

## Thema: **Hydraulik naturnaher Fließgewässer II**

Zuwendungsnummer: 25006

### **1 Kurzbeschreibung des Forschungsergebnisses.**

Die Arbeit ist die Fortsetzung des BWPlus-Forschungsvorhabens BWC 21019 „Hydraulik naturnaher Fließgewässer“ (09/2002 bis 02/2005) mit dem Ziel, die bisher erarbeiteten Empfehlungen zur Entwicklung und Unterhaltung naturnaher Fließgewässer in urbanen Bereichen weiter zu verbessern. Der Untersuchungsauftrag gliedert sich in zwei Teilbereiche: Die Archivierung und Auswertung der vorhandenen Naturmessdaten der LUBW, sowie die Bewertung der Geschiebeansammlung der Enz unterhalb der Brücke in Niefern.

#### **1.1 Entwicklung der hydraulischen Verhältnisse Murr/ Steinheim**

##### *1.1.1 Ausgangssituation und Zielsetzung*

Für die ausgebauten Murr sind Naturmessdaten und Messreihen in einem Zeitraum von über 20 Jahren vorhanden. Neben den Erhebungen der Flora- und Faunaentwicklung entlang der Ufer und Vorländer wurden morphologische Daten sowie Wasserstände durch die LUBW aufgenommen. Diese Daten wurden geordnet und in einer Datenbank archiviert. Damit kann auf zahlreiche Daten- und Messreihen durch einfache Verknüpfungen zurückgegriffen werden

Hierfür wird ein 1D-HN-Modell mit dem Programm HEC-RAS für den Bereich Flusskilometer 6+100 bis 1+900 aufbauend auf den Geometriedaten 1997 erstellt und anhand von Wasserspiegellagenfixierungspunkten kalibriert. Die Implementierung der Vorlandvegetation erfolgt entsprechend den Vegetationskartierungen von 1996 und 1997. Die hierfür notwendigen Rauheitsbeiwerte werden entsprechend den Empfehlungen des Vorgängerprojektes BWC 21019 ermittelt.

##### *1.1.2 1D-HN-Modell*

Die Wasserspiegellagenberechnungen ergaben ein Überströmen der Dämme bereits ab einem  $HQ_{20}$  oberhalb von Steinheim und innerhalb der Ortslage Steinheim (siehe rote Kreise in Abbildung 1.1). Die Flutung der landwirtschaftlichen Flächen oberstrom Flusskilometer 4+800 gewollt. Das Bemessungshochwasser ist für diesen Bereich auf ein  $HQ_{20}$  ausgelegt.

Jedoch der extreme Strauch- und Baumbewuchs der Bottwarmündung (Flusskilometer 3+000) waren die Veranlassung zu untersuchen, welche Auswirkungen komplett mit Sträuchern und Bäumen bewachsene Vorländer auf den Wasserspiegel haben. Hierzu wurden zwei extrem Szenarien modelliert.

Dies waren reiner Grasbewuchs und vollständiger, sehr dichter Bewuchs der Vorländer mit Büschen und Bäumen. Diese Szenarien wurden gewählt, um beurteilen zu können, welche maximalen Auswirkungen durch entsprechende Gehölzpflege auf die Wasserspiegellage zu erwarten sind. Der Vergleich der einzelnen Wasserspiegellagen zeigt, dass durch entsprechende Unterhaltung die Probleme an den kritischen Querprofilen nicht behoben werden können. Selbst ein rein Grasbestandenes Vorland kann ein 20-jährliches Hochwasser innerhalb der Ortslage nicht abführen.

Der Wasserspiegelanstieg infolge des Vegetationsbestandes entlang der Vorländer auf Basis der Erhebung von 1997 liegt im Bereich der Ortschaft Steinheim für ein  $HQ_{20}$  bei 31 cm, für ein  $HQ_{50}$  bei 39 cm und für ein  $HQ_{100}$  bei 43 cm. Ein komplett Weidenbestandenes Vorland würde zu einem weiteren Anstieg der Wasserspiegellagen für ein  $HQ_{20}$  28 cm, für ein  $HQ_{50}$  von 38 cm und für ein  $HQ_{100}$  von 47 cm führen.

