

# Einfluß des naturnahen Gewässerausbaus auf den Geschiebetransport

Silke Wieprecht und Werner Kraus

**Nach einem naturnahen Ausbau des Unterlaufs der Weißbach, einem Wildbach und Hauptzufluß des Tegernsees, lagerten sich beim Durchlauf einer Hochwasserwelle im Bereich eines Gefälleknicks große Geschiebemengen ab. In einem hydraulischen Modell mit beweglicher Sohle (Maßstab 1:20) wurden die vorhandenen Bedingungen und mögliche Verbesserungen zur Verhinderung von Auflandungen untersucht. Weiterhin wurden grundsätzliche Untersuchungen über den Einfluß von Sohleinbauten auf den Geschiebetransport und die Wassertiefen durchgeführt.**

## 1 Einleitung

Flüsse und Bäche sind unverzichtbare Bestandteile unserer Talandschaften. Häufig hat sie der Mensch seinen Bedürfnissen angepaßt und reguliert oder zu verschiedenen Nutzungen ausgebaut. Naturferne Gewässer können ihre Funktionen im Naturhaushalt aber nicht oder nicht mehr ausreichend erfüllen.

Um die biologische Wirksamkeit zu verbessern, werden Gewässer heute vielfach nach den Grundregeln des naturnahen Wasserbaus umgestaltet. Mit den zugehörigen Uferstreifen sind sie Lebensraum für viele Tiere und Pflanzen. Sie nehmen Einfluß auf das Klima und prägen das Landschaftsbild. Vielfältige Strukturen im Gewässerbett bewirken unterschiedliche Strömungsverhältnisse, verschiedene Wassertiefen und abwechslungsreiche Substratbereiche. Damit verbreitern und stabilisieren sie die ökologische Wirkung des Ökosystems Fließgewässer.

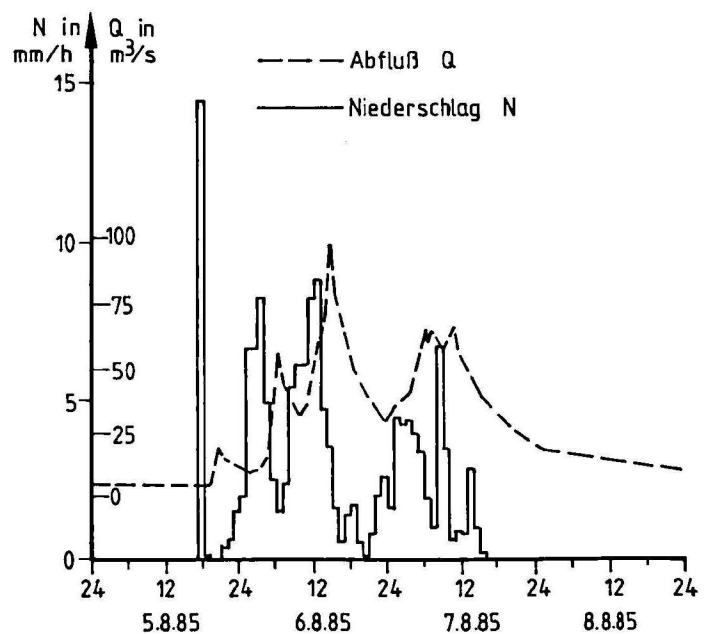
Der naturnahe Gewässerausbau ist ein Eingriff in die hydraulischen und transportmechanischen Verhältnisse eines Flusses. Die

Vorhersage, ob und wie sich diese Parameter verändern werden, ist nach wie vor schwierig. Mit wenigen Ausnahmen ist der Wasserbauingenieur auf sein Gefühl und seine Erfahrung angewiesen.

