

# Neuere Erkenntnisse zur Sohlensicherung von erosionsgefährdeten Flüssen

Jost KNAUSS



Prof. Dr.-Ing. Jost Knauss

## Kurzbiografie:

- Ltd. Akad. Dir. und a. pl. Professor am Lehrstuhl für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Universität München (Oskar von Miller-Institut),
- seit 1962 Betriebsleiter der Versuchsanstalt für Wasserbau der TU München in Oberrach, (jetzt in Obernach),
- Mitglied im Planungsbeirat der Region Oberland als Vertreter der Technischen Universität München,
- Mitarbeit im DVWK in den Fachausschüssen – Entnahmeeinrichtung an Talsperren und – wasserbauliches Versuchswesen, das sein eigentliches Metier ist,
- Ehrung: „von Tinus-Medaille“ in Würdigung seiner Verdienste auf dem Gebiet der „Geschichte der Hydrotechnik“, insbesondere bei der Erforschung von Wasserbauten in der mykenischen Epoche.

## TEIL I:

### Ein offenes Deckwerk für die Untere Isar

Der von oben nach unten vorgenommene Einbau von Staustufen zur Energieerzeugung an der Oberen und Mittleren Isar und der damit unterbrochene Geschiebetransport von der Quelle zur Mündung des Flusses führte zu einer heftigen Betteintiefung in der Unteren Isar, der am Anfang dieses Jahrhunderts im Zuge von Landgewinnungsmaßnahmen ein gestreckter Lauf und enge Hochflutgrenzen auferlegt worden waren. Nach Beendigung des Einbaus von sogenannten Stützkraftstufen ist auf den letzten zehn Kilometern der Isar, also unmittelbar vor ihrem Zusammenfluß mit der Donau, die Eintiefungstendenz noch voll wirksam. Die Sohle muß künstlich fixiert werden und zwar unter der Vorgabe, daß der heute vorhandene Charakter der Flußauflage, der ökologisch als besonders wertvoll und schützenswert angesehen wird, erhalten bleibt.

Dazu wurde am Oskar v. Miller-Institut in Oberrach in einem ersten Untersuchungsprogramm das sogenannte Sohlstufenkonzept entwickelt, bei dem mittels eines neuartigen Typs niedriger Absturzbauwerke die vorhandene Sohlenlage durch Vorgabe einzelner Fixpunkte fixiert wird (Abb 1). Unterhalb der beiden Isarbrücken im Stadtbereich von Plattling wurde der erste Fixpunkt dieser Art bereits verwirklicht. Eine weitere Sohlstufe soll in einem Abstand von rund einem Kilometer folgen.

Als eventuelle Alternative zu einer Weiterverfolgung dieses Konzepts stromab wurde in einem zweiten, wissenschaftlich orientierten Untersuchungsprogramm der Frage nachgegangen, ob die Isarsohle unterhalb der zweiten Sohlstufe auch mittels eines offenen Deckwerks fixiert werden kann. Dabei soll das Flußbett durch Belegung der Sohle mit größeren Steinen in einer offenen Anordnung vor der drohenden Eintiefung geschützt werden. Bei grundlegenden Forschungen über das Widerstandsverhalten extremer Rauheiten und Untersuchungen über Turbulenzstrukturen auf glatten festen Sohlen, die mit einzelnen Rauheitselementen besetzt sind, wurde festgestellt, daß die sogenannte Rauheitsdichte eine wesentliche Rolle spielt. Mit dieser wichtigen Kenngröße wird der, in senkrechter Schattenprojektion, von der jeweiligen Anzahl der Elemente abgedeckte Teil der Einheitsfläche bezeichnet. Bei den Untersuchungen kam heraus, daß das größte Widerstandsvermögen nicht etwa bei der engsten Anordnung der Elemente, wie zum Beispiel bei einem geschlossenen Deckwerk, sondern bei einer erstaunlich geringeren Belegungs-dichte gegeben war, nämlich bei 25 bis 30 Prozent der Fläche. Am Theodor Rehbock-Institut der Universität Karlsruhe wurde versucht, dieses günstige Resultat der speziellen Turbulenzforschung auf Überlegungen zur Stabilität natürlicher Gewässer-



sohlen zu übertragen (DITTRICH et al., zuletzt 1994). In konsequenter Beurteilung der auf festen Sohlen erzielten Forschungsergebnisse wurde gefordert, weiterführende Untersuchungen in Gerinnen mit beweglicher Sohle durchzuführen. Der notwendige Übergang der Forschung auf die Betrachtung naturnäherer Gerinne bedeutet nichts anderes als die Suche nach Kriterien, wie man natürliche Abplasterungsprozesse auf künstlichem Wege nachahmen kann. Zu diesem Zweck wurde an der Versuchsanstalt in Obernach ein umfangreiches Untersuchungsprogramm auf den Weg gebracht, über dessen erste Ergebnisse hier in einer kurzen Zusammenfassung berichtet wird.

Nach Abschluß der Untersuchungen für das Sohlstufenkonzept wurde im großen Isarmodell ( $M = 1 : 33 \frac{1}{3}$ ) ein Probierversuch mit einem offenen Deckwerk durchgeführt, bei dem die bewegliche Sohle des Flußbetts unterhalb der Sohlstufe 2 mit kleinen, gebrochenen Steinen (mittlerer Durchmesser rund 14 mm) so belegt wurde, daß rund 20 % der Sohle mit den Steinen bedeckt waren (Abb. 2). Diese willkürlich gewählte Abdeckung wurde in einem Dauertest einem extremen Hochwasser (HQ100) ausgesetzt. Der Sohlenstabilisierungseffekt war enorm, obwohl, wie es die späteren Grundsatzversuche zeigten, die Belegungsdichte etwas größer hätte gewählt werden müssen, um jeglichen Sedimenttransport zu verhindern. Ungeschützt würde das Isarbett bei einem länger anhaltenden HQ100 bis in den Tertiärhorizont eingetieft werden, also den sogenannten Sohlendurchschlag erleiden.