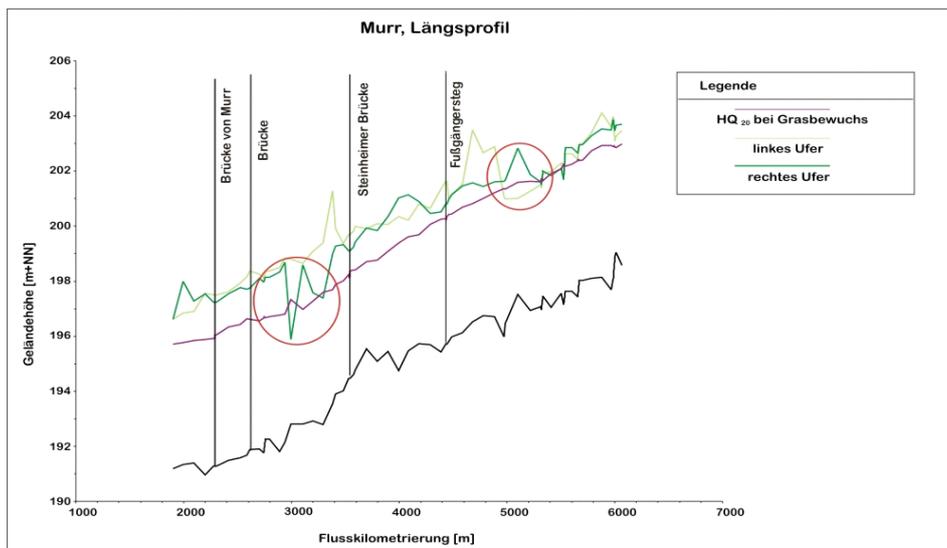
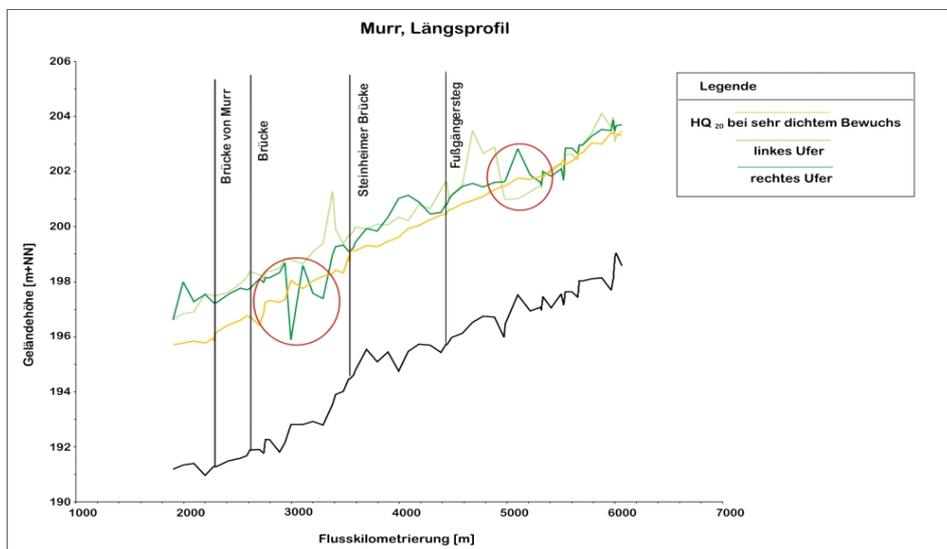
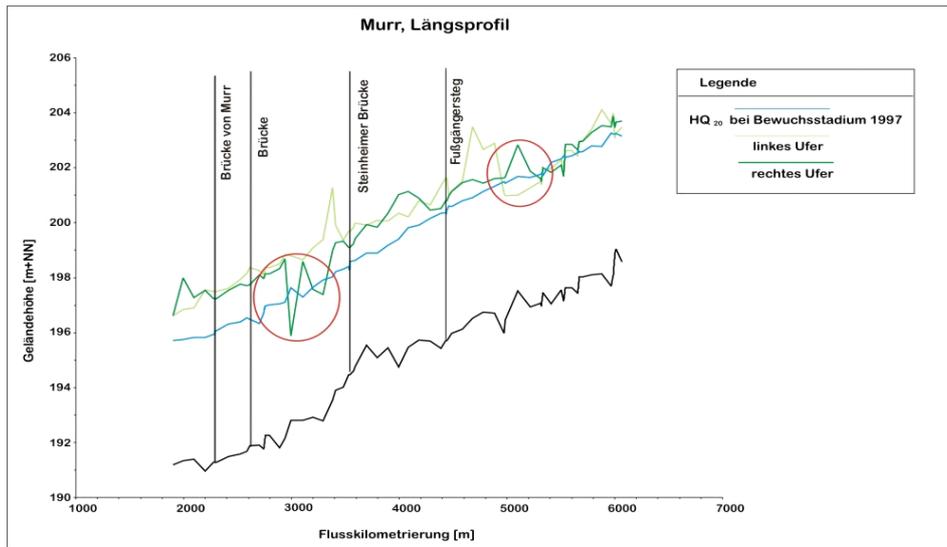