Zum naturnahen Gewässerausbau und zur Sohlensicherung bieten sich Einbauten als Regelungselemente an. Im Auftrag des Wasserwirtschaftsamts Rosenheim wurden im Labor für Hydromechanik und Wasserbau an der Universität der Bundeswehr München seit 1987 verschiedene Versuche in einem Modell mit beweglicher Sohle (Maßstab 1:20) über den Einfluß derartiger Bauwerke auf das Transportverhalten eines Fließgewässers durchgeführt. Anlaß der Untersuchungen [2] war eine HW-Welle in der Weißbach im Jahr 1985, bei der sich in einem kurz vorher fertiggestellten Renaturierungsabschnitt große Geschiebemengen ablagerten. In einer weiteren Untersuchung [3, 4] wurde versucht, eine Systematik des Einflusses geeigneter Regelungsbauwerke auf den Geschiebetransport zu finden. Nachstehend werden die bisherigen Ergebnisse dieser Untersuchungen mitgeteilt und diskutiert.

**Bild 1: Niederschlagsganglinie im Bereich Rottach-Egern und die daraus resultierende Abflußganglinie der Weißbach am Pegel Oberach**

*Fig. 1: Hyetogram in the Rottach-Egern area and resulting hydrograph of the river Weißbach at the flood measuring point Oberach*



**2 Hochwasserereignis August 1985**

Das Niederschlagsgebiet des Inn in Bayern und Tirol wurde von den Abendstunden des 5. August 1985 an intensiv überregnet. Schwerpunkte des Niederschlags lagen südlich des Tegernsees südlich des Chiemsees und im Bereich Salzburg – Berchtesgaden. Dort wurden in 42 Stunden Niederschlagshöhen von 200 mm großräumig überschritten [1]. Die Ganglinien des Niederschlags und der daraus resultierenden Hochwasserwelle in der Weißach sind in Bild 1 dargestellt. Der größte Teil des verfrachteten Materials führte zu einer Sohlerrhöhung bis zu 0,80 m innerhalb der Renaturierungsstrecke, besonders im Bereich eines Gefälleknicks von 5,7 auf 4,8 ‰. Zunächst wurde vermutet, daß die Sedimentationen eine Folgeerscheinung des naturnahen Ausbaus wären.

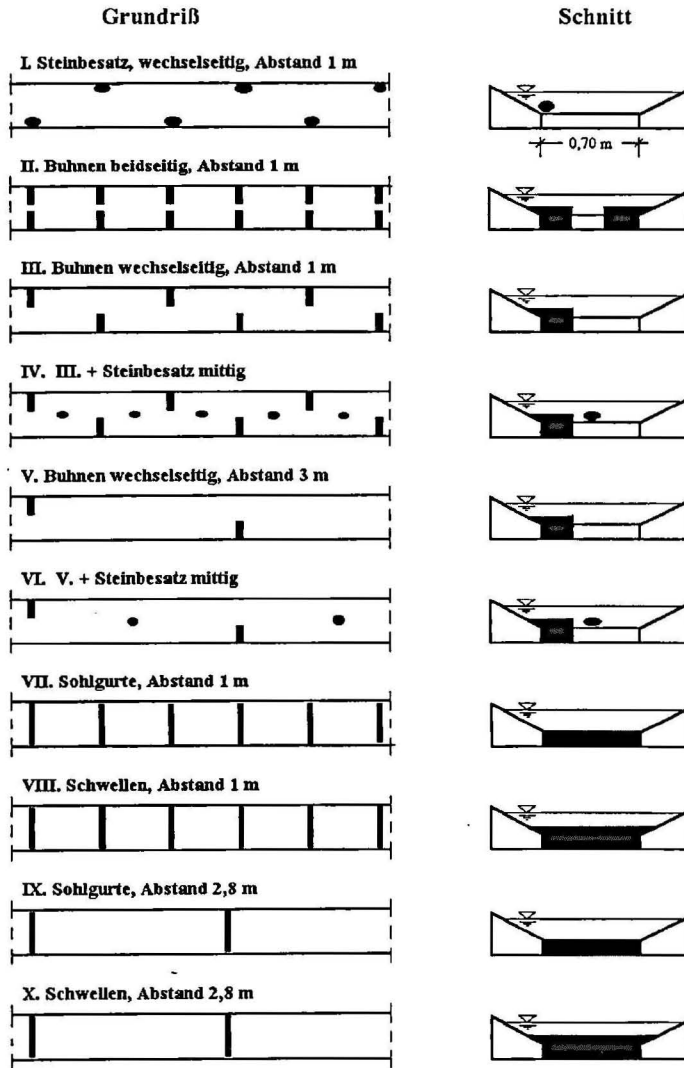
Nach dem Schlußbericht vom Mai 1989 lassen sich die Ergebnisse der Modellversuche jedoch folgendermaßen zusammenfassen: [2, 7]:

