

# Schwebstoffverlandung in den Donauvorländern unterhalb der Staustufe Vohburg

Von Marinko Nujć,  
Thomas Elsner und  
Werner Eidelsburger

Unterhalb der Staustufe Vohburg im Projektgebiet Ingolstadt lagert die Donau beim Durchgang von Hochwasserereignissen beidseitig auf den Vorländern Sedimente ab. In den letzten vier Jahrzehnten erreichten die Ablagerungen Mächtigkeiten bis zu 60 cm. Infolge der Sedimentationsprozesse ist folglich langfristig eine Verschärfung der Hochwassersituation zu erwarten. Das Wasserwirtschaftsamt Ingolstadt führt deshalb im Rahmen des Projektes SUMAD eingehende Untersuchungen über die Möglichkeiten eines nachhaltigen Vorlandmanagements im betreffenden Abschnitt durch. Ziel der Teilstudie ist es, die ablaufenden Prozesse (Sedimentation, Einfluss des Bewuchses) modellgestützt zu quantifizieren und auf dieser Grundlage Maßnahmen zu entwickeln, mit denen einer Hochwasserververschärfung langfristig entgegengewirkt werden kann.

## 1 Einführung

Das Projektgebiet im Bereich des Wasserwirtschaftsamtes Ingolstadt liegt zwischen der Staustufe Vohburg bei Donau-km 2444,1 und der Stadt Neustadt bei Donau-km 2432,4. Es umfasst die ersten 12 Kilometer der frei fließenden Donau-strecke unterstrom einer Kette von Flussstauhaltungen. **Bild 1** zeigt den durch die Korrektur auf 100 m Breite fixierten Flusslauf mit seinen vorwiegend forstwirtschaftlich genutzten Vorländern. Auf eine

Abfolge von leichten Krümmungen bei stark variablen Vorlandbreiten aus Auwald folgt ein annähernd gerader Flussabschnitt mit konstant breiten Vorländern aus weiten Wiesenflächen mit kleineren Auwaldabschnitten. Die bedeutenden Ausuferungen beginnen bei Abflüssen im Bereich um  $HQ_1$  (800 bis 1000 m<sup>3</sup>/s). Das  $HQ_{100}$  am Pegel Ingolstadt (Donau-km 2458,3) hat einen Wert von 2100 m<sup>3</sup>/s.

Die Donau lagert beim Durchgang von Hochwasserereignissen beidseitig auf den

Vorländern Schwebstoffe ab. Die größten Ablagerungen treten direkt am Ufer auf und nehmen im Querprofil auf dem ca. 40 m breiten, aufgrund einer früheren Bewuchsfreistellung weitgehend baumfreien Vorlandstreifen der Donau exponentiell ab (sog. Uferrehnen). In Teilbereichen dieses 40-m-Streifens wurde in den letzten vier Jahrzehnten eine mechanische Beräumung dieser Sedimente durchgeführt, bei der bis zu 60 cm hohe Ablagerungen entfernt wurden. Im Zeitraum seit der Räumung haben sich erneut größere Mengen von Sedimenten abgelagert. So liegen heute einige der Flusskilometersteine bis zu einem halben Meter unter der Geländeoberkante.

Infolge der Sedimentationsprozesse ist langfristig eine Verschärfung der Hochwassersituation zu erwarten. Zum Einen kann es durch Bildung von Uferrehnen zu einer Verzögerung der Ausuferung kommen, zum Anderen kann sowohl durch Sedimentation als auch durch den vorhandenen Bewuchs der Wasserstand im Vorlandbereich angehoben werden.

Ziel dieser Studie ist es, die ablaufenden Prozesse (Sedimentation und Einfluss des Bewuchses) modellgestützt zu quantifizieren und auf dieser Grundlage ein Vorlandmanagement zu entwickeln. In einer

