



Technischer Bericht Nr.08b/2015

**Ergebnisse der Geschiebetransportmodellierung (GTM) im
Unterlauf der Saalach
– Kurzfassung –**

Auftraggeber: Wasserwirtschaftsamt Traunstein
Landesregierung Salzburg

Auftragnehmer: Institut für Wasser- und Umweltsystemmodellierung (IWS)
Lehrstuhl für Wasserbau und Wassermengenwirtschaft
Universität Stuttgart

Verfasser: Dipl.-Ing. Felix Beckers
Dr.-Ing. Markus Noack
Prof. Dr.-Ing. Silke Wieprecht

Stuttgart, 09.02.2016

Pfaffenwaldring 61
70569 Stuttgart

Tel.: +49 (0)711/685-64752
Fax: +49 (0)711/685-64746

E-Mail: wieprecht@iws.uni-stuttgart.de
Internet: <http://www.iws.uni-stuttgart.de>

Einleitung und Auftrag

Die flussbaulichen Korrekturen der Vergangenheit sowie die Eingriffe in den Geschiebehaushalt führten zu einem massiven Eintiefungsprozess in den bayerisch-österreichischen Grenzflüssen Saalach und Salzach. Insbesondere die Hochwasserereignisse in den Jahren 2002 und 2013 verdeutlichten erneut die Erosionsproblematik und den weiteren Handlungsbedarf. Bereits Anfang der 1990er Jahre veranlasste die Ständige Gewässerkommission nach dem Regensburger Vertrag die „Wasserwirtschaftliche Rahmenuntersuchung Salzach (WRS)“ mit dem Ziel, Maßnahmen zur Sanierung der Salzach im Bereich von der Saalachmündung bis zur Mündung in den Inn zu entwickeln. Ergebnis waren Lösungsvorschläge zur dynamischen Sohlstabilisierung mittels Aufweitungen des Gewässerbetts und zu sohlstützenden Querbauwerken.

Wesentliche Grundlage für die Planung weiterer Maßnahmen im Freilassinger Becken ist die möglichst genaue Kenntnis über die Geschiebetransportvorgänge in der Salzach sowie in der Saalach unterhalb der Talsperre Kibling, die als größter Nebenfluss der Salzach ein bedeutender Geschiebelieferant ist. Deshalb hat die Ständige Gewässerkommission 2013 den beiden Wasserbauverwaltungen empfohlen, ein Geschiebetransportmodell für Saalach und Salzach in Auftrag zu geben. Das Wasserwirtschaftsamt Traunstein und die Landesregierung Salzburg beauftragten daher das Institut für Wasser- und Umweltsystemmodellierung (IWS) der Universität Stuttgart mit einer numerischen zweidimensionalen Geschiebetransportmodellierung des oberen Freilassinger Beckens (Teilmodell 1) und der Unteren Saalach (Teilmodell 2).

In dieser Kurzfassung sind die wesentlichen Ergebnisse der Geschiebetransportmodellierung für den Unterlauf der Saalach (Teilmodell 2) zusammenfassend dargestellt. Für eine detaillierte Darstellung der Ergebnisse und deren Erläuterung wird auf den ausführlichen technischen Bericht des Teilmodells 2 Saalach (08b/2016) verwiesen. Die Ergebnisse des Teilmodells 1 Salzach finden sich im Bericht 08a/2015 sowie in dessen Kurzfassung.

Für die Untersuchungen wurde das zweidimensionale Feststofftransportsimulationsmodell Hydro_FT-2D eingesetzt.

Geschiebetransportmodellierung: Untere Saalach (Teilmodell 2)

Ziel der Geschiebetransportmodellierung an der Unteren Saalach ist neben der Quantifizierung des Geschiebeeintrags aus der Saalach in die Salzach eine langfristige Prognose der Sohlentwicklung in der Saalach selbst, basierend auf der Annahme, dass keine Änderungen an der jetzigen Situation erfolgen (IST-Zustand).

