

Geschiebetransportmessungen mit der Radiotracermethode



München, 17.09.1999
Referat 44

Bearbeitung
TA Lienke

i.A. Weiß

Inhaltsverzeichnis

MEßPHILOSOPHIE BEI DER RADIOTRACERMETHODE	3
Präparieren der Sendersteine	4
Die feste Meßstation	7
Versuchsdurchführung	9
Suche nach den Geschiebesendern.	9
1. VERSUCH AN DER OB. ISAR: NACHWEIS DES GESCHIEBETRANSPORTS DURCH DEN STAURAUM BAD TÖLZ (1997)	10
Meßphilosophie, spezielle Randbedingungen	10
Durchführung des Versuchs	11
Gerätetechnik	12
Versuchsbeschreibung	12
Ergebnisse	14
Zusammenfassung	15
2.VERSUCH AN DER OBEREN ISAR ZWISCHEN UW SYLVENSTEINSPEICHER UND BAD TÖLZ (1999)	16
Hochwasser an der oberen Isar am 6.5., am 12.5. und am 22.5.99	16
Stauraumspülungen in Bad Tölz	17
Interpretation der Geschiebebewegungen	18
ZUSAMMENFASSUNG	21
ANHANG	23
Abbildungsverzeichnis	23
Tabellenübersicht	23

Meßphilosophie bei der Radiotracermethode

Methoden zur Beobachtung von Ortsveränderungen oder zur Bestimmung der aktuellen Position eines mit einem Radiosender bestückten Objekts faßt man in der Biologie unter dem Begriff Radiotelemetrie zusammen, in der Hydrologie werden diese als Radiotracermethode bezeichnet. So lassen sich z. B. Flugrouten bei Wandervögeln oder das Revierverhalten bei Tieren, Fischen oder Krebsen verfolgen. Im Wildbachbereich konnte mit dieser Methode der Transport von Grobgeschiebe nachgewiesen werden.



Abbildung 1: Sender, Geschiebekörner, Empfänger und Antennen zur Radiotelemetrie

Die mit Radiosendern bestückten Geschiebesteine werden bei anlaufendem Hochwasser an der zu beachtenden Stelle in den Fluß eingebracht und ihre Wanderung verfolgt. Ist das Hochwasser abgelaufen, kann belegt werden, bis zu welcher Entfernung von dieser Stelle Geschiebe transportiert wurde und bis in welche Tiefe Geschiebebewegung stattgefunden hat. Auch kann gezeigt werden, ob Hindernisse für den Geschiebetransport überwunden werden.

Die verwendeten Radiotracer senden ein gepulstes Dauersignal gleicher Frequenz aus. Durch unterschiedliche Pausenlängen zwischen den gesendeten Impulsen ist eine Klassifizierung der Geschiebesteine nach ihrer Größe möglich.

Zur Kontrolle, ob die Radiotracer eine bestimmte Stelle passiert haben wie z. B. das Wehr einer Stauanlage wird eine feste Meßstation aufgebaut. Es wird die Signalstärke und die Uhrzeit des empfangenen Signals aufgezeichnet. Daraus kann man auf die Anzahl der durchtransportierten Radiotracer schließen. Abbildung 2 zeigt ein Wehr mit fester Station.



Abbildung 2: Feste Meßstation am Bad Tölzer Wehr

Präparieren der Sendersteine

Will man den Geschiebetransport in einem bestimmten Flußabschnitt beobachten oder die Auswirkungen einer Geschiebezugabe dokumentieren, sind die zu präparierenden Steine in der geeigneten Größe und Anzahl auszuwählen und aus dem Flußbett zu entnehmen.



Abbildung 3: Auswahl der zur Verfügung stehenden Geschiebesender

Normalerweise werden natürliche Kieselsteine verwendet. Die Korngröße wird dabei durch die Größe (Durchmesser) des einzubauenden Senders begrenzt. Zur Aufnahme des Senders wird das Kieskorn aufgebohrt. Die in die Bohrung einzubringende Sendereinheit besteht aus dem eigentlichen Sender, einer kleinen Batterie als Stromquelle sowie einem Magnetschalter. Die Sendereinheit ist wasserdicht folienverschweißt. Durch Anbringen eines starken Magneten am präparierten Senderstein ist der Sender normalerweise abgeschaltet, die Aktivierung

erfolgt zur Schonung der Batterie erst unmittelbar vor dem Einsetzen in den Fluß durch Abziehen des Magneten. Im Bohrloch wird dann der Sender in Pulver, z. B. Kupferpulver, eingebettet. Anschließend wird das Loch mit Kitt oder Silikon abgedichtet und mit einem Pfropfen aus 2-Komponentenkleber verschlossen.

Diese Verschlußmethode hat den Vorteil, daß die Sender wieder ausgebaut werden können ohne dabei den Stein zu zerstören. Ein vollständiges Einbetten der Sender in 2-Komponentenkleber ist daher nicht zu empfehlen.

Steht über die Bohrung noch Kleber hinaus, so besteht die Gefahr, daß der Verschluß abgelöst wird und der Sender sich vom Stein trennt. Bei zwei aufgetretenen Fällen haben die Sender jedoch dabei keinen Schaden genommen. Im dritten Fall klemmte der Sender so fest im Kunstgeschiebestein, daß er nicht herausgerutscht ist.

Künstliche Geschiebesteine lassen sich auf unterschiedliche Weisen herstellen. Z. B. kann eine Form aus zwei Halbschalen hergestellt werden, die mit 2-Komponenten-Harz ausgegossen wird. Evtl. müssen dem Harz noch Zusatzstoffe wie Bleipulver zugegeben werden um die Dichte anzupassen. Die von uns verwendeten Kunstgeschiebesteine sind auf ähnliche Weise von der FU Berlin hergestellt worden.

Versuche, die Sender mit Mull und Bleikugeln zu umwickeln und anschließend in Kunstharz zu tränken, waren nicht erfolgreich.



Abbildung 4: ein typischer Geschiebesender nach seiner Bergung

Nach Einbau der Sender wurden die Geschiebekörner zusätzlich mit rotem Lack gekennzeichnet. Der Lack wird beim Transportvorgang zwar bis auf Reste in den Fugen abgerieben, diese Reste reichen bei der Bergung der Körner aus, um sie als Geschiebesender zu identifizieren. Je leuchtender und auffallender die Farbe ist, um so leichter ist das Erkennen. Die natürliche Vielfalt des Geschiebes in einem Fluß läßt es kaum zu eine Farbe zu finden, die nicht

auch natürlicherweise auftritt. Zu beachten ist sowohl bei den mit Sendern bestückten natürlichen als auch bei den künstlich hergestellten Sendersteinen, daß sowohl die äußere Form, als auch der Schwerpunkt und die Dichte des Kornes erhalten bleiben müssen. Ein Nachwiegen der präparierten Körner mit Berechnung der Dichte ist daher unumgänglich. Eine Korrektur zur Erhöhung der Dichte ist z.B. durch Einbau von Bleikügelchen möglich.

Durch die Bergung der Sender belegt man nicht nur die Transportweite, sondern auch die Mindesttiefe, in der Geschiebebewegung mindestens punktuell stattgefunden hat. Voraussetzung dafür ist die Zugänglichkeit der Stelle, daß sie nicht zu hoch überspült wird und daß der nachrutschende Kies nicht das Bergen verhindert. Unterstützung durch einen Bagger oder einen Unimoggreifarm ist nur dort möglich, wo diese Stellen überhaupt für ein Fahrzeug zugänglich sind.