1. Das Abfluß – Transportverhalten in der Weißach ist relativ stabil und reagiert wenig auf geometrische Veränderungen der Querschnitte. Der Verbau ist offensichtlich so gering, daß es nicht zu den von Mertens [6] beobachteten Phänomenen einer Sohlenvertiefung im Verbauungsabschnitt und einer Sohlenanhebung oberhalb davon kommen kann.
2. Beim Ablauf von HQ-Wellen mit Einhaltung einer „normalen“ Transport-Abfluß-Beziehung konnten keine Auflandungen im Bereich des Gefälleknicks beobachtet werden. Erst bei schubartiger hoher Geschwindigkeit wurden merkliche Geschiebeablagerungen im Knickbereich festgestellt.
3. Nach den Ergebnissen der Modellversuche kann aber ausgeschlossen werden, daß der naturnahe Ausbau des Mündungsabschnitts der Weißach die Ablagerungen im Bereich des Gefälleknicks während des HW 1985 verursacht hat.

**3 Systematische Untersuchungen mit Schleinbauten**

In dem 25 m langen, physikalischen Modell mit entsprechender Sedimentzugabe und Auf-fangeinrichtung [3, 4] wurden zehn verschiedene Einbauten bei je drei Abflüssen ( $Q = 10, 20$  und  $40 \text{ l/s}$ ), je drei Gefällen ( $I = 0,002, 0,004$  und  $0,006$ ) und einem charakteristischen Korndurchmesser ( $d_{ch} = 0,85 \text{ mm}$ ) untersucht. Dadurch ergaben sich 90 Einzelversuche. In Bild 2 sind alle Varianten der Rinneneinbauten in Grundriß und Schnitt dargestellt.

Da die Schleinbauten in der Natur aus Wasserbausteinen mit einer Kantenlänge von ca. 1 m ausgeführt werden sollen, wurden die Elemente im Modell 1:20 vereinfacht aus na-



**Bild 2: Grundriß und Schnitt der Einbauvarianten**

Fig. 2: Plan view and section of different constructional measures

türlichen, gebrochenen Steinen mit einem Durchmesser von  $d=5$  bis  $6 \text{ cm}$  lose zusammengesetzt. Der Steinbesatz wurde ohne Unterbau direkt auf die bewegliche Sohle aufgebracht. Buhnen, Schwellen und Sohlgurte wurden dagegen mit Steinen bis auf die feste Sohle (im Modell  $10 \text{ cm}$ ) gegründet, um nicht-naturähnliche Unterspülungen zu vermeiden und lokale Kolke und Erosionen feststellen zu können, die zu einer Lageveränderung der Einbauten führen.