Das Modell umfasst den Bereich zwischen der Talsperre Kibling bei Fkm 20,69 und dem Kraftwerk Rott bei Fkm 2,4 und berücksichtigt neben der Geschiebebezugabe unterhalb der Talsperre Kibling mehrere Rampen und Querbauwerke, die den Geschiebetransport maßgeblich beeinflussen. Um sicherzustellen, dass mit dem Geschiebetransportmodell Hydro_FT-2D der Geschiebeeintrag in die Salzach und eine Prognose der langfristigen Sohlentwicklung korrekt abgebildet werden, ist eine Modellkalibrierung, d.h. eine Anpassung des Modells an vorhandene Messdaten erforderlich. Die vorhandene Datengrundlage erlaubt

eine Kalibrierung nur über die Sohlprofilaufnahmen und die daraus resultierende Sedimentbilanz. Die morphologische Kalibrierung erfolgt für den Zeitraum 1999 bis 2009. Im Anschluss werden die daraus resultierenden Modellparameter über einen Validierungszeitraum von 2009 bis 2013 überprüft. Der Einfluss der Unsicherheiten von modell- und gewässerspezifischen Parametern auf die Modellierungsergebnisse wird zusätzlich über eine Sensitivitätsanalyse quantifiziert, um so die modelltechnischen Auswirkung von Parametervariationen auf die Sohlentwicklung der Saalach und den Geschiebetransport in die Salzach zu untersuchen.

Die morphologische Kalibrierung (1999-2009) ergibt in der Unteren Saalach für die simulierte Sohlhöhenentwicklung eine mittlere absolute Abweichung von ca. ± 32 cm zur gemessenen Sohlhöhenentwicklung, während die Summe der Erosions- und Depositionsvolumina nahezu identisch zur Messung ist. Für die morphologische Validierung (2009-2013) beträgt die mittlere Abweichung für die simulierte Sohlhöhenentwicklung ± 28 cm und ca. 4 % Unterschied zu der gemessenen Summe der Erosions- und Depositionsvolumina. In Anbetracht der Komplexität des Modellgebiets (Geschiebezugabe, Bauwerke), den Unsicherheiten bezüglich der Datengrundlage und der Tatsache, dass das Geschiebetransportmodell nur auf die Sohlhöhenentwicklung und die daraus resultierende Sedimentbilanz verifiziert werden kann, zeigen die simulierten Ergebnisse eine gute Übereinstimmung mit den Messwerten. Eine ausführliche Bewertung der Kalibrierung und Validierung, einschließlich einer Auflistung der getroffenen Modellannahmen und deren Einfluss auf die Aussagefähigkeit der Modellergebnisse, ist in Teilbericht 08b/2015 enthalten.

Die Sensitivitätsanalyse macht die hohe Empfindlichkeit der transportwirksamen Parameter und der Variation der Geschiebezugabe unterhalb der Talsperre Kibling auf die Modellierungsergebnisse deutlich. Speziell die Bereiche an den Bauwerken sind sehr empfindlich auf Parametervariationen. Insbesondere zeigt sich dies am Triftwehr bei Bad Reichenhall, an der Nonner Rampe, an der Dreiriegelrampe bei Staufenbrück, an den Sohlgurten bei Piding, im Abschnitt zwischen Käferhamer Wehr und Zollhauswehr sowie am Kraftwerk Rott. Hier ist die Genauigkeit der Modellergebnisse mit einer höheren Unsicherheit behaftet.

Für die Prognosesimulation des IST-Zustands (Gerinnegeometrie Stand 2013, jährliche Geschiebezugabemenge an der Talsperre Kibling = 50.000 m³/a) werden die auf der Kalibrierung und Validierung basierenden Modelleinstellungen verwendet und ausgehend vom Jahr 2013 ein Zeitraum von insgesamt 84 Jahren in die Zukunft simuliert. Die Geschiebezugabe unterhalb der Talsperre Kibling wird als obere Randbedingung über eine Transport-Abfluss-Beziehung in Form einer Potenzfunktion in das Geschiebetransportmodell implementiert.

