewässers verknüpft.

Sowohl der Geschiebehaushalt als auch die Geschiebedurchgängigkeit der Isar ist durch eine Vielzahl an Eingriffen, die in der Vergangenheit vorgenommen wurden, stark beeinträchtigt worden.

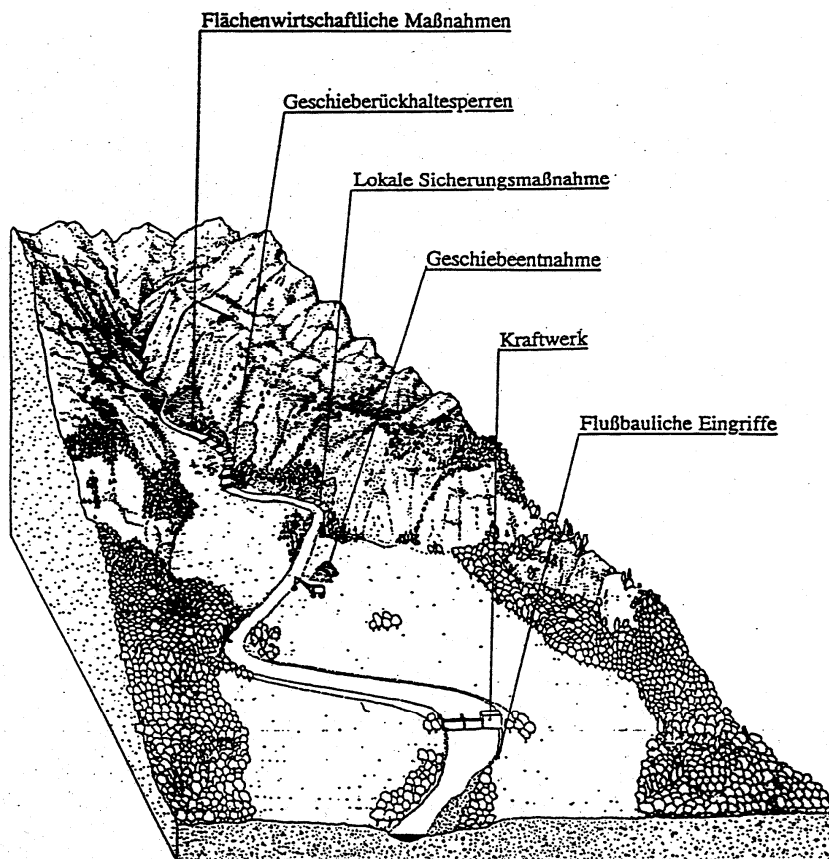


Bild: Schema ausgewählter Eingriffe in den Geschiebehaushalt

Problemstellen sind die Wehranlagen bei Krün, Icking, Höllriegelskreuth und Oberföhring, insbesondere der Sylvensteinspeicher und das Kraftwerk Bad Tölz. Man verkennt die Vielschichtigkeit der Probleme, wenn man glaubt, nur durch Beseitigung oder bauliche Veränderungen von Geschiebehindernissen die ursprüngliche Situation wieder herstellen zu können. Abgesehen davon, daß technisch auch heute noch nicht alles machbar ist, was wünschenswert wäre, müssen gerade Maßnahmen zur Verbesserung des Geschiebehaushalts schon wegen der dabei ausgelösten Prozesse mit Bedacht gewählt und sorgfältig aufeinander abgestimmt werden. Es genügt deshalb auch nicht, einfach nur Kies in die Isar zu schütten und darauf zu vertrauen, der Fluß werde es schon richten. Was an einer Stelle zur Verbesserung der Situation beiträgt, kann andernorts das Gegenteil bewirken. Nur unter Beachtung der Naturgesetze und der Wechselwirkung unterschiedlicher Belange und Zwänge kann an eine Verbesserung des Geschiebehaushalts der Isar und in Verbindung damit auch der ökologischen Situation herangetreten werden. Ein Hauptproblem der Geschiebebewirtschaftung besteht nämlich darin, daß

der Fluß laufbezogen betrachtet ein abschnittsweise sehr veränderliches Geschiebetransportvermögen aufweist und die Geschiebeverfrachtung nicht kontinuierlich abläuft.

So besitzen die auf hohes Transportvermögen bemessenen Flußbetten der Korrektur ein großes Geschiebetransportvermögen und eine den Flußquerschnitt vollständig erfassende Verfrachtungseigenschaft. Ganz anders die natürlichen oder naturbelassenen Flußbetten mit ihren die Talgründe in großer Breite ausfüllenden Geschiebeschüttplätzen mit großen Umlagerungskapazitäten und einem vergleichsweise geringerem Geschiebetransportvermögen. Folgt also beispielsweise auf eine naturbelassene Flußstrecke mit einem durch Geschiebe gesättigtem Transportvermögen ein korrigiertes Flußbett, so wird, trotz der von oben zugeführten Geschiebefracht, das Korrektionsprofil gemessen an seinem relativ größeren Transportvermögen immer noch ein entsprechend großes Geschiebedefizit aufweisen und damit weiterhin Erosionskräften ausgesetzt sein. Folgt dagegen auf eine transportkräftige Flußstrecke mit Geschiebetrift beispielsweise eine durch eine Wehranlage gestaute Flußstrecke oder eine Ausleitungsstrecke, in beiden Fällen mit einem verminderten Transportvermögen verbunden, so kann es flußabwärts je nach Durchgängigkeit zu temporären Verlandungstendenzen bis hin zu dauerhaften Auflandungen kommen.

Angesichts solch unterschiedlicher Randbedingungen muß man sich Klarheit verschaffen, ob und in welchem Umfang Maßnahmen der Geschiebebewirtschaftung machbar und zielführend sein können. Selbst der gegenwärtige Gewässerzustand ist wegen des im Flußregime wirksamen Systems der Bettregime auch ohne Maßnahmen der Geschiebebewirtschaftung nicht statisch, sondern bereits laufenden Veränderungen unterworfen.

Geht man davon aus, daß die Geschiebebewirtschaftung aus einer Kombination von Einzelmaßnahmen besteht, die in verschiedenen Flußabschnitten und darüberhinaus zu verschiedenen Zeiten ausgeführt werden, dann ist absehbar, daß Prognosen über die künftige flußmorphologische Entwicklung - ob mit oder ohne Modellrechnung - vor allem auch wegen der Stochastik des Abflußgeschehens lediglich globaler bzw. geschätzter Natur sein können. Um also nicht durch unerwartete Entwicklungen überrascht zu werden, ist bereits im Vorfeld der Überlegungen abzusehen, daß Maßnahmen der Geschiebebewirtschaftung ohne laufende Begleitung sowohl durch kontrollierende Flußaufnahmen als auch durch ein begleitendes Management nicht zielführend abgewickelt werden können.

3 Leitbild und Entwicklungsziele

Unabhängig von den vorstehend beschriebenen Aspekten ist der anzustrebende Gewässerzustand bzw. das Entwicklungsziel durch ein naturschutzfachliches und wasserwirtschaftlich begründetes Leitbild zu definieren.

Für die Umsetzung aller auf die naturnähere Umgestaltung des Gewässers gerichteten Maßnahmen, also auch die der Geschiebemanagement, ist es notwendig, vorab die wasserwirtschaftlichen und naturschutzfachlichen Entwicklungsziele zu definieren bzw. festzulegen. Ausgehend vom ehemals natürlichen Zustand der Isar, dem potentiell natürlichen Zustand (Leitbild), werden der Bestand (Ist-Zustand) und die Abweichungen (Defizite) von der Meßlatte „Leitbild“ festgestellt. Für das in seiner Gesamtheit heute nicht mehr erreichbare Leitbild wird eine Optimierung erreichbarer ökologischer Teilaspekte (Ökobausteine) angestrebt. Daraus ergeben sich Ziele, um vorhandene Defizite abzubauen. Diese können in den verschiedenen Flußabschnitten mit verschiedener Priorität belegt sein. Die für das Flußregime wichtigen Regelglieder wie Abfluß, Feststoffhaushalt und Gerinnegeometrie sind gleichzeitig auch Ökobausteine des Leitbildes, die es zu entwickeln bzw. zu verbessern gibt. Das Ziel zur Wiederherstellung der funktionellen Elemente des Fließgewässersystems reicht dabei vom

- gestreckten Gerinne mit der nur gelegentlichen oder eingeschränkten Möglichkeit der Flußbettaufweitung bis hin zum
- pendelnden Gerinne unter Ausbildung eines Hauptarmes mit lokalen bzw. zeitweise dotierten kleinen Nebenarmen (Verzweigung) und der Ausbildung von Kiesbänken.

In der Isar sind noch naturbelassene, d.h. nicht regelmäßig ausgebaute Flußstrecken vorhanden, in denen Reste des ehemals verzweigten Flußtyps noch flächig aufscheinen (z. B. der Flußabschnitt zwischen Sylvensteinspeicher und Fleck, die Ascholdinger- und Pupplinger Au) sowie ausgebaute Teilstrecken mit Kiesbankbildungen (wie z. B. zwischen Fleck und Bad Tölz, Icking und Baierbrunn, Freising und Moosburg und in der Bruchberger Au). Ihnen sollte unsere besondere Aufmerksamkeit im Rahmen der Entwicklungsziele des Leitbildes gelten. Das von den Landesämtern für Wasserwirtschaft und Umweltschutz in Abstimmung mit den Regierungen von Oberbayern und Niederbayern sowie den Wasserwirtschaftsämtern Weilheim, München, Freising und Landshut erarbeitete Leitbild mit den Entwicklungszielen

für die Isar von der Landesgrenze bis Landshut liegt nunmehr vor [81].



Bayerisches Landesamt
für Wasserwirtschaft

Zu 56-4424.8-8

**Entwurf : Leitbild und Entwicklungsziele für die Isar
von der Landesgrenze bis Landshut**

Inhaltsverzeichnis:

- 1 Einführung
- 2 Gebietsübersicht
- 3 Natürlicher Zustand, potentiell natürlicher Zustand (Leitbild)
 - 3.1 Abflußgeschehen
 - 3.2 Feststoffhaushalt
 - 3.3 Morphologie
 - 3.4 Wasserqualität
 - 3.5 Arten und Lebensgemeinschaften
 - 3.6 Landschaftsbild
- 4 Bestand/Ist-Zustand
 - 4.1 Abflußgeschehen
 - 4.2 Feststoffhaushalt
 - 4.3 Morphologie
 - 4.4 Wasserqualität
 - 4.5 Arten und Lebensgemeinschaften
 - 4.6 Landschaftsbild
- 5 Defizite
 - 5.1 Abflußgeschehen
 - 5.2 Feststoffhaushalt
 - 5.3 Morphologie
 - 5.4 Wasserqualität
 - 5.5 Arten und Lebensgemeinschaften
- 6 Bewertung
- 7 Naturschutzfachliche und wasserwirtschaftliche Entwicklungsziele
 - 7.1 Abflußgeschehen
 - 7.2 Feststoffhaushalt
 - 7.3 Morphologie
 - 7.4 Wasserqualität
 - 7.5 Arten und Lebensgemeinschaften
- 8 Maßnahmenshinweise

LFW, SG 56, Stand: 05.10.1998

Bild: Titelblatt „Leitbild“ (Entwurf 1998)

Im Hinblick auf den im Leitbild definierten, potentiell natürlichen Zustand stellen Maßnahmen, den gegenwärtigen Zustand des Feststoffhaushaltes zu verbessern, einen notwendigen Beitrag zum Erreichen der Entwicklungsziele dar.

4 Zur geologischen Situation der Isar

4.1 Geologischer Rahmen

Die Isar durchfließt auf ihrem insgesamt rund 270 km langen Lauf zwei geologische Bereiche, die genetisch eng in Zusammenhang stehen:

- die Alpen und
- das tertiäre Molassebecken.

Die Alpen bilden ein Falten- und Deckengebirge, dessen Anlage vom Perm bis heute während der „Alpidischen Ära“ der plattentektonischen Entwicklung der Erde erfolgte (Anlage: 4,5):

- Das oberste, alpidisch älteste tektonische Stockwerk bildet die ostalpine Deckengruppe mit den dazu gehörenden Nördlichen Kalkalpen. Ein Teilgebiet dieser Zone stellt das Karwendelgebirge dar, wo die Isar ihren Ursprung nimmt.
- Das mittlere Stockwerk bilden der Flysch und das Helvetikum. Beim Zusammenschub des Alpenkörpers haben die Nördlichen Kalkalpen den Flysch überfahren und dieser seinerseits wieder das Helvetikum. Im Isareinzugsgebiet folgt im Norden der Nördlichen Kalkalpen die Flysch-Zone; das Helvetikum ist hier hingegen gänzlich überdeckt und nur aus Bohrungen bekannt.
- Das tektonische tiefste und jüngste Stockwerk ist die Faltenmolasse. Im Zuge der Alpenfaltung wurde der Alpenkörper gegen die Vorlandsenke des Molassebeckens geschoben. Dabei wurde der obere Teil der Molasseschichten an seinem Südtail aufgebogen bzw. zu großen Muldenzügen gefaltet.

Im Einzugsgebiet der Isar geht nördlich von Bad Tölz die Faltenmolasse in die Vorlandmolasse über; hier ist die ursprünglich horizontale Lagerung der Sedimente weitgehend erhalten geblieben. Die Obere Süßwassermolasse als jüngstes Schichtglied der Molasse bestimmt über weite Bereiche hinweg die südbayerische Landschaft (Tertiärhügelland) und somit auch den Lauf der Mittleren und Unteren Isar.

Im Quartär sind die Alpen und das Alpenvorland im besonderen Maße vom eiszeitlichen Geschehen geprägt worden. Im Laufe des mehrfachen Wechsels zwischen Glazial (Vereisung) und Interglazial (Zwischeneiszeit) wurde Gesteinsmaterial zunächst sedimentiert und anschließend zum Teil wieder erodiert. Insgesamt tieften sich die Täler immer mehr ein, entweder in die eigenen, zuvor aufgeschütteten Sedimente oder sogar in den tertiären Untergrund.

4.2 Flußgeschichte im Quartär

4.2.1 Die spätglaziale Isar

Beim Vorstoß des würmeiszeitlichen Isar-Loisach-Gletschers wurde das alte Gewässernetz mit Gletscherschutt verbaut. Mit dem Zurückweichen der Gletscher beginnt die Geschichte des heutigen Isar-Flußsystems:

- Die inneralpinen und alpenrandnahen Täler wurden während den Eiszeiten stark über-tieft und anschließend hunderte von Metern mit Seesedimenten, Sanden und Schottern wieder aufgefüllt. Das Isartal zwischen Wallgau und dem Sylvenstein ist über 100 m verschüttet.
- Im Vorland mußte die Isar einen neuen Weg suchen. Noch vor der Würmeiszeit floß die Isar nördlich von Bad Tölz nach Nordosten Richtung Holzkirchen. Nach der letz-ten Eiszeit hat die Isar ihr von mächtigen quartären Ablagerungen verschüttetes Bett nicht wiedergefunden. Die Isar durchbrach im Spätglazial zunächst den Moränenwall bei Bad Tölz, schnitt sich in die Molasse am Kalvarienberg (N´ Tölz) ein und mündete schließlich südöstl.von Geretsried in den ehemaligen Wolfratshauer See (Anlage:6). Dort hat die Isar von Südosten zwei große Schotterdeltas in das Seebecken geschüttet. Die Überlaufwässer des Sees schnitten sich bei Schäftlarn in die Endmoränen ein, so daß in der Folge der See trockenfiel. Zu den Verlandungsbereichen, die von der Isar nicht erreicht wurden, entstanden ausgedehnte Moore. Die Isar hat sich in die zuvor geschütteten Schutfächer tief eingeschnitten. Das markante Isartal im Süden von München ist im wesentlichen also ein Werk der ausgehenden Würmeiszeit. Während der verschiedenen Vereisungsphasen der Würmeiszeit war großflächig im Alpenvorland die Niederterrasse geschüttet worden. Der Teilbereich im Münchner Raum wurde als die Münchner Schotterebene bekannt.

Der heutige Isarlauf ist in seiner Entstehung nicht nur quartärmorphologisch, sondern zum Teil auch tektonisch begründet. Dabei ist der untere Isarlauf, etwa von Freising an, das älteste vorgezeichnete Teilstück. Dessen Anlage ist auf jeden Fall älter als die Würmvereisung.

Während am Oberlauf der Isar im Spätglazial die Ausräumung des Tales erfolgte, wurden parallel dazu am Mittel- und Unterlauf Schuttfächer gebildet: Ein Großteil des im Oberlauf erodierten Materials wurde flußabwärts als Schuttkegel wieder abgelagert. Infolge des geringen Gefälles liegen diese Sedimentkörper flußabwärts von München mehr neben- als untereinander. Unterstromig von Landshut beispielsweise lag auf weite Strecken die Isar im Naturzustand mit ihren Begleiterrassen höher als der Talboden, weshalb dort große Moorflächen entstanden. Die Flußsysteme im Alpenvorland, einschließlich der Isar, waren mit dem Ende des Eiszeitalters vollständig entwickelt.

4.2.2 Die postglaziale Isar

Das Postglazial umfaßt die letzten zehntausend Jahre, also quasi die „geologische Gegenwart“.

Der komplizierte Rhythmus von Erosion und Akkumulation setzte sich im Postglazial noch weiter fort: Von südlich München bis etwa Unterföhring erfolgte bis in historische Zeiten hinein die endgültige Ausräumung des Isartales, während im Mittel- und Unterlauf die Schuttfächerbildung parallel dazu ging. Die nächst jüngeren Schuttfächer wurden dabei in die jeweils älteren eingesenkt, nachdem eine kleine Erosionsphase vorausgegangen war; dadurch entstanden die im mittleren und unteren Isartal typischen Terrassenränder. Bei den postglazialen Flußablagerungen der Isar werden die über dem heutigen Flußniveau liegenden Schotterterrassen von den davon deutlich abgesetzten, flußnahen Auensedimenten unterschieden.

Auf die ergänzende und in Kap. 6.4 behandelte „Erhebung und Bewertung besonderer geologischer Strukturen im Flußbett der Isar zwischen Sylvensteinspeicher und Bad Tölz“ ist in diesem Zusammenhang hinzuweisen.

4.3 Geschiebezusammensetzung der Isar aus geologischer Sicht

Betrachtet man den Isarlauf unter dem Aspekt der gesteinsmäßigen Geschiebezusammensetzung, so sind einige Zusammenhänge voranzustellen:

Die Geschiebezusammensetzung spiegelt den geologischen Aufbau eines Flußeinzugsgebietes nicht exakt wider. Die einzelnen Geschiebekörner können in ihren Eigenschaften sehr variieren und reichern sich dementsprechend mehr oder weniger an. So reichern sich beispielsweise sehr harte Gesteine auf dem Transportweg relativ an, obwohl ihr Anteil am Aufbau des Einzugsgebietes sehr klein sein kann. Umgekehrt treten sehr weiche Gesteine, die sofort zu Sand oder Schwebstoffen zerfallen, als Geschiebe nicht in Erscheinung. Maßgebend ist auch, ob der Fluß ein bestimmtes Gesteinsareal direkt entwässert oder selektiertes Material eines Seitenbaches erhält und ob der Zustrom permanent oder nur sporadisch stattfindet.

Im Hochkarwendel, dem Quellgebiet der Isar, herrscht der grobblockig verwitternde Wettersteinkalk vor. Durch die Leutascher Ache kommt eine Jurakalk- und mergelkomponente hinzu. Im Talzug zwischen Wallgau und Sylvenstein mischt sich ein deutlicher Anteil von Plattenkalk und vor allem von Hauptdolomit dazu, der die Charakteristik des Geschiebebandes bis unterhalb Münchens bestimmt. Bei Bad Tölz treten Kieselkalke aus dem Flysch sowie Kalke, Sandsteine und Kieselkalke der Faltenmolasse hinzu. Nachdem die Isar das Gebirge verlassen hat, macht sich der Abrieb, die Selektion nach der Härte, deutlicher bemerkbar. Der feinstückig verwitternde Hauptdolomit und härtere Kalke halten lange Strecken aus und dominieren. Zwischen den Endmoränenwällen bei Schäftlarn und München hat sich die Isar bis in die Molasse eingeschnitten. Von den labilen Hängen wird Geschiebe aus quartären Terrassenschottern und Nagelfluh in die Isar eingetragen. Die Molasse liefert überwiegend Schwebstoffe, zuweilen auch etwas feinstückiges Geschiebe. Die Vermischung des Geschiebes wird in diesem Teilstück etwas bunter. Die Selektion arbeitet bis zum Beginn des Tertiärhügellandes aber wieder in Richtung auf harte Kalke, Dolomite und weniger Kieselkalke. Erst im Unterlauf, etwa bei Landshut, macht sich eine neue Komponente bemerkbar. In dieser Strecke treten wiederholt Quarzschotter und der sogenannte Vollsotter der Oberen Süßwassermolasse in Erscheinung. Von hier ab bestimmen Quarze, Quarzite und andere Silikatgesteine, die im jüngsten Tertiär aus den Zentralalpen geschüttet wurden, das Geschiebebild bis zur Mündung in die Donau. Kalke und Dolomite verschwinden bis auf einen Anteil von rund 20 %, da die härteren Gesteine die weicheren zerreiben.

5 Charakteristik der in der Isar gelegenen Anlagen bezüglich ihrer Durchgängigkeit für den Geschiebebetrieb

5.1 Der Sylvensteinspeicher bei Fkm 224,2

Der Sylvensteinspeicher - so benannt nach einer natürlichen Engstelle, dem Sylvenstein, im oberen Isartal - staut neben dem Hauptzufluß, der Isar, auch deren Seitenzuflüsse Dürrach und Walchen auf. Dadurch entstand ein in Fließrichtung fjordartig sich erstreckender See. Der Staudamm wurde in den Jahren 1954 bis 1959 errichtet. Neben seiner Zweckerfüllung, die für die Unterlieger bis dahin schädlichen Hochwasserabflüsse auszuschalten und die Niedrigwasserabflüsse wieder aufzubessern, bewirkte er allerdings auch eine völlige Zurückhaltung des bis dahin die Engstelle, den Sylvenstein, ungehindert passierenden Geschiebes aus dem alpinen Einzugsgebiet von hier rd. 1 138 km².



Bild: Sylvensteinspeicher, rechts Sperrenstelle liegend, links Tallauf flußaufwärts gegen Krün

Im Vorfeld der Naturversuche konnten Experten des Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen und des Wasserwirtschaftsamts Weilheim aufgrund eingehender Erhebungen bereits abklären, daß eine Geschiebedurchgängigkeit des Sylvensteinspeichers weder durch Stauraumpülungen noch über eine Geschiebestollenlösung erzielt werden kann. Für eine Umgehung des Hindernisses kommt als einzige brauchbare und praktikable Möglichkeit nur die Umsetzung des in den Rückhalteräumen oberhalb des Speichers gewonnenen Geschiebes mittels LKW-Transport über die Straße in das Unterwasser des Speichers in Frage (näheres siehe Kap. 6).

5.2 Das Flecker Wehr bei Fkm 216,58 und die Naturschwelle bei Fkm 210,0 (Lenggries, Kranzer Wasenstein)

Das bereits vor längerer Zeit zum Zwecke der Wasserkrafterzeugung (Papierer in Fleck) errichtete Wehr zur Wasserausleitung ist bis zur Wehrkrone verlandet. Bei größeren Abflüssen wird das Geschiebe über die Wehrkrone gespült. Die Geschiebedurchgängigkeit ist insoweit gegeben.



Bild: Nagelfluhrippe bei Fkm 210,0, linksufrig in den 60 iger Jahren zu einer Rauhsteinrampe ausgebaut

Im Flußbett bei Fkm 210,0 taucht eine zu Nagelfluh verfestigte Schotterbank auf, die hier als natürliche Erosionsbasis der Flußbetteintiefung temporär Einhalt gebietet. Eine Sanierung bzw. Plombierung der langsam zerfallenden Naturschwelle ist im Interesse der Flußbetterhaltung angezeigt.

5.3 Staustufe Bad Tölz mit Kraftwerk bei Fkm 199,0

Die Anlage wurde 1961 fertiggestellt. Durch den entstandenen Stau kommt der Geschiebetrieb nahezu vollständig zum Erliegen, soweit es nicht durch optimale Bewirtschaftung - völlige Staulegung und ausreichendem Hochwasserabfluß - größer 250 m³ mehrere Tage - gelingt, eine Geschiebetrift durch den Stauraum zu erzeugen. Der Grund für dieses Durchgängigkeitsproblem liegt teilweise schon in der erdgeschichtlichen Genese des Tölzer Grieses (s. Kap. 4 - Zur geologischen Situation der Isar). Kurz nach der Eiszeit bestand die „Urisar“ aus einer Kette von Seen. Es gab zum Beispiel den Wolfratshausener-See, den Scharnitzer-See, den Sylvenstein-See (lange vor dem heutigen Sylvensteinspeicher-See und schließlich den Tölzer-See (lange vor dem für das KW Bad-Tölz geschaffenen Stauraum). Diese „Urseen“ bildeten später im Zuge des Abschmelzens des Eises große Sedimentations- und Umlagerungsbecken für das von den Schmelzwasserströmen verfrachtete Geschiebe.



Bild: Kalksteinsammlerinnen im aufgeweiteten „Tölzer Gries“ (J. Wenglein, 1883)

Das bekannte „Tölzer Gries“ ist in seiner landschaftlichen Ausprägung nichts anderes als ein Relikt dieses eiszeitlichen Umlagerungsbeckens. Das sich hier wegen des Nachlassens der Schubspannungen bevorzugt ablagernde Grobgeschiebe wurde lange Zeit gewonnen und in den sogenannten Kalköfen durch Brennen der Kalkgewinnung zugeführt.

Aus der Zeit vor der Errichtung der Staustufe Bad Tölz sind Kiesbaggerungen bekannt, die im „Tölzer Gries“ durchgeführt wurden. Neben der Gewinnung von Kies als Baustoff ging es letztlich auch darum, die tiefliegende Bebauung von Bad Tölz durch die Beseitigung des sich hier bevorzugt umlagernden Grobgeschiebes besser vor Überschwemmung bei Hochwasser zu schützen bzw. zu bewahren. Aufgrund dieser Voraussetzungen wäre es unangemessen, von einer optimalen Bewirtschaftung bzw. von der Effektivität von Spülungen mehr an Durchgängigkeit zu erwarten, als diese Umlagerungsstrecke früher zu leisten imstande war. Hinzu kommt, daß das Geschiebetransportvermögen der Isar infolge der Abflußbewirtschaftung durch den Sylvensteinspeicher sich ermäßigt hat.

Im einzelnen ist auf folgende, hier bekannte Untersuchungen zur Geschiebedurchgängigkeit der Tölzer Stauanlage und auf Bestrebungen, der Verlandung entgegenzuwirken, hinzuweisen:

- Geotechnischer Bericht zur Untersuchung des Geschiebetransports durch die Isarstaustufe Bad Tölz mit Luminophoren, Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe 16.12.1997 [31]. Die Untersuchung kommt zum Ergebnis, daß eine Geschiebedurchgängigkeit der Staustufe Bad Tölz bei entsprechender Bewirtschaftung - völlige Staulegung und Spülung unter Hochwasserabfluß ($\geq 250 \text{ m}^3/\text{s}$ mehrere Tage) - möglich ist. Dabei konnte der Durchgang von Geschiebe bis rd. 60 mm Korndurchmesser und Transportwege des eingefärbten Materials flußabwärts von rd. 30 km innerhalb von 3 - 4 Jahren nachgewiesen werden. Eine Quantifizierung der durchgehenden Geschiebefrachten konnte aus den Untersuchungen nicht abgeleitet werden.
- Die Beurteilung von Stauraumspülungen an der Isarstufe Bad Tölz aus flußmorphologischer Sicht, Versuchsanstalt für Wasserbau und Wassermengenwirtschaft der TUM, O.v.M.-Institut Obernach, 1986 [72]. Der Beurteilung ist zu entnehmen, daß über Spü-

lungmaßnahmen in das Unterwasser gelangendes Geschiebe für die Isar uneingeschränkt positiv wirken wird und deshalb wünschenswert ist. Spülerfolge sind allerdings nur bei optimaler Bewirtschaftung - völlig gelegtem Stau und Abflüssen von $> 200 \text{ m}^3/\text{s}$ - zu erwarten

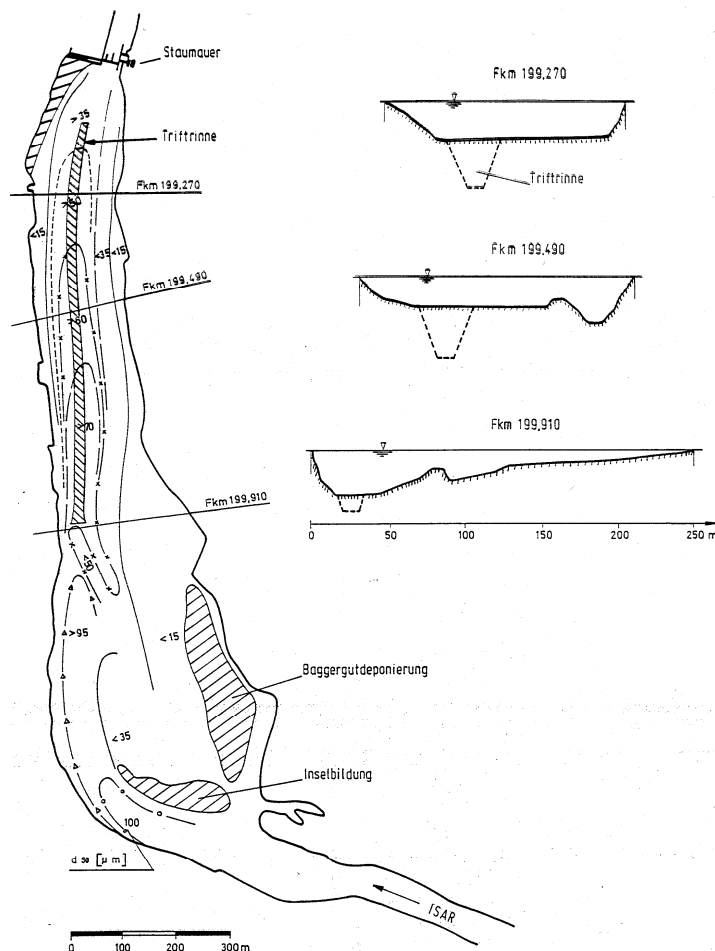


Bild: Verlandung des Stauraumes Staustufe Bad Tölz, Sedimentgrößenverteilung nach J. Müller (1989) und Triffrinne nach Westrich (1992)

- Die Expertise „Erfahrungen im Zusammenhang mit Kiestrifftmaßnahmen an der Stauanlage Bad Tölz“ (Verfasser: Prof. Dr.-Ing. Scheuerlein, Dr. Müller, Luff), 1996 [63], berichtet über die Möglichkeit einer Schleusung von Grobmaterial (Kies) durch den Stauraum ins Unterwasser am Beispiel der Stauanlage Bad Tölz. Dabei werden die Erfahrungen über einen Zeitraum von 5 Jahren dargelegt, einschließlich einer aus der Stauraumvermessung erhaltenen Quantifizierung der Sedimentausträge (Schwebstoffe und Geschiebe)

aus dem Stauraum. Bei einer der Staulegungen (August 1995, $Q = 288 \text{ m}^3/\text{s}$) konnte erstmals eine signifikante Kiesverfrachtung in das Unterwasser der Staustufe beobachtet werden. Der Versuch, die Grobmaterialschleusung durch eine künstlich hergestellte Trifrinne zu unterstützen, muß nach Ansicht der Gutachter als gescheitert angesehen werden, da die hergestellte Rinne von der Strömung völlig ignoriert und sofort wieder eingeebnet wurde.



Bild: Stauraumspülung Staustufe Bad Tölz bei mittlerem Hochwasser, 16.07.1993

- Die Bemühungen des Betreibers, der Stadtwerke Bad Tölz, die Geschiebedurchgängigkeit durch weitere fachliche Untersuchungen und eine entsprechende Stauraumbewirtschaftung zu optimieren, sollen nach Mitteilung des WWA Weilheim fortgesetzt werden. Eine diesbezügliche Änderung des Wasserrechtsbescheids der Staustufe Bad Tölz mit dem Ziel, den Betrieb der Anlage verbessern zu können, ist in Bearbeitung. In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, daß der Planfeststellungsbescheid des Landratsamtes Bad Tölz – Wolfratshausen v. 24.04.1991 [50] in seinen Auflagen und Bedingungen eine entsprechende Verpflichtung enthält : „ Sollte es über die Jahre zu größeren Ablagerungen groben Geschiebes kommen, die nicht vertrifftet werden und das Abflußprofil beeinträchtigen, ist der Unternehmer verpflichtet, diese Fraktionen maschinell nach Anweisungen des Landratsamtes ins Unterwasser zu befördern.“

Desweiteren soll in einem noch aufzustellenden Ablauf- und Meldeplan die Bewirtschaftung der zwischen Sylvensteinspeicher und Oberföhringer Wehr liegenden Stauanlagen im Hochwasserfall durch frühzeitige Information und Koordination verbessert werden. Auch dieser Plan zielt darauf ab, die Geschiebedurchgängigkeit der Anlagen zu optimieren.

5.4 Das Ickinger Wehr des Kraftwerkes Mühlthal bei Fkm 174,0

Die Anlage wurde als Seitenkanalkraftwerk in den Jahren 1922/24 errichtet. Mit Bescheid vom 28.06.1995 wurde der Anlage die wasserrechtliche Bewilligung [52] neu erteilt. Den Bewilligungsbedingungen und –auflagen zufolge hat der Anlagenbetreiber u.a. sicherzustellen, daß das Geschiebe im Einflußbereich der Anlage in der Isar verbleibt, insbesondere ist die Geschiebefracht, die von der Isar in den Stauraum transportiert wird, zur Erfüllung der flußmorphologischen Erfordernisse in das Unterwasser weiterzugeben. Im Zuge der Sanierungs- und Umbaumaßnahmen der Anlage wurde gleichzeitig auch deren Geschiebedurchgängigkeit verbessert. Als Experte war u.a. Prof. Dr.-Ing. Knauss von der Wasserbaulichen Versuchsanstalt Oberrach der TUM eingeschaltet.



Bild: Wehranlage Icking, vom Unterwasser, 1997

5.5 Das Baierbrunner Wehr (Höllriegelskreuther Wehr) mit den Kraftwerken Pullach und Höllriegelskreuth bei Fkm 162,45

Die Wehranlage bei Baierbrunn bzw. Höllriegelskreuth regelt den Zufluß für die an einem Seitenkanal liegenden beiden Kraftwerke. Die auf den Umbau der beiden Kraftwerksanlagen fußenden Wasserrechtsbescheide vom 26.02.1960 [54] enthalten in den Erlaubnisbedingungen und -auflagen auch Regelungen bezüglich der von der Isar mitgeführten Feststoffe. Diese Regelungen verpflichten den Anlagenbetreiber und sind auch im Sinne der angestrebten Geschiebebewirtschaftung und -durchgängigkeit anwendbar.

Im Zuge einer Ende 1997 aus betrieblichen Gründen notwendig gewordenen Räumung des Stauraumes sowie des Oberwasserkanals wurden den Angaben zufolge rd. 50 000 m³ Feststoffe - überwiegend Geschiebe - in das Unterwasser und damit in das Mutterbett der Isar umgesetzt. Die teils mechanisch, durch Baggerung, teils durch relativ geringe Spülabflüsse erzeugte Geschiebedurchgängigkeit beweist zumindest die Möglichkeit, temporär eine ungeschmälerete Weiterverfrachtung des Geschiebes herstellen zu können. Der Anlagenbetreiber wäre - nicht zuletzt in eigenem Interesse - gut beraten, von dieser Möglichkeit der Räumung öfter Gebrauch zu machen oder ,ähnlich wie am Ickinger Wehr, einer verbesserten Lösung zuzuführen.



Bild: Wehranlage Baierbrunn vom Oberwasser, im abgesenkten Zustand, Nov. 1997

In der Ausleitungsstrecke der Isar zwischen den Wehranlagen Baierbrunn und Großhesselohe befinden sich 2 sohlstützende Blocksteinrampen bei Fkm 161,5 und bei Fkm 158,7. Ihre Existenz ist für die Bettstabilisierung unverzichtbar.

5.6 Großhesseloher Wehr mit den Kraftwerken I, II und III (Südwerke der Stadtwerke München) bei Fkm 156,0

Die Wehranlage bei Großhesselohe regelt den Zufluß für die an einem Seitenkanal liegenden 3 Kraftwerke. Im Wasserrechtsbescheid für diesen Anlagenkomplex vom 10.07.1907[75] (mit Änderungsbescheiden vom 08.10.1920 und vom 11.02.1926) sind in den Erlaubnisbedingungen und -auflagen auch Regelungen bezüglich der Feststoffbewirtschaftung im Einflußbereich der Anlage getroffen. Diese Regelungen verpflichten den Anlagenbetreiber und sind auch im Sinne der angestrebten Geschiebewardirtschaftung und -durchgängigkeit anwendbar.

Nach Angaben des Anlagenbetreibers ist die Wehranlage voll geschiebedurchgängig, demnach bestehen keine Probleme. Bei Hochwasser werden die sogenannten Kiesschützen des Wehres gezogen, so daß ein uneingeschränkter Transport vom Ober- ins Unterwasser stattfindet.

5.7 Wasserbauliche Anlagen zwischen der Wehranlage bei Großhesselohe und dem Oberförhringer Wehr sowie flußgeschichtliche Aspekte des Geschiebehaushalts

- Beginnend vom Unterwasser des Großhesseloher Wehres bis ins Unterwasser der Thalkirchener Überfälle sorgt eine Kette von 25 Grundswellen für eine Stützung der Flußsohle und verhindert dadurch eine weitere Eintiefung des Flußbettes.
- Die Thalkirchener Überfälle (Wehr III, auch Harlachinger Überfälle oder Flaucherwehr genannt) bei Fkm 151,8 stellen ein in die örtliche, große Flußbettaufweitung gesetztes Wehrbauwerk dar, dessen Ursprünge aus früherer Zeit stammen.

Einer früheren Zweckbestimmung zufolge wurde mit ihrer Hilfe das Wasser für die linksseitigen Stadtbäche ausgeleitet [50]. Heute besitzt das Bauwerk neben einer geänderten Wasserableitungsaufgabe auch noch eine unverzichtbare sohlstützende Funktion für die im Oberwasser anschließende Flußstrecke der Isar.



Bild: Die Thalkirchener Überfälle vom Unterwasser

- Wasserausleitung ca. bei Fkm 148,5 an der Reichenbachbrücke zur Niedrigwasserdotations der Kleinen Isar. Die Möglichkeit, eine Geschiebedurchgängigkeit zur Versorgung der Kleinen Isar mit rezentem Geschiebe im Ausleitungsbauwerk unterzubringen (sohlnahes Fenster), sollte geprüft werden.
- Das Streichwehr (Wehr V) in der Großen Isar bei Fkm 148,4 (Nähe Corneliusbrücke) dient der Abflußüberleitung bei Hochwasser in die Kleine Isar. Eine Geschiebedurchgängigkeit in Richtung Kleine Isar ist aufgrund der sich weit über die Flußsohle erhebenden Wehrkrone derzeit nicht gegeben.
- Streichwehr (Wehr VI) in der Großen Isar bei Fkm 147,5, eine weitere Abflußableitung in die Kleine Isar.

Bildrechte für das Gemälde "Floßlande" von Otto Strützel 1889 nicht vorhanden

- Ausleitungsbauwerke in der Großen Isar bei Fkm 147,2 zur Abflußableitung in den Fabrikbach. Die Behebung des anlagenspezifischen Problems des Geschiebeeintrags in das Bauwerk bzw. die Ausleitung wird vom Anlagenbetreiber untersucht. Die Geschiebedurchgängigkeit der Isar ist nicht berührt.
- Praterwehr (Wehr VII) in der Großen Isar bei Fkm 147,5 zur Regelung des Abflusses im Zusammenwirken mit Wehr VI.
- 4 Abstürze (Kaskade) in der Großen Isar bei Fkm 146,9 (Schwind-Insel) zur Sohlstützung und Überwindung der Gefällstufe.
- 3 Stützswellen (Abstürze) in der Kleinen Isar bei Fkm 146,8 (bei der Ludwigsbrücke) zur Sohlstützung und Überwindung der Gefällstufe.

Soweit es sich bei den genannten Anlagen um quer im Fluß liegende Bauwerke handelt, stellen sie im allgemeinen für den Geschiebetrieb in der Isar kein Durchgangshindernis dar, weil das Geschiebe bei Hochwasser über die Bauwerkskronen hinwegespült wird.

Es ist bei dieser Gelegenheit in Erinnerung zu rufen, daß der durch die Isar verursachte Geschiebetrieb nicht immer so relativ reibungslos abgelaufen ist wie heute. Bis weit noch in die Nachkriegsjahre hinein waren größte Anstrengungen nötig, durch umfangreiche, alljährliche Kiesentnahmen zwischen Icking und Mühlthal, am Baierbrunner Wehr, in der Flußstrecke zwischen Großhesselohe und Thalkirchen, unterhalb der Thalkirchener Überfälle sowie aus der Kleinen Isar der drohenden Verkiesung und Abflußstörungen durch sich immer wieder bildende Geschiebablagerungen zu begegnen. Dabei wurde auch durch ein flächenhaftes „Wundmachen der Verkiesung“ versucht, deren Transportbereitschaft und damit die Aufnahme durch das fließende Wasser zu fördern. ERTL [35] bilanziert für die Jahre 1925/41, die alljährlich allein im Stadtgebiet Münchens durch Baggerungen der Isar entzogene Geschiebefracht mit i. M. rd. 42 000 m³ (s. auch Kap. 9.3). Das Geschiebereferat der ehemaligen Bayer. Landesstelle für Gewässerkunde führt 1935 zu den Verhältnissen im Stadtgebiet aus: „..... Man sieht also daraus, daß innerhalb der letzten 45 Jahre (1890-1935) fast ständig tiefe Eingriffe in das Wesen der Isar gemacht wurden, die auf die Änderung in der Geschiebeführung bald zu Gunsten, bald zum Nachteil der Geschiebebewegung Einfluß gehabt haben, so daß bei dieser dauernden Unruhe im Fluß die Geschiebemenge während dieser Zeit nicht berechnet werden kann, sondern nur schätzungsweise angegeben werden kann. Es dürfte im Jahr durchschnittlich die Geschiebebewegung in der Isar bis zu den Überfällen ungefähr 30 000 m³ betragen haben. Gleich unterhalb der Überfälle bei Thalkirchen werden dauernd durch die Stadt München große Kiesmengen aus dem Isarbett entnommen. Die weiter noch abgetriftete Kiesmenge ist nicht genau zu ermitteln, da der Zustand der Kleinen Isar nach den Umbauten 1899/1902 nicht festgelegt wurde und auch die künstlich aus der Kleinen Isar seit dieser Zeit herausgenommenen Kiesmengen nicht mehr angegeben werden können; andererseits liegen für 1934 keine Aufnahmen zwischen dem Wehr der Miag und den Wehren VII und VIII vor: Für die Zeit 1925 mit 1932 mögen die Geschiebemengen zwischen den Überfällen und dem Wehr der Miag nur 12 – 13 000 m³ betragen haben. In der Flußstrecke unterhalb des Wehres der Miag ist die von oben zukommende Menge ganz verschwindend klein. Hier hat sich wirkliches Geschiebe (Kies) hauptsächlich durch künstliche Eingriffe Schwellenbauten mit Fluß-

bettverbreiterung und durch Sohlenerosion ergeben. Zwischen dem Stützwehr in Unterföhring und dem Stützwehr Ismaning bestand die Geschiebeführung lediglich in Sohlenerosion, desgleichen vom Wehr in Ismaning abwärts bis gegen das Moosburger Wehr.“



Bild: Im Brunnthal (bei Bogenhausen) mit Brunnhaus, H.Wenng, 1830

5.8 Oberföhringer Wehr bei Fkm 142,9 zum Betrieb der Kraftwerke am Mittleren-Isar-Kanal

Das in den Jahren von 1920 – 1924 bei Oberföhring in die Isar eingebaute Wehr dient der Ableitung von bis zu 150 m³/s Abfluß aus der Isar in den Mittleren-Isar-Kanal zum Zwecke der Wasserkrafterzeugung. Die Verlandung des Stauraumes dieser Anlage war trotz des Einbaues von Kiesablässen nur eine Frage der Zeit, in Abhängigkeit von den vorerwähnten Aktivitäten der Kiesentnahme im Stadtgebiet Münchens und mittelbar von den Veränderungen des Geschiebehauhalts im Einzugsgebiet der Isar. Tatsächlich sind seit etwa 1941 Baggerungen zur Verminderung der fortschreitenden Stauraumverlandung und seit etwa 1951 auch Räumversuche durch Spülungen dokumentiert.



Bild: Blick auf die die Wehranlage Oberföhring (mit Teil des Stauraumes, rechtsseitig Ausleitung des Miag-Kanals) sowie die Isar flußabwärts (Teil der Wiebeking'schen Flußkorrektion)

Die trotzdem nicht aufzuhaltende Verlandung und die Gefahr, die bei Hochwasserabflüssen zulässigen Wasserstände im Stauraum nicht mehr einhalten zu können, haben den Anlagenbetreiber schließlich veranlaßt, für Abhilfe zu sorgen. Ein in Auftrag gegebenes Gutachten brachte den Vorschlag, einen Teil des Stauraumes mechanisch zu entlanden. Durch eine gleichzeitig im Stauraum hergestellte Spülrinne sollte einer künftigen Stauraumverlandung mittels Spülungen bei Hochwasser vorgebeugt werden.

Diese Maßnahme kam 1995/96 zur Ausführung. Dabei wurden rd. 120 000 m³ Material, in der Hauptsache Geschiebe, aus dem Stauraum mechanisch entfernt und in das Unterwasser der Wehranlage umgesetzt, um das Mutterbett der Isar wieder natürlicherweise mit Geschiebe zu versorgen. Nachfolgende Spülungen des Stauraums dürften nochmals schätzungsweise 20 000 bis 30 000 m³ Geschiebe in das Unterwasser eingetragen haben. Insgesamt dürften also durch diese Aktivitäten der Geschiebeumsetzung und -spülung im Zeitraum von 1995 – 1997 etwa 150 000 m³ Geschiebe an der Schnittstelle Oberföhringer Wehr der Ausleitungs-

strecke der Mittleren Isar zugeführt worden sein. Die Verfrachtung des umgesetzten Geschiebes durch die darauf folgenden Hochwasserereignisse einschließlich des Pfingsthochwassers von 1999 in die rd. 70 km lange Ausleitungsstrecke der Isar ist naturnah verlaufen und hat zu einer uneingeschränkt positiven Verbesserung der ökologischen und flußmorphologischen Belange im anschließenden noch rd. 70 km langen Flußlauf geführt.



Bild: mechanische Räumung des Stauraumes am Oberföhringer Wehr, Kampagne 1995/96

Ähnlich wie es bei der im Stauraum der Staustufe Bad Tölz (s. Kap. 5.3) hergestellten Triftrinne der Fall war, muß auch am Oberföhringer Wehr der Versuch, die Geschiebeschleu-
sung durch den Stauraum mittels einer Spülrinne zu unterstützen, als nicht erfolgreich be-

zeichnet werden. Offenbar wurde auch hier die Spülrinne von der Strömung nicht angenommen, sondern beim ersten Abflußereignis bereits wieder verfüllt. Insgesamt dürfte zum Stand von 1999 von neuem eine Verlandung des Stauraumes von ungefähr $70\,000\text{ m}^3$ eingetreten sein. Unbeschadet dieser Erkenntnisse war zumindestens die mechanische Räumung des Stauraumes erfolgreich und hat sowohl den Hochwasserschutz im Einflußbereich der Stauanlage wiederhergestellt als auch die Ausleitungsstrecke der Mittleren Isar mit dem der Isar zugehörigen und angestammten Flußgeschiebe versorgt.

Im Unterwasser des Oberföhringer Wehres (Fkm 142,9) schließt eine Kette von sohlstützenden Querbauten an. Der Anlaß für diese Sohlstützung ergab sich in erster Linie aus den Folgen der Isarkorrektion im Bereich der Landeshauptstadt München und letztlich auch aus der Geschieberückhaltung im Stauraum des Oberföhringer Wehres.

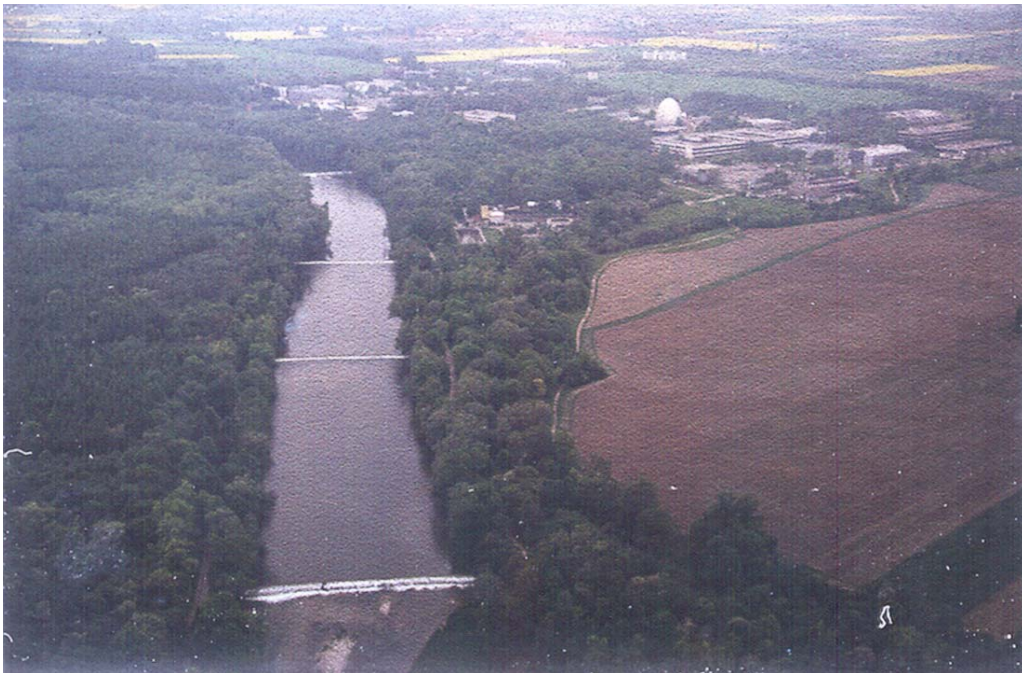


Bild: Stützwällenkette unterhalb des Oberföhringer Wehres, rechtsseitig Uni-Gelände Garching

Die Bayer. Landesstelle für Gewässerkunde führt seinerzeit 1935 hierzu aus: „..... Bei dieser Isarkorrektion handelte es sich darum, den Fluß für die Belange der Stadt München rasch zur Eintiefung zu zwingen. Als die Schotterdecke in der Flußsohle durchgearbeitet war und der

Flinz auftrat, der in geringer Tiefe bereits Einlagen von Flinzsand zeigte, mußte man ab 1887 von der Flußkorrektur auch zur Verbauung des Flusses durch Einschaltung von Stützquerbauten schreiten, um weitere gravierende Eintiefungen zu verhindern, da Flußverbreiterungen allein keine Abhilfe mehr bringen konnten. In den letzten Jahren (ab etwa 1930) ist man vom System der niedrigen Schwellen abgekommen und zum Einbau von hohen (hydraulisch wirksameren) Stützwehren übergegangen (Beispiele: Unterföhringer Wehr, Ismaninger Wehr). ...“

Notwendigerweise mußte bis heute eine Flußstrecke von rd. 22 km (Fkm 142,9-120,4) mit insgesamt 42 Stützquerbauten unterschiedlicher Bauhöhe verbaut werden. Sämtliche Querbauten haben die Aufgabe, das Flußbett vor dem weiteren Verfall, d.h. vor einer weiteren, unkontrollierten Eintiefung in den äußerst erodiblen Flinzuntergrund zu bewahren. Offenbar in Unkenntnis einer solchen Sachlage sind in den letzten Jahren Forderungen laut geworden, der Flußstrecke unterhalb des Oberföhringer Wehres durch Entfernen dieser Querbauten doch wieder mehr Dynamik zu verleihen. Würde man derartige Forderungen auf diese Weise erfüllen, würde dies zweifellos eine Fortsetzung der damals gestoppten, massiven Eintiefungen nach sich ziehen. Im gleichen Sinne wäre es nachteilig, wenn beim Umbau der vorhandenen Stützbauwerke für eine bessere biologische Durchgängigkeit, deren Stützwirkung und Standfestigkeit etwa Abstriche erleiden würde. Die Geschiebedurchgängigkeit der Stützquerbauten ist gewährleistet, da der Geschiebetrieb unbeschadet ihrer Absturzhöhe über diese Bauwerke unbehindert stattfinden kann.

5.9 Moosburger Wehr (Uppenbornwehr) bei Fkm 94,11 zum Betrieb der Uppenbornwerke

Im Bereich der sogenannten Echinger Stufe besteht das in den Jahren 1906/08 errichtete und 1919/20 durch Überleitung von Amperwasser (mittels Wehr in der Amper) erweiterte alte Uppenbornwehr sowie die 1949/51 abgeschlossene Erweiterung der Uppenbornwerke I und II (Kanalkraftwerke), Bescheid des Landratsamtes Freising vom 31.12.1959 [55]. Die durch den Bescheid vom 16.10.1923 genehmigte Erhöhung des Stauziels an der Wehranlage wurde damit begründet, daß damit eine Verbesserung der durch starke Kiesablagerungen beeinträchtigten Wasserzufuhr zum Werkkanal bewirkt werden solle. Die Uppenbornwerke nutzen die Wasserkraft von Amper und Isar über Kanalkraftwerke. Der Anlagenbetreiber ist den Auflagen und Bedingungen der Bescheide zufolge zur Beseitigung von Auflandungen und zur In-

standhaltung verpflichtet. Das dabei anfallende Räumgut ist nach Weisung der Wasserwirtschaftsverwaltung zu verwenden, darüber hinaus bleibt dieser das Recht vorbebehalten, über die Ablagerungsmassen entschädigungslos zu verfügen.



Bild: Blick von Unterwasser gegen das Moosburger Wehr, links im Oberwasser Kanaleinlauf und Geschieberäumung

Die Wehranlage wird den Angaben entsprechend so bewirtschaftet, daß bei Hochwasserabfluß das an die Wehranlage gelangende Geschiebe unter den leicht gezogenen Wehrschützen in das Unterwasser abtriften kann und der Geschiebeeintrag in den Werkkanal dadurch minimiert wird. Währenddessen ist es möglich, den Zufluß zum Kanal im allgemeinen aufrechtzuerhalten. Durchschnittlich alle 5 Jahre sind Kanalräumungen veranlaßt. Das bei den Kanalräumungen anfallende Kiesmaterial sollte der Isar möglichst wieder zugeführt werden.

Im Flußbett der Isar selbst sind normalerweise keine Baggerungen notwendig. Insoweit dürfte die Durchgängigkeit der Wehranlage zum Weitertransport des ankommenden Geschiebe ins Unterwasser genügen. Den Mitteilungen zufolge hat eine rechtsufrig auf Höhe der Moosburger Brücke gelegene Bebauung Probleme bei steigendem Grundwasser.

5.10 Naturschwellen bei Fkm 91,5 und Fkm 87,4 („7 Rippen“)

In den vorbezeichneten Bereichen treten im Flußbett zum Konglomerat verbackene, tertiäre Vollschorterbänke zu Tage. Besonders an den „7 Rippen“ (Fkm 87,4) ist im Zeitraum der letzten 10 Jahre ein besonders rascher Verfall und damit ein gravierender Verlust ihrer sohlstützenden Funktion einschließlich einer dementsprechend massiven Flußbetteintiefung im Oberwasser eingetreten. Im Interesse einer Flußbetterhaltung ist dieser fortschreitende Verfall zu bedauern.



Bild: Tertiäre Konglomeratbänke, die „7 Rippen“, bei Fkm 87,4, 1998

- 5.11 Wehr bei Fkm 79,25 zur Bewirtschaftung der Flutmulde Landshut;
 Einmündung des Mittleren-Isar-Kanals bei Fkm 78,25;
 verschiedene Wehranlagen im Stadtbereich Landshut (Fkm 75 – 74);
 Staustufe Altheim (mit eingestautem Albinger Wehr im Stauraum) bei Fkm 70,4.

Der hier angesprochene Fließgewässerbereich der Isar ist grundsätzlich für den Geschiebetrieb passierbar bzw. durchgängig. Endpunkt des in der gegenständlichen Studie behandelten Geschiebefrachtweges, der rd. 154 km flußaufwärts im Unterwasser des Sylvensteinspeichers ansetzt, ist umständehalber bzw. zwangsläufig die Staustufe Altheim.

Sofern also Geschiebe auf seinem verschieden langen Fracht- oder Transportweg in der Isar nicht dem Geschiebeabrieb oder einer Fremdentnahme anheimfällt, landen die gröberen Fraktionen im Stauwurzelbereich dieser Staustufe. Die weniger groben Geschiebefraktionen können je nach Abflußereignis dementsprechend auch etwas mehr in den Stauraum hinein verfrachtet werden.

In einigen Streckenbereichen – so etwa zwischen Fkm 80 und 78,5 sowie etwa zwischen Fkm 78 und 75 ist nicht mit Sicherheit auszuschließen, daß es bei größeren Geschiebefrachten vorübergehend auch örtlich zu Ablagerungen von Feststoffen kommen kann. Es ist aber damit zu rechnen, daß Ablagerungen wegen des guten Transportvermögens der Flußstrecke von nachfolgenden Abflüssen leicht wieder mobilisiert und weiter flußabwärts verfrachtet werden. Aufgrund der Tatsache, daß etwaige Ablagerungen wegen des hier im Bereich von Landshut ungeschmälernten Abflusses zumeist unter dem Mittelwasserspiegel liegen, werden sie auch nicht durch Aufwuchs einer Vegetation verfestigt. Baggerungen, die aus Gründen des Hochwasserschutzes regelmäßig notwendig geworden wären oder diesen tangiert hätten, sind nicht bekannt. Ebenso geben die über einen langen Zeitraum vorliegenden Flußaufnahmen keine Hinweise auf bleibende oder überhandnehmende Ablagerungen. Aus einer möglicherweise intensiviert, aber nicht übermäßig betriebenen Geschiebebewirtschaftung der Isar werden daher auch keine Probleme erwartet.

Absehbar ist allerdings eine bedarfsweise, der Geschiebezufuhr entsprechend durchzuführende Räumung zumindest der Stauwurzel der Staustufe Altheim, dem zwangsweisen Endpunkt des Geschiebetriebs und dem Sedimentationsbereich des vom Fluß bis hierher transportierten

Geschiebes. Die Räumung und Entnahme von Feststoffen zur Aufrechterhaltung des Anlagenbetriebs bzw. zur Einhaltung der festgelegten Stauhöhen ist eine dem Betreiber der Staustufe nach Wasserrechtsbescheid im allgemeinen obliegende Verpflichtung. Zufahrten und Entnahmemöglichkeiten, auch für größere Feststoffmengen, sind vorhanden. Den Mitteilungen zufolge gab es in der Vergangenheit schon Entladungsmaßnahmen im Stauwurzelbereich der Stufe Altheim, bei denen jeweils bis zu rd. 100 000 m³ Feststoffe z.B. für den Autobahnbau entnommen wurden. Das bei einer Räumung des Stauwurzelbereichs anfallende Kiesmaterial ist ein begehrter Roh- und Baustoff, der vielseitig verwendbar ist und für den erfahrungsgemäß Nachfrage besteht.

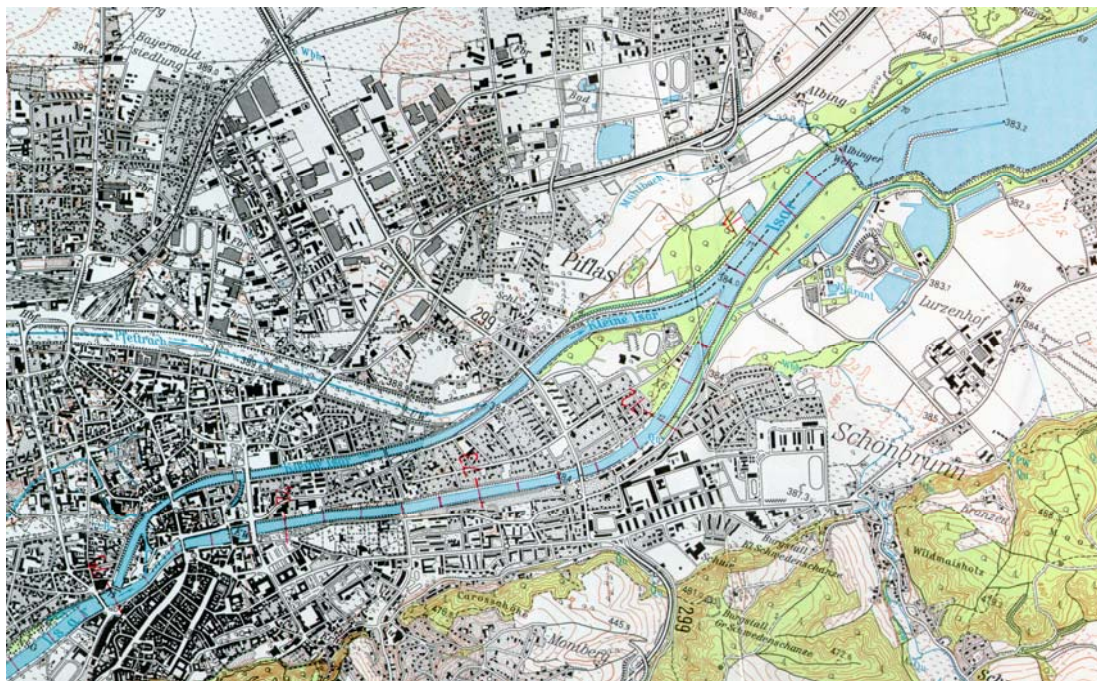


Bild: Landshut – Nord mit Staustufe Altheim (Ausschnitt aus topogr. Karte)

6 Naturversuche und Erhebungen

6.1 Voraussetzungen und Gegebenheiten für eine Geschiebezugabe

Für die künstliche Geschiebezugabe, die eine wesentliche Maßnahme der Geschiebebewirtschaftung darstellt, sind folgende Voraussetzungen zu prüfen:

- Wie sind die Abfluß- bzw. Verfrachtungsverhältnisse im Flußlauf beschaffen, dem Geschiebe künstlich zugegeben werden soll?

- Wo ist geeignetes Material in Art und Menge vorhanden?
- Ist ein möglichst kurzer Transportweg zur Gewinnung des Materials vorhanden?

Das Zugabematerial sollte

- flußtypisch sein,
- die für das Transportvermögen der zu versorgenden Flußstrecke optimale Körnung besitzen,
- in ausreichender Menge gewinnbar sein und
- der ständige Nachschub gesichert sein.

Die theoretisch bestehenden Möglichkeiten der Geschiebegewinnung aus dem Sylvensteinspeicher selbst (Vorsperre), aus Flußstauen, aus Wildbachrückhaltesperren, aus Schuttkegeln von geschiefeführenden Seitengewässern und aus Vorländern der Talaue reduzieren sich angesichts der genannten Voraussetzungen dann sehr bald auf die wenigen, praktikierbaren Möglichkeiten.

Ein weiteres Problem ist die Verfrachtung des Geschiebes flußabwärts bzw. die Wahl des geeigneten Transportmittels. Theoretisch denkbar sind eine Verfrachtung durch

- den Abfluß selbst (Stauraumpülung),
- den Bau eines Geschiebestollens zur Durchtrift des bei Hochwasser zum Speicher gelangenden Geschiebes ins Unterwasser des Speichers,
- den Bau einer ortsfesten Seilförderanlage oder eines Förderbandes vom Lagerort der Resource bis zur Zugabestelle im Flußbett,
- den bedarfsweisen LKW-Transport von wechselnden Gewinnungsstellen bis zur jeweiligen Zugabestelle im Flußbett.

Im Vorfeld der heranstehenden Naturversuche konnte bereits abgeklärt werden, daß im Falle des Sylvensteinspeichers durch Stauraumpülungen keine Geschiebetrift erzeugt werden kann und eine Geschiebestollenlösung (sowohl Naß- als auch Trockenstollenlösung) aus technischen und wirtschaftlichen Gründen eindeutig ausscheidet. Für die Naturversuche hat sich folglich der LKW-Transport als einzige brauchbare und praktikable Alternative angeboten.

Man entschied sich deshalb, die zu erprobende künstliche Geschiebezugabe mittels LKW-Transport über die Straße durchzuführen.

Für die Einbringung des Geschiebes in das Flußbett ist abzuklären, welche Zugabestelle geeignet ist, und ob gegebenenfalls die Einbringung über mehrere Zugabestellen günstiger oder erforderlich ist. Hinsichtlich der Art der Einbringung bzw. der Dosierung ist prinzipiell zu unterscheiden zwischen

- der punktuellen Einbringung in einen Kolksee im Unterwasser
- der linienförmigen (wallförmigen) Längsdeponie am Ufer oder in Flußmitte
- der Einbringung per Schiff (Klappschute) bei schiffbarem Gewässer
- oder über eine Dosieranlage, -brücke, Silo mit Förderband oder Förderschnecke.

Wie erwähnt, stellt die Versorgung der unterhalb des Sylvensteinspeichers gelegenen Flußstrecke mit Geschiebe wegen der fehlenden Geschiebedurchgängigkeit des Speichers ein Problem dar. Durch den Bau des Sylvensteinspeichers wurde der Geschiebetrieb völlig unterbrochen. Schwebstoffe werden zwar bei Hochwasser teilweise als Dichtestrom durch den Stauraum getriftet und über die Betriebsauslässe in das Unterwasser abgegeben, sie tragen aber zur Stabilisierung eintiefungsgefährdeter Flußläufe nichts bei.

Das dem Sylvensteinspeicher zugeführte Geschiebe lagert sich an den Einmündungen der Hauptzuflüsse Dürrach und Walchen im Stau ab, bzw. wird an der Isar in der Isarvorsperre zurückgehalten. Auch zu diesem Zweck in den Oberläufen errichtete Geschiebesperren halten einen Teil des Geschiebes bereits zurück. Die dort regelmäßig zur Vorbeugung einer Verlandung des Speichers durchgeführten Entnahmen betragen in der Zeit von 1978 bis 1997 etwa 86 000 m³/a im Mittel, einem bei ca. 25 000 m³ liegendem Minimum und einem bei 132 000 m³ liegendem Maximum. Das entnommene Geschiebematerial wird durch vertraglich beauftragte Unternehmer aufbereitet und von diesen der kommerziellen Kiesverwertung zugeführt.

Im Oberlauf der Dürrach befindet sich auf österreichischem Gebiet die Bächentalsperre. Das dort sich ablagernde Geschiebe - i. M. rd. 20 000 m³/a - wird ins Unterwasser der Sperre umgesetzt und bei Hochwasser weiter in Richtung zum Sylvensteinspeicher hin verfrachtet. Erwähnenswert ist noch die Stierschlagsperre, in der sich besonders grobkörniges Material sammelt.



Bild: Entnahmebereich Isarvorsperre



Bild: Zwischendeponie des entnommenen Materials

Der Schuttkegel des Rißbaches, in die Isar mündend, bietet ein weiteres, umfangreiches Potential an gewinnbarem Geschiebematerial verschiedenster Körnung je nach Entnameort.



Bild: Segment des Rißbachschuttkegels



Bild: Beispiel der Materialkörnung

6.2 Naturversuche, künstliche Geschiebezugabe

Den Untersuchungsschwerpunkt bei den Naturversuchen bildete die Erhöhung der Restgeschiebefracht der Isar durch Einbringung von flußeigenem Kiesmaterial. Zu diesem Zweck wurde das in den zuvor erwähnten Rückhalteräumen lagernde Geschiebe auf LKW geladen, an die ausgewählten, im Unterwasser des Speichers gelegenen Eingabestellen transportiert

und dort in Form von längsgestreckten Wällen in das Flußbett der Isar eingeschüttet. Mit Hilfe dieser Zugabeversuche sollten Erkenntnisse gewonnen und dokumentiert werden über

- das Konfliktpotential bei Organisation und Durchführung der künstlichen Geschiebezugabe
- die Logistik und den Aufwand bei der Umsetzung der Maßnahme
- und die Eignung des Materials in flußmorphologischer Hinsicht.

Bei einem bereits im Jahre 1993 vom WWA Weilheim durchgeführten Zugabeversuch wurden erstmals 3000 m³ Kies an 2 Eingabestellen (bei Fkm 223,3 und bei 220,2) in die Isar eingebracht. Den Anlaß dazu hatten Beteiligte im Verfahren für den Bau der neuen Hochwasserentlastungsanlage gegeben, die eine Geschiebeumsetzung vom Ober- in das Unterwasser des Sylvensteinspeichers gefordert hatten.

- 1. Zugabeversuch

Bei dem im Jahre 1995 durchgeführten 1. Zugabeversuch konnten den Umständen entsprechend rd. 5 500 m³ Geschiebematerial über zwei in der naturbelassenen Flußstrecke zwischen dem Sylvensteinspeicher und dem Flecker Wehr liegende Zugabestellen (Eingabestelle 1 bei Fkm 223,3 und Eingabestelle 2 bei Fkm 220,2) in das Flußbett eingebracht werden.

Nr.	Eingabestelle	Eingabezeitraum	Menge	Herkunft
1	Fkm 223,3 (Holzschwelle)	4.09. bis 15.09.1995	ca. 2 000 m ³	Isarvorsperre
2	Fkm 220,2 (Steinbock)	(rd. 2 Wochen)	ca. 3 500 m ³	Isarvorsperre

insgesamt ca. 5 500 m³



Bild: Eingabestelle 1 (1996)



Bild: Eingabestelle 2 (1996)

Das aus der Isarvorsperre (Nähe Sperrbereich) gewonnene Material war relativ feinkörnig und wurde bald nach seiner Einbringung durch zwei kleinere Hochwasserereignisse - im Mai 1996 (Dauer etwa 50 Std., Abfluß ca. $50 \text{ m}^3/\text{s}$) und Juli 1996 (Dauer etwa 80 Std., Abfluß ca. $120 \text{ m}^3/\text{s}$) – aufgenommen und abtransportiert. An der Eingabestelle 1 (Fkm 223,3) fand der größte Teil des Geschiebetransports schon bei Abflüssen von ca. $50 \text{ m}^3/\text{s}$ statt. Der an der Eingabestelle 2 (Fkm 220,2) geschüttete Kieswall aus etwas größerem Material wurde erst bei Abflüssen von ungefähr $100 \text{ m}^3/\text{s}$ vollständig abgetragen.

Der Flußabschnitt Sylvensteinspeicher - Bad Tölz wurde durch eine im Zeitraum von September bis Oktober 1995 vorgenommene Querschnittsvermessung dokumentiert (siehe Anlage 7).

Negative Auswirkungen auf das Gewässer als Folge dieser Geschiebezugabe konnten nicht festgestellt werden.

- 2. Zugabeversuch

Der 2. Zugabeversuch wurde im Juni 1997 durchgeführt. Dabei sollte die eingebrachte Materialmenge auf nunmehr rd. 10 000 m³ gesteigert werden. Um das unterschiedliche Transportverhalten der naturbelassenen Flußstrecke (Sylvensteinspeicher – Flecker - Wehr = 8,5 km) und der unterhalb anschließenden Korrektionsstrecke (Flecker Wehr - Bad Tölz = 15 km) zu testen, war beabsichtigt, rd. 5 000 m³ weniger grobes Material in die naturbelassene, obere Flußstrecke und rd. 5 000 m³ Material grober Körnung am oberen Ende der Korrektionsstrecke, nämlich kurz unterhalb der Jachenmündung bei Fkm 215,4 einzubringen. Zur Materialgewinnung war wieder die Isarvorsperre vorgesehen. Wegen der ungünstigen Bedingungen (Abfluß und Stauverhältnisse) an der Isarvorsperre während der Durchführungsphase konnten ähnlich wie beim 1. Versuch jedoch nur rd. 7 000 m³ relativ feinkörniges Material gewonnen werden. Außerdem wurde das Material ausschließlich in die naturbelassene Flußstrecke, je zur Hälfte an den Eingabestellen 1 und 2, in den Fluß eingebracht. Bei einer im September durchgeführten Räumung eines Treibholzfanges am Arzbach fielen dann schließlich noch 800 m³ grobkörniges Material an, welches an die dafür vorgesehene Eingabestelle 3, also am Beginn der Korrektionsstrecke, der Isar zugegeben werden konnte. Somit schließt der 2. Zugabeversuch (1997) mit einer Mengenzugabe von rd. 7 800 m³ in den Fluß eingebrachten Materials ab.

Nr.	Eingabestelle	Eingabezeitraum	Menge	Herkunft
1	Fkm 223,3 (Holzschwelle)	16. bis 20.06.1997	ca. 3 000 m ³	Dürrach
2	Fkm 22,2 (Steinbock)	16. bis 20.06.1997	ca. 4 000 m ³	Isarvorsperre
3	Fkm 215,4	31.07. bis 16.09.1997	ca. 800 m ³	Arzbach
insgesamt ca. 7 800 m ³				

Das an den Eingabestellen 1 und 2 zugegebene Material wurde bereits im Zeitraum vom 4. bis 7.07.1997 bei maximalen Abflüssen von ungefähr $200 \text{ m}^3/\text{s}$ komplett abgetragen. Das unterhalb der Jachenmündung (Eingabestelle 3) zeitlich erst später zugegebene sehr grobe Material blieb zunächst liegen und wirkte als Schutz gegen die Erosion im Prallufer an der Einbringungsstelle.

Die flußmorphologisch unterschiedliche Wirksamkeit der verschiedenen Geschiebekörnungen wird in Kap. 9 (Geschiebetransportvermögen und Effektivität einer künstlichen Geschiebezugabe) näher beschrieben. Der Flußabschnitt Sylvensteinspeicher – Bad Tölz wurde durch eine im Zeitraum vom November bis Dezember 1997 durchgeführte Querschnittsvermessung aufgenommen und dokumentiert (siehe Anlage 7).

