

Der Rauteppich - Untersuchungen zu einem neuartigen, hydraulisch wirksamen Bauwerk zur Reduktion von Sohleintiefungstendenzen

Christine Sindelar, Martin Pfemeter, Christoph Roscheck, Stephan Sattler, Michael Hengl und Helmut Habersack

Zusammenfassung

Flussaufweitungen als Maßnahme gegen Sohleintiefungstendenzen bergen in sich selbst die Gefahr, Eintiefungen flussauf oder flussab der Aufweitung zu verstärken. Um dieses Problem zu lösen, wurde der Rauteppich als Entkopplungselement zwischen aufgeweiteter und regulierter Strecke konzipiert. Er ist ein sohlgleiches, rein durch Energieumwandlung wirksames Bauelement. Die Energie wird mit Hilfe von Turbulenzen ausgehend von einer sehr rauen Sohle umgewandelt. Die Rauigkeit wird durch den Einbau von großen Wasserbausteinen erzielt. Durch die sohlgleiche Anordnung bietet der Rauteppich gegenüber ähnlich wirkenden Elementen wie Rampen den Vorteil der geringeren Herstellungskosten und der besseren Durchgängigkeit für Fische sowie für Sediment.

Die Rauheitswirkung des Rauteppichs wurde an einer drei Maßstäbe umfassenden Modellfamilie in „gesetzter“ und „geschütteter“ Variante getestet. Bei der gesetzten Variante werden die Wasserbausteine mit der längsten Achse stehend eingebaut. Bei der geschütteten Variante werden die Wasserbausteine auf die Sohle geschüttet und nicht einzeln versetzt. Die beiden Varianten des Rauteppichs wurden in den Maßstäben 1:15, 1:25 und 1:40 in einer 30 cm breiten Glasrinne unter verschiedenen Durchflüssen und Gefällen getestet. Die aus den gemessenen Wasserspiegellagen ermittelten Strickler-Beiwerte stimmten für alle drei Maßstäbe sehr gut überein. Die geschüttete Variante erwies sich als nur unwesentlich glatter als die gesetzte Variante, wodurch die geschüttete Variante aufgrund des geringeren Materialbedarfs und der vereinfachten Herstellung zu bevorzugen ist.

Die konstruktive Gestaltung der geschütteten Rauteppich-Variante wurde in einer 54 cm breiten Rinne im Maßstab 1:40 mit und ohne Geschiebetrieb geprüft. Der Rauteppich zeigte während aller Versuche eine ausreichende Stabilität und keine Tendenz zum Einsinken, sodass auf eine Filterschicht verzichtet werden kann. Kleinere Auskolkungen im Vor- und größere im Nachbettbereich erfordern eine dementsprechende Sicherung. Diese wird durch einen gestuften Übergang der Rauigkeiten in Form eines Bereiches mit kleineren Wasserbausteinen erreicht. Bei den infolge von Geschiebetransport entstehenden Dünen konnte eine Beschleunigung der Dünen über dem Rauteppich bis hin zu ihrem Verschwinden beobachtet werden.

Der Rauteppich erwies sich als geeignete und effiziente Sohlsicherungsmaßnahme sowohl zur Entkopplung von Fluss-Aufweitungen als auch in von Eintiefungen bedrohten Fließstrecken.

1 Einleitung

In den letzten Jahrzehnten beobachtete Sohleintiefungstendenzen an großen europäischen Flüssen infolge von Geschiebedefizit und von Regulierungen (Habersack et al., 2012) ziehen eine Vielzahl von Problemen nach sich. Darunter fallen sinkende Grundwasserspiegel, reduzierte Quervernetzungen und trocken fallende Aulandschaften ebenso wie die Gefährdung von

Ufersicherungen oder Brückenpfeilern (Hengl & Stephan 2008). Beispiele dafür sind unter anderem an Abschnitten von Mur, Drau, Donau und Salzach zu finden. Zur Stabilisierung der Sohle und zur ökologischen Aufwertung wurden in den letzten Jahrzehnten vermehrt Flussaufweitungen zur Reduktion der Sohlbelastung umgesetzt. Die Erfahrungen der letzten Jahre haben gezeigt, dass im Aufweitungsbereich selbst die sohlstabilisierenden Effekte greifen. Allerdings stellen die Systemübergänge von beengten (regulierten) zu aufgeweiteten Flussabschnitten in erodierenden Flussstrecken besondere Problembereiche dar. Es besteht dabei die Gefahr, Erosionstendenzen flussauf und flussab der Aufweitung zu verstärken (Requena et al., 2005).

Als Lösung dieses Problems wurde von Sattler (2012) der Rauteppich konzipiert, um den Eintiefungen im Nahbereich einer Aufweitung entgegen zu wirken. Diese technische Maßnahme soll Energie durch Turbulenzen, ausgelöst von großen Wasserbausteinen, umwandeln.