In Abb. 1 ist die mittlere Sohlhöhenentwicklung für diese Prognoserechnung mit den Zwischenzuständen im Abstand von jeweils 17 Jahren dargestellt.

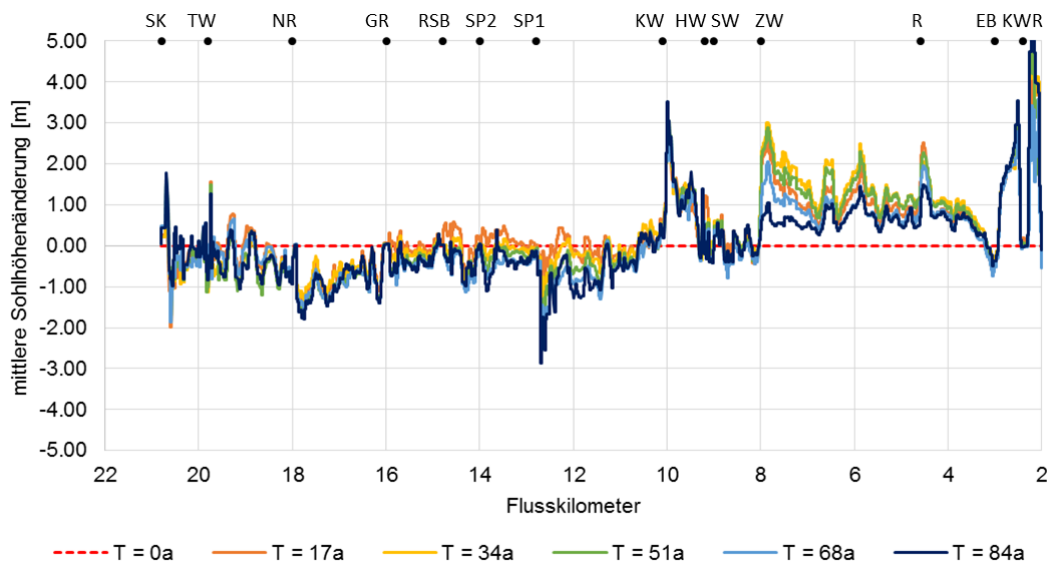


Abb. 1: Mittlere Sohlhöhenänderungen der Unteren Saalach für die Prognosesimulation des IST-Zustands über 84 Jahre mit Zwischenzuständen. Die Punkte mit Abkürzungen stellen die Lage der jeweiligen Bauwerke bzw. Zuflüsse dar.

SK	Sperre Kibling	KW	Käferhamer Wehr
TW	Triftwehr	HW	Hammerauer Wehr
NR	Nonner Rampe	SW	Staatswehr
GR	Grießer Rampe	ZW	Zollhauswehr
RSB	Dreiriegelrampe Staufbrück	RMP	Rampe bei Fkm 4,6
SP2	Sohlgurt Piding 2	EB	Schwelle Eisenbahnbrücke
SP1	Sohlgurt Piding 1	KWR	Kraftwerk Rott

