

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

Kowalski, Reinhard Lutz; Schröder, Paul Michael; Kaluza, Tomasz Pflanzen in der 2D Simulation von Flüssen

Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit/Provided in Cooperation with:

Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/103839>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Kowalski, Reinhard Lutz; Schröder, Paul Michael; Kaluza, Tomasz (2006): Pflanzen in der 2D Simulation von Flüssen. In: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik (Hg.): Strömungssimulation im Wasserbau (Flow Simulation in Hydraulic Engineering). Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen 32. Dresden: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik. S. 399-406.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



Pflanzen in der 2D Simulation von Flüssen

Dipl.-Ing. Reinhard Lutz Kowalski, valitec®
Dr.-Ing. Paul Michael Schröder, BAW
Dr.-Ing. Tomasz Kaluza, Hochschule Poznan

Friction parameter of vegetations in two-dimensional hydraulic models are discussed to improve river hydraulics calculations. Simulation examples are presented to verify the use of vegetation parameters.

1 Einleitung

Allgemein wird die Strömung in Flüssen besonders von der Rauigkeit der Kontaktfläche zum Wasserkörper beeinflusst. Rauigkeiten lassen sich grob einteilen in Sohlrauheiten, Formrauheiten und Vegetationsrauheiten.

Sohlrauheiten fassen als Sammelbegriff überströmte Rauheiten zusammen und können als Materialeigenschaft abhängig von der Oberflächenbeschaffenheit oder Körnungslinie (z.B. von transportiertem Sediment oder Geschiebe) parametrisiert werden.

Formrauheiten beschreiben die geometrische Beschaffenheit einer Oberfläche, die nicht mehr explizit im Strömungsmodell aufgelöst wird; dies sind z.B. auch Strukturen wie Riffel oder Dünen, die sich bei Geschiebetrieb in den meisten Flüssen bilden.

Vegetationsrauheiten treten bei Hochwasserabfluss im überströmten Vorlandbereich auf und haben dann oft einen wesentlichen Anteil am gesamten Strömungswiderstand.

Die vorliegende Veröffentlichung fokussiert auf die Vegetationsrauheit, die weiter unterteilt werden kann in überströmte oder durchströmte bzw. in starre oder flexible Rauheit. In 2D Simulationsmodellen werden bislang auf Wandrauheiten basierende Ansätze eingesetzt, um diese Einflüsse in der Berechnung zu berücksichtigen. Eine verbesserte Berücksichtigung des Bewuchses in der gesamten durchströmten Fläche verspricht eine differenzierte Betrachtung und genauere Ergebnisse.

2 Grundlagen und Umsetzung

Zur Berücksichtigung von Sohlschubspannungen als äußere Kräfte in den Berechnungsverfahren wird ein Rauheitsbeiwert c_f eingeführt, der sich aus den Anteilen Sohlrauheit und durchströmter Bewuchs zusammensetzt (DVWK, Heft 220, 1991).

Die einfache Betrachtung der verschiedenen Strömungswiderstände abhängig von der Fließtiefe macht die unterschiedlichen Auswirkungen deutlich:

Der Einfluss der Wandrauheit nimmt mit der Erhöhung der Fließtiefe ab ($H^{-1/3}$), während die angeströmte Fläche des Bewuchs und damit der Strömungswiderstand mit der Fließtiefe linear zunimmt (vgl. Abb. 1).

Ein mit Sohlrauheiten kalibriertes Strömungsmodell ist nur für eine Fließtiefe und damit auch nur für den Kalibrierungsabfluss gültig. Nur für bewuchsfreie Untersuchungsräume sind damit Hochwasserprognosen möglich. Für eindimensionale Modelle ist die Berücksichtigung des Bewuchs bereits seit über 20 Jahren Stand der Simulationstechnik.