Abbildung 1.1: Längsprofile verschiedener Bewuchsszenarien

## 1.2 Geschiebeanlandung der Enz unterhalb der Brücke in Niefern

Die Geschiebeansammlung im Bereich der Brücke in Niefern (Enz-km 51+785) führt zu einer Verringerung des abflusswirksamen Querschnitts und beeinträchtigt die hydraulische Leistungsfähigkeit des Gerinnes. Ziel war die Klärung in wie weit die Geschiebeablagung zu einer Erhöhung der Wasserspiegellagen und einer Beeinträchtigung der Hochwassersicherheit beiträgt.

### 1.2.1 Erstellung des 1D- HN- Modells

Im Rahmen der Untersuchung wurde für die eindimensionalen Berechnungen der Wasserspiegellagen, Fließgeschwindigkeiten und Schubspannungen im Untersuchungsgebiet die Software HEC-RAS verwendet. Aus diesen Parametern wurde dann die Stabilität der Geschiebeansammlung beurteilt und Aussagen über die Hochwassersicherheit abgeleitet. Das Modellgebiet reicht von Flusskilometer 53+089 bis km 50+959 der Enz.

### 1.2.2 Szenarien

Für die Bestimmung der maximalen Auflandungshöhe des Geschiebes wurden verschiedene Geschiebehöhen modelliert und mit unterschiedlichen Abflussszenarien kombiniert. Zusätzlich wurden die Auswirkungen verschiedener Rauheiten auf der Geschiebeoberfläche untersucht, um den Einfluss eines etwaigen Bewuchses auf der Geschiebeansammlung zu berücksichtigen.

