

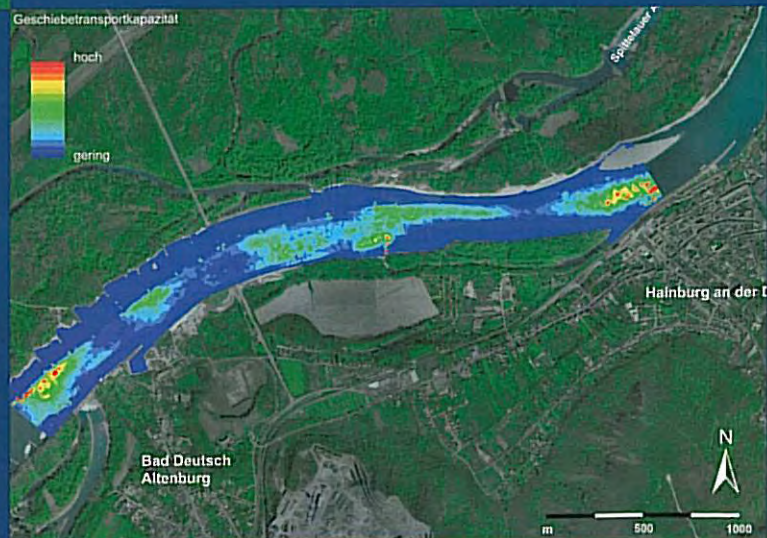
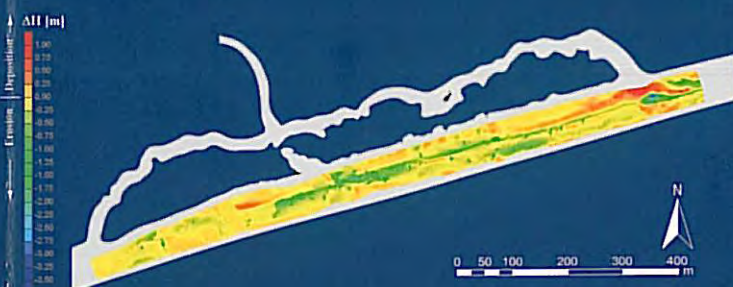


zukunft
1909 - 2011
denken



lebensministerium.at

Fließgewässermodellierung – Arbeitsbehelf Feststofftransport und Gewässermorphologie





NACHHALTIG FÜR NATUR UND MENSCH SUSTAINABLE FOR NATURE AND MANKIND

Lebensqualität / *Quality of Life*

Wir schaffen und sichern die Voraussetzungen für eine hohe Qualität des Lebens in Österreich.

We create and we safeguard the prerequisites for a high quality of life in Austria.

Lebensgrundlagen / *Bases of life*

Wir stehen für vorsorgende Verwaltung und verantwortungsvolle Nutzung der Lebensgrundlagen Boden, Wasser, Luft, Energie und biologische Vielfalt.

Indispensable bases of life are clean air, pure water, unpolluted soil and intact ecosystems.

Lebensraum / *Living environment*

Wir setzen uns für eine umweltgerechte Entwicklung und den Schutz der Lebensräume in Stadt und Land ein.

We support an effective protection against natural hazards as well as an ecological orientation of the riverine landscapes of Austria.

Lebensmittel / *Food*

Wir sorgen für die nachhaltige Produktion insbesondere sicherer und hochwertiger Lebensmittel und nachwachsender Rohstoffe.

We are shaping for our farmers and consumers a sustainable and environmentally benign agricultural and food policy.

IMPRESSUM

Medieninhaber und Herausgeber

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Stubenring 1, 1012 Wien
Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (ÖWAV), Marc-Aurel-Straße 5, 1010 Wien

Redaktionsteam

Univ.-Prof. DI Dr. Helmut Habersack, DI Dr. Michael Hengl, DI Dr. Boris Huber, DI Petra Lalk, DI Dr. Michael Tritthart

Redaktion, Layout und Satz

Mag. Fritz Randl (ÖWAV)

Titelbild

Hochwasserschäden an der Trisanna, eigendynamische Aufweitung an der Oberen Drau, simulierte Sohländerungen an der Grenzmur, modellierte Geschiebetransportkapazität an der Donau (Baubezirksamt Imst/IWHW BOKU)

Hersteller

AV+Astoria Druckzentrum GmbH, Wien

Es wird darauf hingewiesen, dass alle Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen.