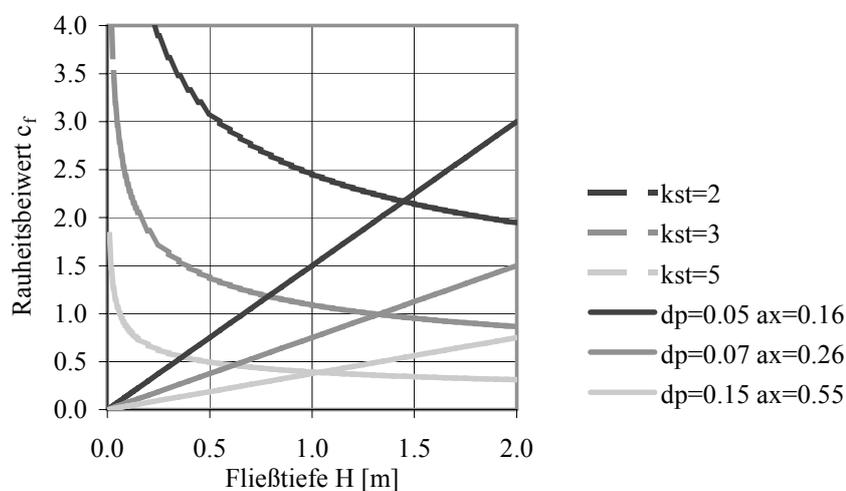


Abbildung 1 Rauheitsbeiwerte für Wandrauheiten und durchströmten Bewuchs

Zur Berücksichtigung des durchströmten Bewuchs in 2D Modellen wurden von SCHRÖDER (1997), die für eindimensionale Berechnungsverfahren entwickelten Ansätze von LINDNER (1982) und PASCHE (1984) in dem Rechenverfahren RISMO2D umgesetzt.

Im Vergleich zu den bislang üblichen Verfahren wird deutlich, dass der Einsatz von Bewuchsparametern direkt eine Vereinfachung der Kalibrierung ermöglicht: Mit Pflanzen besetzte Vorlandbereiche des Untersuchungsraums erhalten einen Strömungswiderstand direkt aus der Bewuchskartierung und sind nur noch für

den bodennahen Abfluss zu kalibrieren. Das kalibrierte Modell ist zudem in einem größeren Bereich für verschiedene Abflüsse validiert und einsetzbar.

3 Anwendungen

3.1 Überprüfung von geplanten Neuanpflanzungen

In einem Rheinabschnitt unterhalb von Emmerich, nahe der niederländischen Grenze, plant der Naturschutzbund Deutschland (NABU) die Anlage eines Auenwaldes im rechten Vorlandbereich (vgl. Abb. 2). Die Bundesanstalt für Wasserbau in Karlsruhe (BAW) untersucht als Fachoberbehörde der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes die Auswirkungen dieser wesentlich erhöhten Vorlandrauheit auf die Strömungsverhältnisse im Rhein. Die modelltechnische Untersuchung erfolgt mit dem zweidimensional-tiefengemittelten Verfahren RISMO2D und den enthaltenen Modellansätzen für durchströmten Bewuchs.