In diesem Beitrag werden die Untersuchungen zu dieser Maßnahme präsentiert. Untersucht wurden die Rauigkeit der Maßnahme, sowie eine mögliche Minderung der Rauigkeit des Rauteppichs durch ein Verlanden unter Geschiebetrieb. Des Weiteren wurden eventuelle negative Auswirkungen im Anschlussbereich der Maßnahme auf das ursprüngliche Bett analysiert. Ziel der Modellversuche war es, Bemessungsgrundlagen für den Rauteppich zu erarbeiten.

2 Methodik

2.1 Erhebung der Rauigkeit

Die Versuche wurden an einer drei Maßstäbe umfassenden Modellfamilie durchgeführt. Die Modelle der Maßstäbe 1:15, 1:25 und 1:40 wurden in einer 30 cm breiten Glasrinne aufgebaut. Die Versuche unter Geschiebetrieb erfolgten an einem Modell im Maßstab 1:40 in einer 54 cm breiten Glasrinne. Es wurden fünf Gefälle zwischen 1 und 5 Promille untersucht. Um die Auswirkungen der Verlegemethode der Steine auf die Wirkungsweise des Rauteppichs überprüfen zu können, wurden die Versuche sowohl an einer „geschütteten“ als auch an einer „gesetzten“ Variante getestet (Abbildung 1).

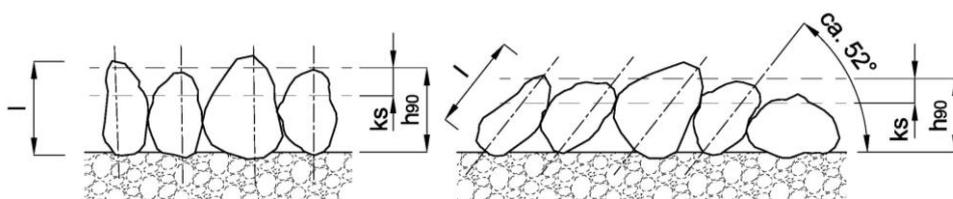


Abb. 1 Gesetzte und geschüttete Steine und deren geometrische Parameter

Als „gesetzt“ wird das gezielte Versetzen der Steine „Stein für Stein“ verstanden, wobei die längste Achse senkrecht angeordnet wird. Diese Variante stellte die Basis des Konzeptes und der Erstuntersuchungen dar. Der Begriff „geschüttet“ ist selbsterklärend, hier wurde lediglich darauf geachtet, eine Anhäufung von Steinen übereinander zu vermeiden.

Die gewählten spezifischen Durchflüsse repräsentieren Naturwerte von 1 m³/sm bis 25 m³/sm. Sie sind angelehnt an Hoch- bzw. Niederwasserphasen der Salzach im Bereich Tittmoninger Becken (ca. Fkm 33).

2.2 Versuche mit Geschiebe

Die Wirkung des Rauteppichs unter Geschiebebetrieb wurde an Modellen im Maßstab 1:40 in der Glasrinne des Bundesamts für Wasserwirtschaft in Wien getestet. Die Zugabe erfolgte über ein Förderband am oberen Ende der Rinne (Abbildung 2). Durch Beladen des Förderbandes mit einer definierten Menge an Geschiebe und Einstellen einer konstanten Fördergeschwindigkeit ließ sich die kontinuierliche Geschiebezugabe steuern. Sie orientierte sich an der Geschiebe-transport-Formel von Smart und Jäggi (1983). Basierend auf der Korngröße der natürlichen Deckschicht der Salzach im Tittmoninger Becken mit $d_{90} = 48,0$ mm und $d_{30} = 6,4$ mm, wurde ein Sand mit $d_{90} = 1,20$ mm und $d_{30} = 0,16$ mm für die Sedimentzugabe gewählt.