Das Werk und seine Teile sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verbandes unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Bearbeitung in elektronischen Systemen.

Gedruckt auf chlorfrei gebleichtem Papier.



Wissenschaft dient Schutz vor Naturgefahren

Die Hochwässer der letzten Jahre haben Teile Österreichs immer wieder schwer getroffen. Die Schäden gehen in Milliarden-Höhe dort, wo kein entsprechender Hochwasserschutz eingerichtet war. Es besteht also die Notwendigkeit, den bisher schon verfolgten Weg des integralen Hochwasserschutzes weiter zu verfolgen und zu optimieren. Vor kurzem hat Österreich mit dem Wasserrechtsgesetz die EU-Hochwasserrichtlinie umgesetzt. Dies bedeutet, dass die bisher angewendeten Elemente des integralen Hochwasserschutzes in einen systematischen Planungsprozess eingebaut werden, der auch mit den anderen Staaten am Gewässer sowie mit der EU-Wasserrahmenrichtlinie abgestimmt ist.

Die systematischen Hochwasserdokumentationen und die Analyseprojekte FloodRisk I und II zeigten den Handlungsbedarf auf und lieferten wichtige Empfehlungen für Verbesserungen im integrierten Hochwassermanagement, etwa für die Bewältigung eines Hochwassers, den Wiederaufbau und die Vorsorge.

Der vorliegende Arbeitsbehelf „Fließgewässermodellierung – Feststofftransport und Gewässermorphologie“ behandelt Kernfragen des derzeitigen und künftigen Gewässermanagements und bildet die Voraussetzung für die Umsetzung der Empfehlungen in den einschlägigen Richtlinien.

DI Niki Berlakovich

Landwirtschafts- und Umweltminister



Feststofftransportmodellierung bildet Basis für Gewässermanagement

In den Hochwässern 2002, 2005, 2006 und 2009 verloren in Österreich 16 Menschen ihr Leben und es entstanden Schäden von ca. vier Milliarden Euro. Durch die Beengtheit des Lebens- und Wirtschaftsraums einerseits und den Klimawandel andererseits besteht dringender Handlungsbedarf, die Lebensgrundlagen des Menschen sowie seine Umwelt nachhaltig zu sichern.

Flüsse benötigen während Katastrophenereignissen Raum für den Wasserrückhalt, aber auch für die bei Hochwässern entstehenden Laufverlagerungen, Verbreiterungen und morphologischen Veränderungen. Daraus ergibt sich ein minimaler flussmorphologischer Raumbedarf entlang der Fließgewässer, innerhalb dessen bauliche Nutzungen bei Extremereignissen stark gefährdet sind. Dies muss in Wechselwirkung mit langfristigen Veränderungen wie Erosionen des Flussbetts gesehen werden. Neben den Hochwässern besitzt die Flussmorphologie eine große Bedeutung für die Ökologie und damit die Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie. Weiters betrifft der Feststoffhaushalt sehr stark die energiewirtschaftliche Nutzung der Gewässer, in dessen Rahmen beispielsweise Stauraumverlandungen zu minimieren sind.

Numerische Feststofftransportmodelle dienen zunehmend als Grundlage für die Planung von flussbaulichen Maßnahmen zum Hochwasserschutz und Gewässerrückbau sowie für Wasserkraftwerksplanungen.

Der vorliegende Arbeitsbehelf soll durch die anschauliche Aufbereitung den Einsatz von Feststofftransportmodellen in der Praxis erleichtern und die Modellauswahl ermöglichen.

Den Kolleginnen und Kollegen vom Arbeitsausschuss „Fließgewässermodellierung“ im ÖWAV möchte ich herzlich für die Mitwirkung bei der Erstellung dieses Arbeitsbehelfs danken.