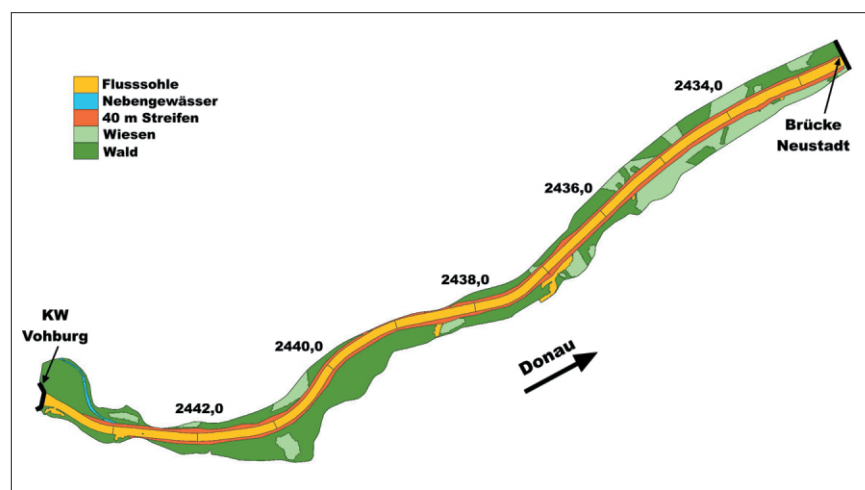


Bild 1: Projektgebiet Ingolstadt mit Landnutzung

Variantenstudie werden anschließend Abhilfemaßnahmen zum langfristigen Erhalt der Hochwassersicherheit, wie z. B. Deichrückverlegung, Flussbettaufweitung, Vegetationsänderungen und Geländeabtrag im Vorland, näher betrachtet. Auf die Variantenstudie wird in diesem Bericht allerdings nicht näher eingegangen.

## 2 Sedimentologie

Als Basis für den zuverlässigen Betrieb und die Eichung eines numerischen Transportmodells war eine eingehende Naturdatenerhebung unerlässlich. Begonnen wurde mit der Zusammenstellung vorhandener historischer Daten. Neben wenigen alten Angaben zur Korngrößenverteilung der Flusssohle, des Vorlandmaterials und der Schwebstoffe waren hierbei vor allem die Querprofil Datensätze und die Messdaten der amtlichen bayerischen Schwebstoffmessstelle Ingolstadt von großer Bedeutung.

Die historischen Querprofil aufnahmen zeigen für den Zeitraum 1982 bis 2004 eine mittlere jährliche Ablagerungsrate von 2 cm im unmittelbaren Uferbereich. Aussagen über Ablagerungen im angrenzenden Waldbereich waren aufgrund der Datenlage nicht möglich.

Eine ergiebige Datenquelle war die über 70-jährige Messreihe der Schwebstofffrachten an der Messstelle Ingolstadt bei Donau-km 2 458,3, die auf Einpunktmessungen der Oberflächenkonzentration mittels Eimerproben basiert. Bei der Auswertung der Daten für die Abfluss-Schwebstoffkonzentrations-Beziehung konnte eine Reduktion der Schwebstofffracht durch den Staustufenbau oberstrom der Messstelle Anfang der 1970er Jahre aufgezeigt werden. Die Auswertung bisher unberücksichtigter Vielpunktmessungen der Schwebstoffkonzentrationsverteilung ergab keine signifikanten Verteilungsmuster über den Fließquerschnitt. Damit ist eine ausreichende Genauigkeit der Schwebstofffrachten an dieser Messstelle gegeben.

Im zweiten Teil der sedimentologischen Untersuchungen wurden ergänzend zu den vorhandenen Daten zahlreiche Probestudien im Projektgebiet zur Bestimmung folgender Parameter durchgeführt: Korngrößenverteilung von Sohlenmaterial aus dem Flussschlauch, Korngrößenverteilung von Ablagerungen in den Vorländern, Konsolidation der Ablagerungen, Schwebstoffkonzentrationen und -zusammensetzung während eines bordvollen