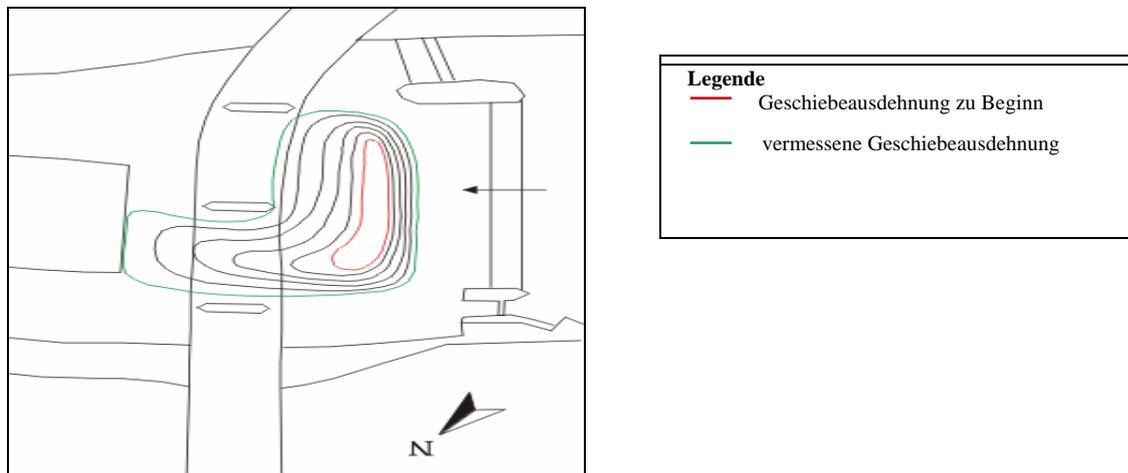


Abbildung 1.2: Ausdehnung des Geschiebes mit der Zeit (Läkemäker 2005)

### 1.2.3 Schubspannungsverlauf entlang des Modellgebietes

Um Aussagen über die Transportvorgänge im Modellgebiet machen zu können, ist es notwendig den Schubspannungsverlauf entlang des Gewässers zu kennen. Die über den Querschnitt gemittelten Schubspannungen bei verschiedenen Abflüssen sind in Abbildung 1.3 dargestellt. Für eine bessere Übersicht beschränkt sich die Abbildung auf vier unterschiedliche Abflüsse (100 m<sup>3</sup>/s, 250 m<sup>3</sup>/s, 500 m<sup>3</sup>/s und 800 m<sup>3</sup>/s) (HQ<sub>100</sub> = 506m<sup>3</sup>/s).

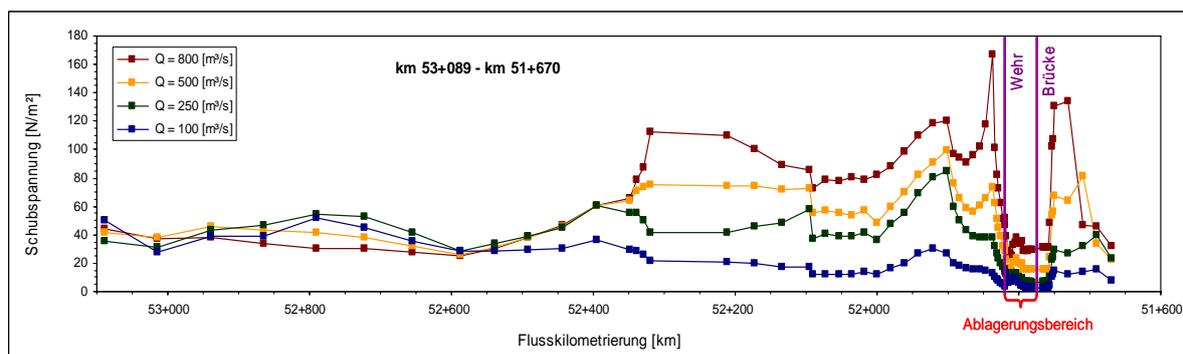


Abbildung 1.3: Längsprofil des Schubspannungsverlaufs

Aus Abbildung 1.3 ist ersichtlich, dass direkt unterstrom des Wehrs sehr viel kleinere Schubspannungen auftreten, als in dem Gewässerabschnitt oberstrom des Wehrs. Erst unterhalb der Brücke mit Beginn der Insel (km 51+758) nehmen die Schubspannungen wieder zu. Die geringen Schubspannungen in diesem Bereich entstehen durch die Aufweitung unterhalb des Wehres.