Um die Ergebnisse der einzelnen Varianten untereinander vergleichen zu können, wurde für jede Variante als Parameter ein Verbaugungsgrad ermittelt. Da die Einbauten unterschiedliche Abstände haben, wurde der Verbaugungsgrad als Anteil des Verbauvolumens zum unverbauten Volumen, jeweils bezogen auf einen Meter, berechnet. Auf Bild 3 ist diese Prozedur schematisch dargestellt. Die Sohlgurte haben somit einen fiktiven Verbaugungsgrad von 0%, obgleich sie sicherlich

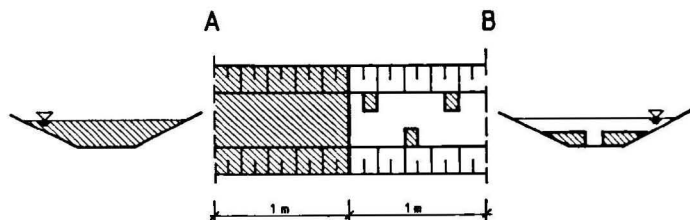
**Influence of Renaturalization on Sedimenttransport**

by Silke Wieprecht and Werner Kraus

Efforts have recently been made to renaturalize the river Weißach that has previously been regulated in a schematic, monotonous manner. During the last flood period an agglomeration of sediment occurred, which may provoke an overtopping of the dams. In a hydraulic model with movable bed (scale 1:20) the existing conditions and possible improvements were studied in order to prevent agglomerations. Furthermore, fundamental investigations were made with regard to the influence of constructional steps on sediment transport and water levels.

Bild 3: Verbauvolumen (B) und unverbautes Volumen (A)

Fig. 3: Developed volume (B) and undeveloped volume (A)



Variante: V.VI.III. II. VIII.

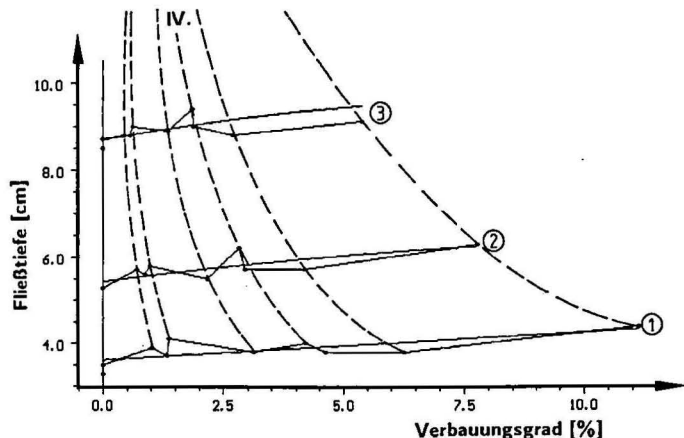


Bild 4: Veränderung der Fließtieften in Abhängigkeit vom Verbauungsgrad und die entsprechenden Ausgleichskurven für Q = 10 l/s (1), Q = 20 l/s (2) und Q = 40 l/s (3)

Fig. 4: Changes in flow depth in dependence on degree of development and corresponding compensatory curves for Q = 10 l/s, Q = 20 l/s (2), and Q = 40 l/s (3)

Tafel 1: Zusammenstellung der Verbauungsgrade (V) und der zugehörigen Rangziffern (RZ)