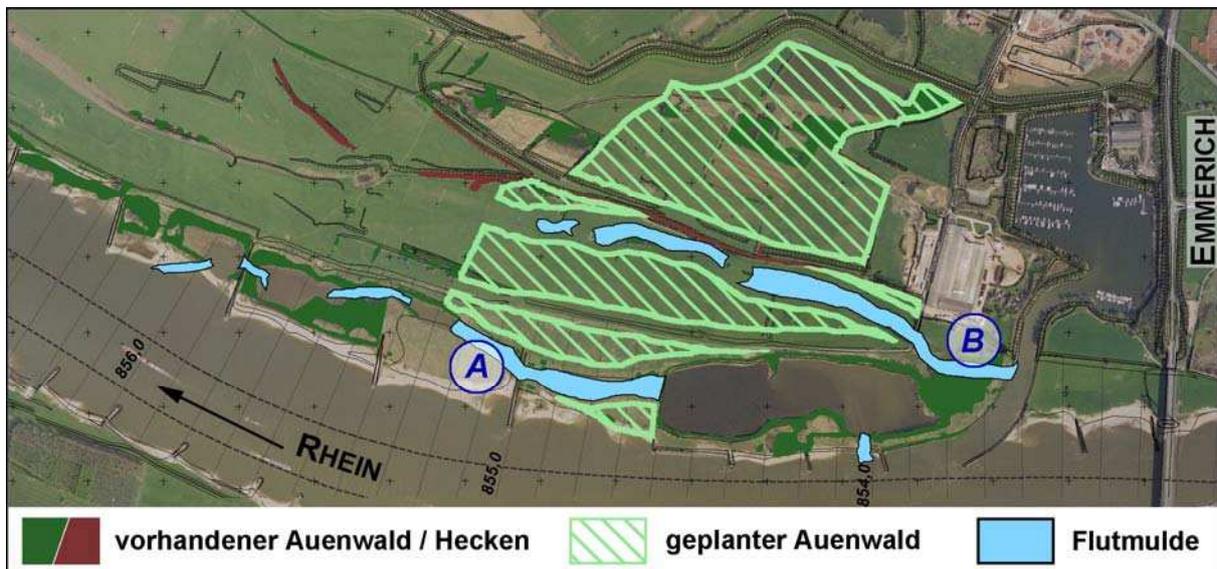


Abbildung 2 Der Rhein bei Emmerich mit vorhandenen und geplanten Gehölzflächen

Im Rahmen dieser Untersuchung musste zunächst der heutige Gehölzzustand des Vorlands erfasst und in einem Finite-Elemente-Strömungsgitter abgebildet werden. Die Lage der vorhandenen Gehölze wurde vom NABU aus Luftbildern und durch terrestrische Kartierung ermittelt. Hierbei wurde eine Unterscheidung zwischen Hecken und Auenwald getroffen, für die die in Tabelle 1 aufgeführten mittleren Bewuchsparameter zugrunde gelegt wurden. Die Ausdehnung und Lage der vorhandenen sowie geplanten Gehölzflächen ist in Bild 1 dargestellt. Im Strömungsgitter wurden die Gehölzflächen bis hinunter zu einer Größe von rd. 10 m^2 explizit durch zusätzliche Bruchkanten abgebildet. Hierdurch wurde das

ohnehin sehr hoch aufgelöste Strömungsgitter – rd. 400.000 Dreieckselemente für einen Rheinabschnitt von 19 km – nur unwesentlich größer, aber die Qualität der Prognose konnte erheblich verbessert werden.

Tabelle 1 Verwendete Bewuchsparameter für Hecken und Auenwald

	<i>Durchmesser</i>	<i>Bestockungsdichte</i>	<i>mittlerer rechnerischer Durchmesser</i>	<i>Abstand</i>
<i>Hecken</i>	0,02 m	1 – 20 pro m ²	0,02 m	0,22 m
<i>Auenwald</i>	0,10 m	0,2 pro m ²	0,10 m	2,20 m

Zusätzlich zum geplanten Auenwald sind im Vorlandbereich Flutmulden geplant, mit denen vorhandene, tiefergelegene Vorlandbereiche verbunden werden. Die flussnahe Flutmulde A wird bereits bei Mittelwasserabfluss ($> 2100 \text{ m}^3/\text{s}$) durchströmt, die flussferne Flutmulde B bei mittlerem Hochwasserabfluss ($> 6400 \text{ m}^3/\text{s}$). Hierdurch wird einerseits die Strömungsdynamik im Vorlandbereich erhöht; andererseits soll die zu erwartende Anhebung des Hochwasserspiegels kompensiert werden.