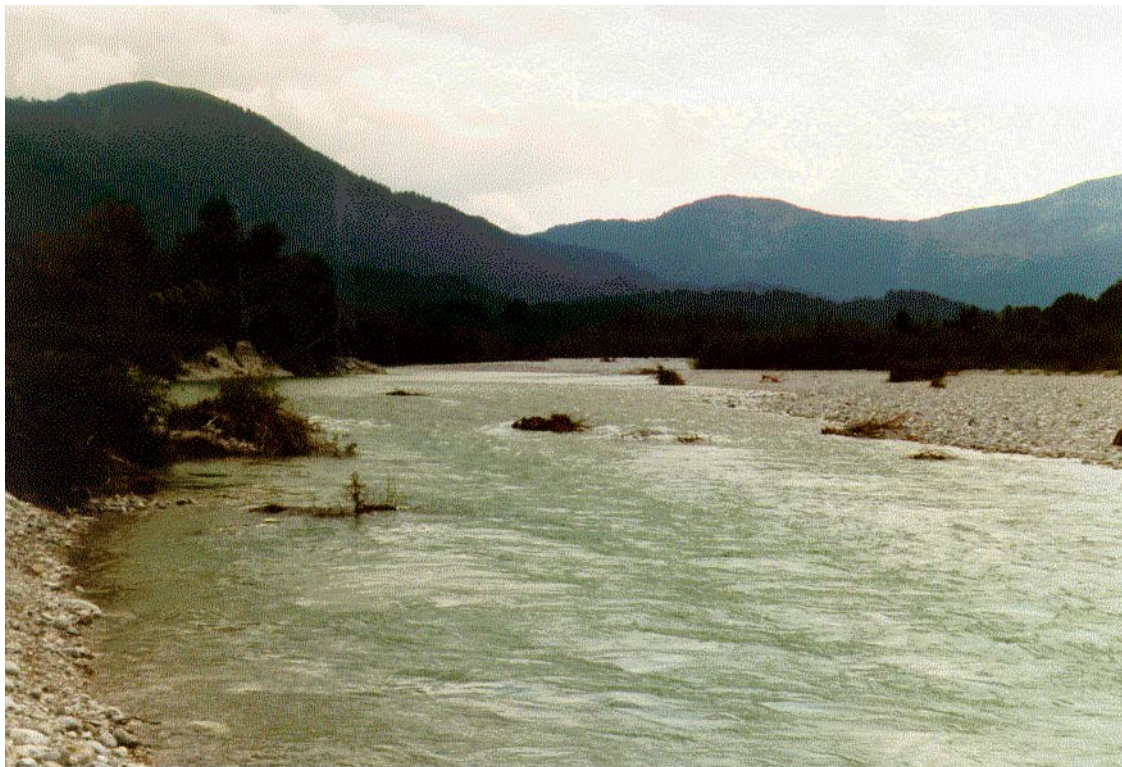


Abbildung 5: Die obere Isar im Bereich der Versuchsstrecke

Eine frisch gebildete Flußsohle aus Steinen und Kies birgt die Gefahr, daß sich das Bergungsfahrzeug eingräbt, weil sich die Steine noch nicht gesetzt haben und dem Druck der Reifen leicht ausweichen können.

Die Sender haben eine Reichweite von einigen hundert Metern. Damit ist eine grobe Ortung gut möglich. Es werden Batterien verwendet, die eine Senderlebensdauer von 3 Monaten gewährleisten. Diese Zeit ist als Mindestzeit anzusehen, will man die Sender wieder bergen. Die Bergung ist oft nur bei Niedrigwasser möglich. Sommerliche Starkregenereignisse oder längere Regenperioden verhindern leicht die weitere Bergung, so daß die Grenze der Lebensdauer der Batterien schnell erreicht werden kann.



Abbildung 6: Nachrutschender Kies verhindert das Graben bis in größere Tiefe.

In unserer Versuchsanordnung wurden nur Sender gleicher Frequenz verwendet. Differenzierungen zwischen den Sendern gab es durch 3 unterschiedliche Signalpausenlängen. Der Empfänger bleibt auf eine Frequenz eingestellt und empfängt alle Signale gleichzeitig. Für die Suche der Sender ist das vorteilhaft, da nicht immer durch alle möglichen Frequenzen gescannt werden muß. Für eine eindeutige Identifizierung der Sender bzw. der Geschiebekörner ist dies jedoch nachteilig.

Die feste Meßstation

Zur Kontrolle, ob Geschiebesender durch einen Stauraum transportiert werden oder ob sie über Nacht eine bestimmte Stelle im Fluß passiert haben, wurde eine feste Meßstation installiert.

Sie besteht aus einem Empfänger mit Antenne, einem Signalwandler, einem Laptop und einer Autobatterie mit einem Spannungsteiler.

Die Antenne kann an einem Erdungsanker befestigt werden und sie soll möglichst nahe am Gewässer aufgestellt werden. Sie wird so ausgerichtet, daß ihre Empfindlichkeit quer zur Flu-

ßachse zeigt. Der Empfänger wird auf höchste Empfindlichkeit gestellt, da das Signal eine relativ hohe Schwelle überschreiten muß, um aufgezeichnet zu werden.

Am dafür umgebauten Empfänger gibt es seitlich eine kleine Buchse mit darunterliegendem Schalter. Zeigt dieser Kippschalter nach unten, ist der Ausgang für den Signalwandler freigegeben. Andernfalls ist das Zeigerinstrument für die Signalstärke aktiviert. Über einen Stecker wird der Signalwandler angeschlossen. Er liefert einen digitalen Wert für die empfangene Signalstärke über ein 9-poliges Kabel an den Laptop. Mit dem Programm Projekt 1.exe wird dieses Signal mit Datum und Uhrzeit aufgezeichnet. Die Uhrzeit wird mit 3 Dezimalstellen aufgezeichnet, um eine Differenzierung mehrerer Signale zu ermöglichen.

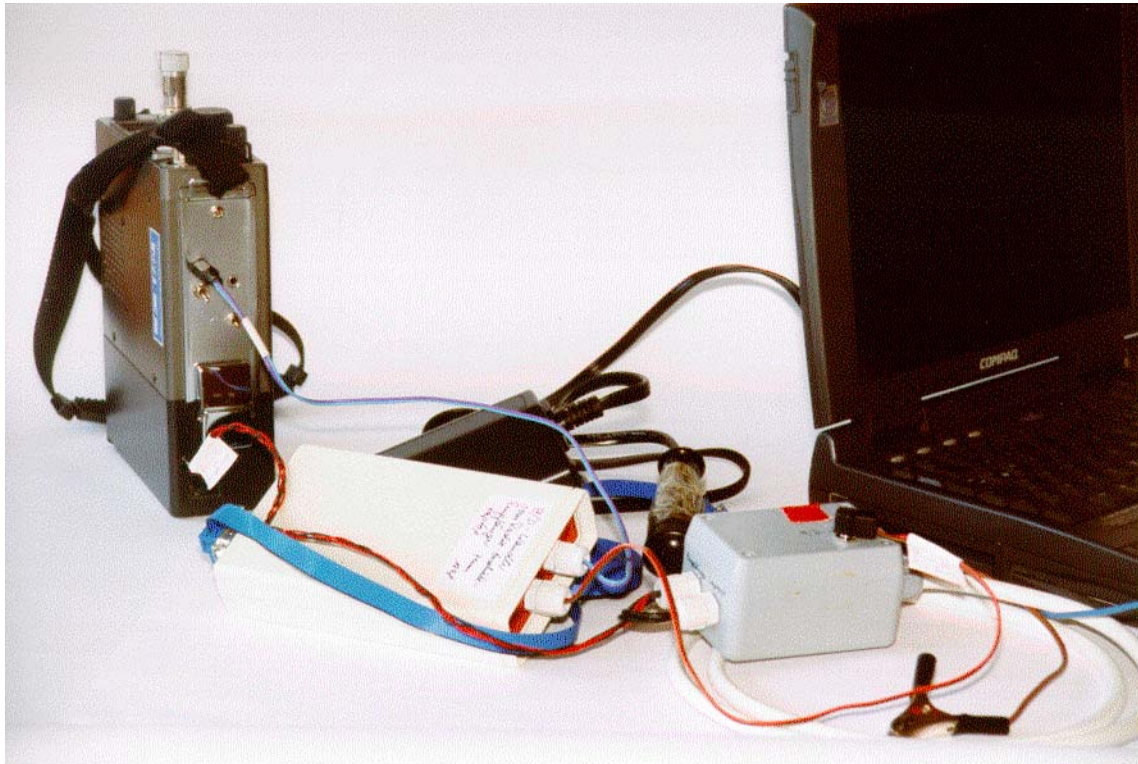


Abbildung 7: Bestandteile der festen Meßstation.