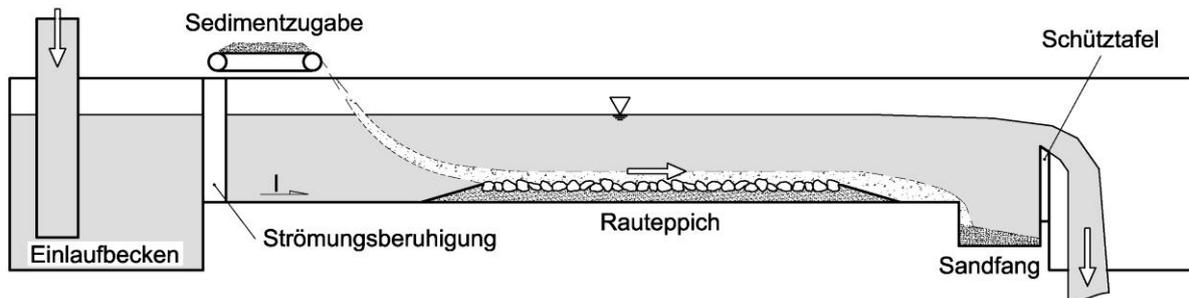


Abb. 2 Versuchsaufbau mit Sedimentzugabe

2.3 Überwachung der Bettgeometrie und Wasserspiegel

Zur Überwachung der Stabilität, der Berechnung der Wassertiefen und zur Erhebung von Daten zur Analyse von Beziehungen zwischen Bettgeometrie, Seitenlängen der verwendeten Wasserbausteine und Stricklerwert der Sohle, wurde die Bettoberfläche mithilfe eines Punkt- und/oder eines Linienlasers aufgenommen. Verwendet wurden ein Linienlaser der Firma Leutze-electronics sowie ein Punktlaser der Firma Baumer. Die Position in Längsrichtung (X-Richtung) der Laseraufnahmen wurde mit Hilfe eines Inkrementalgebers überwacht. Die so erhaltenen Profile im Abstand von 0,5 mm wurden analog zur Auflösung des Fächerlasers von ca. 1 mm zu einem digitalen Geländemodell mit einer Auflösung 1 x 1 mm umgerechnet. Die Wasseroberfläche wurde während der Versuchsdurchführung mehrmals vermessen.

In der 30 cm Rinne wurde die Wasseroberfläche mittels Stechpegel und Position in X-Richtung über ein an der Rinne montiertes Maßband bestimmt. In der 54 cm breiten Rinne kam eine Ultraschallsonde der Firma Baumer in Kombination mit einem Inkrementalgeber zum Einsatz, der die Aufnahme von Wasserspiegellängsprofilen erlaubte.

2.4 Versuchsaufbau zur Vor- und Nachbettsicherung

Für die Versuche zur Vor- und Nachbettsicherung wurde der Rauteppich im Maßstab 1:40 auf einer 75 mm hohen Sandschicht aufgebaut. Der Sand mit denselben Korngrößen des Geschiebes stellt den natürlichen erodierbaren Untergrund dar.

Um eine übermäßige Erosion des Vor- und Nachbettes mit genügender Sicherheit ausschließen zu können, wurden die Versuche zur Vor- und Nachbettsicherung mit Unterwasserspiegellagen zwischen Normal- und Grenzabflusstiefe durchgeführt. Außerdem wurde die Geschiebezugabe auf die halbe Transportkapazität beschränkt. Ein 5 m langer Rauteppich wurde um ein 1 m langes Vor- und ein 4 m langes Nachbett erweitert. Um die Auswirkungen

auf das Nachbett besser beurteilen zu können, wurden auch Versuche an einem Sandbett ohne vorgeschalteten Rauteppich durchgeführt.

3 Ergebnisse

3.1 Gemessene Rauigkeiten

Abbildung 3 zeigt die Strickler-Rauigkeitswerte für die gesetzte und die geschüttete Variante des Rauteppichs in den Maßstäben 1:15, 1:25 und 1:40. Für die maßgebenden spezifischen Natur-Durchflüsse bis $10 \text{ m}^3/\text{sm}$ bestätigt sich die ursprüngliche Annahme, dass der Rauteppich eine Strickler-Rauigkeit von 11 bis $14 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ hat. Die Ähnlichkeit der Ergebnisse unterschiedlicher Maßstäbe lässt den Schluss zu, dass für die Versuche mit Geschiebe der Maßstab 1:40 angewendet werden kann ohne die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu beeinträchtigen.

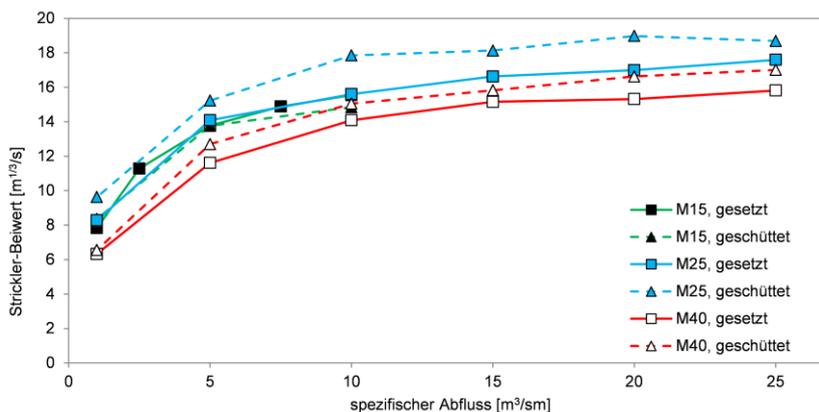


Abb. 3 Stricklerwerte für die gesetzte und die geschüttete Rauteppich-Variante für die Maßstäbe 1:15, 1:25 und 1:40 bei einem Sohlgefälle von 0,002