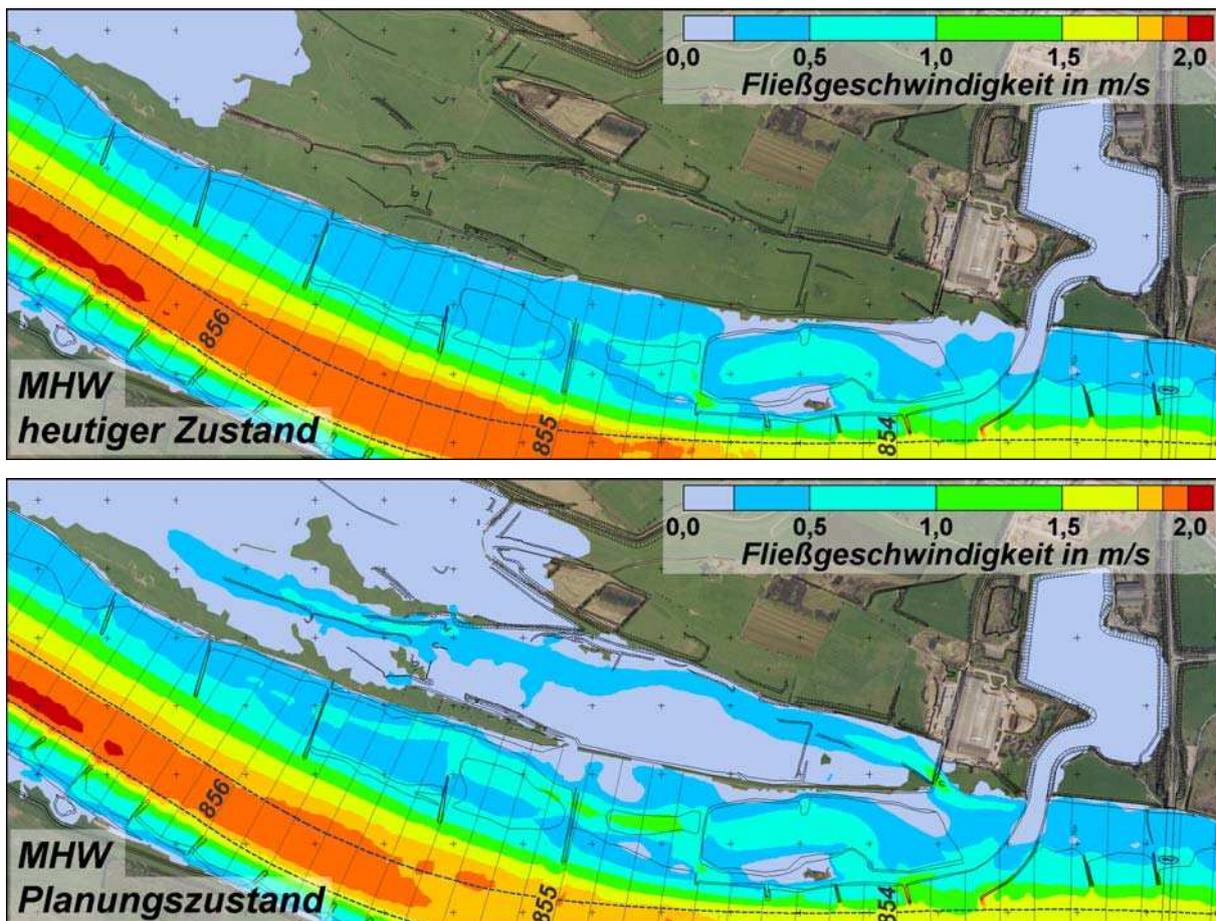


Abbildung 3 Änderung der Fließgeschwindigkeiten durch Auenwald und Flutmulden bei MHW (Bild oben: heutiger Zustand, Bild unten: geplanter Zustand)

Die veränderten Fließgeschwindigkeiten als Folge des geplanten Auenwaldes und der Flutmulden sind in Abbildung 3 für ein Mittleres Hochwasser ($6381 \text{ m}^3/\text{s}$) dargestellt. Die Anbindung des rechten Vorlands durch die flussferne Flutmulde B führt zu einer Abnahme der Fließgeschwindigkeiten im Fluss, die im Strom zu einer Minderung der Strömungsgeschwindigkeiten führt. Im betroffenen Rheinabschnitt, in dem seit vielen Jahren eine kontinuierliche Erosion beobachtet wird, ist diese Minderung der Strömungsgeschwindigkeiten positiv zu bewerten.

In der Abbildung 4 ist die Änderung der Wasserspiegellagen im Längsschnitt (Stromachse) für den Zustand mit Auenwald und den Zustand mit Auenwald und Flutmulden für zwei Hochwasserabflüsse (HW 1995, $12050 \text{ m}^3/\text{s}$ und MHW 2002, $6381 \text{ m}^3/\text{s}$) dargestellt. Der Auenwald allein führt zu einer Erhöhung des Hochwasserspiegels (HW 1995) um rd. 1 – 2 cm. Diese leichte Erhöhung wird durch die Flutmulden nahezu vollständig kompensiert. Bei Mittlerem Hochwasser (MHW 2002) ist allein durch den Auenwald nahezu keine Auswirkung auf den Wasserspiegel festzustellen, da der größte Teil der Waldflächen nicht durchströmt wird. Dies ändert sich im Zustand mit Auenwald und Flutmulden: Die Flutmulden führen zu einer leichten Absenkung des Wasserspiegels.