Der Abschnitt zwischen der Talsperre Kibling und dem Triftwehr ist ein morphologisch sehr dynamischer Bereich, der über den Prognosezeitraum keinen eindeutigen Erosions- oder Depositionstrend zeigt. Darauf folgt der Bereich bis zur Nonner Rampe, der zunächst Erosionstendenz zeigt, sich aber bereits nach ca. 17 Jahren auf dem tiefer liegenden Niveau stabilisiert (keine weitere Eintiefung). Direkt unterhalb der Nonner Rampe stellt sich eine Erosion ein, die bis zur Grießer Rampe kontinuierlich abnimmt und bis zum Ende des Simulationszeitraums eine nahezu stabile Sohlage erreicht. Im weiteren Verlauf bis Fkm 12,8 treten zunächst vereinzelt Anlandungen auf, die mit fortschreitender Simulationsdauer in lokale Erosionen übergehen. Dabei ist die Gewässersohle durch die Dreiriegelrampe bei Staufbrück und die beiden Sohlgurte bei Piding vor einer fortschreitenden Erosion gesichert und erreicht nach ca. 68 Jahren ein stabiles Sohlniveau (keine weitere Eintiefung). Eine massive Abnahme der mittleren Sohlhöhe (Erosion) tritt unterhalb des Sohlgurts 1 bei Piding auf. Diese Erosion nimmt bis zum Käferhamer Wehr kontinuierlich ab. Der Gleichgewichtszustand wird über den Prognosezeitraum nicht erreicht. Zwischen Fkm 10,2 und 8,0 befinden sich vier Querbauwerke in räumlich enger Abfolge (Käferhamer Wehr bei Fkm 10,2, Hammerauer Werkswehr bei Fkm 9,2, Staatswehr bei Fkm 8,9 und Zollhauswehr bei Fkm 8,0). In diesem Abschnitt stellt sich bereits nach kurzer Zeit eine Anlandung ein, anschließend bleibt die Sohle aber nahezu stabil (Gleichgewichtszustand). Der Bereich zwischen dem Zollhauswehr (Fkm 8,0) und der Eisenbahnbrücke bei Freilassing (Fkm 3,0), ist durch eine deutliche An-

landung der Sohle gekennzeichnet, die ein Maximum nach ca. 34 Jahren erreicht, wobei bis zum Ende des Simulationszeitraums ein Teil der Anlandung wieder abgetragen wird. Der letzte Bereich zwischen der Eisenbahnbrücke (Fkm 3,0) und dem Kraftwerk Rott (Fkm 2,4) wird vor allem durch die Wehrsteuerung und den damit verbundenen Spülereignissen bei Hochwasser beeinflusst. Die Effekte der Spülungen werden im Modell so simuliert, dass das Sohlniveau im Oberwasser des Kraftwerks konstant auf der Referenzsohlhöhe von 2002 gehalten und das ankommende Geschiebe kontinuierlich nach unterstrom weitergegeben wird (ganzjährige Geschiebedurchgängigkeit). Diese stark vereinfachende Annahme ist notwendig, da die Wehrsteuerung des Kraftwerks Rott und die daraus resultierenden Spülprozesse modelltechnisch nicht direkt nachgebildet werden können. Da die Referenzsohle 2002 gegenüber dem Ausgangszustand der Modellierung (Sohle 2013) höher liegt, wird als Sohlhöhenentwicklung hier eine entsprechend stabile Anlandung wiedergegeben.

In Abb. 2 ist für die Prognosesimulation die mittlere Geschiebejahresfracht der Unteren Saalach über den gesamten Prognosezeitraum von 84 Jahren dargestellt.