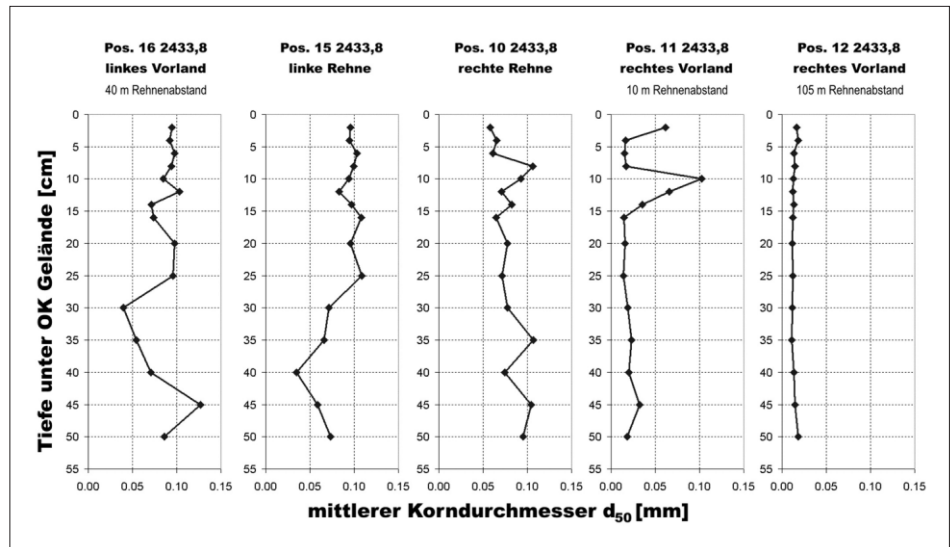


Bild 2: Tiefenaufschlüsse der Kornzusammensetzung im Querschnitt bei Donau-km 2433,8

Abflussereignisses im Februar 2005 sowie Schwebstoffkonzentration, -zusammensetzung und Korngrößenverteilung der neuen Ablagerungen in den Vorländern beim Hochwasser im August 2005 mit dem Spitzenabfluss von rund 1 800 m<sup>3</sup>/s.

Die Auswertung der Korngrößenverteilungen erfolgte durch Schlämmanalyse nach dem Aräometerverfahren, bei geringen Probemengen mit einem Laser-Partikelsizer CIS100 der Firma Galai. Exemplarisch sind in **Bild 2** die Kornzusammensetzungen von fünf Tiefenaufschlüssen in einem Querprofil dargestellt, die Entnahmepositionen sind mit Angabe des Uferabstandes angegeben. Eine Zuordnung bestimmter Horizonte zu einzelnen Hochwasserereignissen für die Datierung von Tiefenschichten gelang nicht. Die ebenfalls angedachte Datierung der Sedimentablagerungen mittels Isotopenbestimmung musste aufgrund der hohen Kosten verworfen werden.

Das größere Hochwasserereignis, das für das Prozessverständnis des Schwebstofftransports in den Vorländern interessante Daten lieferte, trat erst gegen Ende der Projektlaufzeit auf, die Auswertung ist derzeit noch im Gange. Durch die bereits ausgewerteten Proben der Schwebstoffkonzentration an den Brücken zu Beginn (Donau-km 2 442,6), in der Mitte (Donau-km 2 436,6) und am Ende (Donau-km 2 432,2) des Untersuchungsgebiets wurde eine Verringerung der Schwebstoffkonzentration im Flussschlauch innerhalb der Untersuchungsstrecke in der Größenordnung von 8 % (bei  $Q = 1\,500\text{ m}^3/\text{s}$ ) bis 19 % (bei  $Q = 1\,200\text{ m}^3/\text{s}$ ) nachgewiesen. Der Vergleich der Schwebstoffproben im Untersuchungsgebiet mit den in Ingolstadt entnommenen Proben soll im Weiteren noch Aufschlüsse über die Auswirkungen der Staustufe Vohburg bei Donau-km 2 444,1 auf die Schwebstofffracht liefern.

## Sedimentation in the Flood Plains of the River Danube Downstream of the Vohburg Barrage

by Marinko Nujić, Thomas Elsner and Werner Eidelsburger

In the flood plains of the River Danube downstream of the Vohburg Barrage near Ingolstadt, a remarkable sedimentation occurs during flood events. The height of the deposits of the last four decades amounts up to 60 cm. Therefore, a long-term intensification of the flood situation is expected. In the SUMAD project, detailed observations regarding the relevant processes of sedimentation, erosion and the influence of plants are carried out in the project area Ingolstadt. The objective is to quantify the sedimentation by a numerical model and to develop measures to improve these long-term processes with regard to an improvement of the flood protection.



Bild 3: Neue Ablagerungen beim HW 8/2005 an der linksseitigen Uferrehne bei Donau-km 2 440,8

Die nach Rückgang des Wasserspiegels Ende August 2005 gemachte Fotodokumentation signalisiert lokale Ablagerungen von über 20 cm. Diese traten vor allem im Bereich der Flusskrümmungen an den Uferrehnen auf (Bild 3), aber auch im gestreckten Flusslauf hinter lokalen Strömungshindernissen, wie bei kleineren Baumgruppen im Bereich der Wiesenflächen. Durch den Vergleich der räumlichen Verteilung der Ablagerungshöhen sowie deren Korngrößenverteilung mit dem jeweils vorhandenen Bewuchs und den Strömungsbedingungen werden Aussagen über die Interaktion von Vegetation und Schwebstofftransport möglich.