- 3. Zugabeversuch

Um einerseits die mit einer sich im Umfang vergrößernden Zugabemenge verbundenen Komplikationen weiter ausloten zu können und um andererseits auch die Auswirkungen einer solchen auf die Morphologie des Flußlaufes meß- und bemerkbar machen zu können, war im Konzept zur Vorgehensweise[13] ursprünglich eine Zugabemenge in der Größenordnung von rd. $30\,000 \text{ m}^3$ vorgesehen. Die mit einer Vielzahl von Beteiligten (Naturschutz, Fischerei, Vogelschutz, Forst, Grundstücksbesitzer, Baulastträger, Kreisverwaltung, Straßenbauamt, Gemeinden, Fremdenverkehr usw.) abzustimmenden Interessen zur Umsetzung der Maßnahme ergaben wiederum nur relativ knappe Zeiträume für die Durchführung, so daß von der ursprünglich vorgesehenen großen Zugabemenge Abstriche hingenommen werden mußten. Den Umständen Rechnung tragend, einigte man sich darauf, einen die Möglichkeiten mengenmäßig ausschöpfenden 3. Zugabeversuch durchzuführen. Dabei wurden die Geschiebekörnungen den gerinnegeometrischen Bedingungen in etwa angepaßt auf die Eingabestellen 1-3 verteilt (siehe auch Anlage: 20,21,22- Körnungskurven und 23-Charakteristik des Zugabematerials):

Nr.	Eingabestelle	Eingabezeitraum	Menge	Herkunft
1	Fkm 223,3 (Holzschwelle)	18.05. bis 19.06.1998 (rd. 1 Monat)	ca. 2 000 m ³ ca. 2 000 m ³	Isarvorsperre Rißbach
2	Fkm 220,2 (Steinbock)	18.05. bis 19.06.1998 (rd. 1 Monat)	ca. 5 000 m ³ ca. 1 000 m ³	Rißbach Dürrach
3	Fkm 215,4 (Jachenmündung)	18.05. bis 19.06.1998 18.05. bis 19.06.1998 19.10. bis 30.10.1998	ca. 3 000 m ³ ca. 2 000 m ³ ca. 2 000 m ³	Rißbach Dürrach Isarvorsperre
			insgesamt ca. 17 000 m ³	



Bild: Eingabestelle 1 (1998)



Bild: Eingabestelle 2 (1998)



Bild: Eingabestelle 3 (1998)

Zum Transport des Materials waren rd. 1100 LkW-Ladungen erforderlich. Außerdem ist festzuhalten, daß die mit den Beteiligten ausgehandelten Zeiträume für den Transport und die Einbringung an den Eingabestellen nicht unbedingt mit den Zeiten günstiger Gewinnungsbedingungen an den Entnahmestellen, insbesondere denen in der Isarvorsperre, korrespondieren. Das insgesamt wesentlich gröbere Geschiebmaterial (als im 1. und 2. Zugaberversuch) konnte selbst durch einen am 6./7.05.99 vom Sylvensteinspeicher abgegebenen Spülabfluß von rd. $190 \text{ m}^3/\text{s}$ (zuzüglich Abflüsse dem Zwischeneinzugsgebiet von rd. $10 \text{ m}^3/\text{s}$) nicht abgetragen und verfrachtet werden. Erst das darauffolgende außergewöhnliche Hochwasserereignis vom 22./24.05.1999 („Pfungsthochwasser 99“) mit Spitzenabflüssen von rd. $350 \text{ m}^3/\text{s}$ am Pegel Sylvenstein, rd. $450 \text{ m}^3/\text{s}$ am Pegel Lenggries und rd. $480 \text{ m}^3/\text{s}$ am Pegel Bad Tölz KW führte dann zu einer spontanen und vollständigen Verfrachtung des gesamten Zugabematerials einschließlich der größten Kornfraktionen (Steinblöcke mit einer Korngröße von 400 mm und darüber). Im Vergleich zu diesem Ereignis gibt das Deutsche Gewässerkundliche Jahrbuch von 1994 das HQ_1 für den Pegel Sylvenstein mit $116 \text{ m}^3/\text{s}$ und den Pegel Bad Tölz KW mit $189 \text{ m}^3/\text{s}$ für die Jahresreihe 1959/1994 an. Der Extremabfluß wurde in dieser Zeit für den Pegel Sylvenstein am 21.07.1981 mit $297 \text{ m}^3/\text{s}$ registriert (s. auch Anlage 15). Die nach dem Hochwasser durchgeführten Feldversuche [23] haben ergeben, daß während des Hochwasserabflusses das Material in der Flußbettsohle der Isar bis weit über 1 m Tiefe erfaßt und umgelagert worden ist.

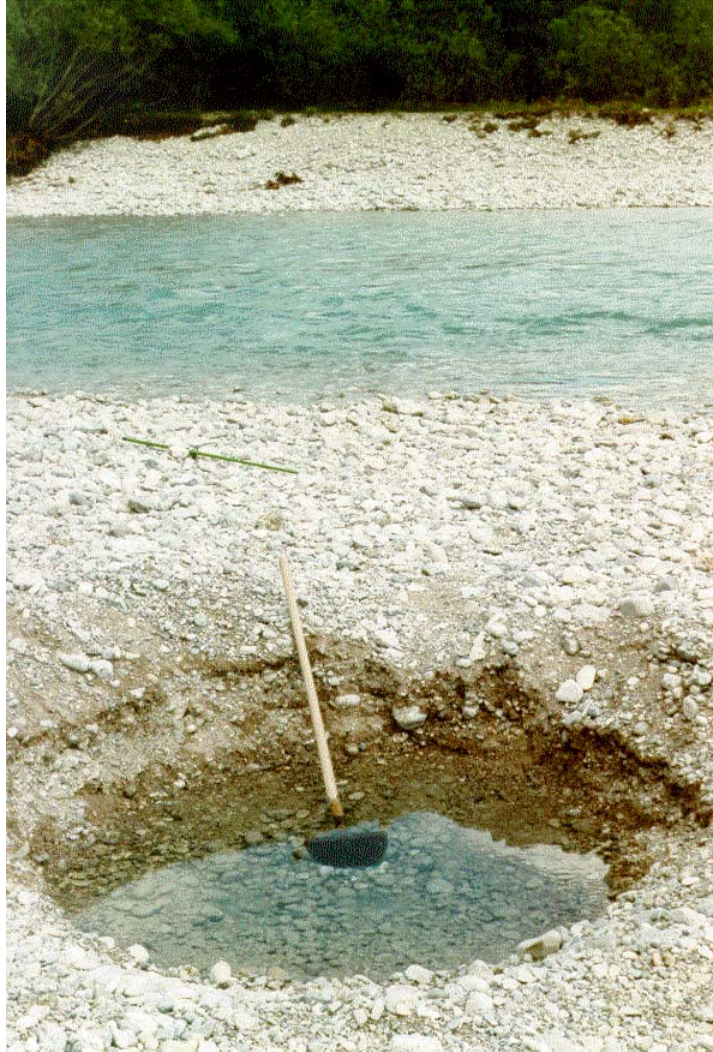


Bild: Schürfgruben im Flußbett bei Lenggries (Fkm 213) zum Auffinden der mit Sender (Radiotracer) bestückten Geschiebekörner, die in größere Tiefe umgelagert wurden

6.3 Sonstige geschiebeaktivierende Maßnahmen

- Stauraum Oberföhringer Wehr, Fkm 142,9.

Als weiterer wichtiger „Naturversuch“ ist auch die im Jahre 1995/96 durchgeführte Stauraumentlandung des Oberföhringer Wehres anzusehen. Bei dieser wegen der weit fortgeschrittenen Verlandung notwendig gewordenen Räumung des Stauraumes wurden über 120 000 m³ Kiesmaterial aus dem Stauraum gebaggert und per LkW-Transport in die unterhalb des Wehres gelegene Ausleitungsstrecke der Mittleren Isar in Form von zwei Schüttwällen mit je 1,8 km Länge eingebracht (Anlage: 13).

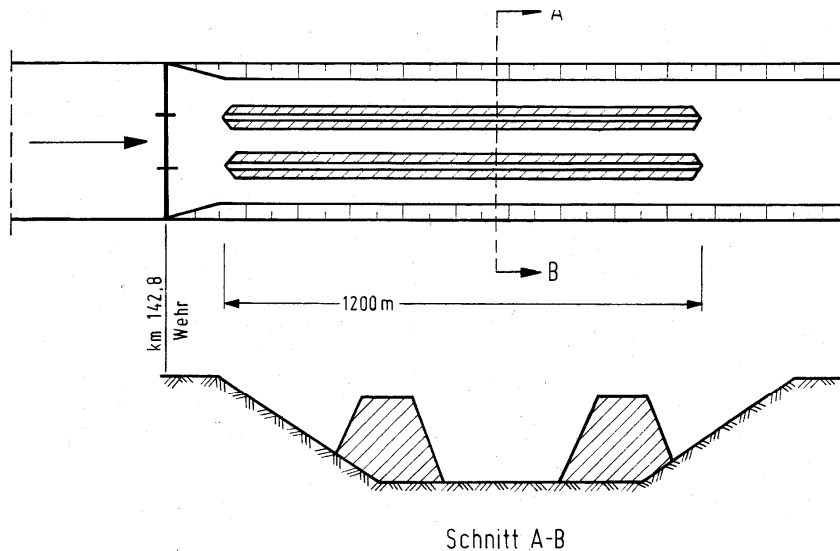


Bild: Schematische Skizze der Geschiebeumsetzung in das Unterwasser des Oberförhringer Wehres (1995/96)

Die Entlandungs- und Umsetzungsaktion dauerte vom 28.09.95 bis 15.05.96 (= rd. 7 Monate). Die schon bald nach der Umsetzung des Materials bzw. nach der Schüttung der Kieswälle im Unterwasser auftretenden Abflüsse in der Größenordnung von nur rd. $60\text{-}80\text{ m}^3/\text{s}$ sorgten bereits (Mai-August 1996) für einen völligen Abtrag der Schüttwälle. Vorteilhaft für die fluviale Verfrachtung war der noch nicht konsolidierte und noch vegetationslose Zustand der Kieswälle sowie die durch die Einengung des Abflußquerschnittes hydraulisch hervorgerufene Seitenerosion an den Flanken der Schüttung.



Bild: Spülabfluß über ein Stützwehr in der Mittleren Isar bei Ismaning (08.07 1997)

Nachfolgend durch das Wasserwirtschaftsamt München veranlaßte Stauraumspülungen dürften bis 1998 nochmals einen Feststoffeintrag in die Ausleitungsstrecke von schätzungsweise rd. 30 000 m³ gebracht haben. Die durch die Maßnahmen und die Hochwasserabflüsse verursachten Gestaltungsvorgänge und Massenbewegungen sowohl im Stauraum wie auch in der flußabwärts anschließenden Ausleitungsstrecke der Isar sind durch Flußquerschnittsaufnahmen erfaßt und dokumentiert worden (siehe Anlage 12).

- Stauraum Baierbrunner Wehr, Fkm 162,5

Sowohl eine im Laufe von vielen Jahren erfolgte Geschiebeablagerung im Werkskanal als auch im Stauraum veranlaßten den Betreiber der Kraftwerksanlage beide Anlagenteile zu entlanden. Im Zeitraum vom 28.11 bis 03.12.1997 wurden rd. 20 000 m³ Feststoffe bei einem Abfluss von rd. 60 m³/s und unter Zuhilfenahme einer Schubraupe aus dem Stauraum in das Unterwasser gespült sowie rd. 30 000 m³ Feststoffe durch Baggerung mechanisch aus dem Kanal entfernt und in das Unterwasser des Wehres umgesetzt. Eine völlige Weiterverfrachtung des freigesetzten Materials flußabwärts erfolgte letztlich durch das Pfingsthochwasser 1999.

- Staustufe Bad Tölz, Fkm 199,0

Die Stadtwerke Bad Tölz bemühen sich seit Jahren durch Umgestaltungen im Stauraum (Stauwurzelbereich und Anlage einer Triffrinne) sowie durch Stauraumspülungen, die über 3 Jahrzehnte dort abgelagerten Sedimente wieder zu aktivieren bzw. flußabwärts zu verfrachten. Seit 1991 sind den Angaben zufolge etwa 6 Spülungen mit Staulegung unter Ausnutzung von Hochwasserabflüssen (6/91, 7/93, 6/95, 8/95, 7/97) und zuletzt des Pfingsthochwassers von 1999 mit wechselndem Erfolg durchgeführt worden. Abgesehen vom Pfingsthochwasser 1999, für das noch keine Angaben vorliegen, ist der Austrag aus dem Stauraum anlässlich dieser Spülungen von den Stadtwerken mit knapp 100 000 m³ Sedimenten angegeben. Gleichzeitig sind dem Stauraum neue Feststoffe aus dem oberhalb gelegenen Flußabschnitt zugeführt worden. Die zur Stauraumspülung genutzten Hochwasserabflüsse lagen je nach Abflußereignis zwischen 220 m³/s und rd. 480 m³/s (Pfingsthochwasser 1999).



Bild: Stauraumspülung, Wehr der Staustufe Bad Tölz (17.07.1997)

- Uferrückbau im Zuge der Renaturierungsmaßnahmen für das KW Mühlthal, Fkm 168-169. Durch den 1996 durchgeführten, linkseitigen Uferrückbau sollen eine Seitenerosion bzw. ein Uferabtrag bei gewässerbettbildenden Abflüssen ermöglicht und im Gefolge dessen sukzessive Feststoffe der Isar zugeführt werden. Bis 1998 sind den Angaben zufolge etwa 3 000 m³ Material aus dem Ufergelände abgetragen worden. Nachfolgende Abflüsse haben den Abtrag beträchtlich erweitert. Geplant sind weitere Uferrückbaumaßnahmen auf einer Länge von insgesamt etwa 4 km.



Bild: Uferrückbaumaßnahme unterhalb des Ickinger Wehres (Pilotvorhaben, 1998)

- Uferrückbaumaßnahmen in der Bruckberger Au, Fkm 89

Im November/Dezember 1998 wurde die vorhandene, linksseitige Uferversteinung entfernt. Das Pfingsthochwasser 1999 hat zu einer ausgeprägten Seitenerosion und zur Bildung eines Bruchufers geführt.



Bild: Uferrückbau in der Bruckberger Au (Fkm 89,8 ; 1999)

- Kiesbankmanagement und –pflege



Bild: Beispiel einer Kiesbankremobilisierung (bei Lenggries)

Im Jahr 1997 durchgeführte Maßnahmen:

Flußkilometer	Örtlichkeit	Maßnahme
Fkm. 213,0	Parkbucht Wegscheid	Kiesbank abschieben
Fkm. 212,6	Hirschbachmündung	Bewuchs von Kiesinsel räumen und Seitenarm freilegen
Fkm. 210,3-209,8	Naturschwelle Isarburg	Kiesbänke roden und abschieben
Fkm. 205,0-204,5	Vogelinsel Gaißach	Kiesbank teilweise roden und ehemaligen Seitenarm aktivieren (Aushub in die Isar)
Fkm. 203,95	oh. Gaißach Mündung	Kiesinsel abschieben

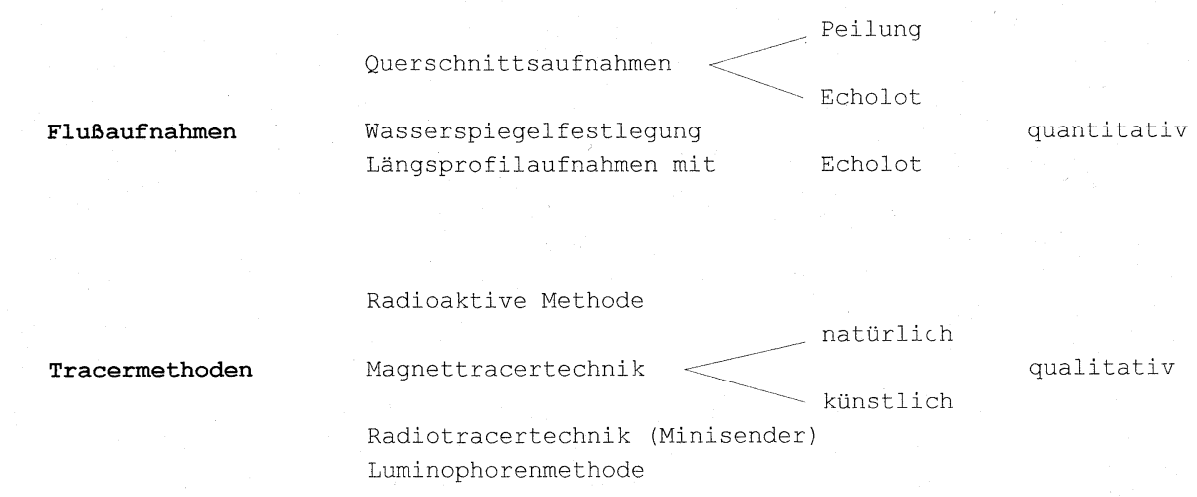
Im Jahr 1998 durchgeführte Maßnahmen:

Flußkilometer	Örtlichkeit	Maßnahme
213,5 bis 213,2	Baggerweiher Lenggries/ Anger, rechts	Roden einer Kiesbank und Ver- lagern des Geschiebes in den Stromstrich (ca. 3 000 m ³)
211,1	oh. Brücke in Lenggries	Aufschieben einer Kiesbank zu einem Längsdamm (ca. 1 000 m ³)
205,0 bis 204,9	Gaißacher Vogelinsel	Roden einer Kiesbank und Ver- lagern des Geschiebes in den Stromstrich (ca. 500 m ³)
202,7 bis 202,4	oh. Umgehungsstraßen- brücke, rechts	Roden einer Kiesbank und Ver- lagern des Geschiebes in den Stromstrich (ca. 1 500 m ³)
90,8	uh. Brücke bei Volkmannsdorf	Remobilisierung einer uh. der Ampermündung liegenden verfestigten Kiesbank

Mit den aufgeführten Maßnahmen der Kiesbankpflege konnte neben einer ökomorphologischen Strukturverbesserung im Flußlauf der Isar auch mittel- bis langfristig in verfestigten Kiesbänken festgelegtes Geschiebe wieder dem laufenden Geschiebetrieb zugeführt werden. Das zu Pfingsten 1999 aufgetretene Hochwasserereignis hat einen Großteil der in der Isar vorhandenen Kiesbänke zwischen Sylvenstein und Landshut mehr oder weniger intensiv umgelagert. Somit ist auf natürliche Weise – ohne Pflegeaufwand - eine durchgreifende Remobilisierung und Geschiebeaktivierung im Flußlauf eingetreten.

6.4 Erhebungen und Beiträge

Eine Reihe von Erhebungen waren vor Ort zu tätigen, um die zur Abfassung der Studie noch erforderlichen Kenntnisse zu erhalten. Darunter fallen vor allem die Erkundung der naturräumlichen Voraussetzungen für den Feststoffhaushalt und die im Gelände zur Flußbettbildung maßgebenden gerinnegeometrischen Parameter.



Kontrollmethoden für die Wirksamkeit von Geschiebezugaben

Insbesondere sind folgende Beiträge zu nennen:

- Die Gewinnung geschiebetechnischer Daten durch Probenahme aus Kiesbänken sowie aus der Sohlenstruktur und dem Geschiebezugabematerial. Die Ergebnisse sind in der Datenbank Wasserwirtschaft (DBWas) dokumentiert und zur Beurteilung des Geschiebetransportvermögens und der Bettbildung herangezogen worden. Im Falle einer laufenden Geschiebebewirtschaftung wären diese Untersuchungen bedarfsweise fortzuführen.
- Die Erkundung des Geschiebehaushalts der Wildbäche zwischen Sylvensteinspeicher und Bad Tölz mit Abschätzung des Feststoffeintrages in die Isar unter Berücksichtigung der Feststoffvorräte sowie der Abtragsverhältnisse in den Wildbacheinzugsgebieten. Das gesamte Zwischeneinzugsgebiet hat eine Größe von ungefähr 155 km². Die darin befindlichen Wildbacheinzugsgebiete sind hinsichtlich ihrer geomorphologischen Strukturen und ihrer Erosionspotentiale bewertet worden, um damit auch den Geschiebe- bzw. Feststoffeintrag in die Isar abschätzen und darüberhinaus nach Möglichkeit diese Feststoffe zur Aufbesserung des Restgeschiebetriebes in der Isar sicherstellen zu können. Der fachgeologische Beitrag [18] ist als verwaltungsinterne Arbeitshilfe dem zuständigen Wasserwirtschaftsamt Weilheim bereits ausgehändigt worden. Das Ergebnis bzw. die Schlußfolgerungen aus dieser umfangreichen Arbeit sind in die Studie eingearbeitet und im Lösungskonzept (Kap.10) berücksichtigt.
- Prüfung der Umbaufähigkeit geschieberückhaltender Wildbachsperrren in geschiebedosierende Sperrren. Hierzu hat das Wasserwirtschaftsamt Weilheim in einer Expertise (vom 27.03.1995) u. a. eine Bilanz für die bisher ausgebauten und vom Freistaat Bayern zu unterhaltenden Wildbäche bezüglich der anfallenden Geschiebemengen erstellt und Angaben zu möglichen Entnahmestellen gemacht. Allerdings wäre zu prüfen, ob durch vermehrte Geschiebeeinstöße in die Isar sich dort bildende Schuttkegel lokal auf den Abfluß auswirken können.
- Erkundung der für einen Uferrückbau bzw. eine Flußbettaufweitung geeigneten Flußstrecken. Die beteiligten Wasserwirtschaftsämter haben hierzu erste Schätzungen angestellt und wie in Kap. 6.3 näher aufgezeigt, auch bereits Maßnahmen eingeleitet. Es liegt in der Natur der Sache, daß die bisher gemachten Angaben wegen künftiger, aber nicht vorhersehbarer Entwicklungen und Ereignisse einer ständigen Fortschreibung d.h. einer Aktualisierung bedürfen. Dementsprechend ist die bisher auf eine Länge von insgesamt 20 km

rückbaufähige Uferstrecken geschätzte Gesamtlänge nur als eine vorläufige Größenordnung anzusehen. Da derartige Maßnahmen eine fachliche Kompetenz und eine Koordination verschiedener Belange sowohl bei der Planung als auch bei der Umsetzung erfordern, empfiehlt sich ihre Einbringung in die Gewässerentwicklungspläne.

- Erhebung und Bewertung besonderer geologischer Strukturen im Flußbett der Isar zwischen Sylvensteinspeicher und Bad Tölz. Zweck der Untersuchung ist es, die für die flußmorphologische Entwicklung wichtigen lokalen geomorphologischen Randbedingungen näher zu erkunden. Dies betrifft insbesondere die Nagelfluh-Naturschwelle bei Lengries (Fkm 210,0), die Seetoneinlagerungen südlich und nördlich von Bad Tölz sowie eine Abschätzung von Mächtigkeiten der im Flußbett des Flußabschnittes noch lagernden quartären Schotterfüllung. Die Untersuchung ist abgeschlossen, der Bericht [17] wurde dem zuständigen Wasserwirtschaftsamt Weilheim als Arbeitshilfe bereits zur Verfügung gestellt.
- Querschnittsaufnahmen des Flußbettes. Anhand der Vermessung der durch die Flußkilometrierung festgelegten Profile ist es möglich, die im Flußbett einer bestimmten Flußstrecke stattfindenden Gestaltungsvorgänge und Massenveränderungen zu erfassen. Für den schwerpunktmäßig untersuchten Flußabschnitt Sylvensteinspeicher - Bad Tölz liegen jeweils aktuelle Querschnittsaufnahmen vom Sept./Okt. 1995, vom Nov./Dez. 1997 sowie vom Okt. 1999 vor. Bezüglich der in den übrigen Flußabschnitten vorhandenen Querschnittsaufnahmen wird auf Kap. 7 „Stand der Gestaltungsvorgänge in den einzelnen Flußabschnitten“ bzw. auf die bereits vorliegenden flußmorphologischen Gutachten für diese hingewiesen.
- Eine bei Niedrigwasserabfluß durchzuführende Wasserspiegelfestlegung bietet sich als eine leicht durchführbare und wenig aufwendige Methode zur ergänzenden Überprüfung der Lage der Flußbettsohle an. Art und Häufigkeit dieser Flußaufnahmen ergeben sich aus dem Merkblatt „Flußausstattung, Flußaufnahmen und deren Dokumentation“ [4].

- Fließgewässerbiologische Untersuchung. Eine die Naturversuche begleitende Überprüfung der Fließgewässerbiologie erfolgte im Turnus durch die Biologen der Wasserwirtschaftsämter.
- Tracermessungen. Ziel von Tracermessungen ist es, vertiefte Kenntnisse über das Transport- und Verfrachtungsverhalten des Geschiebes sowie speziell des künstlich in den Fluß eingebrachten Geschiebes zu erhalten. Vorrangig sollte abgeklärt werden, ob und unter welchen Bedingungen ein Geschiebetrift durch den Stauraum der Staustufe Bad Tölz stattfindet. Folgende Tracermethoden wurden eingesetzt:

Mit Lumogenfarbe porentief eingefärbtes Kontrollgeschiebe, welches an bestimmten Stellen in den Fluß eingebracht oder am Gewässerrand zusammen mit dem Zugabematerial gelagert wurde, um dort für den Abtransport durch ein Hochwasser verfügbar zu sein. Nach Ablauf des Hochwassers wird das flußabwärts verfrachtete Tracermaterial aufgespürt, das Material analysiert und die Transportweite gemessen. Mit der Tracermessung mittels Luminophoren wurde die Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe beauftragt. Der „Geotechnische Bericht zur Untersuchung des Geschiebetransports durch die Isarstaustufe Bad Tölz mit Luminophoren“ vom 16.12.1997 liegt vor [32].

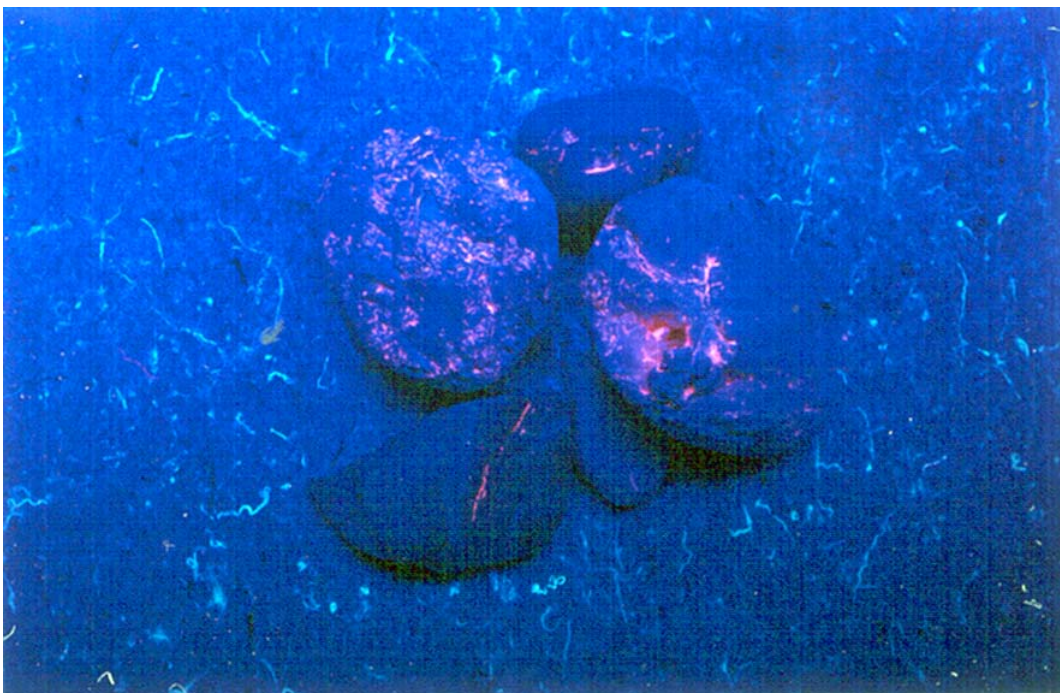


Bild: Mit Lumogenfarbe porentief eingefärbte Geschiebekörner, unter UV- Licht sichtbar

Die Geschiebetransportmessung mit der Radiotracermethode wurde zur Beobachtung beim 3. Zugabeversuch während der Hochwasserabflüsse am 06.05.99 (rd. 190 m³/s), 13.05.99 (rd. 180 m³/s) und am 22.05.99 (rd. 360 m³/s Pflingsthochwasser 1999) eingesetzt. Eine Auswertung und Dokumentation der vom LfW durchgeführten Versuche enthält der Bericht vom 17.09.1999 [23].



Bild: Wesentliche Ausrüstungsgegenstände für die Radiotracermessung (mit Minisendern bestückte Geschiebekörner, Empfänger, Peil-Antenne)

Die Ergebnisse der Tracermessungen sind, soweit sie für eine Geschiebebewirtschaftung der Isar relevant sind, in die Studie eingearbeitet.

7. Stand der Gestaltungsvorgänge in den einzelnen Flußabschnitten

7.1 Allgemeines

Auf jeden betrachteten Standort im Flußlauf wirkt die Summe aller im Einzugsgebiet vorhandenen bettbildenden Faktoren teils mittelbar, teils unmittelbar ein. Vor allem wegen der Aufeinanderfolge von Flußabschnitten ohne und mit Ausleitungsabfluß oder solchen mit einer

Hochwasserrückhaltung kommt es von Flußabschnitt zu Flußabschnitt zu höchst unterschiedlichen Abflußbedingungen (aus einem HQ_{50} wird z. B. ein HQ_5) und damit stark wechselnden Transporteigenschaften (Anlage: 16). Innerhalb der Flußabschnitte wechseln sohlgestützte mit nicht sohlgestützten Strecken, wechseln die gerinnegeometrischen Voraussetzungen, wie z. B. die Flußbreite oder das Sohlgefälle, die geomorphologischen Bedingungen wie z. B. in Form der Umlagerungsbereitschaft für Feststoffe oder die Erodibilität des Untergrundes, usw. Kleine Hochwasserabflüsse (mit relativ häufiger Wiederkehr) sowie mittlere Hochwasserabflüsse mit kleiner Abflußfülle besitzen ein relativ geringes Transportvermögen. Diese Abflüsse wirken selektierend, d.h. sie nehmen bevorzugt die im Flußbett lagernden weniger groben Geschiebekomponenten auf und verfrachten diese. Größere bettbildende Hochwasserabflüsse (mit relativ seltener Wiederkehr) haben ein wesentlich größeres Transportpotential. Dabei werden auch die gröberen Kornfraktionen erfaßt und in Bewegung gesetzt. Im Extremfall schließlich kommt es durch das Aufreißen vorhandener Sohlpflasterungen auch in längerfristig stabilen Flußstrecken zu Erosion und gegebenenfalls zum Sohlendurchschlag bis in darunter liegende erodible Schichten. Der Geschiebetransport selbst verläuft meist nicht gleichmäßig, sondern intermittierend, indem die Transportkörper in Schüben und Wellen bewegt werden oder aber in einem solchen Maß, wie Material durch aufgebrochene Deckschichten mobilisiert werden kann. Zu welchem Zeitpunkt und durch welches Ereignis – vor allem nach längerer Hochwasserabstinenz – verfestigte Kiesbänke wieder remobilisiert und abgetragen werden, ist ebensowenig vorherseh- und bestimmbar.

Unter Flußaufnahmen sind im wesentlichen die über den Flußlauf sich erstreckende Querschnittsvermessung und die Wasserspiegelfestlegung (s. Kap. 4.2.3) zu verstehen, mit deren Hilfe sich die Gerinnegeometrie und die Gestaltungsvorgänge der aufgenommenen Flußstrecke erfassen lassen. Die Querschnittsvermessung des Flußbettes gibt unmittelbar Aufschluß über die Höhenlage der mittleren Sohle (mS) und des Talweges (TW). Der Vergleich von Aufnahmen, die zu verschiedenen Zeitpunkten gemacht wurden, zeigt die inzwischen eingetretenen Veränderungen an. Mittels des für jeden Aufnahmequerschnitt fest vorgegebenen Bezugssystems, bestehend aus Begrenzungslotrechten und Bezugshorizont, läßt sich die Fläche des Flußbettquerschnittes ermitteln. Die sich aus den Querschnittsveränderungen zweier zu verschiedenen Zeitpunkten ergebenden Massenveränderungen (Auf- und Abtragsvolumina) können berechnet und im sogenannten Massensummenlinienplan grafisch dargestellt werden. Das Merkblatt „Flußausstattung, Flußaufnahmen und deren Dokumentation“, LfW, 1988

[4] gibt nähere Hinweise dazu und regelt u. a. die an Querschnittsaufnahmen geknüpften Anforderungen.

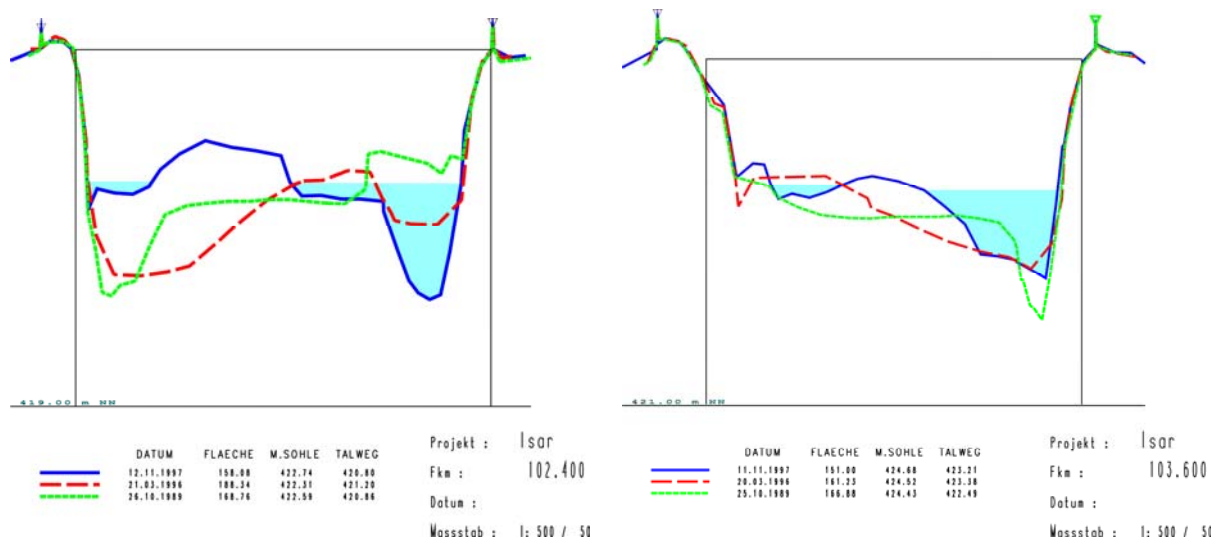


Bild 10: Sohlenformen (Beispiel Querprofile a.d. Isar bei Fkm 103,6 u. 102,4 mit Aufnahme-wasserspiegel \approx NQ und den Hauptdaten der Querschnittsverarbeitung)

Flußaufnahmen erfassen somit auch die eingangs bezeichnete Summe aller auf den betrachteten Aufnahmestandort bis zum Aufnahmezeitpunkt auf das Flußbett wirkenden Gestaltungs-kräfte und dokumentieren das Ergebnis in Form von gerinnegeometrischen Daten. Sie sind daher unverzichtbarer Bestandteil nicht nur für den vorliegenden Fall eines Untersuchungs-konzeptes, um die Möglichkeiten einer Geschiebemanagement zu erkunden, sondern sie zählen seit der vor langer Zeit erfolgten Umgestaltung unserer Fließgewässer zur laufenden gewässerkundlichen Aufnahmepraxis. Denn nur Flußaufnahmen gewährleisten durch objektiv meßbare Fakten, daß die Gestaltungsvorgänge im Fluß dementsprechend objektiv beurteilt werden und nicht durch visuelle Wahrnehmungen ein falsches Bild der Vorgänge entsteht. Auch die Geschiebemanagement bedarf der regelmäßigen Flußaufnahme und Kontrolle, um gegebenenfalls aufgrund von Fakten in die Bewirtschaftung steuernd eingreifen zu können.

Beispiele für Flußstrecken der Isar, die permanent zur Eintiefung neigen, sind die Flußkorrektur Flecker Wehr – Lenggries - Bad Tölz, die Regelungsstrecke in der Pupplinger Au, eine Teilstrecke unterhalb des Ickinger Wehres, die nicht sohlgestützte Flußstrecke zwischen der Stützschwelle bei Achering und Freising. Zu Beispielen für Bereiche der Isar, die zur Auflandung – im wesentlichen nur temporär – neigen, zählen alle im Hinblick auf Geschiebedurchgängigkeit noch nicht optimierten oder nicht optimierbaren Wasserkraft – bzw. Wehranlagen, stark aufgeweitete Flußbereiche, wie z. B. die Thalkirchener Überfälle und die Flußabschnitte mit geringerem Gefälle, wie z. B. Flußstrecken unterhalb von Freising und bei Marzling.

7.2 Flußabschnitt Sylvensteinspeicher (Fkm 224, 2) – Staustufe Bad Tölz (Fkm 199,0)

Hinsichtlich der Gerinnegeometrie und der durch sie geprägten Eigenschaften sind zu unterscheiden:

- die naturbelassene Flußstrecke vom Sylvensteinspeicher (Fkm 224,2) - Flecker Wehr (Fkm 216,6)
- und die korrigierte Flußstrecke vom Flecker Wehr (Fkm 216,6) bis nach Bad Tölz.

Nähere Hinweise zur flußgeschichtlichen Entwicklung des Flußabschnittes enthält die im Juni 1995 erstellte Vorstudie „Abschätzung von Möglichkeiten einer Geschiebemanagement der Isar im Abschnitt Sylvensteinspeicher – Stufe Bad Tölz mit Lösungskonzept“ [14] und der Bericht des WWA Weilheim zum Bau von Sohlschwellen in der Isar zwischen Sylvensteinspeicher und Bad Tölz, 1984 [76].

Seit der Unterbrechung des Geschiebetriebs durch den Sylvensteinspeicher wird das feinere Geschiebekorn der naturbelassenen Flußstrecke aus den regelmäßig überfluteten, niedriger gelegenen Kiesbänken, der Flußsohle und der sich im Laufe der Zeit weiter vertiefenden Abflußrinnen ausgewaschen und abtransportiert. Die Folge ist eine langsame Vergrößerung des lokal vorhandenen Materials bis hin zur Ausbildung einer deutlich sichtbaren Sohlabpflasterung.



Bild: Flußprospekt an der Oberen Isar mit der dort typischen schweren Sohlbadpflasterung

Dementsprechend nahmen in dieser Flußstrecke die Eintiefungsraten laufend ab. Andererseits kam es aber auch gelegentlich zu partiellen Ablagerungen verfrachteter Feststoffe. Die lokalen Ablagerungen sind aber meist auf die Verlagerung (Migration) der noch verbliebenen mobilen Kiesbänke zurückzuführen, während die Eintiefung im wesentlichen vom Talweg der Abflußrinnen ausgeht (Vergleich der Flußaufnahmen seit 1959). Seit etwa 1990 zeigt sich ein Abklingen der Eintiefungsraten und ein Trend zu mehr Beharrung. Im Vergleich der Aufnahmen 1995/1997, die auch den Zeitraum des 1. und 2. Geschiebezugaberversuches erfassen, kommt es nicht zuletzt deswegen zu einer streckenweise positiven Massenbilanz. Insgesamt zeigt sich aber auch eine zunehmende Gestaltungsdynamik, weil wieder mehr Feststoffe in der naturbelassenen Strecke für eine Verfrachtung zur Verfügung stehen.

Der Stauraum des Flecker Wehres ist bis zur Wehrkrone verlandet. Bei entsprechend großen Abflüssen wird von oberstrom ankommendes Geschiebe über die Wehrkrone transportiert, so daß die Durchgängigkeit der Wehranlage unter dieser Voraussetzung gewährleistet ist. Im

eingetieften Unterwasser befinden sich im Bereich einer vorhandenen Flußbettaufweitung ausgeprägte Geschiebeablagerungen.

Die unterhalb des Flecker Wehres bzw. an die Jachenmündung anschließende Korrektionsstrecke bis zur Stauwurzel der Stufe Bad Tölz (bei Fkm 202) weist Eintiefungstendenzen auf. Gründe hierfür sind die durch die Korrektionsstrecke geschaffenen gerinnegeometrischen Randbedingungen sowie das durch die Errichtung des Sylvensteinspeichers entstandene Geschiebedefizit. Die verfügbare Restgeschiebefracht ist nur ein Bruchteil des abzudeckenden Geschiebetransportvermögens der Korrektionsstrecke (Näheres s. Kap.9), in der sich noch kein morphologisches Ausgleichsgefälle einstellen konnte.



Bild links: Die Höhe des Bruchufers zeigt etwa die im Verlauf von rd. 80 Jahren eingetretene Eintiefung der Flußbettsohle (1990)

Bild rechts: Massive Sohlabpflasterung, im Hintergrund tieferliegende Rinne, ein bevorzugter Ansatzpunkt für weitere Tiefenerosion (1995)

Die anfänglich nach 1959 noch massiv und durchgehend auftretenden Eintiefungen dieser Strecke sind im Laufe der Zeit aber erfreulicherweise deutlich zurückgegangen. Obschon die Massenbilanzierung der Strecke auch unter Einschluß der Flußaufnahme 1997 insgesamt

immer noch einen negativen Betrag aufweist, gibt es Anzeichen einer bis zu diesem Zeitpunkt örtlichen Ablagerungstendenz vor allem in Form von Geschiebebänken, aber auch durch Schuttkegel, der in die Isar einmündenden Wildbäche.

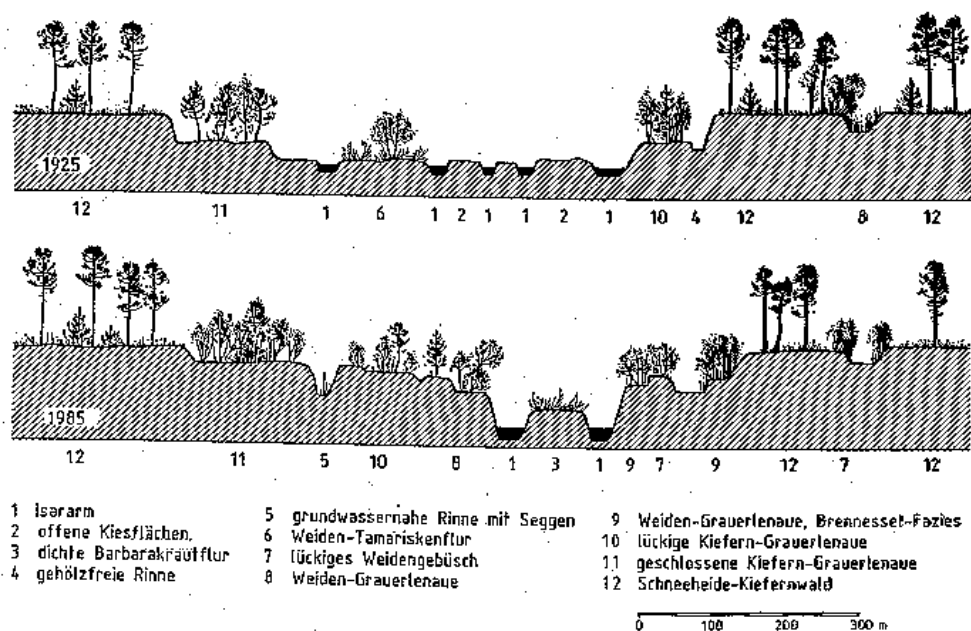
Der beschriebene Rückgang der Eintiefungsraten bis hin zur bereichsweisen Beharrung wird dem Zusammentreffen günstiger Umstände zugeschrieben, wie z. B. Abnahme des Sohlgefälles infolge bereits eingetretener Flußbetteintiefung, Rückhaltung von Hochwasserabflüssen und das Ausbleiben größerer bettbildender Abflüsse über einen längeren Zeitraum bis etwa 1995 andererseits und vor allem die natürliche Bildung einer massiven Abpflasterung der Flußsohle. Dabei wird der „Selbsteilung“ des Flusses durch Sohlabpflasterung der größte Effekt, der gegenwärtig gegen eine weitere Eintiefung wirkt, beigemessen.

Einen Aufschluß über die Auswirkung des 1998 durchgeführten 3. Geschiebezugabeversuches sowie die durch das große Pfingsthochwasser ausgelösten Gestaltungsvorgänge konnte erst die nächste Flußaufnahme vom Okt. 1999 geben. Das Hochwasser von Pfingsten 1999 brachte außergewöhnlich große Abflüsse (z.B. am Pegel KW Bad Tölz 480 m/s). Durch die große Dynamik dieses Ereignisses wurden erhebliche Gestaltungsvorgänge in der Isar ausgelöst. Wie Kontrolluntersuchungen [23] gezeigt haben, wurde die Sohlpflasterung zumindestens bereichsweise aufgebrochen und das vorhandene Bettmaterial bis auf eine Tiefe von weit über 1 Meter Tiefe erfaßt und umgelagert. Dies hatte zur Folge, daß der Talweg teilweise seine tiefste Lage seit 1995 erhielt. Namentlich im unmittelbaren Unterwasser des Sylvensteinspeichers etwa von Fkm 224,2 bis 221,5, von Fkm 214,8 bis 214,0 und von Fkm 206,8 bis 205,0 kam es zu nennenswerten Materialabträgen. Andererseits gab es als Folge der massiven Umlagerungen erstmals seit 1959 etwa ab dem Fkm 213,5 (etwa an der Straßenbrücke Lenggries), wieder eine positive Massenbilanz für die flußabwärts anschließende Flußstrecke. Allerdings ist auch wieder eine Zunahme der Verlandung im Stauraum der Stufe Bad Tölz zu verzeichnen. Insgesamt bestätigt die kurzfristig vorgenommene Auswertung der Flußaufnahme 1999 erneut wieder die Erkenntnis des temporären Charakters der Flußbettgeometrie sowie den sich über den Flußlauf scheinbar unberechenbar einstellenden Wechsel von Auf- und Abträgen nach bettbildenden Abflußereignissen. Sohlstützende Funktion im betrachteten Flußabschnitt haben das bereits angesprochene Flecker Wehr (Fkm 216,6) und die im geologischen Beitrag (s. Kap. 4.2.3) näher beschriebene Naturschwelle unterhalb von Lenggries beim Kranzer Wasen (Fkm 210).

Die der Massenbilanzierung zufolge aus der beschriebenen Flußstrecke abtransportierten Feststoffe gelangen zunächst in den Stauraum der Staustufe Bad Tölz (Näheres hierzu siehe Kap. 5). Das Ergebnis von Flußaufnahmen ist in der Anlage 7 dargestellt.

7.3 Flußabschnitt Staustufe Bad Tölz (Fkm 199,0) – Ickinger Wehr (Fkm 174,0)

In dieser rd. 25 km langen Flußstrecke hat man beginnend von 1911 bis etwa 1934 einige wenige nicht zusammenhängende Teilkorrekturen und systemlose Einzelbauten ausgeführt. Insgesamt wird die zusammen rd. 6,8 km lange Teilkorrektur zum Stand von 1934 als „noch wenig dauernd brauchbare Schutz- und Korrektionsarbeit“ bezeichnet, da der Fluß „noch immer eine Breite von ungefähr 300 m voll für sich beansprucht und teilweise Gelände in einer Breite von 600 m noch immer in Mitleidenschaft zieht“. Eine ausführliche Schilderung der Gestaltungsvorgänge dieser Flußstrecke und ihrer Ursachen enthält das Gutachten „Zur flußmorphologischen Situation der Isar im Gebiet der Ascholdinger und Pupplinger Au, 1986 [3].



Vegetationsprofil der Isarauen in Höhe Ascholding – Geretsried bei Fkm 186,8; oben: nach Auswertung der Luftbildaufnahme von 1925; unten: heutige Situation

Bild: Vegetationsprofil der Isarauen bei Ascholding im Wandel der Zeit

Für die Gestaltungsvorgänge des Flußbettes sind die Hochwasserabflüsse von besonderer Bedeutung. Der Sylvensteinspeicher hat die Wahrscheinlichkeit der Hochwasserwiederkehr gegenüber früher erheblich herabgesetzt und auf diese Weise zu einer Abnahme des Geschiebetransportvermögens bzw. zu einer Verlangsamung der Tiefenerosion im Flußbett beigetragen. Andererseits besitzen nur noch seltene Hochwasserabflüsse noch genügend Räumkraft, um verfestigte und verbuschte Kiesbänke wieder in Bewegung setzen zu können. Wegen des zum überwiegenden Teil naturbelassenen Charakters dieser Flußstrecke war die Durchführung von Flußaufnahmen mittels Querprofilen stets problematisch, so daß leider wenig auswertbare Daten aus Flußaufnahmen vorliegen. Wir können jedoch feststellen, daß das gegenwärtige Längsprofil der Flußstrecke durch einen Wechsel der im Flußbett anstehenden Geologie (quartäre Restkiesauflagen, Grundmoränen und tertiärer Flinz) geprägt ist und durch auffallende Störungen insbesondere im Bereich der Einmündung der Loisach-Isar-Kanals (Fkm 179) und der Pupplinger Regelung gekennzeichnet ist. Infolge der plötzlichen Steigerung des Transportvermögens durch das vom Kanal herangeführte geschiebefreie Wasser tritt die Sohlenerosion dort besonders in Erscheinung. Sie pflanzt sich in die Pupplinger Regelungsstrecke hinein fort, klingt aber nach deren unteren Ende zu wieder aus, weil der langgezogene Schwemmfächer der Pupplinger Au ebenso einen gewissen Stau effekt erzeugt, wie derjenige der sieben Kilometer weiter oben beginnenden Ascholdinger Au. Bevor der Stau des Ickinger Wehres wirksam wird, wächst das Gefälle auf etwa 1 km Länge bis ca. 4‰ an.

Veränderungen der mittleren Sohlenhöhe lassen sich leicht auch durch Vergleiche der zu verschiedenen Zeiten gemessenen Niedrigwasserspiegellagen verfolgen. Bei einem Fluß, dessen Rinnen starken seitlichen Verwerfungen unterliegen, ist das Verfahren allerdings nicht problemlos, weil es kaum gelingt, die Stationen der Wasserspiegelfixierungen miteinander genau in Deckung zu bringen. Aussagen über lokale Verschiebungen der Sohlenhöhe sind deshalb nur unter Vorbehalt möglich. Überschlüssig ergibt sich beim Vergleich der Messungen von 1953 bis 1985 folgendes Bild: Von der Tattenkofener Brücke bis etwa Fkm 185 wurde die mittlere Gerinnesohle in den letzten 30 Jahren bis zu 1 m tiefergeschaltet. Im Umfeld vom Fkm 185 dürfte die Sohlenhöhe ziemlich stabil sein, während flußabwärts bis zur Pupplinger Au wieder eine Tiefenerosion mit schätzungsweise 1 – 3 cm/a Platz greift. Insgesamt scheint die Eintiefungsbereitschaft eine eher abnehmende als steigende Tendenz aufzuweisen. Ferner darf nicht außer acht gelassen werden, daß die alluviale Sohlschicht teilweise bis auf die an-

stehende Grundmoräne abgeräumt ist. Wegen der größeren Festigkeit der Grundmoräne schreitet die Tiefenerosion in den Flußabschnitten ohne Kiessohle wahrscheinlich langsamer voran als in Bereichen mit beweglicher Kiesauflage. Die da und dort zu beobachtenden kleinen Gefällsbrüche dürften hauptsächlich von Unregelmäßigkeiten der Sohlenbeschaffenheit herrühren.



Bild: Erosionsrinne in der Grundmoräne (Ascholdinger Au, 1983)

Die Grundmoräne ist an vielen Stellen aufgeschlossen. Ihre Oberkante liegt, soweit sichtbar, bis 3 m über dem derzeitigen Niedrigwasserspiegel. Da die Eintiefung der Isar in den letzten 60 Jahren – die Pupplinger Regelung ausgenommen – nirgends soviel beträgt, ist der Schluß berechtigt, daß die Tieferschaltung der Sohlenhöhe zumindest zu einem gewissen Teil auf das natürliche Bestreben der Isar zurückgeht, ihr morphogenetisch nicht ausgereiftes Längsprofil allmählich an das theoretische Ausgleichsgefälle heranzuführen. Sie hat sich also schon seit langer Zeit in die Grundmoräne eingesägt, freilich mit dem Unterschied zu heute, daß ehemals eine bestimmte Geschiebeauflage im Flußbett wegen des ungestörten Zulaufs bzw. Nachschubs wohl immer gegeben war. Durch die Eingriffe im Oberlauf wird der Vorgang jedoch stark beschleunigt. Zieht man die Wasserstandsstatistik des Pegels Puppling an der Marienbrücke bei Puppling (Fkm 178) zu Rate, so zeigt sich sowohl beim Verlauf der MW – wie

auch der NW-Jahresmittel - der absolute Tiefstand der Eintiefung um 1985. Seither zeichnet sich einschließlich 1990 eine deutliche Wiederanhebung der Wasserstände und damit auch indirekt zumindest eine Beharrung der Flußbettsohle im Bereich des Pegels ab.

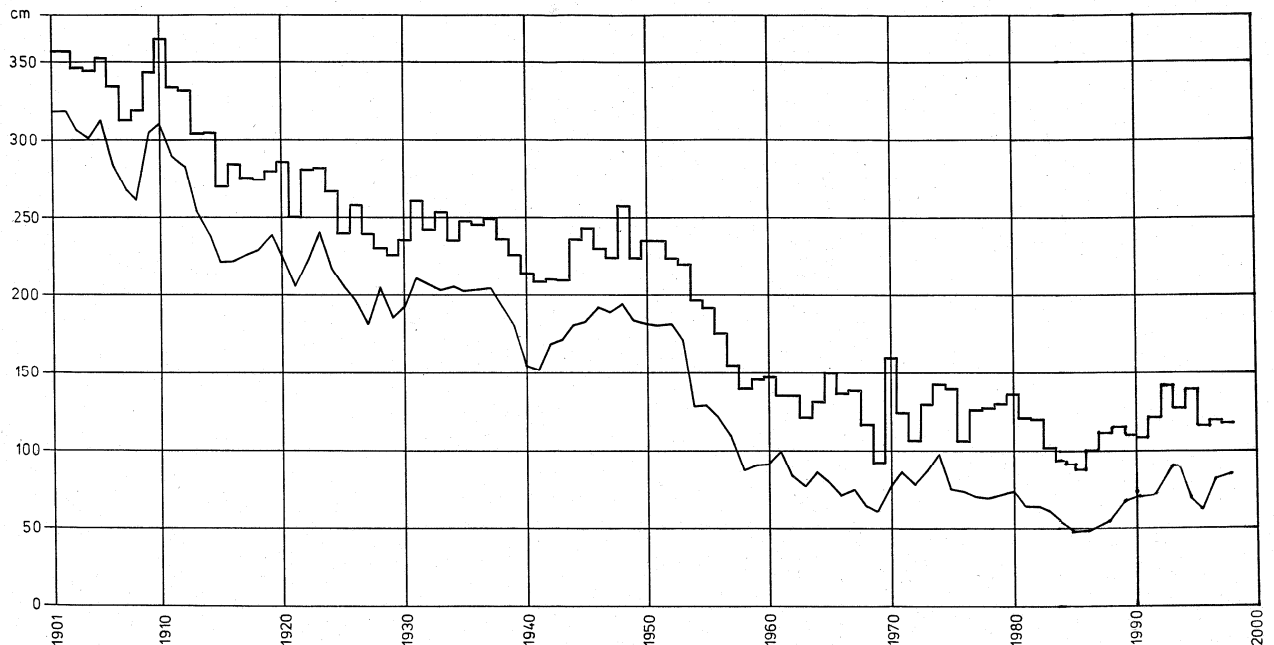


Bild: Ganglinien der Mittel- und Niedrigwasserstände am Pegel Puppling von 1901-1998

Die Auswirkungen der Uferrückbauten sowohl flußauf- wie auch flußabwärts von der Marienbrücke bei Puppling aus betrachtet einschließlich der durch das Pfingsthochwasser 1999 ausgelösten Gestaltungsvorgänge lassen sich vermutlich erst anhand der nächsten Querschnittsaufnahme dieses Flußabschnittes interpretieren. Mit nennenswerten, d.h. meßbaren Auswirkungen der in Kap. 6.2 beschriebenen 3 Geschiebezugaberversuche (1995 – 1998) auf die Morphologie der freien Fließstrecken ist derzeit wohl nicht zu rechnen. Das Ergebnis der Flußaufnahmen ist in der Anlage 8 dargestellt.

7.4 Flußabschnitt Ickinger Wehr (Fkm 174,0) – Baierbrunner Wehr bei Höllriegelskreuth (Fkm 162,45)

Eine ausführliche flußmorphologische Begutachtung dieses Flußabschnittes enthält der Fachbeitrag zur Restwasseruntersuchung für die Ausleitungsstrecke des Kraftwerkes Mühlthal der

Isar-Amperwerke AG mit dem Titel „Flußmorphologische Untersuchung der Isar im Abschnitt Icking - Baierbrunn“, LfW, 1992 [9].

Durch das 1922/24 errichtete Seitenkanalkraftwerk Mühlthal entstanden eine Ausleitungsstrecke zwischen dem Ausleitungwehr bei Icking (Fkm 174,0) und der Einmündung des Kanals bei Fkm 164,65 sowie eine vom Abfluß voll beaufschlagte Reststrecke bis zum Wehr bei Baierbrunn (Fkm 162, 45). Infolge der Errichtung des Sylvensteinspeichers (1959) und der Staustufe bei Bad Tölz (1961) nahm die Geschiebezufuhr zu diesem Flußabschnitt stetig ab. Allgemein erkennbar ist seither das Bestreben der Isar, das noch ins Unterwasser des Ickinger Wehres gelangte Restgeschiebe abzutransportieren und das anschließende Flußbett einzutiefen, um die im gestörten Regelkreis mangelnde Geschiebekomponente durch eine Gefällsminderung auszugleichen. Fortgesetzt wird dieses Bestreben des Gefällsausgleiches, indem der Fluß die abtransportierten Feststoffe weiter unterhalb, bevorzugt im Stau des Baierbrunner Wehres, wieder abzulagern versucht. Die in der o. g. flußmorphologischen Untersuchung abschließend einbezogene Flußaufnahme von 1991 kann anhand der im Jahr 1997 durchgeführten Querschnittsaufnahme aktualisiert werden: Die bis 1991 registrierte, starke Eintiefungstendenz der Flußbettsohle im Unterwasser des Wehres Icking hat sich zumindest im Talweg fortgesetzt, wenngleich sich die Auf- und Abträge im Querschnitt, ausgedrückt durch die mittlere Sohle, auf eine Länge von schätzungsweise rd. 500 m in der unmittelbar an das Wehr anschließenden Flußstrecke noch die Waage halten. Nicht übersehen werden darf der in der anschließenden Flußstrecke (Fkm 173,6 – 173,4) im Herbst 1995 ins Werk gesetzte linksseitige Uferrückbau (Pilotvorhaben) mit seinen sukzessive durch Seitenerosion bedingten Abträgen, der sich seither sowohl in der Gerinnegeometrie als auch in der Massenbilanz des veränderten Flußbereiches bemerkbar machen wird. Die Querschnittsaufnahme vom Mai 1997 erfaßt allerdings noch nicht den erst später dort in Gang kommenden massiven Uferabtrag. Insgesamt zeigt sich im Vergleich zum Aufnahmezeitraum 1988/91 eine größere Dynamik in den Gestaltungsvorgängen zwischen dem Wehr bei Icking und dem Wehr bei Höllriegelskreuth. Sie zeigt sich einerseits in einer weiteren Flußbetteintiefung überwiegend zwischen dem vorgenannten Uferrückbau und der Brücke bei Schäftlarn (Dürnstein) und andererseits aber in nennenswerten Akkumulationen unterhalb dieser Brücke sowie im Bereich von Fkm 165,8 bis in den Stauraum des Wehres bei Höllriegelskreuth hinein. Bei der November/Dezember 1997 durchgeführten Räumung des Stauraumes sowie des Kanaleinlaufes wurden ca. 50 000 m³ dieser Ablagerungen in das Unterwasser umgesetzt, wie auch die für diesen

Flußbereich vorliegende Querschnittsaufnahme vom Oktober 1999 zeigt. Das Ergebnis der Flußaufnahmen ist in der Anlage 9 dargestellt.

7.5 Flußabschnitt Baierbrunner Wehr bei Höllriegelskreuth (Fkm 162,45) - Wehr bei Großhesselohe (Fkm 155,98)

In dieser Flußstrecke sind für den Zeitraum von 1991 bis 1997 (99) außer den im Unterwasser des Baierbrunner Wehres bei Höllriegelskreuth mechanisch aus dem Kanal umgesetzten und teilweise durch die Flußaufnahme erfaßten Feststoffmassen (rd. 50 000 m³) keine besonders nennenswerten Gestaltungsvorgänge aufgetreten oder ausgelöst worden. Das Ergebnis der Flußaufnahmen ist in der Anlage 10 dargestellt.

7.6 Flußabschnitt Wehr bei Großhesselohe (Fkm 155,98) – Stadtbereich München - Oberföringer Wehr (Fkm 142,90)

Um den durch zahlreiche Eingriffe in das Flußregime der Isar ausgelösten und scheinbar unaufhaltsam fortschreitenden Eintiefungen der Flußsohle entgegenzutreten, war man schon beginnend um die Jahrhundertwende zum Bau einer Vielzahl sohlstützender Abstürze und Grundswellen gezwungen. Diese sohlstützenden Querbauten existieren mit Ausnahme der kurzen Flußstrecke zwischen Großhesseloher Wehr und Brücke praktisch in mehr oder weniger dichter Aufeinanderfolge im gesamten Flußabschnitt.

Nennenswerte Eintiefungen des Flußbettes sind seither, dank der vorhandenen Sohlstützung, unterbunden worden. Der deswegen fehlende Handlungsbedarf dürfte mit ein Grund sein, daß bis etwa 1996 die Flußaufnahmen nur sporadisch und lückenhaft gemacht wurden und für eine flußmorphologische Auswertung unzureichend sind. Neuaufnahmen sollten unter Beachtung des Merkblattes vorgenommen werden.

In Hinblick auf die latente Erosionsanfälligkeit des Flußbettes kommt der genaueren Erkundung der geologischen Situation eine große Bedeutung zu. Eine derartige erste Bewertung liegt in dem für die Untersuchung der Mindestwasserführung der Isar zwischen dem Wehr bei

Höllriegelskreuth und dem Oberföhringer Wehr gefertigten geologischen Bericht des LfW von 1997 [16] vor. Das Ergebnis der Flußaufnahmen ist in der Anlage 11 dargestellt.

7.7 Flußabschnitt Oberföhringer Wehr (Fkm 142,90) - Moosburger Wehr der Uppenbauwerke (Fkm 94,2) - Landshut Staustufe Altheim (Fkm 70,37)

Nach der vorliegenden flußmorphologischen Untersuchung zur Teilrückleitung der Mittleren Isar vom Juni 1991 [8] ist der Stand der flußmorphologischen Entwicklung der Ausleitungsstrecke bis zu diesem Zeitpunkt wie folgt: Die Ausleitungsstrecke stellt sich als ein schmal angelegtes, gestrecktes Korrektionsgerinne mit eingeschalteten schwachen Krümmungen dar. Es entwickelt sich nurmehr partiell und selten ein Restgeschiebetrieb. Insbesondere unterhalb des Oberföhringer Wehres ist der Geschiebezulauf in die Ausleitungsstrecke hinein mit Ausnahme gelegentlicher Teilspülungen des Wehrstauraumes praktisch schon seit vielen Jahren zum Erliegen gekommen. Nach der Wehranlage schließt sich eine rd. 22,5 km lange, vor weiterer Eintiefung durch 44 Querbauwerke gestützte Flußstrecke an. Die Sohlstützung war zu einem früheren Zeitpunkt wegen der als Folge der Isarkorrektion im anstehenden Flinz rasch fortschreitenden Eintiefung des Flußbettes notwendig geworden. Trotz der vorhandenen Sohlstützung sind weitere lokale Eintiefungen des Flußbettes im hydraulisch stark belasteten Unterwasserbereich einiger Querbauwerke sowie im Einschnürungsbereich sich zunehmend verfestigender Kiesbänke zu beobachten. Die zuletzt bei Achering (Fkm 120,4) errichtete Stützwelle bildet gegenwärtig das Endglied der sohlgestützten Flußstrecke. Wegen der laufenden Eintiefung des Flußbettes im Unterwasser mußte das Bauwerk bereits mehrmals repariert, d.h. an die fortschreitenden Eintiefungen im Unterwasser angepaßt werden. Der sich unterhalb des Stützbauwerkes entwickelnde Erosionskeil reicht mit seiner flußabwärts gerichteten Spitze nach dem Stand der Flußaufnahme von 1989 bis in den Bereich kurz oberhalb der Straßenbrücke und des Pegels Freising (Fkm 114). Den Querschnittsaufnahmen zufolge ergibt sich für den Zeitraum 1974/89 eine jährliche Eintiefungsrate in dem an das Stützbauwerk bei Achering anschließenden Flußbett, d.h. im flußaufwärts gelegenen Ende des oberen Erosionskeils, von rd. 7 cm.



Bild: Acheringer Sohlstützwehr bei Fkm 120,4 (Zustand von 1989)

In der übrigen Flußstrecke von Freising bis zur Wiedereinleitung des Mittleren-Isar-Kanals (bei Fkm 78,3) befinden sich noch zwei zur Eintiefung neigende Flußabschnitte, nämlich etwa unterhalb der Straßenbrücke Freising (Fkm 113,6) bis zur Kläranlage Freising (Fkm 112,5) sowie zwischen der Straßenbrücke Marzling (Fkm 110,2) und der Kreuzbachmündung (Fkm 107,6).

Bei einer vom September 1995 bis Mai 1996 durchgeführten mechanischen Räumung des Stauraumes am Oberföhringer Wehr wurden über 120 000 m³ Geschiebe in das Unterwasser d.h. in die Ausleitungsstrecke umgesetzt. Nachfolgende Spülungen des Stauraumes gelegentlich größerer Abflüsse erbrachten nochmals den Eintrag von schätzungsweise 30 000 m³ Feststoffen in die Ausleitungsstrecke. Die bettbildenden Abflüsse der abflußreichen Jahre 1995, 1996 und 1997 dynamisierten nicht zuletzt durch die erwähnte Geschiebeumsetzung in der gesamten Ausleitungsstrecke bis einschließlich Landshut die Gestaltungsvorgänge bzw. die Bettbildung in der Isar. Dabei kann es in der sohlgestützten Flußstrecke bis Achering (Fkm 120,4) streckenweise zu nennenswerten Auflandungen und in der übrigen Flußstrecke neben einem Wechselspiel von Auf- und Abtrag zur Umlagerung und Neubildung zahlreicher Kiesbänke. Die Auswertung und Einbeziehung neuerer Flußaufnahmen bis einschließlich 1999 ergibt speziell für die Flußstrecke zwischen der Sohlstützschwelle Achering (Fkm 120,4) und Landshut (Fkm 75,0) folgende flußmorphologische Entwicklung :

- Der Erosionskeil in der Flußstrecke Achering-Freising hat sich durch weiteren Abtrag der Flußsohle vergrößert.
- Die im Flußabschnitt Marzling (Fkm 110)-Moosburg bis etwa Mitte der siebziger Jahre zu verzeichnenden Feststoffablagerungen haben sich bis 1995 in einen deutlichen Massenabtrag gewandelt. Erst ab 1995 kommt es wieder zu Auflandungen im Flußbett.
- Die in der Flußstrecke Moosburg-Landshut ebenfalls bis etwa Mitte der siebziger Jahre feststellbare Ablagerung von Feststoffen hat sich im Zeitraum 1974/1989 teils in einem Abtrag von Bettmaterial umgekehrt bzw. sind die Ablagerungen auf Null zurückgegangen. Erst ab 1989 stabilisieren sich die Gestaltungsvorgänge wieder und kehren zu früheren Ablagerungstendenzen zurück.



Bild: Ortsdurchgang von Freising, Blick flußabwärts

Im Stauraum der Staustufe Altheim schließlich endet der Transport der Geschiebefraktion, die die Isar flußabwärts infolge des Abriebs in Menge und Körnung laufend verkleinert bis hierher transportiert hat.

Das Ergebnis der Flußaufnahmen ist in der Anlage 12 dargestellt.

8. Problemanalyse des Verhaltens geschiebeführender Fließgewässer im veränderten Regelkreis und die Einschätzung von geschiebeaktivierenden Maßnahmen

8.1 Flußgeschichtlicher Abriß

Im erdgeschichtlichen Zeitmaß gerechnet war die Isar selbst, bevor der Mensch in ihre Bettbildung eingriff, von einem morphogenetischen Reifezustand noch weit entfernt. Geschiebeumlagerungen führten dazu, daß sich im Unterlauf Kiesmassen anhäuften, gegen die mit den bescheidenen Mitteln örtlicher Wasserbauten wenig auszurichten war. WIEBEKING schrieb 1811 : „*Bayerns Hauptflüsse, der Inn, der Lech, die Isar und die Donau, wovon die drei ersteren zu den rapidesten Flüssen in Europa gezählt werden müssen, haben ihre Betten dergestalt erhöht, daß die ihnen nahegelegenen Moräste, wovon große Bezirke ehemals urbares Land waren, jetzt das Wasser nicht los werden können, ohne lange Entwässerungskanäle zu ziehen. Sie laufen wild dahin und sind in ihrem jetzigen Zustand mehr eine Geisel als eine Wohltat des Landes.*“ Die Verhältnisse wurden weiter verschlechtert, als durch Regulierungen im Mittellauf zusätzliche Kiesmassen herangeführt wurden. Es ist verständlich, daß man in der zweiten Jahrhunderthälfte daranging, die untere Isar in mehreren Bauabschnitten zu regulieren. Als der Ausbau um 1905 fertig war, blickte man nicht ohne Stolz auf das vollbrachte Werk. Welche Stimmung damals herrschte, kommt in einer Denkschrift der Obersten Baubehörde von 1909 [62] mit beredten Worten zum Ausdruck: „*Der größte und schwierigste Teil des gewaltigen Unternehmens der Korrektur der öffentlichen Flüsse ist bereits geschehen, nämlich die Einzwängung der Flüsse in feste Bahnen ... Drei Generationen haben an diesem Kulturwerk ersten Ranges mitgewirkt, und die Generation, welche die Umwandlung der verwilderten, alle Kulturen durch Versumpfung, Überkiesung und Übermuerung bedrohenden*

der Isar, indem er der Isar mittels von Ufern aus vorgebauten Faschinenbuhnen von München bis Ismaning einen völlig geraden Lauf verordnete. Die Bettbreite wurde bis zum Jahr 1861 von anfangs rd. 94 m schrittweise bis auf 44 m eingeengt, um die Räumkraft und damit die Eintiefung der Isar zu verstärken. Die Ausbaustrecke verfiel zusehends, d.h. die Eingrabungen der Sohle schritten fort, so dass sie bei Unterföhring das beachtliche Ausmaß von 5 m erreichten. Erst massive, vor allem sohlstützende Gegenmaßnahmen beendeten den höchst schädlich gewordenen Tiefenschurf. Der systematische Ausbau der Isar wurde erst mit den um 1880 einsetzenden Bauabschnitten in die Wege geleitet. Zunächst galt es, das auf 43,8 m Breite eingeschnürte Flußbett auf 60 m zu erweitern, um so die Eintiefung abzumindern. An Stelle der im unteren Teil wieder verfallenden Wiebekingschen Regulierung erhielt die Isar von Unterföhring abwärts ein nach neueren Grundsätzen gestaltetes Bett mit wechselweisen Krümmungen und Gegenkrümmungen.