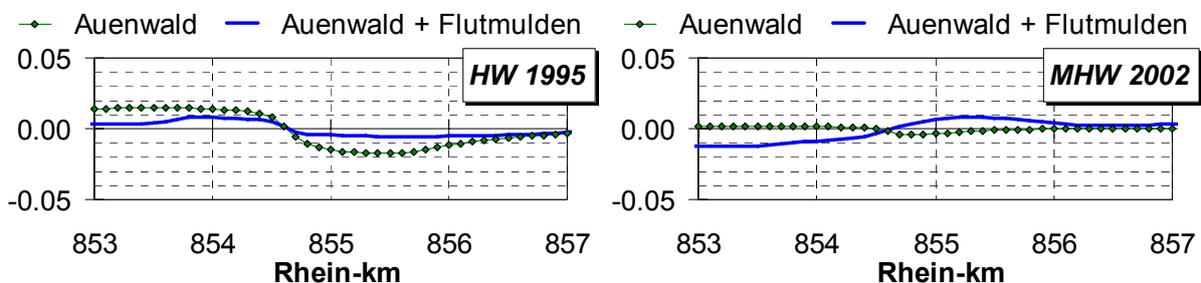


Abbildung 4 Berechnete Wasserspiegellagen als Differenz im Längsschnitt der Flussachse

Im Rahmen dieser Studie werden noch weitere Modelluntersuchungen mit geänderten Bewuchsparametern folgen, mit denen insbesondere die Sensitivität der Ergebnisse auf die gewählten Parameter abgeschätzt werden soll. Denn auch durch die hier beschriebene gründliche Kartierung der vorhandenen Gehölzflächen wird der tatsächliche Strömungswiderstand von natürlichen, äußerst heterogenen Gehölzen immer nur näherungsweise zu beschreiben sein.

3.2 Langzeitsimulation mit Bewuchsentwicklung

Für eine Untersuchung der Hochschule Poznan, Polen, von Weidenanbauflächen im Vorland der Weichsel wurde ergänzend das Simulationssystem RISMO2D eingesetzt. Das numerische Modell wurde für 9,5 km Flussstrecke (Wisla-km 367,5 bis 377,0), bei einer mittleren Breite einschließlich der Vorländer von

700 m, von valitec[®] simulation service in Aachen aufgestellt und kalibriert. Die Berechnungen selbst wurden in Poznan von einer fachübergreifenden Arbeitsgruppe durchgeführt.

Ausgehend von Wachstumsbeobachtungen der Fachbereiche Biologie und Forstwirtschaft der letzten 200 Jahre konnten natürliche Pflanzenentwicklungen in der Simulation berücksichtigt werden: Abhängig vom Alter eines Baumes ändert sich dessen Stammdurchmesser d_p und der mittlere Abstand zu seinem Nachbarn a_x (vgl. Abb. 5).

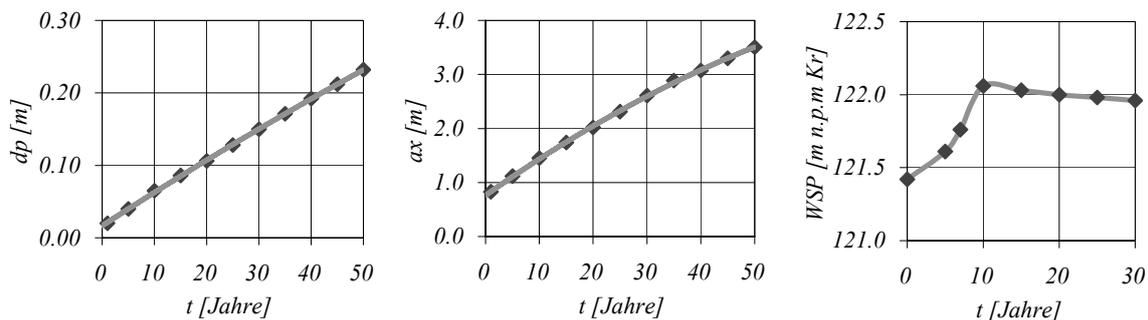


Abbildung 5 Langfristige, unbeeinflusste Entwicklung von Weiden und der Einfluss auf den Wasserspiegel am Kontrollpegel

Die mit den Daten der Pflanzenentwicklungen ermittelten Langzeitprognosen von sich selbst überlassenen Weidenflächen in Vorlandbereichen der Weichsel bei Pulawy, ergaben beim Abfluss eines HQ_{100} ($7520 \text{ m}^3/\text{s}$) eine deutliche Erhöhung des Wasserspiegels von derzeit 121,41 m n.p.m Kr (*nad poziom morza Kronsztadt 86*; über Meeresspiegel Kronstadt 1986) auf die in der Abbildung 5 dargestellten Werte für die kommenden 30 Jahre.