Table 1: Influence of Renaturalization on Sediment Transport

Variante	I = 0,002						I = 0,004						I = 0,006						RZ
	Q <sub>1</sub>		Q <sub>2</sub>		Q <sub>3</sub>		Q <sub>1</sub>		Q <sub>2</sub>		Q <sub>3</sub>		Q <sub>1</sub>		Q <sub>2</sub>		Q <sub>3</sub>		
	V	RZ	V	RZ	V	RZ	V	RZ	V	RZ	V	RZ	V	RZ	V	RZ	V	RZ	
I	0,89	4	0,66	4	0,43	4	1,32	4	0,87	4	0,56	4	1,81	4	1,14	4	0,64	4	4
II	4,33	9	3,17	9	2,22	9	6,26	9	4,18	9	2,70	9	9,15	9	5,41	9	3,31	9	9
III	2,59	6	1,59	6	1,11	6	3,13	6	2,16	6	1,34	6	3,97	6	2,64	6	1,57	6	6
IV	3,50	8	2,55	8	1,57	7	4,20	7	2,95	8	1,87	8	5,42	7	3,50	7	2,30	7	7
V	0,95	3	0,62	3	0,37	3	1,02	3	0,70	3	0,45	3	1,47	3	0,90	3	0,57	3	3
VI	1,33	5	0,85	5	0,53	5	1,37	5	0,97	5	0,62	5	2,31	5	1,32	5	0,77	5	5
VII	0,00	1	0,00	1	0,00	1	0,00	1	0,00	1	0,00	1	0,00	1	0,00	1	0,00	1	1
VIII	8,75	10	6,28	10	4,45	10	11,14	10	7,78	10	5,38	10	16,73	10	10,12	10	6,41	10	10
IX	0,00	1	0,00	1	0,00	1	0,00	1	0,00	1	0,00	1	0,00	1	0,00	1	0,00	1	1
X	3,37	7	2,40	7	1,62	8	4,61	8	2,82	7	1,86	7	5,95	8	3,57	8	2,33	8	8

V: Verbauungsgrad in % RZ: Rangziffer Q<sub>1</sub> = 10 l/s Q<sub>2</sub> = 20 l/s Q<sub>3</sub> = 40 l/s

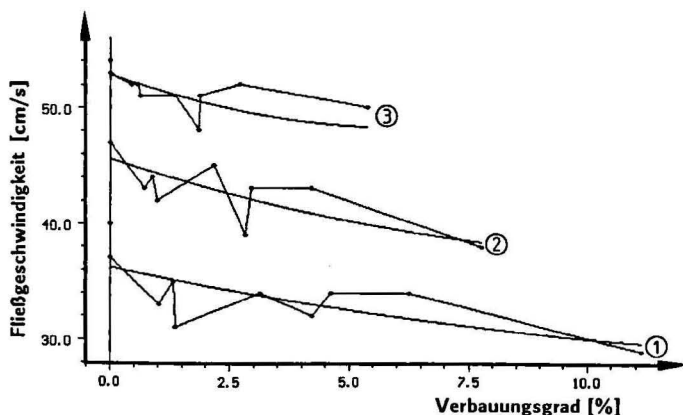


Bild 5: Veränderung der Geschwindigkeit in Abhängigkeit vom Verbauungsgrad und die entsprechenden Ausgleichskurven für Q = 10 l/s (1), Q = 20 l/s (2) und Q = 40 l/s (3)

Fig. 5: Changes in velocity in dependence on degree of development and corresponding compensatory curves for Q = 10 l/s (1), Q = 20 l/s (2), and Q = 40 l/s (3)

einen Einfluß auf den Feststofftransport haben.

Für die Varianten I bis X wurde nun, jeweils für ein Gefälle und einen Durchfluß, eine Rangziffer vergeben, die mit Zunahme des Verbauungsgrades ansteigt, d.h., es wurden zuerst die Einzelrangziffern für die neun verschiedenen Meßreihen ermittelt (drei Gefälle zu je drei Abflüssen). Dabei stellte sich heraus, daß sich die Einzelrangziffer für alle Varianten nicht veränderte. Eine Ausnahme bilden die Versuchsreihen IV und X, die sowohl die Wertigkeit sieben, als auch acht, je nach den Versuchsbedingungen, einnehmen, was sich aus der geringen Abweichung der Verbauvolumina ergibt. Dies beträgt z.B. bei Variante X (Sohlschwellen, Abstand 2,8 m) 1225 cm<sup>3</sup> je Meter und bei Variante IV (Buhnen wechselseitig, Abstand 1 m und mittiger Steinbesatz) 1176 cm<sup>3</sup> je Meter. Die endgültige Rangziffer wurde nach der Häufigkeit ihres Auftretens vergeben. In Tafel 1 sind sowohl die Verbauungsgrade der einzelnen Varianten und deren Rangziffer (RZ), als auch die endgültig für eine Versuchsreihe vergebene Rangziffer zusammengestellt.