Univ.-Prof. DI Dr. Helmut Habersack
Universität für Bodenkultur Wien

An der Erstellung des Arbeitsbehelfs „Fließgewässermodellierung“ haben folgende Personen mitgewirkt:

Ausschussvorsitzender:

Univ.-Prof. DI Dr. Helmut HABERSACK, Universität für Bodenkultur Wien

Ausschussmitglieder:

DI Dr. Hannes BADURA, VERBUND Hydro Power AG, Wien

DI Hannes GABRIEL, DonauConsult Ingenieurbüro GmbH, Wien

DI Dr. Michael HENGL, Bundesamt für Wasserwirtschaft, Wien

DI Dr. Boris HUBER, Technische Universität Wien

DI Gerald JÄGER, FTD f. WLW, Sektion Vorarlberg, Bregenz

DI Dr. Helmut KNOBLAUCH, Technische Universität Graz

DI Dr. Norbert KROUZECKY, Technische Universität Wien

DI Herfried HARREITER, VERBUND Hydro Power AG, Wien

DI Petra LALK, BMLFUW, Abt.VII/3, Wien

DI Christian MANDL, KELAG – Kärntner Elektrizitäts-AG, Klagenfurt

DI Markus MOSER, FDT f. WLW, Sektion Salzburg, Tamsweg

DI Dr. Dieter RICKENMANN, Swiss Federal Research Institute WSL, Birmensdorf

DI Stefan SATTLER, Ingenieurbüro für KT und WW Mayr & Sattler OG, Wien

a.o.Univ.-Prof. DI Dr. Friedrich SCHÖBERL, Universität Innsbruck

DI Dr Ursula STEPHAN, Bundesamt für Wasserwirtschaft, Wien

DI Dr. Michael TRITTHART, Universität für Bodenkultur Wien

AutorInnen (* Koordination des Kapitels):

Univ.-Prof. DI Dr. Helmut HABERSACK, Universität für Bodenkultur Wien (Kapitel 1*, 2*, 3*, 5, 7, 8, 9* und 13*)

DI Dr. Michael TRITTHART, Universität für Bodenkultur Wien (Kapitel 3, 4*, 9 und 10*)

DI Petra LALK, BMLFUW, Abt. VII/3, Wien (Kapitel 5*)

a.o.Univ.-Prof. DI Dr. Friedrich SCHÖBERL, Universität Innsbruck (Kapitel 2, 6*, 11 und 12)

DI Dr. Michael HENGL, Bundesamt für Wasserwirtschaft, Wien (Kapitel 2, 3, 6, 7*, 8, 9, 11 und 12)

DI Dr. Boris HUBER, Technische Universität Wien (Kapitel 4, 8* und 11)

Univ.-Ass. DI Dr. Helmut KNOBLAUCH, Technische Universität Graz (Kapitel 8, 11* und 12*)

DI Dr. Dieter RICKENMANN, Swiss Federal Research Institute WSL, Birmensdorf (Kapitel 2, 3 und 9)

DI Bernhard SCHOBER, Universität für Bodenkultur Wien (Kapitel 2)

DI Mario KLÖSCH, Universität für Bodenkultur Wien (Kapitel 3 und 9)

DI Hannes GABRIEL, DonauConsult Ingenieurbüro GmbH, Wien (Kapitel 5 und 8)

DI Marlene HAIMANN, Universität für Bodenkultur Wien (Kapitel 5 und 9)

DI Markus MOSER, FDT f. WLW, Sektion Salzburg, Tamsweg (Kapitel 5)

DI Dr. Ursula STEPHAN, Bundesamt für Wasserwirtschaft, Wien (Kapitel 5 und 12)

DI Dr. Hannes BADURA, VERBUND Hydro Power AG, Wien (Kapitel 9)

DI Dr. Christoph HAUER, Universität für Bodenkultur Wien (Kapitel 9 und 10)

DI Dr. Norbert KROUZECKY, Technische Universität Wien (Kapitel 11)

Für den ÖWAV:

Andreas GAUL, Bereichsleiter Wasser im ÖWAV, Wien

Inhalt

| | | |
|----------|---|-----------|
| | Symbolverzeichnis | 9 |
| 1 | Einleitung | 13 |
| 1.1 | Problemstellung | 13 |
| 1.2 | Ziele | 14 |
| 2 | Grundlagen zum Feststofftransport und zur Gewässermorphologie | 17 |
| 2.1 | Allgemeines | 17 |
| 2.2 | Feststoffkreislauf | 17 |
| 2.3 | Feststoffhaushalt | 18 |
| 2.3.1 | Gleichgewichtszustände | 19 |
| 2.3.2 | Feststoffe in Fließgewässern | 20 |
| 2.4 | Anthropogene Einflüsse auf den Feststoffhaushalt und Auswirkungen | 20 |
| 2.5 | Gesamtheitliche Betrachtung des Feststoffhaushalts und -transports – River Scaling Concept | 21 |
| 2.5.1 | Einzugsgebietsebene (Kontinentale/Regionale Skalenebene) | 22 |
| 2.5.2 | Flussstreckenebene | 22 |
| 2.5.3 | Lokale Skalenebene | 22 |
| 2.5.4 | Punkt-Skalenebene | 23 |
| 2.6 | Flussmorphologie und Sedimenttransport | 23 |
| 2.6.1 | Gestreckte Gerinne, Wildbäche und Gebirgsflüsse | 25 |
| 2.6.2 | Verzweigter Flusstyp | 25 |
| 2.6.3 | Mäandrierender Flusstyp | 26 |
| 2.6.4 | Sohlformen | 27 |
| 2.7 | Mechanismen des Geschiebe- und Schwebstofftransports | 28 |
| 2.7.1 | Unterscheidung Geschiebe-/Schwebstoff | 28 |
| 2.7.2 | Bewegungsbeginn | 30 |
| 2.7.3 | Selektiver Transport und Deckschichtbildung | 30 |
| 2.7.4 | Abrieb | 31 |
| 2.7.5 | Geschiebetransport und Fließwiderstand in Steilgerinnen | 31 |
| 2.7.6 | Mechanismen des Geschiebetransports in Flüssen | 33 |
| 3 | Mathematische Beschreibung | 35 |
| 3.1 | Grundlagen der Feststofftransportmodellierung | 35 |
| 3.2 | Geschiebetransport | 37 |
| 3.2.1 | Bewegungsbeginn | 37 |
| 3.2.2 | Deckschichtbildung | 40 |
| 3.2.3 | Abrieb | 41 |
| 3.2.4 | Geschiebetransportformeln | 43 |
| 3.2.5 | Zusammenstellung der Anwendungsbereiche der Geschiebetransportformeln | 53 |
| 3.2.6 | Auswahl und Anpassung der Geschiebetransportformeln | 55 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 3.3 | Schwebstofftransport | 55 |
| 3.3.1 | Allgemeines und Grundlagen..... | 55 |
| 3.3.2 | Auswahl und Anpassung der Schwebstofftransportformeln..... | 57 |
| 3.4 | Ufererosion | 57 |
| 4 | Numerische Methoden zur Modellierung | 61 |
| 4.1 | Einleitung | 61 |
| 4.2 | Raumdiskretisierung (inkl. Rechenetze) | 61 |
| 4.2.1 | Strukturierte Rechenetze | 61 |
| 4.2.2 | Unstrukturierte Rechenetze..... | 62 |
| 4.2.3 | Qualitätskriterien von Rechenetzen und Beeinflussung der Numerik..... | 64 |
| 4.2.4 | Numerische Verfahren | 65 |
| 4.2.5 | Diskretisierung einzelner Gleichungsterme | 66 |
| 4.3 | Zeitdiskretisierung | 67 |
| 4.3.1 | Explizite Verfahren | 68 |
| 4.3.2 | Implizite Verfahren..... | 68 |
| 4.4 | Rand- und Anfangsbedingungen | 68 |
| 5 | Daten – Bedarf und Qualität | 71 |
| 5.1 | Morphologie und Geometrie | 72 |