3.2 Formel zur Abschätzung der Rauigkeit

Aus der wissenschaftlichen Literatur und aus der Praxis ist bekannt, dass die Strickler-Rauheit kein rein geometrisches Maß ist, wie dies wünschenswert wäre, sondern vom Durchfluss abhängt (Abbildung 3). Daher wurde das Konzept der äquivalenten Sandrauheit in verschiedenen Varianten (Ermittlung der Sandrauigkeit aus Steindimensionen, Ermittlung der Sandrauigkeit aus Standardabweichung der Rauteppich-Sohle) auf seine Tauglichkeit überprüft. Während es bei unterschiedlichen Maßstäben und Bauarten nur zu geringen Abweichungen der Rauigkeit kommt, lässt sich eine deutliche Steigerung der Rauigkeit bei sinkendem Durchfluss erkennen (Abbildung 3).

Dieser Umstand steht im Zusammenhang mit der relativen Überdeckung der Rauigkeitselemente berechnet aus dem Quotienten von Wassertiefe h und absoluter Rauigkeit k_s . Auf Basis dieser Annahme und den Erkenntnissen von Meyer-Peter und Müller (1949) konnte Gleichung (1) erarbeitet werden.

$$k_{st} = \left(1 - \left[\frac{h}{k_s} \right]^{-0.4} \right) \frac{26}{k_s^{\frac{1}{6}}}$$

[1]

Die absolute Rauigkeit k_s kann bei der gesetzten Variante als 1/3 der durchschnittlichen Steinlänge l angenommen werden. Nach Analyse der mittels Laser aufgenommenen Modelle entspricht l dem 90 Prozent Quantil der Höhenverteilung h_{90} . Als Nullebene wird die Auflagefläche der Steine herangezogen (Abbildung 1). Durch Vergleiche der geschütteten zur gesetzten Variante wurde ein Kippwinkel der geschütteten Steine von rund 52° berechnet. Der Median des Verhältnisses der Steinabmessungen l/b_1 liegt bei 2,0 (M=1:40) 1,9 (M=1:25) und 2,3 (M=1:15), wobei b_1 die größte Steinbreite, im rechten Winkel auf l gemessen darstellt.

Der durch Gleichung (1) berechnete Stricklerwert wird iterativ berechnet und ist abhängig von der relativen Überdeckung des Rauteppichs h/k_s . Zur Abschätzung des Startwertes von h/k_s kann die Wassertiefe durch eine Schätzung des Stricklerwertes mit Hilfe des zweiten Teils der Gleichung (1) ($k_{st}=26/k_s^{1/6}$, Meyer-Peter und Müller; 1949) berechnet werden. Alternativ kann auch die Wassertiefe der Null-Variante eines realen Projektes verwendet werden.

In Abbildung 4 werden die mittels (1) geschätzten und die anhand der Versuche berechneten Strickler Werte gegenübergestellt. Es zeigt sich eine gute Übereinstimmung. Im zur Evaluierung herangezogenen Versuch 1:40 wird die Rauigkeit durch Gleichung (1) eher überschätzt. Während der Evaluierungsversuch in einer 54 cm breiten Rinne durchgeführt wurde, wurden die der Gleichung zugrunde liegenden Versuche in einer lediglich 30 cm breiten Rinne durchgeführt. Daraus ergibt sich ein ungünstiges Verhältnis von Wassertiefe / Gerinnebreite. Die aus diesem Verhältnis resultierenden größeren Randeinwirkungen könnten die Ursache der größeren Rauigkeiten der Modelle in der 30 cm Rinne sein.