Für den Vergleich der verschiedenen Varianten wurde als Zugaberate die ermittelte Transportrate aus den Eichversuchen ohne Einbauten gewählt.

### 3.1 Hydraulische Betrachtungen

Die folgenden Graphiken sind exemplarisch jeweils nur für das Gefälle I = 0,004 dargestellt. Die hier gefundene Systematik konnte für alle drei Gefälle beobachtet werden. In den folgenden Bildern sind die Meßpunkte zur Veranschaulichung in Form eines Polygonzuges verbunden. Die eingezeichneten Ausgleichskurven als Polynom 2. Grades verdeutlichen die den Messungen eigene Systematik. Sie sollen nicht als „Eichkurven“ für Wassertiefen, Geschwindigkeiten und Strickler-Beiwerte dienen.

Bild 4 enthält die Abhängigkeit der Wassertiefe vom Verbauungsgrad für die Abflüsse Q = 10, 20 und 40 l/s. Für verschiedene Abflüsse ergeben sich bei gleichbleibendem Gefälle natürlich unterschiedliche Wassertiefen. Dadurch ändert sich auch der Anteil des Verbauvolumens im Fließquerschnitt. Die Definitionsbereiche des Verbauungsgrads für die drei Abflüsse sind deshalb unterschiedlich groß und die Graphen damit unterschiedlich lang.

In Bild 4 sind einige systematische Abweichungen bei den Messungen zu erkennen, die sich für alle drei Abflüsse, sowie in den folgenden Graphiken auch für Geschwindigkeiten und Strickler-Werte wiederfinden. Diese Ergebnisse zeigen die Sensibilität des Modells gegenüber den verschiedenen Einbauten. Daraus folgt, daß nicht nur der rein rechnerisch zum Vergleich festgelegte Verbauungsgrad entsprechenden Einfluß auf die hydraulischen und transportmechanischen Größen aufweist, sondern auch die Qualität, Art und Form des Verbau. Um einige Zak-

ken zu verdeutlichen, wurden sechs repräsentative Varianten ausgewählt. Diese bei dem Graphen der Wassertiefe gefundene Systematik ist ebenfalls bei den daraus errechneten Werten für die Fließgeschwindigkeit und Strickler-Werte vorhanden.

Mit steigendem Verbauungsgrad (d.h. mit zunehmender Rangziffer) nehmen die Rauheitsbeiwerte und die Geschwindigkeiten ab. Diese Tendenz konnte allgemein, für alle drei Gefälle, beobachtet werden (Bild 5 mittlere Geschwindigkeiten, Bild 6 Rauheitsbeiwerte).

### 3.2 Transport

Bei  $I = 0,002$  wurde das Transportverhältnis durch die Einbauten nicht verändert. Da bei den Abflüssen  $Q = 10$  l/s und  $Q = 20$  l/s, wie auch schon im unverbauten Zustand, kein Transport stattfindet, konnten nur die Messungen für  $Q = 40$  l/s für die Beurteilung herangezogen werden. Der Transport entspricht im Rahmen der Meßtoleranz ungefähr einer Zugaberrate von ca. 7,0 g/s. Die Wassertiefen sind so groß, daß der Einfluß des Verbaus gering ist.