Die Technik der Flußregulierung war anfangs durch die am Rhein und anderen Strömen entwickelte Methodik gekennzeichnet: Flußschleifen wurden durchgestochen; von beiden Seiten her ins Flußbett vorgestreckte Buhnen sollten den Fluß dazu zwingen, sich einzugraben und das Geschiebe in stillgelegte Arme und Altwässer zu verfrachten. Wie sich jedoch bald zeigte, führte dieses Verfahren an den gefällereichen bayerischen Gebirgsflüssen nicht zum Erfolg, da an den Buhnenköpfen große Kolke entstanden und unerträgliche Unterhaltungslasten verursachten. Man ging deshalb von der Jahrhundertmitte an dazu über, sog. Normallinien für die Ufer zu bestimmen und diese mit Leitwerken festzulegen. In der Sprache der Flußbauer ausgedrückt: An die Stelle des offenen trat der geschlossene Ausbau. Dieses an sich richtige Verfahren war jedoch bei den oft großen zu beherrschenden Wassertiefen ziemlich aufwendig und erschwerte nachträgliche Änderungen der einmal gewählten Normallinien. Ein entscheidender Wandel trat ein, als der damalige Vorstand des Straßen- und Flußbauamtes Landshut, der Königl. Baurat August Wolf, eine Methode erfand, mittels an Holzgestängen aufgehängter Faschinenbündel die vom Fluß herangeführten Feststoffe gezielt zur Ablagerung zu bringen und damit die Anlage billigerer Leitwerke vorzubereiten. Die an der Isar entwickelten sog. Wolfschen Gehänge haben sich bewährt und allgemein Eingang in den Flußbau gefunden. Zur abschließenden Festlegung der Ufer dienten Faschinenbauten und Steinwürfe. Außer der übermäßig gestreckten Regulierung sind für die bedenkliche Sohlenerosion der Wiebeking'schen Ausbaustrecke noch zwei weitere Ursachen ins Feld zu führen: Die Untergrund-

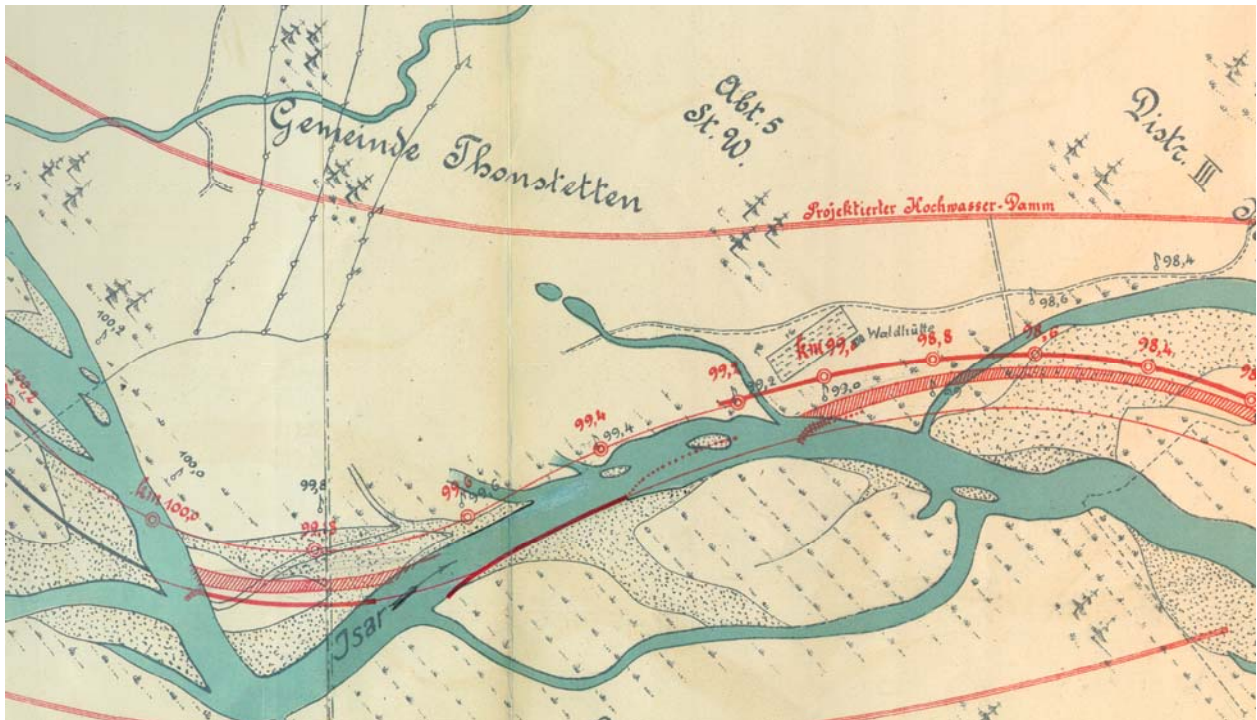


Bild: Einführung einer neuen Bauweise etwa um 1910 nach kgl. Baurat Mayr: „Die Korrektur der geschiebeführenden Gebigsflüsse mittels einseitiger Leitwerke“

verhältnisse und die unzureichende Geschiebezufuhr. Um 1880 war die alluviale Deckschicht namentlich im oberen Teil der Wiebekingschen Regulierung bis auf kleine Reste abgeräumt. Der freigelegte Flnz war nicht im Stand, der Schleppspannung des Wassers genügend Widerstand entgegenzusetzen. Die Entwicklung wurde beschleunigt durch den geschwächten Geschiebezulauf, der seinerseits durch Kiesentnahmen weiter oberhalb, hauptsächlich bei den Thalkirchener Überfällen, bedingt war. Ab 1888 suchte man der Eintiefung durch den Bau von Grundswellen entgegenzuwirken. Nachdem das Hochwasser im September 1899 nochmals größere Kiesmassen angehäuft hatte, konnte die Stützung der Sohle auf ein Jahrzehnt unterbrochen werden. Bis 1933 war es jedoch notwendig geworden, die Sohlensicherung einschließlich der 1924/25 errichteten Stützwehre bei Ismaning und Unterföhring über Grüneck hinaus fortzusetzen. Von insgesamt 56 Grundswellen sind 12 im Stau des Oberföhringer Wehres untergegangen; die restlichen 44 Bauwerke erstrecken sich vom Wehr bis Achering. Der Kiesabtrag aus der Eintiefungsstrecke bewirkte Anlandungen und zunehmende Hochwassergefahren in der Freisinger Gegend. Abhilfe wurde geschaffen durch die sich von 1880 bis 1914 hinziehenden Ausbauten zwischen Grüneck und Oberhummel, sowie durch

Kiesentnahmen, vorwiegend für die Schüttung von Hochwasserdeichen. Etwa seit 1930 besteht auch hier Eintiefungstendenz, da die Geschiebevorräte oberstrom fast ganz aufgebracht sind. In Richtung Moosburg schlossen sich ab 1893 weitere Regelungen an, gefolgt von der Ergänzung älterer Hochwasserschutzanlagen.

Der Flußausbau bis zur Bezirksgrenze Ober-/Niederbayern war gegen 1920 beendet; der im Zusammenhang mit dem Uppenbornwerk stehende Deichbau wurde 1927 abgeschlossen. Erheblichen Einfluß auf die Gestaltungsvorgänge der Isar im Moosburger Raum hat das 1906/8 erbaute Uppenbornwehr. Während oberhalb beträchtliche Anlandungen zu verzeichnen waren, tiefte sich die Isar im Unterwasser infolge des Geschiebedefizits so sehr ein, daß 1917 zur Stützung der Ampersohle vor der Mündung in die Isar nach der Volkmannsdorfer Brücke ein Wehr erbaut werden mußte. Seit das alte Uppenbornwerk stillgelegt ist und die Rückgabe des geschiebefreien Werkwasser unterbleibt, hat sich die Sohle wieder beruhigt. Als weiterer, allerdings nur ca. vier Jahre dauernder Eingriff in den Feststoffhaushalt erwies sich die bereits erwähnte provisorische Rückleitung des Betriebswassers der Kraftwerke der Mittleren Isar über dem Semptflutkanal in die Isar. Es gab hier, ähnlich wie es beim Loisach-Isar-Kanal noch immer zutrifft, plötzlich einen durch das schwache Geschiebedargebot nicht zu sättigenden Überschuß an Transportvermögen, der zu ausgiebigen Kiesumlagerungen führen mußte. Mit anderen Worten: die Isar tiefte sich zunächst örtlich, dann flußaufwärts fortschreitend ein und verfrachtete gleichzeitig das erodierte Material in den Stauraum des Moosburger Wehres.

Zu den ältesten Regelungen im Bezirk Niederbayern gehört der 1852 ins Werk gesetzte Hofhamer Ausbau. Anfangs nicht systematisch betrieben, dehnten sich die Arbeiten über 20 Jahre aus, bis der Abschnitt Hofham-Landshut 1875 fertiggestellt war. Im Jahr 1890 wurde die Lücke zwischen der oberbayerischen Regelung und Hofham geschlossen. Wegen der Mißverhältnisse zwischen Profilbreite und Restabfluß hat sich im Flußbett bis zur Gegenwart eine Art Sekundärgerinne mit meistens scharfen Krümmungen und unruhiger Laufentwicklung gebildet.

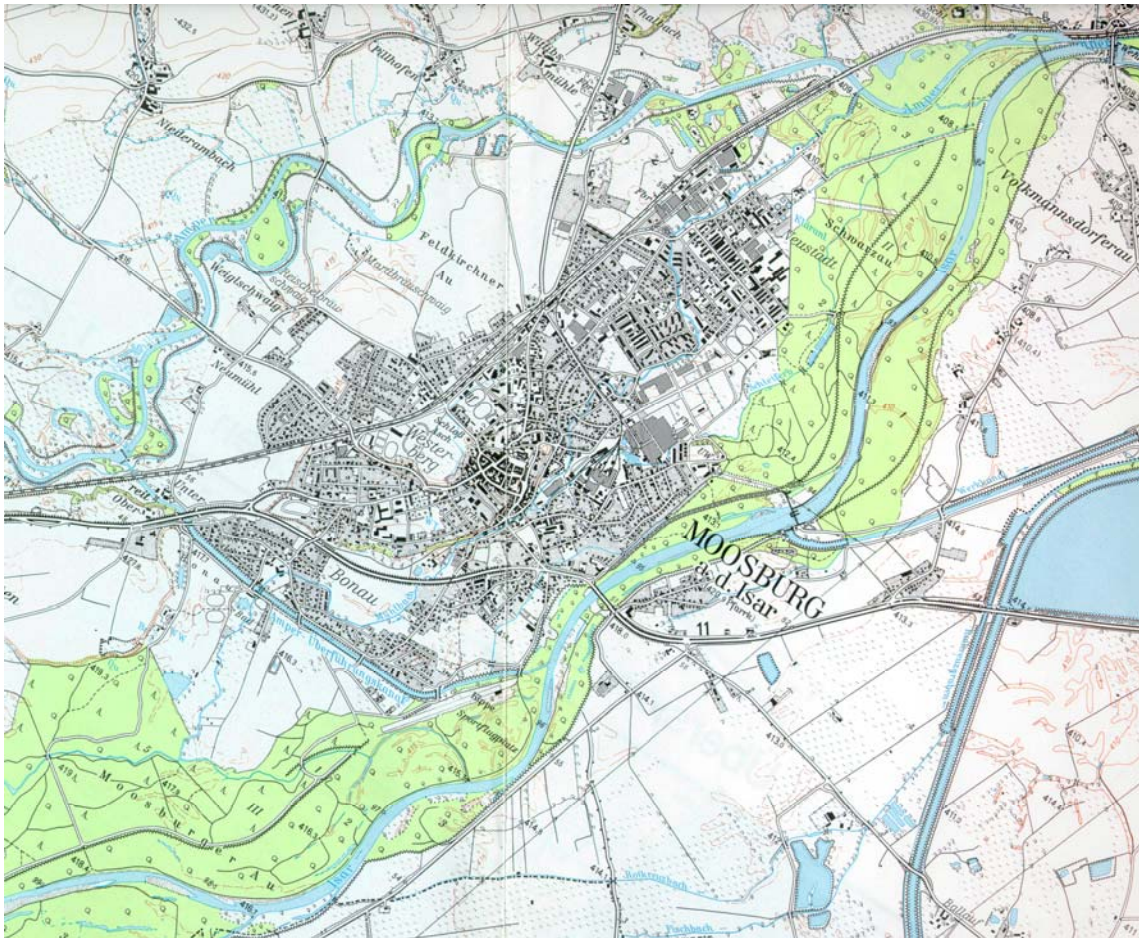


Bild: Kartenausschnitt: Isar, Mittl.- Isar- Kanal, Amper, Amperüberführungskanal mit Anlagenkomplex des Moosburger Wehres

Die Korrektion der Isar zog lebhaftere Massenverlagerungen nach sich, die grob gesprochen von Landshut bis Mamming zu Eintiefungen, von dort bis zur Mündung zu Anlandungen der Sohle führen. Schon um die Jahrhundertwende nahm die Eintiefung ein solches Ausmaß an, daß bei Fkm 70 der Bau eines Stützwehres, das Albinger Wehr, erforderlich wurde, um die Erosion im Stadtgebiet von Landshut abzuwenden. Betrug bei der Fertigstellung 1916 die Absturzhöhe 2,45 m, war sie 1948 bereits auf 4,5 m angewachsen.

8.2 Naturgesetzliche Zusammenhänge

8.2.1 System der Bettbildung von Flüssen

Wir haben die Tatsache zu registrieren, daß die Isar wie fast alle früher regulierten, geschiebeführenden Flüsse, vom erdgeschichtlichen, d.h. morphogenetischen Reifezustand selbst noch entfernt, die Folgen der anthropogenen Eingriffe, wie Flußregelung und –korrektur, Aufstau, Wasseraus- und Wasserableitungen sowie die verschiedensten Störungen der Durchgängigkeit flußmorphologisch gesehen nicht überwunden hat.

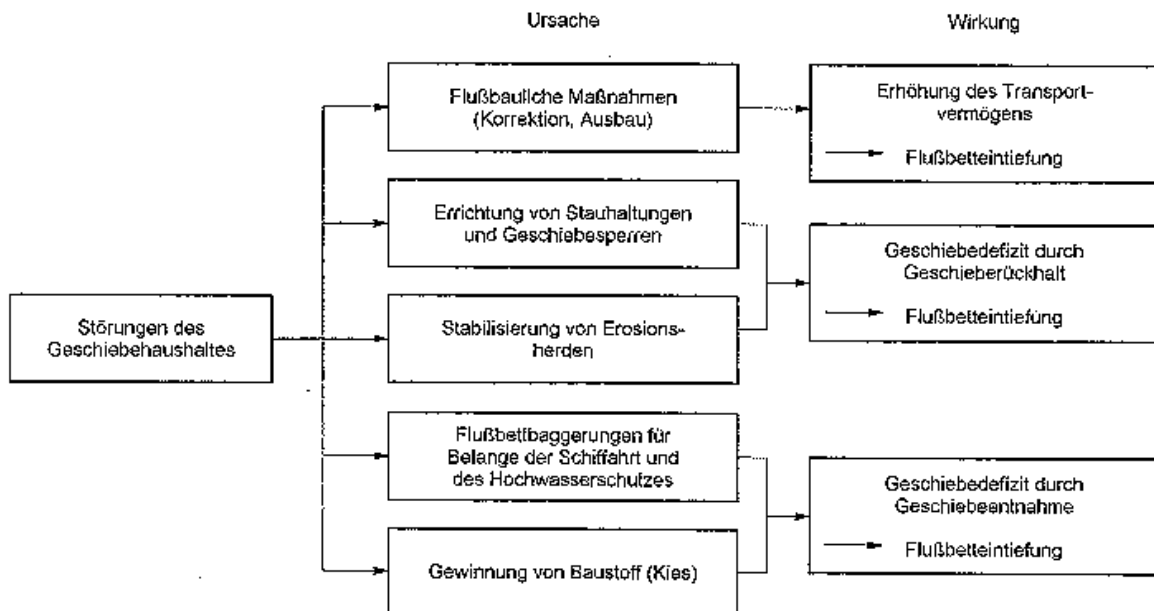


Bild: Störungen des Geschiebehaushalts

Äußerlich ist dies in einem vom natürlichen Zustand gerinnegeometrisch stark abweichenden Status quo sichtbar, ausgedrückt in stark eingeschränkter Bettbreite und gestrecktem Lauf, einem mehr oder weniger stark in das Gelände eingetieften Flußbett, vergrößertem Gefälle, überhöhtem Geschiebetransportvermögen und unterbrochenen oder zumindestens stark defizitär gewordenen Geschiebetrieb. Es wäre allerdings ein Trugschluß zu glauben, man bräuchte in diesem dergestalt veränderten Regelkreis nur den Folgen der früher rein zweckorientiert ausgebauten Fließgewässer entgegentreten und ihnen dabei sozusagen mit „leichter Hand“,

nur durch eine entsprechende Umgestaltung, wieder mehr Naturnähe zu verschaffen. In einem solchen Fall würde man die Komplexität der naturgesetzlichen Zusammenhänge bzw. die Gesetze der Bettbildung und die daraus resultierenden Zwänge bis hin zur Irreversibilität eingetretener Entwicklungen sowie die Machbarkeit gewünschter Ziele verkennen bzw. ignorieren.

Rein schematisch – gewissermaßen als Einstieg zum Verständnis – lassen sich die komplexen Zusammenhänge der Flußbettbildung wie folgt verdeutlichen:

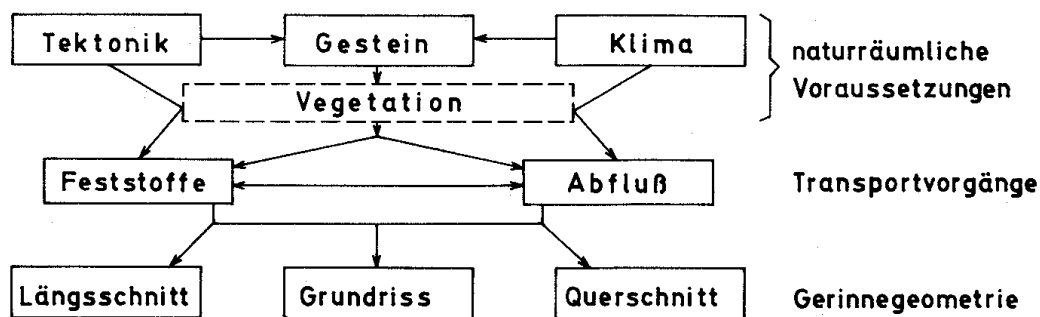


Bild: System der vernetzten Bettbildung von Flüssen

- Die zwei wichtigen Transportvorgänge – der Abfluß und der Feststofftransport (Geschiebe und Schwebstoffe) - bestimmen in Abhängigkeit von den naturräumlichen Voraussetzungen und den anthropogen auferlegten Zwängen, wie z. B. dem Verbauungsgrad des Flußbettes, die Möglichkeiten der weiteren gerinnegeometrischen Entwicklung.
- Auf der anderen Seite bilden die Parameter wie Längsprofil, Grundriß und Querprofil bezüglich der Bettbildung eine unlösbare, miteinander verbundene Einheit. Veränderungen an einem dieser gerinnegeometrischen Elemente werden zu Veränderungen an den anderen zur Folge haben. Die durch Veränderungen, etwa durch Umgestaltungsmaßnahmen, wie sie auch geschiebeaktivierende Maßnahmen darstellen, in Gang gesetzten Gestaltungsvorgänge sind zeitabhängig und im allgemeinen nicht linear verlaufende morphologische Prozesse mit einer Reihe von Rückkopplungsmöglichkeiten. Nicht zuletzt wegen

des stochastischen Charakters des den Vorgang bestimmenden Transportvorganges Abfluß, d.h. künftiger Abflußereignisse, sind Vorhersagen zu welchem Zeitpunkt sich bestimmte Entwicklungszustände einstellen werden, ob mit oder ohne Simulationsmodell, im allgemeinen nicht zuverlässig.

- Aus dem Zusammenwirken der naturräumlichen Regelglieder ergibt sich der „natürliche“ Regelkreis des Flusses. Unter dem Einfluß der anthropogen geschaffenen Voraussetzung und durch Einführung „künstlicher“ Regelglieder ergibt sich der vom „natürlichen“ Regelkreis mehr oder weniger abweichende „veränderte“ Regelkreis.

8.2.2 Das Gleichgewicht und die Proportionalität in der Bettbildung

Das vernetzte System der Bettbildung hat LANE in seiner 1955 aufgestellten Proportionalitätsgleichung qualitativ zum Ausdruck gebracht:

$$Q_s \cdot d_m \sim Q_w \cdot J$$

Darin bedeuten:

Q_s = Geschiebetransport (fracht),

d_m = der für den Geschiebetransport maßgebende Korndurchmesser des jeweiligen Geschiebegemisches, welches transportiert wird

Q_w = Abfluß

J = Längsgefälle (wobei über J die anderen gerinnegeometrischen Elemente vernetzt sind)

Bei seiner Bettbildung strebt der Fluß einen Gleichgewichtszustand bzw. einen Zustand an, bei dem die Glieder beider Seiten der Gleichung versuchen, sich im Laufe der Zeit, vergleichbar mit den Gewichten einer Waage, ins Gleichgewicht, in eine stabile Lage zu kommen. In einer solchen Situation kann man nun mit Hilfe der Gleichung abschätzen, in welcher Richtung auch künstlich Schritte oder Gegenmaßnahmen gesetzt werden können, um wieder und womöglich rascher als auf natürlichem Wege Gleichgewicht bzw. Stabilität im Fluß herbeizuführen, indem man durch Eingriffe entweder eine früher durch den Menschen bewirkte Ände-

rung des betreffenden Gliedes wieder rückgängig macht oder ein oder mehrere der anderen Glieder durch Eingriffe neu gewichtet.

Bei abnehmendem Geschiebetransport Q_s beispielsweise, würde der Fluß in seinem Bestreben auf natürlichem Wege wieder Gleichgewicht herzustellen, versuchen, sich einerseits die fehlende Transportfracht (Q_s) womöglich aus dem eigenen Bett wieder zu verschaffen (linke Seite der Gleichung) und andererseits durch die dabei stattfindende Tiefenerosion das Laufgefälle J (rechte Seite der Gleichung) zu verkleinern. Der Fluß versucht also im Wettstreit der Kräfte zwischen der Fallenergie des Wassers und dem Substratwiderstand des Flußbettes wieder ein Gleichgewicht herzustellen. Diese Betrachtungsweise wird durch viele Naturbeobachtungen bestätigt, z. B. durch die dachziegelartige Lagerung der Geschiebekörner in Flußstrecken mit latenter Erosion. Sie leisten einer Änderung ihrer Lage dann größtmöglichen Widerstand, während gleichzeitig die Strömung den kleinsten Widerstand erfährt: das Minimalprinzip des kleinsten Energieaufwandes in der Natur.

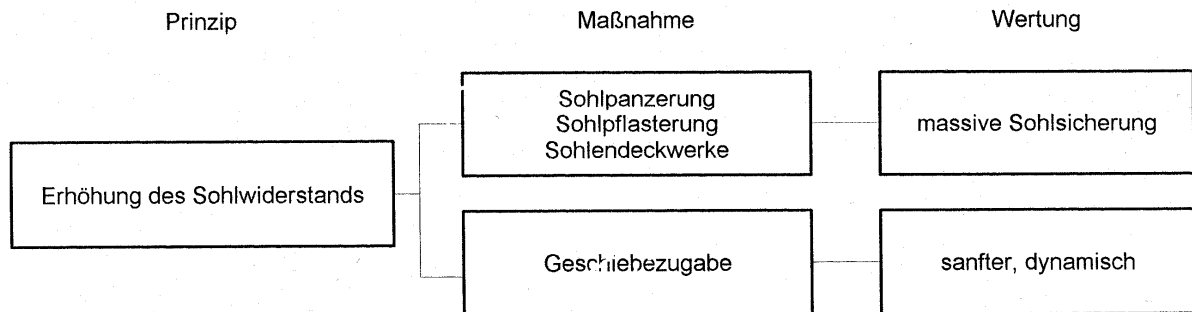


Bild: Maßnahmen zur Erhöhung des Sohlwiderstandes

Ein anderes Beispiel des Selbstheilungsversuches besteht, wieder unter der Annahme eines defizitären Geschiebefrachtaufkommens Q_s ($Q_{sl} < Q_{so}$), darin, daß der Fluß versuchen wird, die linke Seite der Gleichung durch Vergrößerung des Regelgliedes d_m ($d_{m1} > d_{m0}$) – Effekt der Sohlabpflasterung – wieder auszutarieren. Nicht von ungefähr entspringen aus diesem Grund Überlegungen, erosionsgefährdete Flußstrecken durch ein künstliches Deckwerk aus grobem Material wieder zu stabilisieren, der gleichen Erkenntnis. Gelingt dem Fluß diese Selbstheilung nicht, weil z. B. das Sohlmaterial aufgrund geomorphologischer Voraussetzun-

gen sich nicht vergrößern kann, dann erfolgt die Herstellung des Gleichgewichtes eben durch Tiefenerosion, die zuvor schon beschriebene Reaktion des Flusses, um sich ein kleineres Gefälle J ($J_1 < J_0$) zu verschaffen.

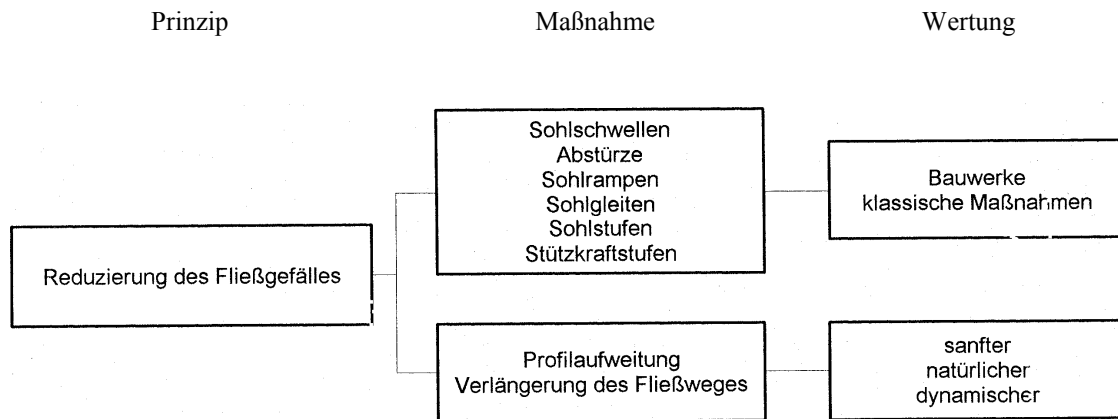


Bild: Maßnahmen zur Reduzierung des Fließgefälles

In gleicher oder ähnlicher Weise wirken nun auch gezielte Veränderungen des Abflusses Q_w oder des Gefälles J . In Ausleitungsstrecken der Wasserkraftnutzung wird der Abfluß Q_w verändert (s. Anlage). Aufstau durch Wehre oder Abstürze verkleinert das Gefälle J im Fluß. Diese Maßnahme kann auch bei defizitärem Geschiebehaushalt zumindestens für eine gewisse Flußstrecke eine Stabilisierung der Flußsohle erzeugen, sie kann aber auch Verlust an Durchgängigkeit und damit an anderer Stelle flußauf- und flußabwärts, Ungleichgewicht und Störung erzeugen.

Daraus wird ein weiterer, wichtiger Sachverhalt deutlich, nämlich der, daß der Flußlauf in seiner Erstreckung d.h. auch im Längsschnitt kein Kontinuum darstellt, sondern entsprechend seiner sich von Standort zu Standort ändernden Bettbildungselemente – siehe Schema des



Bild: Beispiel für Verlust an Geschiebedurchgängigkeit und Restgeschiebefracht für den anschließenden Flußlauf

Systems der Bettbildung – aus einer Abfolge von sich ändernden Proportionalitätsgleichungen besteht, deren Regelglieder sich von Gleichung zu Gleichung unterscheiden. Dadurch wird das an sich schon örtlich vernetzte System der Bettbildung auch noch in der Längserstreckung des Gewässers vernetzt. Regelglieder, die also den Umständen nach örtlich noch im Gleichgewicht stehen, können in der benachbarten oder einer weiter flußabwärts folgenden Flußstrecke ohne weiteres bereits ein Ungleichgewicht bzw. eine Störung produzieren.

Dieses Wesen der Bettbildung und die Vielfalt der naturräumlichen sowie der anthropogen geschaffenen Voraussetzungen stehen einer wiederum anthropogen gesteuerten Geschiebewirtschaftung des Flusses im Wege oder erschweren ein solches Unterfangen in dem Maße, wie die Voraussetzungen für ein Kontinuum im Flußlauf fehlen. Erinnern wir uns: Das Wesen der Bettbildung im Wettstreit der Kräfte ist so beschaffen, daß dort Feststoffe (Q_s) abgelagert werden, wo die Transportkräfte (Q_w) des Wassers als Funktion vom Gefälle (J) erlahmen und dort Feststoffe (Q_s) erodiert werden, wo die Transportkräfte als Funktion eines zunehmenden Gefälles (J) oder einer Flußbettverengung anwachsen. Wollte man diese heterogenen Ansätze einer Bettbildung allein durch künstliche Geschiebewirtschaftung auffangen bzw. kompensieren, müßte man dort, wo zu große erodierende Transportkräfte am Werk sind, dem Bedarf entsprechend unterschiedlich große Feststoffmengen in die fließende Welle einmischen und dort, wo Ablagerungen sich als störend oder gefährdend erweisen, dem Bedarf entsprechend

zur rechten Zeit aus dem Flußregime entnehmen und an anderer Stelle – siehe oben – dosiert und bedarfsgerecht zugeben.

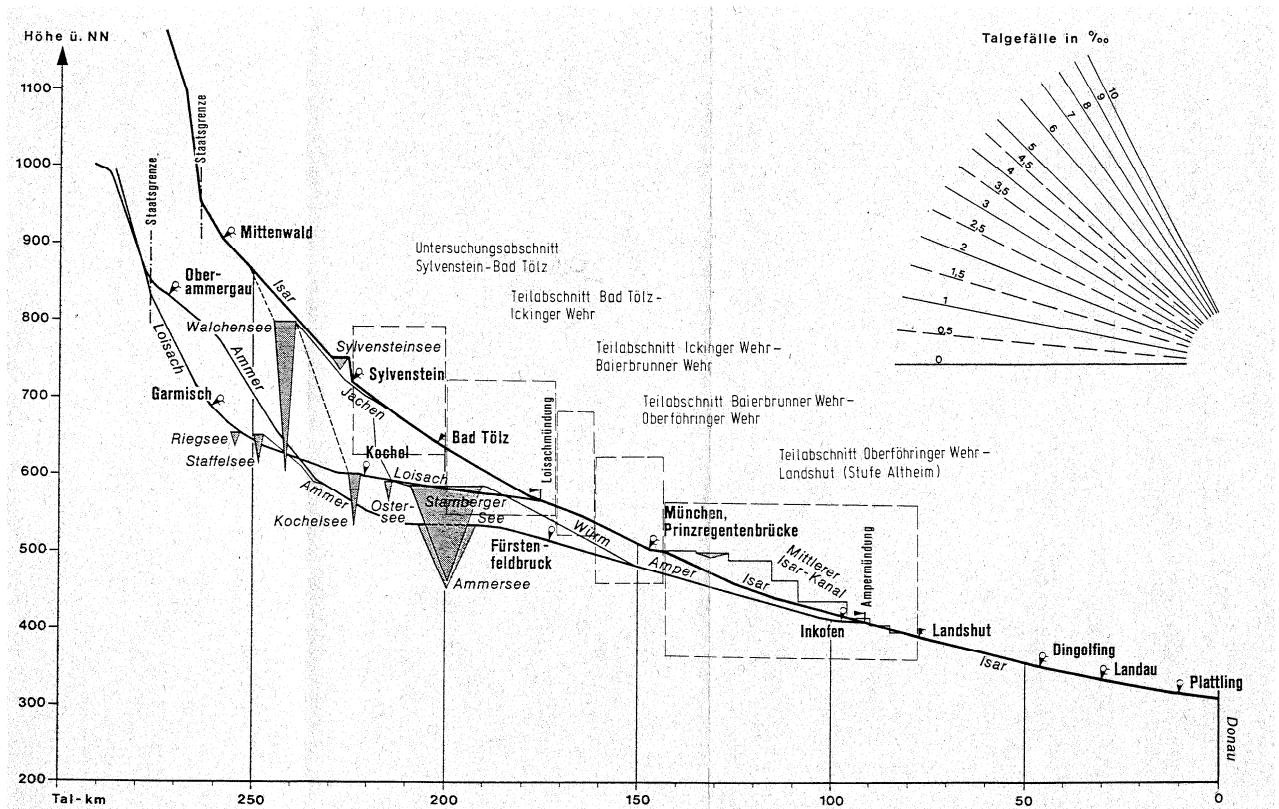


Bild: Tallängsschnitt der Isar mit Gliederung in Flußabschnitte (Beispiel an Heterogenität von Abfluß und Gefälle)

In der Praxis würde dies aber in einen zermürbenden und nicht mehr bezahlbaren Aktionismus ausarten, ganz abgesehen von der rasch abnehmenden Akzeptanz durch die Beteiligten, die hier einen entsprechenden Beitrag leisten müßten. Um also zu praktikablen Lösungen zu kommen, müssen der technische Sachverhalt vertieft und die Ansätze für Lösungen besser herausgearbeitet und differenziert werden.

8.2.3 Schubspannungstheorie und Geschiebetrieb

Wie anhand der Diskussion der Proportionalitätsgleichung verständlich geworden sein dürfte, strebt das geschiebeführende Fließgewässer stets nach einem dynamischen Gleichgewicht zwischen dem zu transportierenden Geschiebe (Q_s), welches dazu Transportenergie benötigt und dem fließenden Wasser (Q_w), welches die Transportenergie liefert. Bei der natürlichen Bettbildung wird dieses Ziel erreicht, wenn sich schließlich das dementsprechende Beharungs- oder Ausgleichsgefälle eingestellt hat. Meßgröße für die während dieses Bildungsprozesses an der Flußbettsohle angreifende Kraft des fließenden Wassers ist die Schubspannung τ . Unter der Annahme gleichförmiger stationärer Bewegung gilt für breite Flüsse die Gleichgewichtsbedingung

$$\tau_w \sim \rho_w \cdot g \cdot h_w \cdot J$$

τ_w ist die wirksame Schubspannung an der Flußsohle. Vereinfacht ausgedrückt ist τ_w eine Funktion der Wassertiefe h_w und des Energieliniengefälles J .

Bei Flüssen mit ungestörtem Geschiebehaushalt wird über einen längeren Zeitraum am betrachteten Querschnitt soviel Geschiebe abtransportiert wie von oberstrom antransportiert wird. Fehlt es am nötigen Geschiebezulauf, beginnt der Fluß von einem bestimmten Abfluß an, seine eigene Sohle anzugreifen. Die ursprünglich gegebene kritische Sohlschubspannung τ_c , bei der der Geschiebetrieb einsetzt, wird bis zu einem gewissen Grad dann durch die schon erwähnte Sohlenpanzerung (Abpflasterung) vergrößert. Im Extremfall des völlig unterbundenen Geschiebezulaufs sollte die Schubspannung τ_w deshalb niemals größer als die kritische Schubspannung τ_c sein, wenn unkontrollierbare Sohlenerosion vermieden werden soll. Als Ungleichung ausgedrückt sollte also sein:

$$\tau_w \leq \tau_c$$

In vielen ausgebauten Flüssen ist aber aufgrund der beschriebenen Regimeänderungen:

$$\tau_w > \tau_c$$

Um aber der Bedingung für Stabilität im Flußbett $\tau_w \leq \tau_c$ zu genügen, müßten – ähnlich wie zuvor schon an Beispielen zur Wiederherstellung des Gleichgewichtes erörtert – Schritte und Maßnahmen ergriffen werden, die entweder die Schubspannung τ_w heraufsetzen oder die Schubspannung τ_c herabsetzen. Um also die wirksame Schubspannung herabsetzen zu können, $\tau_w \leq \tau_c$, wäre entweder das Gefälle J oder aber die in der Funktion $v = f(Q \cdot F)$ stehen-

de Fließgeschwindigkeit herabzusetzen. Auch in diesem Falle gilt die gleiche Bedingung, die wirksame Fließgeschwindigkeit v_w auf die zulässige Grenzgeschwindigkeit v_c zu verringern, entweder dadurch, daß der Abflußquerschnitt F durch eine Aufweitung des Flußbettes in die Breite oder in der Höhe durch Aufstau vergrößert wird. Dann ermittelt sich die erforderliche Querschnittsfläche aus dem maßgebenden Abfluß (Q) und der zulässigen Grenzgeschwindigkeit v_c .

$$F_{\text{erf}} \geq \frac{Q}{v_c}$$

mit $b_{\text{erf}} \geq \frac{F_{\text{erf}}}{h_q}$

Um diese Bedingung beispielsweise allein durch eine Flußbettaufweitung erfüllen zu können, müßten den Fluß begleitende Ufervorländer abgetragen und das Flußbett um das Mehrfache der bisherigen Breite, d.h. um den Faktor v_o/v_{gr} aufgeweitet werden. Gegen eine solche Profil- aufweitung sprechen aber eine Reihe von gewichtigen Gründen, die wie MAYRHOFER (1970) ausführt, vor allem daraus resultieren, daß jeder Fluß beträchtliche Abflußschwankungen aufweist. Da das Profil im allgemeinen nach dem abzuführenden Hochwasserabfluß zu bemessen ist, wäre die Sohle bei Mittel- und Niedrigwasserabfluß theoretisch auf die volle Breite nur seicht mit Wasser bedeckt. In Wirklichkeit würde das Flußprofil jedoch bald mit Tiefenrinnen durchsetzt sein, die sich bei jedem Hochwasser verwerfen. Wegen des im allgemeinen ungenügenden Geschiebezulaufs käme aber kein Rinnensystem zustande, wie man es bei natürlich verzweigten Umlagerungsstrecken kennt, sondern der Abfluß würde sich nach kurzer Zeit im Bereich einer gestreckten Rinne sammelndrängen und diese bevorzugt eintiefen. Die Flächen daneben würden verbuschen – ein Effekt, der sich besonders in Ausleitungsstrecken auswirken würde. Zur Erhaltung der Abflußtüchtigkeit müßte dieser Bewuchs immer wieder entfernt werden; andernfalls wäre man nach solch einem Kraftakt der Flußbettaufweitung doch wieder am Beginn einer unerwünschten Entwicklung angelangt, die man ja eigentlich vermeiden wollte.



Bild: Ausbildung einer Tiefenrinne trotz vorhandener „Überbreite“ des Flußbetts
(Ascholdinger Au)

Allein schon im Hinblick auf den großen Flächenbedarf dürfte diese Art der Profilaufweitung als praktikable Lösung ausscheiden. Die Rückführung korrigierter Flußläufe mit gestörtem Regelkreis allein auf die frühere natürliche Flußbettgeometrie wird daher nicht zum gewünschten Ziel führen.

Das Phänomen der Tiefenrinnenbildung tritt weit häufiger auf, als gemeinhin angenommen. Es wird meist deshalb nicht richtig wahrgenommen, weil man statt der Ausbildung einer Tiefenrinne eher das Gegenteil, nämlich eine verstärkte Geschiebeablagerung im Flußbett zu erkennen glaubt. Oft ist eine vermeintlich im Flußbett lagernde Kiesbank in Wirklichkeit nur der über den örtlich durch Tiefenerosion abgesenktem Wasserspiegel hinausragende langgestreckte Randbereich einer sich nach unten fortsetzenden Tiefenrinne. Den Beweis für die wahren Gestaltungsvorgänge im Gewässer kann nur die geodätische Flußaufnahme bringen, mit der die Höhenveränderung im Flußbett zeitbezogen und zuverlässig dokumentiert wird.

Die Bereitschaft zur Tiefenrinnenbildung ist offenbar nicht nur auf die anthropogen veränderten Gewässer beschränkt, sondern dürfte auch den naturbelassenen Gewässern latent inne-

wohen. Ein Sachverhalt, der hauptsächlich empirisch, d.h. durch in der Natur gemachte Beobachtungen dokumentiert ist. Bekannt geworden ist der eingehend untersuchte und publizierte Fall des Wildflusses Melezza, [64], in dessen relativ breitem Flußbett eine zunehmend starke Eintiefung innerhalb eines dominanten Einzelgerinnes im Flußquerschnitt auftrat, die nach und nach den gesamten Flußlauf erfaßte. Die Hauptursache für diese Reaktion des Flusses sah man in einer abnehmenden Geschiebezufuhr aus dem Oberlauf bzw. dem Einzugsgebiet begründet, begünstigt oder initiiert aber auch durch lokale Gegebenheiten, wie z. B. durch vorhandene Flußkrümmungen. Ähnliche Beispiele einer Tiefenrinnenbildung aus unserem Gebiet sind die naturbelassene Flußstrecke der Isar zwischen Sylvensteinspeicher und Jachenmündung sowie die Linder im Lindergries bei Linderhof.

Nun wird heute bei der naturnahen Umgestaltung korrigierter und vor allem zu schmal regulierter Flüsse eine modifizierte, d. h. den Möglichkeiten entsprechend beschränkte Flußbetttaufweitung angestrebt. Trotz dieser an sich sinnvollen Maßnahme, weil sie hilft, die hydraulische Belastung im Flußbett abzubauen, wird man trotz einer Intensivierung des Geschiebetransportes am Problem der Rinnenbildung realistischlicherweise nicht gänzlich vorbeikommen. Die Flußbettbreite hat jedoch noch einen anderen wichtigen Aspekt, auf den nachfolgend näher einzugehen ist.

Die von Flußabschnitt zu Flußabschnitt so unterschiedlichen Bedingungen bei der lokalen Bettbildung stellen insbesondere die Maßnahmen der Geschiebewardirtschaftung vor Probleme, die durch die vorstehend besprochenen einfachen und globalen Betrachtungsweisen nicht mehr genügend geklärt werden können. Auf der Suche nach zielführenden Planungshilfen wird man deshalb an einer vertieften Betrachtung im Detail und an weitergehenden Untersuchungen nicht vorbeikommen. In der Tat hat man in den letzten Jahren durch gezielte Naturversuche sowie durch Simulationen an numerischen und physikalischen Modellen – hauptsächlich im wissenschaftlich - universitären Bereich – Erkenntnisse gewonnen. Die mittlerweile zahlreichen Formeln zur Berechnung des Geschiebetransportes, deren wohl bekannteste die von MEYER-PETER und MÜLLER (1948) ist, quantifizieren den Geschiebetrieb q_s , pro Meter Flußbreite. Dabei gilt:

$$q_B = (h, J, d)$$

$$Q_B = q_B B$$

mit	q_B	=	Geschiebetransport pro Meter Gerinnebreite [kg/s m]
	Q_B	=	Geschiebetransport [kg/s]
	h	=	Abflußtiefe ¹ [m]
	J	=	Gefälle [-]
	B	=	Flußbettbreite [m]
	d	=	maßgebende Korngröße des Geschiebes [m]

¹Ist $B/h > 10$, ist vereinfachend h statt R gesetzt

Die Breite B hat einen maßgebenden Einfluß auf die Transportkapazität eines Gerinnes. Für einen gegebenen Abfluß und ein gegebenes Gefälle gibt es für jeden Fluß eine Breite, bei welcher die Transportkapazität maximal wird (Bild). Mit dieser Breite – auch „optimale Breite“ bezeichnet, wurde insbesondere bei Flußkorrekturen eine maximale Transportleistung der Gerinne angestrebt.

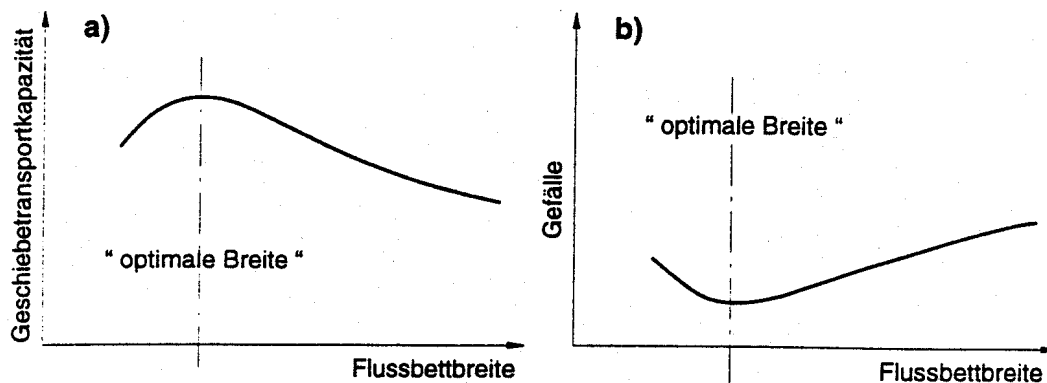


Bild : a) Geschiebetransportkapazität (Gefälle konstant) und b) Gefälle (Geschiebetransportkapazität konstant) in Abhängigkeit von der Flußbettbreite.

Ist ein Gerinne schmäler als seine „optimale Breite“, wird die Schubspannung durch den Einfluß der Ufer zunehmend geringer (Bild) und es steht auch nur eine relativ geringe Breite zum Geschiebetransport zur Verfügung. Je breiter das Gerinne ist, desto geringer ist die Abflußtiefe h , und die Transportkapazität nimmt trotz der größeren Breite ab. Mit den gängigen Fließgesetzen und Transportformeln kann die Transportkapazität sowohl für große Brei-

ten aber auch für zu schmale Flußbetten kaum mehr zutreffend beschrieben werden. Die Formel von MEYER-PETER und MÜLLER wie auch eine Reihe semiempirischer Formeln anderer Autoren wurden in Modellversuchen ermittelt, bei denen das Verhältnis von Breite zu Abflußtiefe relativ klein war ($B/h < \approx 30$). Die Transportkapazität von Flüssen großer Breite dürfte mit diesen Formeln eher unterschätzt werden.

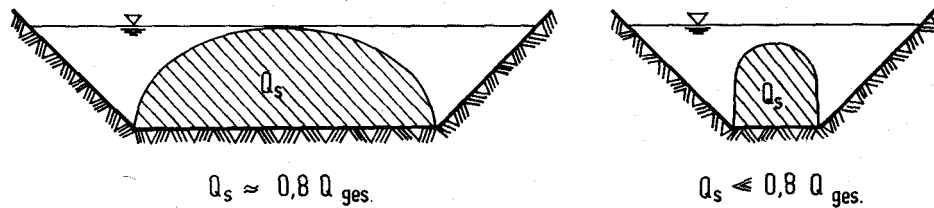


Bild : Verminderung des transportwirksamen Querschnittes durch eine Querschnittseingengung (Q_s ist der für den Geschiebetrieb anteilige, wirksame Teilabfluß)

Nun sollte aber die vorhandene Flußbettbreite nicht ohne weiteres in die Geschiebetriebformel eingesetzt werden, sondern strenggenommen nur die tatsächliche Geschiebefrachtbreite bzw. die bei Eintiefung bewegliche Bettsohle B_s ($B_s \leq B$). Im Hinblick auf den Verfestigungsgrad der möglicherweise im Flußbett lagernden Kiesbänke und Transportkörper, die Existenz ausgeprägter Rinnen oder Talwegsektionen sowie vorhandener Verbauungen, wäre der bewegliche Sohlenanteil um ein entsprechendes Maß niedriger anzusetzen, als die zum Abfluß Q selbst zur Verfügung stehende Sohlbreite B . Schließlich kann bei kleineren bettbildenden Abflüssen bzw. zu Beginn eines Hochwasserereignisses der Feststofftransport eine gewisse Zeit nur partiell über die Flußbettbreite sich erstrecken und erst bei höheren Abflüssen die volle Sohlbreite B_s in Anspruch nehmen. Noch problematischer wird die Angelegenheit in Hinblick auf ihre Berechenbarkeit, wenn ein im Flußlängsschnitt ausgeprägter fraktionsweiser Geschiebetransport auftritt, häufige Mobilitätsunterschiede infolge unterschiedlicher Deckschichtbildung und Entmischungs- oder Sortierprozesse wegen einer gerinnegeometrischen Varianz eine Rolle spielen. Auch aus diesem Grund sollte die laufende Beobachtung der Gestaltungsvorgänge insbesondere durch Flußaufnahmen ein unverzichtbarer Bestandteil im Rahmen des gewässerkundlichen Dienstes sein. Daraus gewonnene Erkenntnisse versetzten erst in die Lage, Rechenansätze und Schätzwerte den in der Natur bzw. den im Flußregime herrschenden Bedingungen, im dargestellten Umfang besser anzupassen.

Theoretisch strebt ein Fluß ein dynamisches Gleichgewicht an, das dann erreicht ist, wenn die aus dem Einzugsgebiet anfallende Geschiebemenge auf der ganzen Flußstrecke gleichmäßig transportiert werden kann. Ändert sich nun von einem Streckenabschnitt zum anderen die Gerinnebreite und damit die Abflußtiefe und bleibt das bettbildende Material dasselbe, muß sich gemäß der Funktion $q_B = (h, J, d)$ das Gefälle ändern, damit eine konstante Transportleistung erreicht wird. Im Bild ist deshalb auch die Beziehung zwischen Gerinnebreite und Gefälle bei gleichbleibender Transportleistung dargestellt. Bei der „optimalen“ Breite wäre das Gleichgewicht Gefälle am kleinsten und mit zunehmender Breite würde der Fluß sein Gefälle größer ausbilden. Wird der Fluß jedoch an der Anpassung seines Gefälles etwa durch Einbauten gehindert, was im allgemeinen der Fall ist, dann kann keine Anpassung zwischen den gerinnegeometrischen Kenngrößen, der Geschiebezufuhr und dem -transport erfolgen.

8.2.4 Geschiebetrieb und Geschiebetransportvermögen

Um das Geschiebetransportvermögen, auch als Geschiebetransportkapazität bezeichnet, berechnen zu können, bedient man sich der in der Flußmorphologie entwickelten semiempirischen Formelansätze zum Geschiebetrieb. Diesem Zweck soll die zuvor schon angesprochene Geschiebetriebformel von MEYER-PETER und MÜLLER; 1948 in der von LICHTENHAHN, 1963 [59] konzipierten Schreibweise dienen:

$$r_w \cdot g \cdot \frac{Q_s}{Q} \left(\frac{k_s}{k_r} \right)^{3/2} h \cdot J = A \cdot (r_s - r_w) \cdot g \cdot d_m + 0,25 \cdot r_w^{1/3} \cdot m_g^{2/3}$$

Darin bedeuten:

ρ_w, ρ_s [kg/m ³]	= Dichte des Wassers bzw. des Geschiebes
Q, Q_s [m ³ /s]	= Gesamtabfluß bzw. Abfluß auf der Sohle
k_s, k_x [m ^{1/3} /s]	= Rauheitsbeiwert (nach Strickler) der Sohle nach Form und Korn
h [m]	= Wassertiefe
J	= Energieliniengefälle
m_g [kg/ms]	= Geschiebetrieb pro Meter Profilbreite und Sekunde, unter Wasser gewogen
d_m [m]	= maßgebender mittlerer Korndurchmesser
A	= dimensionslose Konstante

Diese Formel läßt sich auch in Form der maßgebenden Schubspannung ausdrücken

$$\mathbf{t}_w = \mathbf{t}_c + \mathbf{t}_g$$

Dabei ist

\mathbf{t}_w	= wirksame Schubspannung
\mathbf{t}_c	= Grenz- oder kritische Schubspannung
\mathbf{t}_g	= Schubspannung für den Geschiebetrieb zur Verfügung stehend.

Mit den Schubspannungen $\mathbf{\tau}_w$ und $\mathbf{\tau}_c$ ausgedrückt, ergibt sich der Geschiebetrieb zu

$$m_G = 0,025 (\mathbf{\tau}_w - \mathbf{\tau}_c)^{3/2}$$

Dementsprechend kann Geschiebetrieb nur dann auftreten, wenn

$$\mathbf{\tau}_w - \mathbf{\tau}_c > 0$$

d. h. positiv ist, also die wirksame Schubspannung τ_w größer als die Grenzs Schubspannung τ_c ist.

Für die weitere Berechnung des Geschiebetriebs ist die richtige Abschätzung des maßgebenden Korndurchmessers und die der Konstanten A im Sinne der Mitteilungen zur Anwendung des vorgenannten Formelansatzes zu beachten. Bezüglich der Konstanten A sind auch die in Kap. 8.2.5 angestellten Betrachtungen zum veränderten Regelkreis zielführend.

Nach Festlegung des maßgebenden Korndurchmessers d_m und der Grenzwerte ist noch der in die Geschiebeformel von MEYER-PETER einzusetzende bewegliche Sohlenanteil B_s zu schätzen. Im Hinblick auf den Verfestigungsgrad der Kiesbänke bzw. der Transportkörper, die Ausbildung rinnenhafter Sektionen im Querschnitt sowie die vorhandenen Uferbefestigungen ist der bewegliche Sohlenanteil meist niedriger anzusetzen, als die zur Berechnung der gerinnespezifischen Abflußleistung maßgebende Profilbreite. Außerdem ist, wie dargelegt, zu berücksichtigen, daß der Feststofftransport anfänglich nur partiell beginnt und erst mit steigendem Abfluß über die volle Sohlbreite B_s stattfindet. Diesen Vorgang kann man näherungsweise durch eine gestaffelte Sohlbreite Rechnung tragen.

Schließlich folgt die Ermittlung des zeitbezogenen Geschiebetransportvermögens $V_{Gt} = f(t)$ des Gewässers aus dem Integral des Geschiebetriebs m_G (kg/m s) über die Profilbreite b und die Zeit t . Wir erhalten die Geschiebefracht M_G :

$$M_G = \int_0^b \int_0^t m_g db dt \quad [\text{kg/s}]$$

Nach einigen Umformungen, auf die hier nicht näher eingegangen werden soll, erhält man das auf die Zeiteinheit „Tag“ (d) bezogene Geschiebetransportvermögen:

$$V_{\text{Gd}} = 1,9273 B_s (t_w - t_c)^{3/2} \quad [\text{m}^3/\text{d}]$$

und mit

$$v = k_g R^{3/2} J^{1/2} \quad \text{und} \quad Q = f(h)$$

kann das tägliche Geschiebefracht- oder Geschiebetransportvermögen V_{Gd} auch als Funktion von h und Q dargestellt werden. In einem weiteren Rechenschritt bedient man sich dieser Funktionen und der für das untersuchte Gewässer maßgebenden Abfluß- oder Wasserstandsdauerlinie und erhält daraus zunächst die Geschiebetransportdauerlinie. Deren Ermittlung kann grafisch (siehe Bild) oder rechnerisch erfolgen.

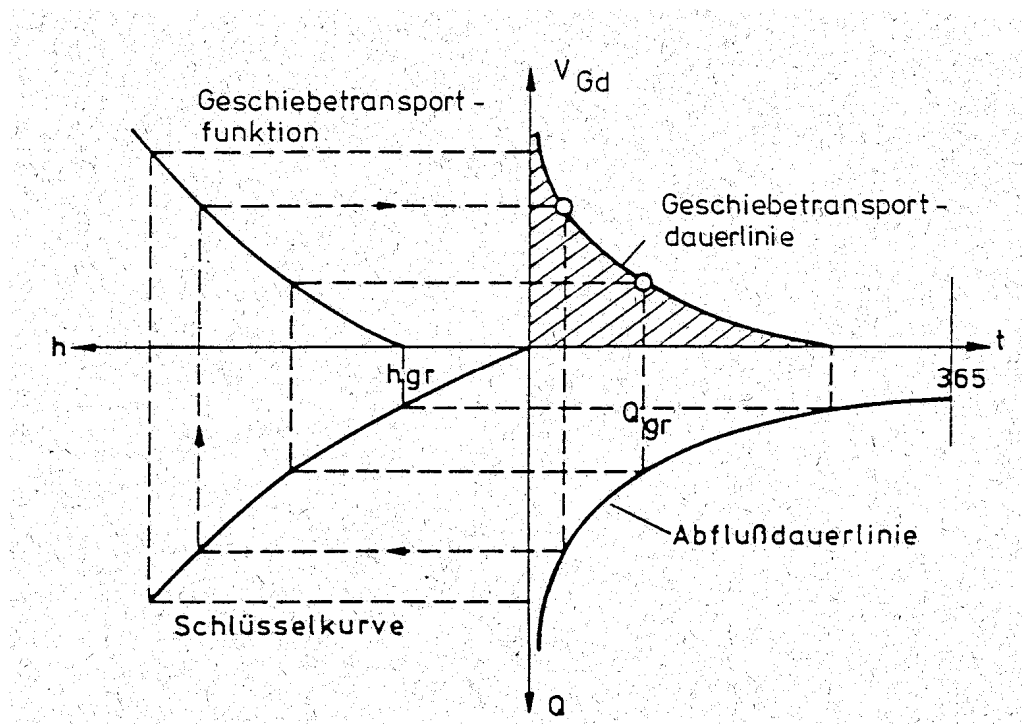


Bild: Grafische Ermittlung des Geschiebetransportvermögens

Das jährliche Geschiebefracht- / Geschiebetransportvermögen wird durch die im ersten Quadranten von der Geschiebetransportdauerlinie eingeschlossene Fläche dargestellt. Sie ergibt sich durch Integration über die Zeit d (Tage):

$$V_{Gj} = \int_0^d v_{G,d} dt$$

Je nach Größe des Grenzabflusses, bei dem der Geschiebetrieb beginnt, ist der Geschiebetrieb oft nur wenige Tage, in manchen Fällen bzw. örtlich sogar nur stundenweise entwickelt, so daß demzufolge nur der obere Teil der Abflußdauerlinie maßgeblich ist. Extrem großen Abflüssen gelingt es zwar auch schwere Deckschichten aufzubrechen, ihr Geschiebetransportvermögen ist paradoxerweise nicht dementsprechend groß, weil die Dauer der Abflußspitze naturgemäß kurz ist. Bei einer Abflußbewirtschaftung durch Speicher kann sich allerdings eine andere Situation ergeben.

8.2.5 Der veränderte Regelkreis der Isar

Neben der zu behandelnden Theorie des Geschiebetriebs im geschiebeführenden alpinen Fluß ist noch der Wandel vom natürlichen Regelkreis zum veränderten Regelkreis der Isar, um weiteres Verständnis für die funktionellen Zusammenhänge und das Machbare zu gewinnen, von Bedeutung:

Durch die Korrektur sowie die nachfolgenden Eingriffe in das Flußregime verloren insbesondere die geschiebeführenden, alpinen Flüsse einen erheblichen Teil ihrer bis dahin flußtypischen Merkmale und Eigenschaften. Mit dem Verlust einher ging vor allem die Veränderung der Geschiebetransportvermögens und mittel- bis langfristig die der Geschiebefrachten. Den Beweis dafür kann sowohl die Flußgeschichte anhand zeitgenössischer Berichte als auch die naturwissenschaftliche Betrachtung liefern. Wie auch immer der Fluß heißt, der seinerzeit korrigiert wurde, die Methode des Ausbaues war stets die gleiche. Nämlich Abfluß- und Geschiebetransportvermögen so zu vergrößern, daß die Gewässer trotz der damals hohen Geschiebefrachten und ihrer Zurückdrängung aus den Retentionsräumen, zur Flußbetteintiefung gezwungen waren. Hier ist im übrigen auch der Beweis zu finden, daß es trotz anfänglich noch großer, reeller Geschiebefrachten einerseits zwar zu gewaltigen Kiesversetzungen kam, anderenorts aber auch massive Flußbetteintiefungen auftreten konnten.

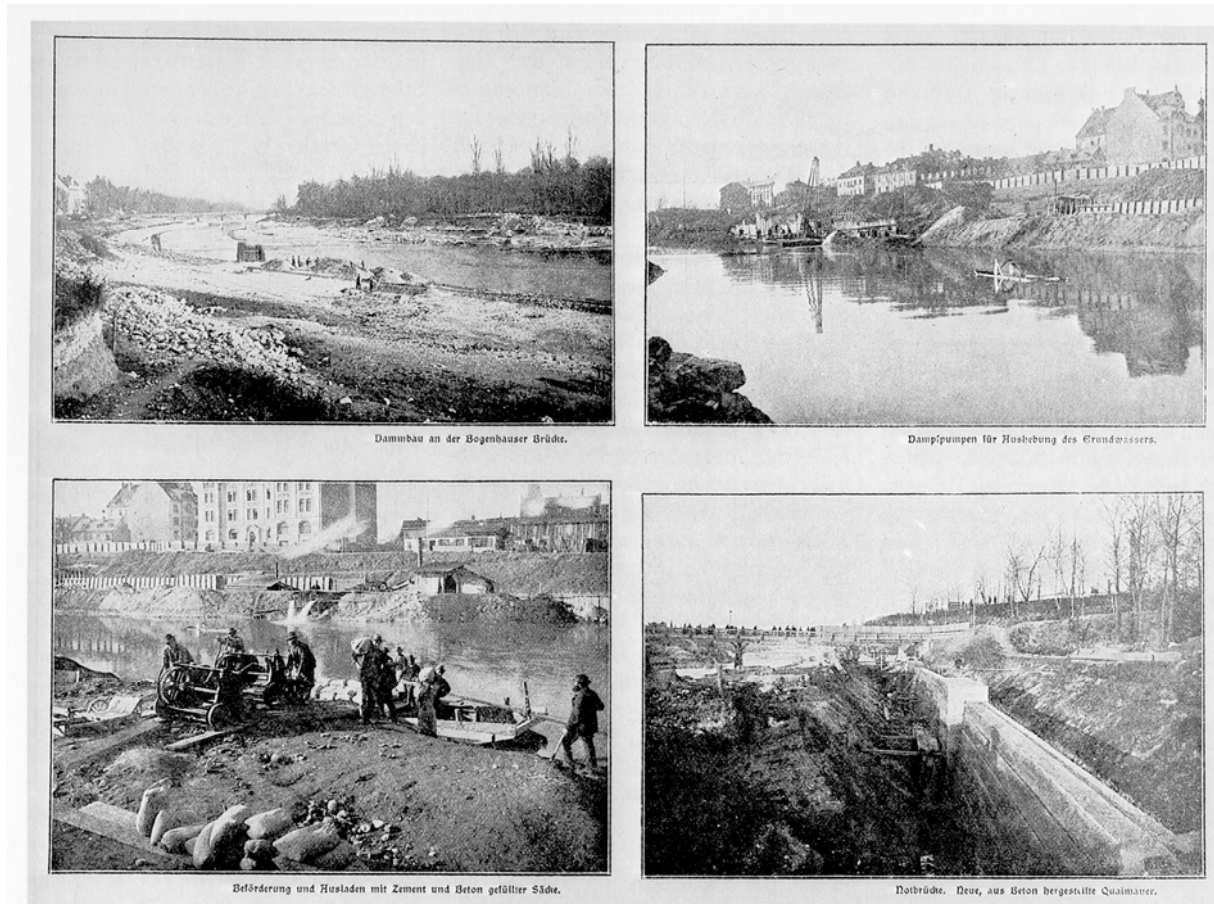


Bild: Die Isarkorrektion in München um 1900



Bild: Einengung und Streckung der Isar bei Anger noch 1958

Die Veränderung des natürlichen Regelkreises trat äußerlich, wie von der Isar bereits im flußgeschichtlichen Abriß berichtet wurde, meist so in Erscheinung (s. Anlage 17) wie nachfolgend ein zeitgenössischer Bericht zur Drauregulierung aus dem Jahre 1880 [38] zitiert: „*Das System der Hochwasserdämme besteht in der Wesenheit darin, daß der Fluß zwischen geschlossenen, den letzten Hochwasserstand überragenden Dämmen weitergeführt und dadurch das angrenzende Land vor Überflutungen geschützt wird. (...) Das andere Bausystem, das in Frage kam, ist zwar nicht das einfachere, aber wirksamere und jedenfalls weit billigere System der Mittelwasserbauten. Hier handelt es sich darum, durch Längen- und stützende Querbauten in der Höhe der Mittelwässer einen geregelten Lauf, ein geschlossenes Gerinne zu geben und den Fluß durch kombinierte Benützung aller auf seinen Lauf Einfluß habenden Faktoren wie, Tiefe, Breite, Gefälle, Wassermenge, zur eigenen Mitwirkung bei der Ausbildung seines Gerinnes, zu fortwährend Geschiebeabfuhr und Eintiefung seines Bettes zu zwingen. (...)*“. Zeitgleich mit der damaligen Drauregulierung wurden im Bereich der Seitenzubringer umfangreiche Maßnahmen zur Verminderung des Geschiebeeinstoßes getätigt.

Mit der Festlegung der Gerinnebreite auf 47 m (Normalprofil bezogen auf die MQ-Führung) und Durchstichen, die zu Gefällserhöhungen führten, gelang es, die weitere Auflandung der Drau durch Erhöhung der Schleppspannungsverhältnisse hintan zu halten. Da man mit den ersten Regulierungen keineswegs das Auslangen fand, wurde 1929 ein Generalausbauprojekt erstellt. Im Bericht zum Generalausbauprojekt (Draubauleitung, 1929) wird unter anderem darauf hingewiesen, daß weiterhin die Notwendigkeit besteht, „*durch Fortsetzung des systematischen Ausbaues derselben, einen endgültigen Zustand herbeizuführen, der die Drauwässer mit ihrer großen Geschiebeführung zum Segen des Landes, seiner Bevölkerung und seiner Landwirtschaft zum Abfluß bringt.*“ Trotz der optimistischen Prognosen von 1929 kam es besonders bei den Katastrophenhochwässern der Jahre 1965 und 1966 zu großen Verwüstungen durch Wasser, Geschiebe und Treibzeug. Derartig extreme Ereignisse führten zu starken Geschiebeeinstößen durch die Zubringer, wobei im Einzelfall durchaus Hindernisse für die Drau entstehen können. Dennoch hat sich die Situation im Vergleich zur Jahrhundertwende, aber auch im Vergleich zu den dreißiger Jahren grundlegend geändert. Waren es früher eher Geschiebeüberschüsse, die große Probleme bereiteten, so sind es heute vielfach Eintiefungstendenzen, die Anlaß zu Sorge bereiten. Die Eintiefungstendenzen wurden neben der Verringerung der wirksamen Sohlbreiten auch durch Geschiebeentnahmen und Baggerungen verursacht.

Der eingetretene Wandel vom natürlichen zum veränderten Regelkreis - jetzt wieder auf die hier zu behandelnde Isar bezogen - kann aber auch anhand der bisher erarbeiteten, wissenschaftlichen Betrachtungsweise dokumentiert werden:



Bild: Idealvorstellung der unberührten Flußlandschaft der Isar (Zeichnung: Geipel)

Die unberührte, natürliche Isar folgte einem Regelkreis, der sich auch mit der oben angeführten Geschiebetransferformel interpretieren läßt. Zur Unterscheidung des natürlichen vom veränderten Regelkreis soll eine modifizierte Schubspannungsgleichung eingeführt werden. Statt

$$\sigma_w = \sigma_c + \sigma_g$$

ist zu schreiben:

$$\sigma_N = \sigma_{C,N} + \sigma_g$$

Die Gleichung drückt aus, daß die mit $r \alpha$ reduzierte wirksame Schubspannung

$$\mathfrak{R}_N = g_w \cdot g \cdot h_w \cdot J$$

im Gleichgewicht steht mit der Grenzschubspannung und einem Konstantenwert von $A = 0,047$

$$\mathfrak{R}_c = 0,047 (g_s - g_w) \cdot g \cdot d_m$$

bei der die Flußbettsohle gerade noch in Ruhe bleibt einschließlich der für den Geschiebetrieb zur Verfügung stehenden Schubspannung:

$$t_g = 0,25 r_w^{1/3} m_g^{2/3}$$

Während beim natürlichen Alpenfluß der Großteil des Hochwassers in den Talauen abfließt, der Retentionsfaktor also nur ein Bruchteil von 1 ist, zieht das begradigte oder gestreckte Korrektionsbett mit zunehmender Eintiefung den gesamten Hochwasserabfluß an sich. Der Retentionsfaktor wird damit gleich 1.

Im regelmäßig geformten Korrektionsbett findet der gesamte Abfluß über die Sohle statt. Die Formwiderstände sind im Vergleich zu denen in der Talaue bei ausuferndem Abfluß relativ gering. Der diesbezüglich eingeführte Reduktionsfaktor, ausgedrückt durch

$$a = \left(\frac{Q_s}{Q} \right) \left(\frac{k_s}{k_r} \right)^{3/2}$$

im natürlichen Fluß meist < 1 , nähert sich im regelmäßigen Querschnitt diesem Wert asymptotisch.

Die im natürlichen, vorwiegend gewundenen Lauf verhältnismäßig geringe wirksame Schubspannung \mathfrak{R}_N wird im korrigierten Flußbett infolge der größeren Wassertiefen und dem größeren Gefälle wesentlich gesteigert. Demgegenüber ist die Grenzschubspannung \mathfrak{R}_c des neuen Flußbettes besonders dann, wenn die meist bestehende Sohlenabpflasterung der Musterstrecke unterschritten wurde, kleiner als die des natürlichen Flußlaufes.

$$\alpha_K > \alpha_N \quad \alpha_{C,K} < \alpha_{C,N}$$

Während die Hochwasserabflüsse im Naturzustand nach Bedarf auf die aufbereiteten Geschiebevorräte in den Altläufen und -rinnen sowie auf den Geschiebeschüttplätzen (Griese) zurückgreifen und ihr jeweiliges Geschiebetransportvermögen mühelos sättigen können, steht im korrigierten, beidufriq verbauten Korrektionsbett nur die beschränkte Restgeschiebezufuhr und allenfalls die Flußsohle zur Verringerung eines permanenten Sättigungsdefizites zur Verfügung.

Von dem natürlichen, das Flußtal in meist voller Breite beherrschendem Regelkreis bleibt nur ein künstlich geschaffener, auf die Breite des Korrektionsbettes beschränkter Kreislauf zurück. Dieser folgt nunmehr der Beziehung.

$$\alpha_K = \alpha_{C,K} + \alpha_g$$

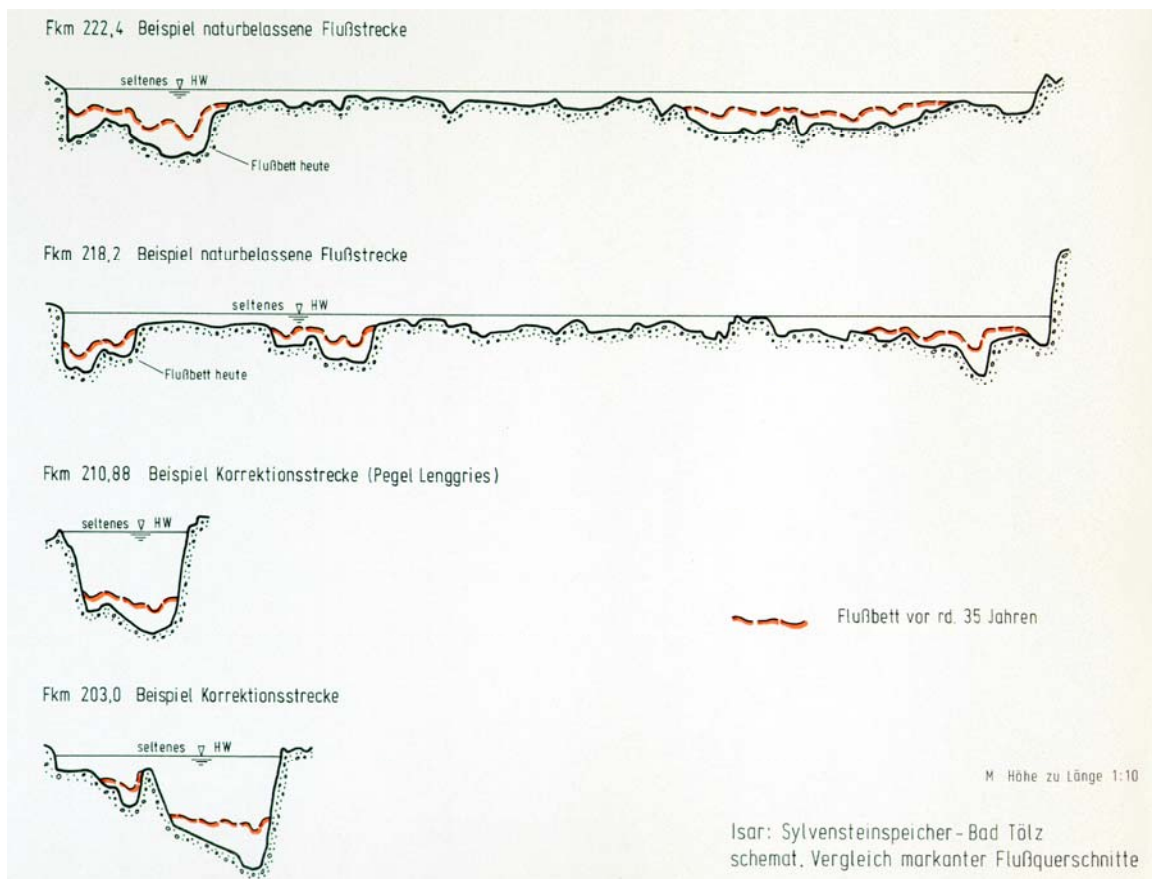


Bild: Vergleich naturbelassenes Flußprofil mit Korrektionsprofil

Nach Auflassung der Geschiebeschüttplätze (sogenannte Griese von Fleck über Lenggries bis Bad Tölz und weiter flußabwärts) durch die zu verschiedenen Zeiten ausgeführten Korrekturen, den Wasserkraftausbau der Isar, letztlich durch die Errichtung des Sylvensteinspeichers und der Staustufe Bad Tölz, wird die zur Sättigung des Transportvermögens so wichtige Geschiebezufuhr aus dem Oberlauf zunehmend unterbunden.

Aus der oben genannten Gleichung entfällt deshalb das Glied für den Geschiebetrieb, der künstliche Regelkreis wird noch kleiner:

$$\mathfrak{R}_K > \mathfrak{R}_{CK}$$

Folglich kommt es im Korrektionsbett solange zur Eintiefung bis das gesteigerte Transportvermögen durch Entnahme von Feststoffen aus dem Flußbett sich entweder halbwegs gesättigt hat oder bis sich die Sohle mit

$$d_{m,erf} \cong \frac{t_k}{0,047 (r_w - r_s) g}$$

abgeflastert hat und sich das Grenzgefälle

$$J_c = \frac{t_{c,k}}{r_w g R_s}$$

bei der erforderlichen Grobkorngröße eingependelt hat. Beispiel einer Ausseigerung des feineren Kornes bis hin zu einer grobkörnigen Sohlabpflasterung ist die Flußstrecke zwischen Sylvensteinspeicher und Bad Tölz. Reicht die Kiesauflage infolge der Eintiefung nicht mehr aus, so wird sie spätestens vom nächsten größeren Hochwasser bis auf die erodible Unterlage (Sohldurchschlag in Seeton, Flinz oder Grundmoräne) abgetragen. Beispiel: Die Isar nördlich von München (von der Tivolibrücke bis Achering). Der Widerstand dieses Sohlsubstrates ist dann gegen Null anzusetzen:

$$\mathfrak{R}_k > \mathfrak{R}_{c,k} > 2 \approx 0$$



Bild: Beispiel einer Sohlenpanzerung



Bild: Beispiel Sohlendurchschlag durch die quartäre Flußbettsohle in erodible Schichten

Die ursprüngliche Gleichgewichtsbedingung ist damit hinfällig geworden und auch der künstliche Regelkreis ist zusammengebrochen. An seine Stelle tritt eine im Talweg wirkende

Schubspannung, die grob ausgedrückt nurmehr von der größtmöglichen Wassertiefe und dem Gefälle beim Hochwasserabfluß abhängig ist.

$$\tau_{\max} = h_{\text{TW}} \cdot J_{\text{HW}}$$

Wir haben aus dieser Betrachtung die Tatsache zur Kenntnis zu nehmen, daß die Flußabschnitte der Isar verschiedene Stadien des veränderten Regelkreises aufweisen, so daß auch hier kein Kontinuum im Flußlauf gegeben ist. Darüberhinaus sind örtlich künstliche Regelglieder eingefügt, um dem oben beschriebenen Zusammenbruch des Regelkreises, beispielsweise durch sohlstützende Maßnahmen zu begegnen oder um Wasserkraft durch Gefällsminderung bzw. Stau zu gewinnen. In beiden Fällen wird – zumindest lokal - der Tiefenerosion entgegengewirkt. Andererseits beeinträchtigt der Aufstau zum Zwecke der Wasserkraftgewinnung die Geschiebedurchgängigkeit mehr oder weniger, eine der Grundvoraussetzungen für einen kontinuierlichen Geschiebetrieb. In den Stauräumen lagert sich zwar die Geschiebefracht ab, sie steht aber damit bei Bedarf d.h. bei geschiebeführenden Abflüssen nicht mehr mit der gleichen Bereitschaft und Intensität zur Verfügung wie ehemals die Geschiebevorräte in den Altläufen und –rinnen sowie die auf den Geschiebeschüttplätzen (Griesen)- kurz gesagt wie in den früheren Umlagerungsstrecken. Sofern überhaupt eine Weiterfrachtung durch die gestauten Flußstrecken mit der fließenden Welle stattfindet, ist dies nurmehr bei extremen seltenen Hochwasserabflüssen und dann meist nur mit selektiertem feinerem Geschiebe der Fall. Um die Schubspannungen auf der Flußsohle durch den Geschiebetrieb abdecken zu können, besteht aber bereits bei wesentlich kleineren Hochwasserabflüssen, ein Geschiebebedarf, der aber nicht zur Verfügung steht.