Der Name der Datei und die Anzahl der Datensätze in der gespeicherten Datei werden im Programm Projekt 1.ste festgelegt. Der speichernden Datei wird automatisch die Extension 001 angehängt. Wird die Anzahl der zu speichernden Datensätze überschritten, wird automatisch eine neue Datei mit der Extension 002 angelegt.

Durch die bekannten Pausenlängen der Sendersignale kann bei der Auswertung die Anzahl der empfangenen Sender in etwa bestimmt werden. Differenziert werden kann jedoch nicht, wenn zwei Sender zeitgleich senden. Die aufgezeichnete Signalstärke kann Anhaltspunkte für die Nähe der Sender zur Antenne geben. Durch starke natürliche Schwankungen der Signalstärke sind diese Werte jedoch nicht zuverlässig.

Die Stromversorgung erfolgt durch eine Autobatterie über eine Verteilerdose. Durch die unterschiedlichen Stecker ist eine Verwechslung ausgeschlossen. Die Stromversorgung des Laptops fließt zusätzlich noch durch einen Autoadapter, der Spannungsschwankungen ausgleichen soll.

Werden Sender verschiedener Frequenzen verwendet, muß die Empfangsstation alle in Frage kommenden Frequenzen abtasten und die Kanalnummer oder Frequenz zusätzlich dem zu speichernden Datensatz anfügen. Das ist in unserem Versuchsaufbau bisher nicht vorgesehen.

Versuchsdurchführung

Die Einbringung der Geschiebesender in den Fluß stellt einen kritischen Moment dar. Wird ein Sendestein nicht von der fließenden Welle erfaßt, besteht die Gefahr, daß er an Ort und Stelle sedimentiert und durch laufendes Geschiebe überdeckt wird und somit nicht weiter am Transportprozess teilnimmt. Erfolgt die Zugabe an einem aufgeschütteten Kieswall, kann nachrutschendes Material den Sendestein verschütten.

Suche nach den Geschiebesendern.

Um eine solche Überdeckung zu vermeiden, sollten die Geschiebesender erst bei der anlaufenden Hochwasserwelle in das Gewässer eingebracht werden. Dort nehmen sie dann am Transportprozess teil. Die Wolke der zu empfangenden Signale weitet sich mit der Zeit soweit auf, daß einzelne Signale differenziert und lokalisiert werden können. Je weiter der Wasserstand wieder zurückgeht und je näher man den Signalen kommen kann, um so genauer ist eine Bestimmung der Position und ihrer Signaleigenschaften möglich.

Kann aufgrund des Wasserstands mit der Bergung begonnen werden, wird der Ort durch ständiges Zurücknehmen der Empfängerempfindlichkeit immer weiter eingegrenzt, bis keine weitere Differenzierung mehr möglich ist. Im Endzustand ist eine Fläche von etwa einem halben bis einem Quadratmeter eingegrenzt.

Die Sender zeigen eine bevorzugte Strahlungsrichtung in Abhängigkeit zur Ausrichtung der Antenne. Wird an einem Punkt das stärkste Signal empfangen und dann die Peilantenne an gleicher Stelle um 90^0 gedreht, kann sich der Ort des stärksten Empfangs wieder leicht verschieben. Auch die Stabantenne zeigt eine leichtere Richtungsabhängigkeit, ihr empfindlichster Punkt liegt nicht an der Spitze, sondern etwa 10 cm unterhalb im Stabinnern.

Wird mit dem Ausgraben begonnen, können immer wieder leichte Verschiebungen des Empfangsmaximums gemessen werden. Punktgenau kann die Lage des Senders nicht bestimmt werden. Eine farbliche Kennzeichnung der Steine ist sinnvoll, um sie im Wasser oder beim Ausgraben auf der Schaufel leichter erkennen zu können.

Liegen mehrere Sender gleicher Impulspausenlängen nahe beieinander, kann man durch Messen der Empfindlichkeit rund um diese Stelle in Richtung eines erwarteten Senders und von dieser Stelle weg prüfen, ob eine Überlagerung stattfindet oder der Ort des Senders gefunden wurde.

Die Bergung eines Senders kann durch hohen Wasserstand im gegrabenen Loch oder durch überströmendes Wasser erschwert werden. Nicht fest lagernde Steine und Kies rutschen dann leicht nach und behindern beim Tiefergraben. Eine vorgefertigte Verschalung kann hier Abhilfe schaffen. Denkbar wäre ein Halbkreis mit einem Durchmesser von mindestens 1 m. Ein kleineres Loch bietet zu wenig Bewegungsfreiheit zum Graben und hält den möglichen Fundort evtl. nicht mit frei.



Abbildung 8: Die Ortung im Gewässer.

Das Graben mittels eines Baggers erleichtert zwar die Arbeit, erschwert aber gleichzeitig das genaue Festlegen der Fundtiefe und das Beobachten der Schichtung der Überlagerungen. Im lockeren Kies kann das nachrutschende Material einen Kegel ausbilden, dessen Radius etwa der Tiefe des Loches entspricht. Mit dem Baggergerät kann u.U. der zu bergende Senderstein durch Überfahren oder Quetschen beim Ausbaggern zerstört werden..

1. Versuch an der ob. Isar: Nachweis des Geschiebetransports durch den Stauraum Bad Tölz (1997)

Meßphilosophie, spezielle Randbedingungen

Begleitend zum Luminophorenversuch der BAW war vorgesehen, mit Hilfe der von Prof. Ergenzinger / FU Berlin entwickelten Radiotracermethode den Geschiebetransport (Transportbeginn, Sedimentation, Passage der Verschlusseinrichtungen) während der Spülvorgänge im Stauraum zu verfolgen. Damit sollte die Fortbewegung einzelner Korngrößen bereits während der Spülung festgestellt und das Wiederauffinden des Kontrollmaterials erleichtert werden mit dem kostensparenden Effekt, daß Probenahmen gezielt erst dann im Unterwasser der Staustufe erfolgen, sobald mit den Radiotracern eine Staumpaßage der Geschiebefraktion nachgewiesen ist. Damit sollten unnötige Blindentnahmen für den Luminophorenversuch vermieden werden. Die präparierten Sendersteine sollten in der nächstgelegenen Flußmeisterstelle Lenggries deponiert werden, um bei Vorliegen der abflußmäßigen Voraussetzungen an der Isarbrücke bei Fkm201,7 in die Hochwasserwelle eingebracht zu werden.



Abbildung 9: Größere Geschiebekörner eingebettet in Feinmaterial.

Der Grund für die aus der Erfahrung an der Saalach gewonnene Strategie, das Kontrollgeschiebe erst bei für die Spülung geeigneten Hochwasser einzubringen, liegt in der Gefahr, daß bei kleineren Hochwässern ohne Staulegung dieses Material zwar in Bewegung kommt, aber nach kurzem Transportweg wieder sedimentiert, von Feinmaterial überdeckt wird und damit festliegt.