### 3 Das Schwebstofftransportmodell HYDRO\_ST-2D

Das zweidimensionale Schwebstoff-/Schadstofftransportsimulationsmodell HYDRO\_ST-2D stellt eine Erweiterung des „reinen“ zweidimensionalen Strömungsmodells HYDRO\_AS-2D dar [4]. Es werden neben den 2-D-Strömungsgleichungen [3] zusätzlich noch die tiefengemittelte konvektiv-diffusive Gleichung für die Stoffkonzentration  $C_i$  ([1], [2]):

$$\frac{\partial}{\partial t}(hC_i) + \frac{\partial}{\partial x}(uhC_i) + \frac{\partial}{\partial y}(vhC_i) = \frac{\partial}{\partial x}\left(k_x h \frac{\partial C_i}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(k_y h \frac{\partial C_i}{\partial y}\right) + S_{ei} - S_{di}$$

$C_i$  Schwebstoffkonzentration der Fraktion  $i$   
 $k_x, k_y$  Diffusionskoeffizienten in  $x$  und  $y$  Richtung

$S_{di}$  Ablagerungsterm der Fraktion  $i$   
 $S_{ei}$  Erosionsterm der Fraktion  $i$

sowie die Exner-Gleichung für die aufgetretenen Sohlenveränderungen numerisch gelöst:

$$(1 - n_p) \rho_s \frac{\partial z}{\partial t} - S_{di} + S_{ei} = 0$$

$n_p$  Porosität des Sohlenmaterials  
 $\rho_s$  Dichte des Sediments

Damit steht ein instationäres, fraktioniertes Transportmodell zur Berechnung von Ausbreitung, Ablagerung und Erosion von Schwebstoffen auf unstrukturierten Berechnungsgittern für große Gebiete zur Verfügung.

Für den Modellaufbau standen Daten aus der photogrammetrischen Auswertung (Bruchkanten, Rasterpunkte) sowie der Echolotmessungen der Donau im Abstand von 200 m zur Verfügung. Der ufernahe Bereich wurde zusätzlich terrestrisch vermessen und in das Modell eingebaut. Das ca. 6 km<sup>2</sup> große Modellierungsgebiet konnte mit insgesamt 37 000 Punkten und 41 000 Elementen in seinen wesentlichen Merkmalen abgebildet werden.

Das Strömungsmodell wurde anhand der Wasserspiegelfixierungen aus den Jahren 1992 und 1999 geeicht. Das Schwebstofftransportmodell wurde anhand des Pflingsthochwassers 1999 sowie anderer Erkenntnisse aus den letzten Jahrzehnten an die Naturbeobachtungen angepasst.

Die anhand der zahlreichen Bodenproben aufgezeigten Veränderungen der Kornverteilungen über den Längs- und den Querschnitten konnten qualitativ mit dem numerischen Modell relativ gut nachvollzogen werden. Die Schwebstofftransportberechnungen wurden dabei für fünf verschiedene Korngrößen gleichzeitig durchgeführt.

### 4 Ergebnisse des Schwebstofftransportmodells

Grundsätzliches Ziel der Studie ist die langfristige Gewährleistung der Deichsicherheit. Als Prognosezeitraum wurden 40 Jahre gewählt. Nach der durchgeführten Modelleichung wurde als erstes eine sogenannte Nullvariante berechnet, wie sich die Geländehöhen und der Wasserspiegel beim HQ<sub>100</sub> in 40 Jahren ohne zwischenzeitliche bauliche Eingriffe in das Vorland ergeben würden. In den darauf folgenden Variantenstudien wurden dieser Nullvariante Gegenmaßnahmen zum langfristigen Erhalt der Wasserspiegellage des Ist-Zustands gegenübergestellt. Dabei wurden die Auswirkungen u. a. verschiedener Landnutzungskonzepte, einer Deichrückverlegung, einer Flussbettauflweitung und von Geländeabtrag im Vorland näher betrachtet.