8.3 Gestaltungsvorgänge und die Einschätzung von Gegenmaßnahmen

Mittels weitergehender Naturbeobachtung, experimenteller Messungen und Versuchen wird schon lange danach gestrebt, Aufschluß über das Wesen der Gerinnebildung insbesondere des verzweigten Flußtyps zu gewinnen und darüber, wie es zur Erscheinungsform des verzweigten Flusses eigentlich kommt. Speziell die Versuche gingen von der einfachen Tatsache aus, daß ein Fluß sich verzweigt, in dem er eine oder mehrere inselförmige Hindernisse umfließt.

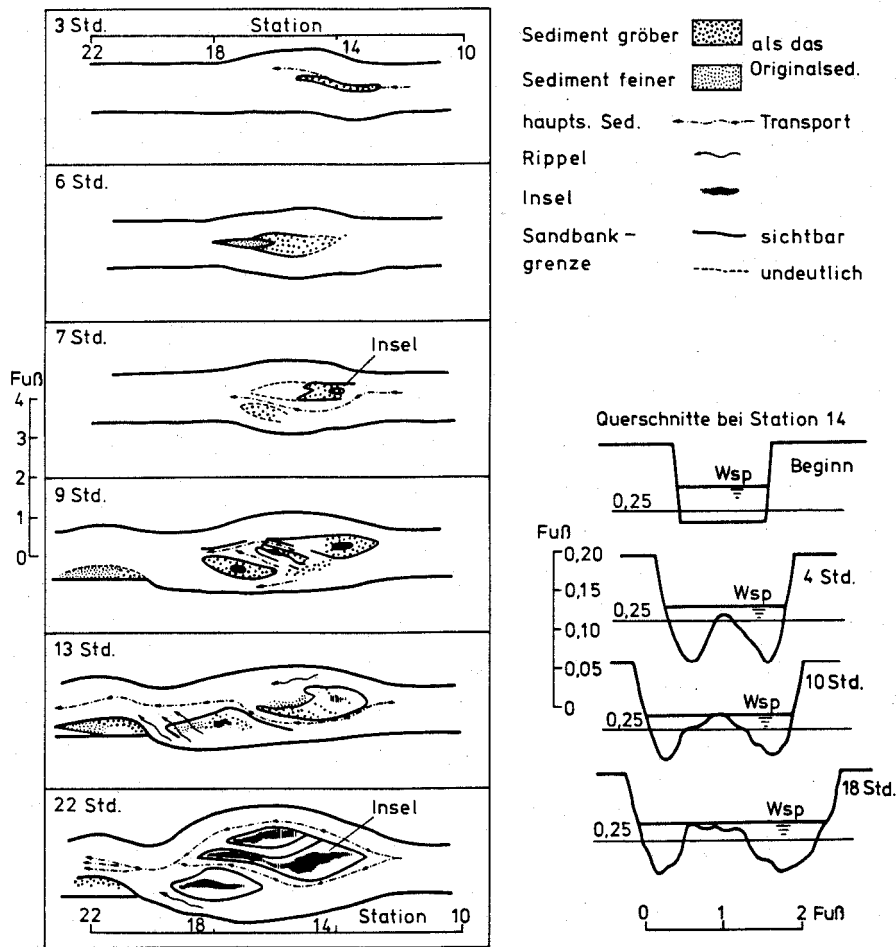


Bild : Entstehung von Flußverzweigungen im Experiment (nach LEOPOLD & LANGBEIN)

Dabei konnte nachgewiesen werden, daß dieser Vorgang das Initialstadium jeder Teilung bzw. Verzweigung ist und zwar dann, wenn Abfluß, Geschiebefracht und Gefälle (siehe Kap. 8.2.1- System der Bettbildung) sie erzwingen und im Querschnitt entsprechend freie Fläche zur Verfügung steht. [56].

Die früher im wesentlichen vom Klima bedingten Schwankungen der Abflüsse und der Feststoffführung der Flüsse, sind durch den Menschen schließlich zunehmend beeinflusst worden. So brachte die mittelalterliche Rodungsperiode, die im 13. bis 14. Jahrhundert weitgehend abgeschlossen war – einschließlich der flächenhaften Almerschließung – eine Zeit verschärften Abflusses und verstärkten Geschiebetransportes, während es im Alpenvorland zu einer verstärkten Ausbildung der Verzweigungs- und Umlagerungstrecken der Flüsse kam.



Bild: Partie an der Isar bei Lenggries, L. Rottmann 1877

In diesen Flußlandschaften dominierten offene Kiesflächen. Dies entspricht dem von WIEBEKING 1811 (Kap. 8.1) beklagten Entwicklungszustand der alpin geprägten Hauptflüsse Bayerns, in welchen sich durch eine übermäßige Geschiebezufuhr die Flußbetten fortschreitend aufhöhten und die Hochwasser das umliegende Land immer öfter überfluteten.

Der ursprüngliche Flußlauf ist heute infolge der Veränderungen während der Korrekturen im vergangenen Jahrhundert kaum noch zu erkennen. Nur auf alten Karten ist der frühere Verlauf noch verzeichnet, oft dazu auch der neue stark gestreckte Lauf, ein Vergleich an dem sichtbar wird, wie sehr die Flußlandschaft umgestaltet wurde. Die Umbildung verzweigter Flüsse durch Begradigung oder Geschieberückhalt war und ist ein europaweit anzutreffendes Phänomen. Störungen einer verzweigten Flußstrecke können sowohl durch Verringerung als auch durch ein Übermaß eines der beiden Grundparameter - Abfluß und Geschiebe - eintreten. Besonders ins Auge fällt in diesem Zusammenhang eine Veränderung der Geschiebezufuhr. Der Fluß reagiert hierbei sehr empfindlich und sehr nachhaltig. Ein Umstand, der im Hinblick auf

die Möglichkeiten einer anthropogen zu betreibenden Geschiebemanagement zur Vorsicht in jeder Beziehung mahnt.

Wird der Geschiebezulauf aus irgendeinem Grund geschwächt, verlieren verzweigte Flüsse rasch ihre wesentlichen Merkmale. Die Tiefenerosion – seltener die Seitenerosion – gewinnt im Wettstreit der bettbildenden Kräfte die Oberhand und an die Stelle des Flechtwerkes verästelter Arme und Rinnen tritt ein gestrecktes Gerinne, das sich in den Untergrund eingräbt und die Reste der früheren Nebenrinnen trocken fallen läßt. Ein Beispiel für eine solche Umbildung eines verzweigten Flusses zum gestreckten Lauf bietet die Isar in der Ascholdinginger- und Pupplinger Au, einem Gebiet, das vor einigen Jahrzehnten noch zu den letzten von Menschenhand kaum berührten „Wildflußlandschaften“ des bayerischen Oberlandes gezählt werden durfte.

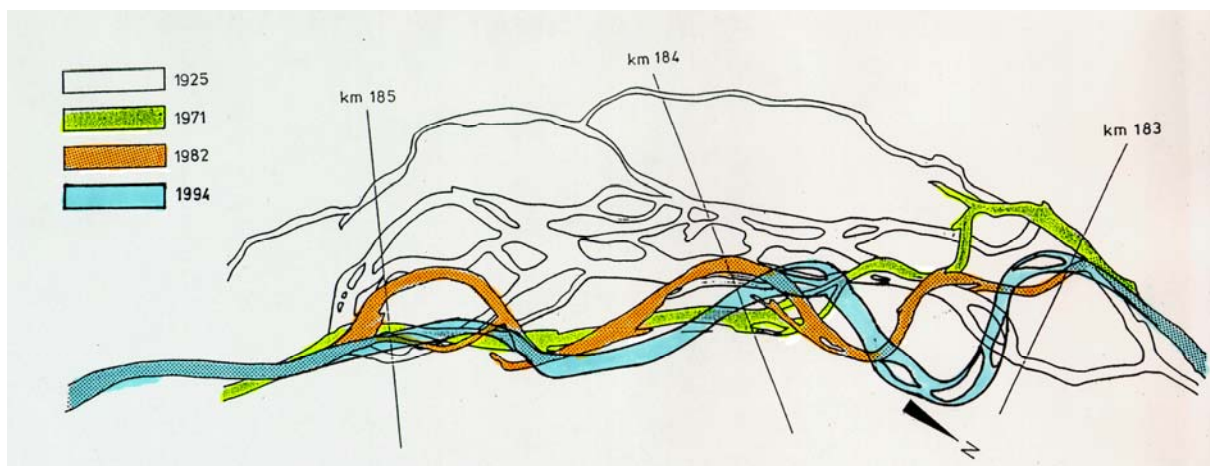


Bild: Beispiel für die Umbildung eines verzweigten Flusses zum gestreckten Lauf

Das mehrere hundert Meter breite Bett war von vielen Einzelarmen und Rinnen durchzogen. Auf seitlich anschließenden flachen Terrassen, die während des langsamen natürlichen Tieferhaltens des Flusses in der Nacheiszeit entstanden und selten oder nicht mehr überflutet wurden, siedelte eine vielfältige Auenvegetation. Im Laufe von rd. 50 Jahren hat sich ein Einzelgerinne herausgebildet, welches die Auen durchzieht, während die Nebenarme zusehends verkümmerten. Ein weiteres Beispiel einer ähnlichen Entwicklung ist die unkorrigiert gebliebene Flußstrecke zwischen dem Sylvensteinspeicher und der Jachenmündung.

Ursache für den grundlegenden Gestaltwandel waren die durch Großwasserbauten im Oberlauf der Isar eingeleiteten Regimeänderungen, d. h. das Initiieren eines veränderten Regelkreises. Die Folgen, der verminderte Geschiebezulauf und das Ausbleiben großer Hochwässer, unterbinden die zum Fortbestand der Flußverzweigungen notwendige Geschiebeumlagerung. Die Isar gräbt sich, um ihr Transportvermögen auszulasten, in ihr Bett ein und bildet ein gestrecktes Hauptgerinne, während die Seitenarme austrocknen und zusehends verkümmern. Gleichzeitig rückt die Weiden-Tamariskenflur auf die Kiesbänke vor und verfestigt sie. Allein angesichts der initiierten Potentiale der letzten 150 Jahre, die unter gewaltigem Aufwand Bayerns Flüsse vom natürlichen Zustand in den gegenwärtigen Zustand überführt haben, dürfte klar werden, daß der umgekehrte Weg nämlich der Rückbildung ohne ähnlich große Anstrengungen, welcher die Wiederbeschaffung des natürlich vernetzten Systems der Bettbildung zum Ziel haben müßte, einschließlich einer Neubegründung der den Gewässern seither abgerungenen Freiräume, realistischerweise ausgeschlossen werden muß. Die Behandlung der geschiebeführenden Flüsse, die aus dem morphologischen Gleichgewicht geraden sind, ist aber auch ohne diese Erkenntnis ein mit Konfliktstoff beladenes Problem.

Zu glauben, man könnte allein durch künstlich zugegebenes Geschiebe, also sozusagen durch ein in den gestörten Regelkreis eingesetztes „Regelglied Geschiebe“, natürliche Zustände, wie etwa Flußverzweigungen dauerhaft wiederbegründen, dürfte ohne die grundsätzliche Änderung der heutigen Randbedingungen ebenfalls ein zum Scheitern verurteiltes Unterfangen sein. Schlichtweg mangelt es der künstlichen Geschiebezugabe bereits an der Nachahmungsmöglichkeit des in der Natur auf komplexe und vielfältige Weise stattfindenden Geschiebeeintrags. Desweiteren fehlt es, abgesehen von der generellen Wiederherstellung gerinnegeometrischer Voraussetzungen, an der natürlich gegebenen früheren Durchgängigkeit, um damit auch nur im Ansatz erfolgreich sein zu können.

Der natürliche Fluß ufert bekanntlich bei Hochwasser schon frühzeitig aus und entlastet damit sein Bett; es entstehen Schubspannungen, die zwar zur Umlagerung, aber nicht zur anhaltenden Eintiefung in den verzweigten Flußbetten führen. Beim regulierten und bedeckten Fluß wird das Hochwasser auf einen schmalen Raum zusammengedrängt, wobei große Schubspannungen an der Sohle und am Uferböschungsfuß auftreten und ein entsprechend großes Geschiebetransportvermögen erzeugen. Großes Geschiebetransportvermögen auf der einen Seite und ungenügender Geschiebezulauf auf der anderen Seite, führen zu einem Energie- bzw.

Transportüberschuß. Der Fluß greift, wie schon ausgeführt, seine eigene Sohle an und tieft sich ein. Der Wasserbau steht jetzt vor der Aufgabe, den gestörten Regelkreis zumindest durch den Einbau eines oder mehrerer neuer Regelglieder zu stabilisieren.

Gegen die aus technischer Sicht wirkungsvollste, weil auch dauerhafte Lösung, nämlich die einer Stauregelung, werden aber heute vielerlei Gründe ins Feld geführt. Diese Methode wird hauptsächlich deshalb als naturfern kritisiert, weil sie freie Fließstrecken verkürzt und den Fließgewässercharakter in den Stauräumen verändert. Um stattdessen die Tiefenerosion zu bekämpfen und gleichzeitig freie Fließstrecken zu erhalten, werden heute andere Ersatzlösungen in die öffentliche Diskussion gebracht. Diese lassen sich nach den in Kap. 8.8.2 (Das Gleichgewicht und die Proportionalität in der Bettbildung) diskutierten Möglichkeiten einteilen in:

Methoden zur Erhöhung des Sohlenwiderstandes:

- Sohlenpanzerung oder Sohlenberollung durch Steinmaterial in geschlossener oder offener Bauweise
- Sohlengurte oder Sohlschwellen
- künstliche Geschiebezugabe

Methoden zur Verringerung des Fließgefälles bzw. der Fließgeschwindigkeit:

- Flußbettaufweitung
- Verlängerung von Flußschleifen (Mäander)
- Blocksteinrampen größerer Bauhöhe

Das Wunschdenken bei den diskutierten Lösungen geht dabei nicht selten vor den technischen und morphologischen Sachverstand. Künstlich hergestellte Mäander in einem ursprünglich verzweigten Fluß sind ebenso wenig natürlich, wie ein gestreckt ausgebautes Korrektionsgerinne. Was, wenn in der Örtlichkeit die geomorphologischen Bedingungen für eine neue Lauftrasse nicht stimmen? Wie und wo kann man das durch Begradigung verlorene Gefälle oder das in einer gewandelten Nutz- und Kulturlandschaft nicht mehr frei verfügbare Geschiebe in großer Menge und auf Dauer herbekommen?



Bild: Wildfluß in der Kulturlandschaft – Isar südl. des Tierparks in München

Die Wirksamkeit der genannten Methoden ist mit Ausnahme der künstlichen Geschiebezugabe auf eine mehr oder weniger kurze Fließstrecke beschränkt. Der künstlichen Zugabe wiederum wird allein schon durch mangelnde Geschiebedurchgängigkeit, ohne auf die Mengenproblematik einzugehen, vieles von ihrer möglichen Wirkung geraubt. Einem Fluß, der seinen natürlichen Regelkreis verloren hat, helfen auch sogenannte sanfte Methoden oder Naturheilverfahren nicht mehr dazu, wieder wirklich zum „Wildfluß“ zu werden.

Was wir primär tun müssen, ist, den gestörten Regelkreis wieder soweit zu stabilisieren, damit weiter fortschreitender und irreversibler Verlust an restlicher Naturnähe verhindert wird. Aber auch hier kommen wir an entsprechend bemessenen technischen Lösungen, die im Einklang mit den Naturgesetzen stehen, nicht vorbei. Außerdem kommen wir, wegen des man-

gelnden Kontinuums im Flußregime der Isar, auch an einer Kombination von Methoden bzw. Maßnahmen nicht vorbei, um darüberhinaus wieder etwas mehr Naturnähe zurückzugewinnen (Kolloquium 1987 [66].



Bild: Beispiel Ortsdurchgang von Freising

Ein grundlegenden Konflikt resultiert aus der Tatsache, daß ältere, meist wenig naturnah ausgebaute Flußstrecken durch ihr Umfeld längst fixiert worden sind. Vor allem Bemühungen um einen naturnahen Umbau, wie etwa Flußbettaufweitungen, Uferrückbaumaßnahmen und die Verlängerung von Flußschleifen können nicht mehr realisiert werden, wenn der ehemalige Abflußraum stark eingeeignet ist, die Bebauung fast bis an die Ufer heranreicht und der Talboden für zahlreiche Nutzungen erschlossen worden ist. Aus der vorgegebenen Situation hoher

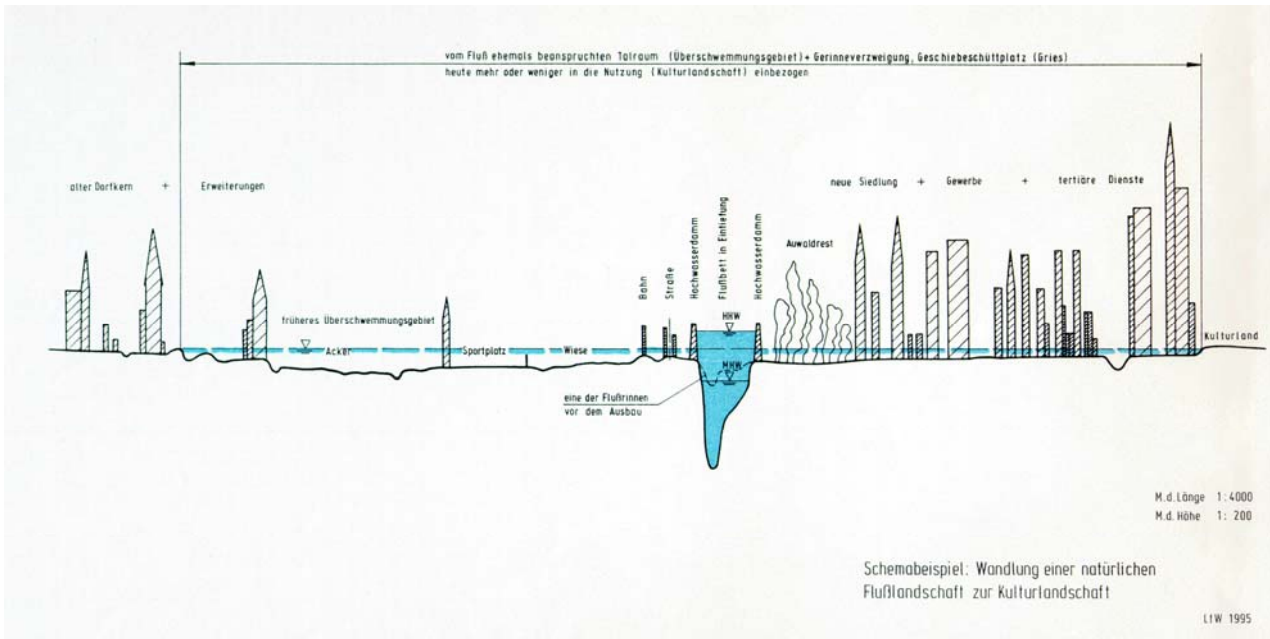


Bild: Häufig tiefgreifender Wandel einer Flußlandschaft – schematisches Beispiel

Schutzwürdigkeit der bestehenden Nutzungen wird von den Beteiligten die Forderung nach ebenso hoher Sicherheit vor Überflutung, sei es durch ausuferndes Wasser oder durch ansteigendes Grundwasser und Qualmwasser abgeleitet. Eine solche Situation kann zum Dilemma werden, wenn eine flußaufwärts zur Minderung des Geschiebedefizites, d.h. zur Bekämpfung einer dort vorhandenen Tiefenerosion in den Flußlauf eingebrachte Geschiebezugabe, sich flußabwärts infolge anderer gerinnegeometrischer Verhältnisse vermehrt ablagern würde. Dies ist zwar ein ökomorphologisch sehr begrüßenswerter Vorgang. Für die in der Nachbarschaft des Flusses siedelnden Beteiligten wäre es jedoch, wenn deren nicht mit einer grundwasserdichten Wanne ausgestatteten Häuser gegebenenfalls durch steigende Grundwasserstände in Mitleidenschaft gezogen würden, sehr bald schon erkennbar die Ursache für ihren Schaden. Insbesondere dann nämlich, wenn das im Flußbett hohe Wasserstände erzeugende Hochwasser sich verlaufen hat und an dessen Stelle im Flußbett, für die Betroffenen deutlich sichtbar, frisch umgelagerte Kiesbänke treten. Mit solchen Problemen ist bei einer den Flußlauf linienhaft erfassenden Geschiebewartung zu rechnen.

Es wurde versucht darzulegen, daß einer intensiv betriebenen Geschiebewartung durch eine Reihe von Zwängen und Konflikten auch hinsichtlich ihrer Effektivität Grenzen

gesetzt sein werden. Ziel muß es deshalb sein, besonders anfänglich eine Geschiebewartung behutsam und umsichtig ins Werk zu setzen. Zur Steigerung der Effektivität, der Wirksamkeit und, um nach Möglichkeit auch eine naturnahe Umgestaltung mit Neubegründung ökologischer Systeme damit einzubinden, ist nur das Konzept erfolgversprechend, das sich nicht nur auf die Geschiebeeinbringung ins Gewässer beschränkt, sondern alle vorgeannten Methoden, die zu einer Stabilisierung und womöglich Verbesserung im veränderten Regelkreises der Isar im untersuchten Bereich führen könnten, miteinander kombiniert.

Ein solches Konzept geht auch völlig konform mit den im „Leitbild und Entwicklungsziele für die Isar von der Landesgrenze bis Landshut“ aus naturschutzfachlicher und wasserwirtschaftlicher Sicht vorgeschlagenen Maßnahmen. Die Bemühungen sind darauf zu richten, den unter den vorgegebenen Randbedingungen möglichen Spielraum einer qualitätssichernden Geschiebewartung auszuloten und dafür dann das notwendige Instrumentarium zu entwickeln. Zur Feststellung der praxisbezogenen Randbedingungen und Voraussetzungen dienen die zu diesem Zweck bereits durchgeführten Naturversuche, die ausgearbeitet vorliegenden flußmorphologischen Begutachtungen, die Bewirtschaftungsstrategien der Betreiber von Wasserkraftanlagen und die von Gewässerunterhaltungspflichtigen im Einzugsgebiet der Isar. Soweit notwendig werden in den nachfolgenden Kapiteln diese Sachverhalte noch vertieft, die Erkenntnisse bewertet und zusammengefaßt.

9. Geschiebetransportvermögen und die Effektivität einer künstlichen Geschiebezugabe

9.1 Vorbemerkungen

Aufgabe der in Kap. 4 beschriebenen Naturversuche war es über die praktische Umsetzung der künstlichen Geschiebezugabe Erkenntnisse zu gewinnen, insbesondere über

- das Maß des Konfliktpotentials bei Organisation und Durchführung der künstlichen Geschiebezugabe,
- den Aufwand und die Logistik einschließlich von Zeit- und Kostenfaktoren,

- soweit möglich über die Eignung und den Mengenbedarf der unterschiedlich zur Verfügung stehenden Geschieberessourcen sowie deren Einfluß auf Verfrachtung, Ablagerung und Bettstabilisierung.

Während die wesentlichen Punkte dieses Aufgabenkataloges erfüllt d.h. abgeklärt werden konnten, war dies bezüglich des absoluten Beitrags der getesteten Geschiebezugaben zu Akkumulation und Bettstabilisierung nicht eindeutig möglich. Dies lag bei den ersten beiden Zugabeversuchen an den relativ geringen Materialmengen (5500 m^3 und 7800 m^3), deren Beitrag zur Bettbildung in der Meßtoleranz der geodätischen Flußaufnahme lag und deshalb nicht nachgewiesen werden konnte. Beim 3. Zugabeversuch ($17\,000 \text{ m}^3$) brachte das außergewöhnliche Hochwasserereignis von Pfingsten 1999 eine solche Dynamik in die bettbildenden Vorgänge, so daß eine Trennung von Ursache und Wirkung der rd. $17\,000 \text{ m}^3$ auf die Gestaltungsvorgänge nicht eindeutig möglich ist. Allerdings gelang es, im Zuge der Umsetzung von rd. $120\,000 \text{ m}^3$ Geschiebematerial in das Unterwasser des Oberföhringer Wehres, die in der anschließenden Flußstrecke anstehenden Verfrachtungs- und Ablagerungsvorgänge auch 1999 durch geodätische Flußaufnahmen zu beobachten und zu bewerten. Nähere Angaben hierzu enthält Kap.7 (Stand der Gestaltungsvorgänge in den einzelnen Flußabschnitten). Allgemein ist für den von der Geschiebeumsetzung profitierenden Flußabschnitt der mittleren Isar von München bis Landshut festzuhalten, daß die massive Geschiebeumsetzung im Zeitraum von rd. 1-2 Jahren zu einer deutlichen Anhebung der Flußbettsohle geführt hat – allerdings nur in der durch sohlstützende Querbauwerke gesicherten Flußstrecke von Oberföhring bis Achering. In den anderen, als flußmorphologisch labil zu beurteilenden Laufstrecken, die also in der Vergangenheit, besonders zu Zeiten stärker nachlassender Geschiebezufuhr, eher Eintiefungstendenzen neigten, zeigte sich eine deutliche Dynamik in der Flußbettstruktur in Form eines kurz aufeinanderfolgenden Wechsels von Auf- und Abträgen. Ein Zustand, den man bei einer ausgeglichenen oder leicht positiven Massenbilanz bereits als temporär stabil bezeichnen könnte. In der unmittelbar an die Acheringer Sohlstützschwelle anschließenden Flußstrecke ist zwar auf eine Länge knapp 1,5 km seit etwa 1998 eine leichte Stabilisierung der Flußsohle eingetreten, in der darauffolgenden restlichen Strecke bis Freising hält der Abtrag der Flußsohle jedoch weiter an.

Wie erläutert, sind die im vernetzten System der Bettbildung in diesem Flußabschnitt der Isar maßgebenden Regelglieder – Geschiebe und Abfluß - zeitabhängig starken Schwankungen

unterworfen. Aus diesem Grund besitzt der auf eine singuläre Geschiebeumsetzung folgende Status der Bettbildung ausgesprochen temporären Charakter. Dieser resultiert aus der einfachen Tatsache, daß die Massenbilanz für den nicht sohlgestützten Flußlauf dann Verluste aufweist, wenn der bei bettbildenden Abflüssen in Gang kommende Geschiebezulauf von oberhalb her zeitweise ausbleiben würde. Auch das außergewöhnliche Hochwasser von Pfingsten 1999 hat diesen Sachverhalt wieder einmal eindrucksvoll demonstriert.

9.2 Ermittlung des Geschiebetransportvermögens

Für die an der oberen Isar durchgeführten Geschiebezugaberversuche konnte – wie schon erläutert – deren spezifischer Beitrag zur Bettstabilisierung nicht mit vergleichbaren Geschiebemengen wie an der mittleren Isar durch Kontrollmessungen nachgewiesen werden. Im Zusammenhang mit der Erstellung einer Studie über die Geschiebebewirtschaftung dürfte es aber von allgemeinem Interesse sein, die Effektivität von Geschiebezugaben vor allem in Hinblick auf die von ihnen erhoffte Verminderung des Geschiebetransportvermögens im Flußlauf anhand einer rechnerischen Abschätzung näher beschreiben zu können.

Bereits in Kap. 8 wurden die Grundlagen für das System der Bettbildung und ihrer rechnerischen Abschätzung entwickelt. Der Wunsch nach einer Quantifizierung der Flußbettstruktur sowie der Geschiebe- und Frachtdefizite zu sanierender Fließgewässer anhand einfacher Zahlen ist zwar verständlich, in Anbetracht der Komplexität des Flußregimes einerseits und der flußmorphologischen Prozesse andererseits aber problematisch, da sich leicht Ergebnisse einstellen, die ohne die notwendige fachliche Kompetenz falsch interpretiert werden. Dies liegt vor allem daran, daß

- die Gestaltungsvorgänge im Fluß mit Hilfe von Daten, die aus statistisch gewonnenen Mittelwerten abgeleitet sind, beschrieben werden. Die Vorgänge in der Natur schwanken jedoch im allgemeinen um solche Mittelwerte und können im Extremfall (Naß oder Trockenjahr) sogar ein Mehrfaches oder auch nur einen Bruchteil der als statistisches Mittel gewonnenen Daten erreichen. Der Grund, ihr zeitliches Auftreten nicht beschreiben zu

können liegt darin, daß die die Bettbildung bewirkenden Faktoren stochastisch auftretende, zufällige Ereignisse sind, für deren Eintreffen eine seriöse Prognose nicht möglich ist,

- die Durchgängigkeit bzw. die Umsetzung von Feststoffen an Wasserkraft- und Stauanlagen sowie deren Abflußbewirtschaftung zufällige Prozesse sind, die weder in ihrer Wirkung noch zeitlich genügend genau prognostiziert werden können,
- die Interaktion zwischen dem fließenden Wasser und dem Geschiebe physikalisch außerordentlich komplex, noch nicht genügend geklärt und teilweise mathematisch schwer erfaßbar ist,
- sich überschneidende Übergänge zwischen den einzelnen Prozessen (wie z. B. Beginn der Verfrachtung, Geschiebe- und Schwebstoff) sowie differenzierte Sohlenformen eine eindeutige Festlegung der Rechenparameter erschweren,
- geringe Ungenauigkeiten von Eingangsdaten die Berechnungsergebnisse erheblich beeinflussen und verfälschen können und
- sedimentologische Messungen, um die Prozesse besser beschreiben zu können, viel Zeit und Aufwand erfordern.

Es ist deshalb zweckmäßig, wenn die errechneten oder abgeschätzten Zahlenwerte auch von einer Interpretation bzw. Erläuterung begleitet werden, die den Verbindlichkeitsgrad des jeweils angesprochenen Sachverhalts deutlich macht.

Erosion und Akkumulation des Geschiebes erfolgen alternierend - zeitlich und räumlich. Zeitlich zum Beispiel, wenn am gleichen Ort, an dem während eines Hochwassers stark erodiert wird, bei sinkender Wasserführung dann wieder Aufschüttung stattfindet, räumlich zum Beispiel, wenn an den Stellen, wo im Wettstreit zwischen den erodierenden Kräften des Wassers und dem Widerstand des Bettsubstrats gemeinsam mit dem aus der Geschiebeverfrachtung resultierenden Kräften einmal die eine Seite oder die andere Seite die Oberhand behält.

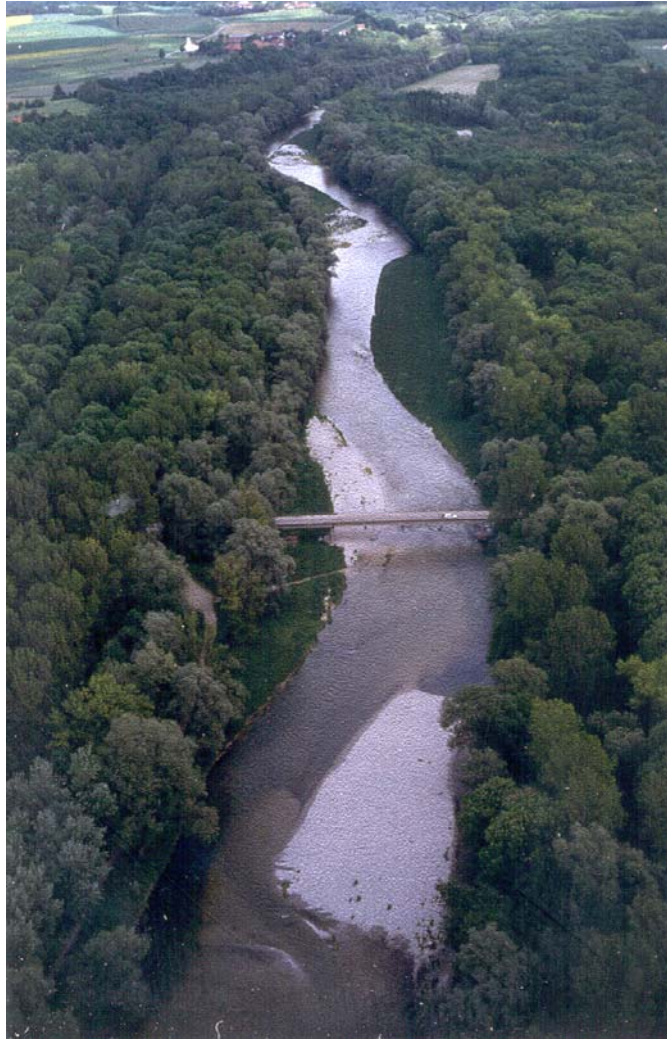


Bild: Alternierende Kiesbänke in der Isar bei Marzling, je nach Maß der bettbildenden Abflüsse und des Restgeschiebetriebs mobil oder festsitzend

Die beschriebenen Eingriffe in den Regelkreis der Isar haben bewirkt, daß sich im Laufe der Zeit sowohl das Geschiebetransportvermögen als auch die Geschiebefrachten stark verändert haben. Nach einer Abschätzung der ehemaligen Bayer. Landesstelle für Gewässerkunde werden die mittleren jährlichen Geschiebefrachten der Isar vor den großen Eingriffen in das Flußregime etwa ab Lenggries mit rd. $90\,000\text{ m}^3/\text{a}$ veranschlagt. Naturgemäß dürften die tatsächlich auftretenden Geschiebefrachten damals sehr starken Schwankungen unterworfen gewesen sein. Heute haben wir im Unterwasser des Sylvensteinspeichers den extremen Fall, daß von oben her keinerlei Geschiebezufuhr mehr stattfindet.

Wie im vorhergehenden Kapitel gezeigt wurde, besteht zur Berechnung des Geschiebetransportvermögens eine funktionelle Beziehung zwischen der Größe des im Geschiebe vorhande-

nen maßgebenden Geschiebekorndurchmessers und den anderen Parametern. Sofern es sich um gröberes Geschiebe handelt, kann die kritische Schubspannung, bei der der Geschiebetrieb beginnt, in der Weise berechnet werden, daß man den Geschiebetrieb in der in Kap. 7.5 behandelten Gleichung gleich null setzt. Man erhält dann einen von d_m , dem maßgebenden Korndurchmesser des Geschiebes abhängigen Wert des Geschiebetriebbeginns

$$t_c = A (r_s - r_w) g d_m$$

mit dem von der beweglichen Sohle B_s und dem Korndurchmesser d_m auf die Zeiteinheit bezogenen Geschiebetransportvermögen

$$V_{gd} = 1,9273 B_s (t_w - t_c)^{3/2} \quad [m^3/d]$$

Wie unschwer zu erkennen ist, nimmt das Geschiebetransportvermögen zu bzw. ab, wenn der maßgebende Geschiebekorndurchmesser d_m abnimmt bzw. zunimmt; es ist also von diesem



Bild: Kiesbank mit grobkörniger Deckschicht und darunter befindlicher feinkörniger Innenschicht

abhängig. Der mittlere oder maßgebende Korndurchmesser d_m eines Sohlengeschiebes, der unter der Deckschicht liegenden Unterschicht, oder eines dem Gewässer zugeführten Geschiebegemisches wird nach der Formel berechnet

$$d_m = \frac{\sum p \cdot d}{100}$$

worin p den Prozentanteil des Siebdurchganges beim jeweiligen d bedeutet. Der Wert d_m liegt im allgemeinen zwischen 50 und 60% der Mischungslinie ($d_m \sim d_{50} \div d_{60}$).

Im Zuge der in Kap. 4 beschriebenen Naturversuche und Erhebungen wurden auch geschiebetechnische Untersuchungen durchgeführt (Kap. 4.2.3). Das Ergebnis zahlreicher Korngrößenanalysen an den im Flußbett lagernden Kiesbänken ist in Form eines laufbezogenen Geschiebekörnungsbandes dargestellt. Das sowohl für die Naturversuche verwendeten Zugabematerial als auch die aus Kiesbänken des gesamten Flußlaufes gezogenen Proben sind mit ihren Körnungskurven und dem sich ergebenden d_m nachfolgend dargestellt. Insgesamt handelt es sich um mehrere hundert Geschiebeproben, deren Körnung im Laufe der letzten Jahre untersucht wurde. Die Varianz des Materials aus Kiesbänken und Geschiebezugabe ist aus den lauffängenbezogenen Geschiebekörnungsbändern der beiden Flußabschnitte Sylvensteinspeicher - Bad Tölz und Oberföhringer Wehr - Landshut (Anlage 19) ersichtlich.

Aus der Korngrößenanalyse von Kiesbänken lassen sich folgende Mittelwerte (I = Inneres der Kiesbank, D = Deckschicht der Kiesbank, d_{ml} = maßgebende Korndurchmesser der Innenschicht, d_{90D} = Korndurchmesser der Deckschicht bei 90% Siebdurchgang) angeben:

- FA Sylvensteinspeicher – Bad Tölz
 - Fkm 216,5 – 203,4; Probenahme Sept. 1990
 - i.M. $d_{ml} = 29,3$ mm
 - i.M. $d_{90D} = 77,6$ mm
 - Fkm 223 – 190; Probenahme Juli 1995
 - i.M. $d_{ml} = 26,4$ mm
 - i.M. $d_{90D} = 76,3$ mm

- FA Bad Tölz – Wehr Icking
Fkm 193,8 – 173; Probenahme Okt. 1995
i.M. $d_{ml} = 25,4$ mm
i.M. $d_{90D} = 62,4$ mm

- FA Wehr Icking – Wehr Baierbrunn
Fkm 174 – 166 ; Probenahme Aug. 1991, Ausleitungsstrecke oberer/unterer Teil
i.M. $d_{ml} = 30$ mm / 25 mm
i.M. $d_{90D} = 61,1$ mm

- FA Wehr Baierbrunn – Wehr Großhesselohe
Fkm 161,8 – 155,2; Probenahme Okt. 1998
i.M. $d_{ml} = 21,9$ mm
i.M. $d_{90D} = 91,8$ mm

- FA Oberföringer Wehr – Landshut
Fkm 143,0 – 78,0; Probenahme April/Nov. 1989
i.M. $d_{ml} = 20$ mm
max. $d_{ml} = 25$ mm
min. $d_{ml} = 12$ mm
i.M. $d_{90D} = 43$ mm / 51 mm sohlgest. / nicht sohlgest. Flußbett

- Fkm 125,8 – 110,4, Probenahme Aug. 1996
i.M. $d_{ml} = 17,5$ mm
i.M. $d_{90D} = 51,4$ mm

Aus der Korngrößenanalyse des untersuchten Zugabe- bzw. Umsetzungsmaterials (siehe Kap. 4.2 – Naturversuche) ergeben sich folgende statistische Mittelwerte (d_m = maßgebender Korndurchmesser; d_{90} = Korndurchmesser bei 90% Siebdurchgang):

- 1. Zugabeversuch 1996
Material aus Isar- Vorsperre am 14./15.5.1996:
i.M. $d_m = 18,5$ mm

i.M. $d_{90} = 47,5$ mm

- Umsetzungsmaterial aus Stauraum Oberföhringer Wehr:

i.M. $d_m = 20,0$ mm

i.M. $d_{90} = 50,0$ mm

- 2. Zugabeversuch 1997

Material aus Isar – Vorsperre am 19.07.1997:

i.M. $d_m = 14,9$ mm

i.M. $d_{90} = 39,8$ mm

- Probenahme aus der Geschieberückhaltung von Wildbächen am 21. 07.1997:

Rißbach (Oberer Schuttkegel)

i.M. $d_m = 27,0$ mm

i.M. $d_{90} = 72,8$ mm

Dürrach (Stauwurzel-Halde)

i.M. $d_m = 19,5$ mm

i.M. $d_{90} = 55,2$ mm

Walchen (Kiesbank)

i.M. $d_m = 21,8$ mm

i.M. $d_{90} = 55,7$ mm

- 3. Zugabeversuch 1998 (Entn. Mai / Juni/Sept.)

Probenahme aus Eingabestelle 1 (Sohlschwellen)

Material aus Isar-Vorsperre

i.M. $d_m = 26,0$ mm

i.M. $d_{90} = 72,8$ mm

Material aus Rißbach

i.M. $d_m = 24,9$ mm

i.M. $d_{90} = 76,4$ mm



Bild: Eingabestelle 1 (Mai 1999)

Probenahme aus Eingabestelle 2 (Steinbock)

Material aus Rißbach (Mündungsbereich Isar)

i.M. $d_m = 15,0 \text{ mm}$

i.M. $d_{90} = 38,3 \text{ mm}$

Material aus Dürrach (Stierschlagsperre)

i.M. $d_m = 50,6 \text{ mm}$

i.M. $d_{90} = 104,8 \text{ mm}$



Bild: Eingabestelle 2 (Mai 1999), auf dem Schüttwall ist mit Lumogenfarbe eingefärbtes Geschiebematerial für den Abtransport durch den Fluß gelagert

Probenahme aus Eingabestelle 3 (Am Langeneck unterhalb Jachenmündung)

Material aus Rißbach

i.M. $d_m = 29,7\text{mm}$) stark schwankende

i.M. $d_{90} = 82,4\text{ mm}$) Körnung *

Material aus Dürrach (Stierschlagsperre)

i.M. $d_m = 59,5\text{ mm}$

i.M. $d_{90} = 133,2\text{ mm}$

*Anmerkung: Sowohl das aus der Isarvorsperre als auch das aus dem Rißbachschuttkegel gewonnene Material kann hinsichtlich seiner Körnung recht unterschiedlich - grob bis feinkörnig – ausfallen, je nachdem, aus welchem Ablagerungsbereich es entnommen wird.

Das Ergebnis der Siebanalyse aller untersuchten Proben wird in Körnungsdiagrammen - auf die jeweilige Herkunft des Materials bezogen - dargestellt. Die Umhüllende aus allen Siebanalysen zeigt Anlage 20. Das untersuchte Geschiebematerial wird demnach wie folgt klassifiziert:

- Geschiebe „feiner“ Körnung hat ein $d_m < 20\text{ mm}$



Bild: Beispiele einer feinen bis mittleren Körnung

- Geschiebe „mittlerer“ Körnung hat ein $d_m = 20 - 30 \text{ mm}$



Bild: Beispiele einer mittleren bis groben Körnung

- Geschiebe „grober“ Körnung hat ein $d_m > 30 \text{ mm}$



Bild: Beispiele einer groben Körnung

Prinzipiell ist das verfügbare Geschiebematerial bei richtiger Zusammensetzung für eine Geschiebemanagement der Isar geeignet, weil es

- fluß- und einzugsgebietstypisch ist
- und im ökomorphologischen Sinne uneingeschränkt positiv wirkt.

Im flußmorphologischen Sinne ist das unter bestimmten Umständen gewinnbare Material jedoch hinsichtlich der Transporteigenschaften und des Mengenbedarfs, um das Transportvermögen der fließenden Welle auszulasten oder einen adäquaten Beitrag zur Sohlstabilisierung zu leisten, unterschiedlich zu bewerten. Davon abhängig ist wiederum der finanzielle Aufwand und damit das Nutzen – Kosten Verhältnis.

Wie in Kap. 8.3 gezeigt, greift ein sich eintiefendes Gewässer zum Mittel der Selbstheilung, in dem es beispielsweise eine Sohlpflasterung bildet und dadurch die Sohle zu stabilisieren versucht. Die Frage, die sich dabei stellt ist, welches Geschiebe sich zur Bildung einer Sohlpflasterung eignet, d.h. welches Material sohlpanzerungsfähig ist. Eine erste Abschätzung kann anhand des SHIELDS-Diagrammes erfolgen:

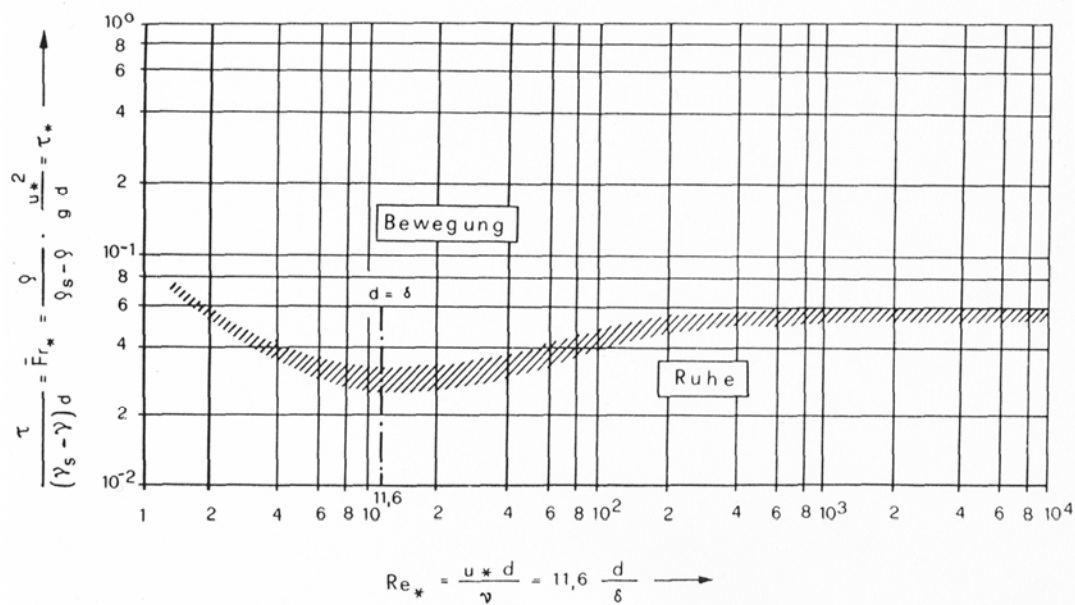


Bild: Shields – Diagramm (vereinfacht), τ_c als Funktion einer dimensionslosen Widerstandszahl f_c in Abhängigkeit von der Reynolds – Zahl Re^*

Für einen repräsentativen Querschnitt des Korrektionsgerinnes im FA Flecker Wehr – Bad Tölz folgt aus:

$$\mathbf{t}_w = \mathbf{r}_w \mathbf{g} \frac{Q_s}{Q} \left(\frac{k_s}{k_x} \right)^{3/2} h \text{ J}$$

eine maximale Sohlenschubspannung zwischen $70 \div 80 \text{ N/m}^2$ und damit eine Froude-Kornzahl:

$$Fr_* = \frac{U_*^2}{\mathbf{g} d} = 0,04 \div 0,06$$

Wenn $\mathbf{\alpha}_g = \ominus$ ist, wird

$$\mathbf{\alpha}_w = \mathbf{\alpha}_c$$

dann ist

$$\mathbf{\alpha}_c = f_c \cdot (\rho_s - \rho_w) \cdot \mathbf{g} \cdot d$$

Der erforderliche Korndurchmesser einer Sohlpflasterung bzw. Sohlpanzerung ergibt sich dann zu

$$d_{\text{erf}} = \frac{\mathbf{t}_c}{f_c (\mathbf{r}_s - \mathbf{r}_w) \mathbf{g}} \approx 0,10 \text{ m}$$

Das bedeutet, nur wenn genügend Körner von $\geq 100 \text{ mm}$ im Korngemisch des Geschiebes oder der Flußbettsohle enthalten sind, ist mit der Bildung einer “stabilen“ Sohlpflasterung zu rechnen. Demnach ist erst ein Geschiebe mit mindestens einem $d_m \geq 50 \text{ mm}$ in der Lage, stabile Deckschichten zu bilden, wie sie die Obere Isar im betreffenden Flußabschnitt aufweist (näheres s. KNAUSS [49]).



Bild: Beispiel der typischen Deckschichtbildung in der Oberen Isar

Von den untersuchten Zugabematerialien ist das Geschiebe aus der Stierschlagsperre (Dür-rach) am ehesten zur Bildung solcher Deckwerke fähig, die anderen weniger oder gar nicht. Das große Problem dieser Grobgemische besteht wiederum darin, daß ihre Grobkomponenten – gerade wegen ihres sohlstabilisierenden Effekts – äußerst transportunwillig sind. Das heißt, eine Geschiebezugabe mit der Absicht Sohlabpflasterungen zu erzeugen, müßte im wesentlichen an Ort und Stelle erfolgen, wo eine vorhandene Sohlpflasterung regeneriert oder eine nicht vorhandene generiert werden soll.

Welchen flußbettstabilisierenden Beitrag nun die übrigen weniger groben Geschiebegemische zu leisten vermögen und mit welchen Einschränkungen, soll nachfolgend aufgezeigt werden: Der Theorie liegt die Überlegung zugrunde, daß die Fallenergie des dem Längsgefälle J folgenden Wassers (Q_w) Transportkräfte entwickelt, die ein Transportvermögen (V) besitzen. Die dabei entstehenden Schubspannungen (τ) sind in der Lage, Geschiebe von der Menge (V_G) zu transportieren. Der Abbau dieses Transportpotentials gelingt in den Flußläufen in dem Maße, wie genügend frei transportierbares Geschiebe zur Auslastung des Transportvermögens im Flußbett an jeder Stelle zur Verfügung steht. Wenn dies nicht der Fall ist, unternimmt die

fließende Welle den Versuch die benötigte Menge Feststoffe dem Flußbett, bevorzugt durch Tiefenerosion, zu entreißen und dementsprechend in den Transportvorgang zu überführen. Unser Bestreben müßte also darauf gerichtet sein, diesen Prozeß der Sohleintiefung nach Möglichkeit zu verhindern. Dem Fluß müßte demnach soviel Geschiebe zugeführt werden, daß dem Flußbett an jeder Stelle Geschiebe in der Menge zur Verfügung steht, wie es zur Auslastung des örtlichen Transportvermögens jeweils benötigt wird. Die Abschätzung der – im statistischen Mittel - benötigten Geschiebemengen erfolgt über die in Kap. 8 entwickelten Formelansätze.

Der Formelansatz zur Berechnung des dazu notwendigen Geschiebetriebs reagiert sehr empfindlich auf Änderungen des in die Formel einzugebenden, maßgebenden Korndurchmessers. Aber auch die örtlich jeweils zur Verfügung stehende Sohlbreite geht in die Berechnung ein. Wir haben diesbezüglich von der Gerinnegeometrie her gesehen sehr unterschiedliche Flußstrecken, wie z. B. die naturbelassene Flußstrecke zwischen dem Sylvensteinspeicher und dem Flecker Wehr (mit den im Lauf der Zeit eingetieften Abflußrinnen) und auf der anderen Seite die eingetiefte Korrektionsstrecke zwischen Jachenmündung und Bad Tölz mit (einer im Talweg ausgeprägten Tiefenrinne).

Um einen Begriff von der Größenordnung des Geschiebetransportvermögens in Abhängigkeit vom transportierten Geschiebe und von der Bettgeometrie zu erhalten, wurde eine Abschätzung anhand repräsentativer Korndurchmesser und Flußquerschnitte für jeweils ein Abflußjahr im langjährigen Mittel, für ein extremes Naßjahr und ein extremes Trockenjahr vorgenommen.

Die Anwendung der Geschiebetriebgesetze auf natürliche Flußläufe mit unregelmäßigen Betten unterliegt – auch das wurde bereits im vorhergehenden Kapitel behandelt – komplexen Einflüssen und Einschränkungen. MAYRHOFER [58] hat diesen Sachverhalt recht anschaulich erläutert:

„In unseren Alpenflüssen mit verhältnismäßig grobkörnigem Geschiebe werden bei kleinen und mittleren Wasserführungen vielfach Geschiebebänke beobachtet und zwar nicht nur stationär an den Bogeninnenseiten liegende, sondern auch in geraden Flußstrecken abwechselnd an beiden Ufern langsam wandernde Bänke. In diesen Flußstrecken ist die Sohlenform gekennzeichnet durch einseitige Kolkrinnen am gegenüberliegenden Ufer der Bänke und durch

zwischen den Bänken liegende Furten mit horizontaler Sohle und geringer Wassertiefe. Bei Niedrigwasser schlängelt sich die Strömung von einer Kolkrinne zur andern, und auch bei Hochwasser, bei dem der Verlauf der Strömung zwar gestreckt ist, machen sich doch die mitunter stark verschiedenen Wassertiefen über den Bänken und Kolkrinnen bemerkbar. Die Bänke wandern durch Geschiebeabtrag am Beginn der Kiesbank und durch Ablagerung an ihrem Ende. Die Geschiebebewegung weist daher auch bei Flüssen mit groben Geschiebe deutliche Pulsationen auf. In den Kolkbereichen sind bei kleineren Wasserführungen große Durchflüsse auf eine schmale Rinne zusammengedrängt. Dort ist auch dann, wenn die Kiesbänke noch nicht überronnen sind, ein verhältnismäßig lebhafter Geschiebetrieb zu beobachten. Mit steigendem Wasserdurchfluß beginnt auf den Kiesbänken trotz geringer Wassertiefen ein kräftiger Geschiebetrieb, weil örtlich großes Gefälle vorhanden ist. In den Furten ist zwar das Gefälle bei kleinen Wasserständen groß, die spezifische Abflußmenge jedoch wegen der großen Durchflußbreite klein.“

Besonders, wenn der Geschiebetransport in Flußkrümmungen stattfindet, wird der Transportweg des Geschiebes von Sekundärströmungen beeinflusst. Die Ursache der Sekundärströmungen, die der axialen Hauptströmung überlagert sind, liegt in der ungleichförmigen Verteilung der Fließgeschwindigkeit und den daraus resultierenden Zentrifugalkräften. Sie bewirken, daß die Strombahnen in den oberen Wasserschichten zum Außenufer, in den unteren Schichten zum Innenufer gerichtet sind.

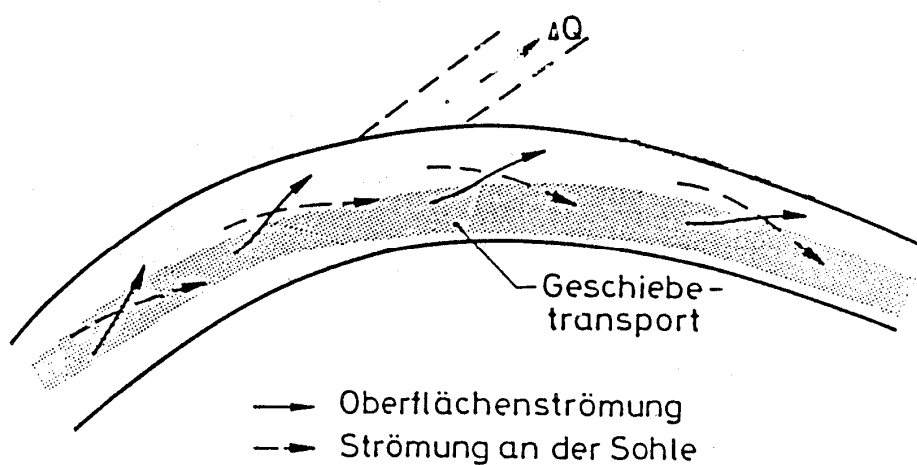


Bild: Strömungsverhältnisse und Geschiebetransportbahnen in einer Krümmung

Mit der sohlennahen Strömung wird das Geschiebe zum Innenufer gelenkt. Da das Geschiebe also gewissermaßen in einem sohlennahen Transportkörper bewegt wird, ist gerade die sohlennahe Strömung der Träger der kinematischen Energie, die das Geschiebe in Bewegung setzt. Aufgrund der geschilderten Beschaffenheiten ist die sohlennahe Strömung starken Schwankungen unterworfen, so daß generell der örtliche Beginn der Geschiebebewegung ein stochastischer Vorgang ist, der auch nur sehr unscharf ermittelt werden kann.

Im Folgenden soll nun abgeschätzt werden, welche Geschiebemengen, die der fließenden Welle in mobilisierbarer Form zur Verfügung gestellt werden, aufgrund des Geschiebetransportvermögens verfrachtet werden können. Die Unterschiedlichkeit der Ergebnisse soll an einigen repräsentativen Flußprofilen der Oberen Isar gezeigt werden. Im Gegensatz zum üblicherweise für die Berechnung verwendeten Korndurchmesser aus dem anstehenden Kiesbank- bzw. Bettmaterial müssen in diesem Fall die aus den Mischproben des Geschiebezugabematerials ermittelten Korndurchmesser in die Berechnung eingehen. Für die rechnerische Abschätzung sind folgende Festlegungen getroffen worden:

- Schubspannungen werden bei gleichförmiger stationärer Strömung ermittelt.
- Maßgebender Korndurchmesser des Zugabematerials (s. Anlage 21- Diagramm mit Körnungsbereichen A, B und C):

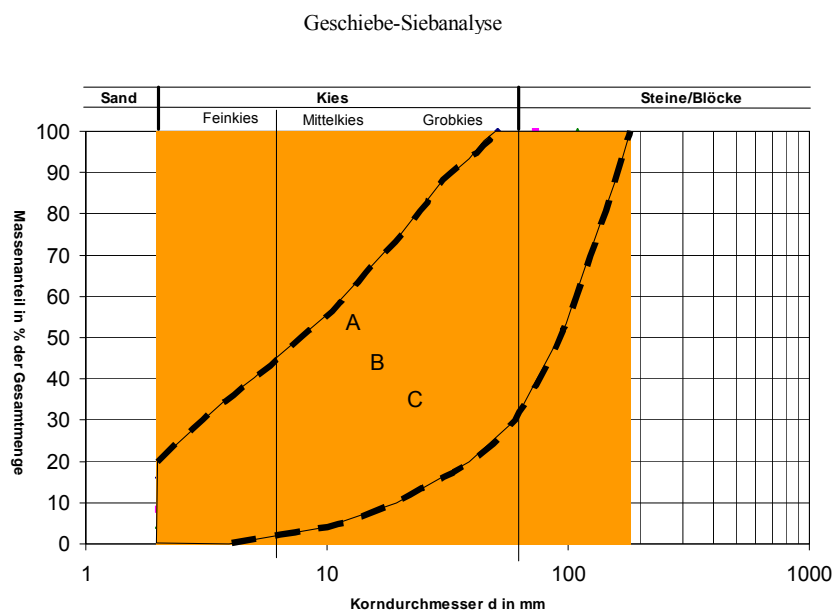


Bild: Kornverteilungsbereich des von 1995-1999 untersuchten Zugabematerials

$dm = 15 \text{ mm}$

anzusprechen als Geschiebe feiner Körnung; entspricht dem aus der Isar-Vorsperre (Körnungsbereich A, Ablagerung in Sperrennähe) gewinnbaren, feineren Material

$dm = 26 \text{ mm}$

anzusprechen als Geschiebe mittlerer Körnung; entspricht dem aus der Isar-Vorsperre (Körnungsbereich B, Ablagerung im Stauwurzelbereich) gewinnbaren, gröberen Material

$dm = 50 \text{ mm}$

anzusprechen als Geschiebe grober Körnung; entspricht dem aus der Stierschlagsperre-Dürrach (Körnungsbereich C) gewinnbaren groben Material.

- Flußprofile (siehe Anlage 18)

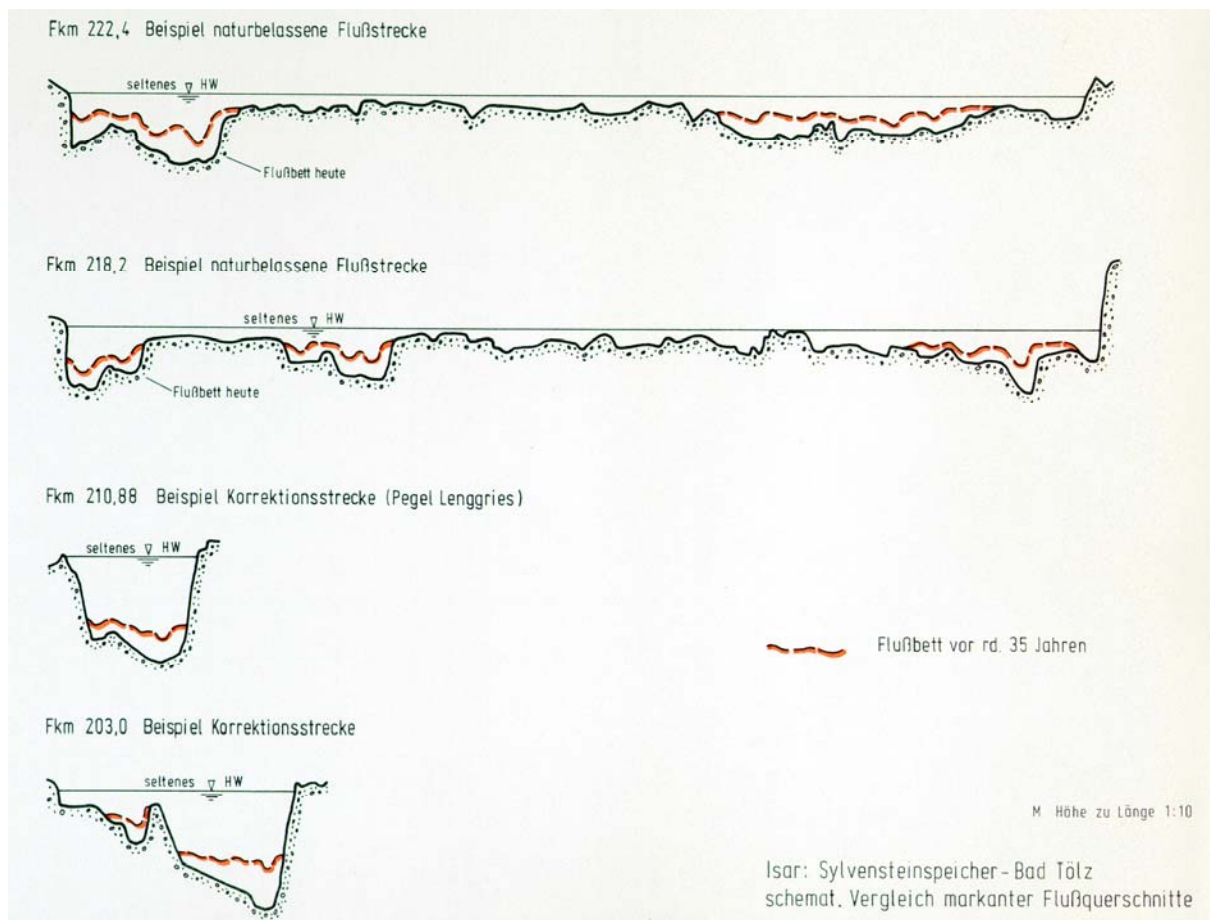


Bild: Markante Flußprofile für die rechnerische Abschätzung

- naturbelassener Flußquerschnitt (2 Abflußrinnen) bei Fkm 222,4. Der bei Hochwasser nur mehr seicht überströmte Auenbereich außerhalb der Abflußrinnen ist nicht mehr umlagerungsfähig bzw. kann auch durch das überströmende Hochwasser nicht mehr mobilisiert werden. Die für den Transport des Geschiebes beim jeweiligen Abfluß zur Verfügung stehende Bettbreite wird mit max. 35 m angesetzt.

- eingetieft Korrektionsquerschnitte

bei Fkm 214,0

und bei Fkm 203,0

Die für den Transport des Geschiebes beim jeweiligen Abfluß zur Verfügung stehende Bettbreite wird mit 25 m bzw. 17 m angesetzt.

- Die maßgebenden Transportabflüsse werden aus den Abflußdauerzahlen der den Flußquerschnitten zugeordneten Pegel (DGJ 1996, siehe Anlage 14) abgeleitet:

max. Transportabflüsse [m³/s]

Fkm	Pegel	i. Trockenjahr TJ	i. langj. Mittel MJ	i. Naßjahr NJ
Fkm 222,4	Pegel Sylvenstein	20	120	120
Fkm 214,0	Pegel Lenggries	35	150	150
Fkm	Pegel Bad Tölz	65	200	200

Anmerkung:

Die gemäß oben stehender Tabelle für die Abschätzung des Geschiebetransportvermögens gewählten Transportabflüsse sind im Vergleich zu folgenden beim „ Pflingthochwasser „

1999 aufgetretenen Abflüssen als moderat einzustufen, d.h., sie ergeben ein geringeres Transportvermögen als diese:

Sylvensteinspeicher Abfluß	rd. 380 m ³ /s
Pegel Lenggries	rd. 455 m ³ /s
Pegel Bad Tölz-Kraftwerk	rd. 480 m ³ /s

Die jährlich höchsten Scheitelabflüsse (Stundenwerte, nach WWA Weilheim, Anlage 15) zeigt die nachfolgende Grafik in recht anschaulicher Weise:

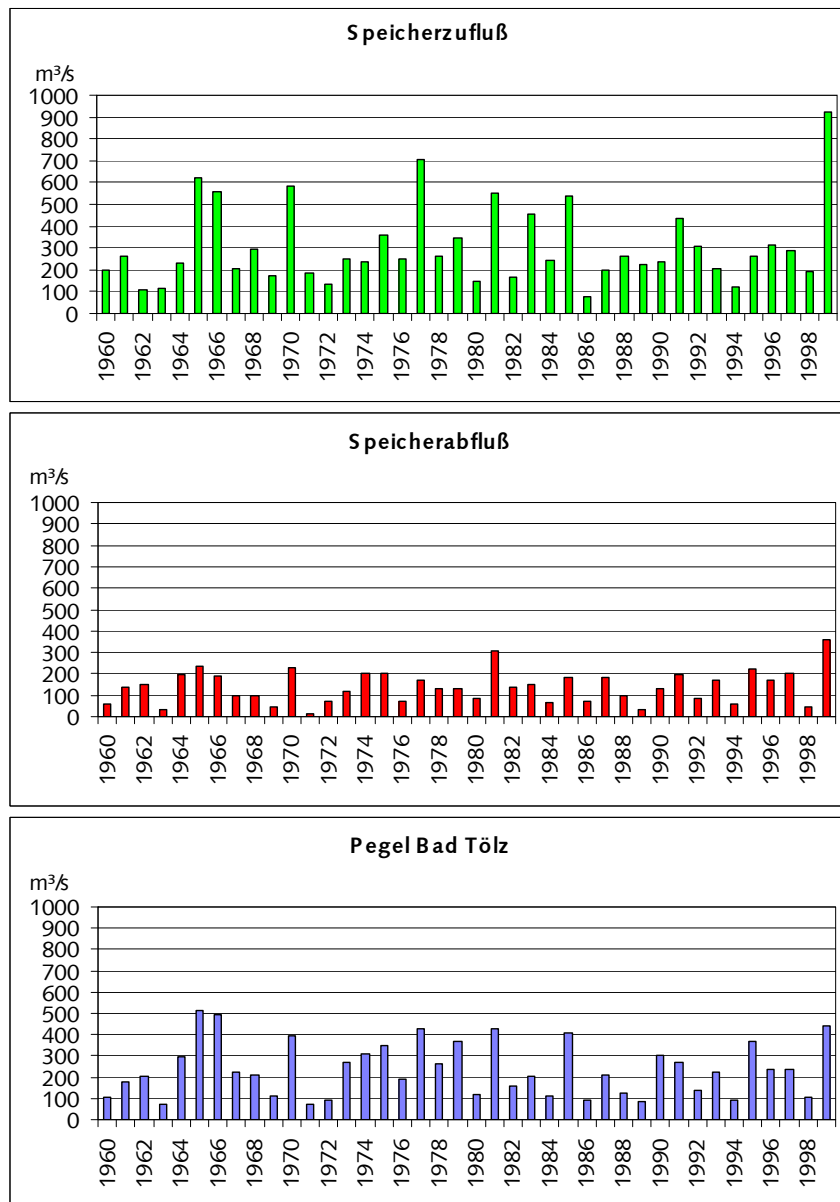


Bild: Jährliche Scheitelabflüsse (Stundenwerte, nach WWA Weilheim)

- Formelansatz nach MEYER-PETER und MÜLLER

Die Verfasser haben den Ansatz der in ihrer Formel verwendeten Konstante A (0,047 bei Eintiefung und 0,030 bei stabiler Sohle, wenn keine Eintiefung zugelassen werden soll) für die Transportberechnung künstlich in das Flußbett eingebrachten Geschiebes nicht speziell dokumentiert. Gewählt wird $A = 0,047$.

Das Ergebnis der rechnerisch aufwendigen Abschätzung ist mit gerundeten Werten in der nachstehenden Tabelle aufgelistet:

Abschätzung der mittl. jährl. Geschiebefrachten zur Sättigung des
Geschiebetransportvermögens V_{GJ} [m³/a]

maßgebender Korndurchm. d_m	Abfluß- Jahr	Querschnitt bei Fkm		
		222,4	214,0	203,0
15 mm (Körnungs- bereich A)	TJ	-	37 000	200 000
	MJ	35 000	200 000	280 000
	NJ	130 000	470 000	600 000
26 mm (Körnungs- bereich B)	TJ	-	1 000	56 000
	MJ	7 000	60 000	135 000
	NJ	30 000	210 000	360 000
50 mm (Körnungs- bereich C)	TJ	-	-	-
	MJ	-	1 600	13 000
	NJ	-	4 200	100 000

9.3 Diskussion der Ergebnisse und Schlußfolgerungen für eine künstliche Geschiebezugabe

Wie erkennbar, ist das Geschiebetransportvermögen nicht nur abhängig von der Größe der Abflüsse und den jeweiligen gerinnegeometrischen Eigenschaften, sondern in noch weit höheren Maße von der Körnung, d.h. dem maßgebenden Korndurchmesser des zu transportierenden Geschiebegemisches. Ebenso deutlich erkennbar können bei einem Geschiebe feiner Körnung viel größere Mengen transportiert werden als bei einem Geschiebe gröberer Körnung, weil feineres Geschiebe wesentlich transportfähiger ist, d.h. weil es bereits durch wesentlich geringere Sohlschubspannungen in Bewegung gesetzt werden kann. Dagegen kann sehr grobes Geschiebe ausgesprochen transportunwillig sein. Die weniger groben Komponenten werden unter Umständen aus dem Materialgemisch herausgelöst und abtransportiert, der gröbere Anteil bleibt bis zu entsprechend großen Abflüssen liegen und pflastert im allgemeinen seinen Liegeplatz an der Flußsohle ab.

Das vom Hochwasser in Transport gesetzte Geschiebegemisch wird vom abfallenden Hochwasser je nach dem Anteil an Feinkorn und dem Abfall der Geschwindigkeit beträchtlich entmischt. So ist der Kopf einer Kiesbank im allgemeinen gröber als ihr Ende, der Durchmesser d_m der Deckschicht erheblich größer als der des Kiesbankinneren. Auch bei späteren Anschwellungen werden aus den Kiesbänken und der Sohle die jeweils feinkörnigen Anteile am Geschiebegemisch abgezogen mit dem Ergebnis, daß eine später entnommene Geschiebeprobe wieder ein etwas größeres d_m als das beim Hochwasser vorhandene ergibt. Das hat zur Folge, daß bei jahrelanger Abflußarmut und daraus resultierender Geschiebelosigkeit das d_m der Abdeckung, wenn auch noch so geringfügig, immer weiter anwächst. Schließlich bleibt eine ausgewaschene Kiesdecke mit dem 2,0 bis 2,4-fachen d_m übrig, die nicht einmal mehr von mittleren Anschwellungen aufgerissen, aufbereitet und transportiert wird. Anders ausgedrückt, der Abfluß Q_0 , der den Beginn der Geschiebeführung auslöst, rückt immer weiter hinauf. Indirekter Beweis dafür sind durch Baggerung wund gehaltene Flußstrecken, die immer einen wesentlich höheren Geschiebetrieb haben, weil sie nicht abgedeckt sind und deshalb ihr ursprüngliches viel kleineres d_m aufweisen. Dauert die Abflußarmut noch länger, so lagern sich in den höher gelegenen Teilen der Kiesbänke Schwebstoffe an und es kommt zum raschen Aufwachsen der Pioniervegetation, insbesondere von Weidenstrauchwerk.



Bild: Nicht mehr mobile, bewachsene Kiesbänke (Mittlere Isar)

Die Mobilität der Kiesbänke wird damit nochmals, und zwar ganz beträchtlich, herabgesetzt. Unter solchen Bedingungen wäre die Gültigkeit der mit Hilfe der MEYER-PETER-Funktion ermittelten Transportwerte in Frage gestellt.

Zunächst ist aber wegen der Interpretation der Tabellenwerte generell nochmals auf die bisher gegebenen Erläuterungen und Einschränkungen zur Genauigkeit der Formelansätze bei der Berechnung des Geschiebetriebs hinzuweisen. Die Zahlenwerte ergeben sich zwar aus der Anwendung der Formeln, ihre Konvergenz, d.h. ihre Übereinstimmung mit den in der Natur ablaufenden Prozessen wird umso mehr abnehmen, je mehr extreme Sachverhalte durch die Berechnung simuliert werden. Beispiele sind extreme Abflußprozesse wie das Trockenjahr (TJ) und das Naßjahr (NJ), sehr feinkörniges bzw. sehr grobkörniges Geschiebe. Manche Sachverhalte würden sich durch begleitende Naturversuche besser aufklären lassen. Aber das gelingt nur mit großem zeitlichen und finanziellen Aufwand, insbesondere unter extremen Bedingungen. Dann hilft allenfalls nur noch der physikalische Modellversuch.