Die systematischen Experimente, die die Frage klären sollten, ob die für eine vollständige Ausschaltung der Erosionsgefahr erforderliche Belegungsdichte genau definiert werden kann, wurden in einer Versuchsrinne durchgeführt, die im Maßstab von  $M = 1 : 33 \frac{1}{3}$  die Darstellung von rund einem Viertel der Bettbreite der Unteren Isar ermöglichte (Abb. 3). Die Teststrecke war zehn Rinnenbreiten lang. Den Versuchen wurden die hydrologischen, hydraulischen, morphologischen und sedimentologischen Gegebenheiten der Isar im betrachteten, untersten Abschnitt zugrundegelegt ( $H_{q100} = 11,6 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{m}$ ;  $J_S = 0,85 \text{ ‰}$ ; Kies mit  $d_m = 16,4 \text{ mm}$  und  $d_{\text{max}} = 52 \text{ mm}$ ; Geschiebetransferbeginn bei  $Mq = 2,5 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{m}$ ). Der Isarkies ließ sich im Modell, in fast exakter Abbildung der mittleren Sieblinie, mit einer im geometrischen Maßstabsverhältnis verkleinerten Sandmischung darstellen.

Für die Belegungen wurden gebrochene Kalksteine in zwei Größen ausgesucht. Auf Naturwerte umgerechnet betrug der mittlere, kugeläquivalente Durchmesser bei den kleineren Steinen  $d_{\text{sm}} = 0,324 \text{ m}$ , bei den größeren  $d_{\text{sm}} = 0,458 \text{ m}$ .

Als maßgebende Reaktion auf die Vorgaben an der Gerinnesohle, unbelegt oder mit Steinen in unterschiedlicher offener Anordnung belegt, wurde der Sedimentaustrag aus der Teststrecke in einer vorgegebenen Zeiteinheit gemessen. Als Versuchsdauer wurden zwei Naturtage gewählt (Abb. 4a und 4b). Bei den Belegungen der Sandsohle des Rinnenmodells wurden zunächst von Hand aufgebraute systematische Anordnungen serienmäßig getestet. Später wurden die Steine, im Hinblick auf eine eventuelle praktische Anwendung des Verfahrens, ins fließende Wasser ( $Mq$ ) abgekippt, und zwar in etwa so, wie man das von einer fahrbaren Brücke oder auch von einer schwimmenden Einrichtung aus in Natur machen könnte.

Auf das komplizierte und zeitaufwendige Prozedere der insgesamt 32 Testläufe kann hier nicht näher eingegangen werden. Zu den Details der Versuchsdurchführung sowie den Überlegungen und Untersuchungen zur Genauigkeit und Reproduzierbarkeit der Versuche ist auf eine bereits vorliegende ausführliche Veröffentlichung zu verweisen (KNAUSS, 1995).

In Abb. 5 werden zwei wichtige Ergebnisdiagramme der systematischen Versuche vorgestellt. Im oberen Diagramm ist der gemessene Sedimentaustrag als absolute Größe über der vorgegebenen Belegungsdichte aufgetragen. Die Darstellung liefert den generellen Verlauf der Beziehung  $g_i = f(F_S)$  für die untersuchten Abflüsse ( $q$ ) und die mittleren Steindurchmesser ( $d_S$ ). Bei einer bestimmten Größe von  $F_S$  wird der Sedimentaustrag zu Null. Im unteren Diagramm ist der Relativwert des Sedimentaustrags über der Belegungsdichte aufgetragen:  $g_r = f(F_S, d_S)$ . Der Übergang vom oberen zum unteren Diagramm lehrt, daß bei größerer Belegungsdichte und verschwindendem Sedimentaustrag der Abfluß als Einflußgröße bedeutungslos wird. Dies ist nicht verwunderlich, da es ansonsten keine stabilen Abplasterungen in der Natur gäbe. Das untere Diagramm zeigt aber auch, daß die Größe der Steine bzw. ihr Gewicht eine besondere Rolle spielt. Bei den älteren Untersuchungen über extreme Rauheiten und Turbulenzstrukturen war dies noch nicht erkannt worden.

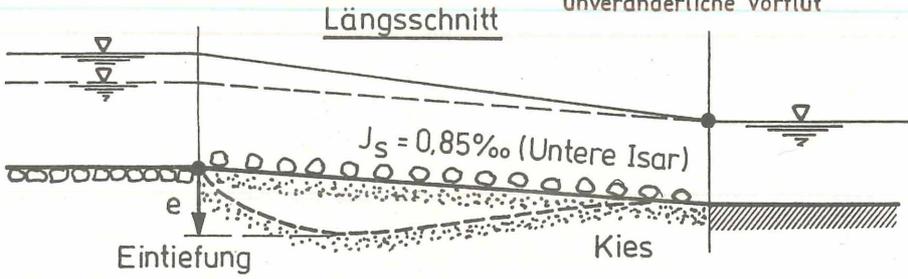


**Abbildung 2**

**Großes Isarmodell, Probierversuch mit einem offenen Deckwerk (Belegungsdichte  $F_S \approx 0,2$ )**

Oberer Fixpunkt: feste Sohle  
am Ende einer geschliebeundurchlässigen Regulierungsstrecke

Unterer hydraulischer Fixpunkt:  
unveränderliche Vorflut



gesucht: erforderliche Belegung, für die  $e \rightarrow 0$

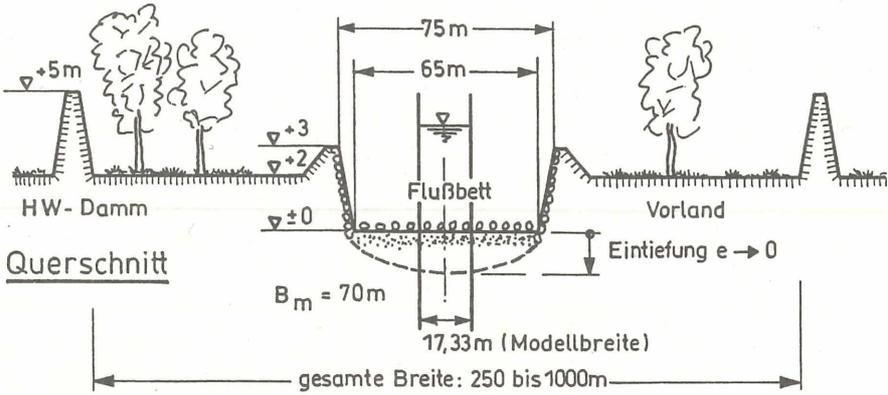


Abbildung 3

Sohlensicherung durch Belegung mit größeren Steinen in offener Anordnung, Untersuchungsschema und Randbedingungen