Durchführung des Versuchs

Die abflußmäßigen Voraussetzungen für eine Stauraumspülung, nämlich

- bettbildende Abflüsse $\chi 300 \text{ m}^3/\text{s}$
 - Dauer mehrere Tage, jedoch mindestens 24 Stunden
 - vollständige Öffnung der Verschlusseinrichtungen an der Wehranlage des KW Bad Tölz
- waren am 02./03.06.1995 gegeben. Das angefärbte Kontrollgeschiebe für den Luminophorenversuch wurde daher am 03.06. von der Bad Tölzer Brücke (Fkm 201,7) aus in die hochwasserführende Isar eingebracht.

Die mit Sendern präparierten Radiogeschiebe konnten jedoch nicht rechtzeitig geliefert werden, so daß der Radiotracerversuch zunächst zurückgestellt werden mußte.

Ein für den Radiotracerversuch geeignetes Spül-Hochwasser zeichnete sich erst am 6.7.97 ab.

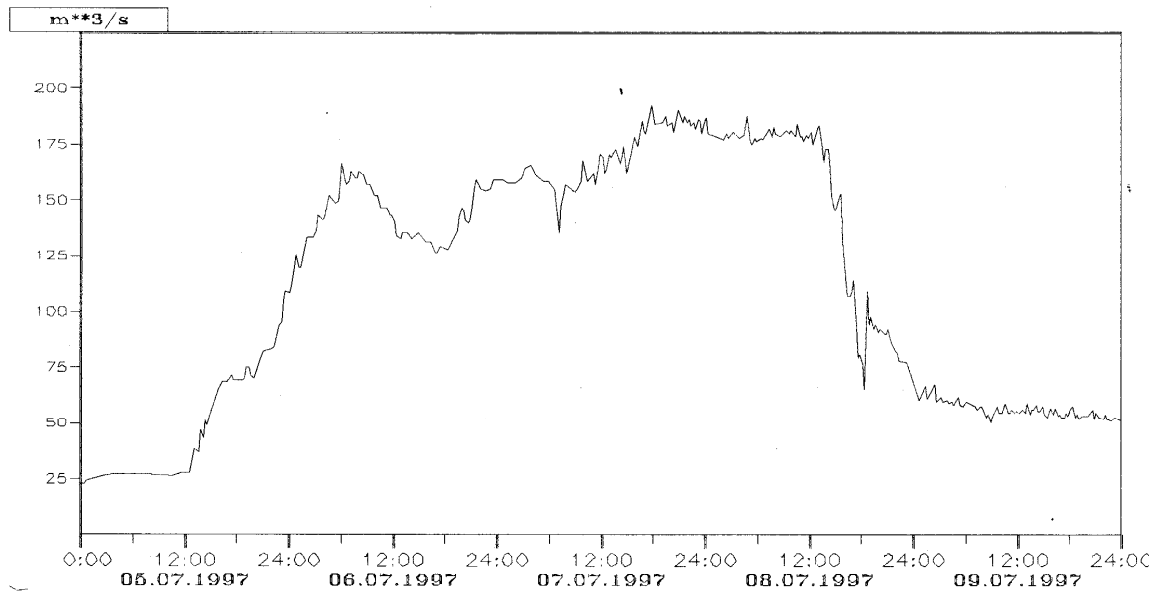


Abbildung 10: Verlauf der Hochwasserwelle vom 06.07. bis 09.07.1997 am Pegel Kraftwerk Bad Tölz

Gerätetechnik

Radiotracer sind natürliche Geschiebesteine oder künstlich hergestellte Steine, in die ein Hochfrequenzsender eingebaut ist. Mit einem tragbaren Empfänger und einer Richtantenne kann man die Position der Sender bestimmen und verfolgen und somit Aussagen über die aktuelle Position, Änderungen der Position und Transportgeschwindigkeiten erhalten.

Verwendet wurde ein modifizierter Yaesu-CB-Funkempfänger der Fa. Wagener mit Handantenne bzw. Peitschenantenne zur punktgenauen Ortung für die Bergung. Die verwendeten Sender arbeiten alle auf gleicher Frequenz von 150 MHz. und unterschiedlichen Sendepausenlängen. Eine Unterscheidbarkeit vieler Sender war jedoch akustisch nicht gegeben. Da kein Transport bis zur Stelle der Tonbandaufzeichnungen stattgefunden hat, kann über die Auswertbarkeit der Tonbandaufzeichnungen keine Aussage gemacht werden. Ein schlüssiges Auswertekonzept steht ebenfalls noch aus.

Versuchsbeschreibung

Ab Sonntag, den 6.7.97 hatte die Isar erhöhte Wasserführung. Vom Sylvensteinspeicher wurden ab Montag 200 m³/s abgegeben. Die Abreise vom LfW war um 9.30 Uhr. In Lenggries mußte von der Flußmeisterei die Ausrüstung geholt werden. Das Ausmessen der Sendersteine, der Aufbau des Tonbands an der Kontrollstation (Fkm 201,0) auf dem Fußgängersteg, das Erfragen der genauen Zeit der Staulegung (gegen 14.45 Uhr) sowie das Testen der Einbringmethode mit Hilfe einer Plastiktüte dauerte bis kurz vor 15.00 Uhr.

Um 14.57 Uhr wurden die Sender in 2 Raten mit je 4 kleinen und 2 großen Sendern in einer Plastiktüte bis zur Wasseroberkante abgelassen. Durch Schwenken wurde ein Zerreißen der Tüte und eine im Vergleich zum direkten Einwerfen der Sendersteine gebremste und sanftere Einbringung in den Stromstrich an der tiefsten Stelle der Isar im rechten Brückenfeld erreicht.



Abbildung 11: Das Einbringen der Geschiebesender in den Stromstrich und die alte feste Meßstation

Tabelle 1: Abmessungen der eingebrachten Sendersteine

Sender-Nummer	Anzahl	Länge [cm]	Breite [cm]	Dicke [cm]	Material
3,5,7,10,11,13,14,15 klein	8	7,5	3	3	Kunststoff
15 groß	1	7	6	6	Kalkstein
16 groß	1	8	6,5	4,5	“
20 groß	1	8,5	5,5	4,5	“
21 groß	1	8	6	4	“

Die Sendertrift wurde am 7.7. ab 14.54 Uhr bis ca. 0.00 Uhr durchgehend am Fußgängersteg (Fkm 201,0) auf Tonband aufgezeichnet. Störungen gab es nur einmal, als das Fahrzeug mit den zurückbehaltenen Sendern in den Empfangsbereich kam und diese durch unsachgemäße Lagerung aktiv waren. Diese Signale wurden aufgezeichnet, ließen sich aber zeitlich zuordnen und führten zu keiner Fehlinterpretation.

Am 8.7. waren gegen 11.45 Uhr an der Straßenbrücke keine Signale mehr feststellbar. Eine Wolke von Sendern wurde am Pkw-Parkplatz bei Fkm > 201,2 geortet.

Dort blieben Sie auch in den folgenden Tagen liegen. Durch das kleinere Hochwasser am 18.7. mit einem Abfluß bis zu 140 m³/s trat keine erkennbare Verlagerung mehr auf. Da der Wasserstand aber lange hoch blieb, war das genaue Orten und Bergen der Sender nicht sofort möglich.

In der Zeit ab 22.7. war der Wasserstand soweit gefallen, daß die Isar durchwatet werden

konnte und man auf der Kiesbank und im Gerinne die georteten Sender suchen konnte. Mit weiter fallendem Wasserstand wurden dort alle 12 Sender gefunden. Schwierigkeiten bei der Bergung der Sender ergaben sich durch den hohen Wasserstand im Stromstrich sowie durch anfängliche Fehlinterpretation eines empfangenen Signals, das zur Suche an einer falschen Stelle führte.