Die sich nach der rechnerischen Abschätzung ergebenden Transportwerte eines Geschiebegemisches mit einem $d_m \leq 15$ mm mögen wegen ihrer Größe zunächst überraschen oder sogar in Frage gestellt werden. Es besteht jedoch kein Zweifel daran, daß dieses relativ feinkörnige Geschiebe vom physikalischen Ansatz her vergleichsweise viel transportwilliger und auch transportfähiger ist, als gröbere Korngemische. Im natürlichen Regelkreis der Isar war ein derart selektiertes, feines Korngemisch ohne jegliche größeren Beimengungen für den Geschiebetrieb der Oberen Isar eher untypisch, es kam in dieser ausschließlichen Sortierung nicht vor. Außerdem dürften manche Teilprozesse, insbesondere extrem feiner Körnung, in einem nicht mehr definierten Gültigkeitsbereich der Geschiebeformel liegen. Ähnlich unrealistisch dürften die sich rechnerisch ergebenden „Nullwerte“ des Geschiebetransportes im Fall grobkörniger Gemische sein, weil im nicht abgepflasterten Zustand ein Teil des weniger groben Geschiebes mit einem $d < d_m$ herausgelöst wird und in Transport geht, ehe der Rest eine feste Deckschicht bzw. eine Sohlpanzerung bildet, die erst dann nicht mehr transportfähig ist, wie es das rechnerische Ergebnis zum Ausdruck bringen möchte (s. Anlage 23 – Charakteristik des Zusatzmaterials).

Schließlich ist aus der Bewertung aller Fakten, eine entscheidende Erkenntnis zu gewinnen, nämlich, daß eintiefungsgefährdete Flußabschnitte, namentlich in den korrigierten Flußstrecken der Isar, allein durch eine künstliche Geschiebezugabe nicht dauerhaft stabilisiert werden können. Theoretisch müßte bei jedem Hochwasserereignis ein dem jeweils betrachteten Flußquerschnitt und seinem zugehörigen Transportvermögen entsprechender Geschiebetrieb (siehe Statusübersicht - Anlage 26, 27) zur Verfügung stehen. Fehlt dieser, kommt es zum Abtrag und Erosionsvorgängen, die bevorzugt von den tieferliegenden Bettpartien, wie den Tiefenrinnen und dem Talweg ausgehen. Um in der Oberen Isar zumindest in Jahren mit Abflüssen bis hin zum langjährigen Abflußmittel (MJ) durchgehend sohlstabilisierende Effekte zu erzeugen, müßten knapp geschätzt rd. $50\,000\text{ m}^3$ Geschiebe ($d_m \geq 26$ mm) an der Oberen Isar laufend zur Verfügung stehen. Diese Materialmenge müßte im statistischen Mittel alljährlich aus den Geschieberückhaltungen oberhalb des Sylvensteinspeichers entnommen, flußabwärts befördert und dem Hochwasserabfluß entsprechend flächenhaft dosiert, dem Fluß zur Versorgung der unterhalb gelegenen Flußstrecke zugegeben werden. Wegen der ungleichen Transportbedingungen und eingeschränkten Durchgängigkeiten ist jedoch schon bald mit schubweisen Verfrachtungen, lokalen Kiesversetzungen und massiven Verlandungen vor allem in gestauten Flußstrecken zu rechnen, die vermutlich ein nicht mehr erträgliches und

vor allem auch ein nicht mehr beherrschbares Ausmaß annehmen würden. In statistischen Naßjahren (NJ) mit entsprechend großen Hochwasserabflüssen sind auch trotz solch großer Geschiebemengen weiterhin Verluste an Bettmaterial und bereichsweise Eintiefungen nicht ausgeschlossen.

Die zwischen dem Sylvensteinspeicher und Landshut gelegenen Wasserkraftanlagen beeinträchtigen wie in Kap. 5 vorgetragen einen mit dem Abfluß und der Geschiebezufuhr der freien Fließstrecken korrespondierenden Geschiebetrieb mehr oder weniger nachhaltig. Bei einer Geschiebezugabe unterhalb des Sylvensteinspeichers, wie sie betrieben werden müßte, um auch nur annähernd das Geschiebetransportvermögen des Flußlaufes sättigen zu können, würden sich nicht nur die bisherigen Verlandungsvorgänge in den gestauten Strecken intensivieren, sondern schließlich überall auch Eingriffe wie Räumungen und Flußbaggerungen notwendig werden. Im ganzen gesehen eine sich an mehreren Orten wiederholende und aufwendige Methode, bei der man mit massiven Umwelt- und Verkehrsbeeinträchtigungen und sonstigen noch ungelösten Problemen fertig werden müßte. Nicht zuletzt aus den Naturversuchen, . wissen wir, daß es unmöglich ist, derartig große Materialmengen auf diesem Wege in die Obere Isar unterhalb des Sylvensteinspeichers einzubringen. Man wird sich mit der Tatsache abfinden müssen, daß das allein vom anthropogen nicht veränderten Abfluß und Feststoffeintrag gesteuerte System der Bettbildung und das daraus resultierende Erscheinungsbild des natürlichen Wildflusses Isar unwiederbringlich der Vergangenheit angehört.

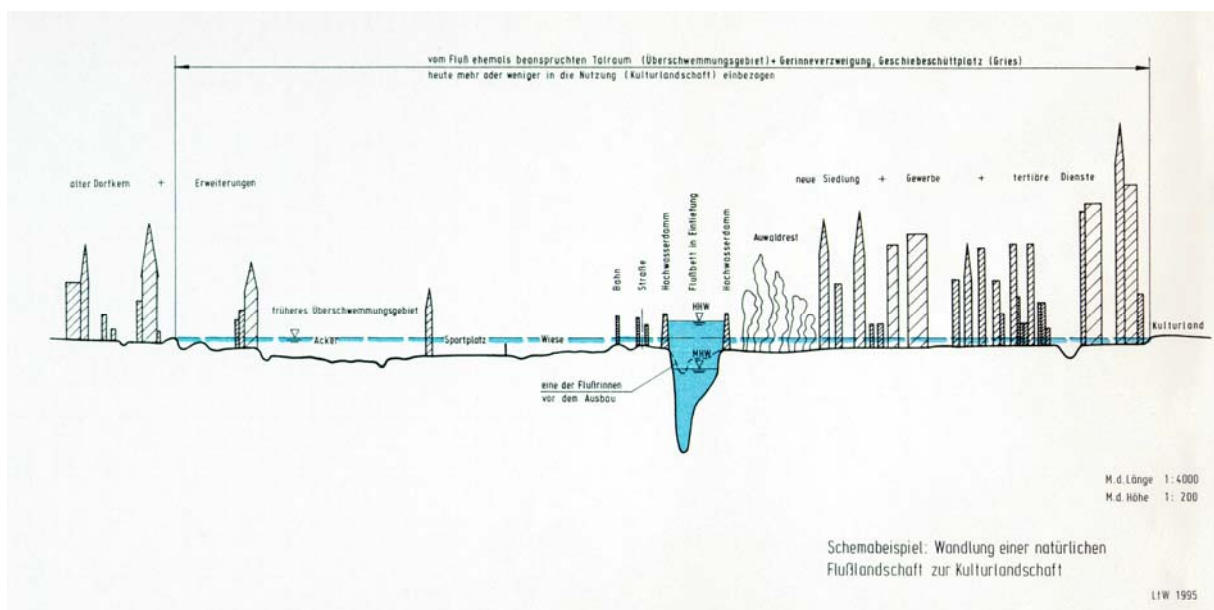


Bild: Tiefgreifend eingetretener Wandel einer Flußlandschaft – schematisches Beispiel

Der aus dem Gleichgewicht geratene Regelkreis mit seiner Diskontinuität, als Folge eingebauter künstlicher und veränderter natürlicher Regelglieder, reguliert sich nicht mehr von selbst. Das ursprüngliche durch fortwährendes Umlagern von Kiesbänken geprägte Erscheinungsbild der Isar läßt sich weder durch künstliche Hochwasserspülungen aus dem Sylvensteinspeicher noch durch künstliche Geschiebedosierungen wieder herstellen. Man kann dadurch nicht zwei divergierende Ziele zugleich verfolgen: einerseits das Flußbett stabilisieren zu wollen und andererseits das gleiche Flußbett der freien Entfaltung des Kräftespiels überlassen.

Die noch naturbelassenen, also nicht ausgebauten Flußstrecken der Isar, beschränken sich nur auf einen geringen Teil der Gesamtlaufstrecke. Aber auch sie haben wegen des veränderten Regelkreises vieles von ihrem natürlichen Gestaltungsspielraum verloren und im Laufe der Zeit stattdessen manche Eigenschaften ausgebauter Flußprofile angenommen. Das Flußbett ausgebauter Flußläufe bietet im allgemeinen nicht mehr genügend Raum, um Schüttplätze bzw. Umlagerungsflächen mit einem verzweigten, sich ständig ändernden Rinnensystem entstehen zu lassen. Im Gegensatz zu den heute eingetieften, von Ufern eingefassten Regelungsstrecken waren die früher vorhandenen Flußverzweigungen durch keine festen Ufer begrenzt, so daß der Abfluß in die Vorländer ungehindert austreten konnte. Dadurch entstanden im eigentlichen Flußbett keine besonders hohen Wasserstände und keine entsprechend hohen Sohlschubspannungen, alles Voraussetzungen, die den verzweigten Flußtyp mit seinem charakteristischen Erscheinungsbild erst entstehen ließen. Infolge der heute in der Regel beschränkten Ausuferungsmöglichkeiten werden die Abflüsse im relativ schmalen Flußbett eingespannt, erzeugen hohe Schubspannungen und Sohlerosion, sodaß Bemühungen, in dieser Situation das Flußbett allein durch eine künstliche Geschiebezugabe stabilisieren zu wollen, keinen dauerhaften Erfolg haben werden.

Was wir unter diesen Umständen mit den gebotenen Mitteln im Einklang mit den physikalischen Gesetzen der Strömung und des Feststofftransportes tun können, ist, den vorhandenen Regelkreis in Richtung Naturnähe zu optimieren, indem alle noch natürlichen Restregelglieder wo möglich gestärkt und die künstlich eingebauten Regelglieder nach Möglichkeit angepaßt werden müssen. Darunter sind alle die Maßnahmen zu verstehen, die im Rahmen des Leitbildes für die Isar (s. Kap. 3) zum Erreichen der Entwicklungsziele für notwendig gehalten werden. Denn nur durch das Zusammenwirken aller Maßnahmen trägt die einzelne Maß-



Bild: Relativ schmale und eingetieftete Flußbetten mit hohen Sohlschubspannungen

nahme erst zum Erfolg bei. Ein Erfolg, der darin besteht, der Isar wenigstens teilweise noch die Dynamik der Bettbildung in naturnaher Form zu belassen bzw. wieder zu verschaffen. Dort, wo die Gefahr fortschreitender Eintiefungen nicht abgewendet werden kann und Handlungsbedarf besteht, ist die Flußsohle jeweils durch stützende Regelglieder wieder zu stabilisieren bzw. anzuheben. Letzteres dann, wenn beispielsweise eine Wiedervernetzung von Fluß und Aue erzielt werden soll. Ein wichtiges Regelelement ist dabei das Geschiebe, auch wenn es den aufgezeigten Umständen nach und um Unzuträglichkeiten zu vermeiden, nur in eingeschränktem Maße in den Regelkreis eingebracht werden kann. Geschiebeaktivierende Gestaltungsvorgänge, wie z.B. die Seitenerosion in zurückgebauten Uferstrecken sind selbstverständlich hilfreich, allein bei weitem nicht ausreichend, um vor allem langfristig und nachhal-

tig soviel Geschiebe zu liefern, daß ein merklicher Beitrag zur Flußbettstabilisierung, gewährleistet ist. Trotz dieser Einschränkungen wäre insgesamt und nicht zuletzt mit Blick auf die Entwicklungsziele des Leitbildes die künstliche Geschiebezugabe im möglichen und vertraglichen Rahmen notwendig, sinnvoll und zielführend.

Eine gewisse Besonderheit stellt die Fließstrecke zwischen Sylvensteinspeicher und Bad Tölz dar. Abgesehen von dem ökomorphologischen Bedürfnis nach regelmäßiger Zufuhr von neuem Geschiebe zur Bildung rezenter Kiesbänke, ist die in dieser Strecke durch einen Akt der „Selbsteilung“ entstandene massive Sohlabpflasterung im Hinblick auf die damit erzielte Sohlstabilisierung vor allem in der Fläche wesentlich effektiver als die durch eine künstliche Geschiebezugabe. Außerdem wird sie vom Fluß selbst und sozusagen noch kostenlos „frei Haus“ geliefert.



Bild: Nicht ausgebaute, naturbelassene Flußstrecke zwischen Sylvensteinspeicher und Fleck

Im komplexen Wirkungsgefüge der Isar muß jedoch vorsichtig ans Werk gegangen und aufmerksam beobachtet werden, welche Tendenzen der Bettgestaltung, und welche Entwicklungen sich im allgemeinen und im speziellen abzeichnen. Dies erfordert ein ständiges Management, welches fachlich fundierte Überlegungen anstellt, die Auswirkungen kontrolliert und den Maßnahmenumfang festlegt, der mit Rücksicht auf den Objektschutz und sonstige Interessen betrieben werden kann. Auf der Seite der Anlagenbetreiber erfordert die Geschiebedurchgängigkeit ihrer Anlagen ein entsprechendes Maß an Akzeptanz und Mitwirkung. Darüber hinaus verlangt die Zufälligkeit künftiger Abflußereignisse von allen Beteiligten eine hohe Flexibilität sowohl beim Einsatz wie bei der Steuerung der Mittel.

Wichtige Fragen hinsichtlich der Gewinnung, des Transportes und der Zugabe geeigneten Materials zur Versorgung der Isar unterhalb des Sylvensteinspeichers mit Geschiebe konnten durch die in Kap.6 näher beschriebenen Naturversuche abgeklärt werden. Demnach bestehen Gewinnungsmöglichkeiten aus den geschiebeführenden Zuflüssen im Nahbereich des Sylvensteinspeichers aus der Isar, dem Reißbach, der Dürrach und der Walchen. Im Hinblick auf ihren flußtypischen Charakter ist sämtliches dort vorkommende Geschiebematerial bei bestimmter Zusammensetzung zur Verwendung geeignet. Im Hinblick auf den mit Gewinnung, Transport und Zugabe verbundenen Aufwand einerseits und die materialbezogene, flußmorphologische Effektivität andererseits, sind jedoch differenzierte Überlegungen und daraus abgeleitete Empfehlungen für die künstliche Geschiebezugabe veranlaßt:

Wie die Naturversuche gezeigt haben, wird die Zugabekapazität an der Oberen Isar durch zu berücksichtigende Interessen einer Vielzahl von Beteiligten und Trägern öffentlicher Belange sowie durch Zwänge bei Gewinnung, Transport und Zugabe des Geschiebematerials begrenzt. Unter diesen Voraussetzungen wird eine Zugabemenge von rd. 15 000 m³, in Ausnahmefällen von 20 000 m³ jährlich als Richtschnur für praktikabel gehalten.

Wie erinnerlich, ist der flußmorphologische Effekt des Zugabematerials in hohem Maße vom maßgebenden Korndurchmesser d_m des Materials abhängig. Bei sinnvoller Auswahl, d.h. bei optimaler Körnung des Materials, ergeben auch geringe Mengen einer optimalen Körnung gleiche Ergebnisse wie große Mengen einer nicht optimalen Körnung. Dabei sind dem Einsatz extremer Körnungen sowohl in der Richtung der allzu feinen wie auch in Richtung der allzu

groben Körnung ohnehin Grenzen gesetzt (siehe Übersicht „Charakteristik des Zugabematerials“).

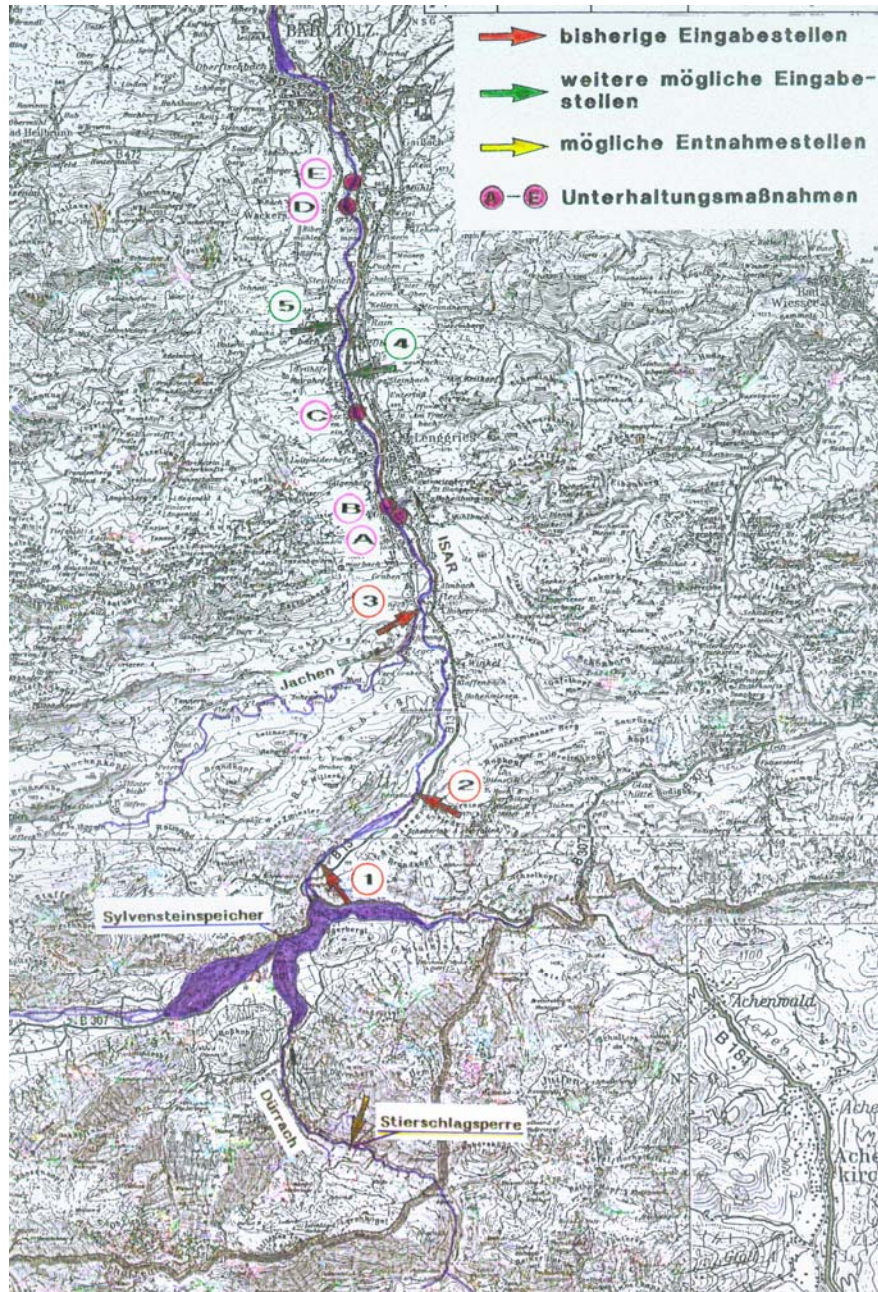


Bild: Lageplan von Entnahme- und Eingabestellen des Geschiebematerials (WWA Weilheim)

Den Angaben zufolge reichen die aus der Isarvorsperre, der Dürren, dem Rißbach und der Walchen gewinnbaren Ressourcen im allgemeinen aus, den Bedarf problemlos abdecken zu können. Der Geschiebesortierung im Schuttkegel des Rißbaches im Mündungsgebiet zur Isar

wie auch im Stauraum der Isarvorsperre bzw. der Dürrach in den Sylvensteinspeicher sollte allerdings durch eine gezielte Entnahme bzw. durch eine Vorratshaltung Rechnung getragen werden.

Die Aufteilung der Geschiebezugabe auf bis zu 3 Zugabestellen – zwei in der naturbelassenen Flußstrecke unterhalb des Speichers und eine am Beginn der Korrektionsstrecke - ist sinnvoll und zweckmäßig. Zum einen, um die Kapazität einer Zugabestelle auch in verkehrstechnischer Hinsicht nicht zu überfordern, zum andern ist die Geschiebeeinbringung an mehreren Zugabestellen naturidentischer, weil entsprechend viele Teilstrecken simultan und mit jeweils passender Geschiebekörnung versorgt werden könnten.

Das ideale Geschiebematerial, welches bei beschränkter Menge sowohl einen hohen Beitrag zur Bettstabilisierung der freien Fließstrecken als auch gleichzeitig eine gute Durchgängigkeit durch die gestauten Flußstrecken gewährleistet, gibt es nicht (s. Anlage 23 – Charakteristik des Zugabematerials). Insbesondere die Passage des Stauraumes am Kraftwerk Bad Tölz erfordert einen Kompromiß hinsichtlich der Körnung des Geschiebematerials, da bei Verwendung einer zu groben Geschiebemischung eine vorzeitige bzw. eine häufigere mechanische Räumung der damit verlandeten Stauwurzel angezeigt wäre. Die eingeschränkte Geschiebedurchgängigkeit der Staustufe Bad Tölz hat zur Folge, daß der flußabwärts anschließende Flußlauf der Isar höchstwahrscheinlich durch Spülung allein keine sohlstabilisierenden Grobkornkomponenten ($\sim > 65 \text{ mm}$) mehr erhält. Es sei denn, man wäre bereit, diesem Umstand durch eine bedarfsweise sich wiederholende Einzelaktion etwa in Form einer mechanischen Umsetzung des im Bereich der Stauwurzel abgelagerten Grobgeschiebes abzuhelpfen.

Einen weiteren, den Geschiebetrieb mindernden Umstand müssen wir noch zur Kenntnis nehmen: Das einzelne Gesteinskorn in dem vom Fluß mitgeführten Geschiebe wird auf dem Wege talwärts fortgesetzt zerkleinert. Dieser Vorgang wird allgemein als Abrieb bezeichnet. Die Zerkleinerung des transportierten Geschiebekornes beruht auf verschiedenen physikalischen Krafteinwirkungen sowie auf Misch- und Sortiervorgängen. Der Versuch, diese Vorgänge rechnerisch mit Formelansätzen zu beschreiben, blieb bis heute unvollkommen. In der Regel geht mit der Abnahme des Flußlaufgefälles in der Natur auch eine Abnahme der Korngrößen des Geschiebes einher. Der bekannteste Formelansatz ist der von STERNBERG. Das Sternberg'sche Gesetz besagt, daß die Abnutzung eines Geschiebekornes proportional ist sei-

nem Gewicht im Wasser und den von ihm zurückgelegten Weg x , wobei c eine von der Natur des Steinkornes abhängige Konstante, die Abriebskonstante, ist. Unterstellt man, daß die Gestalt eines Steines während seiner Verkleinerung immer mit sich selbst ähnlich bleibt, können die Steingewichte proportional zur dritten Potenz der zugehörigen, idealisierten Durchmesser d und d_0 gesetzt werden:

$$d = d_0 e^{cx/3}$$

Zur Ermittlung des Abriebkoeffizienten lautet die Gleichung nach c aufgelöst:

$$c = \frac{1}{0,434 x} (\log D_0 - \log D) \text{ in } [\text{km}^{-1}]$$

oder in der auf das Gefälle bezogenen Schreibweise, wenn die J-Formel von MEYER – PETER- und LICHTENHAHN verwendet wird:

$$\frac{J_x}{J_0} = e^{-\frac{3}{7}cx}$$

Nun gelten solche Ansätze nur für einen geomorphologisch völlig homogen beschaffenen und einem in seinem Längsprofil ausgereiften Fluß. Dies ist bei der Isar nicht der Fall. Auch die Isar nimmt wie viele andere Gewässer aufgrund ihrer Eintiefungstendenzen aus verschiedenen Flußabschnitten erdgeschichtlich abgelagertes, unterschiedliches Material aus der Flußsohle auf und mischt es in den laufenden Geschiebetransport ein. Schon deshalb verwischen sich die strengen Gesetzmäßigkeiten der Theorie des Geschiebeabriebs in der Praxis erheblich.

Über die petrografische Zusammensetzung und Variabilität der Isargesteine wurde in Kap. 4 ausführlich referiert. Die Dolomite sind gegen mechanische Beanspruchung weniger widerstandsfähig als die Trias- und Jurakalke. Dies bedeutet eine Zunahme der Kalkgerölle mit zunehmender Transportweite. Für das Isargeschiebe selbst liegen keine aktuellen oder solchermaßen untersuchten Abriebswerte vor. Für eine auf kalksteinhaltiges Geschiebe bezogene Abschätzung nach den von der Bundesanstalt für Gewässerkunde bei Abriebsversuchen an Salzach- und Saalachgeschiebe erhaltenen Koeffizienten wird ein Abriebkoeffizient von $c \cong 0,002 \cdot \text{km}^{-1}$ angenommen. Damit würde sich z. B. auf einem Transportweg von 100 km ein

Massenverlust durch Abrieb von $0,002 \cdot 100 = 0,20$, d.h. von 20 %, ergeben. Das bedeutet, daß beispielsweise für eine im Unterwasser des Sylvensteinspeichers in Transport gelangende Geschiebemenge von $10\,000\text{ m}^3$ nach 100 km Transportstrecke, das ist etwa kurz vor Freising, einen Abriebverlust in der Größenordnung von $2\,000\text{ m}^3$ erfahren würde.

Um den Restgeschiebetrieb im rd. 154 km langen Flußlauf der Isar zwischen Sylvenstein und Landshut zu verbessern, und gleichzeitig einen merklichen Beitrag zur Sohlstabilisierung und zur Ökomorphologie der Fließstrecken leisten zu können, müßte von einem jährlichen Geschiebeinput in das Flußregime in der Größenordnung von $20\,000\text{ m}^3$ ($d_m = 20$ bis 26 mm) ausgegangen werden. Dabei handelt es sich um einen Mengenansatz, der gemessen an den bisher bekannten, langjährigen gewässerkundlichen Gegebenheiten und den flußmorphologischen Strukturmerkmalen der Isar (siehe Anlagen 26, 27) ausgewogen und praktikabel erscheint, und bei dessen Verwirklichung deshalb auch keine nennenswerten Konflikte zu erwarten wären. Durch eine derartige Geschiebebewirtschaftung wird auch keine Problemzuweisung für Beteiligte zu besorgen sein, die für die Isar nicht flußtypisch oder historisch begründet ist oder für die nicht in vertretbarem Rahmen Abhilfe geschaffen werden könnte. Beispielsweise hat die flußmorphologische Untersuchung des Flußabschnittes Icking – Baierbrunn [11] nachgewiesen, daß in den 65 Betriebsjahren des Kraftwerkes Mühlthal von 1923 – 1988 allein schon die jährlichen Feststoffentnahmen im Bereich von Kanaleinlauf und Wehranlage Icking im Mittel rd. $33\,000\text{ m}^3/\text{a}$ betragen. Sie schwankten um Werte in der Zeit großer Geschiebefrachten der Isar (1954 – 1958) von rd. $103\,000\text{ m}^3/\text{a}$ und lagen in der Zeit stark nachlassender Restgeschiebefrachten (1968 – 1988) bei Werten um $16\,000\text{ m}^3$ jährlich.

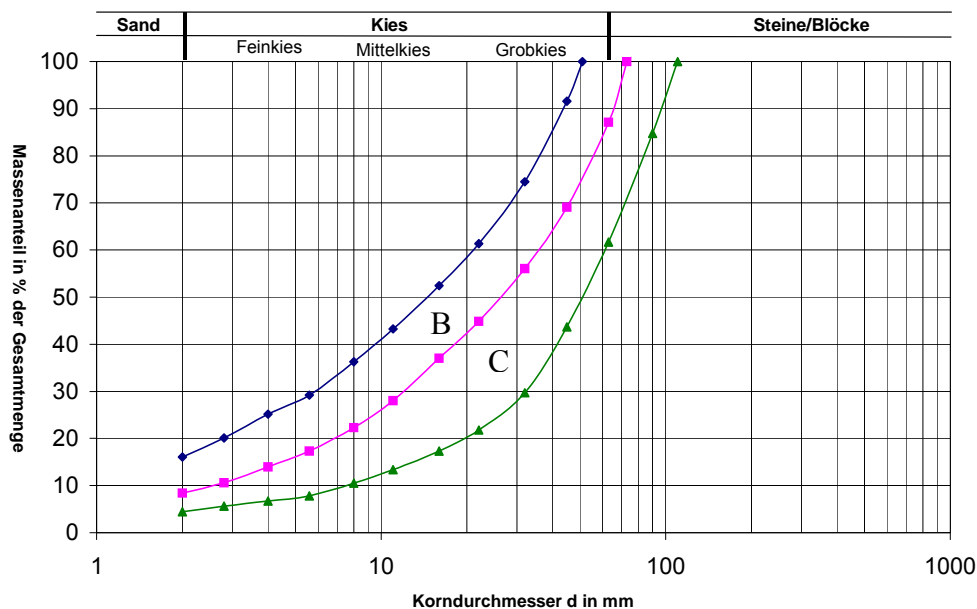
Als Fazit werden folgende Empfehlungen für eine künstliche Geschiebezugabe gegeben:

- Bezüglich der Auswahl, der Gewinnung und der Einbringung von Geschiebematerial sollte der Gesichtspunkt der Eignung Priorität haben (Anlage 23).
- Die Gestaltungsvorgänge sind im gesamten Flußlauf laufend gewässerkundlich zu beobachten. Aufgrund dieser Beobachtungen ist die Geschiebebewirtschaftung mit einem hohen Maß an Flexibilität zu steuern, gegebenenfalls einzuschränken oder notfalls auch

temporär auszusetzen.

- Zur Einbringung in die naturbelassene Flußstrecke empfiehlt sich – bis auf weiteres – bevorzugt Material des Körnungsbereiches B, zur Einbringung in die korrigierte Flußstrecke empfiehlt sich – bis auf weiteres – bevorzugt Material des Körnungsbereiches C. (Die Zuordnung des verwendeten Materials zum empfohlenen Körnungsbereich (Anlage 22) ist durch Eignungsprüfung festzustellen).

Geschiebe-Siebanalyse



empfohlene Körnungsbereiche des Zugabematerials
(B bevorzugt für naturbelassene Flußstrecke,
C bevorzugt für korrigierte Flußstrecke)

Bild: Für das Zugabematerial empfohlene Körnungsbereiche

- Die Zugabemenge kann – bis auf weiteres – auf die 3 Zugabestellen im Verhältnis 1 : 1 : 1, d.h. also gleich, aufgeteilt werden. Bei überschüssigem Material bzw. Material mit überwiegend grobkörniger Komponente (Tendenz zur gröberen Umhüllenden des Körnungsbereiches C) ist die Zugabestelle 3 bei Fkm 215,2 (Am Langeneck, unterhalb der Jachenmündung) zu bevorzugen.

Nach Angaben des Wasserwirtschaftsamtes Weilheim ergibt sich aufgrund einer Nachkalkulation zu den Naturversuchen der Kostenaufwand für die getestete künstliche Geschiebezugabe wie nachstehend:

*	Kosten [DM]**	Kosten [DM]**
Zugabe [m ³ /a]	ohne Ausschöpfung vertragl. Bedingungen	mit Ausschöpfung vertragl. Bedingungen
5 000	70 000	60 000
10 000	140 000	110 000
15 000	210 000	170 000
20 000	280 000	240 000

- Angesetzt sind bei der Kalkulation, daß 2/3 der Materialmenge aus der Isarvorsperre und 1/3 der Materialmenge aus einer der anderen Gewinnungsstellen mit überwiegend gröberer Körnung stammen.

** Für die Räumung der Geschieberückhaltesperren am Sylvensteinspeicher bestehen besondere vertragliche Regelungen mit Unternehmern.

Nähere Angaben zur Logistik und zur Kostenkalkulation der Geschiebezugabe können erforderlichenfalls beim zuständigen WWA Weilheim eingeholt werden, das auch mit der Durchführung der Zugabeversuche vor Ort betraut war.

Eine neben der künstlichen Geschiebezugabe weitere Möglichkeit, die Geschiebefracht bereits in der Oberen Isar zu verbessern, besteht darin, das in den unterhalb des Sylvensteinspeichers einmündenden Wildbächen anfallende Geschiebe zu nutzen bzw. für einen solchen Zweck sicherzustellen. Die Untersuchung „Erkundung des Geschiebehaushalts der Wildbäche

zwischen Sylvensteinspeicher und Bad Tölz mit Abschätzung des Feststoffeintrags in die Isar unter Berücksichtigung der Feststoffvorräte sowie der Abtragsverhältnisse in den Wildbacheinzugsgebieten“ [18] kommt zu folgender Gruppierung der Wildbäche:

- Bedeutende, mehr oder weniger intakte Geschiebezulieferer:
Arzbach und Hirschbach.
- Weniger bedeutende, mehr oder weniger intakte Geschiebezulieferer:
Almbach, Schrombach und Klaffenbach.
- Bedeutende Geschiebezulieferer mit deutlich eingeschränkter Leistungsfähigkeit:
Steinbach (Gaissach).
- Bedeutende Geschiebezulieferer mit (nahezu) unterbundenem Geschiebeeintrag:
Jachen (mit Kleine Laine, Große Laine, Röhrmoosbach, Reichenaubach, Rehgraben),
Schwarzenbach, Steinbach (bei Wackersberg).
- Weniger bedeutende Geschiebezulieferer mit (nahezu) unterbundenem Geschiebeeintrag:
Murrbach, Tratenbach, Lainbach.

Sollen größere Geschiebemengen aus den untersuchten Wildbacheinzugsgebieten in die Isar eingetragen werden, so besitzen diesbezüglich die bedeutenden, „nicht intakten“ Geschiebezulieferer die größten Potentiale.

- Die Jachen könnte wesentlich größere Feststoffmengen in die Isar eintragen, wenn ihr zumindest gelegentlich – z. B. zweimal jährlich – größere Abflüsse zur Verfügung gestellt würden. Hierzu wäre jeweils ein „dosierter“ Ablass aus dem Walchensee notwendig.
- Der Schwarzenbach könnte ohne die vollständige Geschieberückhaltung am Baumgartner Wehr sehr große Feststoffmengen in die Isar eintragen.
- Der Steinbach (Gaissach) könnte nach einer Einstellung bzw. Einschränkung der Geschiebeentnahmen wesentlich größere Feststoffmengen in die Isar eintragen.

- Der Steinbach (Wackersberg) könnte ohne die vollständige Geschieberückhaltung am Wehr des unteren Laufabschnitts bedeutende Feststoffmengen in die Isar eintragen.

Bei den möglichen Baumaßnahmen zur Verbesserung der Geschiebeeinstöße in die Isar ist jedoch zu bedenken, daß die vorhandenen Wehre, Rückhaltesperren und Wildbachsperrren eine Schutzfunktion vor Muren und geschiebereichen Hochwässern ausüben. Ob eine solche auch bei Umbauten in Dosiersperren bzw. durch das Schlitzten von Sperren gegeben ist, wäre zu überprüfen. Darüber hinaus ist die Dimensionierung und Gestaltung von Geschiebe-Dosiersperren relativ problematisch. Gegebenenfalls könnte durch Modellversuche eine Gestaltung der Durchlaßöffnungen optimiert werden. An mehreren Mündungen der Wildbäche, wie z. B. am Hirschbach, am Steinbach bei Gaissach und am Schrombach können bzw. müßten zudem die Einstoßverhältnisse in die Isar durch geeignete bautechnische Maßnahmen verbessert werden.



Bild: Mündungsbereich Arzbach (1994)



Mündungsbereich Steinbach (1994)

Die durchschnittlich pro Jahr nutzbare Geschiebemenge wird auf bis zu 11 000 m³ geschätzt. Für eine Entnahme aus den Rückhalteräumen, den Transport mit LKW und die Einbringung in die Isar werden rd. 10,00 DM/m³ Geschiebe veranschlagt.

Zur Nutzung der Geschieberessourcen der Wildbäche ist ein Bewirtschaftungsplan zweckmäßig. Das gesicherte, verfügbare Geschiebepotential der genannten Wildbäche kann selbstver-

ständig in die Bilanzierung und die Planung einer künstlichen Geschiebezugabe miteinbezogen werden. Je nach künftiger Strategie und den Notwendigkeiten einer Geschiebebewirtschaftung der Isar kann sich der Geschiebeeintrag über die Wildbäche daher umfang- und kostenmindernd auf die künstliche Geschiebezugabe auswirken oder umgekehrt bei entsprechendem Bedarf auch zur Aufstockung der bei einer künstlichen Geschiebezugabe erzielbaren Zugabemenge herangezogen werden.

10 Lösungsansätze und Möglichkeiten für eine Geschiebebewirtschaftung

10.1 Grundsätzliche Bemerkungen zu den Zielvorstellungen

Sowohl die Problematik der Gewässersituation der Isar in einem gestörten Regelkreis als auch die von Abhilfemaßnahmen ist in den voranstehenden Kapiteln einer eingehenden fachlichen Erörterung und Prüfung unterzogen worden. Demzufolge ist im Grunde genommen der Konflikt zwischen den einerseits hochgeschraubten Ansprüchen unserer technisierten Gesellschaft und den andererseits hochgeschraubten Zielen einer Wiederherstellung natürlicher Flußlandschaften nicht lösbar. Aber auch sogenannte Kompromißvorschläge wie etwa die in der Vergangenheit öfter gestellte Forderung, die Isar wenigstens wieder in einen „kultivierten Wildfluß“ zurückzuverwandeln, übersehen die Realitäten oder offenbaren ungenügende Einblicke in das Wirkungsgefüge der Naturkräfte, im speziellen der Flußmorphologie, die dort maßgebende Ursachen – Wirkungs Kette und die vielfältigen, oft divergierenden Ansprüche. Beispielsweise würde die häufig gestellte Forderung nach voller Abflußbeaufschlagung vorhandener Ausleitungsstrecken, um damit mehr bettbildende Dynamik zu erhalten, zu einem noch rascheren Verlust der letzten quartären Kiesauflagen im Flußbett und zu gesteigerter Eintiefung führen. „*Ein Unternehmer*“, so hat es Prof. HARTUNG einmal formuliert, „*dessen Geschäftsbilanz rote Zahlen aufweist, wäre schlecht beraten, wollte er den drohenden Konkurs durch gesteigerte Ausgaben abwenden*“.

Seit der Mensch mit Hilfe der von ihm entwickelten Mittel in den natürlichen Regelkreis der Flüsse massiv eingegriffen hat, haben diese ihr natürliches Gleichgewicht bzw. ihre frühere

Stabilität verloren und bekamen unter dem Druck der Veränderung einen veränderten Regelkreis mit zum Teil dynamischen Zügen einer unerwünschten Entwicklung. Die Forderung etwa nach Restaurierung eines natürlichen Zustandes verlangt konsequenterweise auch die Regelglieder, die wiederum für ein natürliches Gleichgewicht sorgen könnten. Dieses Gleichgewicht ist aber in mehrfacher Hinsicht gestört und irreparabel verändert. Es gibt deshalb auch nur wenige Reststrecken, wo noch ein solches Restpotential natürlicher Regelglieder bzw. natürlichem Gleichgewicht noch existiert, und die man allein durch den Einsatz von „Naturheilverfahren“ erhalten könnte. Für den Großteil dieser Flußstrecken ist es jedoch dafür zu spät. Die Eingriffe in den natürlichen Regelkreis waren zu hart und sie sind wie gesagt zum Großteil von irreversibler Natur. Vorwürfe gegen die früheren Generationen bringen, abgesehen von dem daraus zu ziehenden erkenntnistheoretischen Nutzen, jedoch keine Abhilfe. Die Verantwortlichen handelten damals unter dem Geist und der Notwendigkeit ihrer Zeit. Heute haben wir andere Erkenntnisse und teilweise auch andere Bedürfnisse.

Der Fluß kann viele Wünsche und Nutzungsansprüche erfüllen, aber eben nicht alle. Er kann das nur bis zu einer gewissen Grenze, nämlich der seines Gleichgewichtes, und das auch nur soweit wie wir es ihm unter Beachtung der Naturgesetze lassen und einen lebensfähigen Ausgleich zwischen den unverzichtbaren Nutzungsanforderungen und den Belangen seiner Stabilität schaffen. Unter den unverzichtbaren Nutzungsansprüchen wird beispielsweise auch das aus dem 19. Jahrhundert stammende und laufend verbesserte Konzept des Isarausbaues mit seinem weitgehenden Hochwasserschutz und der im Laufe der Zeit darauf abgestimmten Besiedlung zu zählen sein, das deshalb in seinen Grundzügen wohl nicht in Frage zu stellen ist.

Wir haben auch nicht mehr den Fluß vor uns, in dem den beiden Transportvorgängen, Abfluß und Geschiebetrieb, die Bildung der Flußlandschaften allein überlassen und freigestellt ist. Ein Großteil seiner natürlichen Selbstregelung ist notwendigerweise eingeschränkt und damit auch der seiner Selbstheilungskräfte. Die Folgen zeigen sich verhältnismäßig langsam, solange ein Teil der Selbstheilungskräfte noch wirksam ist, die Folgen sind aber akzelerierend und unausweichlich sobald die Selbstheilungskräfte fehlen. Hinzu kommt, daß wir gemessen an den natürlichen Verhältnissen uns heute noch mehr als damals von einem Flußlaufkontinuum entfernt haben, welches, so vorhanden, den Naturvorgang der Selbstheilung unterstützen würde.

Wie können wir in dieser Situation dem „Patienten“ Fluß am besten helfen und ihm, wie festgestellt, zu dem zur Erfüllung von Wünschen und Nutzungsansprüchen notwendigen Gleichgewicht und Stabilität verhelfen? Welcher anspruchsvollen Aufgabe haben wir uns dabei zu unterziehen? Scheinbar seiner Zeit weit voraus hat ALWIN SEIFERT bereits 1938 in der Zeitschrift „Die Deutsche Wasserwirtschaft“ eine Formulierung für diese Aufgabe, wie er sie damals sah, gefunden: *„Selbstverständlich kann man in einem Kulturland die Flüsse nicht in breiten Talböden nach ihrem Belieben hin und her pendeln lassen und bei Mangel an Acker- und Wiesenland können sie auch nicht von kilometerbreiten Wäldern begleitet sein. Aber zwischen dem Urzustand und dem nüchternen Gerinne der auf dem Papier errechneten Kulturoede liegt jene echte Kulturlandschaft, die urtümliche Lebendigkeit mit technischer Notwendigkeit zu einer gesunden und deshalb schönen und dauernden Harmonie vereinigt. Nicht nur auf dem Gebiete des Wasserbaus müssen wir heute die Erfahrung machen, daß im Gebiete alles Lebendigen dem technischen Eingriff des Menschen recht enge Grenzen gesetzt sind, jenseits deren Technik sehr rasch von Heil zu Unheil wird. Das vorsichtige Sichherantasten an diese schwer bestimmbare Grenze führt viel sicherer zu einem dauernden Gedeihen als die Vergewaltigung des Natürlichen durch die heute so außerordentlich gesteigerten Möglichkeiten der Technik.“* Unsere Aufgabe heute definiert ein aus wasserwirtschaftlicher und naturschutzfachlicher Zusammenarbeit entstandenes Leitbild, welches die zum Erreichen der Entwicklungsziele geeigneten und notwendigen Maßnahmen vorgibt. Das Ergebnis liegt unter dem Titel „Leitbild und Entwicklungsziele für die Isar von der Landesgrenze bis Landshut“ [24] als Arbeitsgrundlage vor. Im Hinblick auf die darin erarbeiteten Entwicklungsziele stellen Maßnahmen, den gegenwärtigen Zustand des Feststoffhaushaltes der Isar zu verbessern, einen wesentlichen und nachhaltigen Beitrag dar.

Das heißt, daß wir auch unter den Bedingungen des veränderten Regelkreises der Isar das natürliche Regelglied Feststoff (Geschiebe) soweit möglich durch eine künstliche Geschiebezugabe stärken müssen, um auf diese „sanfte“ Weise, einen stabilisierenden Beitrag zu leisten, der in Richtung des angestrebten Gleichgewichtes wirkt. Dabei sollten wir uns vor Augen halten, daß es ohne regelmäßige Geschiebezufuhr von oben her das für alpine Flüsse charakteristische Wechselspiel zwischen Akkumulation und Erosion auf Dauer nicht geben wird.

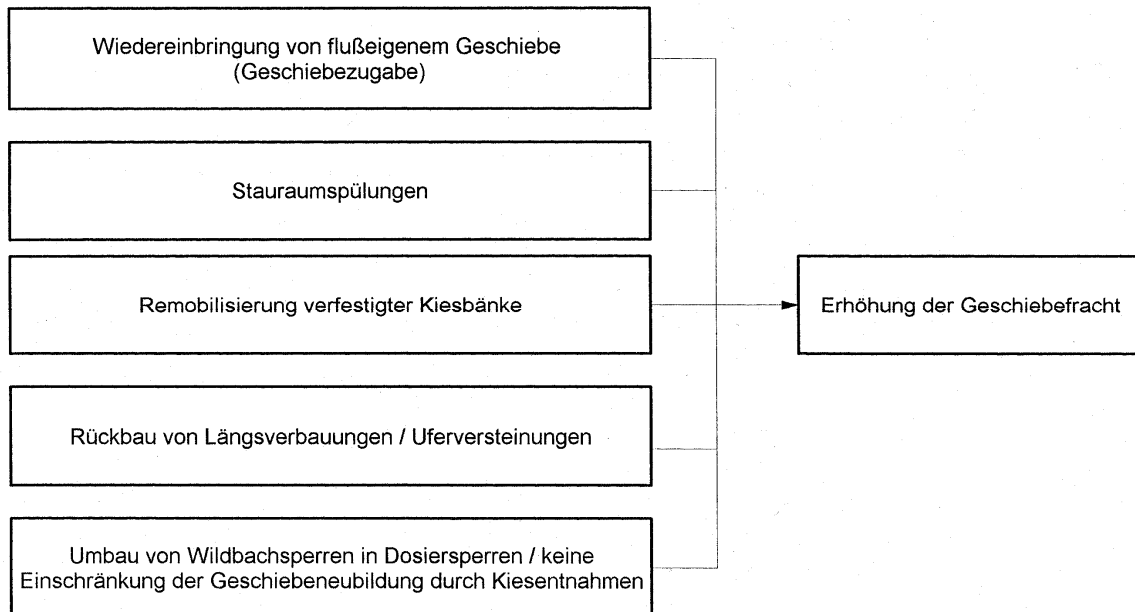


Bild: Maßnahmen zur Erhöhung der Geschiebefracht

Wir haben aber auch festzustellen, daß aus verschiedenen Gründen mit diesem Beitrag allein keine völlige Stabilität und optimierte ökologische Verbesserungen in der betrachteten Isar erzeugt werden können. Um die Entwicklungsziele zu erreichen, benötigen wir außerdem noch kombinierende und flankierende Maßnahmen, wie sie in den nachfolgend vorgetragenen Lösungsansätzen mit aufgeführt werden. Darüberhinaus sind alle Maßnahmen, die zu einer Verbesserung der Geschiebehaushalts führen, auch zum Erreichen nahezu aller anderen im Leitbild der Isar genannten Entwicklungsziele förderlich. Die vorliegende Studie soll hier zur notwendigen Klärung der Sachverhalte beitragen. Zur Umsetzung der Maßnahmen in der Praxis sollte den an der Isar Tätigen ein qualitätssicherndes Geschiebemanagementkonzept an die Hand gegeben werden. Dieses sollte die notwendigen Rahmen- und Handlungsvorgaben zur Verbesserung der flußmorphologischen und ökologischen Verhältnisse unter Berücksichtigung der ortsbezogenen strukturellen und naturgesetzlichen Zwänge setzen.

Lösungskonzept Geschiebeaktivierende und flußbettstabilisierende Maßnahmen

- Uferrückbau und Flußbettaufweitung in der
Regelungsstrecke
- Förderung des Geschiebeeintrags aus einmündenden
Wildbächen
- Remobilisierung verfestigter Kiesbänke
- Künstliche Geschiebezugabe
- Sohlstützende Querbauwerke
- Stauraumpülung bzw. -räumung mit Geschiebeumsetzung
- Kombination der genannten Einzelmaßnahmen

Bild: Einzelmaßnahmen eines Bewirtschaftungskonzeptes

10.2 Vorbemerkung zu den Lösungsansätzen

- Die Isar ist hinsichtlich des Geschiebetransportvermögens und ihrer Durchgängigkeit kein Kontinuum. Um das hauptsächlich in den frei fließenden Ausbaustrecken vorhandene hohe Geschiebetransportvermögen kompensieren zu können, wären Geschiebefrachten notwendig, die realistischere nicht zur Verfügung stehen und die, würde man sie desse-nungeachtet doch praktizieren wollen, anderenorts zu nicht mehr hinnehmbaren Abfluß- und Transportstörungen führen würden (siehe auch Statusübersichten - Anlage 26, 27).

- Der Einsatz der künstlichen Geschiebezugabe ist, wie dargelegt, aus verschiedenen Gründen auf die Obere Isar, d.h. auf eine Einbringung in die an den Sylvensteinspeicher anschließende Flußstrecke (bis etwa zur Jachenmündung) begrenzt, außerdem ist die Zugabemenge beschränkt und die für eine jährliche Zugabeaktion zur Verfügung stehende Zeit befristet. Als Konsequenz aus diesen Einschränkungen ergibt sich, daß also primär nicht die Menge des Geschiebes entscheidend ist, sondern allein die Tatsache, daß dem Fließgewässer Isar überhaupt wieder von oben her rezent Geschiebe zugeführt wird. Dabei ist jeder Kubikmeter Geschiebe, der der Isar auf diese Art und Weise zugeführt wird, in Hinblick auf die flußtypischen Bedürfnisse uneingeschränkt positiv zu bewerten.

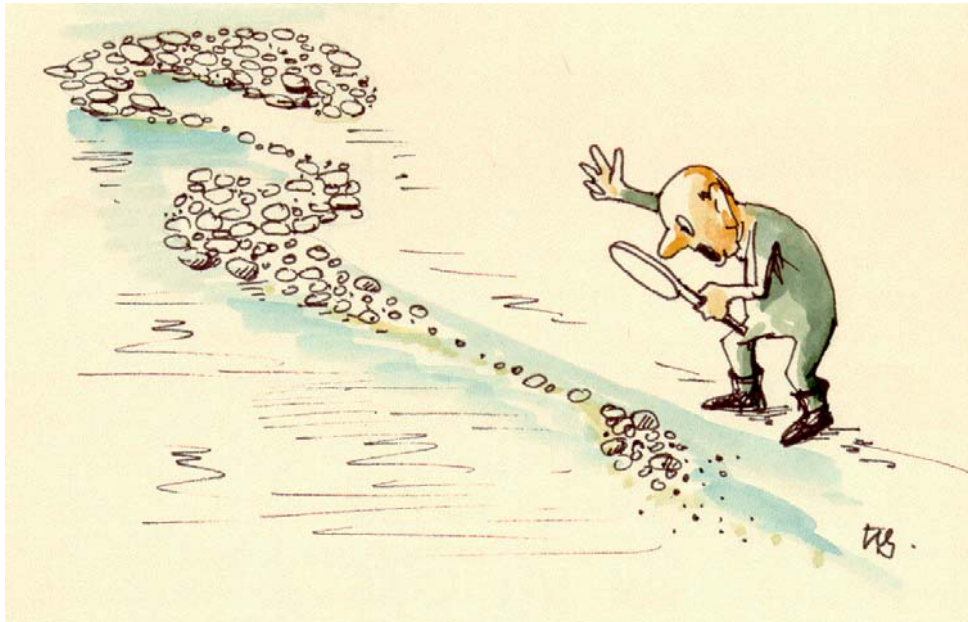


Bild: Auch die kleinste Menge Geschiebe ist positiv (Zeichnung: Geipel)

- Mit Rücksicht auf die nicht uneingeschränkte Durchgängigkeitskapazität der Staustufe Bad Tölz wäre es sinnvoll, die künstliche Geschiebezugabe zu dotieren und nicht mehr Geschiebe in die Isar einzubringen, als diese Passage verkraften kann. Andererseits setzt eine solche Rücksichtnahme voraus, daß sich auch der Betreiber der flußtauenden Anlage nachweislich um eine optimale Bewirtschaftung und eine volle Ausnutzung der transportwirksamen Abflußereignisse bemüht. Ein anderer Sachverhalt ergäbe sich dann, wenn man bereit wäre, einer mechanischen Umsetzung des im Stau dieser Anlage angelandeten Geschiebes näherzutreten.

- Eine ins Werk gesetzte Geschiebemanagement wird sich im betrachteten Flußlauf erst mittel- bis langfristig auswirken. Im Hinblick auf den nicht vorhersehbaren Zeitpunkt des Auftretens größerer bettbildender Abflüsse insbesondere in den Ausleitungsstrecken und den schwer abschätzbaren Prozessen der Feststoffverfrachtung, sollte man sich in Erwartung von spektakulären Erfolgen in Geduld üben. Hinzu kommt noch die Unbestimmbarkeit der fallweisen Durchgängigkeit und Bewirtschaftung durch die flußstauenden und abflußausleitenden Anlagen. Schematisch läßt sich die Bereitschaft zur Geschiebeverfrachtung bzw. zur Durchgängigkeit wie folgt veranschaulichen, wobei die Bereitschaft in der Reihenfolge von oben nach unten zunimmt:
 - Gestaute Flußstrecken, Stauraum ohne Spülmöglichkeit
 - Gestaute Flußstrecken, Stauraum mit Spülmöglichkeit
 - Umlagerungsstrecken und sohlgestützte Fließstrecken
 - freie Fließstrecken, Gefälle $< 2 ‰$
 - freie Fließstrecken, Gefälle $> 2 ‰$.

- Die beste Möglichkeit, um über die in Gang befindlichen Prozesse und Gestaltungsvorgänge im Fluß Gewißheit zu bekommen und die Maßnahmen der Geschiebemanagement steuern zu können, besteht in regelmäßig durchzuführenden gewässerkundlichen Flußaufnahmen. Einen Zustand der völligen Gewißheit über die künftige Entwicklung wird es zwar nicht geben. Prognosen und Angaben zu Entwicklungstendenzen sind mit Hilfe der dokumentierten Flußaufnahme jedoch möglich. Eine Simulation und numerische Berechnung der durch eine Geschiebemanagement zu erwartenden Prozesse ist nach dem Stand der Wissenschaft derzeit noch nicht hinreichend erfüllbar. Dies vor allem wegen einer Reihe wissenschaftlich noch nicht genügend geklärter flußmorphologischer Teilprozesse (siehe Kap. 8) und einer Reihe nicht datierbarer Schnittstellen. Darüber hinaus haben die dabei vorkommenden Systemprozesse eine nicht lineare Kausalität. Man kann diese Komplexität und Vernetzung heute zwar teilweise mit numerischen Simulationen darstellen, aber deshalb noch lange nicht anwendungsgerecht quantifizieren.

10.3 Lösungsansätze und Maßnahmen

10.3.1 Künstliche Geschiebezugabe

Die Maßnahme der künstlichen Geschiebezugabe besteht darin, einen Teil des in den Geschieberückhaltungen sowie Zuläufen zum Sylvensteinspeicher anfallenden Geschiebes in die Isar unterhalb dieser Talsperre wieder einzubringen. Entwicklungsziel ist es, dadurch den Restgeschiebetrieb in der Isar bis nach Landshut nachhaltig zu verbessern, um damit einen maßgeblichen Beitrag zur Gewässerstabilisierung und zur ökomorphologischen Aufwertung des Flußlaufes Isar zu leisten.



Bild: Die künstliche Geschiebezugabe

Voraussetzung für eine solche Maßnahme ist ihre Verträglichkeit zu anderen zu berücksichtigenden Belangen im Flußregime, insbesondere die Bewältigung der Geschiebedurchgängigkeit an den vorhandenen Stauanlagen, ohne dabei aber deren Betrieb unzumutbar zu belasten. Die künstliche Geschiebezugabe ist zwar eine logistisch anspruchsvolle, aber dafür auch eine steuerbare Maßnahme. Unter steuerbar ist zu verstehen, daß aufgrund von gewässerkundlichen Informationen die Geschiebezugabe bedarfsgerecht reguliert, d.h. erforderlichenfalls

vergrößert, gedrosselt oder auch zeitweilig ganz ausgesetzt werden kann. Die Kapazität der künstlichen Zugabe ist nach den bisher gewonnenen Erkenntnissen auf eine Einbringungsmenge von jährlich im Durchschnitt rd. 15 000 m³ begrenzt. Mengenmäßig darüber hinausgehende Zugabeaktionen wären nach derzeitigen Erkenntnissen wohl eher als Sonderfall zu behandeln. Insbesondere ist der Durchführungszeitraum der Geschiebeumsetzung mit einer Reihe von Beteiligten einvernehmlich zu klären. Die Verfügbarkeit und die Gewinnung geeigneten Geschiebematerials wäre über einen Geschiebebewirtschaftungsplan sicherzustellen, für den das Wasserwirtschaftsamt Weilheim als Betriebsbeauftragter für den Sylvensteinspeicher kompetent ist. Die Geschiebebewirtschaftung der Isar insgesamt und damit auch die der grundsätzlichen technischen Festlegung der künstlichen Geschiebezugabe sollte allerdings von einem Management koordiniert werden. Da die künstliche Geschiebezugabe eine technisch steuerbare Angelegenheit ist, könnte ihr Umfang prinzipiell auch mit der Mittelbereitstellung verknüpft werden.



Bild: Sohlstabilisierendes Deckwerk

Mit Rücksicht auf die Passage der Staustufe Bad Tölz wäre auf eine optimierte Kornzusammensetzung des Geschiebegemisches zu achten (siehe Kap. 6 und 9). Gelegentliche Geschiebedotationen aus sehr grobem Wildbachgeschiebe, welche gezielt in eintiefungsgefähr-

dete Flußabschnitte der Oberen Isar eingebracht werden, könnten im Sinne einer „granulometrischen Sohlverbesserung“ [82] oder eines „offenen Deckwerkes“ [49] zur Stabilisierung von Kolken und zur Ergänzung der Sohlabpflasterung eingesetzt werden. Wegen der geringen Mobilität des sehr groben Materials ist eine Belastung der Stauwurzel der Stufe Bad Tölz nicht zu besorgen. Das Vorhandensein einer angemessen mächtigen, quartären Sohlaufgabe – Voraussetzung zur Anwendung sohlverbessernder Maßnahmen – ist nur an der Oberen Isar (bis etwa Tölz) erfüllt.

10.3.2 Förderung des Geschiebeeintrages aus Wildbächen

Unterhalb des Sylvensteinspeichers münden einige Wildbäche in die Isar. Die in diesen Wildbächen vorhandenen Geschiebepotentiale sollten möglichst in vollem Umfang einer Verbesserung des Restgeschiebetriebes in der Isar zugeführt werden, bzw. für diesen Zweck sichergestellt werden. Da einem vom Abfluß gesteuerten Geschiebeeintrag in die Isar aus verschiedenen Gründen der Vorzug zu geben ist, wäre der Umbau von Rückhaltesperren in Dosiersperren – soweit zielführend - vorteilhaft. Andernfalls wäre das anfallende Geschiebe mechanisch zu gewinnen und per LKW-Transport in die Isar einzubringen (näheres Kap. 6.4 und 9.3). Die aus den Wildbächen insgesamt nutzbare Geschiebemenge wird auf jährlich über rd. 10 000 m³ veranschlagt. Um diese beachtliche Geschiebemenge zur Deckung des Geschiebedefizits der Isar systematisch nutzen zu können, sollte ein langjährig angelegter Bewirtschaftungsplan für dieses Geschiebepotential aufgestellt werden. Die bisherigen unregelmäßigen Kiesentnahmen durch Gemeinden oder Private zur Verwendung als Baustoff wären stattdessen einzustellen. Der Geschiebeeintrag aus den in Frage kommenden Wildbächen kann selbstverständlich in die Bilanz und die Planung der künstlichen Geschiebezugabe einbezogen werden.

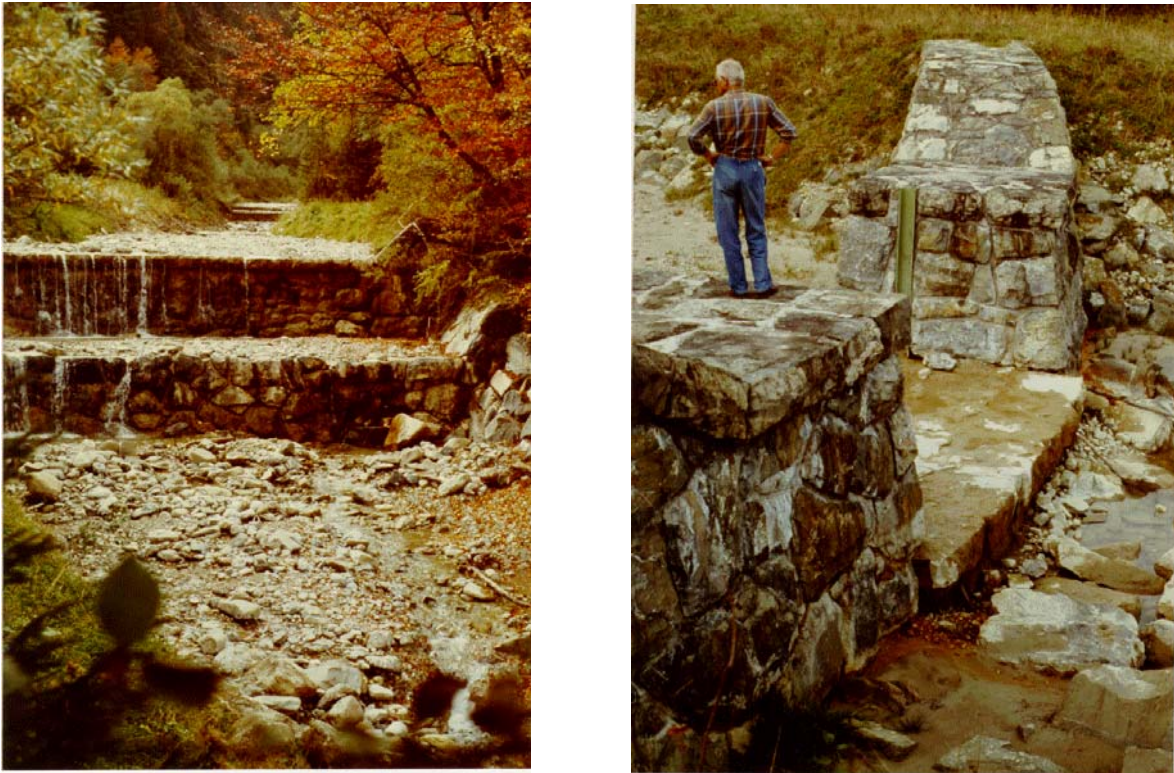


Bild: Förderung des Geschiebeeintrags aus Wildbächen

Je nach künftiger Strategie und den Notwendigkeiten einer Geschiebemanagement der Isar kann sich der Geschiebeeintrag über die Wildbäche umfang- und kostenmindernd auf den Umfang der künstlichen Geschiebezugabe auswirken oder umgekehrt bei entsprechendem Bedarf auch zur Aufstockung der bei einer künstlichen Geschiebezugabe erzielbaren Zugabemenge herangezogen werden.

10.3.3 Uferrückbau und Flußbettaufweitung

Mit den Maßnahmen Uferrückbau und Flußbettaufweitung verbindet sich heute eine bestimmte Zielvorstellung, nämlich den geschiebeführenden Fließgewässern vor allem an bislang zu schmal angelegten Flußstrecken wieder soviel Platz zu verschaffen, daß sich wieder Kiesbän-

ke und in Aufweitungen sich verzweigende Rinnen bilden können. Die bisher verbaute Uferlinie sollte dabei aufgelockert und dem Gewässer ein Teil seiner natürlichen Gestaltungsdynamik wiedergegeben werden. Die Sohlenstrukturen, die sich dabei bilden, können die Variabilität von Fließgeschwindigkeit, Abflusstiefe und benetzter Breite erhöhen, was sich wiederum positiv auf die Lebensgemeinschaften in und am Gewässer auswirken würde. Aus einer dabei ermöglichten Seitenerosion könnte dem Fluß zusätzlich Geschiebe zugeführt werden [19].



Bild: Uferrückbau und Flußbettaufweitung

Derzeit wird in der betrachteten Flußstrecke der Isar - vom Sylvensteinspeicher bis Landshut – die Gesamtlänge der rückbaufähigen Ufer mit insgesamt 20 km veranschlagt. Die dadurch gegebenenfalls über eine Seitenerosion freiwerdenden und in den Transportvorgang gelangenden Geschiebemengen sind nicht prognostizierbar. Erfahrungsgemäß sind die Geschiebeanteile im Ufer- und Vorlandsediment stark wechselnd (10% bis 80%). Darüber hinaus ist die Entwicklung rückgebauter Ufer von vielen Faktoren abhängig; sie ist vor allem nicht kontinuierlich und deshalb nicht quantifizierbar.



Bild: Uferrückbau und Flußbettaufweitung

Wegen der bei solchen Maßnahmen nicht ausschließbaren Laufverlagerungen ist vorab zu prüfen, ob gegebenenfalls Infrastrukturen, Bauwerke oder sonstige wertvolle Nutzungen davon betroffen werden könnten. Grundsätzlich ist eine laufende Beobachtung derartig umgestalteter Flußbereiche veranlaßt. Gestaltungsvorgänge in, am und durch den Fluß erfordern ein gewisses Maß an Fachkunde und Geduld. Dabei sollte der Eigenentwicklung durch den Fluß selbst der Vorzug vor allen dirigistischen Eingriffen, insbesondere vor solchen, die durch unkontrollierte bauliche Eingriffe (z.B. Buhnen oder ähnliche Werke) mehr „Dynamik“ in das Flußbett bringen sollen, gegeben werden. Es wäre gut, wenn diese fachlich anspruchsvollen Maßnahmen bei der Aufstellung von Gewässerentwicklungsplänen interdisziplinär abgeklärt und ihr Umfang sowie ihre Ausführung dort eindeutig festgelegt werden.

10.3.4 Remobilisierung von Kiesbänken

Die Maßnahme Remobilisierung dient dem Zweck, das in verfestigten und bestockten Kiesbänken festgelegte Geschiebe wieder dem natürlichen Transportprozess bzw. der Kiesbankmigration zuzuführen, ein Vorgang, der gleichzeitig auch die wertvollen ökologischen Funktionen rezenter Kiesbänke herstellt. Außerdem könnte damit eine Flußbetteintiefung, die sich bevorzugt im Einschnürungsbereich festliegender Kiesbänke bildet, beseitigt oder verhindert werden.



Bild: Remobilisierung verfestigter und bewachsener Kiesbänke ist eine Maßnahme der Gewässerpflege und -entwicklung

Remobilisierung ist nicht unproblematisch, sie verlangt als „sanfte“ Methode einen pfleglichen und haushälterischen Umgang mit der Ressource Kiesbank. Remobilisierung bedeutet auf keinen Fall „Kiesentnahme“ aus dem Fluß. Der Eingriff sollte im allgemeinen nur in einem behutsamen Auflockern, Aufreißen, Abschälen oder Abschieben der verfestigten Deckschicht einer Kiesbank bestehen. Der Einsatz anderer Mittel, um verfestigte Kiesbänke wieder

beweglich zu machen, wie etwa durch Einbau von Buhnen in das betreffende Flußbett, ist aus flußmorphologischer Sicht eher schädlich. Es empfiehlt sich die Maßnahme Remobilisierung erforderlichenfalls in einem Kiesbankpflegeplan zu behandeln und diesen als Bestandteil in den Gewässerentwicklungsplan einzubringen.

10.3.5 Bereitstellen von Flächen für die Flußentwicklung



Bild: Flächen für die Flußentwicklung

Das Bereitstellen von geeigneten, flußbegleitenden Flächen schafft den notwendigen Spielraum im Umfeld der Gewässer, um gegebenenfalls erstmalig oder auf lange Sicht gesehen, die notwendigen Maßnahmen der Gewässerentwicklung, insbesondere die der Geschiebemanagement ermöglichen zu können.

10.3.6 Verbesserung der Geschiebedurchgängigkeit an Wehranlagen und sonstigen flußstauenden Bauwerken

Die Geschiebedurchgängigkeit flußstauender Anlagen ist die wesentliche Voraussetzung für eine funktionierende und damit zielführende Geschiebemanagement der Isar im betrachteten Flußlauf vom Sylvensteinspeicher bis zu der mit einer Staustufenkette ausgebauten Unteren Isar ab Landshut. Dabei ist der Durchgängigkeit bzw., der Schleusung des Geschiebes durch die Stauräume mit der fließenden Welle – wo möglich – wegen flußmorphologischer, ökologischer und nicht zuletzt auch wegen ökonomischer Vorteile, der Vorzug gegenüber einer mechanischen Umsetzung zu geben.



Bild: Verbesserung der Geschiebedurchgängigkeit im Bereich von flußstauenden Anlagen

Einzelheiten der Durchgängigkeit der jeweiligen Bauwerke und Anlagen in der Isar enthält Kap. 5. Empfohlen wird, die unterhalb des Sylvensteinspeichers liegenden Stauanlagen an der Isar in einen von diesem Kopfspeicher ausgehenden Alarm- und Meldeplan – ähnlich dem eines HND – einzubinden. Dieser Plan soll vor einer absehbaren Abgabe von Hochwasserabflüssen aus dem Speicher, die Betreiber der unterhalb liegenden Stauanlagen recht-

zeitig in Bereitschaft versetzen, gegebenenfalls Vorkehrungen für eine optimale Geschiebedurchgängigkeit ihrer Anlagen zu treffen.

10.3.7 Sohlstützende Querbauwerke

In Flußstrecken, in denen wegen der fortgeschrittenen Flußbetteintiefung Handlungsbedarf besteht, kann durch „sanfte“ Methoden nicht mehr wirksam abgeholfen werden. Hier ist der Einsatz der „klassischen“ Methode, der Sohlstützung durch Querbauwerke, wohl nicht zu umgehen. Mit dieser Methode könnte wahlweise entweder „nur“ eine Sohlfixierung neuralgischer Punkte oder mit entsprechender Dimensionierung sogar eine dauerhafte Sohlhebung im Wirkungsbereich des Querbauwerkes erzielt werden – anpassungsfähig an das Maß gewünschter ökologischer und wasserwirtschaftlicher Entwicklungsziele, wie etwa die Wiedervernetzung von Aue und Fluß.



Bild: Sohlstützende Querbauwerke in Steinrampenbauweise

Insbesondere bietet sich die Sanierung bzw. Restauration vorhandener, aber zerfallender Naturschwellen zu diesem Zweck an. Alles in allem können wir uns heute aber auch der Bauweisen bedienen, die an geschiebeführenden Gewässern vor allem im alpinen Raum erprobt sind und die mittlerweile als landschaftsverträgliche Bauweisen Akzeptanz gefunden haben.



Bild: Beispiel einer naturnahen Sohlrampe

10.4 Instrumente einer qualitätssichernden Geschiebemanagement

Im Hinblick auf den im Leitbild definierten potentiell natürlichen Zustand stellen alle Maßnahmen, die den gegenwärtigen Zustand des Feststoffhaushaltes verbessern, einen notwendigen Beitrag zum Erreichen der Entwicklungsziele dar. Die flußmorphologischen und die ökologischen Verhältnisse können jedoch nur dann nachhaltig verbessert werden, wenn die genannten einzelnen Maßnahmen im Sinne einer „konzertierten Aktion“ soweit möglich und sinnvoll miteinander kombiniert werden (Beispiel s. Anlage 25).