#### 1.2.4 Hochwassersicherheit

Um beurteilen zu können welchen Einfluss das abgelagerte Geschiebe auf die Hochwassersicherheit im Untersuchungsgebiet hat, wurden die Wasserspiegellagen für verschiedene Geschiebevarianten und Abflusszenarien mit HEC-RAS berechnet.

Bei großen Abflüssen (ab  $350 \text{ m}^3/\text{s}$ ) kann das Wasser nicht mehr ungehindert unter der Brücke durchfließen. Auf der rechten Seite in Fließrichtung gesehen staut sich das Wasser durch die Fahrbahnplatte der Brücke (vgl. Abbildung 1.4, roter Kreis). Dies bedingt die Erhöhung der Wasserspiegellagen oberstrom der Brücke. Mit steigendem Abfluss oder zunehmender Geschiebeansammlung vergrößert sich dieser Einfluss auf die Wasserspiegellage. Als Geschiebehöhen wurden zum Einen die höchste Geschiebevariante (Variante 9) und zum Anderen die Variante ohne Geschiebe gewählt. Der Unterschied der Wasserspiegellagen bei den verschiedenen Geschiebevarianten beträgt bei  $Q = 350 \text{ m}^3/\text{s}$  elf Zentimeter und bei  $Q = 800 \text{ m}^3/\text{s}$  sieben Zentimeter ( $HQ_{100} = 506 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

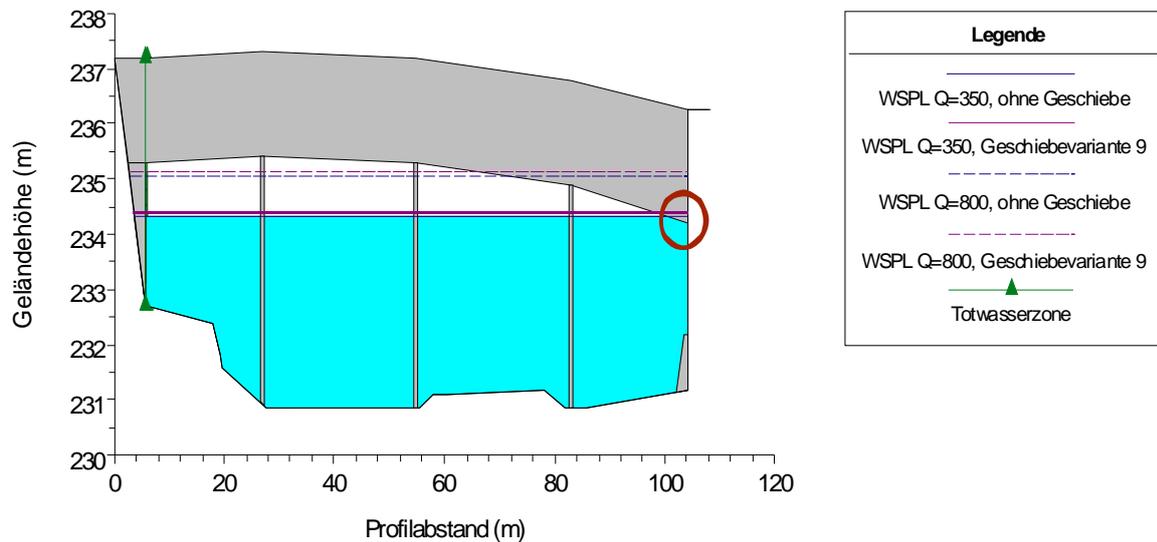


Abbildung 1.4: Querprofil der Brücke mit den Wasserspiegellagen bei Abflüssen von  $350 \text{ m}^3/\text{s}$  und  $800 \text{ m}^3/\text{s}$

Die maximale Auflandungshöhe beträgt 2,5 m. Bei diesem Ergebnis muss allerdings berücksichtigt werden, dass in den oberstrom des Wehrs gelegenen Querprofilen nicht die gesamte Breite des Vorlandes bei den Vermessungen aufgenommen wurde. Es sind daher in der Natur eher geringere Wasserstände zu erwarten als die im numerischen Modell berechneten. Folglich ist man mit der aus der Simulation erhaltenen maximalen Auflandungshöhe im sicheren Bereich.