Ergebnisse

Tabelle 2 zeigt die Transportweiten der einzelnen Sender und beschreibt ihre Fundorte in der Isar. Es zeigt sich, daß die Transportweite der großen Steine in gleicher Größenordnung der kleinen Sendersteine liegt. Eine mengenmäßige Beurteilung des verfrachteten Geschiebes ist nicht möglich. Es konnte der Eindruck gewonnen werden, daß an anderen Stellen im Flußbett größere Geschiebe stattgefunden hat, die einen Transport des Geschiebes durch den Stauraum des Kraftwerkes Bad Tölz möglich erscheinen läßt.

Tabelle 2: Transportweiten und Fundorte der Sender

Sender-Nummer	Abmessungen	Gewicht [g]	Fkm	Transportweite [m]	Fundort
3 klein	7,5*3*3 cm	109,45	201,2266	446,4	von der Flußmitte aus hinter der Kiesbank etwa 80 cm unter Kiesbankoberkante
5 klein	7,5*3*3 cm	100,53	201,2280	445	von der Flußmitte aus hinter der Kiesbank etwa 80 cm unter Kiesbankoberkante
7 klein	7,5*3*3 cm	111,85	201,2982	378	von der Flußmitte aus am Anfang der Kiesbank in der Deckschicht
10 klein	7,5*3*3 cm	103,12	201,2161	457	am unteren Ende hinter der Kiesbank oberhalb eines Durchflusses etwa 0,7m unter der Sohle
11 klein	7,5*3*3 cm	111,08	201,2342	439	auf der dem Fluß zugewandten Seite der Kiesbank ca. 0,3m unter GOK
13 klein	7,5*3*3 cm	113,49	201,418	255	Ca. 0,7m unter Wasseroberfläche in der Deckschicht
14 klein *	7,5*3*3 cm	ca. 100	201,207	466	Unterhalb der Furt in einer Kiesbank ca. 0,5m unter der Oberkante
15 klein *	7,5*3*3 cm	91,48	201,2643	409	Auf der dem Fluß zugewandten Seite der Kiesbank ca.0,3m unter GOK
15 groß	7*6*6 cm	350,3	201,2115	462	In einer Furt unterhalb der großen Kiesbank ca. 0,5m unter der Sohle
20 groß	8,5*5,5*4,5 cm	302,9	201,2277	445	Auf der dem Fluß zugewandten Seite der Kiesbank ca. 0,3m unter GOK
16 groß	8*6,5*4,5 cm	291,5	201,23	440	Direkt am rechten Ufer ca. 10 cm unterhalb des Wasserspiegels hinter der Kiesbank
21 groß	8*6*4 cm	283,3	201,50	180	Im Stromstrich ca. 4m vom rechten Ufer entfernt und ca. 0,4m unter der Sohle

* diese Sender wurden beim vorherigen Versuch auch verwendet.

Die Eingabestelle befindet sich bei Fkm 201,673.



Abbildung 12: Lageplan mit Angabe der Fundorte der Sendersteine

Zusammenfassung

Die Geschiebedurchgängigkeit des Bad Tölzer Stauraumes sollte mit Radiotracern nachgewiesen werden. Die mit einem mittleren Durchmesser von 4,5 bis 6 cm eingebrachten Sendersteine wurden bei einem Abfluß (für 24 h) von 220 bis 240 m³/s 180 bis 460 m weit transportiert. Eine Verfrachtung in das Unterwasser des Stauraumes Bad Tölz fand nicht statt. Wäh-

rend der Versuchsdurchführung und in der Auffindungsphase wurde die Lage der Sender ständig verfolgt. Dies ermöglichte eine unproblematische Bergung aller Sender und eine schnelle Interpretation der Ergebnisse. Im Prinzip hat die Methode zwar funktioniert, in diesem speziellen Fall konnte der Nachweis des Geschiebetransports durch den Stauraum jedoch nicht erbracht werden, da die abflußmäßigen Voraussetzungen unzureichend waren.

2. Versuch an der oberen Isar zwischen UW Sylvensteinspeicher und Bad Tölz (1999)

Der Zweck dieses Versuchs war, das Transportverhalten einer Geschiebezugabe in einer freien Fließstrecke zu verfolgen und zu dokumentieren.

Hochwasser an der oberen Isar am 6.5., am 12.5. und am 22.5.99

Am 5.5 kam die Vorwarnung für die Hochwasserabgabe am Sylvensteinspeicher von geplant $200 \text{ m}^3/\text{s}$ am 6.5. mit einer Dauer von 24h.

Am 6.5. wurde ab 6:00 Uhr bis 13:00 Uhr der Abfluß von $60 \text{ m}^3/\text{s}$ auf $190 \text{ m}^3/\text{s}$ gesteigert. Die Fließzeit vom Speicher bis zur Geschiebezugabestelle wird bei diesem Abfluß mit 1,5h angenommen. Ab 14:30 Uhr war der Spitzenabfluß von $190 \text{ m}^3/\text{s}$ erreicht. Bereits um 13:00 Uhr ($Q=180 \text{ m}^3/\text{s}$) war das gesamte über die Wasseroberfläche ragende Material der Kieszugabestelle (Fkm 215,2) unterhalb der Jachenmündung abgetragen. Zwischen 12:50 und 15:00 Uhr wurden die ersten 10 Sendersteine vom Ufer aus direkt unterhalb der Kieszugabestelle in den Stromstrich geworfen. Die Zugabe des nächsten Sendersteines erfolgte erst nach Weiterverfrachtung des vorher eingebrachten Steines. In einer 2. Etappe wurden direkt nacheinander 10 weitere Sendersteine in die Isar eingebracht (siehe Tab.1).

Die Kieszugabestelle befindet sich ca. 200 m unterhalb der Jachenmündung am linken Ufer in einer Rechtskurve. Es wurde ein ca. 200 m langer Kieswall mit einem Volumen von etwa 3000 m^3 aufgeschüttet. Direkt unterhalb der Zugabestelle ist die Schwarzenbachmündung, dessen Abfluß während des ersten Ereignisses nicht wesentlich erhöht war. Der mittlere Korndurchmesser des Zugabematerials lag bei 43 mm mit einem Größtkorndurchmesser von 150 mm (Sand 10,7%, Kies 62%, Steine 27,3%).

Im vorliegenden Versuch lag die Kieszugabestelle am linken Ufer einer Rechtskurve, also am Prallhang. An der stromabwärts gelegenen Spitze des Walls lag der Stromstrich, in den die Sendersteine in 2 Etappen eingeworfen wurden. 10 m unterhalb dieser Stelle ist linksseitig die Schwarzenbachmündung. Dort werden nur vorübergehend Sendersteine abgelagert.

Nach max. 6 Stunden waren die entferntesten Sender ca. 100 m stromabwärts transportiert worden, nach 12 Stunden 300 m. An der Meßstation 300 m unterhalb der Zugabestelle sind dabei innerhalb von 12 Stunden möglicherweise 10 Geschiebesender vorbei transportiert worden.

Am Folgetag wurden Sender bis 400 m unterhalb geortet.

Tabelle 3: Abmessungen der eingebrachten Sendersteine

Anzahl	Nr.	L*B*H [cm]	Zugabezeit
4	3,5,11,13	7,5*3*3	12:50-13:10
1	19	8*6*5	13:10
1	S	8,5*7*6	13:50
1	27	9*6,5*5	13:50
1	C	9*7,5*5,5	13:30
1	28	12,5*9*5	14:30
1	E	14,5*10*9	15:00
4	1,6,7,10	7,5*3*3	16:20
1	24	8*6*5,5	16:20
1	22	9*6,5*4,5	16:20
1	B	10*6*6	16:20
1	23	10*7,5*4,5	16:20
1	D	12*10,5*8,5	16:20
1	29	13*8*6	16:20

Das zweite Hochwasser am 13.5. mit einem Spitzenabfluß von 180 m³/s über einen Zeitraum von knapp 30h verfrachtete Sender weitere 500m stromabwärts.