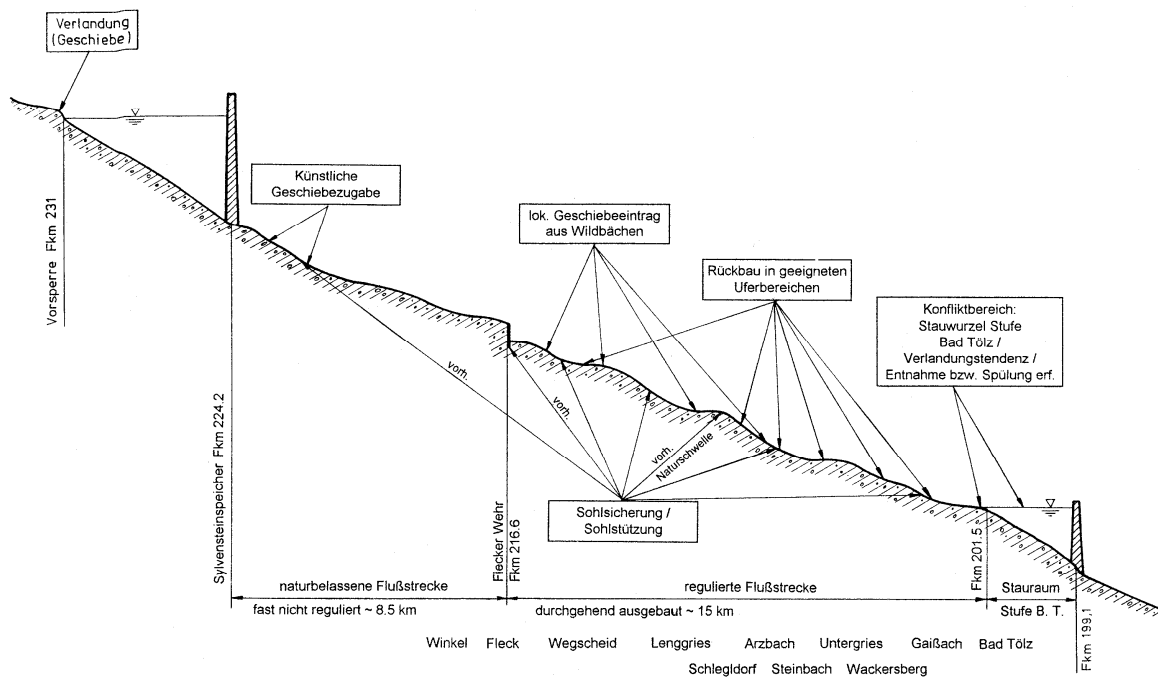


Bild: Die Kombination einzelner Maßnahmen der Geschiebemanagement ist der Weg zu einer erfolgreichen und nachhaltigen Verbesserung – schematisch dargestellt am Beispiel des Flußabschnittes Sylvensteinspeicher – Bad Tölz

Die Bemühungen der Wasserwirtschaft sind in diesem Zusammenhang darauf gerichtet, ein umweltverträgliches Konzept zu entwickeln, das den im Leitbild festgelegten Entwicklungszielen insbesondere denen einer verbesserten Geschiebemanagement Rechnung trägt und die entsprechenden Lösungsansätze für dazu notwendige Maßnahmen aufzeigt. Als Basisinstrumente für die praktische Umsetzung des Konzeptes sind hervorzuheben:

- das von Wasserwirtschaft und Naturschutz gemeinsam erarbeitete Leitbild für die Isar von der Landesgrenze bis Landshut [24]

- die geschiebetechnische Statusübersicht für die Isar vom Sylvensteinspeicher bis Landshut (Anlage 26, 27)

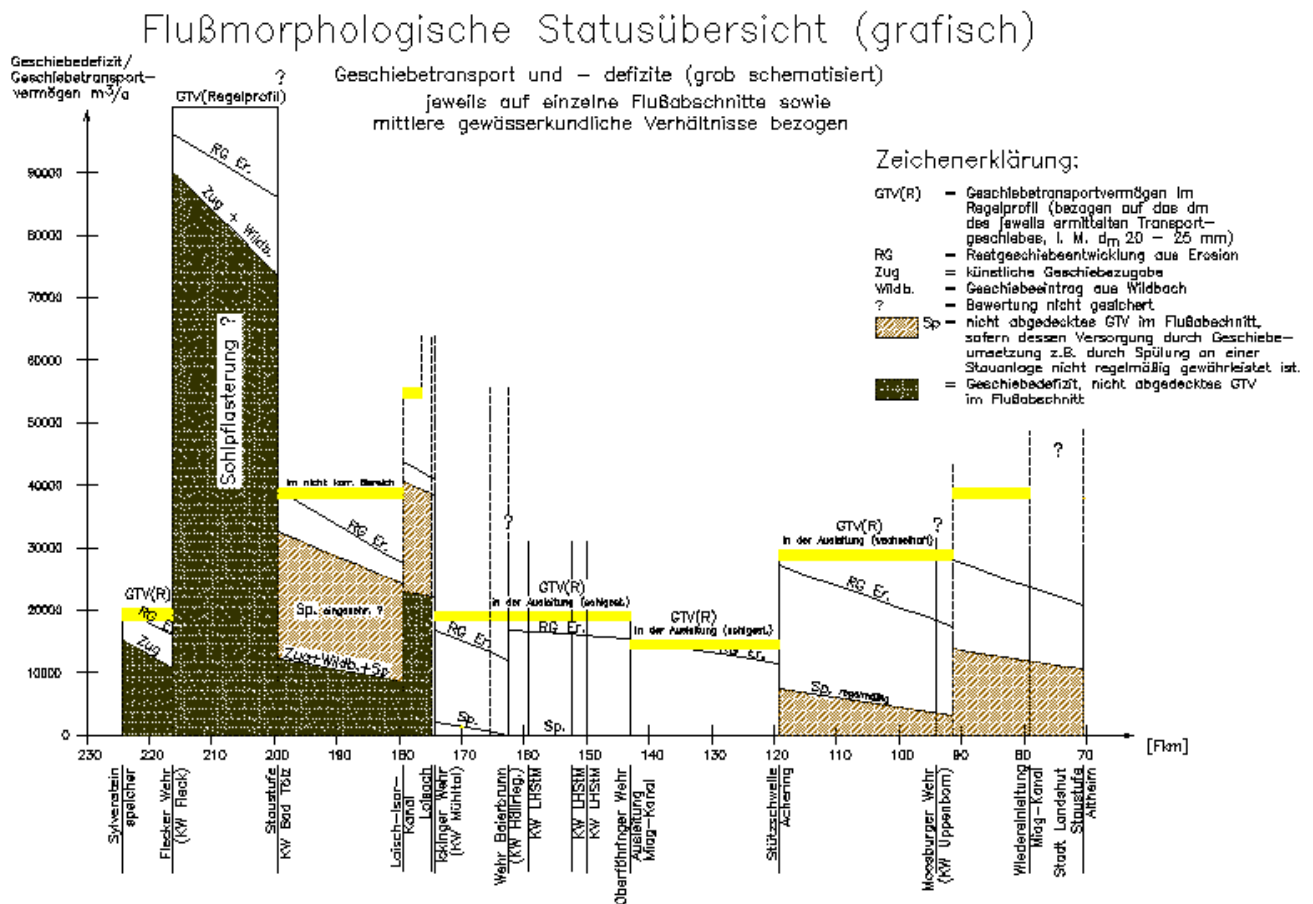


Bild: Geschiebetechnische Statusübersicht der Isar vom Sylvensteinspeicher bis Landshut – grafisch

- die Gewässerentwicklungspläne (-pflegepläne) für die Isar (Anlage 28)
- eine Reihe notwendiger fachlicher Detailpläne:
 - der Geschiebegewinnungs- und -zugabeplan für die Geschiebezubringer im Bereich am Sylvensteinspeicher

- der Uferrückbauplan mit Flußbett aufweitungen (möglichst im Gewässerentwicklungsplan aufarbeiten)
- der Kiesbewirtschaftungsplan für die im Zwischeneinzugsgebiet vom Sylvenstenspeicher bis Bad Tölz einmündenden Wildbäche
- der Alarm – bzw. Meldeplan für den Betrieb flußstauender Anlagen gegebenenfalls auch anlagenspezifische Bewirtschaftungspläne der Anlagenbetreiber
- der Kiesbankpflegeplan (möglichst im Gewässerentwicklungsplan aufarbeiten)
-
- das Flußaufnahmeprogramm zur Kontrolle und Dokumentation der Gestaltungsvorgänge sowie zur Bilanzierung des Feststoffhaushaltes mit den Vorgaben für
 - Querschnittsaufnahmen
 - Wasserspiegelfestlegungen
 - Feststoffentnahme – und – zugabemeldungen
 - geschiebetechnische Untersuchungen.
 (Arbeitshilfen gibt das Merkblatt „Flußausstattung, Flußaufnahmen und deren Dokumentation“ [4])

Allgemein fachkundige Arbeitshilfen enthält auch der Entwurf eines vom Landesamt für Wasserwirtschaft erarbeiteten Begleitkonzeptes zur Geschiebepflege [15] sowie im speziellen die hier vorliegende Studie.

Die Geschiebepflege eines Flußlaufes, der durch die Amtsbereiche von 4 Wasserwirtschaftsämtern führt, ist keine „selbstlaufende“ Angelegenheit. Sie bedarf, weil sie aus einem Bündel von Maßnahmen besteht, die in der Hauptsache sich nicht nur ortsbezogen, sondern überregional auswirken werden:

- der fachkundig und administrativ koordinierenden Stellen (Management durch Regierung, Bayer. Landesamt für Wasserwirtschaft und federführendes Wasserwirtschaftsamt)

- der fachkundig ausführenden Stellen (Wasserwirtschaftsämter mit Flußmeisterstellen)
- der fachkundig bewirtschaftenden und gewässerkundlich tätigen Stellen (Wasserwirtschaftsämter und Betreiber flußstauender Anlagen im Rahmen ihrer wasserrechtlichen Verpflichtungen)

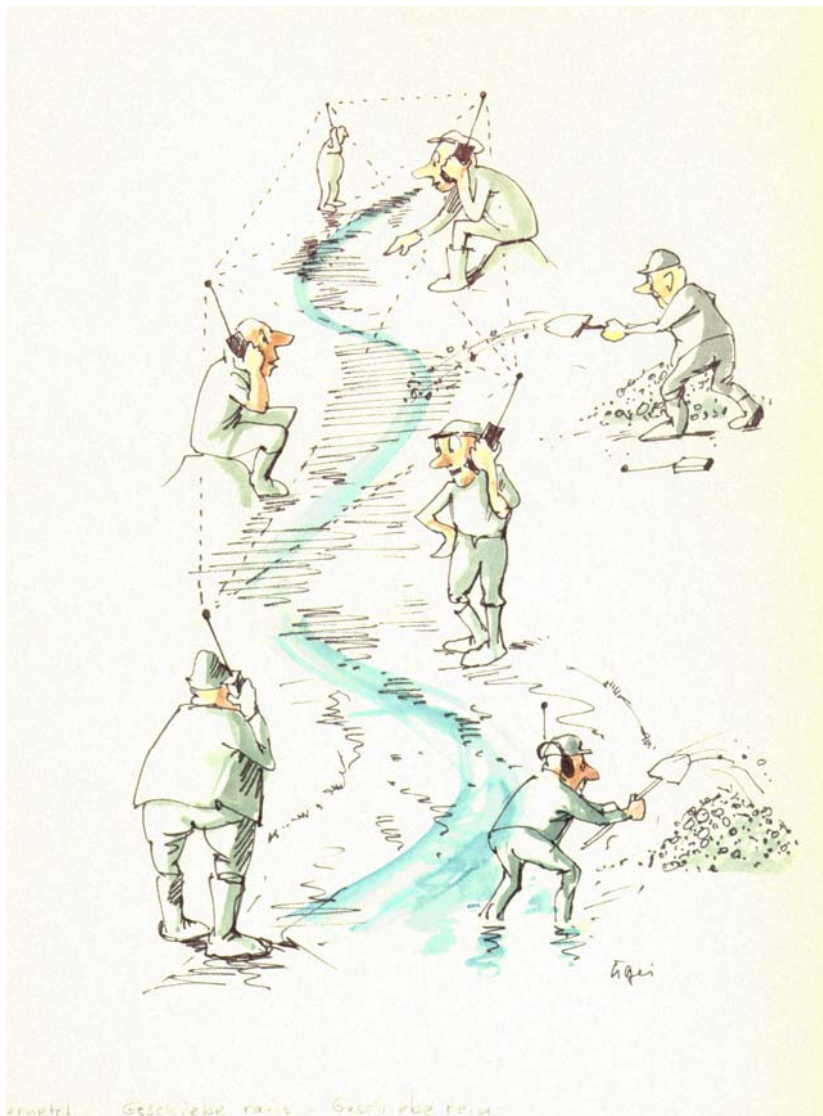


Bild: Die Geschiebepflege erfordert koordinierendes, fachkundiges Management sowie Solidarität und Engagement bei den Beteiligten (Zeichnung: Geipel)

Das Gelingen einer qualitätssichernden Geschiebebewirtschaftung der Isar setzt seitens der Beteiligten Solidarität und Engagement für die Sache und von den die Maßnahmen Durchführenden Verständnis für den Umgang mit der Ressource „Geschiebe“ voraus.

München, den 30. 04. 2000

Bayer. Landesamt für Wasserwirtschaft

i. A.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'BD Weiß', written in a cursive style.

BD Weiß

Bearbeiter der Studie:

BD Kortmann

ORR Grebmayer (geolog. Teil)

11 Anlagenverzeichnis

- 1 Flußstrecke Lenggries – Bad Tölz
Vergleich Zustand 1863 – Zustand nach der Regulierung
- 2 Flußstrecke Freising - Moosburg
Vergleich Zustand 1812 – Zustand nach der Regulierung 1934
- 3 Flußstrecke Moosburg - Landshut
Vergleich Zustand 1812 – Zustand nach der Regulierung 1934
- 4 Schematisches Alpenprofil
- 5 Geologische Übersichtskarte
- 6 Geologische Skizze des Alpengebietes
- 7 Querschnittsverarbeitung
Flußabschnitt: Sylvensteinspeicher – Bad Tölz
- 8 Querschnittsverarbeitung
Flußabschnitt: Bad Tölz – Ickinger Wehr
- 9 Querschnittsverarbeitung
Flußabschnitt: Ickinger Wehr – Baierbrunner Wehr
- 10 Querschnittsverarbeitung
Flußabschnitt: Baierbrunner Wehr – Großhesselohrer Wehr
- 11 Querschnittsverarbeitung
Flußabschnitt: Großhesselohrer Wehr – Oberföhringer Wehr

- 12 Querschnittsverarbeitung
Flußabschnitt: Oberföhringer Wehr – Landshut
- 13 Geschiebeumsetzung am Oberföhringer Wehr
- 14 Abflußstatistik – Abflußdauertabellen
- 15 Abflußstatistik – Scheitelabflußwerte
- 16 Abflußstatistik – Mittelwasserabflußband
- 17 Wandel einer Flußlandschaft
- 18 Vergleich markanter Flußquerschnitte
- 19 Geschiebekörnungsbänder
- 20 Umhüllende der Körnung des Zugabematerials
- 21 Diskutierte Körnungsbereiche des Zugabematerials
- 22 Empfohlene Körnungsbereiche des Zugabematerials
- 23 Charakteristik des Zugabematerials
- 24 Maßnahmen in einem Lösungskonzept
- 25 Schemabeispiel der Kombination von Maßnahmen
- 26 Morphologische Statusübersicht – numerisch
- 27 Morphologische Statusübersicht – graphisch

28 Situationslageplan

12 Quellenverzeichnis

- [1] BAYER. LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ, (1980), Wasserwirtschaftlicher Rahmenplan Isar, Verl. Oldenburg, München
- [2] BAYER. LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT, (1985), Flußmorphologische Untersuchung der Oberen Donau von Ingolstadt bis Kelheim, (Bearb. Kortmann, unveröffentl. Gutachten)
- [3] BAYER. LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT, (1986), Zur flußmorphologischen Situation der Isar im Gebiet der Ascholdingen und Pupplinger Au (Bearb. Scheurmann, Kortmann, Schauer u. Mangelsdorf, unveröffentl. Gutachten)
- [4] BAYER. LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT, (1988), Merkblatt-Flußausstattung, Flußaufnahmen und deren Dokumentation, Slg. LfW
- [5] BAYER. LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT, (1988), Flußmorphologische Untersuchung zur Festsetzung eines Mindestabflusses im Lech unterhalb des Wehres Gersthofen, (Bearb. Kortmann, unveröffentl. Gutachten)
- [6] BAYER. LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT, (1990), Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch, Donauegebiet, Abflußjahr 1990
- [7] BAYER. LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT, (1989), Morphologie und Geschiebehaushalt der Ammer von Oberammergau bis Altenau einschließlich der alpin geprägten Seitenbäche sowie der Halbammer, (Bearb. Kortmann u. Bunza, unveröffentl. Gutachten)
- [8] BAYER. LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT, (1991) Flußmorphologische Untersuchung zur Teilrückleitung der mittleren Isar, (Bearb. Kortmann u. Mangelsdorf, unveröffentl. Gutachten)
- [9] BAYER. LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT, (1992/1993), Flußmorphologische Untersuchung der Isar im Abschnitt Icking-Baierbrunn, (Bearb. Kortmann u. Mangelsdorf, unveröffentliches Gutachten/Materialienband)
- [10] BAYER. LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT, (1993), Feststoffhaushalt und – bewirtschaftung der südbayerischen Donauzuflüsse, Jahresbericht 1993
- [11] BAYER. LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT, (1993), Gewässerpflegeplan vom Ickinger Wehr bis zum Höllriegelskreuther Wehr (unveröffentlicht)
- [12] BAYER. LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT, (1994), Flußmorphologische Untersuchung der Tiroler Achen auf bayerischem Gebiet, (Bearb. Kortmann u. Mangelsdorf, unveröffentliches Gutachten)

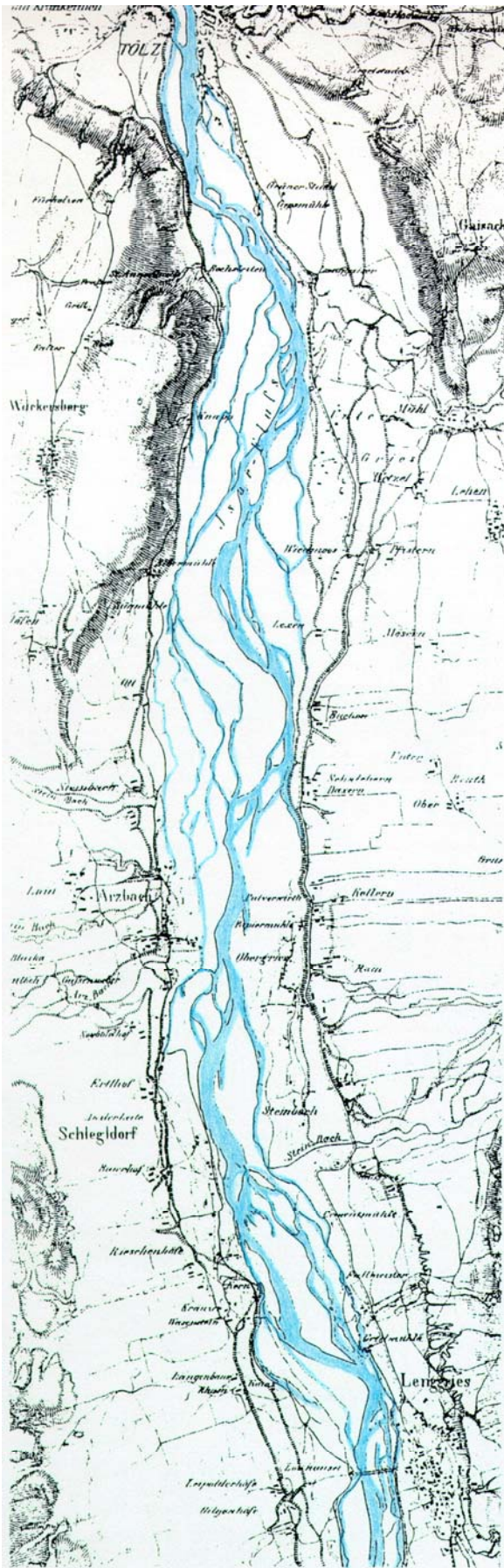
- [13] BAYER. LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT, (1995), Studie über die Möglichkeiten einer Geschiebebewirtschaftung der Isar - Konzept zur grundsätzlichen Vorgehensweise (unveröffentlicht)
- [14] BAYER. LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT, (1995), Abschätzung von Möglichkeiten einer Geschiebebewirtschaftung der Isar im Abschnitt Sylvensteinspeicher – Stufe Bad Tölz mit Lösungskonzept (Bearb. Kortmann, Vorstudie unveröffentl.)
- [15] BAYER. LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT, (1996), Begleitkonzept zur Geschiebebewirtschaftung – Arbeitshilfe (Bearb. Kortmann, unveröffentlicher Entwurf)
- [16] BAYER. LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT, (1997), Mindestwasserführung der Isar zwischen dem Wehr Höllriegelskreuth und dem Oberföhringer Wehr – Geologischer Sachstandsbericht, (Bearb. Grebmayer, unveröffentl.)
- [17] BAYER. LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT, (1997), Studie über die Möglichkeiten einer Geschiebebewirtschaftung der Isar - Erhebung und Erkundung besonderer geologischer Strukturen im Flußbett der Isar zwischen Sylvensteinspeicher und Bad Tölz, (Bearb. Grebmayer, unveröffentl.)
- [18] BAYER. LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT, (1998), Geschiebehaushalt der Wildbäche zwischen dem Sylvensteinspeicher und der Staustufe Bad Tölz – Abschätzung des Feststoffeintrags in die Isar unter Berücksichtigung der Feststoffvorräte und Abtragsverhältnisse in den Wildbacheinzugsgebieten, (Bearb. Bunza, unveröffentl. Gutachten)
- [19] BAYER. LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT, (1998), Materialien zum Uferrückbau und zu lokalen Flußbettaufweitungen in ausgebauten geschiefeführenden Flußläufen aus flußmorphologischer Sicht, (Bearb. Kortmann)
- [20] BAYER. LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT, (1999), Gewässerpflegeplan Isar - Höllriegelskreuther Wehr bis Oberföhringer Wehr (unveröffentlicht)
- [21] BAYER. LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT, (1999), Gewässerpflegeplan Mittlere Isar vom Oberföhringer Wehr bis zur Wiedereinleitung des Mittleren Isar-Kanals (Entwurf, unveröffentlicht)
- [22] BAYER. LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT, (1999), Restwasserstudie Mittlere Isar-Oberföhringer Wehr bis Uppenbornwehr (Entwurf, unveröffentl.)
- [23] BAYER. LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT, (2000), Untersuchung des Geschiebetransportes an der Oberen Isar mit der Radiotracermethode (Bearb. Lienke, unveröffentl. Ergebnisbericht)
- [24] BAYER. LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT, (2000), Leitbild und Entwicklungsziele für die Isar von der Landesgrenze bis Landshut (Entwurf, unveröffentl.)

- [25] BAYER. LANDESSTELLE FÜR GEWÄSSERKUNDE, (1926), Die Isar – Eine Flußbeschreibung, (unveröffentl. Gutachten)
- [26] BAYER. LANDESSTELLE FÜR GEWÄSSERKUNDE, (1948), Der Einfluß des Walchenseewerkes und seines geplanten Ausbaues auf die Gestaltungsvorgänge im Isargebiet (Bearb. Ertl, O., unveröffentl. Gutachten)
- [27] BAYER. LANDESSTELLE FÜR GEWÄSSERKUNDE, (1950), Die Gestaltungsvorgänge in einem Gebirgsfluß – Ursachen, Folgen und Beeinflussung der Isar durch den Menschen (Bearb. Ertl, unveröffentl. Gutachten)
- [28] BAYER. LANDESSTELLE FÜR GEWÄSSERKUNDE UND BAUER, F., (1960), Gestaltungsprobleme an der Oberen Isar, Symposium – Probleme der Gewässergestaltung, München
- [29] BAYER. STAATSMINISTERIUM FÜR LANDESENTWICKLUNG UND UMWELTFRAGEN, (1994), Maßnahmenkatalog zur Erhaltung, Pflege und Neuanlage von Lebensräumen für Pflanzen und Tiere
- [30] BAYER. STAATSREGIERUNG, (1994), Verordnung über das Landesentwicklungsprogramm (LEP) v. 25.01.1994, GVBL
- [31] BEZIRKSAMT MÜNCHEN, (1933), Ausbau der Mittleren Isar, Beschluß vom 09.02.1933 (mit späteren Fassungen)
- [32] BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU, (1997), Geotechnischer Bericht zur Untersuchung des Geschiebetransports durch die Isarstufe Bad Tölz mit Luminophoren, (Bearb. Rechlin, unveröffentl. Gutachten)
- [33] BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU, (1999), Geotechnischer Bericht zu Untersuchungen mit Luminophoren in der Isar zwischen Sylvensteinspeicher und Ickinger Wehr (Bearb. Rechlin, unveröffentl. Gutachten)
- [34] DVWK, (1995), Maßnahmen zur naturnahen Gewässerstabilisierung, Fachtagung Uni BW, München, Vortragsband
- [35] ERTL, O., (1950), Die Gestaltungsvorgänge in einem Gebirgsfluß - Ursachen, Folgen und Beeinflussung durch den Menschen, (unveröffentl. Gutachten)
- [36] GOPPEL, T., (1996), Flüssen und Bächen ihr natürliches Bett zurückgeben, Bayer. Staatszeitung, Nr. 23
- [37] GRUBER, C., (1877/79), Das Isartal zwischen der Loisach und Amper-Einmündung, Jahresbericht d. Geogr. Ges. München

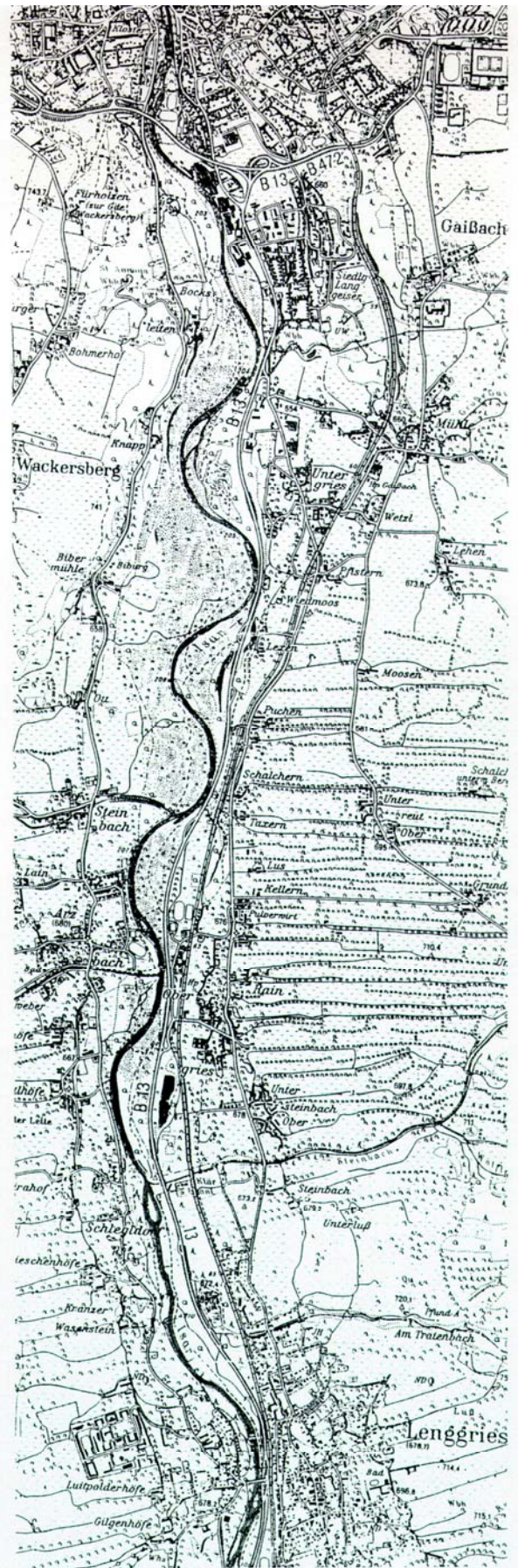
- [38] HABERSACK, H. UND NACHTNEBEL, H.-P.,(1998), Der Zustand der oberen Drau aus abiotischer Sicht: Defizite, Nutzungen; Österr. Wasser-und Abfallwirtschaft, Heft1/2
- [39] HARTUNG, F., (1973), Stüttschwellenkraftwerke, Wasserwirtschaft, Heft 11/12
- [40] HEINDL, K., (1936), Die Umgestaltung der Isar durch den Menschen, Diss. LMU, München
- [41] HRISSANTHOU, V. UND HARTMANN, S., (1998), „In-situ-Ermittlung“ der kritischen Erosionsgeschwindigkeit, Wasser und Boden, Heft 8
- [42] HUNZINGER, L., HUNZIKER, R., ZARN; B., (1995), Der Geschiebehaushalt in lokalen Aufweitungen; Wasser, Energie, Luft; Heft 9
- [43] ISAR – ALLIANZ, (1994), Eine Allianz fürs Leben, Natur und Umwelt, Heft 4
- [44] JÄGGI, M., (1983), Alternierende Kiesbänke, Mitt. Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zürich
- [45] JÄGGI, M., (1992), Sedimenthaushalt und Stabilität von Flußbauten, Mitt. Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zürich
- [46] KARL, J., MANGELSDORF; J. UND SCHEURMANN; K., (1977), Die Isar- ein Gebirgsfluß im Spannungsfeld zwischen Natur und Zivilisation, Verein z. Schutz der Bergwelt, München, (überarbeitet 1998 unter dem Titel: Die Isar- ein Gebirgsfluß im Wandel der Zeiten, Verein z. Schutz der Bergwelt)
- [47] KARL, J., (1994), Renaturierung und Revitalisierung alpiner Fließgewässer, Verein zum Schutz d. Bergwelt e. V., München
- [48] KLÖTZLI, F., (1994), Grenzen ökologischer Freiräume, Wasserwirtschaft Heft 7/8
- [49] KNAUSS, J., (1995), Sohlensicherung an der Unteren Isar-Belegung der Sohle mit größeren Steinen in offener Anordnung, Heft 76 der Berichte der Versuchsanstalt Oberrach und des Lehrstuhls für Wasserbau und Wasserwirtschaft der TUM
- [50] KORTMANN, H., (1966), Die Nutzung der Münchener Stadtbäche im Wandel der Zeit, Bibliothek der OBB im BStMDI, Nr. 236, München
- [51] LANDRATSAMT BAD TÖLZ-WOLFRATSHAUSEN, (1991), Planfeststellungsbescheid zur Veränderung des Tölzer Isarstausees in Bad Tölz, vom 24.04.1991
- [52] LANDRATSAMT BAD TÖLZ-WOLFRATSHAUSEN, (1995), Bewilligung der Gewässerbenutzungen für das Wasserkraftwerk Mühlthal an der Isar durch die Isar-Amperwerke AG in den Gemeinden Straßlach – Dingharting, Landkreis München und Icking, Landkreis Bad Tölz - Wolfratshausen
- [53] LANDRATSAMT MÜNCHEN, (1960), Umbau der Wasserkraftanlage der Isar-

- Amperwerke AG. an der Isar in Höllriegelskreuth, (Beschuß v. 26.02.1960)
- [54] LANDSRATSAMT MÜNCHEN, (1960), Umbau der Wasserkraftanlage der Isar-Amperwerke AG. an der Isar in Pullach, Beschuß vom 26.02.1960
- [55] LANDRATSAMT FREISING, (1959), Errichtung der Kraftwerksanlagen Uppenbornwerk I und II in der Isar zwischen Moosburg und Landshut, Bescheid vom 31.12.1959
- [56] MANGELSDORF, J. UND SCHEURMANN, K., (1980), Flußmorphologie – Ein Leitfaden für Naturwissenschaftler und Ingenieure, Verl. Oldenburg, München
- [57] MAYR, (1911), Die Korrektur der geschiebeführenden Gebirgsflüsse mittels einseitiger Leitwerke, K. Hof- und Universitäts-Buchdruckerei, München
- [58] MAYRHOFER, A., (1964), Normalprofil und Ausgleichsgefälle geschiebeführender Flüsse, ÖWW
- [59] MEYER-PETER, E. UND LICHTENHAHN, (1963), Altes und Neues über den Flußbau (Eidg. Amt für Straßen- und Flußbau), Schweiz
- [60] NESTMANN, F., (1996), Eigenschaften und Nutzungen von Fließgewässern, Wasserwirtschaft, Heft 7/8
- [61] OBERSTE BAUBEHÖRDE; BSTMDI, (1888), Denkschrift über den Wasserbau an den öffentlichen Flüssen im Königreich Bayern
- [62] OBERSTE BAUBEHÖRDE ; BSTMDI, (1909), Denkschrift über den gegenwärtigen Stand der Wasserbauten in Bayern.
- [63] RESCHER, O.J., (1993), Möglichkeiten der Verhinderung von bedenklichen Sohleintiefungen mittlerer und größerer Flüsse, Internat. Symposium – Wasserkraft mit oder gegen die Natur, Deggendorf
- [64] ROTH, M. UND ZARN, B., (1998), Eintiefung am Wildfluß Melezza, Wasserbau Symposium- Planung und Realisierung im Wasserbau
- [65] SCHEUERLEIN, H., MÜLLER, J. UND LUFF, H., (1996), Erfahrungen im Zusammenhang mit Kiestriftmaßnahmen an der Stauanlage Bad Tölz, (unveröffentl. Bericht)
- [66] SCHEURMANN, K., (1987), Rückbau der Isar in München zum „Wildwasserfluß“, Kolloquium 21.07.1987, LHST München
- [67] SCHEURMANN, K., (1992), Wandel voralpiner Flußlandschaften durch Wasserbau und Wasserkraftausbau, Laufener Seminarbeiträge 1/92
- [68] SCHÖBERL, F., (1990), Stabilisierungsmaßnahmen im Gerinnebett – Einsatz und Dimensionierung, 9. Seminar f. Landschaftswasserbau, TUW, Heft 10

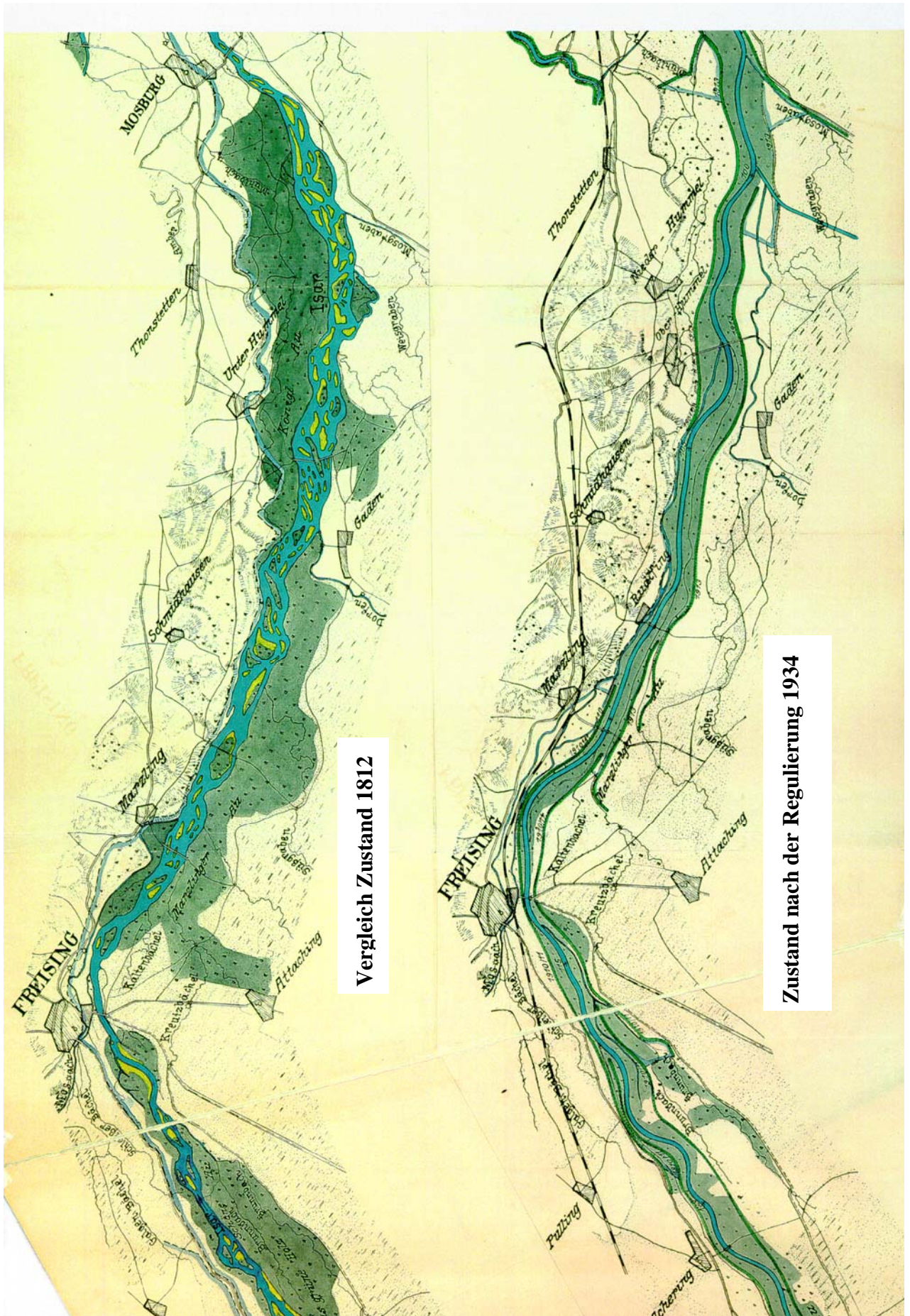
- [69] SCHÖBERL, F., (1991), Morphologische Dynamik – Gewässerregulierung: Spannungsfeld alpiner Flußbau, ÖWW
- [70] SHIELDS, A., (1936), Anwendung der Ähnlichkeitsmechanik und der Turbulenzforschung auf die Geschiebebewegung, Mitt. Preuß. VA für Wasserbau und Schiffbau, Heft 26
- [71] SPEER, F., (1977), Das Problemgebiet obere Isar – Entwicklung, Zustand und Lösungsvorschläge (unveröffentlichte Diplomarbeit)
- [72] VOLLMERS, H.-J. UND WIEPRECHT, S. (1993-1995), Verschiedene Gutachten zur Verlandung und Sanierung der Stauhaltung Oberföhring (unveröffentl. Gutachten)
- [73] v. RIEDL, A. (1806), Stromatlas von Baiern, Hauptstaatsarchiv München
- [74] VERSUCHSANSTALT FÜR WASSERBAU UND WASSERMENGENWIRTSCHAFT, (1986), Die Beurteilung von Stauraumpülungen an der Isarstufe Bad Tölz aus flußmorphologischer Sicht, (Prof. Dr.-Ing. Blind , Bearb. Prof. Dr.-Ing. Scheuerlein), TUM
- [75] WASSERPOLIZEIBEHÖRDE KGL. HAUPT- UND RESIDENZSTADT MÜNCHEN, (1907), Isarregulierung und Ausnützung der Wasserkräfte der Isar in Süden der Stadt, Beschluß vom 10.06.1907 (mit Ergänzungsbeschlüssen)
- [76] WASSERWIRTSCHAFTSAMT WEILHEIM, (1964), Vorbericht zum Bau von Sohl-schwellen an der Isar zwischen Sylvensteinspeicher und Bad Tölz (unveröffentl.)
- [77] WEISS, F.-H. UND KORTMANN, H., (1992), Feststoffhaushalt und Feststoffbewirtschaft im Deutschen Donaugebiet, Konferenz der Donauländer über hydrologisch-wasserwirtschaftliche Grundlagen, Konferenzband, Kelheim
- [78] WEISS, F. H., (1997), Die Isar Problemfluß oder Lösungsansatz? - Geschiebeproblematik, Laufener Seminarbeiträge, 4/97
- [79] WIESBAUER, H., (1993), Steinige Wege zum Gleichgewicht; Wildflüsse; Garten u. Landschaft, Heft 10
- [80] ZANKE, V., (1994), Möglichkeiten und Grenzen numerischer Modelle mit beweglicher Sohle, Wasser und Boden, Heft 12
- [81] ZARN, B., (1997), Einfluß der Flußbettbreite auf die Wechselwirkung zwischen Abfluß Morphologie und Geschiebetransportkapazität, Mitt. Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zürich
- [82] ZOTTL, H., (1998), Granulometrische Sohlverbesserung, Österreichisches Donau-Symposium 1998



Isarstrecke Lengries - Bad Tölz 1863

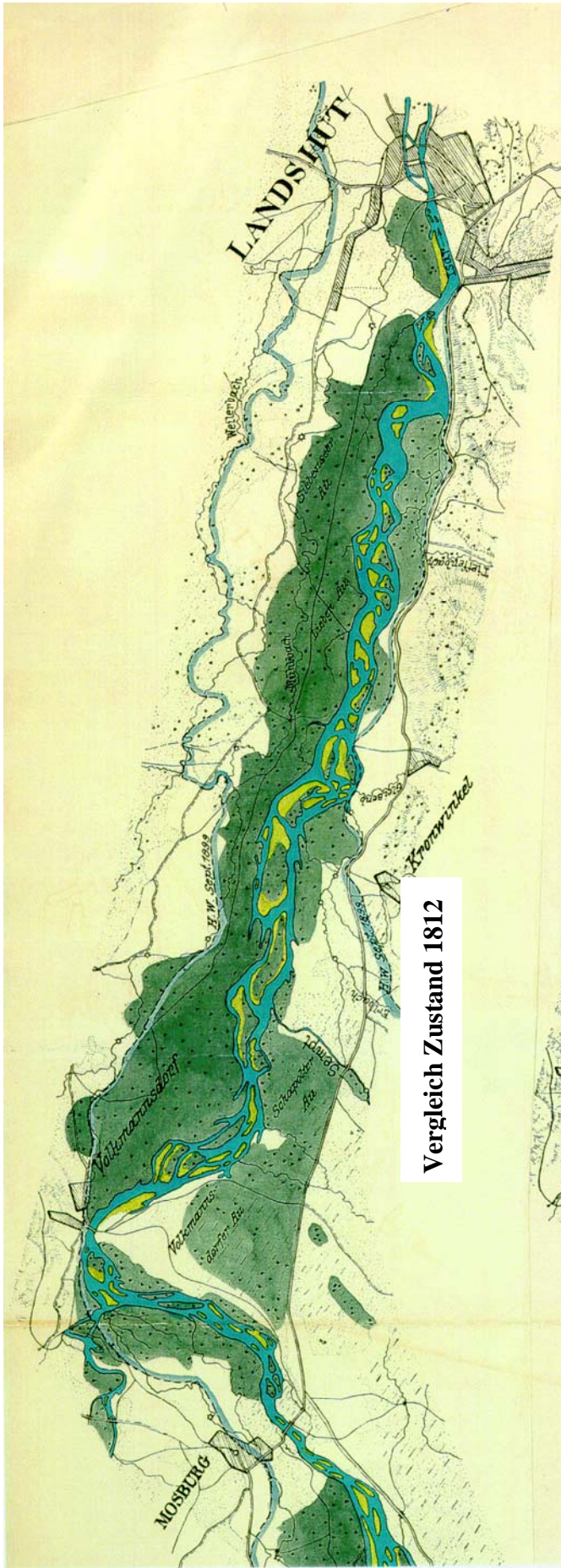


regulierter Zustand

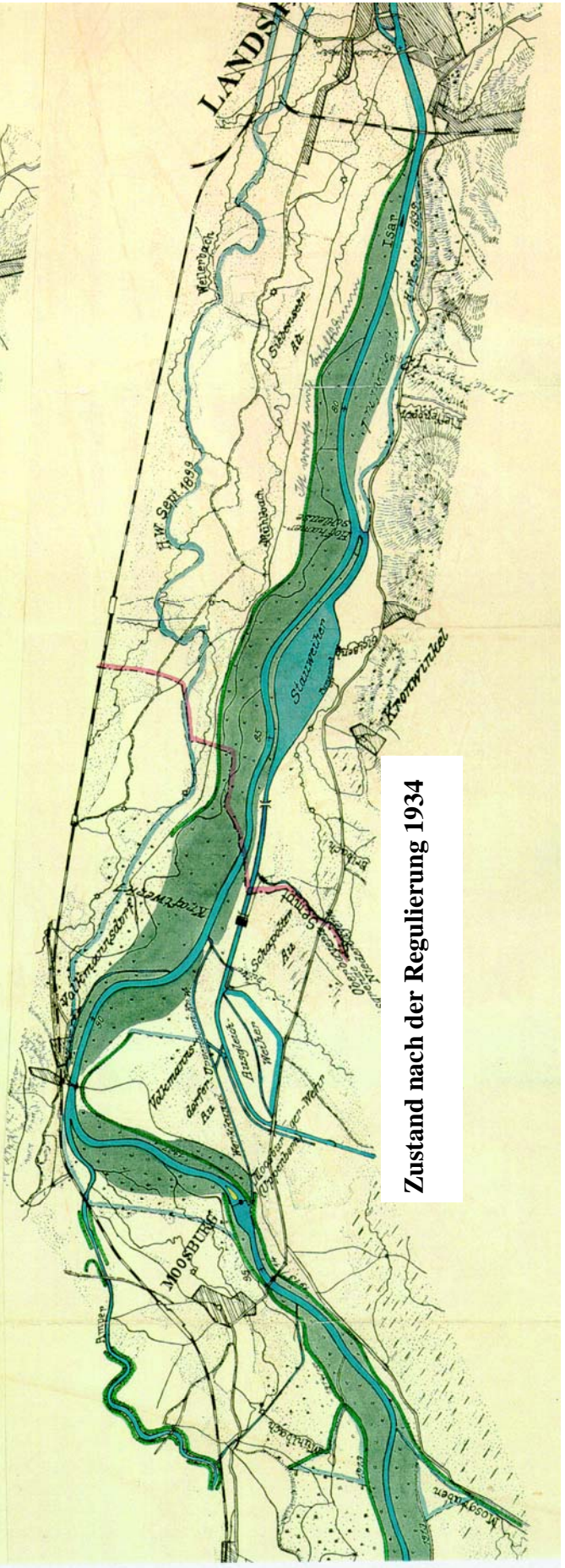


Vergleich Zustand 1812

Zustand nach der Regulierung 1934



Vergleich Zustand 1812



Zustand nach der Regulierung 1934

Norden

Süden

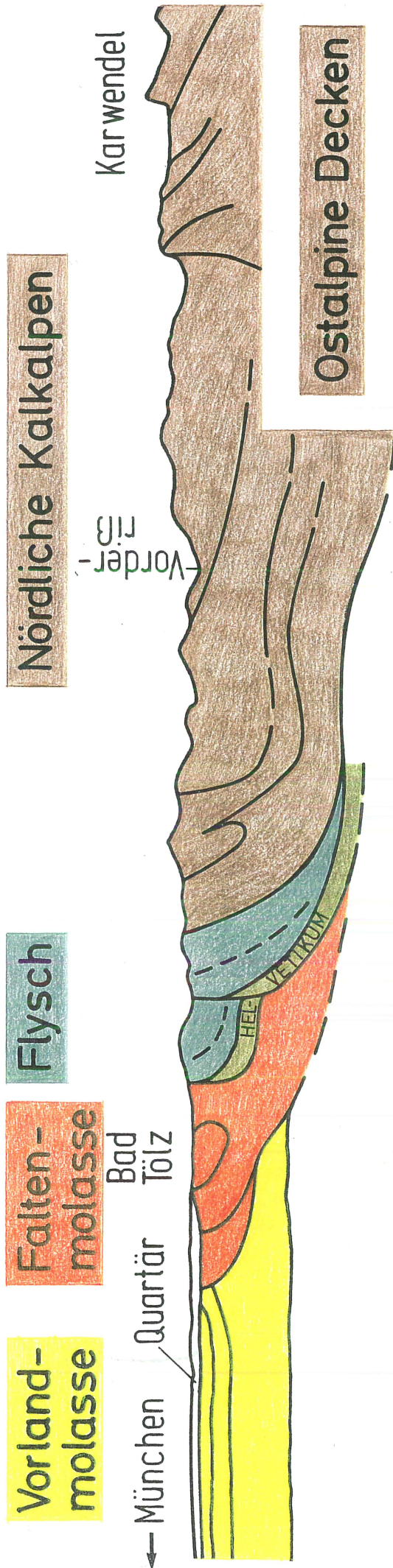
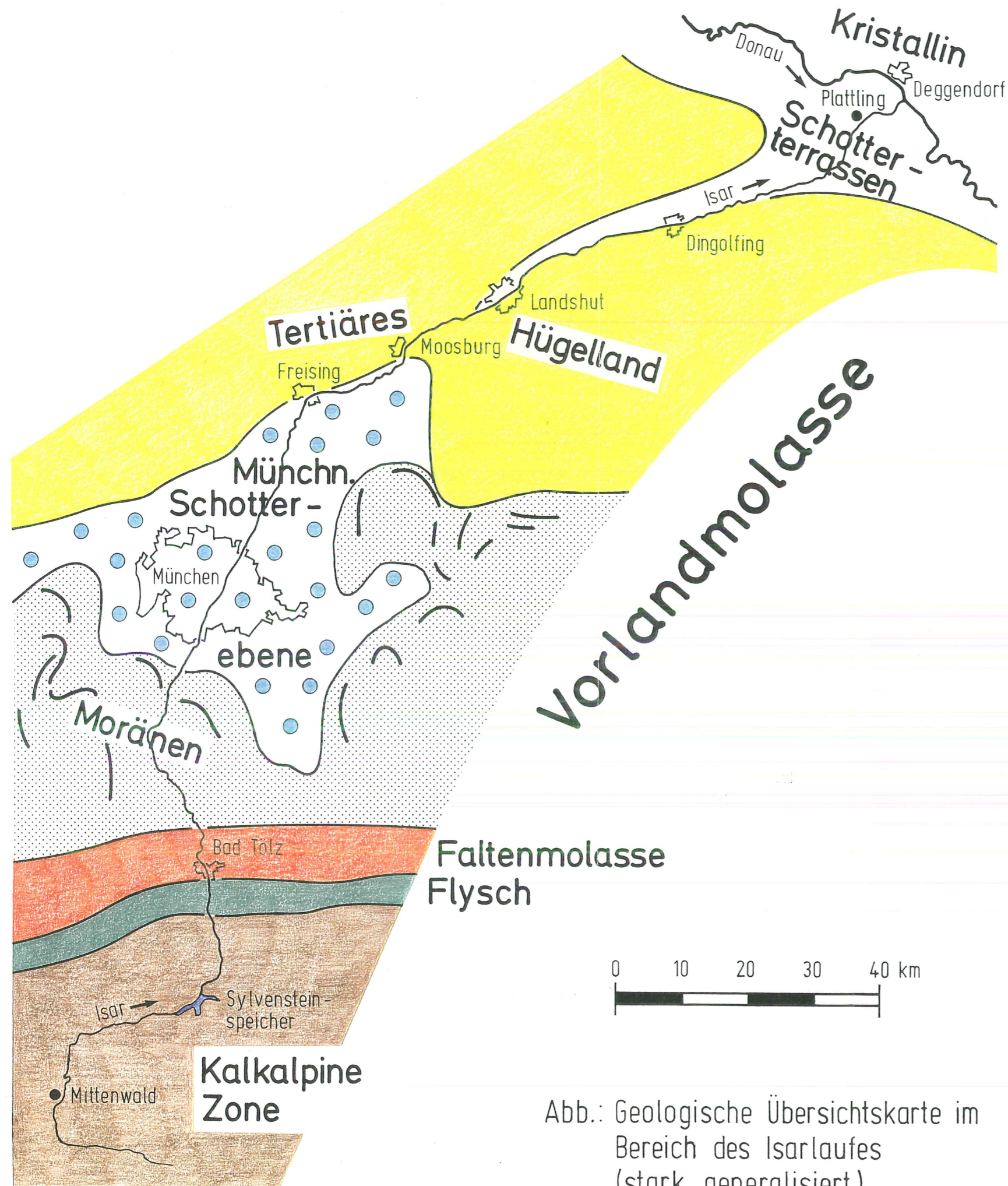



Abb.: Schematisches Alpenprofil vom Karwendel (Isarquelle) bis südlich München



Eis-/nacheiszeitliche Ablagerungen (Quartär)

 Schotterterrassen (Kies, sandig)

 Moränen mit Endmoränenzügen (Kies, sandig - Schluff, tonig)

Molassebecken (Tertiär)

 Ungefaltete Molasse; Vorlandmolasse (Ton, Schluff, Sand, auch kiesführend)

 Faltenmolasse (Tonstein, Schluffstein, Mergelstein)

Flyschzone (Kreide)

 i.w. Bunte Mergel

Kalkalpine Zone (Jura, Trias)

 i.w. Hauptdolomit mit Wettersteinkalk; auch Liaskalk

Geologische Übersichtskarte
M = ca. 1: 666 000

Abb.: Geologische Übersichtskarte im Bereich des Isarlaufes (stark generalisiert)

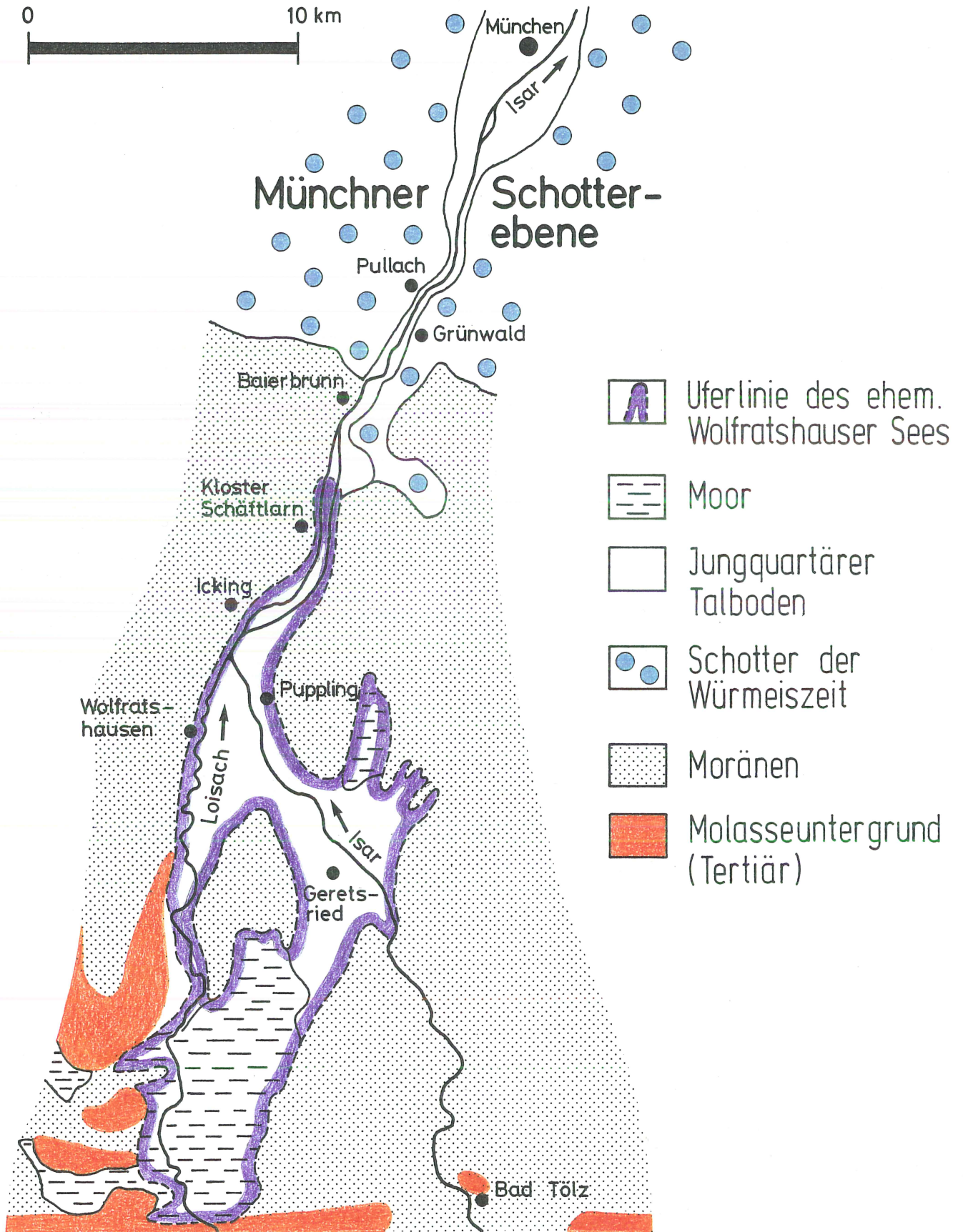
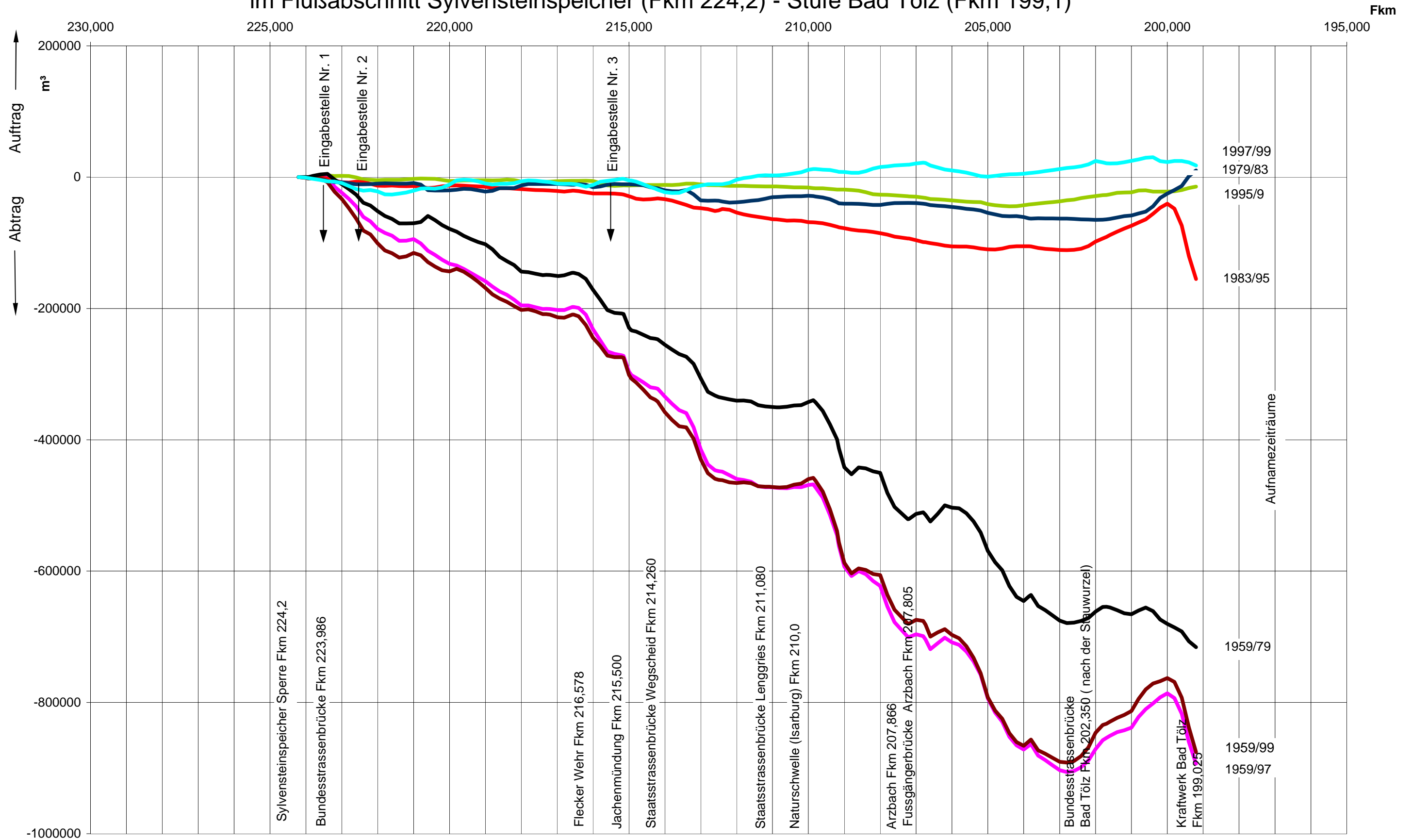


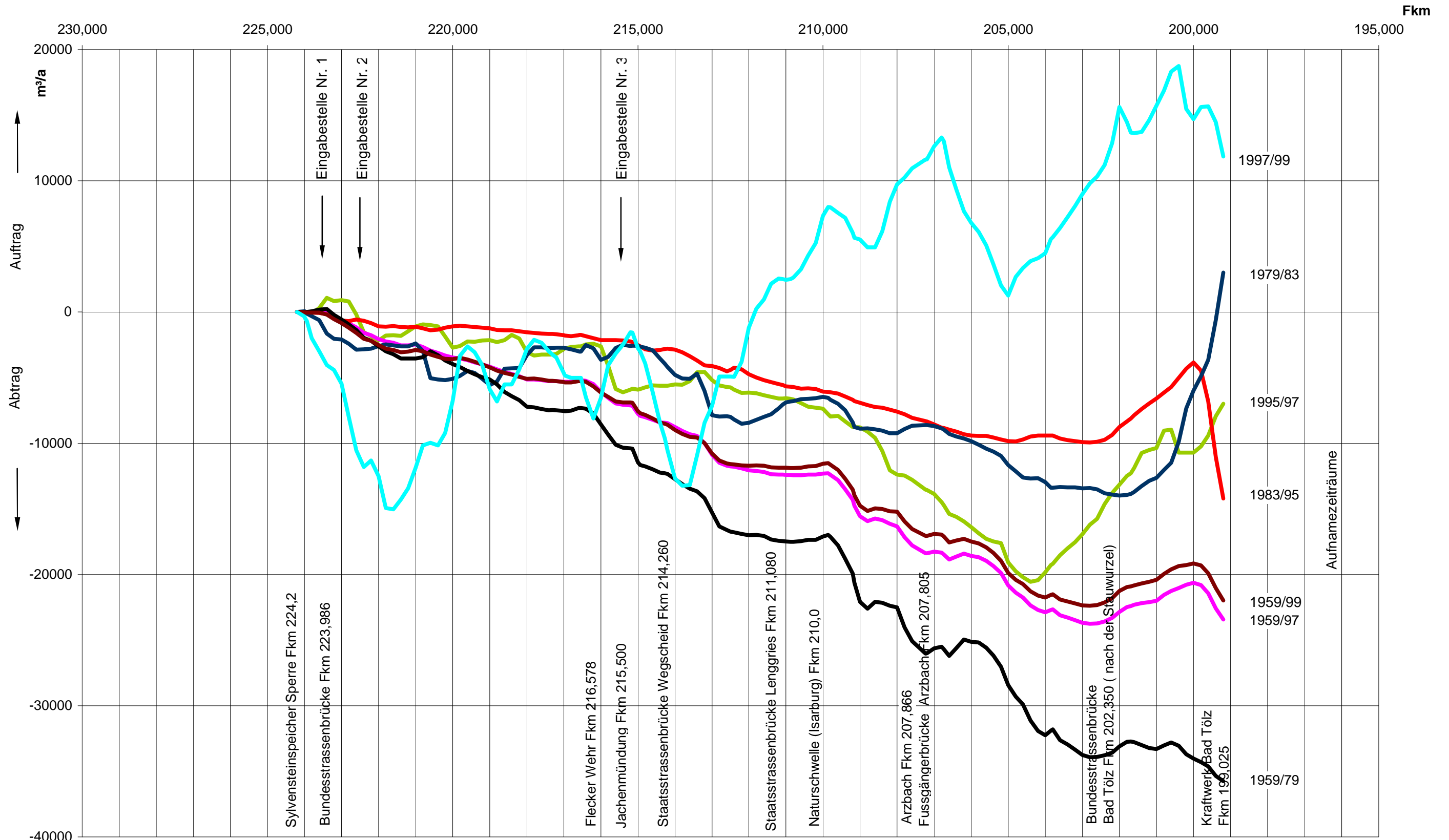
Abb.: Geologische Skizze des Isargebietes zwischen Bad Tölz und München

Massensummenlinie über den jeweils gesamten Aufnahmezeitraum [m³]
 im Flußabschnitt Sylvensteinspeicher (Fkm 224,2) - Stufe Bad Tölz (Fkm 199,1)



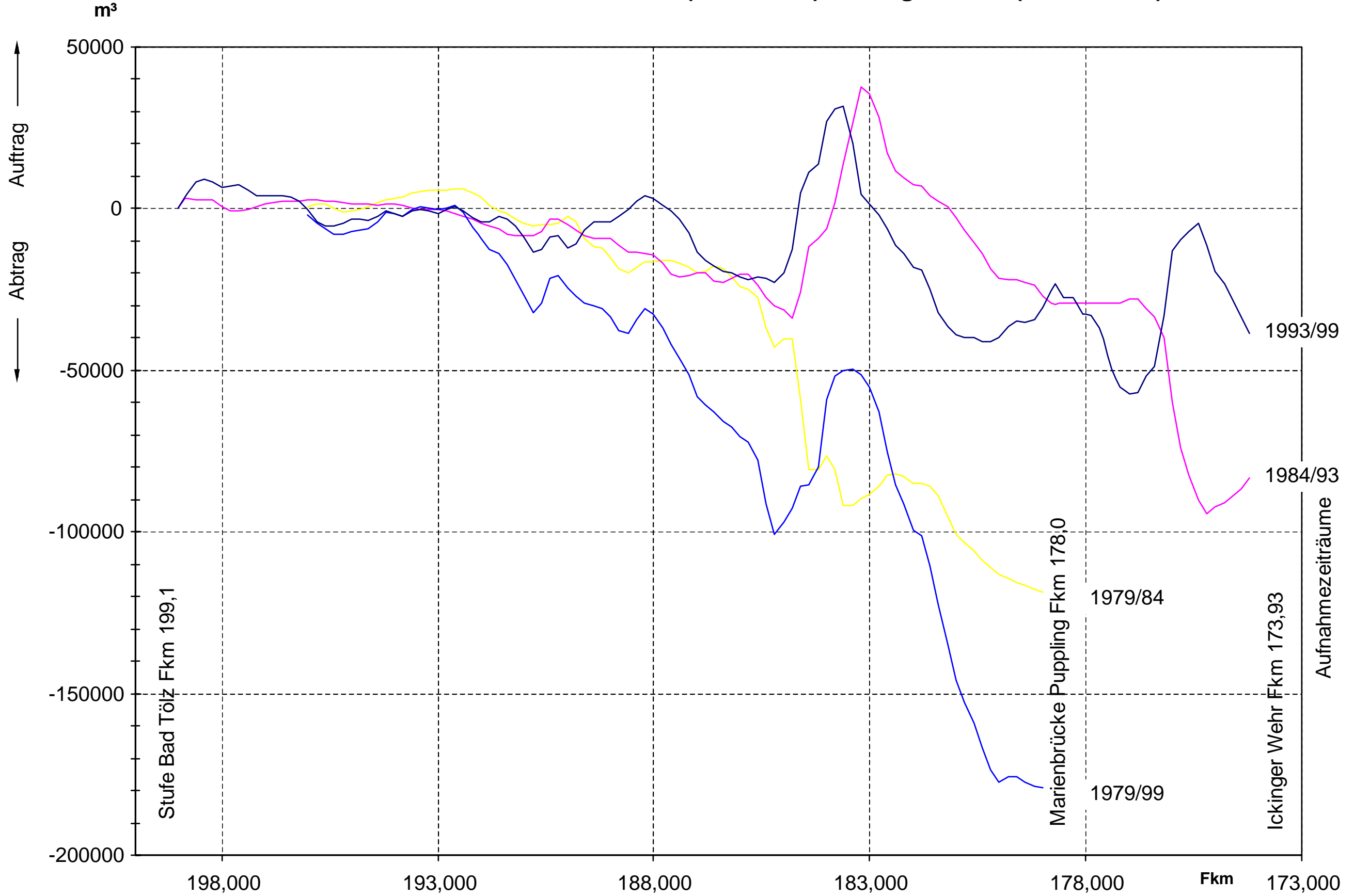
Studie über die Möglichkeiten einer
 Geschiebemanagement der Isar

Massensummenlinie als Jahresmittel bezogen auf den jeweiligen Aufnahmezeitraum [m³/a]
 im Flußabschnitt Sylvensteinspeicher (Fkm 224,2) - Stufe Bad Tölz (Fkm 199,1)



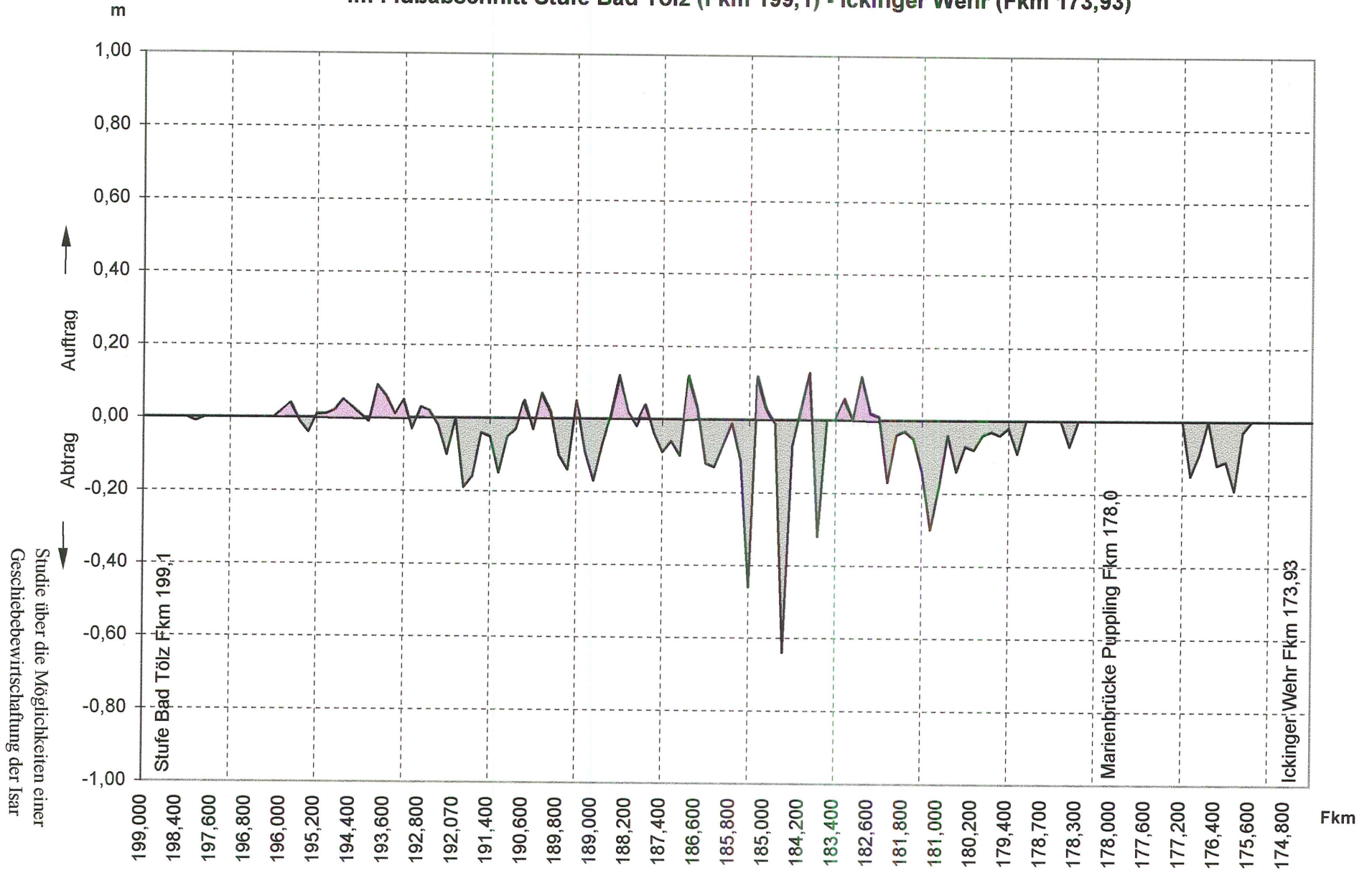
Studie über die Möglichkeiten einer
 Geschiebemanagement der Isar

**Massensummenlinien bezogen auf den jeweiligen Aufnahmezeitraum
im Flußabschnitt Stufe Bad Tölz (Fkm 199,1) - Ickinger Wehr (Fkm 173,93)**

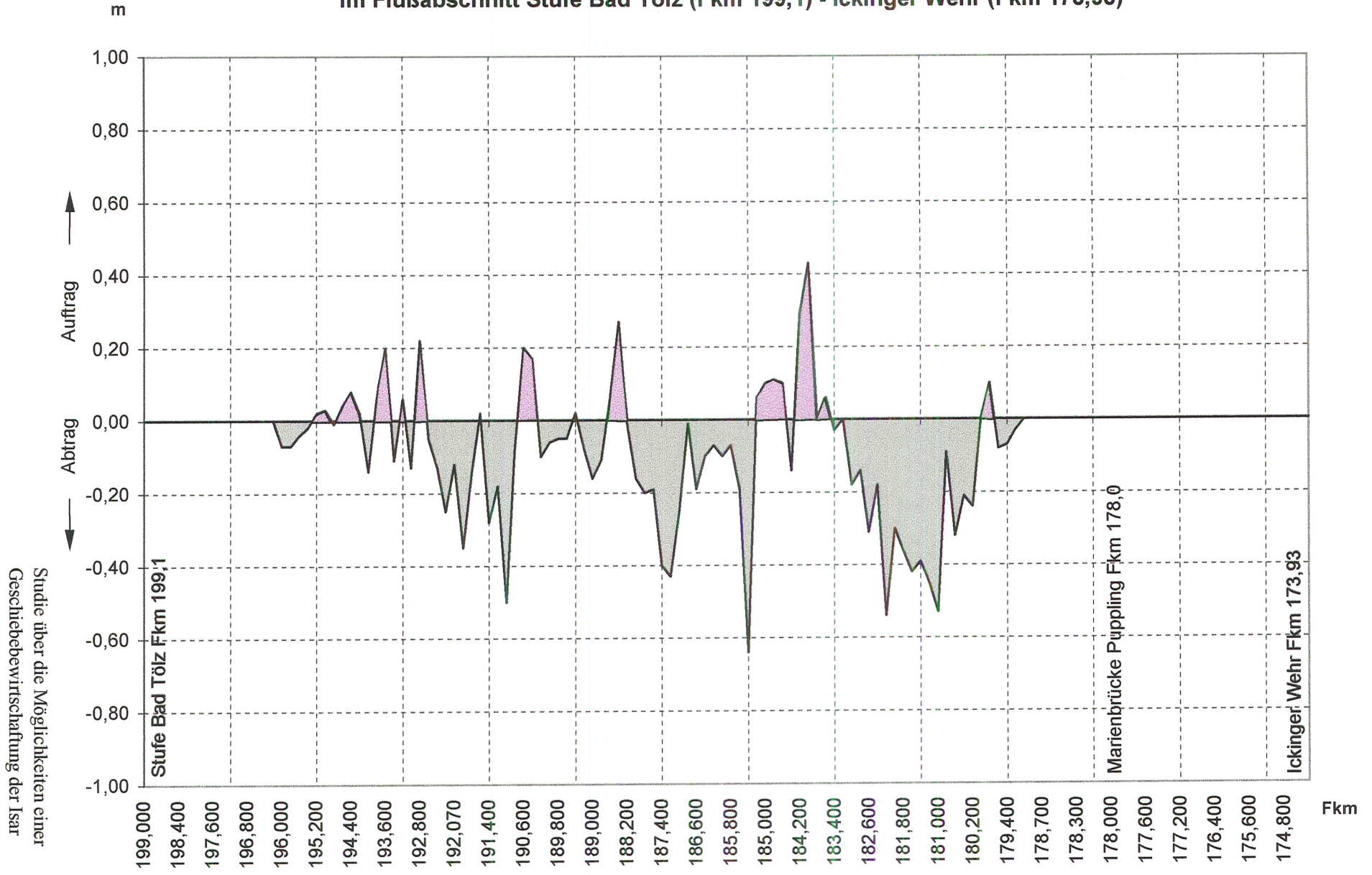


Studie über die Möglichkeiten einer
Geschlebebewirtschaftung der Isar

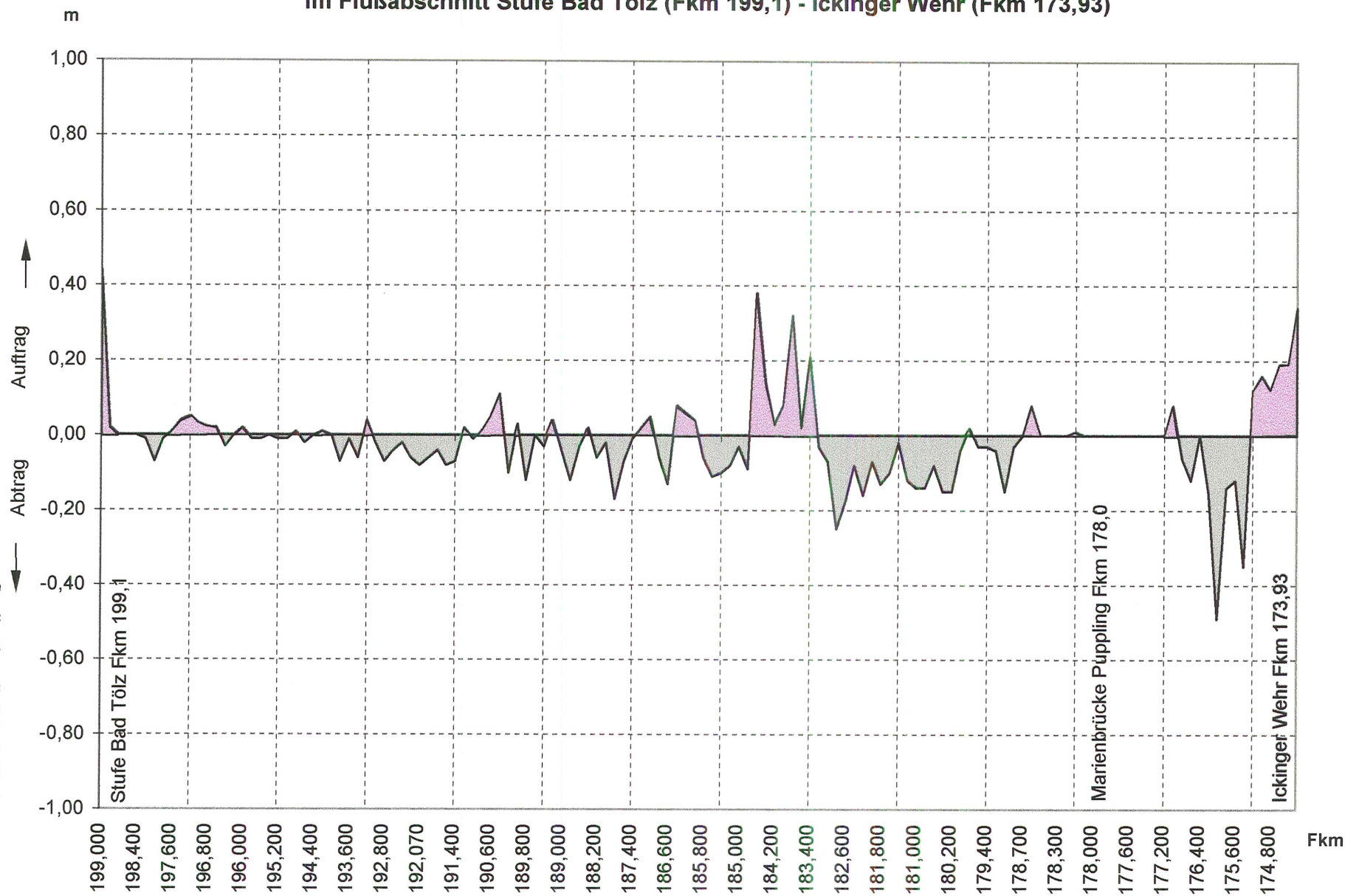
**Differenz der Mittleren Sohlen im Aufnahmezeitraum 1979 mit 1984
im Flußabschnitt Stufe Bad Tölz (Fkm 199,1) - Ickinger Wehr (Fkm 173,93)**