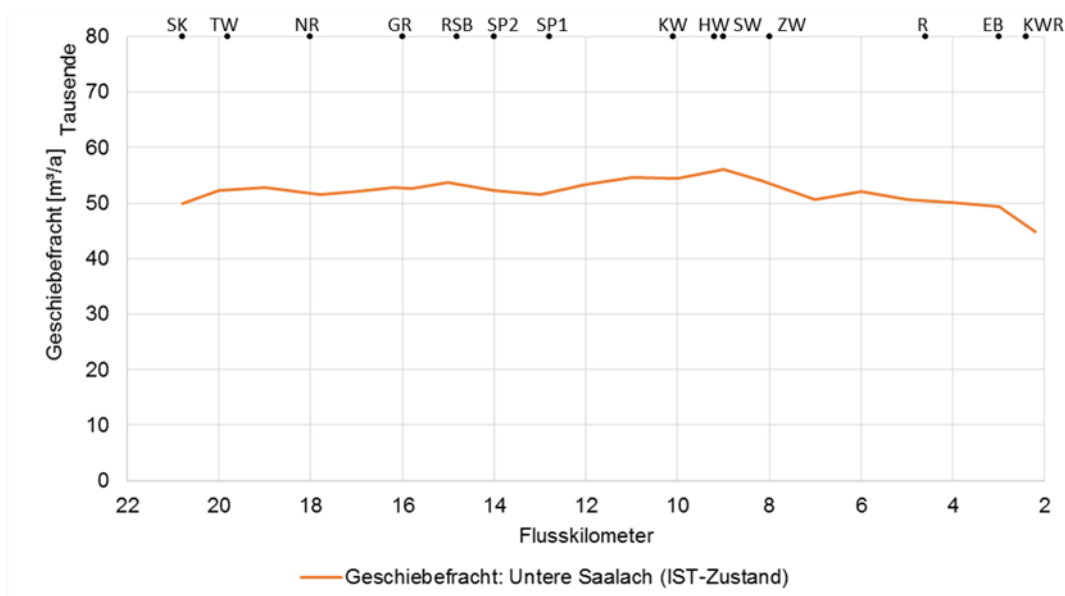


Abb. 2: Mittlere Geschiebejahresfracht der Unteren Saalach für die Prognosesimulation des IST-Zustands. Die Punkte mit Abkürzungen stellen die Lage der jeweiligen Bauwerke bzw. Zuflüsse dar.

SK	Sperre Kibling	KW	Käferhamer Wehr
TW	Triftwehr	HW	Hammerauer Wehr
NR	Nonner Rampe	SW	Staatswehr
GR	Grießler Rampe	ZW	Zollhauswehr
RSB	Dreiriegelrampe Staufenbrück	RMP	Rampe bei Fkm 4,6
SP2	Sohlgurt Piding 2	EB	Schwelle Eisenbahnbrücke
SP1	Sohlgurt Piding 1	KWR	Kraftwerk Rott

Ausgehend von den jährlich zugegebenen 50.000 m³/a Geschiebe unterhalb der Sperre Kibling, sind die Fluktuationen der Geschiebejahresfrachten entlang der untersuchten Strecke relativ gering und betragen maximal ca. 10% Abweichungen (+/- ca. 5.000 m³/a). Zunächst

ist ein geringer Anstieg der Geschiebejahresfracht bis zum Fkm 19,0 zu beobachten. Danach stellt sich eine Abnahme der Geschiebejahresfracht bis zur Nonner Rampe ein. Im weiteren Verlauf bis zur Dreiriegelrampe bei Staufenbrück steigt die Geschiebejahresfracht stetig an. Dies korreliert mit der Entwicklung der Sohlage in diesem Abschnitt (vgl. Abb. 1), die über den Prognosezeitraum eine Erosion zeigt. Unterhalb der Dreiriegelrampe bis zum Sohlgurt Piding 1 ist ein Rückgang der Geschiebejahresfracht erkennbar. Darauf folgt ein erneuter Anstieg der mittleren Geschiebejahresfracht bis Fkm 11,0. Dies bedeutet, dass im Längsverlauf zunehmend mehr Material transportiert wird und unterstreicht die dort über weite Bereiche vorliegende Erosion (siehe Abb. 1). Im Anschluss ist ein horizontaler Abschnitt bis zum Käferhamer Wehr erkennbar, gefolgt von einem Anstieg der mittleren Geschiebejahresfracht bis Fkm 9,0. Die mittleren Sohlhöhenänderungen (Abb. 1) zeigen dort zwar eine Anlandung, die sich bereits nach kurzer Simulationszeit im Gleichgewichtszustand befindet, jedoch sind Bereiche des Querprofils über die gesamte Simulationszeit durch Erosion geprägt, die den Anstieg in Abb. 3 erklären. Anschließend fällt die mittlere Geschiebejahresfracht bis Fkm 7,0 ab (Anlandungen, Abb. 1). Im Anschluss fällt die mittlere Geschiebejahresfracht, nach einer kurzen Zu- und Abnahme, bis Fkm 3,0 nahezu kontinuierlich ab. Zwischen der Eisenbahnbrücke und dem Kraftwerk Rott sind die Stauraumspülungen des Kraftwerks durch den Bagger- und Verklappalgorithmus in das Modell implementiert, wodurch die Geschiebejahresfracht auf ca. 45.000 m³ pro Jahr absinkt. Eine ausführliche Beschreibung der Ergebnisse findet sich in dem Gesamtbericht zum Teilmodell 2 (Saalach) 08b/2015.