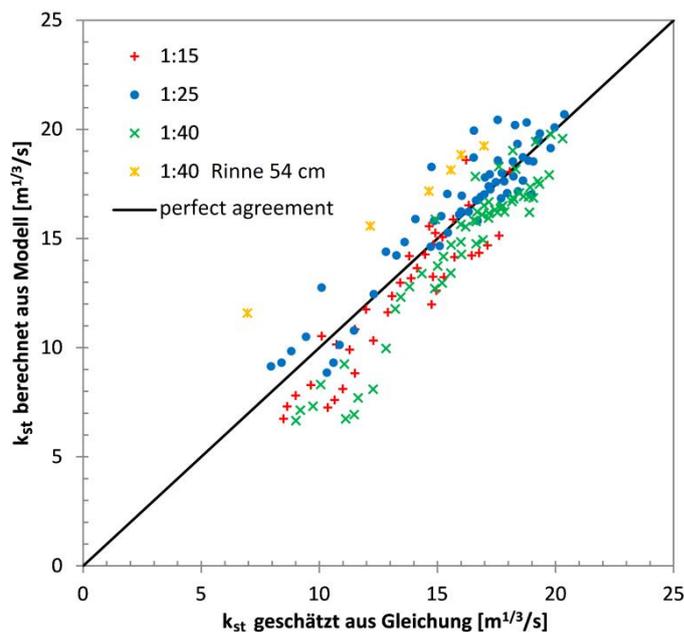


Abb. 4 Gegenüberstellung der geschätzten und berechneten Stricklerwerte

3.3 Auswirkung des Geschiebetriebes

Die Auswirkungen des Geschiebetriebes auf die Rauigkeit sind in Abbildung 5 dargestellt. $Q_s = 1$ bezeichnet eine Geschiebezugabe gleich der vollen Transportkapazität gemäß der Formel von Smart & Jäggi (1983), $Q_s = 0,5$ die halbe, und $Q_s = 0$ keine Geschiebezugabe. Der Zusatz „frei“ markiert den noch unverfüllten Rauteppich (kein Sediment in den Zwischenräumen). Es wurden die Rauteppich-Neigungen 2 ‰ (I2) und 4 ‰ (I4) untersucht.

Es zeigte sich eine Verringerung der Rauigkeit bei Zunahme des Geschiebetriebes. Bei steigendem Durchfluss wird der Rauteppich jedoch zunehmend wieder freigespült, und nähert sich wieder seiner ursprünglichen Rauigkeit an.

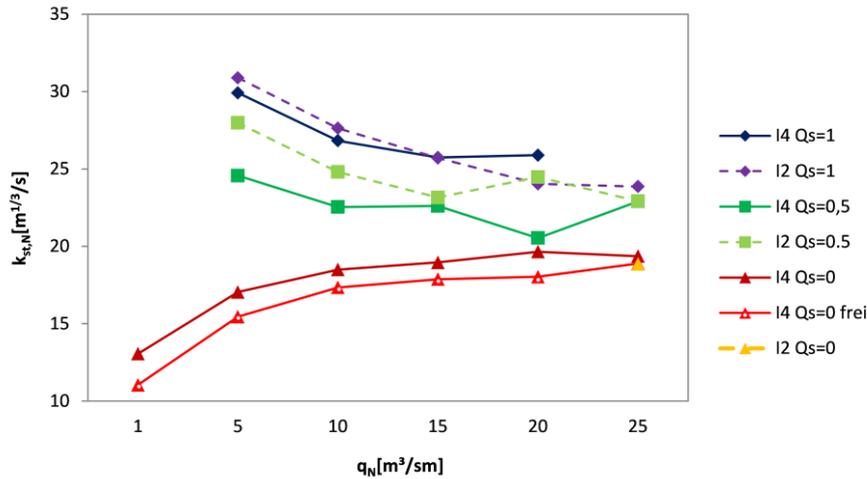


Abb. 5 Stricklerwerte der Modelle 1:40 mit und ohne Geschiebetrieb

3.4 Vor- und Nachbettsicherung

Abbildung 6 zeigt die erhaltenen Sohllagen im Vorbett (links) und im Nachbett (rechts).

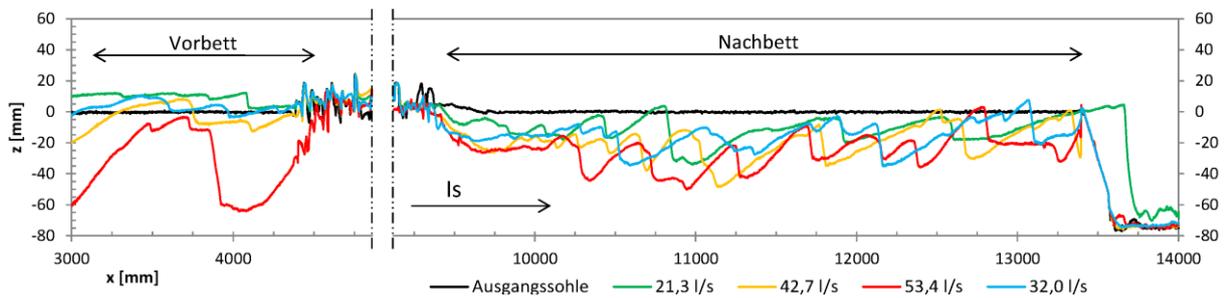


Abb. 6 Eintiefungen im Nahbereich des Rauteppichs, Vorbett (links) und Nachbett (rechts)

Die Bezugsebene mit der z -Koordinate 0 liegt auf $2/3$ der Steinspitzenhöhe. Flussab des Nachbettes wurde das Niveau mit Hilfe eines Keiles gesichert. Die Dauer der Versuche richtete sich nach der Zeit, die eine Düne benötigte, um von der Sedimentzugabe bis zum Keil am Ende der Versuchsstrecke zu gelangen. Es ist eine generelle Eintiefungstendenz festzustellen. Um eine Erhöhung der Eintiefung durch den Rauteppich ausschließen zu können wurde auch ein Versuch mit reinem Sandbett ohne Rauteppich durchgeführt (Abbildung 7).