Das in Abschnitt 3 vorgestellte Schwebstofftransportmodell HYDRO\_ST-2D wurde für die Berechnung der erwarteten Sohlenlagen im Untersuchungsgebiet für den definierten Prognosezeitraum verwendet. Als Eingangsdaten für die Numerik dienten am Modelleinlauf neben dem Abfluss eine Schwebstoffschlüsselkurve (Q-C<sub>s</sub>-Beziehung) sowie für jede Fraktion der zugegebenen Schwebstoffe ein charakteristischer Korndurchmesser mit entsprechender Sinkgeschwindigkeit und Erosionsverhalten.

Bild 4 zeigt die prognostizierten Ablagerungshöhen im Vorland innerhalb der nächsten 40 Jahre. Dazu wurden beginnend mit knapp bordvollem Abfluss die anhand hydrologischer Daten für die 40 Jahre prognostizierte Abflussfülle und Schwebstofffracht simuliert. Die Prognose beinhaltet zudem die Ganglinie des Pflingsthochwassers 1999 (größer als ein HQ<sub>100</sub>).

Wie aus Bild 4 ersichtlich ist, sind die Anlandungen am Ufer am stärksten und können lokal bis über einem Meter betragen. Diese nehmen jedoch mit wachsender Entfernung vom Ufer exponentiell ab. Die mittlere Verlandungshöhe über die ge-

samte wasserbenetzte Vorlandfläche beträgt dadurch nur noch ca. 30 cm.

**Bild 5** zeigt die Differenz der Wasserspiegellage bei einem  $HQ_{100}$  für den Zustand mit (Nullvariante) und ohne Anlandung (Ist-Zustand). Die Vorlandanlandung bewirkt demnach nur eine eher mäßige Erhöhung der Wasserspiegellage zwischen 9 cm und 13 cm.

## 5 Zusammenfassung

Die mächtigen Vorlandauflandungen unterhalb der Donau-Staustufe Vohburg könnten langfristig zur Gefährdung der Hochwassersicherheit in diesem Bereich führen. Im Rahmen des EU-Projektes SUMAD sollen geeignete Maßnahmen für ein nachhaltiges Vorlandmanagement entwickelt werden.

Gute Datengrundlage, zahlreiche Schwebstoffmessungen und Probenentnahmen sowie Naturbeobachtungen haben zum besseren Verständnis des Schwebstofftransport- und -ablagerungsverhaltens auf Vorländern und zu qualitativere Ergebnissen geführt. Zugleich waren diese Daten Grundlage für die Eichung eines numerischen Transportmodells, mit dem die historische Verlandung nachvollzogen wurde. Mit dem geeichten Modell wurde eine Langzeitprognose für die Vorlandauflandung sowie deren Auswirkung auf die Wasserspiegellagen beim  $HQ_{100}$  erstellt. Die bereichsweise sehr starken Auflandungen führen in der Langzeitprognose zu relativ moderaten Wasserspiegelanhebungen. Anschließend werden verschiedene Szenarien für die künftige optimierte Vorlandnutzung entwickelt und modelliert.

Die für den Abschnitt Vohburg ermittelten Umsetzungsstrategien zur optimierten Vorlandnutzung werden in einem „Handbuch für nachhaltiges Management von Vorländern in eingedeichten Flussabschnitten“ fachlich dokumentiert und erläutert. Ferner werden Empfehlungen zur Landnutzung von Vorländern in einem erweiterten transnationalen Kreis fachlich diskutiert, abgestimmt und in Form eines begründeten „Katalogs zur optimalen Landnutzung“ aufbereitet.

## Literatur

- [1] ATV-DVWK (Hrsg.): Feststofftransportmodelle für Fließgewässer, Arbeitsbericht, März 2003.
- [2] Lee, D. H.; Bedford, K. W.; Yen, C. J.: Storm and Entrainment Effects on Tributary