Mit diesen Ergebnissen der Simulationen wurden für die betroffenen Flächen Bewirtschaftungspläne aufgestellt, um die Auswirkungen auf den Wasserspiegel eines HQ_{100} zu begrenzen.

3.3 Auenwälder bei Hochwasser

Auf dem Vorland der Weichsel werden nach Hochwasserereignissen regelmäßig umgestürzte Bäume festgestellt. Auf den bewirtschafteten Flächen sind dies wirtschaftliche Schäden. Dazu erhöhen die liegenden Bäume als Strömungshindernisse die Gefahr von weiter steigenden Wasserspiegeln während des Hochwassers. Im Rahmen eines fachübergreifenden Forschungsprojektes des polnischen Staates wurden Naturversuche zur Standsicherheit von standorttypischen Bäumen unternommen, das Vorland geotechnisch untersucht und Strömungssimulationen mit RISMO2D durchgeführt (vgl. Abb. 6).

Die Verbindung von instationären Strömungssimulationen mit geotechnischen Untersuchungen des Bodens erlauben Aussagen über die hochwasserabhängige

Standicherheit von Bäumen in Auenwäldern. Ergebnis der Simulationen sind zeitabhängige Fließgeschwindigkeiten, Wasserspiegel und Überflutungsdauer der Vorländer. Mit über 100 Ausreißversuchen wurden die kritischen Momente der Baumarten für verschiedene Reibungswinkel und Kohesivitäten bestimmt. Die Bodenparameter sind stark abhängig von der Überflutungsdauer und damit auch das aufnehmbare Moment: Nach bereits 2 bis 4 Tagen reduzieren sich die Bodenparameter auf bis zu 30 % der Ausgangswerte.

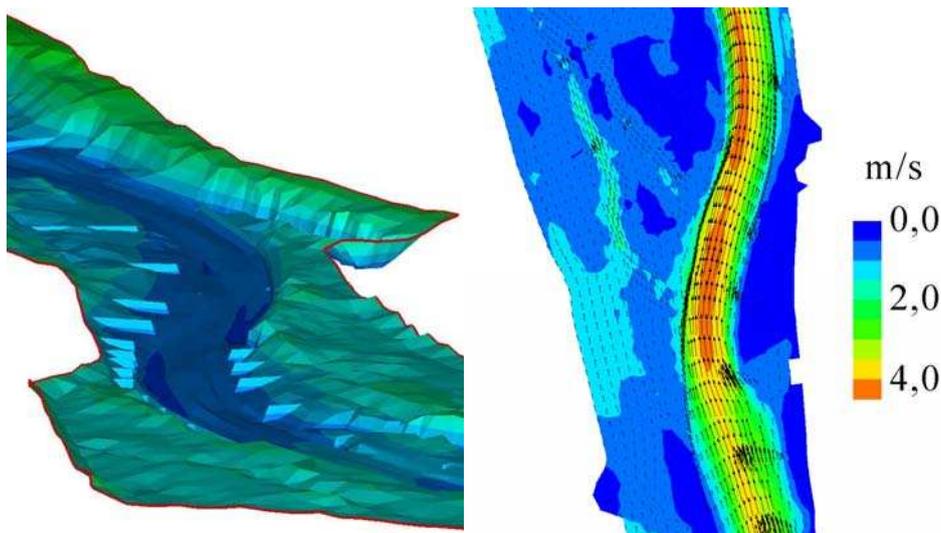


Abbildung 6 Ausschnitt des Finite-Elemente-Modells der Weichsel mit diskretisierten Buhnen und Leitwerken (10fach überhöht) und Ergebnis der Strömungssimulation bei ca. $3200 \text{ m}^3/\text{s}$ gegen 16:00 Uhr am 4. Tag des Hochwassers.