Abbildung 4a

Rinnenmodell, offenes Deckwerk mit  $F_s = 0,33$  bei  $H_{q100}$

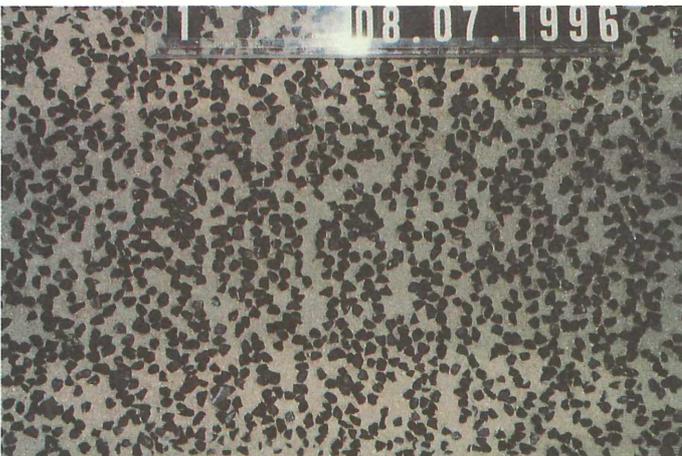
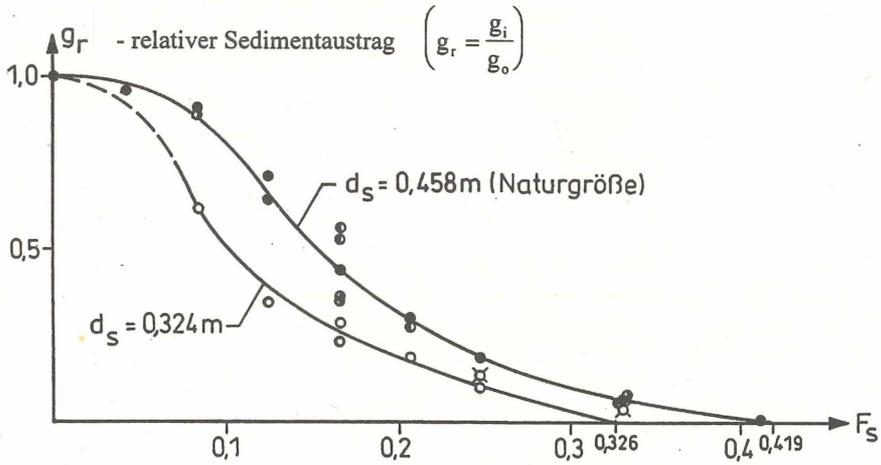
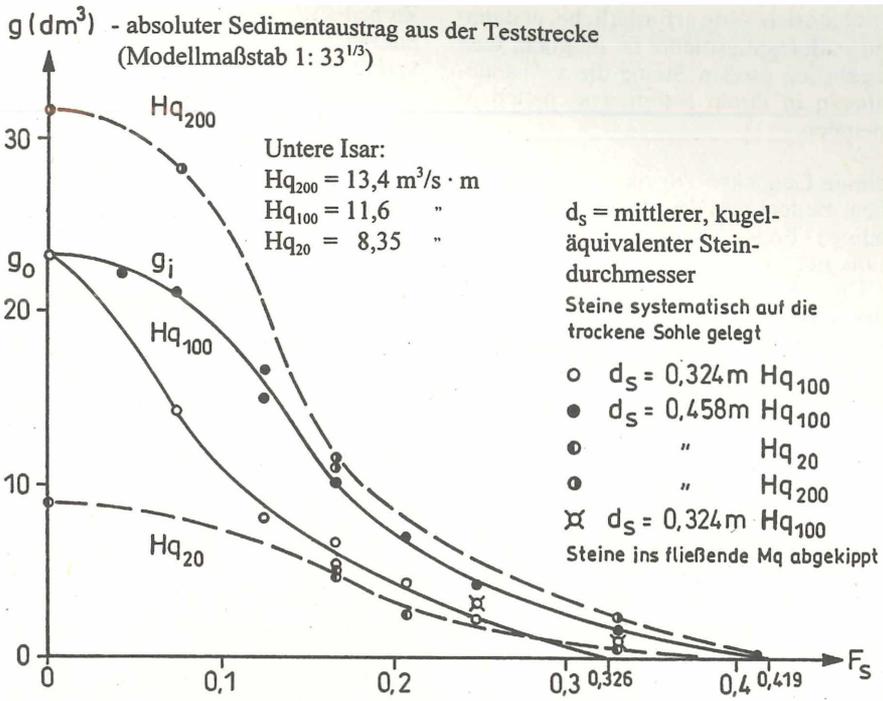


Abbildung 4b

Das Deckwerk nach dem Durchgang von  $H_{q100}$  zwei Naturtage lang



Def.: Belegungsdichte  $F_s = \frac{n \cdot \pi}{4} \cdot d_s^2$   
 mit  $n$  = Anzahl der Steine pro m<sup>2</sup>

Abbildung 5

Versuchsauswertung, oben:  $g = f(F_s, d_s, q)$ ; unten:  $g_r = f(F_s, d_s)$

Als Endergebnis der Grundlagenuntersuchung für das Fallbeispiel Untere Isar können folgende Dimensionierungsvorschläge gemacht werden:

- Generelles Untersuchungsergebnis UNTERE ISAR  
 (zur Herstellung eines offenen Deckwerks):

Steine in  $Q \leq M_q$  abgekippt  
 für  $g_r = 0$ :

erf.  $F_s = 1,5 \cdot \frac{d_s}{(d_s + 1)}$  (Belegungsdichte)

erf.  $n = \frac{1,91}{d_s \cdot (d_s + 1)}$  (Anzahl der Steine)

gewählt:  $d_{s,m} = 0,25 \text{ m}$  ( $G_i = 21,7 \text{ kg}$  mit ( $p_s = 2650 \text{ kg/m}^3$ )  
 erf.  $n = 6$  (Steine/m<sup>2</sup>)  
 $G_{ges.} = 130,1 \text{ kg/m}^2$  (Belegungsgewicht)

→  $F_s = 0,30$  bei  $J_s = 0,85 \text{ ‰}$   
 belegte Sohle: 30 %  
 freie Sohle: 70 %

- Die zur Sohlensicherung erforderliche, erstaunlich geringe Belegungsdichte ist möglich, weil die zugegebenen großen Steine die vorhandenen kleineren in ihrem Strömungsschatten in Schutz nehmen.

Nun noch einige Gedanken zur ökologischen und ökonomischen Bedeutung des Verfahrens sowie zur notwendigen Entwicklung einer geeigneten Einbautechnologie:

Ein offenes Deckwerk der hier vorgestellten Art kann dann als eine effektive Maßnahme der naturnahen Gewässerbettstabilisierung bezeichnet werden, wenn es, nach dem modelltechnisch erbrachten Nachweis der hydraulischen Wirksamkeit, gelingt, eine praxisrelevante Einbautechnologie zu entwickeln.