Bei  $I = 0,004$  nahm die Transportkapazität bei kleinen Abflüssen ( $Q = 10$  l/s, geringe Wassertiefen) durch die Sohleinbauten ab. Die Zugaberrate beträgt 6,5 g/s, der gemessene Transport liegt im Mittel nur bei ca. 3,5 g/s. Bei Versuchsreihe VIII (Verbauungsgrad 11,14%) nimmt die Transportrate sogar auf 1 g/s ab. Für  $Q = 20$  l/s und  $Q = 40$  l/s ist der Einfluß des Verbaus durch die größeren Fließtiefen zu gering, um sich auf den Transport auszuwirken. Bei diesen Versuchen entsprach der Transport im Rahmen der Meßtoleranz den Zugaberraten ( $m_{Gf} = 11$  g/s  $\hat{=} Q = 20$  l/s;  $m_{Gf} = 20$  g/s  $\hat{=} Q = 40$  l/s). Nur bei Versuchsreihe VIII (größter Verbauungsgrad) war der Transport auch bei den beiden größeren Abflüssen stark vermindert. Für  $Q = 20$  l/s wurde ein  $m_{Gf} = 7,0$  g/s und bei  $Q = 40$  l/s ein  $m_{Gf} = 19$  g/s gemessen.

Für  $I = 0,006$  sind die Transportraten innerhalb der Meßtoleranz für alle drei Abflüsse gegenüber denen ohne Einbauten unverändert geblieben. Mit einer Schwankungsbreite von 10% wurden am Modellauslauf für  $Q = 10$ , 20 und 40 l/s die entsprechenden Zugaberraten von ca. 10, 21 und 60 g/s gemessen. Für kleine Verbauungsgrade wurde das Transportverhalten, wie auch bei den flacheren Gefällen von den Sohleinbauten ohnehin nicht beeinflusst.

### 4 Zusammenfassung

Die Untersuchungen umfassen zehn verschiedene Einbauten im Gewässerbett, wobei im Modell das Gefälle ( $I = 0,002, 0,004$  und  $0,006$ ) und der Abfluß ( $Q = 10, 20$  und  $40$  l/s) variiert wurden. Um die Maßnahmen untereinander vergleichen zu können, wurde neben den üblichen Parametern, wie z.B. Wassertiefe, für jeden Einbau ein „Verbauungsgrad“ definiert, der das prozentuale Verhältnis des

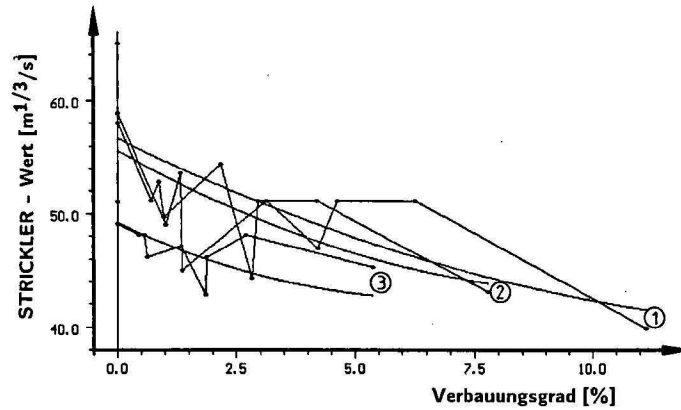


Bild 6: Veränderung der Rauheitsbeiwerte in Abhängigkeit vom Verbauungsgrad und die entsprechenden Ausgleichskurven für  $Q = 10$  l/s (1),  $Q = 20$  l/s (2) und  $Q = 40$  l/s (3)

Fig. 6: Change in roughness coefficients in dependence on degree of development and corresponding compensatory curves for  $Q = 10$  l/s (1),  $Q = 20$  l/s (2), and  $Q = 40$  l/s (3)

auf 1 m Fließstrecke bezogenen verbauten Volumens zum unverbauten Volumen bechreibt.

Bei allen Versuchsreihen konnte die gleiche systematische Entwicklung festgestellt werden. Mit steigendem Verbauungsgrad nahmen die Wassertiefen zu und die Geschwindigkeiten und Strickler-Werte ab. Die Ergebnisse der Untersuchungen über die Transportkapazität sind sehr unterschiedlich. Bei einem Gefälle von 0,002 ist, wegen des erst bei höheren Abflüssen ( $> 20$  l/s) einsetzenden Geschiebetransports eine befriedigende Aussage über den Einfluß der Sohleinbauten auf die Transportkapazität kaum möglich. Bei  $I = 0,004$  war der Einfluß der Einbauten nur bei sehr großen Verbauungsgraden zu erkennen. Für die Versuche mit  $I = 0,006$  wurde keine Veränderung der Transportraten gegenüber denjenigen ohne Einbauten festgestellt.