Ab 20.5. baute sich die dritte Hochwasserwelle auf, die im Spitzenabfluß bis zu 360 m³/s für etwa 24h brachte. Die gefallene Niederschlagssumme beträgt 189 mm (Station Sylvensteinspeicher) mit einem Speicherzuflußvolumen von 140 Mio. m³ im Sylvensteinspeicher.

Waren die zugegebenen Sendersteine nach der 2. Welle noch relativ nah beieinander, so hat die große Hochwasserwelle die Sender doch bis zu 8,8 km weit verfrachtet, die geringste Transportweite war etwa 250 m.

vereinfachter Abflußverlauf des Sylvensteinspeicherauslaufs Fließzeit zur Zugabestelle ca. 1,5 h

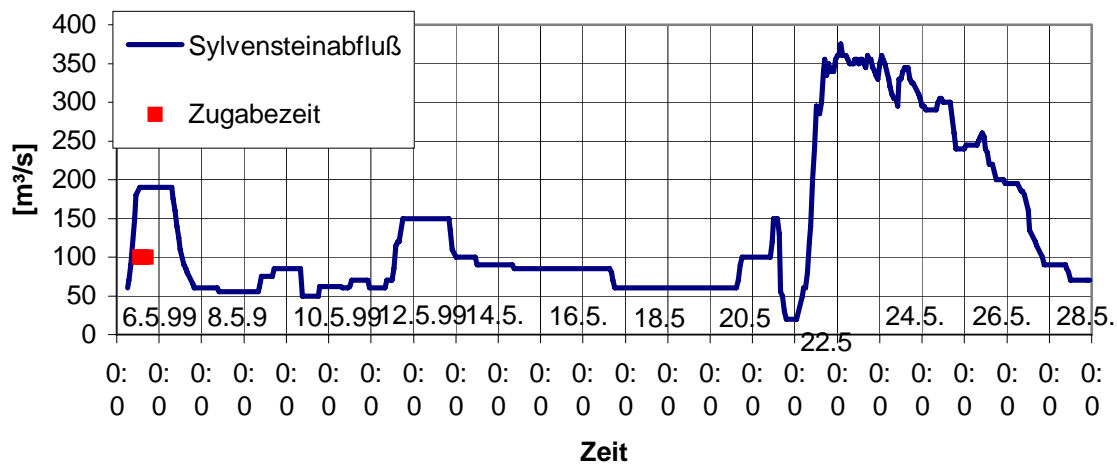


Abbildung 13: Abflußverlauf des Sylvensteinspeichers

Stauraumpülungen in Bad Tölz

Für den Geschiebetransport stellen Wehre und Stauräume unüberwindliche Hindernisse dar. Ziel einer Geschiebemanagement ist es, dem Gewässer Geschiebe zur Verfügung zu stellen, den Geschiebeeintrag zu erleichtern und die Weiterverfrachtung zu ermöglichen. In einem Stauraum reduziert sich die Fließgeschwindigkeit, so daß der Geschiebetrieb zum Erliegen kommt. Wird der Stau rechtzeitig abgesenkt, kann der Geschiebetrieb durch diesen Flußabschnitt weitergehen. In Bad Tölz erfolgten entsprechend den Hochwasserereignissen die Staulegungen vom 6.-7. 5. mit einem Spitzenabfluß von 200 m³/s, 12.-13.5. mit 246 m³/s und vom 21.5.-27.5.99 mit 436 m³/s.

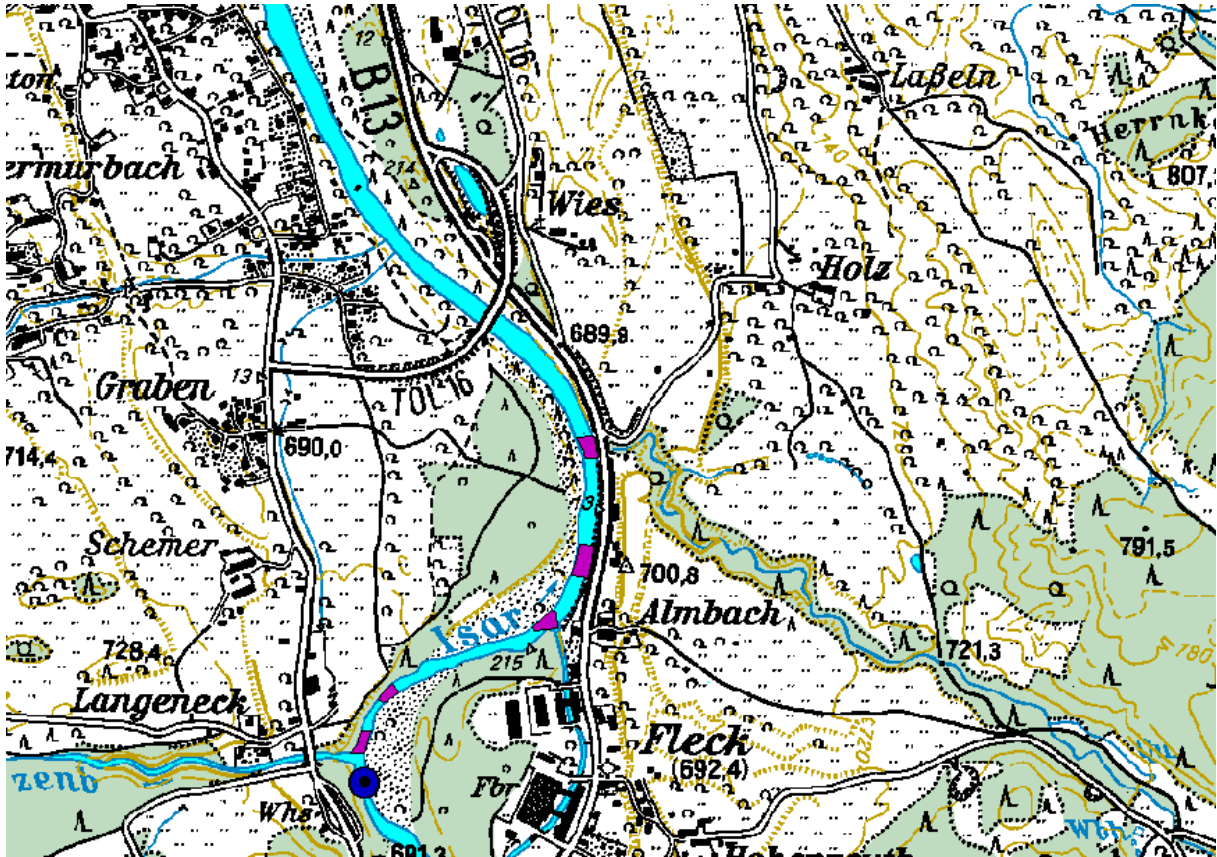


Abbildung 14: Verteilung der Radiotracer nach der 1. Hochwasserwelle (blauer Punkt Zugabestelle)

Interpretation der Geschiebebewegungen

In Abbildung 14, 15 und 16 sind die Ortungspunkte der Sender nach den 3 Hochwasserwellen dargestellt. Deutlich zu sehen ist in Abb. 16 (im Anhang) die große Verteilung der Sendersteine mit einem Schwerpunkt bei der Flußbettaufweitung bei Flußkilometer 213,6 bis 212,8.

Belegt durch die Fundstellen der Radiogeschiesesender können Geschiebebewegungen beschrieben werden. Die Geschiebezugabestelle (Fkm 215,2) befand sich am linken Ufer einer Rechtskurve. Die Kiesbank am gegenüberliegenden Gleitufer dieser Stelle blieb fast unberührt von Geschiebebewegungen.