Der ökologische Wert einer offenen Belegung besteht in erster Linie darin, daß nur der kleinere Teil der Flußsohle abgedeckt oder beschwert werden muß. Der größere Teil bleibt frei. Die Störung des vorhandenen Ökosystems ist gering. Die Steine werden aufgelegt. Ein Austausch der vorhandenen oberen Schicht der Flußsohle ist nicht erforderlich. Die mit dem Auflegen der Steine verursachte Erhöhung der Bettrauhigkeit führt nur zu einer mäßigen Fließtiefenvergrößerung.

Die einzelnen großen Steine am Gewässergrund bieten den etablierten Benthosorganismen eine zusätzliche Strömungsvielfalt, nämlich höhere Fließgeschwindigkeiten und Turbulenzen an der angeströmten Seite und an den Flanken sowie beruhigte Zonen im Strömungsschatten. Dies ermöglicht die Bildung von neuen Lebensbereichen für strömungsliebende Arten. Den Fischen werden Unterstände und Ruheplätze geboten. Im Strömungsschatten der Steine wird feinkörniges Substrat und organisches Material abgelagert, bei größeren Abflüssen aber durch erhöhte Turbulenz auch umgelagert, so daß die Kolmatierungsgefahr, im Gegensatz zu einem geschlossenen Deckwerk, als sehr gering einzuschätzen ist.

Mit dem ökologischen Vorteil geht ein ökonomischer Hand in Hand: Der Bedarf an Steinmaterial ist bei der offenen Belegung erheblich geringer als bei einer geschlossenen Abdeckung und zwar um das drei- bis fünffache, je nach der als notwendig angesehenen Gesamtdicke eines mehrlagigen geschlossenen Deckwerks.

- Eine Anwendung dieser Lösung des Sohlenstabilisierungsproblems auf schiffbare Flüsse verbietet sich von selbst, wenn mögliche Zerstörungen im notwendigen Belegungsschema durch Schraubstrahlen, Ankerwürfe und Ankerschleifen auftreten können. Die zwangsläufige Verringerung der schiffbaren Fließtiefe bei Niedrigwasser durch die aufgelegten Steine ist ebensowenig brauchbar. Die offene Belegung von Flußbetten, deren Sohle aus Sand oder gar Feinsand (auch Flinz) besteht, ist ebenfalls indiskutabel. Hier kann nur der Einstau sinnvolle Abhilfe schaffen.

Weitere grundsätzliche Überlegungen, zweckdienliche Modellversuche und Tests in geeigneten Musterstrecken müssen sich mit der Frage beschäftigen, wie für praktische Anwendungen ein allgemein brauchbares Realisierungskonzept für eine derartige Sohlenfixierung gefunden werden kann.

Zu bedenken sind dabei Probleme der Auswahl des Steinmaterials (rund oder gebrochen), der Materialvorhaltung, des Einbaus vor Ort, der Einbauzeit (mit oder ohne Unterbrechungen), der Einbaurichtung (nach ober- oder nach unterstrom). Wichtig sind auch Überlegungen und Versuche zu naturbedingten Unterbrechungen des Einbauvorgangs bei Hochwasser und ihren möglichen Folgen. Einbaufehler, Lücken oder örtliche Verletzungen der Belegung sind daraufhin zu prüfen, ob sie tolerierbar sind oder zur Gefährdung des Vorhabens führen können. Es ist der Verletzungsgrad festzustellen, bei dem die beabsichtigte Wirkung der Maßnahme außer Kontrolle gerät. Es ist weiterhin zu prüfen, welchen Einfluß morphologische Unregelmäßigkeiten im Flußbett (Querneigungen, Uferanschlüsse, Bänke, Kolke) auf den Stabilisierungseffekt haben. Erste Modellversuche zur Klärung all dieser Fragen laufen seit einigen Monaten an der Versuchsanstalt. Wenn alle Probleme in einem günstigen Sinn gelöst werden können, dann wäre der Einbau eines offenen Deckwerks der vorgeschlagenen Art als Nachahmung einer natürlichen Abpflasterung anzusehen, bei der dem eintiefunggefährdeten Gewässer das nicht vorhandene, aber notwendige gröbere Steinmaterial künstlich zugegeben wird.

## TEIL II:

### Natürliche Abpflasterung an der Oberen Isar

Unterhalb des Sylvensteinspeichers hat sich die Isar in der Talkrümmung nach rechts schon seit langer Zeit (s. die Flußkarte von Adrian von Riedl aus dem Jahr 1806) an das Steilufer des Rauchenbergs angelehnt. In die bis zu 400 m breite, nach rechts sich öffnende nacheiszeitliche Talverfüllung fließt Wasser nur bei sehr hohen Abflüssen (Abb. 6). Im Lauf einer unbekanntenen Zeitspanne haben ausufernde Hochwässer dort ein verästelttes Seitengerinne in die Alluvionen eingesenkt, dessen Hauptarm eine Sohle mit einer markanten Abpflasterung aufweist (Abb. 7a und 7b). Das rund 40 m breite Gerinne macht einen insgesamt stabilen Eindruck. Seit Inbetriebnahme des Sylvensteinspeichers wird es sehr selten und nur noch mit kleinen Abflüssen beaufschlagt.

Im Zusammenhang mit den oben vorgestellten Untersuchungen zur künstlichen Herstellung offener Deckwerke in erosionsgefährdeten Flüssen können Vergleiche mit natürlich entstandenen, stabilen Deckschichten sehr hilfreich sein. Am trockenen Hochwasserarm der Isar unterhalb des Sylvensteins bot sich dazu eine günstige Möglichkeit.