Die Beschränkung auf bisher nur eine charakteristische Kommischung erschwert eine globale Beurteilung von Baumaßnahmen für den „naturnahen Gewässerausbau“, da gerade Korndurchmesser und Gefälle diejenigen Parameter sind, die das Transportverhalten überproportional beeinflussen. Das zeigten auch die Ergebnisse eines DFG-Forschungsvorhaben [5, 8]. Es ist daher vorgesehen, zusätzliche Untersuchungen mit zwei anderen Kornfraktionen auszuführen, um für  $I = 0,002$  ausreichende Informationen über die Auswirkungen von Baumaßnahmen auf den Transport zu erhalten und auch um die Sicherheit der Aussagen für  $I = 0,004$  und  $I = 0,006$  zu überprüfen.

Abschließend kann jedoch festgestellt werden: Eine relativ breite Palette von Baumaßnahmen im naturnahen Gewässerausbau hat keinen bzw. nur einen geringen Einfluß auf das Transportverhalten eines geraden Flußgerinnes innerhalb eines abgegrenzten Gefällebereichs bei stationären Transport- und Fließverhältnissen. Der Einsatz solcher Bauwerke in der Natur erscheint unter Beachtung der veränderten hydraulischen Parameter insgesamt unbedenklich.

### Schrifttum

- [1] Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft: Das Hochwasser im Bayerischen Innggebiet im August 1985, Informationsbericht 5/86
- [2] Bechteler, W., Vogel, G. und Vollmers, H.-J.: Model Investigations on the Sediment Transport of a Lower Alpine River, Proceedings International Workshop on Fluvial Hydraulics of Mountain Regions, Trento, 1989
- [3] Bechteler, W., Vollmers, H.-J. und Wieprecht, S.: Sediment Transport in Lower Alpine Rivers, Meeting and Workshop Dynamics and Geomorphology of Mountain Rivers, Benediktbeuren, 1992
- [4] Bechteler, W., Vollmers, H.-J. und Wieprecht, S.: Veränderungen des Transportverhaltens von Fließgewässern durch Einbauten, Modellversuche Schlußbericht, Gutachten, Neubiberg, 1992 (unveröffentlicht)
- [5] DFG: Feststofftransportkapazität von Flüssen mit kleinerem Einzugsgebiet unter dem Aspekt veränderter Einzugsparameter und veränderter Flußmorphologie, BE 738/11, Schlußbericht, 1991 (unveröffentlicht)
- [6] Mertens, W.: Erosion und Akkumulation beim naturnahen Ausbau von Fließgewässern, Mitt. Inst. f. Wasserbau und Wasserwirtschaft, RWTH Aachen, Heft 60, 1986
- [7] Vollmers, H.-J.: Feststofftransport beim Ausbau von Fließgewässern, Wasserbau Mitteilungen der TH Darmstadt, Heft 29, 1989
- [8] Vollmers, H.-J.: Sediment Transport Equations and Annual Total Load, 5th International Symposium on River Sedimentation, Karlsruhe 1992

Anschriften der Verfasser:

Dipl.-Ing. Silke Wieprecht,  
Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Wasserwesen der Universität der Bundeswehr München,  
Werner-Heisenberg Weg 39, 8014 Neubiberg und  
Dipl.-Ing. Werner Kraus,  
Lehrbeauftragter an der Technischen Universität München-Weihenstephan,  
Wasserwirtschaftsamt Rosenheim,  
Königstr. 19, 8200 Rosenheim