This figure shows a cross-sectional profile of a pure sand bed with the vertical axis z in mm (from -80 to 40) and the horizontal axis x in mm (from 3000 to 14000). A vertical dashed line at $x \approx 5000$ mm separates the 'Vorbett' (forebay) on the left from the 'Nachbett' (tailwater) on the right. The 'Ausgangssohle' (initial bed) is shown as a black line. Two discharge rates are plotted: 53,4 l/s (green) and 42,7 l/s (yellow). The bed elevation generally decreases from left to right, with a notable dip in the tailwater region.

Abb. 7 Dünenentwicklung unter 2 ‰ bei $Q=53,4$ l/s ($q_N = 25$ m³/sm) und halber Transportkapazität eines reinen Sandbettes im Maßstab 1:40

Um die Absenkungen quantitativ bewerten zu können, wurde die durchschnittliche Absenkung als Mittelwert der Dünentäler berechnet. Zusätzlich wurden die Maxima der Absenkungen betrachtet. In Tabelle 1 sind die mittleren und maximalen Eintiefungen im Vor- und Nachbett des Rauteppichs jenen des reinen Sandbettes gegenübergestellt. Im Fall des HQ₃₀ Abflusses (Modelldurchfluss $Q_M = 53,4$ l/s, $q_N = 25$ m³/sm) wurden im Nachbett Eintiefungen von durchschnittlich 38,4 mm gemessen. Dies kommt Dünentälern von 1,5 m im Naturmaßstab gleich. Diese Absenkungen befinden sich im Bereich der durchschnittlichen Absenkungen des Sandbettes mit ca. 1,47 m. Die maximale Absenkung im Sandbett beträgt sogar umgerechnet 2,06 m während sie im Nachbett 1,99 m nicht überschreitet.

Tab. 1 Durchflüsse und Eintiefungen

	MQ	MJHQ	HQ ₁₀	HQ ₃₀
Q_N Salzach [m ³ /s]	250	1364	2000	2500
q_N Salzach* [m ³ /s m]	2,50	13,64	20,00	25,00
q_N Modell [m ³ /s m]	10,00	15,00	20,00	25,00
Q_M Modell** [l/s]	21,30	32,00	42,70	53,40
max. Absenkung Vorbett Natur [m]	0,10	-0,14	-0,49	-2,54
mittlere Absenkung Vorbett Natur [m]	0,30	-0,04	-0,39	-2,54
max. Absenkung Nachbett Natur [m]	-1,31	-1,40	-1,89	-1,99
mittlere Absenkung Nachbett Natur [m]	-0,75	-0,72	-1,23	-1,54
max. Absenkung Sandbett Natur [m]				-2,06
mittlere Absenkung Sandbett Natur [m]				-1,47

* Basierend auf Breite der Salzach im Tittmoninger Becken von ca. 100 m

** Basierend auf der Glasrinnenbreite von 0,54 m

Es wurde bestätigt, dass die starke Eintiefungstendenz unabhängig vom Vorhandensein des Rauteppichs ist. Sie ist vielmehr auf den Umstand der geringen Geschiebezugabe im Ausmaß der halben Transportkapazität zurückzuführen. Es kann davon ausgegangen werden, dass der Einbau eines Rauteppichs mit entsprechender Nachbettsicherung die Erosion des natürlichen Flussbettes nicht negativ beeinflusst.

Aufgrund des geringeren Wirkungsbereiches der Eintiefungen im Vorbett genügen hier Sicherungsmaßnahmen im Ausmaß der halben Nachbettsicherungslänge. Es zeigte sich, dass zwar einige Blöcke nachsinken, diese aber direkt die folgenden Reihen stützen und vor dem Einsinken schützen.

Ein Austauschen des letzten Meters Rauteppich gegen kleinere Steine um eine kontinuierliche Änderung der Rauigkeit zu erreichen, und das mögliche Ausbilden eines unvollkommenen Überfalles im Übergangsbereich zu verhindern brachte keine Verringerung der Eintiefungen im Unterwasser Bereich.

3.5 Konstruktive Ausbildung des Rauteppichs

Aus den Versuchsergebnissen wurde ein Umsetzungsvorschlag für den Rauteppich erarbeitet, der anhand Abbildung 8 erläutert wird:

Folgt dem Rauteppich keine, hinsichtlich der Sohlschubspannungen entlastende Aufweitung, sollte das Nachbett über ca. 40 m mittels kleineren Wasserbausteinen gesichert werden. Davon sollte das erste Viertel zu 100 % und die restlichen drei Viertel zu 40 % belegt werden.