Eine eingehende Vermessung des zur näheren Untersuchung ausgewählten Gerinneabschnitts lieferte die zur hydraulischen Beurteilung notwendigen geometrischen Kenngrößen des Gewässers (Abb. 8, vgl. auch Abb. 6): Einsenktiefe in die Schotterfläche 1,55 m (das im betrachteten Bereich rund 60 m breite Hauptgerinne der Isar ist 2,0 m tief eingesenkt) und ein mittleres Längsgefälle des Hochwasserarms von  $J_5 = 3,0 ‰$  (das durchflossene Isarbett ist zur Zeit mit  $J_5 = 3,6 ‰$  geneigt). Die Schotterfläche besitzt eine Längsneigung von 4,1 ‰

Bei Vorgabe einer bordvollen Füllung der beiden Gerinne (größere Fließtiefen können außer Betracht gelassen werden) kann mit Hilfe einer wichtigen Gleichung der Geschiebehydraulik (nach Shields bzw. Meyer-Peter/Müller) der

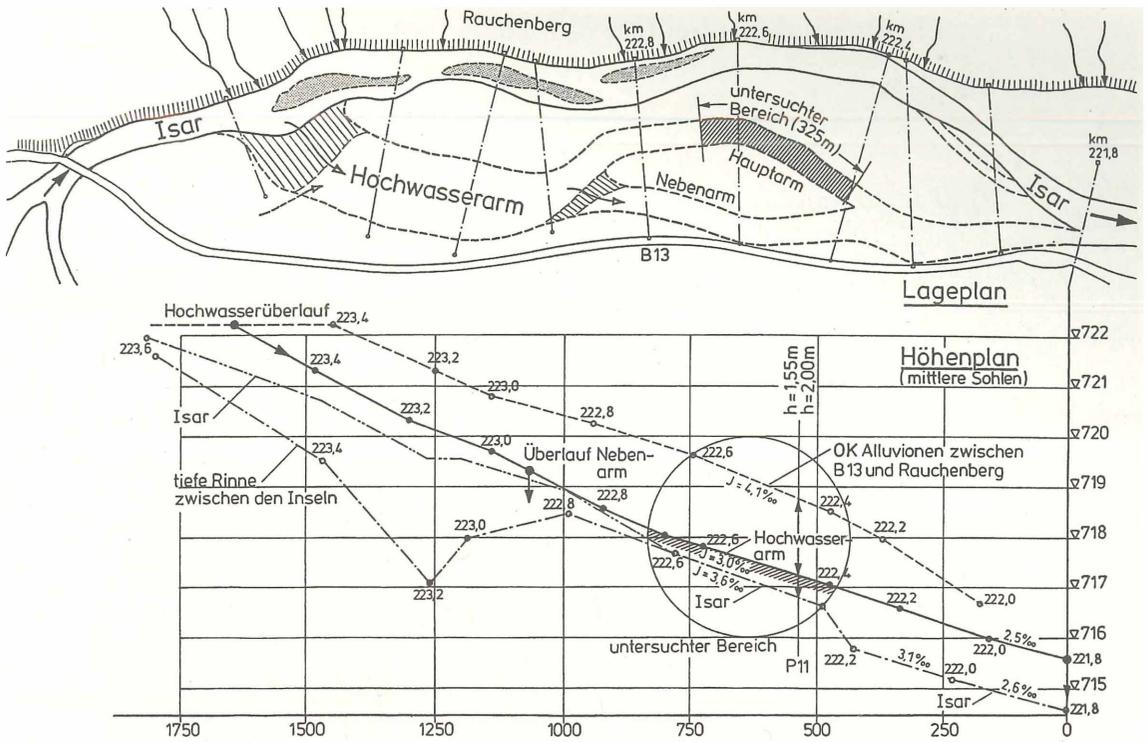


Abbildung 6

Obere Isar (unterhalb des Sylvensteinspeichers) Untersuchung eines abgeplästerten Hochwasserarms



Abbildung 7a

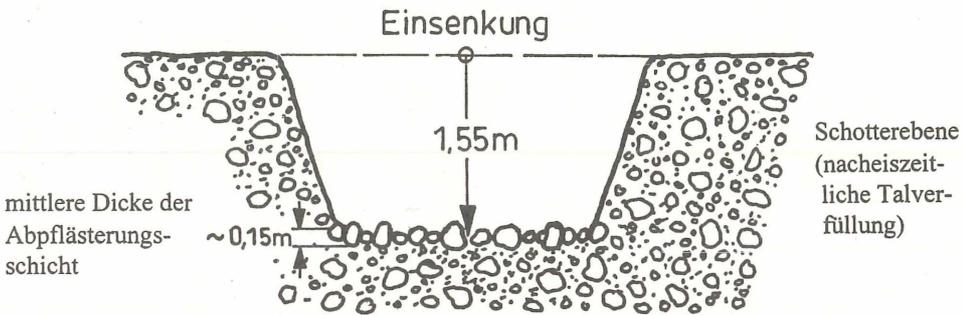
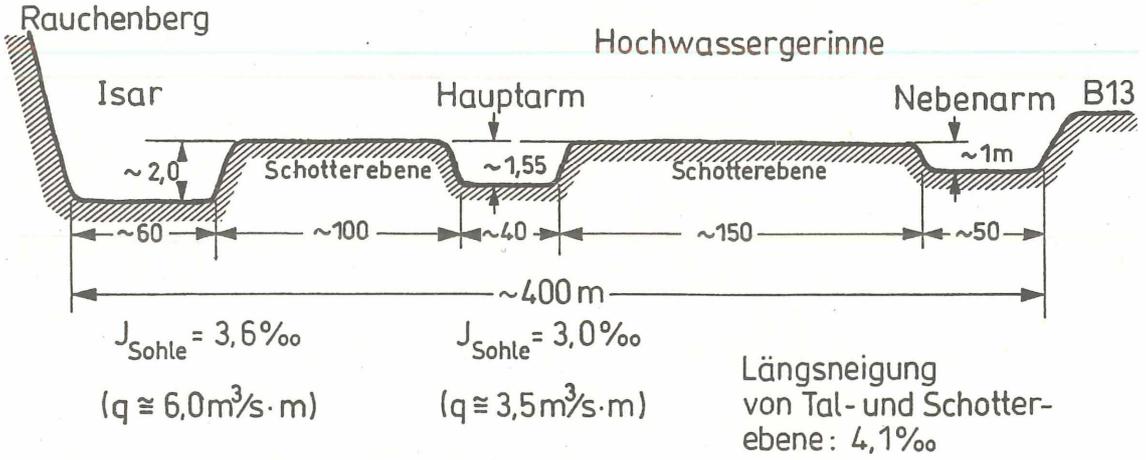
Der abgeplästerte Hochwasserarm der Oberen Isar unterhalb des Sylvensteinspeichers (Blick stromab)



Abbildung 7b

Die Deckschicht im Detail

### Talquerschnitt bei Isar-km 222,6 (schematisch)



### Vorgang der Abpflästerung (schematisch)

$$d_{gr} = \frac{\rho_w}{\rho_s - \rho_w} \cdot \frac{1}{\theta_c} \cdot h \cdot J \quad \text{mit } \theta = 0,03 \text{ und } \frac{\rho_w}{\rho_s - \rho_w} = \frac{1}{1,75}$$

$$d_{gr} = 19 \cdot h \cdot J$$

im Hochwasserarm:  $d_{gr} = 0,0885\text{m}$  ( $G_{gr} = 1,0\text{kg}$ )

in der Isar :  $d_{gr} = 0,137\text{ m}$  ( $G_{gr} = 3,7\text{kg}$ )

Abbildung 8

### Abpflästerung und Gewässerkenntnisgrößen (Obere Isar, unterhalb Sylvensteinspeicher)

Grenzdurchmesser bestimmt werden, der den vom Maximalabfluß bewegbaren Teil der Kornmischung vom unbewegbaren trennt (Abb. 8): im Hochwasserarm liegt das Grenzkorn bei 88,5 mm oder bei Steinen mit einem Gewicht von 1,0 kg; im aktiven Isarbett ist der Grenzkorndurchmesser 137 mm bei einem Steingewicht von 3,7 kg.