Differenz der Mittleren Sohlen im Aufnahmezeitraum 1979 mit 1999
 im Flußabschnitt Stufe Bad Tölz (Fkm 199,1) - Ickinger Wehr (Fkm 173,93)

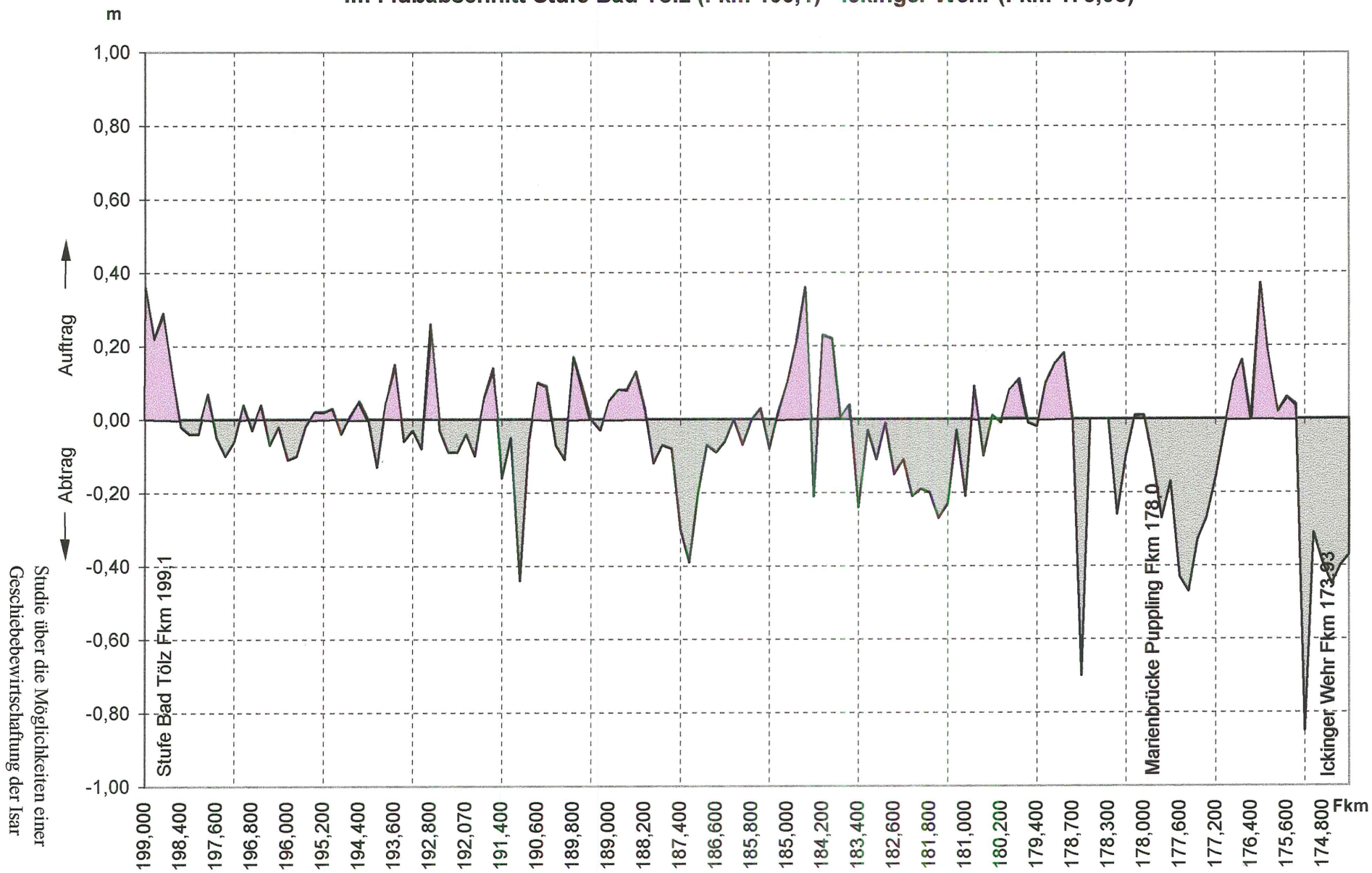


**Differenz der Mittleren Sohlen im Aufnahmezeitraum 1984 mit 1993
im Flußabschnitt Stufe Bad Tölz (Fkm 199,1) - Ickinger Wehr (Fkm 173,93)**



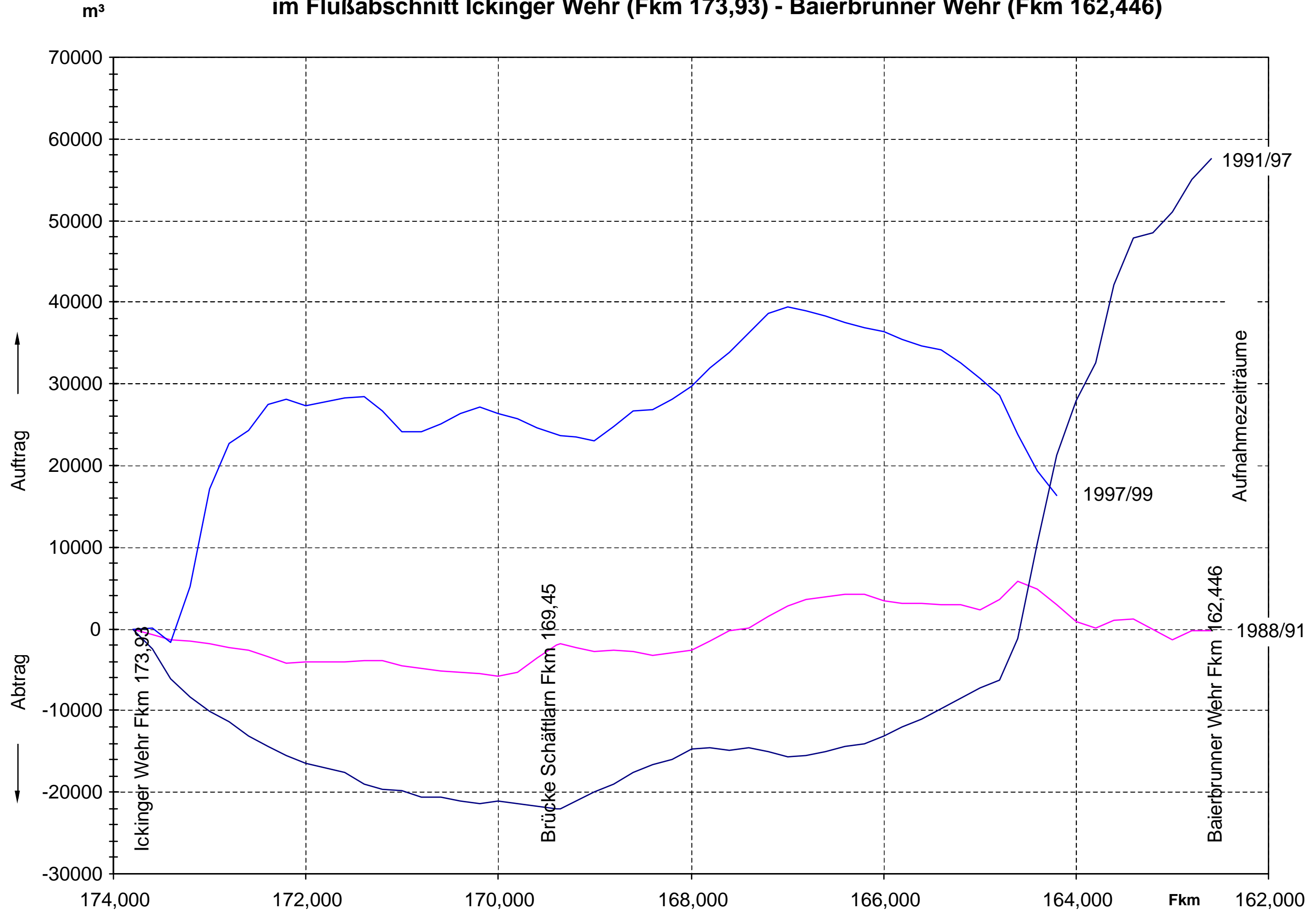
Studie über die Möglichkeiten einer
Geschlebebewirtschaftung der Isar

**Differenz der Mittleren Sohlen im Aufnahmezeitraum 1993 mit 1999
im Flußabschnitt Stufe Bad Tölz (Fkm 199,1) - Ickinger Wehr (Fkm 173,93)**



Studie über die Möglichkeiten einer
Geschlebebewirtschaftung der Isar

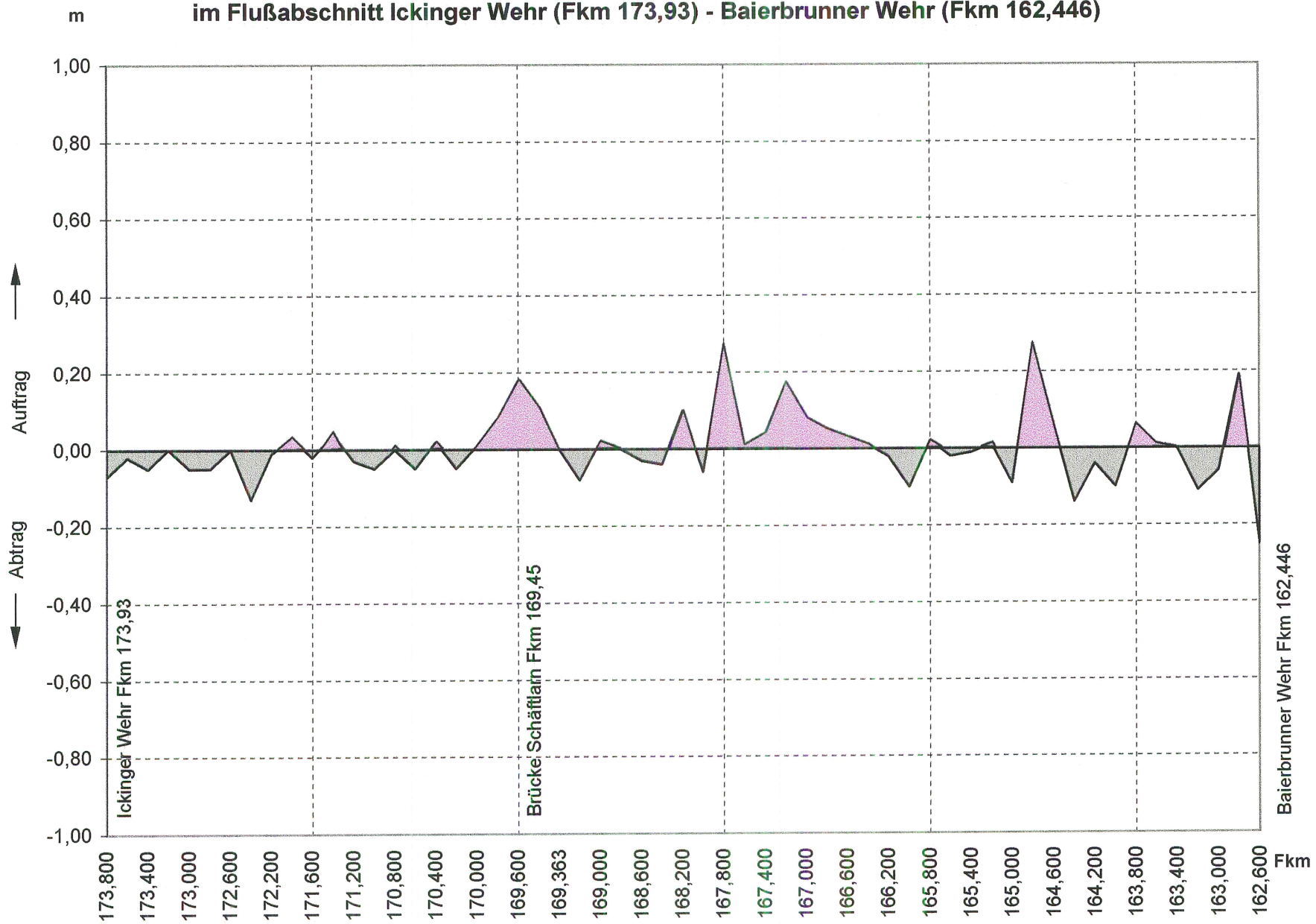
**Massensummenlinien bezogen auf den jeweiligen Aufnahmezeitraum
im Flußabschnitt Ickinger Wehr (Fkm 173,93) - Baierbrunner Wehr (Fkm 162,446)**



Studie über die Möglichkeiten einer
Geschlebewirtschaftung der Isar

Anlage: 9.1

**Differenz der Mittleren Sohlen im Aufnahmezeitraum 1988 mit 1991
im Flußabschnitt Ickinger Wehr (Fkm 173,93) - Baierbrunner Wehr (Fkm 162,446)**

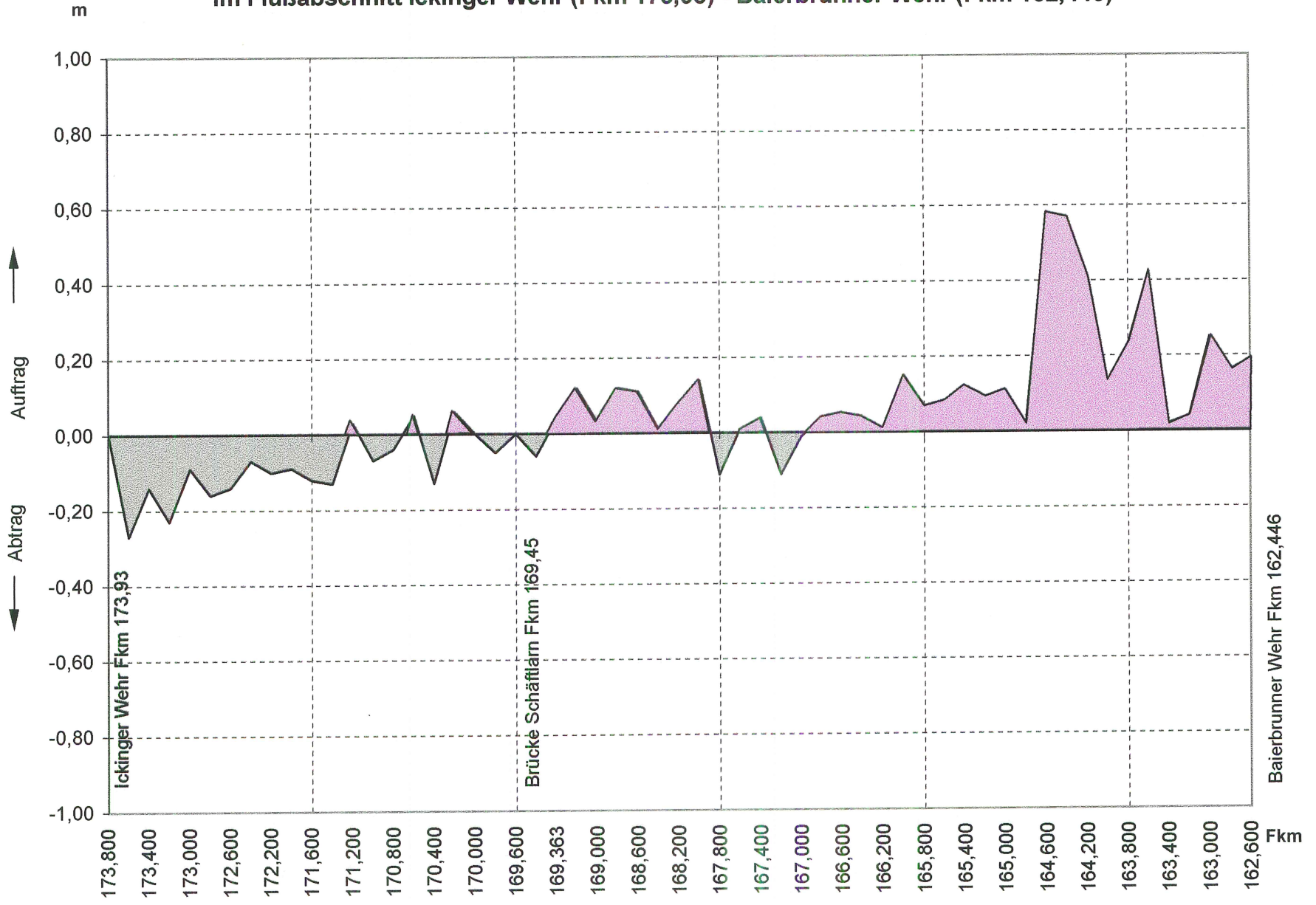


Studie über die Möglichkeiten einer
Geschlebebewirtschaftung der Isar

Anlage: 9.3

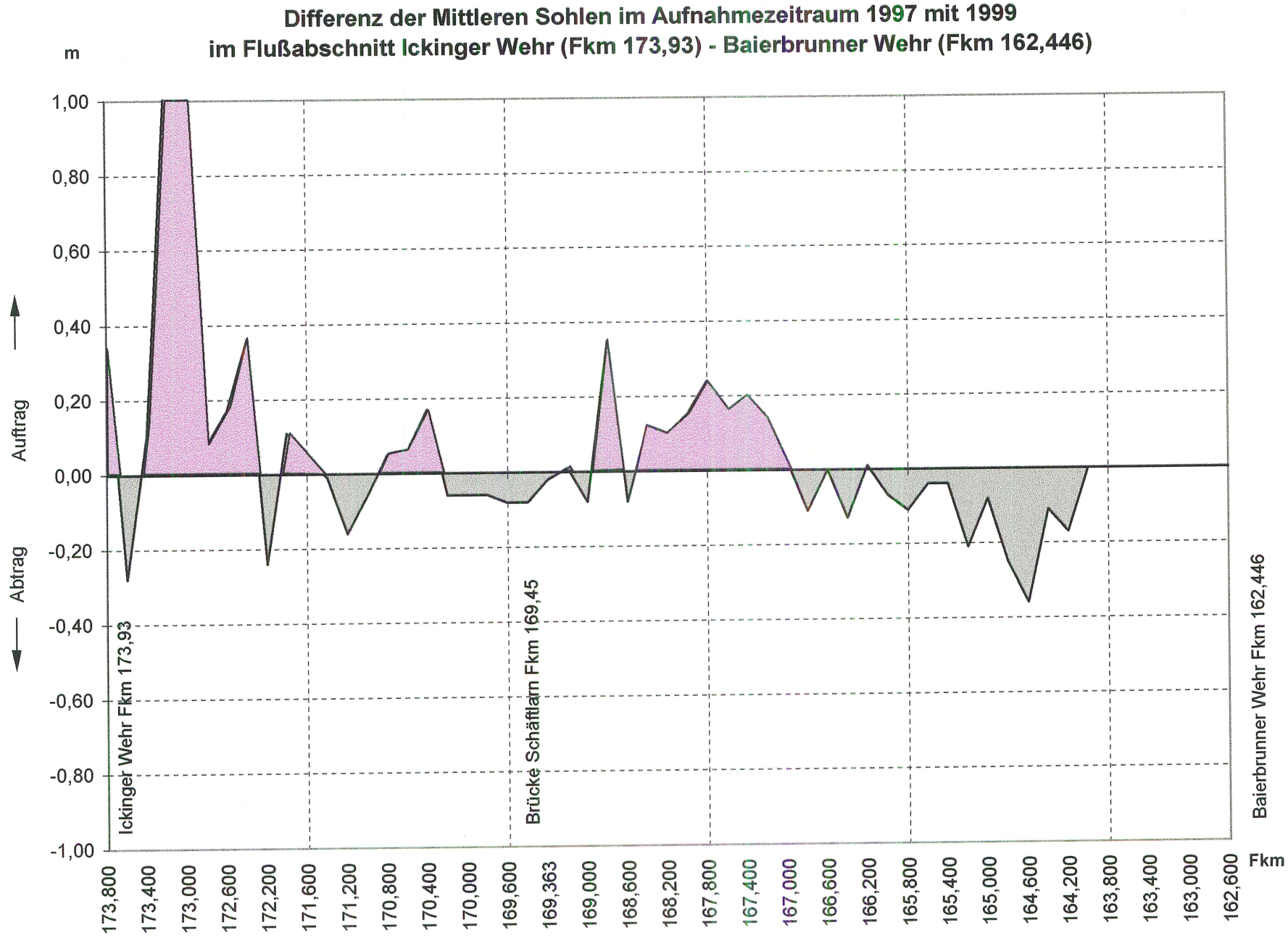
Studie über die Möglichkeiten einer
Geschlebebewirtschaftung der Isar

Differenz der Mittleren Sohlen im Aufnahmezeitraum 1991 mit 1997
im Flußabschnitt Ickinger Wehr (Fkm 173,93) - Baierbrunner Wehr (Fkm 162,446)

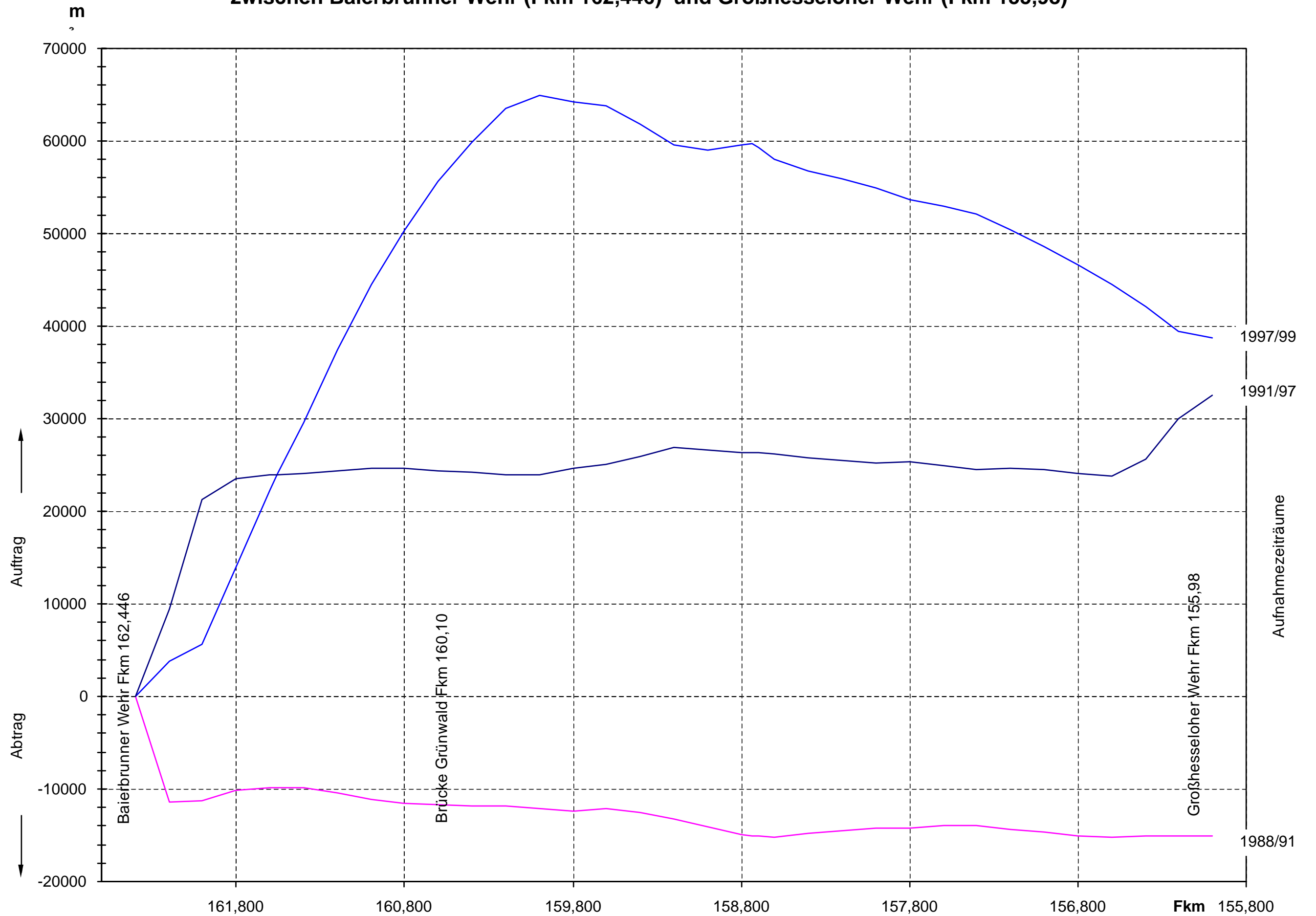


Anlage: 9.4

Studie über die Möglichkeiten einer
Geschiebewirtschaftung der Isar



**Massensummenlinien bezogen auf den jeweiligen Aufnahmezeitraum
zwischen Baierbrunner Wehr (Fkm 162,446) und Großhesselohrer Wehr (Fkm 155,98)**



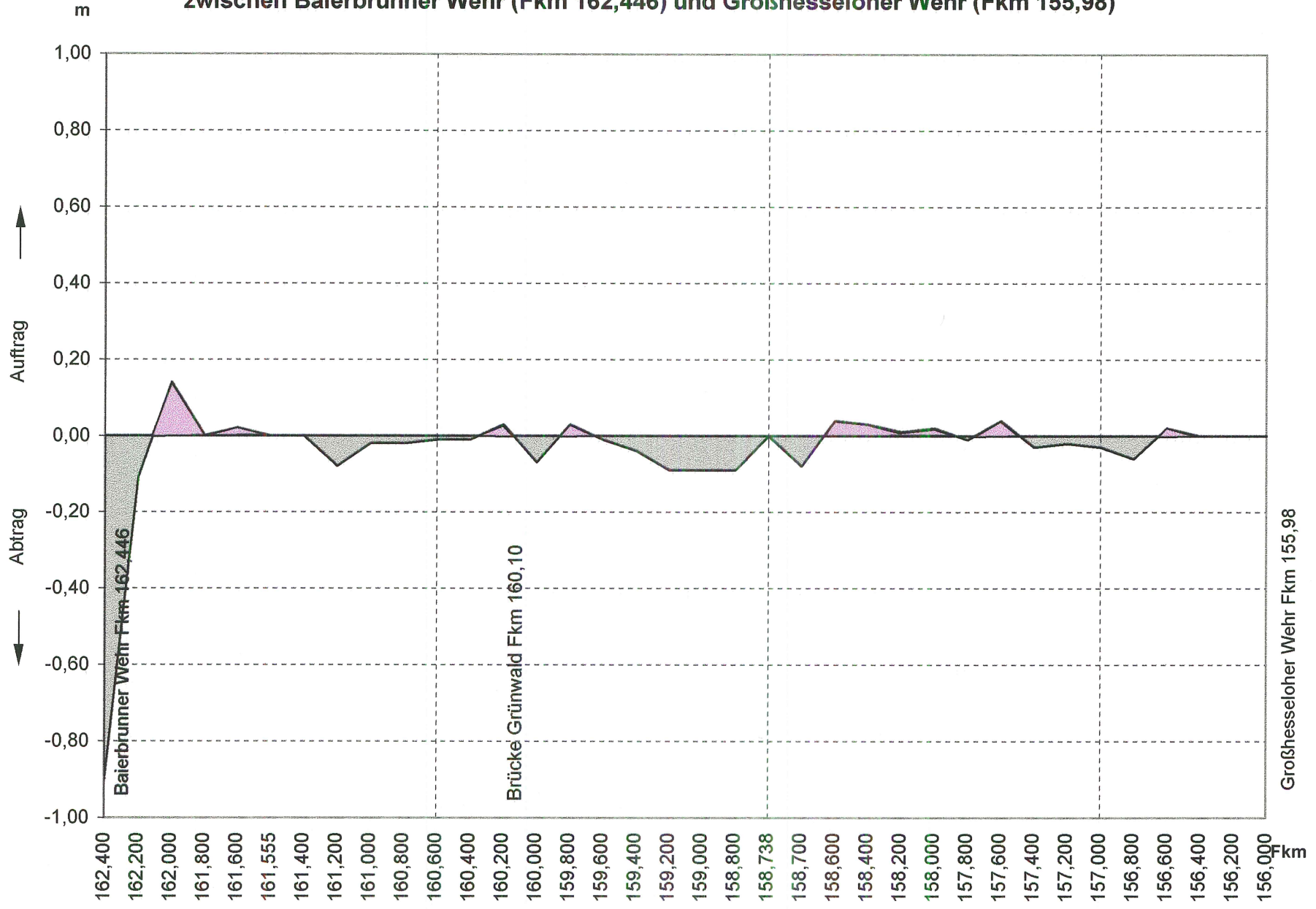
Studie über die Möglichkeiten einer
Geschlebebewirtschaftung der Isar

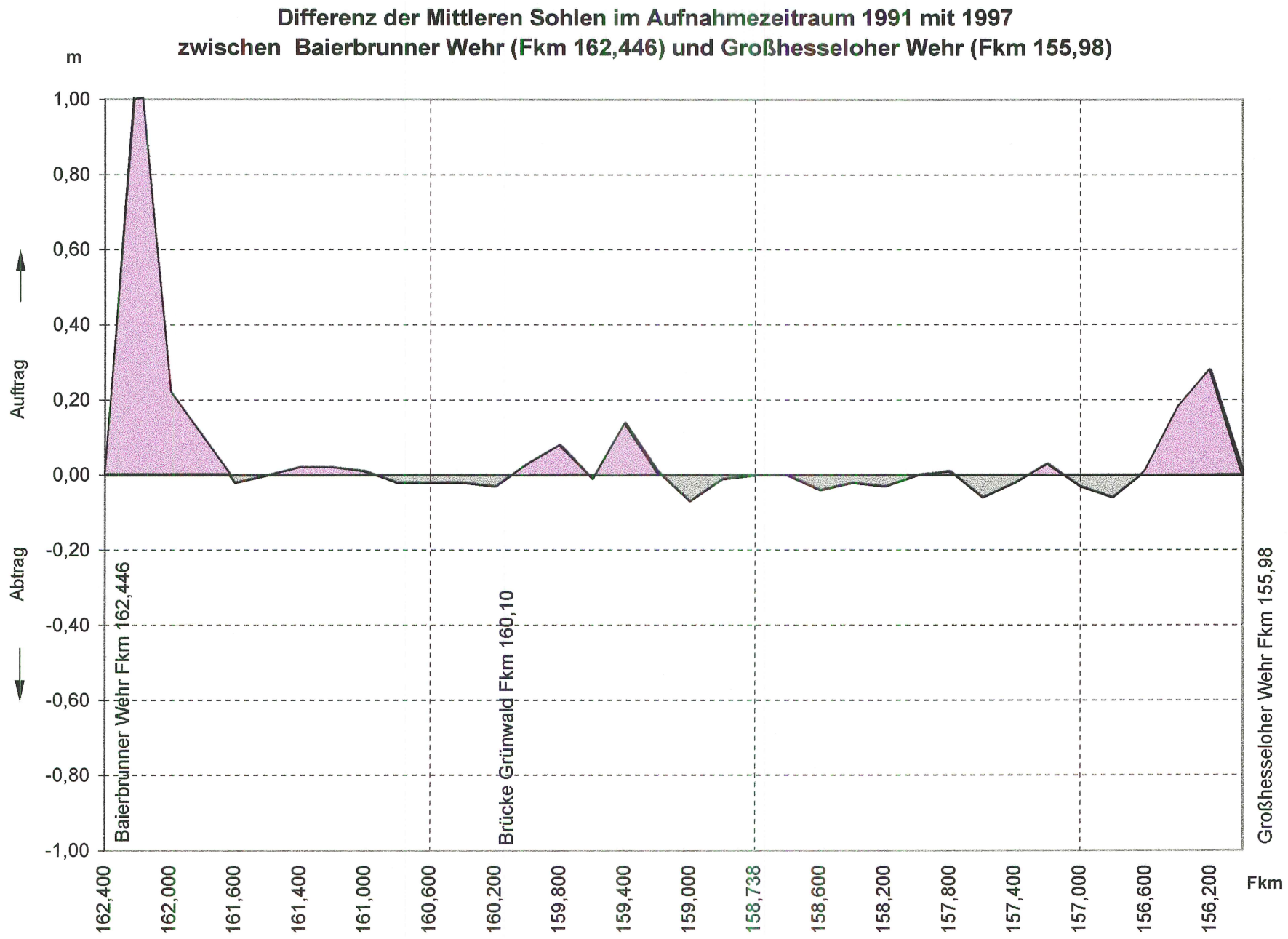
Anlage: 10.1

Anlage: 10.2

Studie über die Möglichkeiten einer
Geschlebebewirtschaftung der Isar

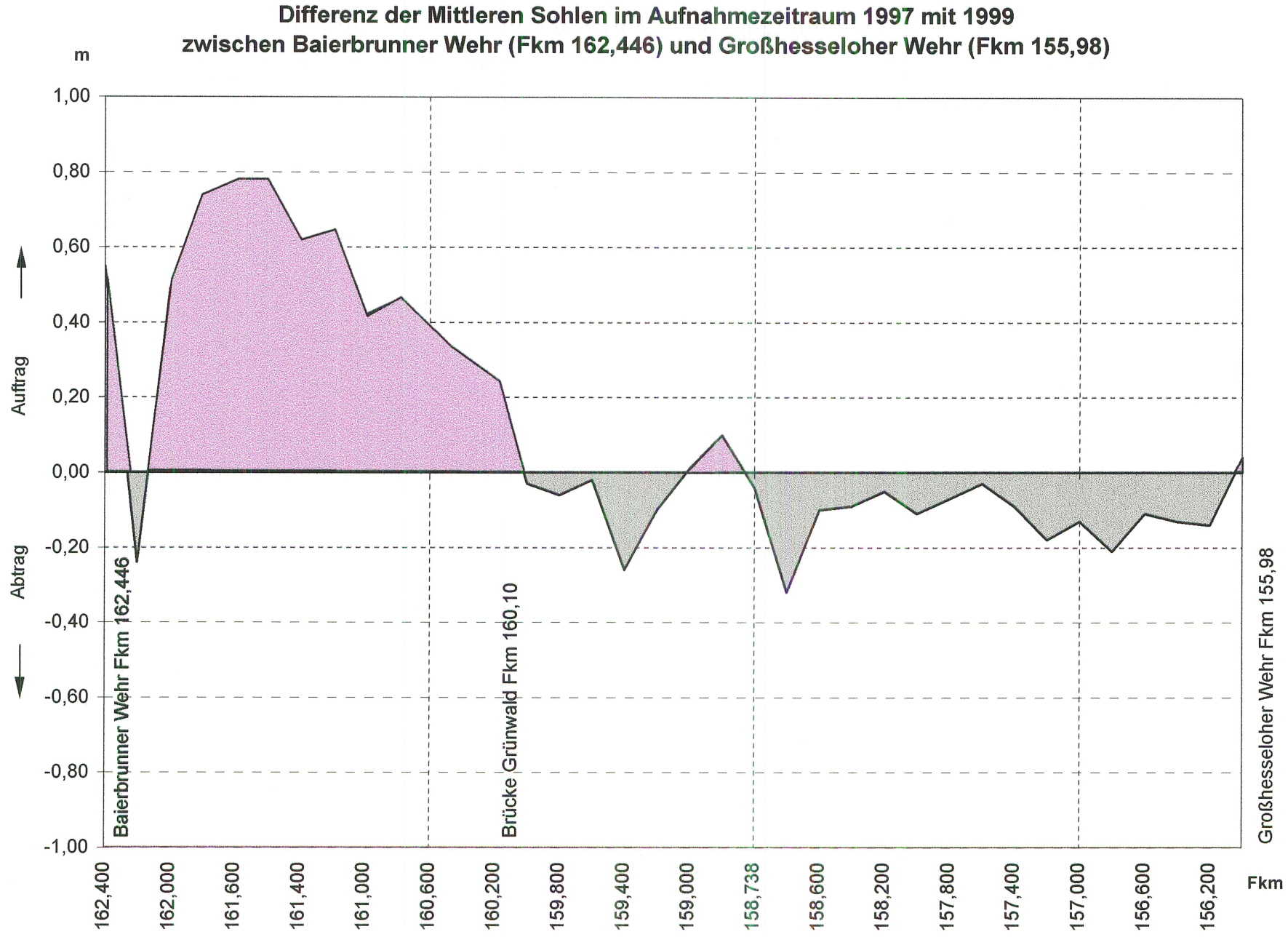
Differenz der Mittleren Sohlen im Aufnahmezeitraum 1988 mit 1991 zwischen Baierbrunner Wehr (Fkm 162,446) und Großhesselohrer Wehr (Fkm 155,98)





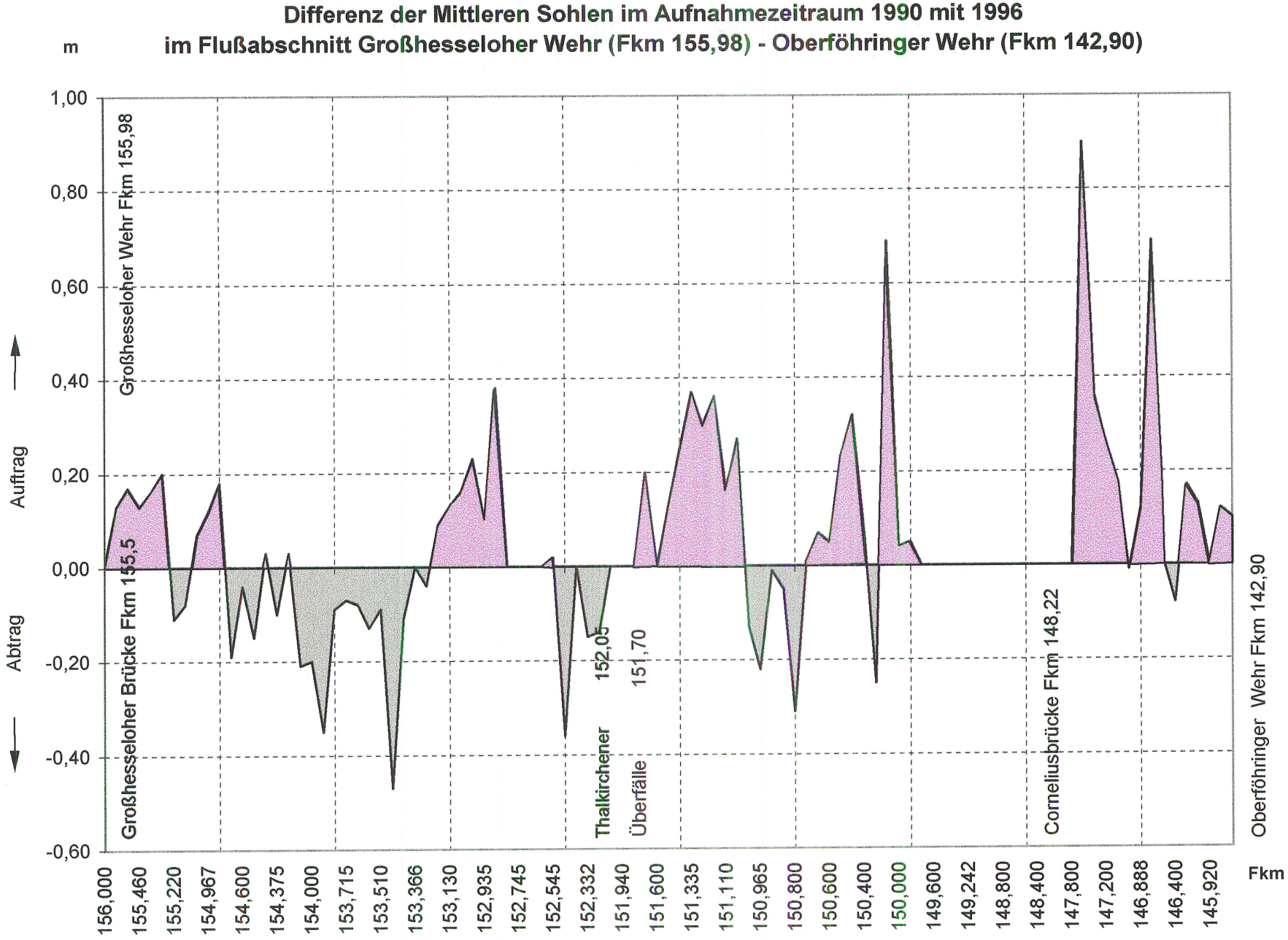
Anlage: 10.4

Studie über die Möglichkeiten einer
Geschlebebewirtschaftung der Isar



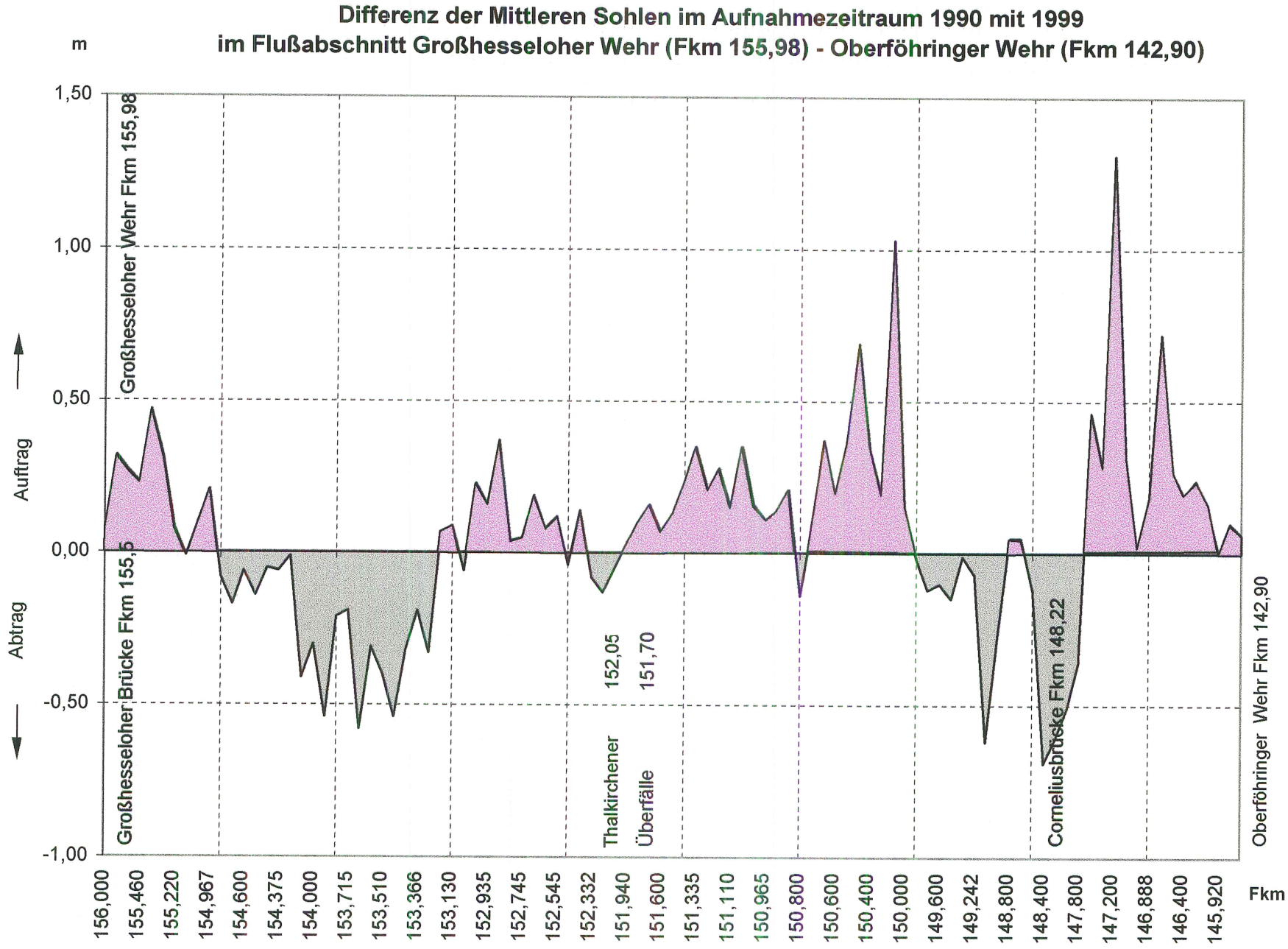
Anlage: 11.1

Studie über die Möglichkeiten einer
Geschlebebewirtschaftung der Isar



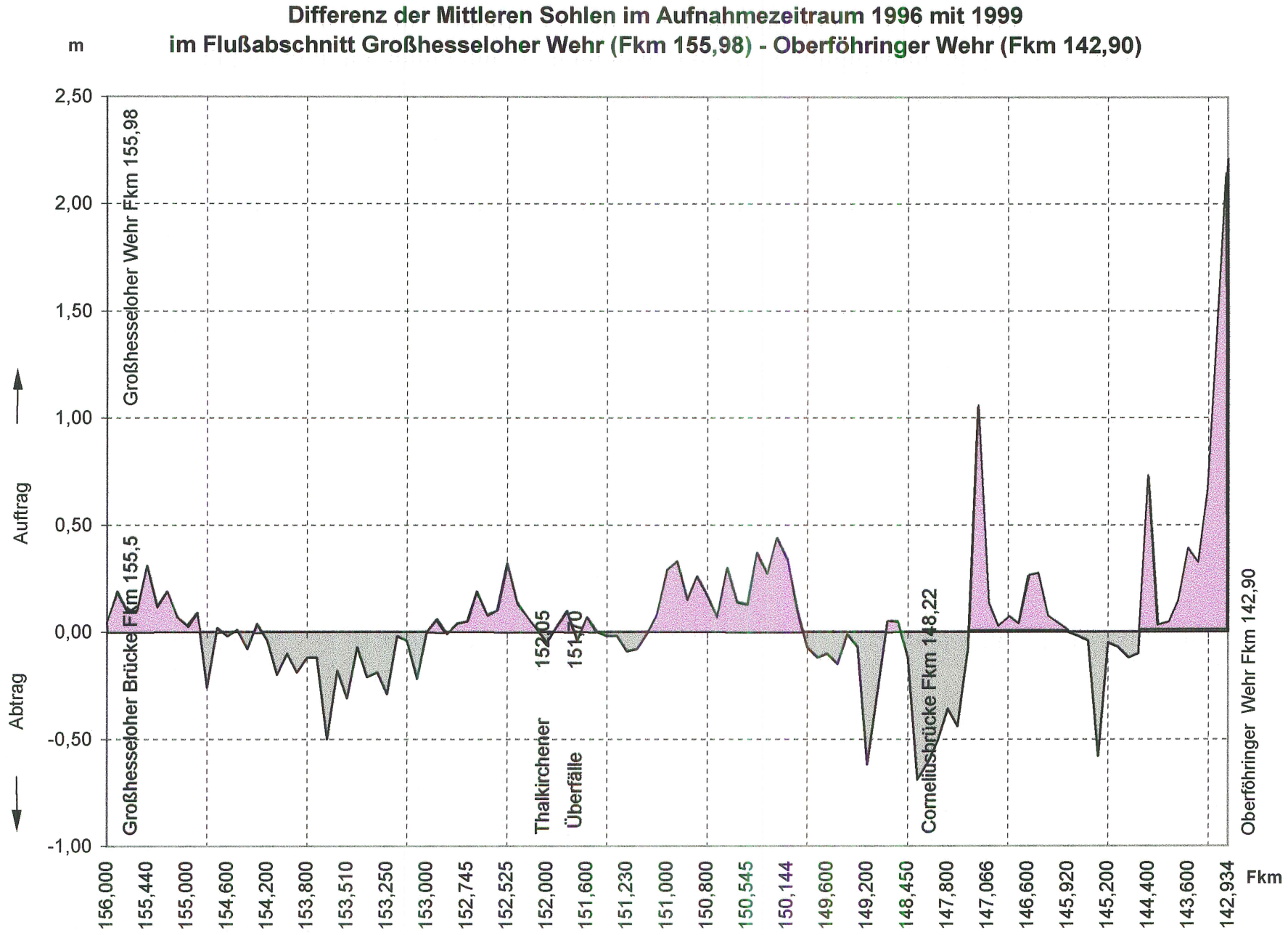
Anlage: 11.2

Studie über die Möglichkeiten einer
Geschlebebewirtschaftung der Isar

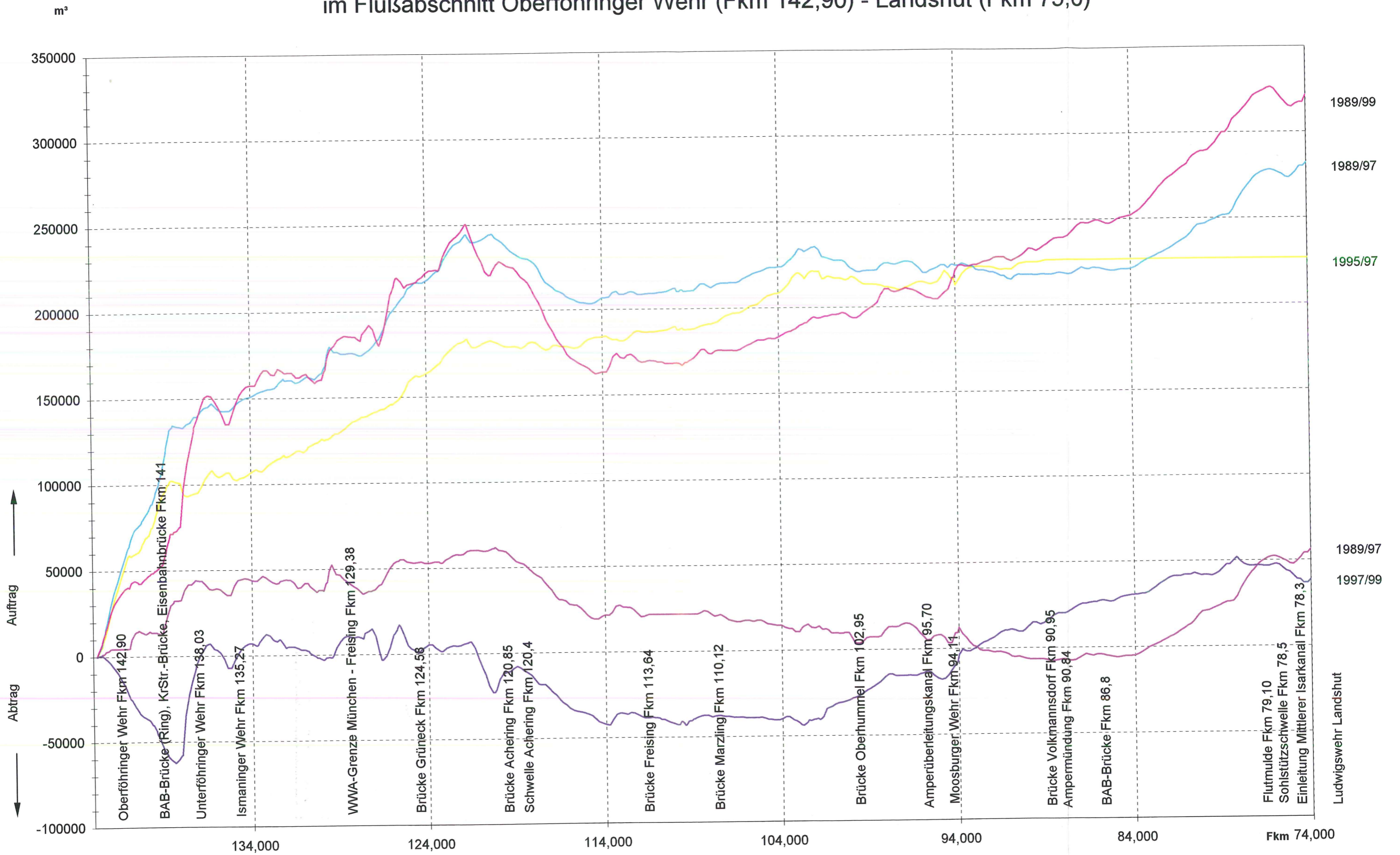


Anlage: 11.3

Studie über die Möglichkeiten einer
Geschlebebewirtschaftung der Isar

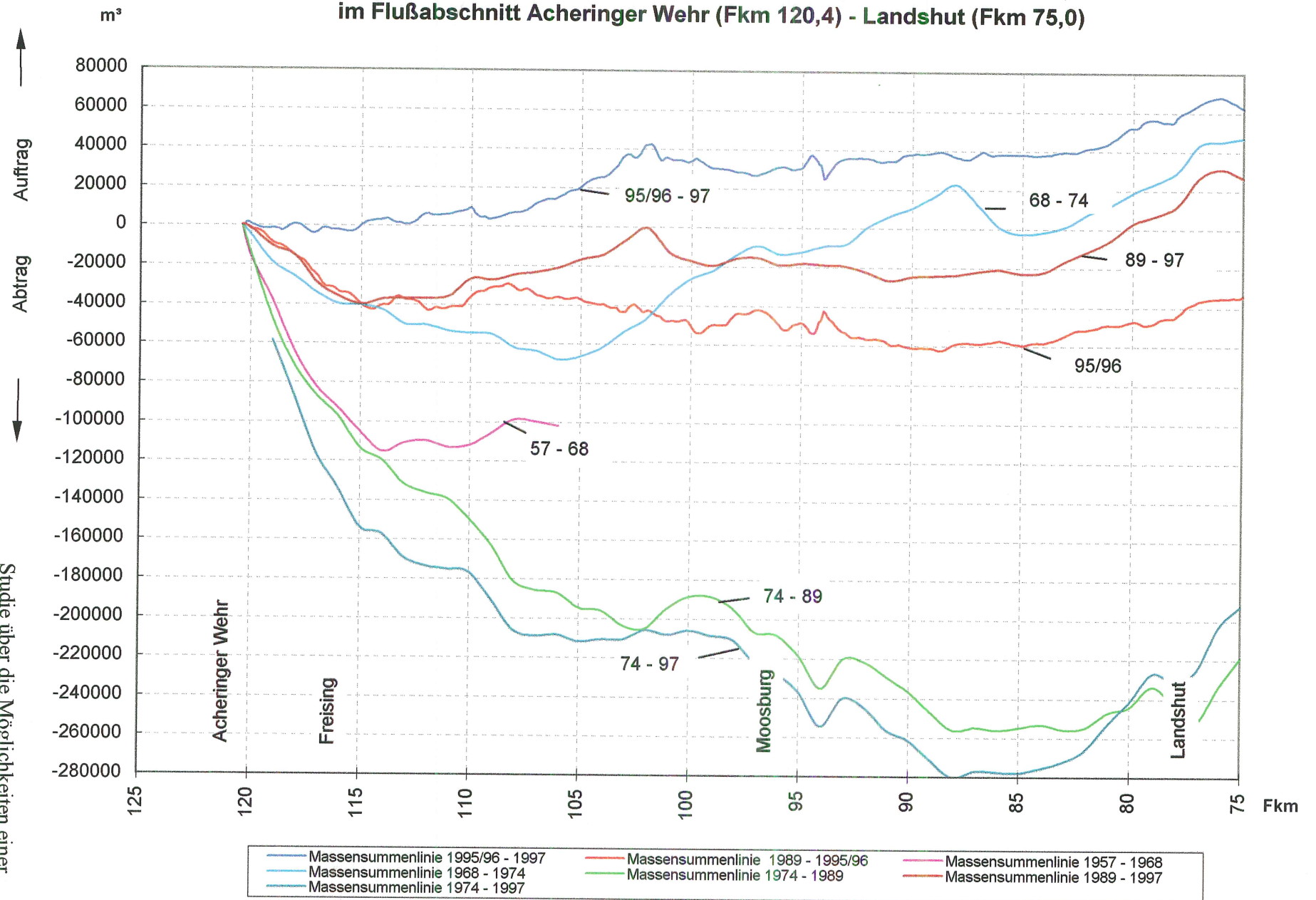


Massensummenlinien bezogen auf den jeweiligen Aufnahmezeitraum im Flußabschnitt Oberförhringer Wehr (Fkm 142,90) - Landshut (Fkm 75,0)



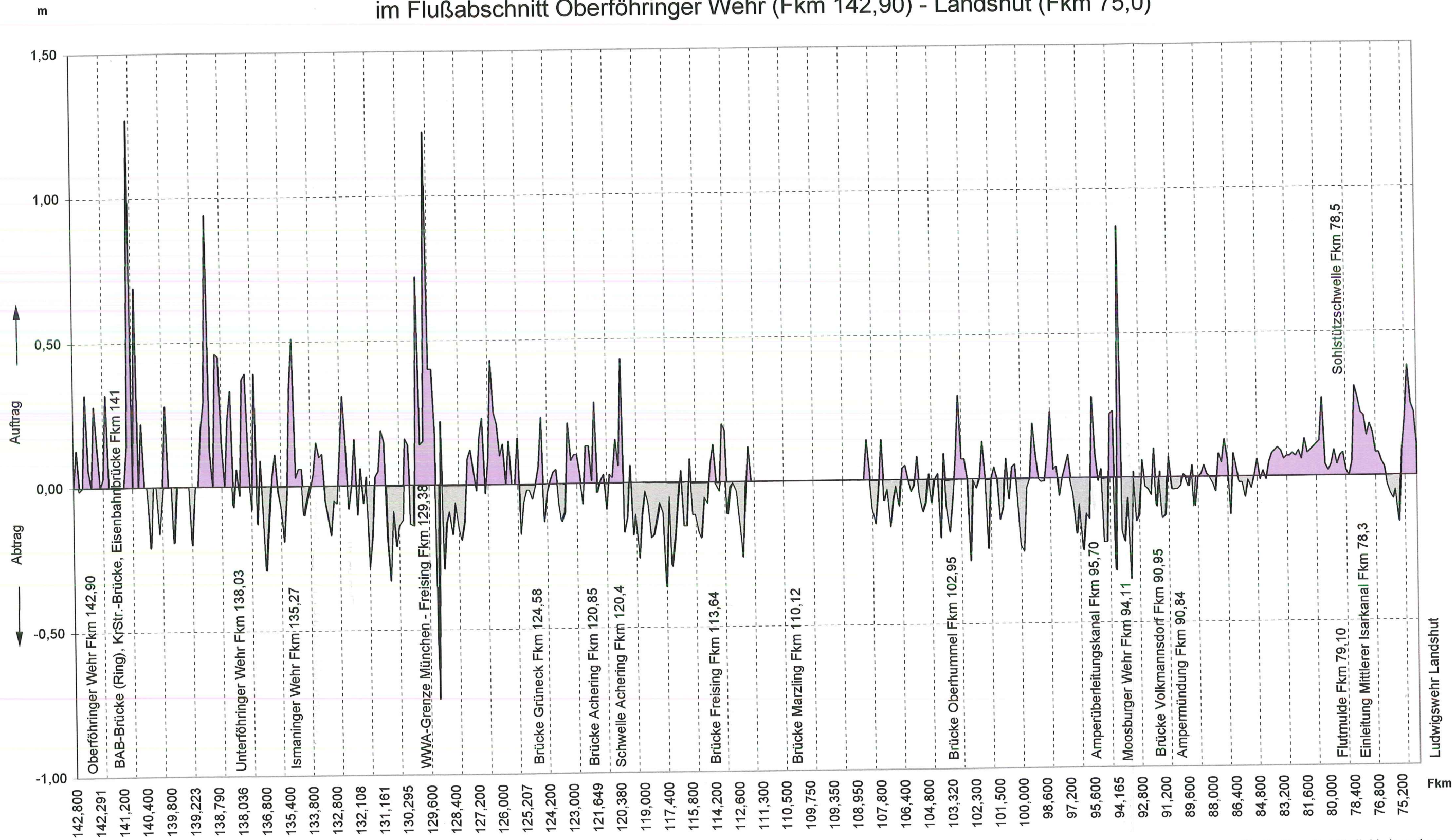
Studie über die Möglichkeiten einer
Geschiebebewirtschaftung der Isar

Massensummenlinien bezogen auf den jeweiligen Aufnahmezeitraum
im Flußabschnitt Acheringer Wehr (Fkm 120,4) - Landshut (Fkm 75,0)



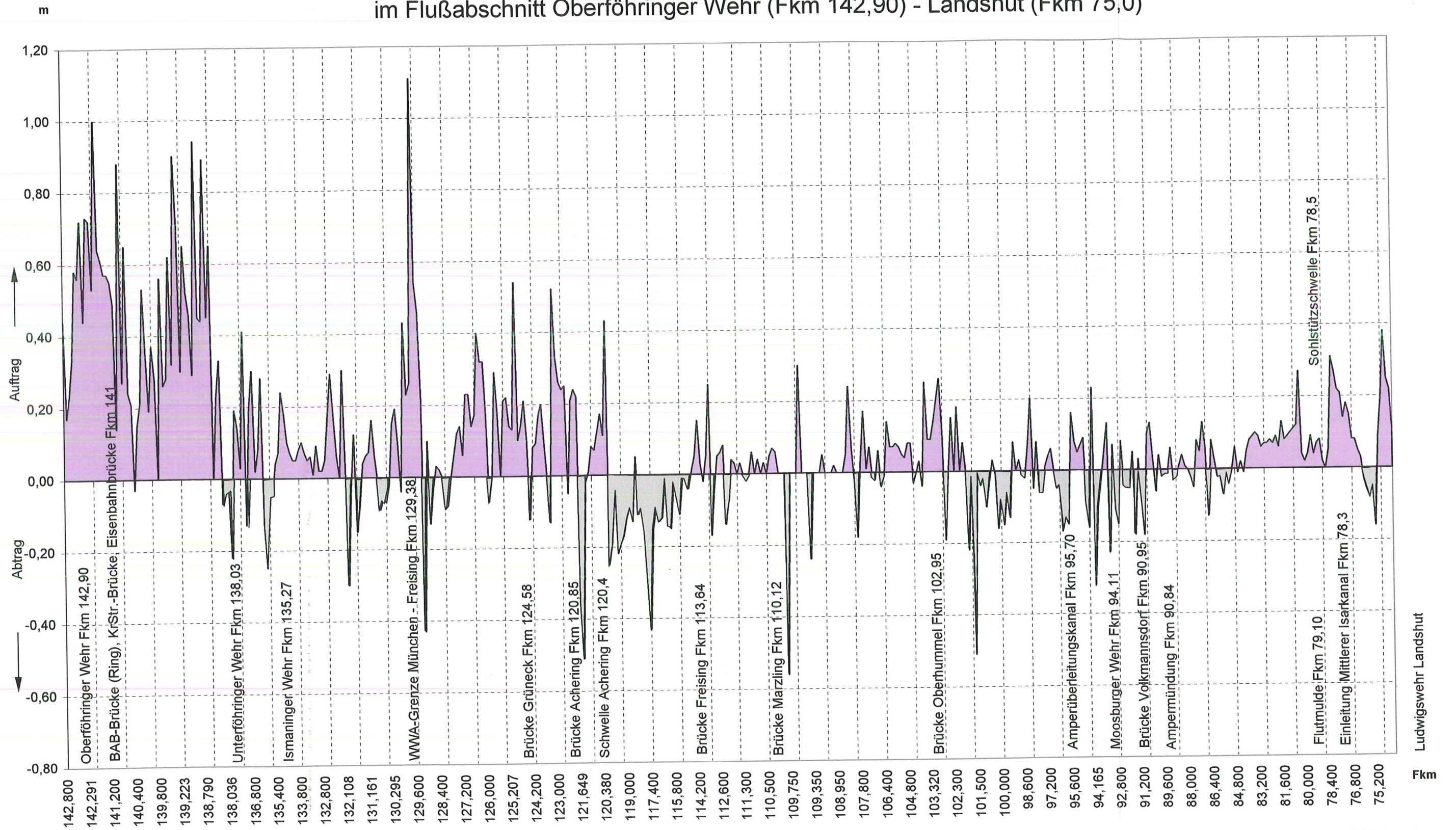
Studie über die Möglichkeiten einer
Geschlebebewirtschaftung der Isar

Differenz der Mittleren Sohlen im Aufnahmezeitraum 1989 mit 1995
im Flußabschnitt Oberförhringer Wehr (Fkm 142,90) - Landshut (Fkm 75,0)



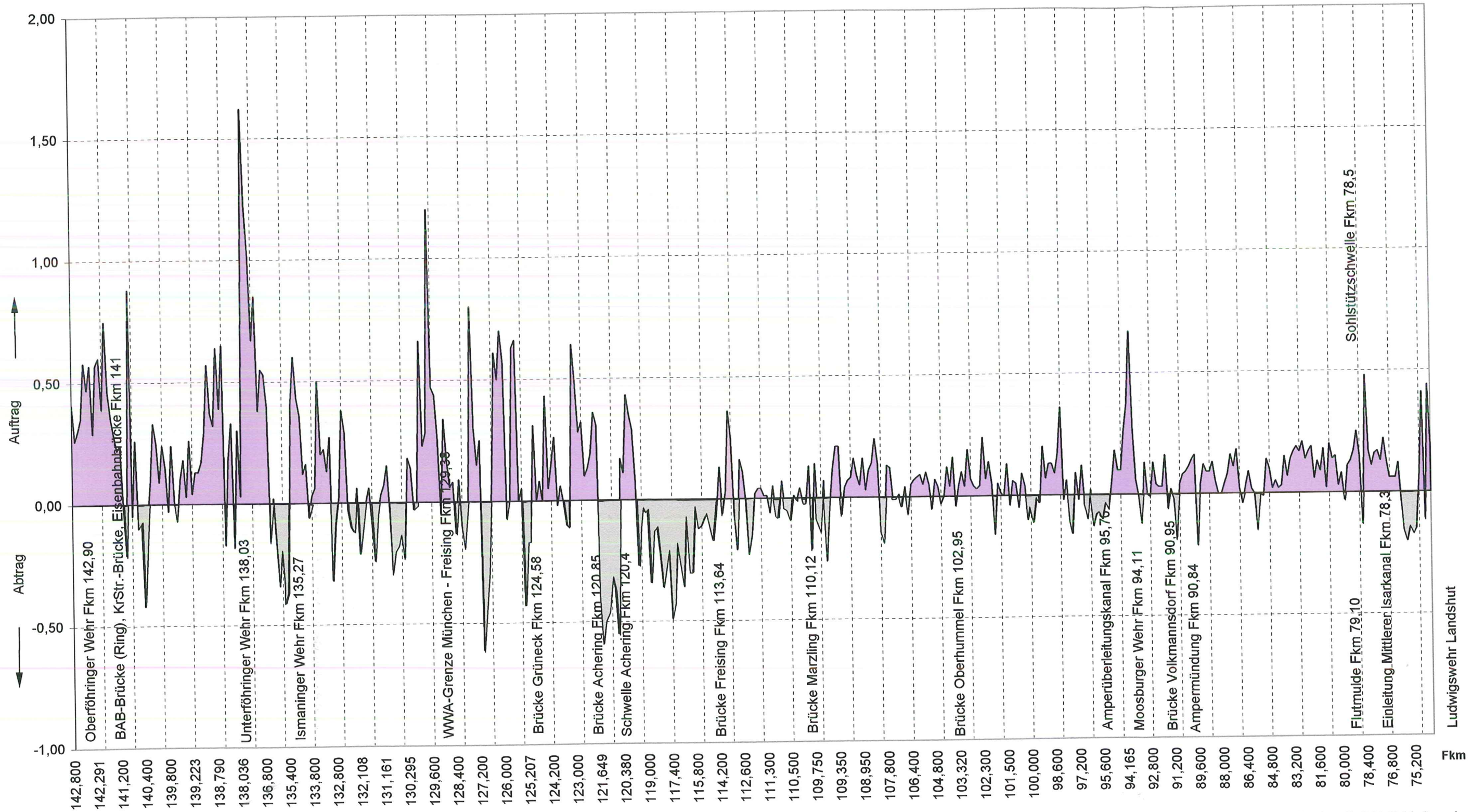
Studie über die Möglichkeiten einer
Geschiebewirtschaftung der Isar

Differenz der Mittleren Sohlen im Aufnahmezeitraum 1989 mit 1997
im Flußabschnitt Oberförhringer Wehr (Fkm 142,90) - Landshut (Fkm 75,0)



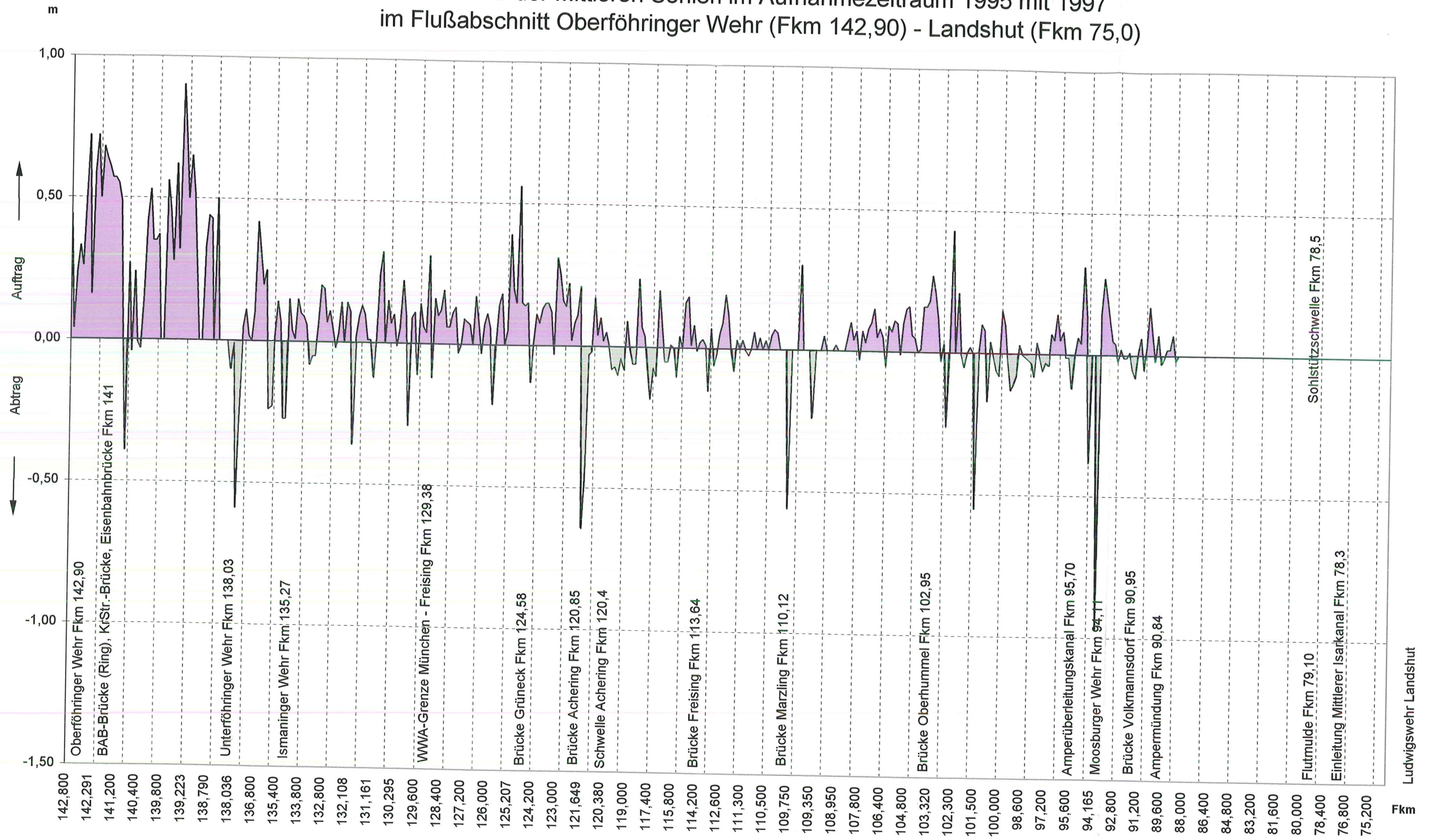
Studie über die Möglichkeiten einer
Geschiebebewirtschaftung der Isar