Eine Änderung der bestehenden Randbedingungen (z.B. Modifikation der Geschiebezugabe an der Sperre Kibling) würde zu Abweichungen gegenüber den dargestellten Ergebnissen führen.

Geschiebeeintrag in die Salzach (Teilmodell 1)

Als größter Nebenfluss der Salzach ist die Saalach der bedeutendste Geschiebelieferant für die Salzach. Neben einer langfristigen Prognose der Sohlentwicklung der Saalach selbst, soll die Geschiebetransportmodellierung der Unteren Saalach auch den langjährigen mittleren Geschiebeeintrag aus der Saalach in die Salzach quantifizieren. Der jährliche Geschiebeaustrag aus der Saalach in die Salzach hängt im Wesentlichen von zwei Faktoren ab: der Geschiebezugabemenge unterstrom der Talsperre Kibling (derzeit sind wasserrechtlich 50.000 m³ pro Jahr festgesetzt) und der Wehrsteuerung am Kraftwerk Rott. Die Transportdauer des Geschiebes von der Talsperre Kibling bis zur Mündung in die Salzach wird auf ca. 10-15 Jahre geschätzt. Der Einfluss des Kraftwerks Rott spielt insbesondere im Hochwasserfall eine bedeutende Rolle, da die abflussbedingte Wehrsteuerung die Menge des jeweils mobilisierten Geschiebes (Spülereignisse) beeinflusst, die in die Salzach eingetragen wird.

Abb. 3 verdeutlicht diesen Einfluss anhand der abgeleiteten Transport-Abfluss-Beziehungen am unteren Ende des Teilmodells 2 aus den Daten der Kalibrierung, Validierung und der IST-Prognose. Die grundlegende unterschiedliche Charakteristik der jeweiligen Transport-Abfluss-Beziehungen ist ausschließlich auf den Einfluss des Kraftwerks Rott und dessen vereinfachte Implementierung im Modell zurückzuführen. Während die Simulationen der Kalibrierung und Validierung die durchgeführten Spülereignisse am Kraftwerk gemäß den Auf-

zeichnungen der Flussprofil-Beweissicherung enthalten, wird in der Prognosesimulation das Kraftwerk durch das kontinuierliche Einhalten der Referenzsohle von 2002 als quasi-geschiebedurchgängig angenommen, woraus eine Transport-Abfluss-Beziehung mit deutlich flacherem Verlauf resultiert. Dies führt dazu, dass insbesondere für geringe bis mittlere Abflüsse erheblich höhere Transportraten simuliert werden als in der Kalibrierung und Validierung. Es ist also davon auszugehen, dass die Transport-Abfluss-Beziehung aus der IST-Prognose nicht unbedingt mit dem tatsächlichen Geschiebeaustrag übereinstimmt.