Der unbewegliche Teil der Deckschicht besteht im untersuchten Hochwasserarm also aus Steinen mit Gewichten über 1 kg. Bei der Einsenkung des Gerinnes in die nacheiszeitliche Talverfüllung blieben diese Steine auf der Sohle liegen (Abb. 9, vgl. auch Abb. 8) und stabilisierten das Bett bei einer Tiefe von 1,55 m und einem Sohlgefälle von 3,0 ‰.

Aus dem gesamten, zur Untersuchung bestimmten Deckschichtareal wurden 15 repräsentative Ein-

heitsflächen (Proben mit Kantenlängen von 1 m) nach dem äußeren Eindruck ausgewählt und zwar Flächen mit einer schwächeren, mittleren und stärkeren Belegung mit größeren Steinen. Von den ausgesuchten Probenflächen wurden alle Steine mit einem Gewicht größer 1 kg abgehoben und einzeln vor Ort gewogen (Abb. 10a und 10b), danach wieder zurückgelegt. Die einzelnen Meßergebnisse wurden dann einer Mittelwertbildung zugeführt: es wurde das mittlere Gewicht des größten, des zweitgrößten, des drittgrößten Steines, u.s.w. bestimmt und das rechnerische Ergebnis in einem Diagramm aufgetragen (Abb. 11). Der gleichmäßige Verlauf der gewonnenen „Steinverteilungskurve“ erlaubt eine Mittelwertbildung über den ganzen Bereich mit folgenden besonderen Resultaten für  $d > d_{gr}$  :

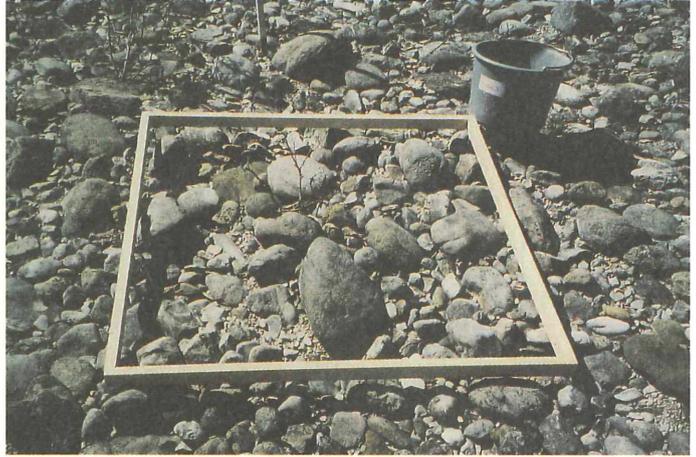
**Abbildung 9**

**Tiefgrabung bei Probe Nr. 11: Deckschicht des eingesenkten Gerinnes, darunter die vom fließenden Wasser unberührten Alluvionen**