In der Kurve nach der folgenden geraden Strecke wurde ein Streifen von etwa 150 m Länge, bis zu 25 m Breite und 0,5 m Tiefe abgetragen. Darunter wurde bis in eine Tiefe von 1 m Sediment bewegt. In dieser Tiefe wurde ein großer Stein mit den Maßen 13x10,5x8,5 cm gefunden (Fkm 215,08). In der anschließenden Linkskurve waren am Gleitufer nur leichte Uferabbrüche zu finden. Das Prallufer ist mit groben Flußbausteinen gesichert.

Am Auslauf dieser Linkskurve pendelt die Isar zum linken Ufer. In der am rechten Ufer angelandeten Kiesbank waren mindestens bis 50 cm unter Kiesoberkante Geschiebebewegungen aufgetreten, weil bis zu dieser Tiefe kein Sender geborgen werden konnte (Fkm 214,1).

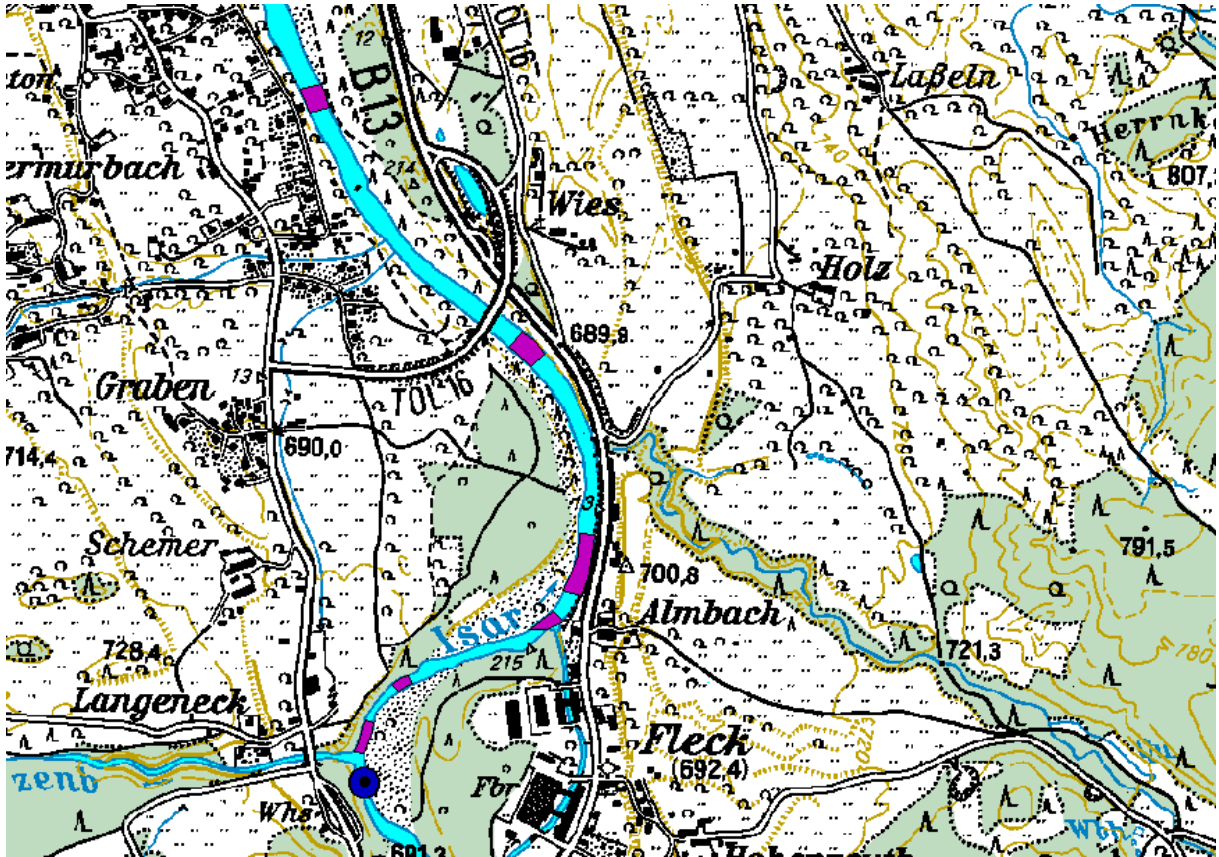


Abbildung 15: Die Verteilung der Radiotracer nach der 2. Hochwasserwelle

Abbildung 16: Verteilung der Radiotracer nach der 3. Hochwasserwelle (im Anhang)



Abbildung 17: Das Flußbett nach dem Hochwasser 200m unterhalb der Zugabestelle (Fkm 215,0).

Im folgenden Flußabschnitt pendelte die Isar zum rechten Ufer (Fkm 213,8) und wieder zum linken Ufer (Fkm 213,6). Durch die beiden Seen am rechten Ufer weitete sich dort der bei höherem Wasserstand überströmte Bereich auf (Fkm 213,4 – 213,2). Dort war auch am rechten Ufer über diese Länge eine Kiesbank. Ebenfalls bildete sich eine Kiesbank in der Mitte des Flusses (Spitze Fkm 213,5). Am Ende der Seen ist eine Linkskurve mit befestigtem rechten Ufer, um eine Bundesstraße zu sichern. Dort wurde der linke Uferstreifen großflächig bewegt. Eine Kiesbankbildung fand nicht an dieser Wechselstelle der Flußbettauflerung rechtsufrig zu linksufrig statt, sondern weiter unterhalb.



Abbildung 18: Das Flußbett stromabwärts gesehen (Fkm 215,0).

Am Ende der kleinen Linkskurve bildete sich eine Sohlschwelle mit einem Höhenunterschied von etwa 0,5 m (Fkm 212,9). In dieser natürlichen Schwelle wurden Kiesbewegungen bis zu 0,6 m Tiefe nachgewiesen, ohne daß die Sender geborgen werden konnten. Am Ende des linksseitig überspülten Bereiches waren noch Kiesbankbewegungen bis in 90 cm Tiefe nachweisbar. Dort war auch in dieser Tiefe nur relativ feines Material (3x2x2 cm) abgelagert (Fkm 212,75).

Dort geht der Flußlauf wieder in eine Linkskurve über, der überströmte Bereich liegt rechtsufrig. Der Bewuchs dieser rechtsufrigen Kiesbank wurde vollständig abgetragen. Kiesbewegungen, ca. 10 m rechts vom Stromstrich konnten nachgewiesen werden (Fkm 212,7). 200 m unterhalb liegt die Hirschbachmündung, die von eingetragendem Geschiebe weitgehend zugeschüttet wurde.

Geschiebebewegungen können dann erst wieder bei Fkm 211,25 nachgewiesen werden. Dort hat sich der Flußlauf vom linken Ufer vollständig zum rechten Ufer verlagert. In der Übergangsstelle fanden Kiesbewegungen mindestens bis in eine Tiefe von 1 Meter statt. Der geortete Geschiebesender konnte bis in diese Tiefe nicht geborgen werden.

Etwa 100 m oberhalb der Lenggrieser Straßenbrücke war ein Wall als Geschiebezugabe aufgeschüttet worden, der erst durch das 3. Hochwasser abgetragen wurde.

Am Auslauf einer Linkskurve im Übergang zu einer Rechtskurve wurde rechtsufrig der Ablauf eines Regenüberlaufbeckens zugekiest (Fkm 210,4) und eine Kiesbank von Bewuchs freigemacht. Der Sender fiel zu früh aus, als daß er genau geortet und geborgen werden konnte.