#### 1.2.5 Einfluss von Bewuchs

Bei längeren Phasen mit geringen Abflüssen kann sich auf der Geschiebeansammlung Bewuchs entwickeln. Dies hätte Einfluss auf die Rauheiten auf der Geschiebeansammlung. Um zu überprüfen ob sich dadurch die Hochwassersituation verschlechtert, wurden für vier verschiedene Rauheiten die Wasserspiegellagen berechnet.

Die veränderten Rauheiten und somit auch möglicher Bewuchs auf der Geschiebeansammlung, haben keinen Einfluss auf die Wasserspiegellagen und die Hochwassersicherheit im Untersuchungsgebiet.

## **2 Welche Fortschritte ergeben sich in Wissenschaft und/oder Technik durch Ihre Forschungsergebnisse?**

Die Auswertung der über mehrere Jahre durch Monitoring begleiteten Renaturierungsstrecken Enz und Murr ermöglichte die Ableitung von Mindestvoraussetzungen für eine erfolgreiche Renaturierung. Dabei konnte gezeigt werden, dass die im Vorgängerprojekt BWC 21019 vorgeschlagene Berechnungsmatrix in Kombination mit einem 1D-HN-Modell sehr gut geeignet ist, um maximale Vegetationsentwicklungen für Renaturierungsprojekte zu bestimmen. Diese Berechnungen erlauben die Erarbeitung gezielter Gestaltungs- und Unterhaltungspläne unter Berücksichtigung der Hochwassersicherheit. Für die Zuständigen Gewässerunterhalter bedeutet dies, dass sie in Zukunft nicht allein auf Ihre eigenen Erfahrungen angewiesen sind, sondern auf detaillierte Unterhaltungspläne zurückgreifen können. Die Untersuchungen Hydraulik naturnaher Fließgewässer I und II liefern Empfehlungen für die Erarbeitung von Unterhaltungsplänen und Monitoringkonzepten.

Forschungsbedarf besteht in der direkten Verknüpfung der Berechnungsmatrix mit einem 1D-HN-Modell. Daraus würde eine weitere Optimierung für die Erstellung von Unterhaltungs- und Entwicklungsplänen resultieren.

Die Auswertung der Geschiebeansammlung der Enz in Niefern zeigt, dass Sedimentationsprozesse nicht im Gewässer nicht generell die Hochwassersicherheit gefährden. Zur Überprüfung, in wie weit eine regelmäßige Geschiebeansammlung im Fließgewässer ausgeräumt werden sollte, wird mindestens eine 1D-HN Berechnung empfohlen.

## **3 Welche Empfehlung ergibt sich aus dem Forschungsergebnis für die Praxis?**

### **3.1 Anforderung für eine erfolgreich Renaturierung**

Die Auswertung der Murrdaten haben gezeigt, dass der Einfluss von Baum- und Strauchbewuchs auf den Wasserspiegel bei relativ kompakten Querschnitten oft unterschätzt wird. Daraus muss abgeleitet werden, dass für jede naturnahe Umgestaltung eines Flusses innerhalb einer Ortslage mindestens eine eindimensionale hydrodynamische Strömungsanalyse mit expliziter Berücksichtigung der Bewuchs- bzw. Widerstandsentwicklung durchgeführt werden sollte, um zum einen einen nachhaltigen Hochwasserschutz zu gewährleisten und zum anderen Empfehlungen für die Gewässerunterhaltung ableiten zu können. Durch eine Mehrfachsektionisierung der Vorländer, wie sie zum Beispiel das Programm HEC-RAS bietet, lassen sich Bewuchsszenarien relativ einfach im Voraus simulieren. Die entsprechenden Widerstandsbeiwerte können mit Hilfe der Berechnungsmatrix (vgl. BWC 21019) leicht ermittelt werden. Die Simulationsrechnungen bilden die Grundlage für die daraus erstellten Pflanzungs- und Unterhaltungspläne.