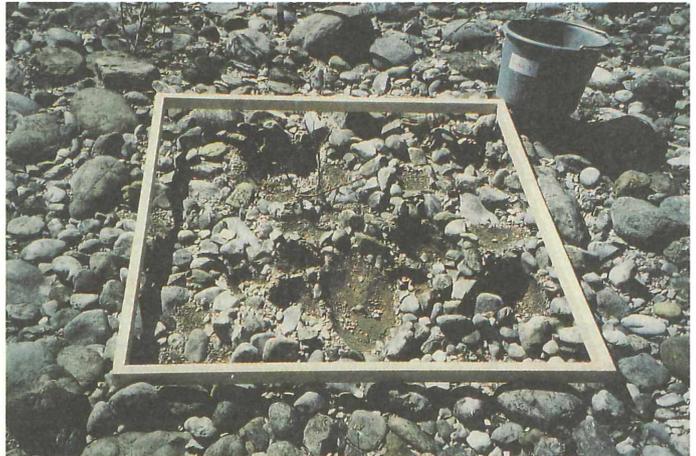
**Abbildung 10a**

**Probe Nr. 3: Deckschicht vor der Abnahme und Auswiegung**



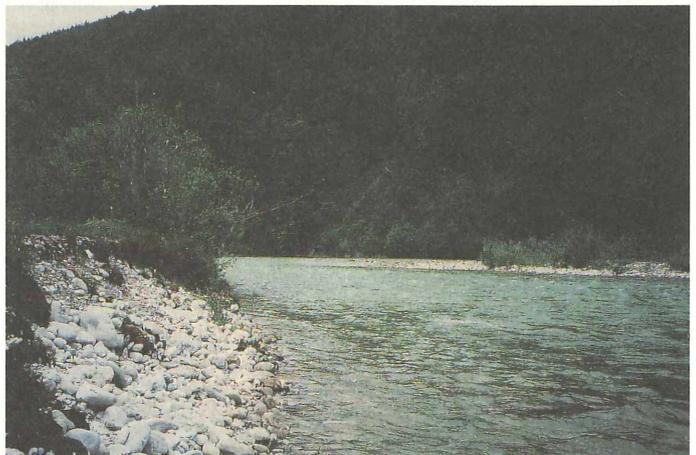
**Abbildung 10b**

**Probe Nr. 3: nach der Abnahme der Deckschicht**



**Abbildung 13**

**Hauptgerinne der Oberen Isar bei Fluß-km 222,2 mit Erosionstendenz (Uferabbruch), Blick stromauf**



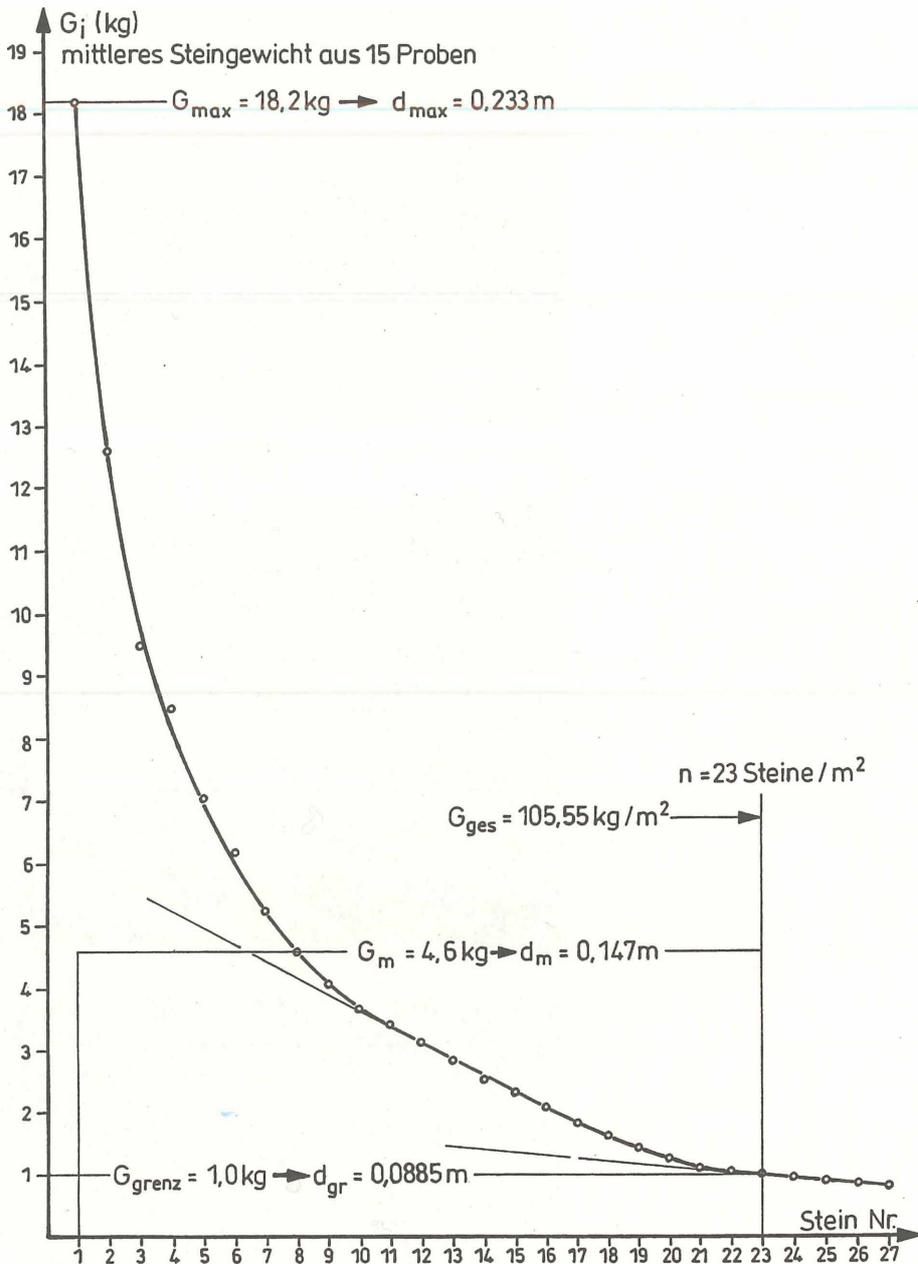


Abbildung 11

**Obere Isar (abgepfästerter Hochwasserarm unterhalb des Sylvensteinspeichers)  
Kornverteilung  $d > d_{gr}$  (unbewegliches Material, Abpflasterungsschicht)**

- Spezielles Untersuchungsergebnis OBERE ISAR (Ausmessung einer Abpflasterung):

die stabile Deckschicht besteht im Mittel aus 23 größeren Steinen mit Einzelgewichten von  $G_i = 1,0 \text{ kg}$  ( $d = d_{gr} = 0,0885 \text{ m}$ ) bis  $G_i = 18,2 \text{ kg}$  ( $d_{max,m} = 0,233 \text{ m}$ ) das gesamte Belegungsgewicht beträgt  $G_{ges,m} = 105,55 \text{ kg/m}^2$  daraus ergibt sich  $d_{S,m}^2 = 0,147 \text{ m}$  ( $G_{i,m} = 4,6 \text{ kg}$ )

$$\rightarrow \text{vorh. FS} = n \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d_{S,m}^2 = 23 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 0,147^2$$

Belegungsdichte  $F_S = 0,39$  bei  $J_S = 3,0 \%$

mit  $d > d_{gr}$  belegte Sohle: 39 %  
in Schutz genommene Sohle mit  $d < d_{gr}$  (Strömungsschatteneffekt): 61 %

Aus 6 ausgewählten Probeflächen wurden zusätzlich jeweils 2 Eimer des beweglichen Materials der Sand- und Kiesmischung unmittelbar unterhalb der abgehobenen Deckschicht entnommen, insgesamt 212 kg, und an der Versuchsanstalt einer Siebanalyse zugeführt (Abb. 12): Der mittlere Korndurchmesser des Materials  $d < d_{gr}$  ergab sich dabei zu  $d_m = 25,3 \text{ mm}$  (Grobkiesbereich).

An der Unteren Isar beträgt der vergleichbare Wert der Unterschicht  $d_m = 16,4 \text{ mm}$  (Mittelkiesbereich) bei einem mittleren Größtkorn von rund 52 mm, was weit unter dem für die dortigen Verhältnisse definierbaren Bewegungsgrenzwert von 87,5 mm liegt. Hier fehlt das zu einer natürlichen Deckschichtbildung notwendige grobe Steinmaterial und müßte, wenn man das will, künstlich zugegeben werden. Aus der Deckschicht wird dann ein Deckwerk, wobei für beides gilt, daß die unbeweg-