Differenz der Mittleren Sohlen im Aufnahmezeitraum 1989 mit 1999
im Flußabschnitt Oberförhringer Wehr (Fkm 142,90) - Landshut (Fkm 75,0)



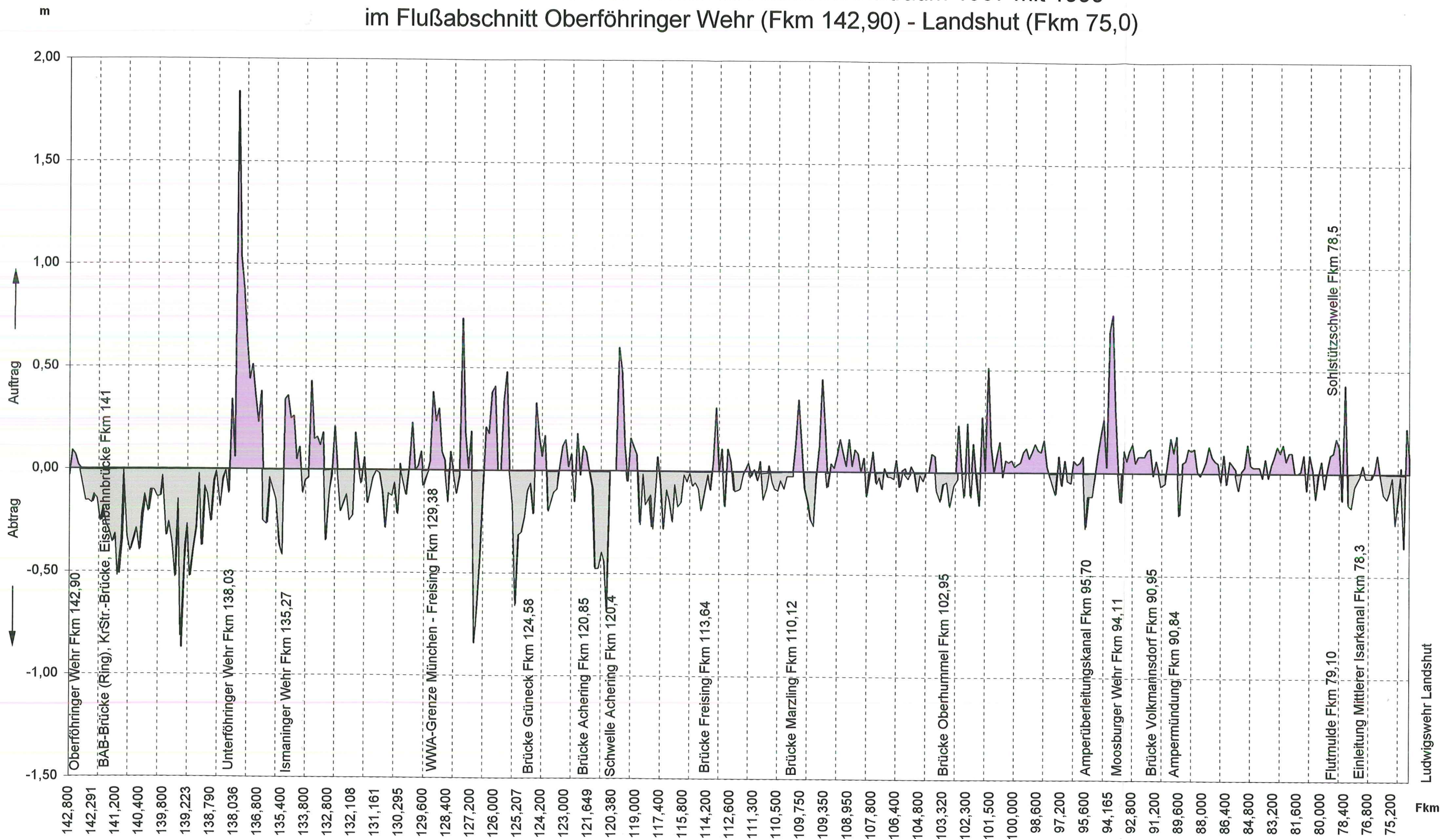
Studie über die Möglichkeiten einer Geschiebemanagement der Isar

Differenz der Mittleren Sohlen im Aufnahmezeitraum 1995 mit 1997
im Flußabschnitt Oberförhringer Wehr (Fkm 142,90) - Landshut (Fkm 75,0)



Studie über die Möglichkeiten einer
Geschiebewirtschaftung der Isar

Differenz der Mittleren Sohlen im Aufnahmezeitraum 1997 mit 1999
im Flußabschnitt Oberförhringer Wehr (Fkm 142,90) - Landshut (Fkm 75,0)



Studie über die Möglichkeiten einer
Geschiebebewirtschaftung der Isar



2.5.96



Geschiebebezugabe Isar Oberföhring
Blick vom Fußgängersteg Fkm 141,6 zum Wehr

15.5.96

Anlage: 13.1



30.5.96



Geschiebezugabe Isar Oberföhring
Blick vom Fußgängersteg Fkm 141,6 zum Wehr

9.8.96

Abflußdauertabellen

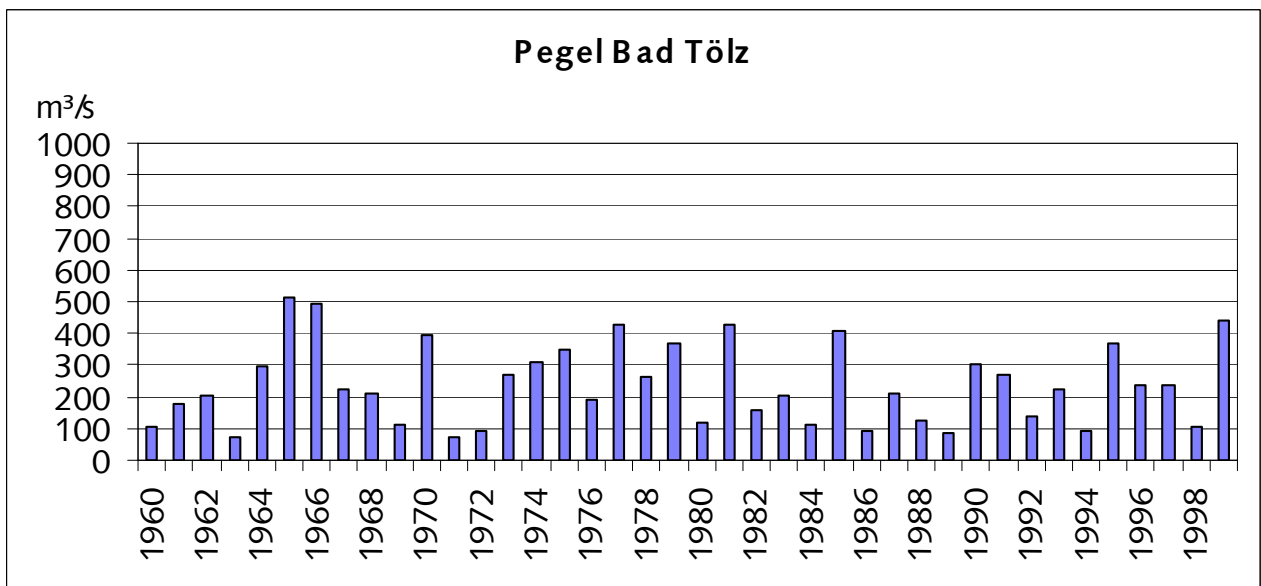
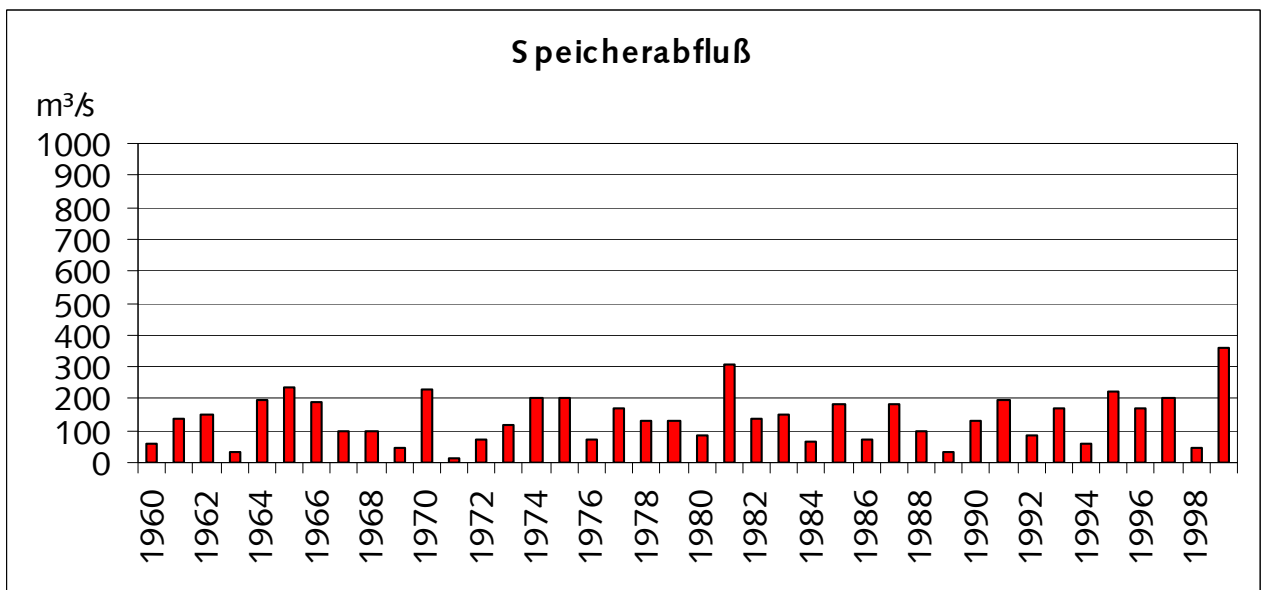
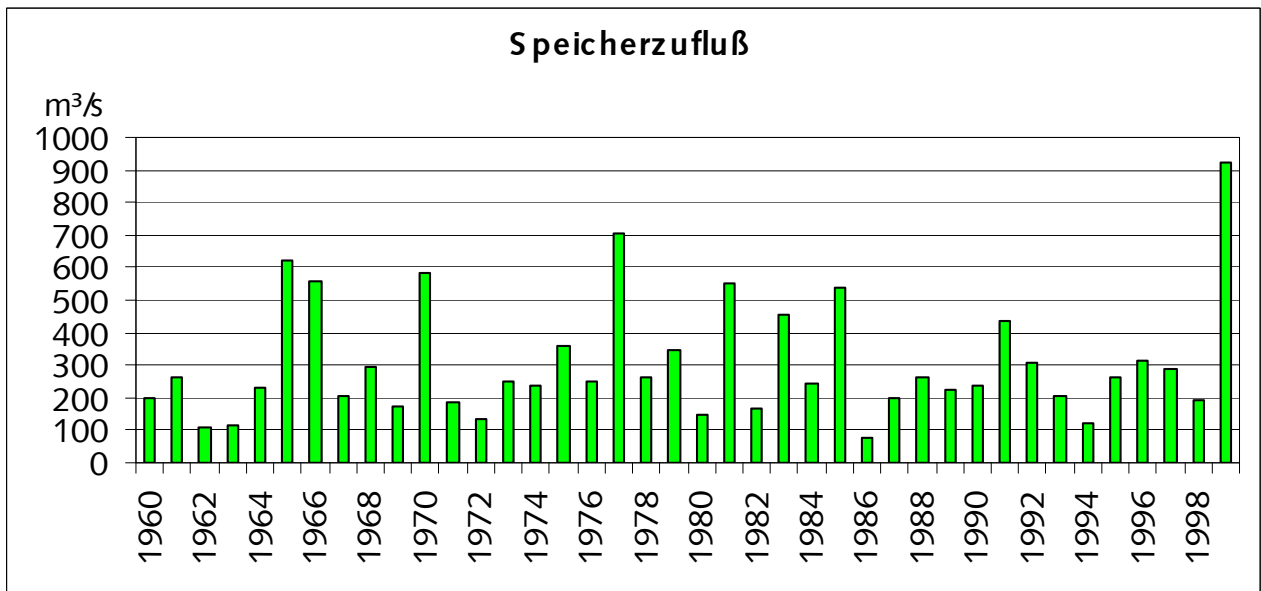
Pegel Sylvensteinspeicher

	Unter schreitungs- dauer in Tagen	Unterschrittene Abflüsse m³/s				
		Abfluß- jahr (*) 1996	Kalender jahr 1996	1959/1996 38 Kalenderjahre		
				Obere Hüllwerte	Mittlere Werte	Untere Hüllwerte
(365)	153	153				
364	122	122	276	140	15.2	
363	115	115	248	113	15.2	
362	112	112	229	94.7	14.9	
361	103	103	199	80.8	14.2	
360	88.9	88.9	196	74.6	14.2	
359	87.2	87.2	188	69.6	14.2	
358	57.2	57.2	179	64.6	14.2	
357	48.1	48.1	169	60.1	13.6	
356	47.8	47.8	164	55.8	13.6	
355	36.2	36.2	147	41.7	13.2	
340	23.0	23.0	88.8	29.2	11.9	
330	18.9	18.9	71.6	21.9	11.7	
320	17.3	17.5	61.2	18.0	11.4	
300	14.4	14.5	45.1	15.3	10.9	
270	14.0	14.0	33.8	14.3	9.16	
240	13.5	13.7	19.7	13.4	8.15	
210	12.8	13.2	16.0	12.5	7.66	
183	12.5	12.7	14.5	11.7	7.19	
150	11.4	12.5	14.3	10.4	6.06	
130	10.5	12.3	13.9	9.49	5.89	
120	10.4	12.2	13.8	9.10	5.76	
110	10.3	12.1	13.6	8.69	5.73	
100	10.3	11.7	13.4	8.28	5.73	
90	10.2	10.9	13.2	8.03	5.45	
80	10.1	10.5	13.0	7.67	5.09	
70	9.93	10.3	12.9	7.47	4.34	
60	9.50	10.3	12.7	7.09	4.01	
50	9.18	9.66	12.4	6.79	3.39	
40	8.20	8.20	12.2	6.44	3.09	
30	8.11	8.11	11.6	6.21	3.09	
25	8.06	8.06	11.0	5.96	2.79	
20	8.02	8.02	10.6	5.72	2.79	
15	7.91	7.91	10.3	5.56	2.79	
10	7.82	7.62	9.87	5.23	2.50	
9	7.62	7.62	9.86	5.16	2.50	
8	7.55	7.55	9.58	5.12	2.50	
7	7.49	7.49	9.50	5.07	1.97	
6	7.46	7.46	9.42	4.93	1.97	
5	7.42	7.42	9.31	4.65	1.97	
4	7.37	7.37	9.28	4.35	1.97	
3	7.35	7.35	9.25	4.03	1.97	
2	7.24	7.24	9.23	3.70	1.97	
1	6.87	6.87	9.20	3.09	1.97	
0	6.69	6.69	9.18	1.97	1.97	

Pegel Lenggries

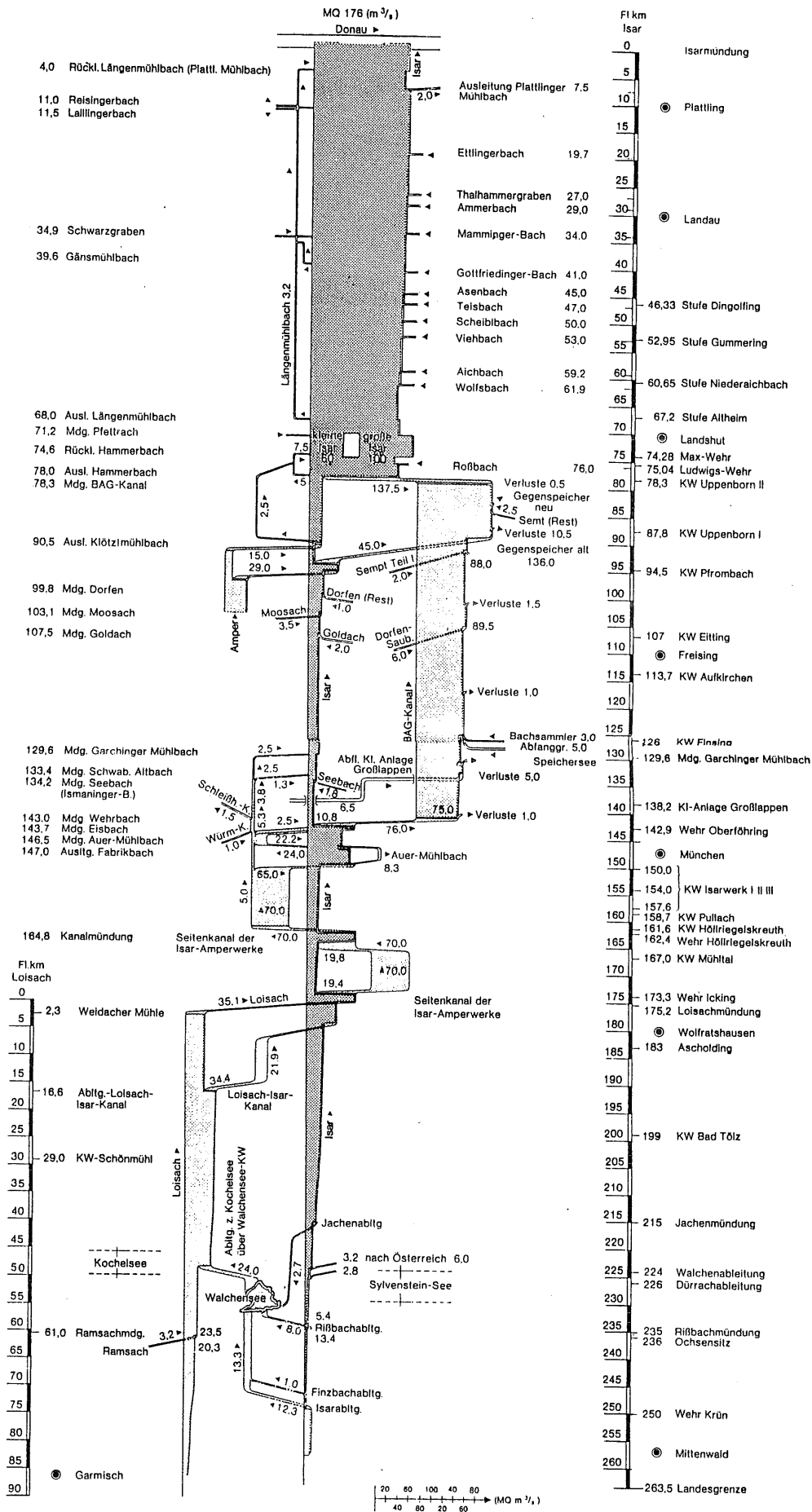
	Unter schreitungs- dauer in Tagen	Unterschrittene Abflüsse m³/s				
		Abfluß- jahr (*) 1990	Kalender jahr 1990	1959/1990 32 Kalenderjahre		
				Obere Hüllwerte	Mittlere Werte	Untere Hüllwerte
(365)						
364	102	102	335	185	35.1	
363	83.0	83.0	302	132	29.8	
362	82.4	82.4	301	117	29.8	
361	58.0	58.0	240	104	28.7	
360	58.5	58.5	227	92.1	27.7	
359	52.3	52.3	219	86.2	25.7	
358	50.4	50.4	207	80.5	25.7	
357	48.6	48.6	193	75.3	25.7	
356	39.0	39.0	183	71.3	24.9	
350	27.0	27.0	166	55.4	21.8	
340	23.7	24.4	111	43.4	19.9	
330	22.1	22.4	91.2	35.0	18.0	
320	20.0	20.4	76.3	29.2	16.6	
300	17.6	17.9	60.3	23.7	14.8	
270	16.5	16.9	52.3	19.5	12.7	
240	15.4	15.9	36.7	17.2	11.0	
210	15.0	15.3	26.3	15.9	9.98	
183	14.3	14.9	21.7	15.0	9.51	
150	13.0	14.2	19.1	13.5	8.98	
130	12.6	13.7	16.2	12.3	8.15	
120	12.3	13.3	16.0	11.7	7.43	
110	11.9	13.1	15.9	11.1	7.43	
100	11.7	12.8	15.7	10.5	7.43	
90	11.4	12.6	15.5	9.99	7.09	
80	11.1	12.0	15.4	9.51	7.09	
70	10.7	11.7	15.0	8.98	5.65	
60	10.6	11.4	14.9	8.61	5.11	
50	10.4	10.8	14.7	8.34	4.13	
40	10.2	10.4	14.5	7.80	4.13	
30	9.60	9.69	14.2	7.38	3.26	
25	9.39	9.39	14.1	7.08	3.26	
20	9.18	9.18	14.0	6.84	2.88	
15	9.01	9.01	13.8	6.60	2.88	
10	8.64	8.64	13.6	6.18	2.88	
9	8.53	8.53	13.7	6.16	2.55	
8	8.28	8.28	13.7	6.00	2.55	
7	8.24	8.24	13.6	5.90	2.55	
6	8.11	8.11	13.6	5.71	2.55	
5	8.10	8.10	13.5	5.48	2.55	
4	7.97	7.97	13.5	5.16	2.55	
3	7.95	7.95	13.1	4.48	2.55	
2	7.75	7.75	13.0	3.68	2.55	
1	7.65	7.65	12.7	3.28	2.27	
0	7.56	7.56	12.6	1.82	1.82	

	Unter schreitungs- dauer in Tagen	Unterschrittene Abflüsse m³/s				
		Abfluß- jahr (*) 1996	Kalender jahr 1996	1959/1996 38 Kalenderjahre		
				Obere Hüllwerte	Mittlere Werte	Untere Hüllwerte
(365)	206	206				
364	181	181	351	186	66.3	
363	176	176	311	153	49.8	
362	169	169	292	132	45.6	
361	154	154	248	121	43.3	
360	129	129	237	111	41.1	
359	115	115	233	103	40.7	
358	105	105	230	94.8	39.1	
357	87.2	87.2	224	89.4	38.9	
356	80.9	80.9	210	85.7	38.2	
350	66.7	66.7	182	68.8	34.6	
340	46.2	43.3	126	53.8	28.9	
330	39.4	39.4	98.0	46.3	26.0	
320	37.4	37.4	84.3	40.8	24.3	
300	33.9	33.5	75.1	33.8	21.5	
270	29.9	30.3	61.5	28.3	18.9	
240	26.4	27.4	46.7	25.1	17.1	
210	24.9	25.4	31.8	23.1	15.6	
183	23.8	24.5	28.1	21.7	14.9	
150	21.7	23.5	23.9	20.1	13.9	
130	20.7	22.9	22.9	19.0	12.3	
120	20.5	22.4	22.7	18.3	12.1	
110	19.3	21.5	22.4	17.7	11.7	
100	18.5	21.1	22.2	16.9	11.2	
90	17.3	20.6	22.0	16.1	10.9	
80	16.4	20.4	21.7	15.4	10.8	
70	15.7	18.8	21.5	14.7	10.4	
60	15.2	17.3	21.2	14.1	8.74	
50	14.8	14.9	21.1	13.5	7.99	
40	14.3	14.4	20.6	12.9	7.25	
30	12.7	12.7	20.4	12.3	6.72	
25	12.6	12.6	20.2	12.0	6.50	
20	12.2	12.2	20.1	11.6	6.50	
15	12.1	12.1	19.7	11.1	6.50	
10	12.0	12.0	19.4	10.5	6.10	
9	11.9	11.9	19.4	10.3	6.09	
8	11.9	11.9	19.4	10.1	6.09	
7	11.9	11.9	19.3	9.89	6.09	
6	11.7	11.7	19.3	9.57	6.09	
5	11.4	11.4	19.3	9.47	5.98	
4	11.4	11.4	19.0	9.15	5.76	
3	11.4	11.4	18.8	8.45	5.76	
2	11.4	11.4	18.5	7.25	5.76	
1	11.3	11.3	18.3	6.50	5.76	
0	11.1	11.1	18.2	5.36	5.36	



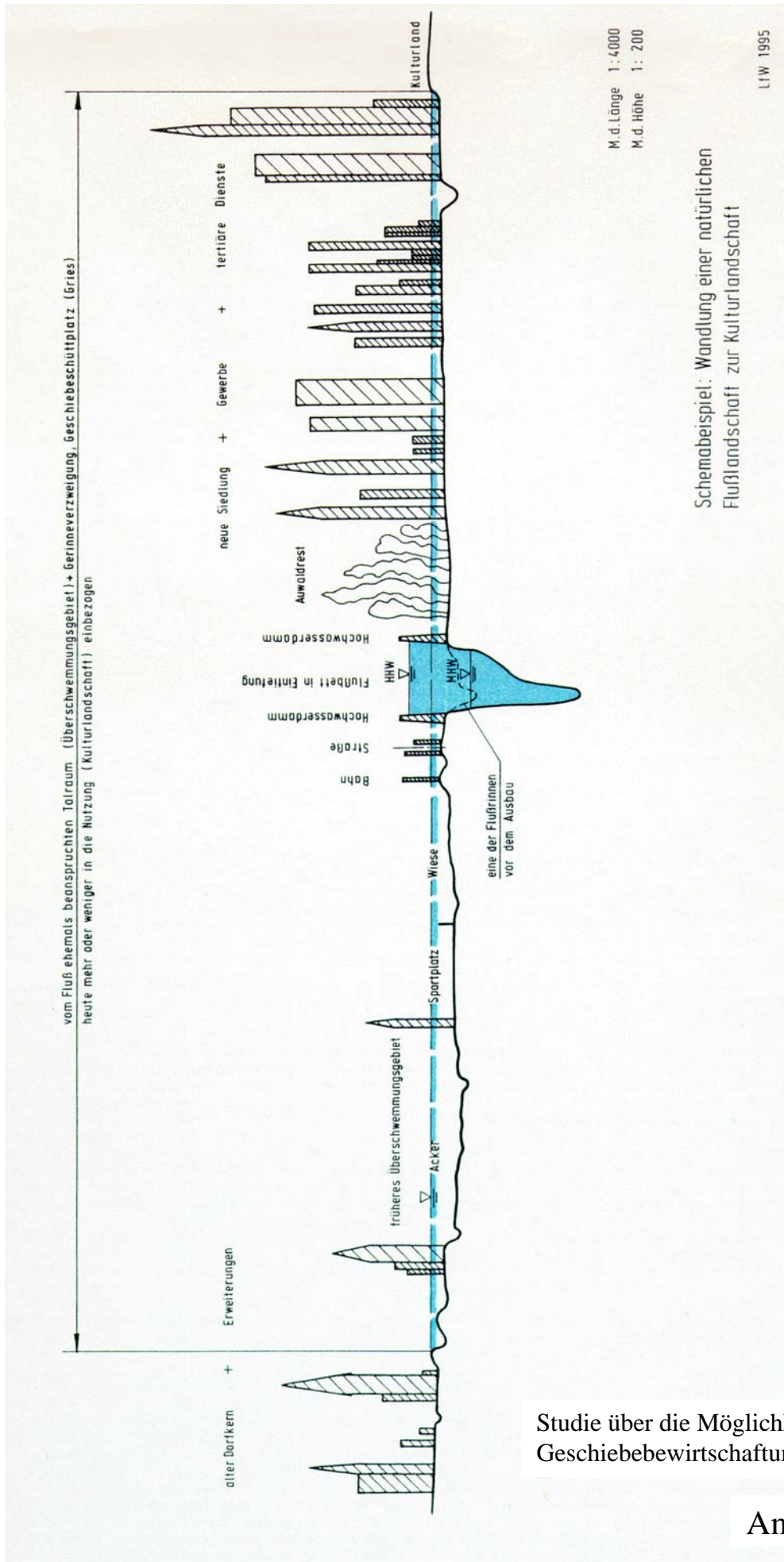
**Jährliche höchste Scheitelabflußwerte
(Stundenwerte, nach WWA WM)**

Studie über die Möglichkeiten einer
Geschiebebewirtschaftung der Isar



Isar
Ausleitungen mit Mittelwasserband

Studie über die Möglichkeiten einer
Geschiebbewirtschaftung der Isar



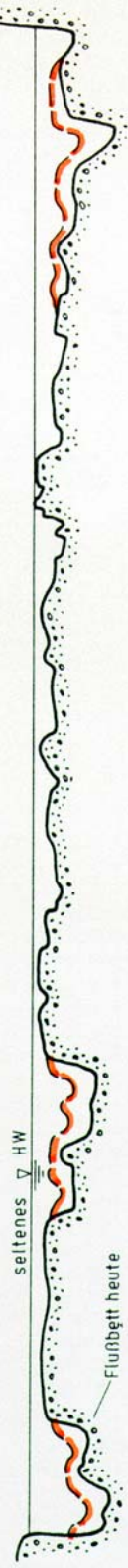
Schemabeispiel: Wandlung einer natürlichen
Flußlandschaft zur Kulturlandschaft

Studie über die Möglichkeiten einer
Geschiebebewirtschaftung der Isar

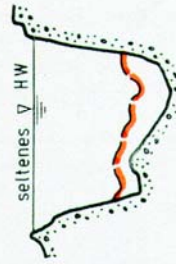
Fkm 222,4 Beispiel naturbelassene Flußstrecke



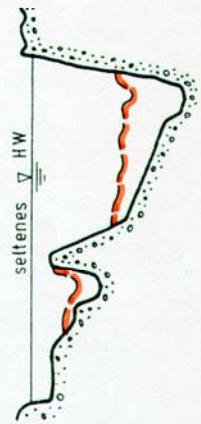
Fkm 218,2 Beispiel naturbelassene Flußstrecke



Fkm 210,88 Beispiel Korrekionsstrecke (Pegel Lenggries)



Fkm 203,0 Beispiel Korrekionsstrecke



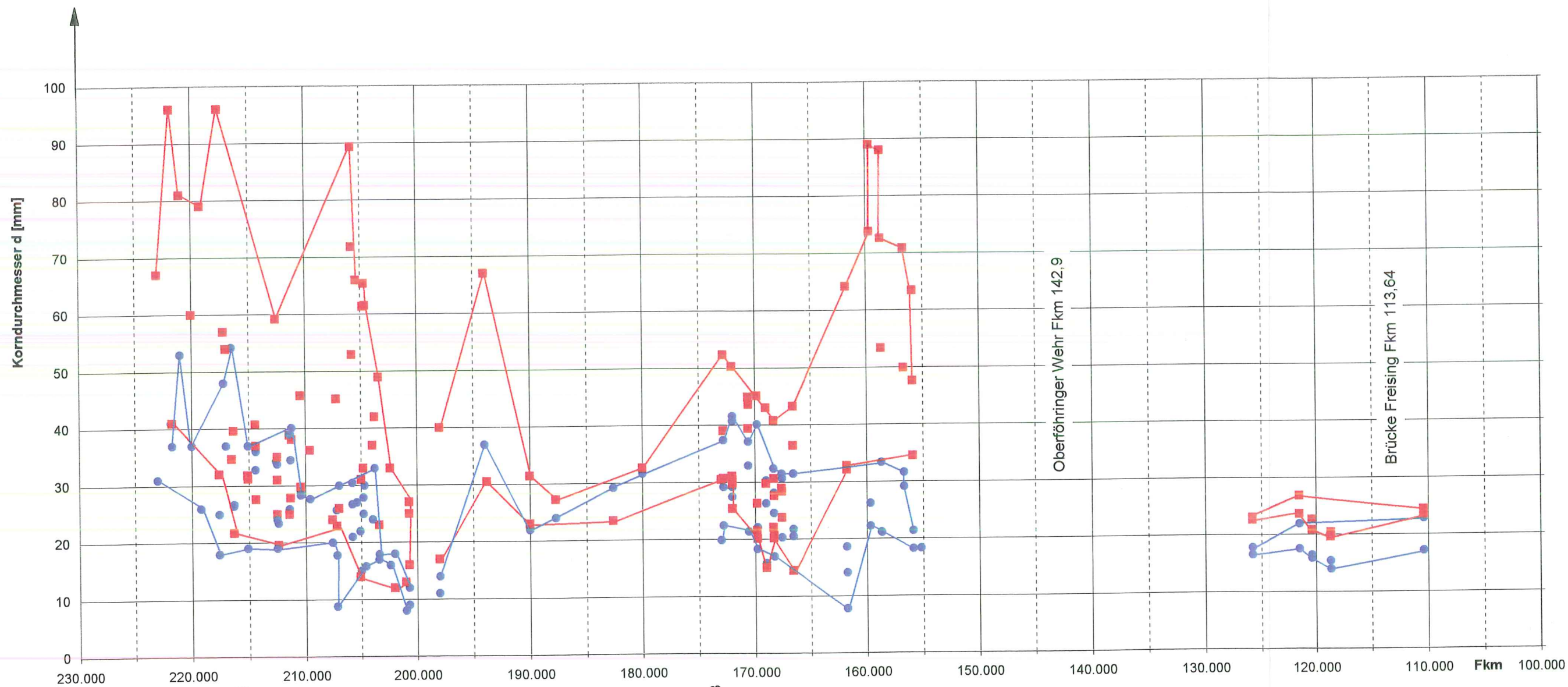
Flußbett vor rd. 35 Jahren

M Höhe zu Länge 1:10

Isar: Sylvensteinspeicher - Bad Tölz
schemat. Vergleich markanter Flußquerschnitte

LfW 1995

Studie über die Möglichkeiten einer
Geschiebemanagement der Isar



Flecker-Wehr Fkm 216,578

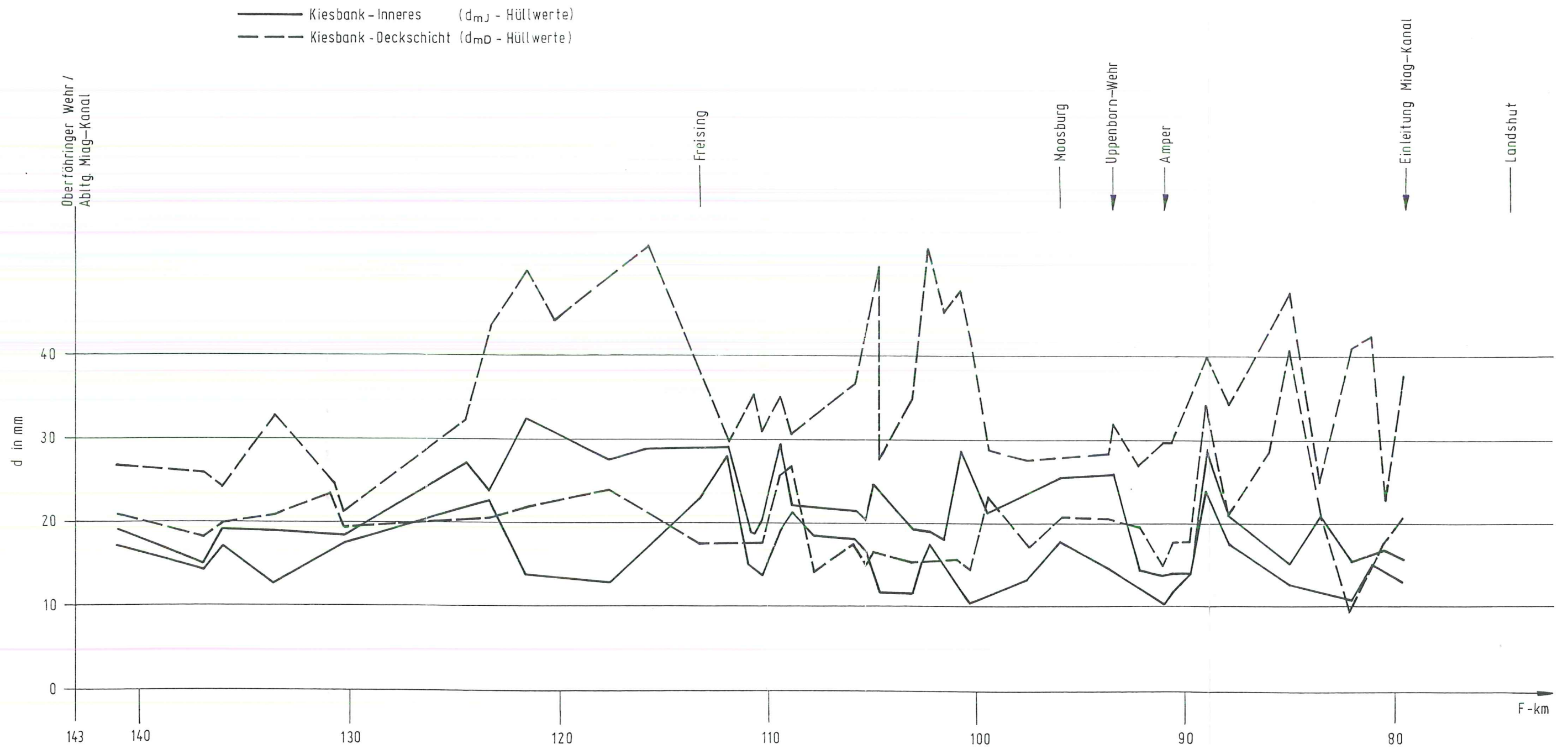
Staustufe
Bad Tölz Fkm 199,1

Ickinger-Wehr Fkm 173,93

Oberföringer-Wehr Fkm 142,9

Brücke Freising Fkm 113,64

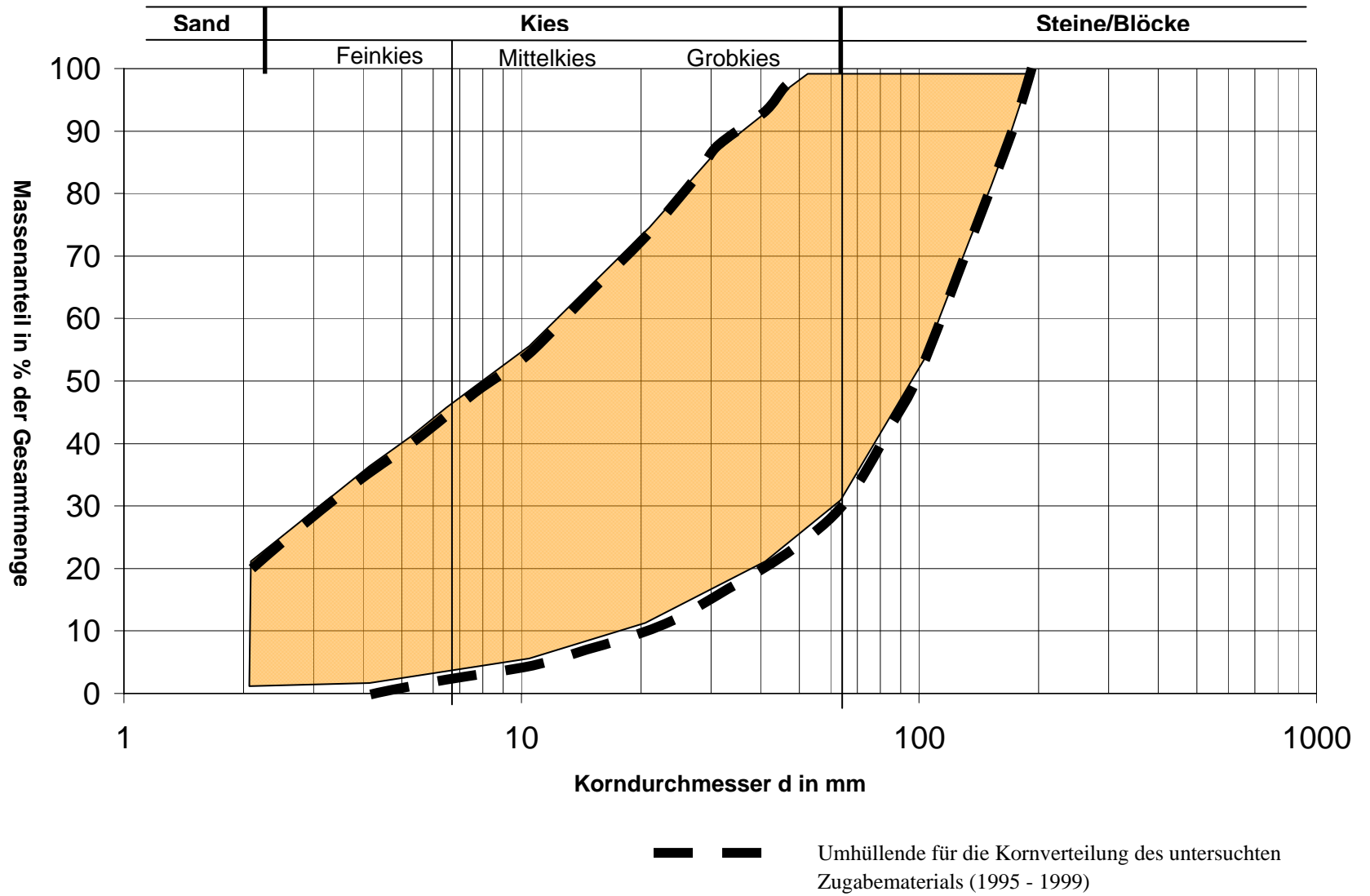
Geschiebekörnungsband aus Probeentnahmen 1990 - 1998
 Darstellung des d_m aus der Innenschicht I \circ
 Darstellung des d_{90} aus der Deckschicht D \blacksquare



Geschiebekörnungsband aus Probeentnahmen 1989
 Oberföringer Wehr - Landshut

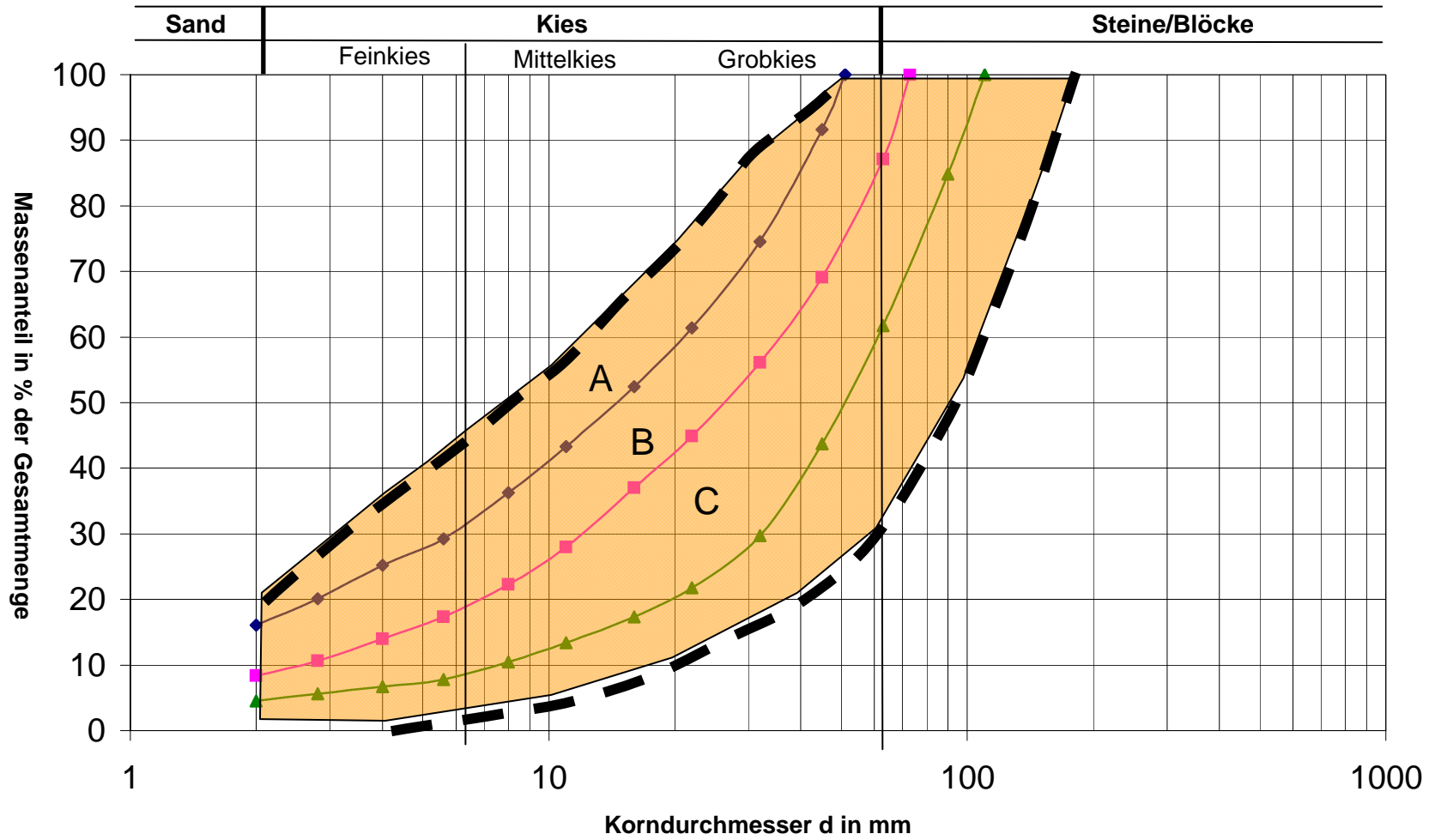
Studie über die Möglichkeiten einer
 Geschiebepflicht der Isar

Geschiebe-Siebanalyse



Studie über die Möglichkeiten einer
Geschiebebewirtschaftung der Isar

Geschiebe-Siebanalyse

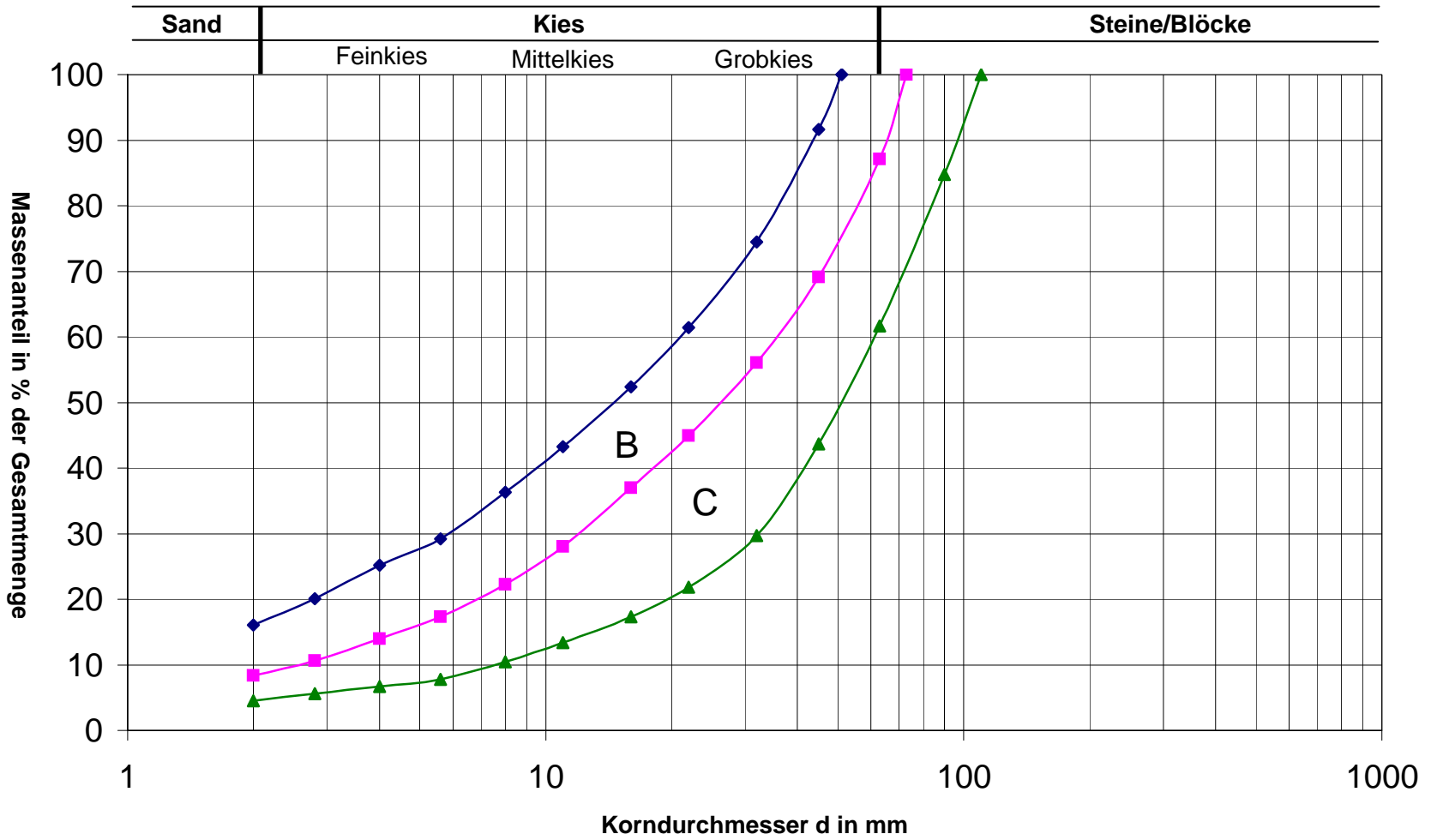


— — Umhüllende für die Kornverteilung des untersuchten Zugabematerials (1995 - 1999)

A, B, C diskutierte Körnungsbereiche des Zugabematerials (Kap. 9)

Studie über die Möglichkeiten einer
Geschiebebewirtschaftung der Isar

Geschiebe-Siebanalyse



empfohlene Körnungsbereiche des Zugabematerials
 (B bevorzugt für naturbelassene Flußstrecke,
 C bevorzugt für korrigierte Flußstrecke)

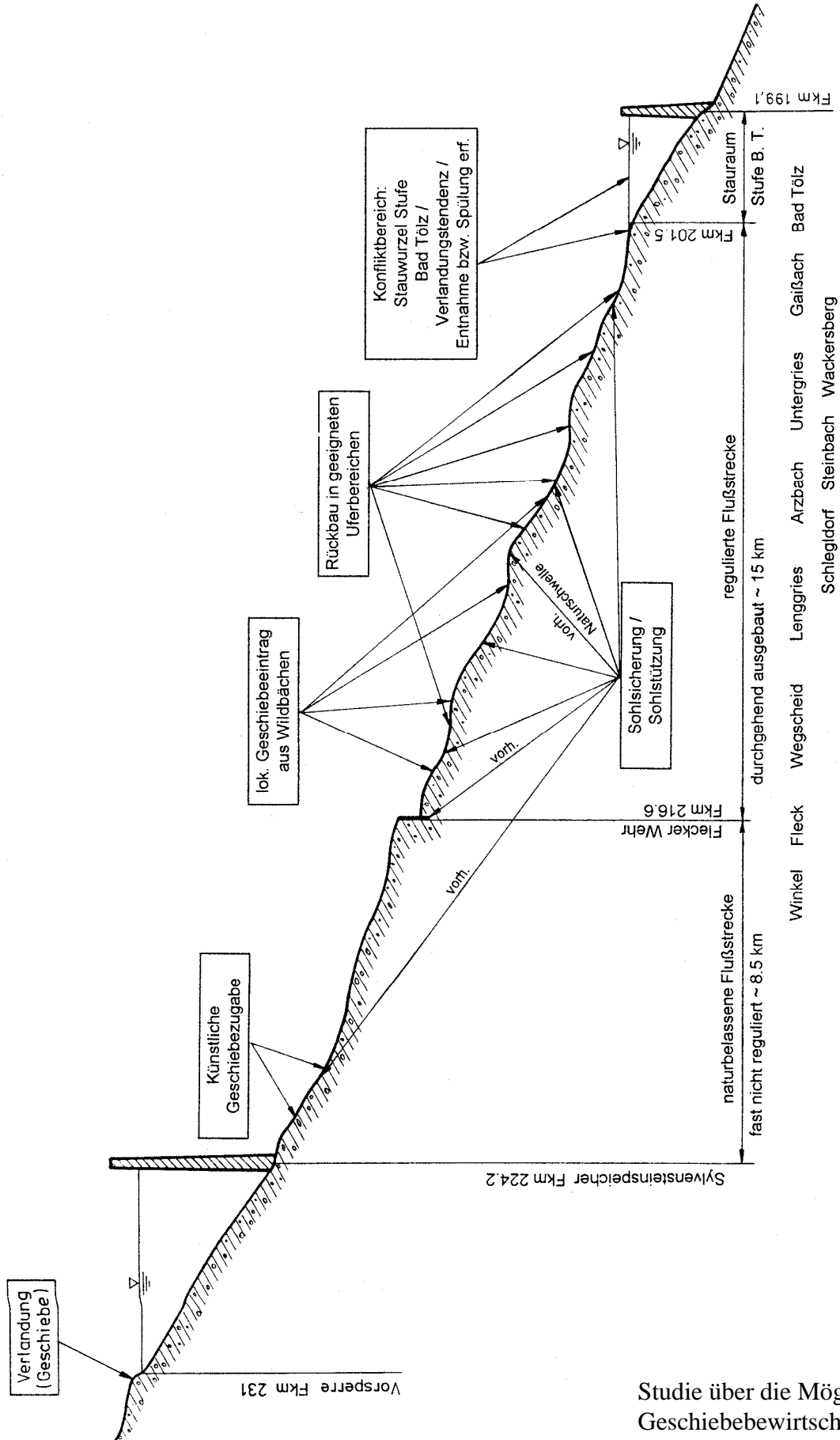
Studie über die Möglichkeiten einer
 Geschiebebewirtschaftung der Isar

Tabelle: Charakteristik des Zugabematerials
(bezogen auf Materialmengen von jeweils 15 000 – 20 000 m³/a und mittlere Abflußverhältnisse [MJ])
Zugabeversuche 1995 - 1999

Zugabestelle Fkm Bereich	Zugabematerial Körnungsbereich A (feines Korngemisch)	Zugabematerial Körnungsbereich B (mittleres Korngemisch)	Zugabematerial Körnungsbereich C (grobes Korngemisch)
<ul style="list-style-type: none"> • Fkm 222,3 • Fkm 220,2 <p>Naturbelassene Flußstrecke mit eingetiefter Rinne Länge = rd. 8,5 km</p>	<ul style="list-style-type: none"> • leicht transportfähig; • jährliche Verfrachtung möglich; • geringer Beitrag zur Sohlstabilisierung und geringe Minderung des großen Geschiebetransportvermögens wegen des hohen Frachtbedarfes; • kein Beitrag zur Sohlabpflasterung; 	<ul style="list-style-type: none"> • beschränkt transportfähig; • nur teilweise jährliche Verfrachtung (feinere Kornfraktionen bevorzugt); • nennenswerter Beitrag zur Sohlstabilisierung und Minderung des Geschiebetransportvermögens (solange eine ausreichende Materialmenge im Flußbett zur Verfügung steht); • Beitrag zur Sohlabpflasterung nur durch größte Kornfraktion möglich (Regeneration von Schwachstellen); 	<ul style="list-style-type: none"> • sehr eingeschränkt transportfähig; • nur der transportwillige (sehr geringe, feinkörnige) Anteil wird jährlich verfrachtet, Naßjahre sind abzuwarten, grobe Fraktionen neigen zum Liegenbleiben (Schoppung möglich); • bedingt Beitrag zur Sohlstabilisierung, Minderung des Geschiebetransportvermögens nur dort, wo das Material lagert bzw. mobilisierbar ist; • merklicher Beitrag zur Sohlabpflasterung, jedoch meist nur lokal im Bereich der Zugabestelle;
<ul style="list-style-type: none"> • Fkm 215,2 <p>ausgebaute Flußstrecke mit Korrektionsprofil, eingetieftem Flußbett und Rinnenbildung in der Sohle Länge = rd. 15 km</p>	<ul style="list-style-type: none"> • hoch transportfähig; • jährliche Verfrachtung sichergestellt; • nur unbedeutender Beitrag zur Sohlstabilisierung und zur Minderung des sehr großen Geschiebetransportvermögens; • kein Beitrag zur Sohlabpflasterung 	<ul style="list-style-type: none"> • voll transportfähig; • jährliche Verfrachtung möglich; • noch nennenswerter Beitrag zur Sohlstabilisierung und Minderung des Geschiebetransportvermögens; • noch Beitrag zur Sohlabpflasterung durch geringen Anteil der Grobfraktion möglich (Regeneration von Schwachstellen) 	<ul style="list-style-type: none"> • eingeschränkt transportfähig; • nur der transportwillige (sehr geringe feinkörnige) Anteil wird jährlich verfrachtet, grobe Fraktionen bleiben bis zum Auftreten großer Abflüsse liegen (u. U. Schoppung); • bedingt Beitrag zur Sohlstabilisierung und Abdeckung des Geschiebetransportvermögens nur dort, wo das Material lagert bzw. mobilisierbar ist; • merklicher Beitrag zur Sohlabpflasterung, hauptsächlich auf den Talwegbereich beschränkt, bester Effekt in Naßjahren;
<ul style="list-style-type: none"> • Stauraum des KW-Bad Tölz 	<ul style="list-style-type: none"> • volle Durchgängigkeit (rd. 100 %) unter bestimmten Voraussetzungen (s. Kap.5) möglich; 	<ul style="list-style-type: none"> • Durchgängigkeit von etwa 80-100 % unter bestimmten Voraussetzungen (s. Kap.5) möglich; 	<ul style="list-style-type: none"> • Durchgängigkeit von nur etwa 60-80 % unter bestimmten Voraussetzungen (s. Kap.5) möglich; Ablagerung der groben Kornfraktion im Stauwurzelbereich; soweit bis hier verfrachtet;
<ul style="list-style-type: none"> • Fazit 	<ul style="list-style-type: none"> • gemessen am flußmorphologischen Effekt ein Material mit geringer Wirkung, hohem Aufwand und dementsprechend relativ unwirtschaftlich; 	<ul style="list-style-type: none"> • von allen Körnungsbereichen das Material mit ausgewogener Wirkung und Verwendbarkeit, dementsprechend relativ wirtschaftlich; • Kombination mit Material C sinnvoll 	<ul style="list-style-type: none"> • einziges Materialgemisch mit der Fähigkeit, selbständig Sohlpflasterungen zu bewirken (Ersatz für lokal zerstörte Sohlpflasterung oder zur Kolkauffüllung); • nur bei großen Hochwasserabflüssen Beitrag zur Minderung des Geschiebetransportvermögens; • Kombination mit Material B sinnvoll; • für Zweckerfüllung relativ wirtschaftlich;

Lösungskonzept Geschiebeaktivierende und flußbettstabilisierende Maßnahmen

- Uferrückbau und Flußbettaufweitung in der
Regelungsstrecke
- Förderung des Geschiebeeintrags aus einmündenden
Wildbächen
- Remobilisierung verfestigter Kiesbänke
- Künstliche Geschiebezugabe
- Sohlstützende Querbauwerke
- Stauraumpülung bzw. -räumung mit Geschiebeumsetzung
- Kombination der genannten Einzelmaßnahmen



Studie über die Möglichkeiten einer Geschiebewirtschaftung der Isar

Schaubild: Flussabschnitt Sylvensteinspeicher – Bad Tölz
 Situation und Maßnahmen (Ansätze zu einem Lösungskonzept)

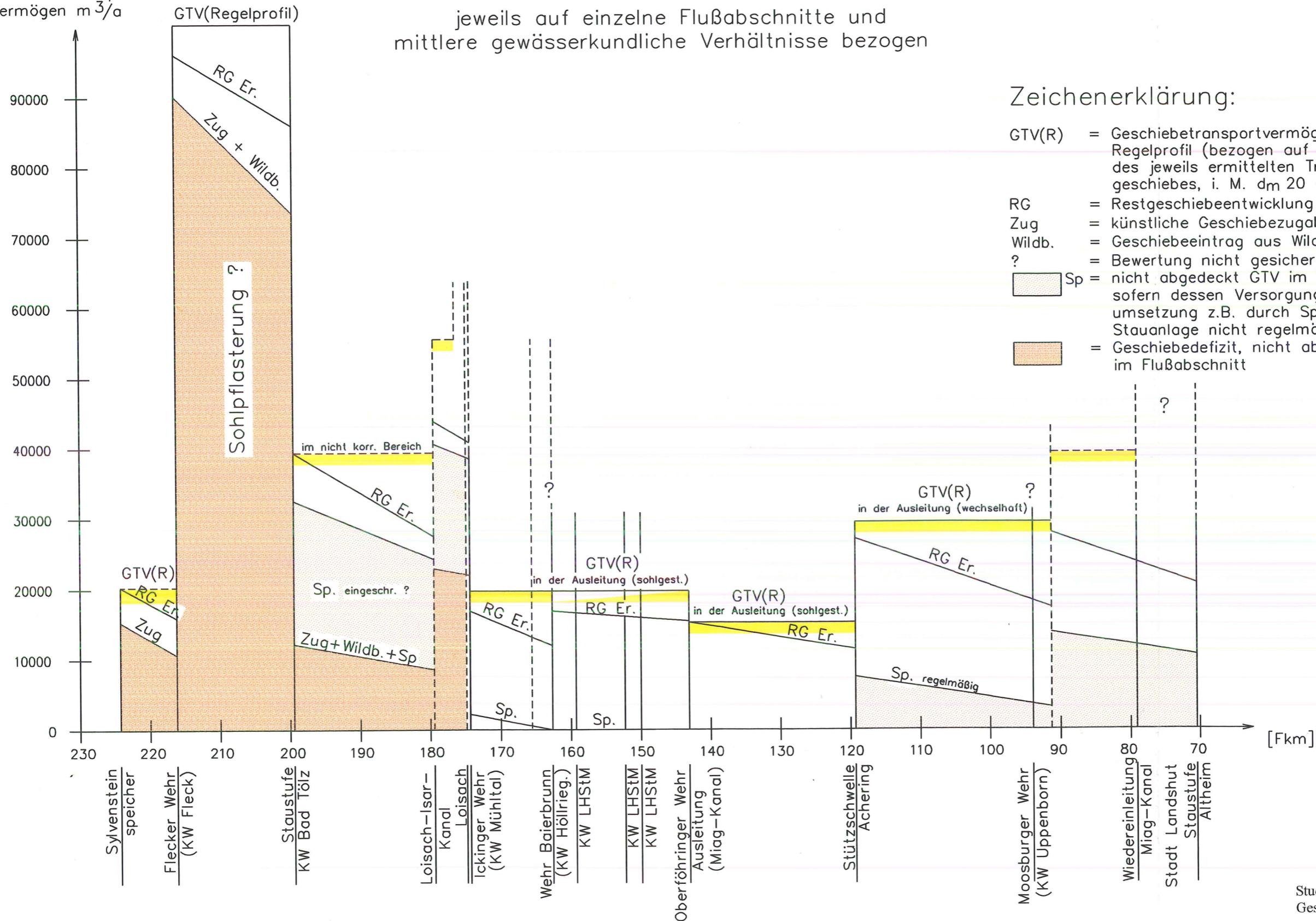
wichtige morphologische Merkmale der Flußabschnitte (numerische Werte sind Schätzwerte)	für eine Geschiebebewirtschaftung relevante Flußabschnitte der Isar					
	Sylvensteinspeicher - Flecker Wehr	Flecker Wehr - Staustufe B. Tölz	Staustufe B. Tölz - Ickinger Wehr	Ickinger Wehr - Wehr Baierbrunn	Wehr Höllriegelskreuth - Stadtbereich München - Oberföhringer Wehr	Oberföhringer Wehr - Moosburger Wehr Landshut (Stufe Altheim)
Flußteilung Fkm / Lauflänge	224,2 - 216,4 rd. 7,8 km	216,4 - 199,0 rd. 17,4 km	199,0 - 174,0 rd. 16 km	174,0 - 162,4 rd. 11,6 km	162,4 - 142,9 rd. 19,4 km	142,9 - 70,4 rd. 72,4 km
Charakteristik bzw. Möglichkeiten des Ausbaues	überw. naturbelassen - nicht ausgebaut kaum Verbauung	korrigiert u. rektifiziert Ufer überw. versteint und verbaut kurze Ausleitungsstr. (KW) Staustufe (KW) Uferrückbau	überwiegend naturbelassen (Ascholdinger u. Pupplinger Au) außer Regelungsstrecke Uferrückbau	korrigiert u. rektifiziert Ufer teilw. versteint Ausleitungsstrecke (KW) Uferrückbau	korrigiert u. rektifiziert Ufer gesichert u. verb. z. T. massiver Uferschutz z. T. sohlgestützt z. T. Ausleitungsstrecken Staustufe im Stadtbereich. Umgestaltg. gepl.	korrigiert u. rektifiziert Ufer überw. versteint z. T. sohlgestützt Ausleitungsstrecke (bis Fkm 78,3) Uferrückbau
Eintiefungstendenz: Sonstiges:	schwach (i. M. ≤ 1 cm/a) Sohlpflasterung in eingetiefter Hauptabflußrinne teilw. noch Vernetzung Fluß - Aue	schwach (i. M. ≤ 2 cm/a) ausgeprägte Sohlpflasterung in stark eingetieftem Flußbett (i. Ber. Bad-Tölz)	mittel (i. M. 1 - 3 cm/a) i. d. Pupplinger Reg. (i. M. > 3 cm/a) überwiegend Sohlendurchschlag in Grundmoräne bei stark eingetiefter Abflußrinne	mittel z. T. Tertiär knapp unter Flußsohle	schwach z.T. Tertiär knapp unter z.T. erheblich über Flußsohle	schwach im sohlgestützten Bereich (stellenweise i. M. ≤ 1 cm/a) stark im Erosionskeil bei Achering (stellenweise i. M. 7 cm/a) anschließend schwach - mittel Tertiär erheblich bis knapp unter Flußsohle , lokale Sohldurchschläge
frühere natürl. Geschiebefracht (um 1800)	i. M. $\leq 90\ 000$ m ³ /a	i. M. $\leq 100\ 000$ m ³ /a	i. M. $\leq 90\ 000$ m ³ /a	i. M. $\leq 80\ 000$ m ³ /a	i. M. $\leq 80\ 000$ m ³ /a	i. M. $\leq 70\ 000$ m ³ /a
früheres Geschiebetransportvermögen des natürlichen Flußbettes früheres natürliches Flußbett	i. M. $\leq 90\ 000$ m ³ /a verzweigt	i. M. $\leq 100\ 000$ m ³ /a verzweigt	i. M. $\leq 90\ 000$ m ³ /a verzweigt	i. M. $\leq 80\ 000$ m ³ /a verzweigt	i. M. $\leq 80\ 000$ m ³ /a verzweigt	i. M. $\leq 70\ 000$ m ³ /a verzweigt / gewunden
heutige Restgeschiebefracht (ohne Maßn. d. Geschiebebewirtschaftung) am Anfang / Ende des Flußabschnitts ; i. allg. stark abflußabhängig	i. M. 0 / 10 000 m ³ /a	i. M. 5 / 15 000 m ³ /a	i. M. 5 / 15 000 m ³ /a	i. M. 5 / 15 000 m ³ /a	i. M. 5 / 15 000 m ³ /a	i. M. 0 / 20 000 m ³ /a
heutiges Geschiebetransportvermögen Flußbett mit Regelprofil	i. M. 20 000 m ³ /a	i. M. 100 000 m ³ /a	i. M. 40 000 m ³ /a	i. M. 20 000 m ³ /a (40 000 m ³ /a)	i. M. 40 000 m ³ /a	i. M. 15 000 m ³ /a (30 000 m ³ /a)
Flußbett mit Tiefenrinne, unregelmäßig (mit Ausleitungsabfluß b. Ausleitungsstrecken)	30 000 m ³ /a	200 000 m ³ /a	80 000 m ³ /a	30 000 m ³ /a (60 000 m ³ /a)	60 000 m ³ /a	30 000 m ³ /a (80 000 m ³ /a)
Geschiebedefizit * (theoretische Werte bezogen auf Transportgeschiebe)	mittel 5 - 15 000 m ³ /a	sehr groß $\geq 80\ 000$ m ³ /a	groß 30 - 40 000 m ³ /a	mittel - groß 10 - 25 000 m ³ /a	mittel - groß	mittel 10 - 25 000 m ³ /a
Maßnahmen der künstlichen Geschiebezugabe bzw. zur Verbesserung der Geschiebedurchgängigkeit (Geschiebeumsetzung)	Geschiebezugabe von Flußgeschiebe mit LKW		regelmäßige Spülung bei Hochwasserabfluß mit begleitender Stauraumbewirtschaftung ins UW	Bewirtschaftung des Wehres bei Hochwasser im Falle der Räumung Umsetzung ins UW		Oberföhringer Wehr: mech. Räumung des Stauraumes und Geschiebeumsetzung ins UW; Spülung bei Hochwasserabflüssen Stufe Altheim: mech. Räumung der Stauwurzel
Aufnahmeturnus für Querschnittsaufnahmen (obligatorisch nach großen bettbildenden Hochwasserabflüssen)	etwa alle 5 Jahre	etwa alle 3-5 Jahre	etwa alle 5 Jahre	etwa alle 5 Jahre	etwa alle 5 Jahre	etwa alle 5 Jahre (Stauwurzel Stufe Altheim kontrollieren)

* Näheres siehe vorliegende flußmorphologische Untersuchung der jeweiligen Flußstrecke

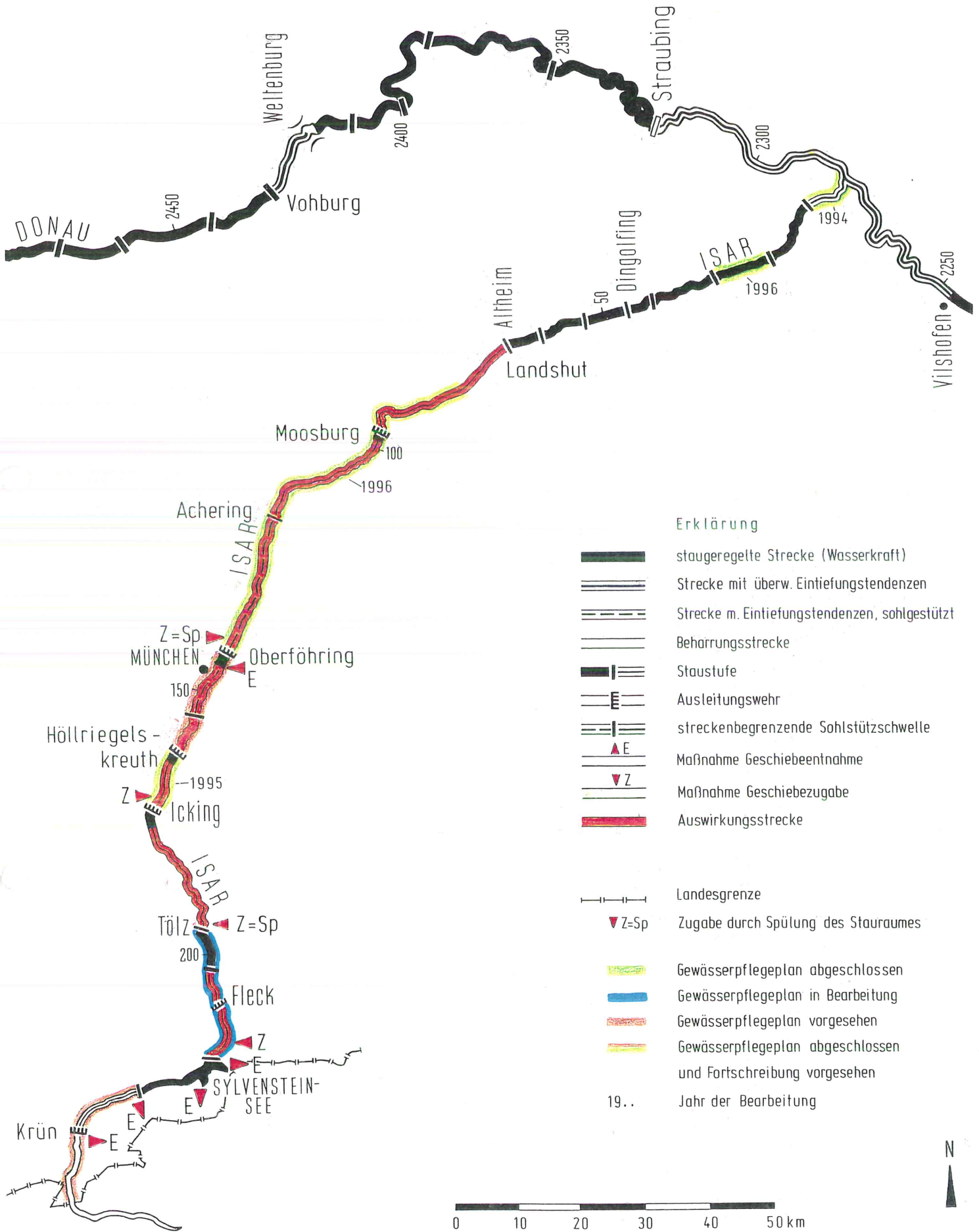
Flußmorphologische Statusübersicht (grafisch)

Geschiebedefizit/
Geschiebetransport-
vermögen m^3/a

Geschiebetransport und - defizite (grob schematisiert)
jeweils auf einzelne Flußabschnitte und
mittlere gewässerkundliche Verhältnisse bezogen



Studie über die Möglichkeiten einer
Geschiebepflege der Isar



Schematische Darstellung der Isar
Stand der Sohlstützung mit Ansätzen für eine Geschiebemanagement