Zwei Geschiebesender konnten unterhalb der Isarburg, einer natürlichen Felsenschwelle geortet werden. Bei Fkm 208,8 wurde in einer langgestreckten Rechtskurve rechtsseitig eine Kiesbank abgeräumt. Der Sendestein lagerte etwa im Stromstrich. Durch den zu hohen Wasserstand konnte weder genaue Ortung noch Bergung erfolgen. Beim Übergang dieser Rechts- in eine Linkskurve bildete sich wieder eine natürliche Schwelle in der Mitte des Flusses, links bildete sich eine kleine Kiesbank, rechts im früheren Flußbett eine größere. Hier wurde ein Sender ohne zugehörigen Stein geborgen (Fkm 208,35), so daß über die Größe des Geschiebes in der Fundtiefe von 70 cm unter Sohlenoberkante nur aus den umliegenden Steinen geschlossen werden kann. Der Größtkorndurchmesser in der Innenschicht lag bei 22x14x11 cm, der Größtkorndurchmesser der Deckschicht lag bei 47x28x26 cm.

Von den 20 eingesetzten Sendersteine konnten insgesamt 9 Sendersteine bzw. Sender geborgen werden, 9 Standorte wurden zusätzlich bestimmt, sie waren aber zu hoch überspült, zu tief vergraben oder zu früh ausgefallen, so daß eine Bergung unmöglich war. 2 Sendersteine konnten nicht wieder geortet werden. Tabellarisch zusammengefaßt sind diese Ergebnisse in Tabelle 4.

Dank zu sagen ist der Flußmeisterstelle Lenggries, die mit Personal und Gerät im Rahmen ihrer Möglichkeiten geholfen hat. Auch Herrn Heribert Zintl gilt der Dank, der in persönlichem Engagement und Unterstützung sehr zum Orten und Bergen der Radiotracer beigetragen hat.

Zusammenfassung

Erstmals zum Einsatz kam die Radiotracertechnik im Wildbachbereich, und zwar am Lainbach bei Benediktbeuern (Schmidt, K.-H. und Ergenzinger, P., 1990). Vom Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft war eine Zusammenarbeit mit Prof. Ergenzinger, FU Berlin an der oberen Isar beabsichtigt, die jedoch nur bei der Vorbereitung des Versuchs zum Tragen kam. Die Durchführung des Versuchs durch das Berliner Institut scheiterte schließlich an der zu großen Entfernung zum Einsatzort. Im 2. Anlauf wurden die Radiotracerversuche schließlich mit Personal des LfW durchgeführt mit tatkräftiger Unterstützung durch die Flußmeisterstelle Lenggries.

Die Radiotracermethode bewährte sich im wesentlichen, die Ergebnisse des 2. Versuchs finden bei der Bewertung einer Geschiebezugabe an der Oberen Isar Anwendung.

Tabelle 4: Ergebnisse der geborgenen und georteten Geschiebesender

Fundstelle	Stein-Nr	Fkm	Maße	Transport- weite	GK Deck	GK-Innen	Tiefe	Abstand vom Ufer	Bemerkung
1	D	215,000	12*10.5*8 cm	0,200	40*40*30 cm	30*20*12 cm	100 cm	15m zum re.	
2	E	214,090	14*10*8	1,110	19*15*9 cm	19*12*10 cm	60 cm	9m zum re.	
3		213,140	dicker Sender	2,060	37*27*20 cm	18*12*10 cm	70 cm	40m zum re.	
4	29 o. 28	213,065	12*7,5*7	2,135	16*12*10	12*7.5*7	30 cm	42m zum re.	
5	27	213,040	9*6.5*5	2,160	22*16*16 cm	22*16*16 bis 30 cm; dar- unter bis 1m feiner wer- dend, darun- ter wieder bis 9*6.5*5 cm	130 cm	42m zum re.	
6		212,740	7,5*3*3 cm	2,460	23*16*12 cm	12*9*6	30 cm	22m zum li.	
7	19 ?	212,665	7*6*5	2,535		34*34*18 cm	ca. 2m	3m zum li.	
8	23 ?	212,59	11*7.5*6	2,610			30 cm	ca. 30m zum li.	
9		208,350	Sender	6,850	47*28*26 cm	22*14*11 cm	60 cm	20m zum li.	
10		206,400	verlorener Sender	8,800	2*2*2 cm				
11		214,090	verlorener Sender	1,110	17*13*8 cm	26*12*12 cm	80 cm	12m zum re.	
12		214,090	verlorener Sender	1,110					zu früh ausgefallen
13		208,885	verlorener Sender	6,315				10m zum li.	zu tief
14		211,400	verlorener Sender	3,800	8*6,5*4,5 cm	29*19*8 cm	>120 cm	25m zum li.	
15		212,895	verlorener Sender	2,305			>60 cm unter Kiesoberkan- te	10m zum re.	zu hoch überspült um tiefer zu graben
16		212,907	verlorener Sender	2,293				10m zum re.	zu hoch überspült um tiefer zu graben
17		212,740	verlorener Sender	2,460			>1,1m unter GOK	17m zum li.	
18		210,300	verlorener Sender	4,900					zu früh ausgefallen

Anhang

Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: SENDER, GESCHIEBEKÖRNER, EMPFÄNGER UND ANTENNEN ZUR RADIOTELEMETRIE	3
ABBILDUNG 2: FESTE MEßSTATION AM BAD TÖLZER WEHR	4
ABBILDUNG 3: AUSWAHL DER ZUR VERFÜGUNG STEHENDEN GESCHIEBESENDER	4
ABBILDUNG 4: EIN TYPISCHER GESCHIEBESENDER NACH SEINER BERGUNG	5
ABBILDUNG 5: DIE OBERE ISAR IM BEREICH DER VERSUCHSSTRECKE	6
ABBILDUNG 6: NACHRUTSCHENDER KIES VERHINDERT DAS GRABEN BIS IN GRÖßERE TIEFE.	7
ABBILDUNG 7: BESTANDTEILE DER FESTEN MEßSTATION.	8
ABBILDUNG 8: DIE ORTUNG IM GEWÄSSER.	10
ABBILDUNG 9: GRÖßERE GESCHIEBEKÖRNER EINGEBETTET IN FEINMATERIAL.	11
ABBILDUNG 10: VERLAUF DER HOCHWASSERWELLE VOM 06.07. BIS 09.07.1997 AM PEGEL KRAFTWERK BAD TÖLZ	12
ABBILDUNG 11: DAS EINBRINGEN DER GESCHIEBESENDER IN DEN STROMSTRICH UND DIE ALTE FESTE MEßSTATION	13
ABBILDUNG 12: LAGEPLAN MIT ANGABE DER FUNDORTE DER SENDERSTEINE	15
ABBILDUNG 13: ABFLUßVERLAUF DES SYLVENSTEINSPEICHERS	17
ABBILDUNG 14: VERTEILUNG DER RADIOTRACER NACH DER 1. HOCHWASSERWELLE (BLAUER PUNKT ZUGABESTELLE)	18
ABBILDUNG 15: DIE VERTEILUNG DER RADIOTRACER NACH DER 2. HOCHWASSERWELLE	19
ABBILDUNG 16: VERTEILUNG DER RADIOTRACER NACH DER 3. HOCHWASSERWELLE (IM ANHANG)	19
ABBILDUNG 17: DAS FLUßBETT NACH DEM HOCHWASSER 200M UNTERHALB DER ZUGABESTELLE (FKM 215,0).	19
ABBILDUNG 18: DAS FLUßBETT STROMABWÄRTS GESEHEN (FKM 215,0).	20

Tabellenübersicht

TABELLE 1: ABMESSUNGEN DER EINGEBRACHTEN SENDERSTEINE	13
TABELLE 2: TRANSPORTWEITEN UND FUNDORTE DER SENDER	14
TABELLE 3: ABMESSUNGEN DER EINGEBRACHTEN SENDERSTEINE	17
TABELLE 4: ERGEBNISSE DER GEBORGENEN UND GEORTETEN GESCHIEBESENDER	22