Das Ergebnis sind Zonen der Auenwälder auf den Vorländern mit einem erhöhten Risiko der Baumentwurzelung. Die Abbildung 7 zeigt einen Ausschnitt des Untersuchungsraums zu Beginn des Hochwassers und nach 4 Tagen Überflutungsdauer.

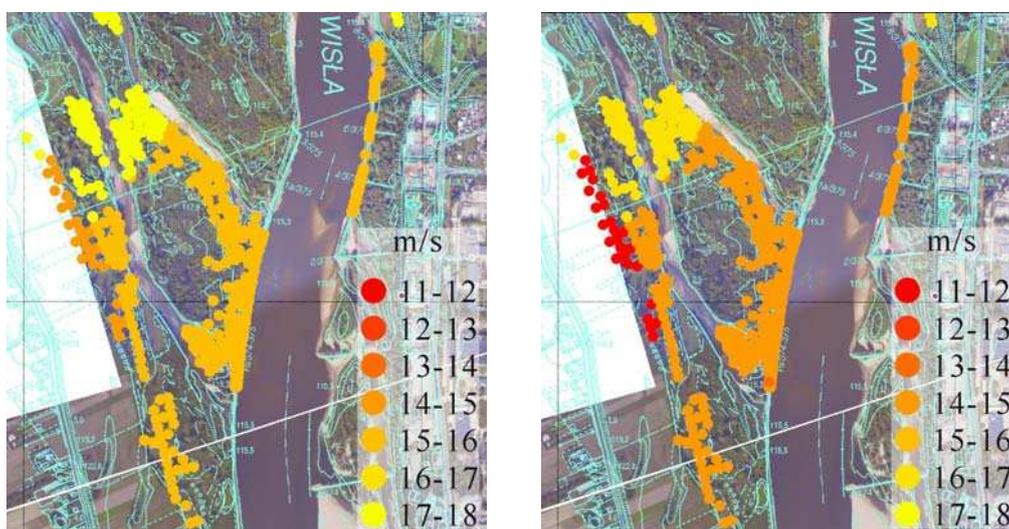


Abbildung 7 Zur Entwurzelung von Bäumen in den Auen kritische Windgeschwindigkeit

Zur Ermittlung des erhöhten Hochwasserrisikos sind weitere Simulationen mit den umgestürzten Bäumen als mögliche Strömungshindernisse geplant.

4 Literatur

DVWK: Hydraulische Berechnungen von Fließgewässern; Merkblatt zur Wasserwirtschaft, Heft 220, Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin, 1991.

LINDNER, K.: Der Strömungswiderstand von Pflanzenbeständen; Mitteilungen des Leichtweiß-Instituts für Wasserbau, TU Braunschweig, 1982.

PASCHE, E.: Turbulenzmechanismen in naturnahen Fließgewässern und die Möglichkeit ihrer rechnerischen Erfassung; Mitteilungen des Instituts für Wasserbau, RWTH Aachen, 1984.

RISMO2D: Finite-Elemente Modellierungsverfahren zur 2D-tiefengemittelten Simulation stationärer und instationärer Strömungen; als freie Software verfügbar unter <http://www.hnware.de>.

SCHRÖDER, P. M.: Zur numerischen Simulation turbulenter Freispiegelströmungen mit ausgeprägt dreidimensionaler Charakteristik; Mitteilungen des Instituts für Wasserbau, RWTH Aachen, 1997.

Autoren:

Dipl.-Ing. Reinhard Lutz Kowalski
valitec[®] simulation service
Jülicher Straße 336-b
52070 Aachen
Tel.: +49 – 241 – 40 02 96 00
kowalski@valitec.de



Dr.-Ing. Paul Michael Schröder
Bundesanstalt für Wasserbau
Kussmaulstraße 17
76187 Karlsruhe
Tel.: +49 – 721 – 97 26 – 37 30
michael.schroeder@baw.de

Dr.-Ing. Tomasz Kaluza
Katedra Budownictwa Wodnego
Akademia Rolnicza w Poznaniu
ul. Wojska Polskiego 73a
60-625 Poznan, Polen
Tel.: +48 – 61 – 848 77 27
budwod@owl.au.poznan.pl