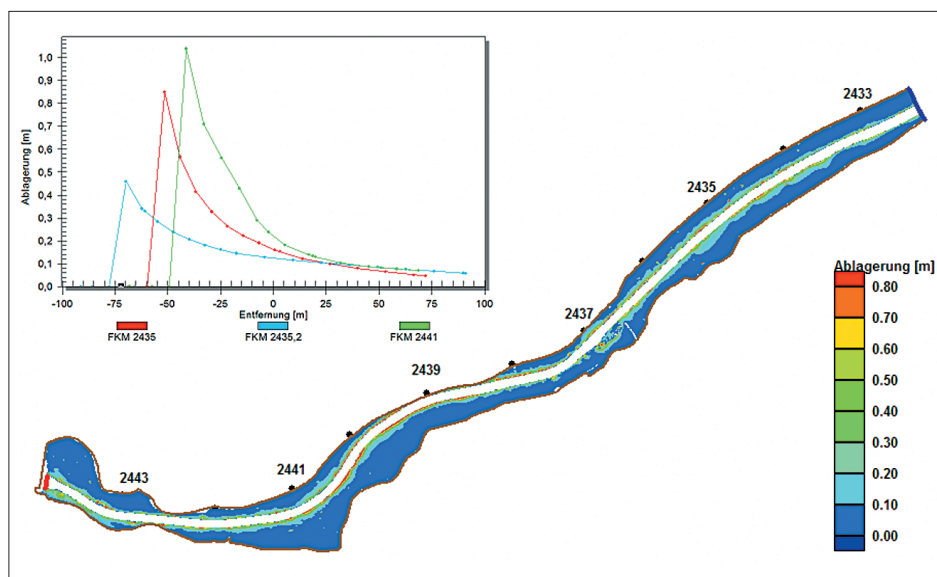


Bild 4: Prognostizierte Ablagerungshöhen im Vorland innerhalb von 40 Jahren

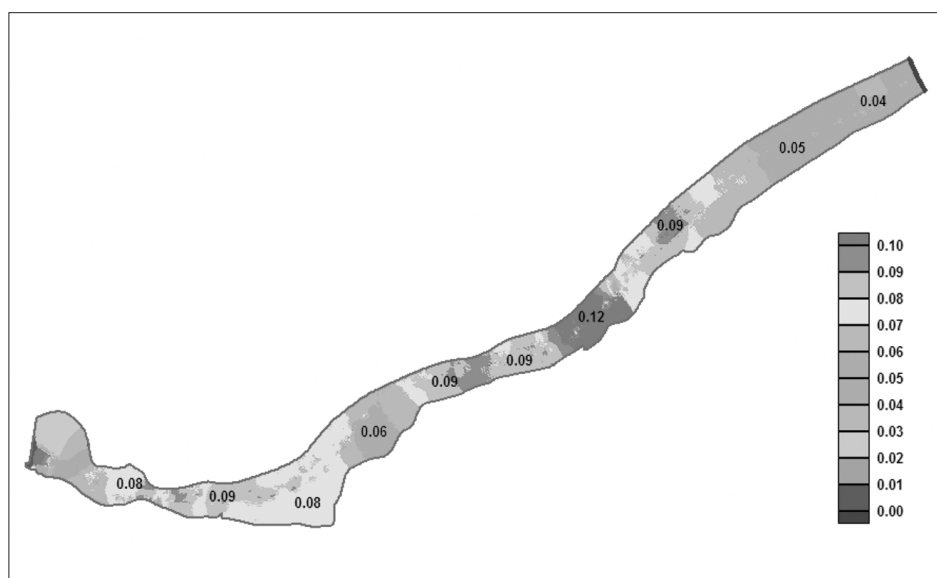


Bild 5: Prognostizierte Erhöhung der Wasserspiegellage bei einem  $HQ_{100}$  infolge Vorlandauflandung im Prognosezeitraum von 40 Jahren

Sediment Loads. In: Journal of hydraulic Engineering (1994), Vol. 120, No. 1.

- [3] Nujić, M.: Vorstellung und Diskussion des zweidimensionalen Strömungsmodells HYDRO\_AS-2D. In: Wiener Mitteilungen des Institutes für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau der Universität für Bodenkultur Wien, Band 18x, 2003.
- [4] Nujić, M.: HYDRO\_ST-2D Benutzerhandbuch, Ing. Büro Dr. Nujić, Rosenheim, 2004.

Anschrift der Verfasser:  
**Dr.-Ing. Marinko Nujić**  
 Ingenieurbüro Nujić  
 Wallbergstraße 8

83026 Rosenheim  
 ibnujic@aol.com;  
*Dipl.-Ing. Thomas Elsner*  
 Institut für Wasserwesen  
 Universität der Bundeswehr München  
 Werner-Heisenberg-Weg 39  
 85577 Neubiberg  
 Thomas.Elsner@unibw.de;  
*Dipl.-Ing. Werner Eidelsburger*  
 Wasserwirtschaftsamt Ingolstadt  
 Auf der Schanz 26  
 85049 Ingolstadt  
 Werner.Eidelsburger@wwa-in.bayern.de