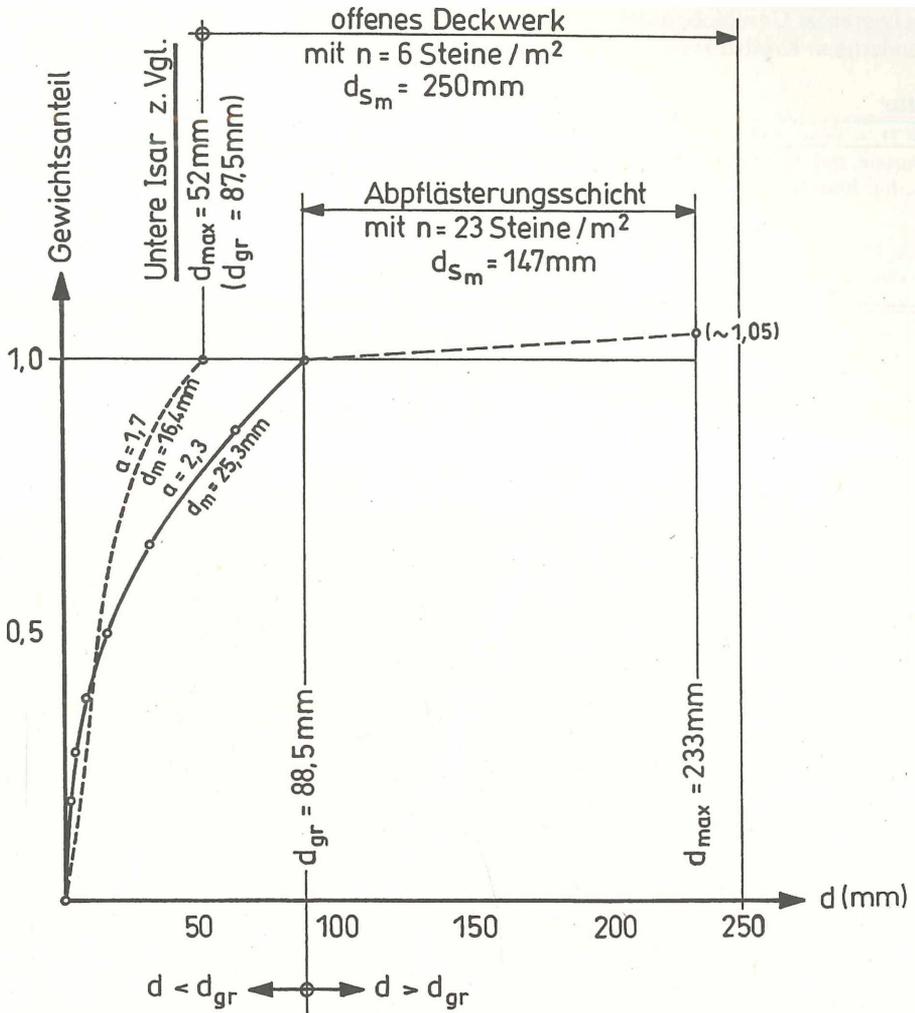


Abbildung 12

**Obere Isar (abgepflasterter Hochwasserarm unterhalb des Sylvensteinspeichers)  
Kornverteilung  $d < d_{gr}$  (bewegliches Material)**

lichen Steine nicht dicht nebeneinander liegen müssen, sondern daß im Strömungsschatten der offen liegenden oder einzeln angeordneten größeren Steine ein beträchtlicher Teil der Flußsohle ohne Belegung in ausreichender Weise in Schutz genommen wird.

Zum Schluß sei aus den schon einigermaßen aufwendigen Untersuchungen am Hochwasserarm der Oberen Isar im Hinblick auf das benachbarte Hauptgerinne, das eine leichte Eintiefungstendenz aufweist (Abb. 13), folgende denkbare Nutzenanwendung gezogen:

- Mögliche Folgerung aus der Untersuchung an der Oberen Isar (Deckschichtverstärkung):

Zur eventuellen Fixierung des Isarhauptgerinnes zwischen Fluß-km 222,8 und 222,2 (visavis vom abgepflasternten Hochwasserarm):

Fixierungsziel:  $J_s = 3,6 ‰$  bei  $h = 2,0$  m mit  $d_{gr} = 0,137$  m

Ausmessung Hochwasserarm:  
 $d > 0,137$  m: 10 Steine mit zus.  $79,7 \text{ kg/m}^2$   
 $d > 0,0885$  m: 23 Steine mit zus.  $105,55 \text{ kg/m}^2$

Annahmen:

- a) vorh. Deckschichtgewicht im Hauptgerinne im Verhältnis der Einsenkiefen vergrößert:

$$\text{vorh. } G = 79,7 \cdot \frac{2,0}{1,55} = 102,85 \text{ kg/m}^2$$

- b) erf. Deckschichtgewicht im Hauptgerinne im Verhältnis der Sohlengefälle vergrößert:

$$\text{erf. } G = 105,55 \cdot \frac{3,6}{3,0} = 126,65 \text{ kg/m}^2$$

Vergleich: Gewichtsfehlbetrag  $23,8 \text{ kg}$   
 Ausgleich: Auflegen von z. B. 5 Steinen mit  $G_i = 5 \text{ kg}$  ( $d = 0,15 \text{ m}$ )

Zu allerletzt noch eine Anmerkung: Geschiebezugabe als Maßnahme einer Flußbettstabilisierung ist nur dann erfolgreich, wenn der Transportbedarf des Gewässers bei jedem Abfluß durch eine adäquate Materialzuführung befriedigt werden kann. Wenn die Bedarfsermittlung und die Dosierung der Zugabe Schwierigkeiten machen, was häufig der Fall sein wird, dann sollte erwogen werden, die Sohlensicherung zuerst z. B. durch eine Deckschichtverstärkung herzustellen und danach erst an Maßnahmen zu einer Teilrenaturierung heranzugehen, also

z. B. an begrenzte Geschiebezugabe zur Erzeugung von wandernden Kiesbänken.

SCHÖBERL, F., 1981:

Abpflasterungs- und Selbststabilisierungsvermögen erodierender Gerinne, Österr. Wasserwirtschaft, H. 7/8, 180-186.

## Literatur

DITTRICH, A. et al., 1994

Grain Sorting and Armouring Leading to Maximum Bed Stability, Int. Journal of Sediment Research, Vol. 9, No. 3, 28-35.

KNAUSS, J., 1995:

Von der Oberen zur Unteren Isar, Kap. 5 und 6, Sohlensicherung an der Unteren Isar (Sohlstufenkonzept, Belegung der Sohle mit Steinen in offener Anordnung), Bericht Nr. 76 des Inst. f. Wasserbau und Wasserwirtschaft der TU München, 141-248.

### Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr.-Ing. Jost Knauss  
Versuchsanstalt für Wasserbau Oberrach  
der TU München  
Post Walchensee  
D-82432 Oberrach

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Laufener Spezialbeiträge und Laufener Seminarbeiträge \(LSB\)](#)

Jahr/Year: 1997

Band/Volume: [4\\_1997](#)

Autor(en)/Author(s): Knauss Jost

Artikel/Article: [Neuere Erkenntnisse zur Sohlensicherung von erosionsgefährdeten Flüssen 147-158](#)