Das Vorbett wird über ca. 20 Meter mit Wasserbausteinen derselben Klasse wie das Nachbett gesichert. Hier kann mit der Verlegung „ausgefranst“ begonnen werden. Bis zum Rauteppich sollte eine 100 prozentige Belegung erreicht sein. Die Vorbettsicherung und die ersten zwei Drittel des Teppichs werden direkt auf die natürliche Deckschicht gelegt. Das letzte Drittel des Rauteppichs und die Nachbettsicherung werden zu ca. zwei Drittel ihrer Mächtigkeit eingegraben.

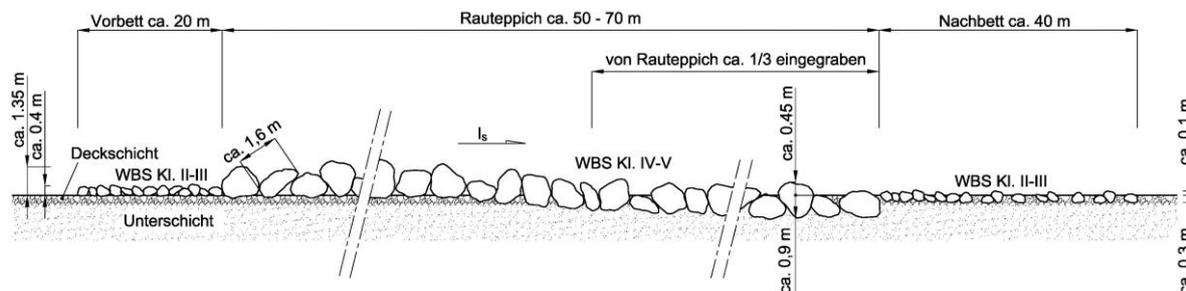


Abb. 8 Umsetzungsvorschlag des geschütteten Rauteppichs

4 Diskussion

Die aus den gemessenen Wasserspiegellagen ermittelten Strickler-Beiwerte stimmten für alle drei Maßstäbe sehr gut überein. Die geschüttete Variante erwies sich als nur unwesentlich glatter als die gesetzte Variante, wodurch die geschüttete Variante aufgrund des geringeren Materialbedarfs und der vereinfachten Herstellung zu bevorzugen ist.

Der Verringerung der Rauigkeit bei Zunahme des Geschiebetriebes steht ihre neuerliche Erhöhung mit steigendem Durchfluss durch Ausspülen gegenüber. Dieser Effekt wird als positiv angesehen, da der verfüllte Teppich dem natürlichen Habitat näher kommt, die Rauigkeit bei kritischen Abflüssen aber dennoch erhalten bleibt

Da sich im Vor- und Nachbettbereich kleinere Auskolkungen zeigten wird in diesem Bereich eine Sicherung empfohlen. Ein Bereich mit kleineren Wasserbausteinen schafft hier einen gestuften Rauigkeitsübergang und geringere Turbulenzen. Ansonsten zeigt der Rauteppich ausreichend Stabilität und keine Tendenzen zum Einsinken. Somit kann auf den Einsatz einer Filterschicht verzichtet werden. Der berechnete Kippwinkel kann in der Praxis während der Planungsphase zur groben Abschätzung der Mächtigkeit des Rauteppichs und der absoluten Rauigkeit bei bekannter durchschnittlicher Steinlänge benutzt werden. Beim Einbau vor Ort wird empfohlen, die Mächtigkeit durch eine Probeschüttung im Trockenen zu kontrollieren. Auch die angenommene absolute Rauigkeit kann so durch Abschätzen des Vertikalabstandes der Steinspitzen zu den Kontaktpunkten der umliegenden Steine nochmals überprüft werden (Abbildung 1).

5 Schlussfolgerungen

Der Rauteppich hat das Potential die Problematik der Eintiefungstendenzen vor und nach Flussaufweitungen zu lösen. Als Alternative zu Aufweitungen und Rampen könnte sich der Rauteppich für sich eintiefende Flussabschnitte mit Geschiebedefizit anbieten, wobei eine minimale Länge anzustreben ist, die sohlstabilisierende Wirkung in der Längserstreckung abzuschätzen wäre und die Auswirkungen auf den Hochwasserschutz und die Ökologie im Einzelfall zu überprüfen sind. Lassen es die Rahmenbedingungen zu, ist eine Aufweitung aus ökologischer Sicht zu bevorzugen.