Die nachhaltige Gewährleistung der Hochwassersicherheit einer umgestalteten Fließstrecke setzt immer ein Monitoringskonzept voraus. Dabei sind folgende Aspekte zu berücksichtigen:

- Querprofilvermessungspunkte fixieren:  
erst damit ist ein aussagekräftiger Vergleich der Querprofile möglich
- Lage signifikanter Querprofile:
  - Ober- und unterhalb von Zuflüssen (Sedimentationsgefahr),
  - bei Aufweitungsstrecken (Sedimentationsgefahr),
  - bei Engstellen (Erosionsgefahr),
  - an Flusskrümmungen (Erosionsgefahr),
  - an Inseln (Sedimentation- und Erosionsgefahr)

- Aufnahme von Wasserspiegellagen:  
Die Installation von Sonderpegeln ist arbeits- und zeitintensiv, sinnvoller ist eine zusätzlicher Einbau von Lattenpegeln sowie Geschwemmselaufnahme nach dem Hochwasser.
- Fotodokumentation, Vegetationsaufnahme:  
Bilddaufnahmen sind wichtig für die Entwicklungsvisualisierung über mehrere Jahre. Aufnahmen von Bestandsbreite, Entfernung vom Ufer, Ast-/Stammdichte sowie Ast-/Stammdurchmesser sind die wichtigsten Vegetationsdaten, die mit aufgenommen werden müssen. Oftmals genügt auch eine Abschätzung des Verhältnisses freier Querschnitt zu vegetationsbestandenem Querschnitt.
- Datenbank  
Ein sinnvolles Monitoring setzt eine bestehende Datenbankstruktur voraus. Diese ermöglicht eine einheitliche, systematisierte Datenaufnahme. Gleichzeitig werden Datenlücken und Fehlmessungen sofort sichtbar. Die Datensicherung sollte in digitaler und in ausgedruckter Form erfolgen. Dies verhindert, dass Daten aufgrund von Softwareweiterentwicklung verloren gehen.

### **3.2 Konsequenz für die Geschiebeablagerung**

Die Fließgeschwindigkeiten im Bereich der Geschiebeansammlung sind über den Querschnitt nicht gleichmäßig verteilt, daher ist die maximal sich einstellende Schubspannung entscheidend. Sie bestimmt den maximalen Korndurchmesser, der durch die Strömung noch bewegt wird.

Der maximale Korndurchmesser (4.9 cm), der auf der Geschiebeansammlung transportiert werden kann, ist kleiner als der tatsächliche maßgebende Korndurchmesser der Geschiebeansammlung ( $d_m = 7,04$  cm). Das heißt, das Geschiebe kann nicht vollständig durch die Strömung erodiert werden.

Die Wasserspiegellagen im Untersuchungsgebiet steigen mit wachsender Geschiebeansammlung. Der Einfluss steigt, je höher die Geschiebehöhe und die Abflüsse sind. Bis zu einer maximalen Auflandungshöhe von 2,5 m und Abflüssen von  $750 \text{ m}^3/\text{s}$  hat es allerdings keine Auswirkungen auf die Hochwassersicherheit im Untersuchungsgebiet ( $HQ_{100} = 506 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Veränderte Rauheiten auf der Geschiebeansammlung durch möglichen Bewuchs, haben keinen Einfluss auf die Wasserspiegellagen und somit auch nicht auf die Hochwassersicherheit.

Zur Klärung der geringen Schubspannungen zwischen Wehr und Brücke sind Berechnungen mit einem zweidimensionalen Modell notwendig. Mit ihm können die Verwirbelungen im Bereich der Wehranlage besser simuliert werden.