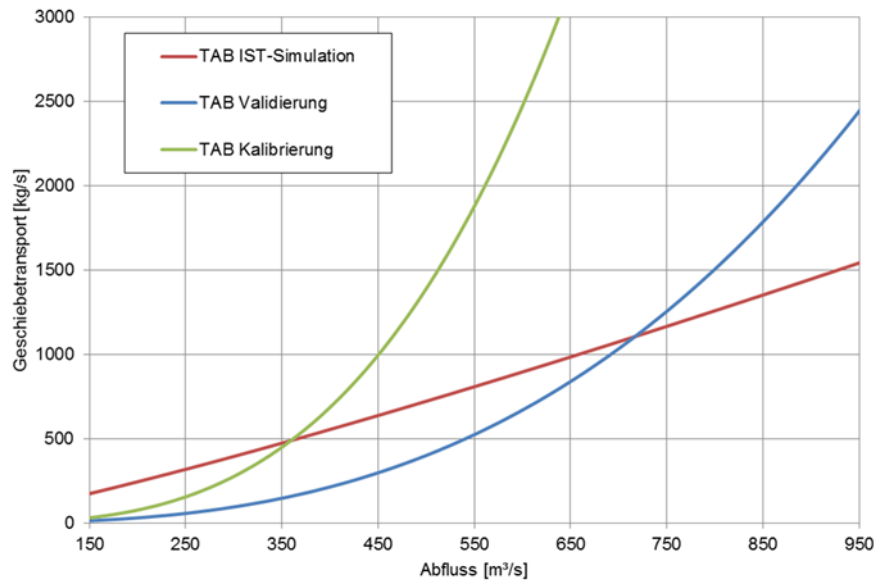


Abb. 3: Abgeleitete Transport-Abfluss-Beziehungen am unterstromigen Modellrand des Teilmodells 2 (Untere Saalach) für den Kalibrierungszeitraum, Validierungszeitraum und für die Prognosesimulation des IST-Zustands.

Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Die Prognosesimulation für die Fortführung des „IST-Zustandes“ der Unteren Saalach zwischen der Talsperre Kibling und dem Kraftwerk Rott bei Freilassing zeigt bei Einhaltung der bestehenden Randbedingungen, der konstanten Geschiebezugabe unterhalb Kibling von 50.000 m³/a, dass sich zwischen der Talsperre Kibling und dem Käferhamer Wehr sowie zwischen dem Zollhauswehr und dem Kraftwerk Rott unterschiedliche Sohlentwicklungen einstellen. Für den Bereich oberstrom des Käferhamer Wehrs wird eine Erosionstendenz vorausgesagt, die insbesondere unterstrom des Sohlgurts 1 bei Piding sehr ausgeprägt ist, während für den Bereich unterstrom des Käferhamer Wehrs nahezu durchgehend Anlandungen zu erwarten sind. Die Geschiebetransportprozesse sind maßgeblich durch die Querbauwerke und durch die Geschiebezugabe unterhalb der Talsperre Kibling beeinflusst. Insbesondere die Steuerung des Kraftwerks Rott, welche modelltechnisch nicht direkt in die Simulationsrechnungen implementierbar ist, wirkt sich deutlich auf den Geschiebetransport am Modellende aus, der zugleich den Geschiebeeintrag in das Teilmodell 1 darstellt.

In Abstimmung mit den Auftraggebern wird deshalb, basierend auf den Modellierungsergebnissen, eine modifizierte Transport-Abfluss-Beziehung festgelegt, die den Geschiebeeintrag in das Teilmodell 1 (Salzach) definiert. Für die durchzuführenden Prognoserechnungen im

Rahmen des Teilmodells 1 (Salzach) wird, auf der sicheren Seite liegend, ein Geschiebeeintrag aus der Saalach von 24.000 m³ pro Jahr festgelegt.

Aufgrund der dargelegten Ergebnisse empfiehlt das IWS, dass für bevorstehende wasserbauliche Planungen im Gewässer ein Nachweis zu erbringen ist, dass kein negativer Einfluss auf die Geschiebekontinuität der Saalach und somit für den Geschiebeeintrag in die Salzach zu erwarten ist.

Zusätzlich sollte eine Verifizierung der Kalibrierung, Validierung und Prognose des IST-Zustands erfolgen, sobald in dem hier verwendeten numerischen Modell die Steuerung des Kraftwerks Rott umsetzbar ist. Eine Weiterführung der kontinuierlichen Dokumentation der am Kraftwerk Rott gespülten Geschiebemengen ist erforderlich, um den Geschiebeeintrag in die Salzach bewerten zu können. Gleichzeitig wäre auch die zum Zeitpunkt dieser Untersuchung erst in Umsetzung begriffene Absenkung der Rampenkronen an der Eisenbahnbrücke flussauf des Kraftwerks Rott zu berücksichtigen.

Der Einfluss auf den Sohlentwicklungsprozess der Saalach durch eine Änderung der bestehenden Randbedingungen, insbesondere der Geschiebezugabe unterhalb der Talsperre Kibling, sollte in einer gesonderten Studie untersucht werden.