Damit der Rauteppich als Alternative zu den herkömmlichen Bautypen bestehen kann, sind neben der physikalischen Wirkung die Kosten der Herstellung und Erhaltung entscheidend. Um die physikalische Wirkung sicher zu stellen wurde daher ursprünglich eine auf Rauheitswirkung optimierte, aber aufwändige Bauform gewählt. Dabei war vorgesehen, die Einzelsteine aufrecht zu schichten, um die Rauheitswirkung zu maximieren. Dies erfordert jedoch eine baulich aufwändige Herstellung durch ein Schichten „Stein für Stein“. Gleichzeitig erfordert diese Herstellungsform eine große Anzahl an Einzelblöcken um die jeweils erforderliche Gesamtfläche zu erreichen. In der Praxis wäre die Einbringung direkt im fließenden Gewässer (Niederwasserperiode) nur schwer möglich. Bereichsweise Baufeldabgrenzungen ggf. ergänzt durch erforderliche Wasserhaltungsmaßnahmen (analog der Herstellung rauer Blocksteinrampen), wären erforderlich.

Bei der vereinfachten Bauform werden die Steine „geschüttet“ ohne eine nachträgliche Anpassung (Abbildung 1) der Einzelsteine vorzunehmen. In der Praxis ist dadurch eine deutlich schnellere und einfachere Herstellung möglich. Die Einbringung der Einzelsteine könnte so direkt im fließenden Gewässer (Niederwasserperiode) mittels geeigneten Baumaschinen erfolgen. Aufwändige Baufeldabgrenzungen oder ergänzende Wasserhaltungsmaßnahmen sind nicht zu erwarten. Zusätzlich reduziert sich der erforderliche Materialaufwand gegenüber der ursprünglichen Konzeption um etwa 20 – 30 %, da die Steinblöcke bei der Schüttung nicht „stehend“ sondern tendenziell „liegend“ die Sohle bedecken und damit pro Steinblock eine größere Grundfläche belegt wird.

Die erarbeitete Formel (1) hat das Potential die Rauigkeit sehr rauer Bäche, basierend auf geometrischen Parametern besser zu bestimmen als bekannte Methoden, ihre Gebrauchstauglichkeit muss jedoch noch in der Praxis getestet werden.

5.1 Danksagung

Das Projekt wurde über das Bridge-Programm der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft FFG finanziert. Die Autoren bedanken sich bei Adrian Krottenhammer für die Durchführung der Versuche in der 30 cm Rinne.

Literatur

- Habersack, H.; Liedermann, M.; Tritthart, M., Hauer, C.; Klösch, M.; Klasz, G.; Hengl, M. (2012). Maßnahmen für einen modernen Flussbau betreffend Sohlstabilisierung und Flussrückbau – Granulometrische Sohlverbesserung, Bühnenoptimierung, Uferrückbau und Gewässervernetzung, Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, 64, 571-581.
- Hengl, M.; Stephan, U. (2008). Ermittlung des sohlmorphologischen Gleichgewichtsgefälles von Fließgewässern Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft 10/2008; 60(11), 193-199.
- Meyer-Peter, E.; Müller, R. (1949). Eine Formel zur Berechnung des Geschiebetriebes, Schweizer Bauzeitung, 67. Jahrgang, Nr. 3, Bern.
- Requena, P.; Bezzola, G.R.; Minor, H.-E. (2005). Aufweitungen in erodierenden Flüssen, wasser, energie und luft, 97. Jahrgang, Heft 7/8, 183-189.
- Sattler, S. (2012). Machbarkeitsstudie Naturflussvariante - Wasserbauliches Umsetzungs-konzept - Tittmoninger Becken Salzach FLKM 22.00 bis 42.20, Endbericht V1.2b, Oberösterreichische Umweltschutzbehörde

Smart, G.M.; Jäggi, M.N.R. (1983). Sedimenttransport in steilen Gerinnen, Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, 64, 188p.

Anschrift der Verfasser

Mag. DI Dr. Christine Sindelar
Universität für Bodenkultur Wien
Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau
Muthgasse 18, A-1190 Wien
christine.sindelar@boku.ac.at

DI Martin Pfemeter
Universität für Bodenkultur Wien
Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau
Muthgasse 18, A-1190 Wien
Martin.pfemeter@boku.ac.at

DI Christoph Roscheck
Universität für Bodenkultur Wien
Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau
Muthgasse 18, A-1190 Wien

DI Stefan Sattler
flussbau iC GesmbH
a member of iC group
Schönbrunner Str. 297, 1120 Wien
s.sattler@ic-group.org

DI Dr. Michael Hengl
Bundesamt für Wasserwirtschaft
Institut für Wasserbau und hydrometrische Prüfung
Severingasse 7, A-1090 Wien
michael.hengl@baw.at

Univ.Prov. DI Dr. Helmut Habersack
Universität für Bodenkultur Wien
Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau
Muthgasse 107, A-1190 Wien
helmut.habersack@boku.ac.at