| 5.1.1 | Morphologische Charakterisierung..... | 73 |
| 5.1.2 | Gewässergeometrie | 74 |
| 5.1.3 | Transportwirksamer Sohlbereich | 76 |
| 5.1.4 | Fließwiderstände..... | 77 |
| 5.1.5 | Bauwerke..... | 78 |
| 5.2 | Hydrologie und Hydraulik | 78 |
| 5.2.1 | Charakteristische Durchflüsse | 79 |
| 5.2.2 | Abflussgenerierung für Prognose | 79 |
| 5.2.3 | Wasserspiegellagen | 80 |
| 5.3 | Sedimente | 81 |
| 5.3.1 | Gewässersohle einschließlich Erosionsbereiche..... | 81 |
| 5.3.2 | Repräsentative Probenentnahme | 85 |
| 5.3.3 | Korngrößen und Korneigenschaften | 93 |
| 5.3.4 | Feststoffein- und -austrag | 96 |
| 6 | Modellauswahl und Aufbau | 101 |
| 6.1 | Einleitung | 101 |
| 6.2 | Problemspezifische Abhängigkeiten | 104 |
| 6.2.1 | Planungsbezug | 104 |
| 6.2.2 | Datenspezifische Randbedingungen und Modellkalibrierung | 106 |
| 6.3 | Modellkonzipierung | 108 |
| 6.3.1 | Allgemeines..... | 108 |
| 6.3.2 | Modellaufbau (1-D-, 2-D- und 3-D-Modelle)..... | 109 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 7 | Kalibrierung, Sensitivitätsanalyse und Validierung..... | 113 |
| 7.1 | Kalibrierung | 114 |
| 7.1.1 | Modelleinstellungen | 115 |
| 7.1.2 | Messdatenunsicherheiten und Modellkalibrierung | 115 |
| 7.1.3 | Durchführung der Kalibrierung und Beurteilung der Anpassungsqualität..... | 116 |
| 7.2 | Sensitivitätsanalyse..... | 123 |
| 7.2.1 | Größe des Rechengebiets (Vor- und Nachlaufbereich)..... | 123 |
| 7.2.2 | Modelldiskretisierung..... | 124 |
| 7.2.3 | Einfluss von Modelleinstellungen | 124 |
| 7.2.4 | Variabilität der Eingangsdaten | 125 |
| 7.3 | Validierung..... | 128 |
| 7.3.1 | Vorgangsweise | 128 |
| 7.3.2 | Aussagegenauigkeit und Gültigkeitsrahmen validierter Modelle | 128 |
| 8 | Darstellung der Ergebnisse für numerische Modelle (Visualisierung und Präsentation) | 131 |
| 8.1 | Allgemeines | 131 |
| 8.2 | Arten der Darstellung | 131 |
| 8.3 | Grundlagen und Zielsetzung der Visualisierung | 131 |
| 8.4 | Fehlerquellen..... | 133 |
| 8.5 | Visualisierung von Strömungs- und Transportprozessen..... | 133 |
| 8.5.1 | Beispiele für Darstellungen von Transport- bzw. Sedimentationsvorgängen, des Schwebstoff- und Geschiebetransports und der Morphodynamik..... | 134 |
| 9 | Praktische Anwendung: Hintergründe – Anforderungen – Anwendungsbeispiele für numerische Modelle | 141 |
| 9.1 | Beispiele zur Schwebstofftransportmodellierung | 141 |
| 9.1.1 | Hintergründe | 141 |
| 9.1.2 | Anforderungen..... | 141 |
| 9.1.3 | Beispiele..... | 142 |
| 9.2 | Beispiele zur Geschiebetransport- und Morphodynamikmodellierung | 147 |
| 9.2.1 | Hintergründe | 147 |
| 9.2.2 | Anforderungen..... | 147 |
| 9.2.3 | Beispiele..... | 148 |
| 10 | Modelle, Hersteller und weitere Informationen | 171 |
| 10.1 | Einleitung | 171 |
| 10.2 | 1-D-Modelle | 173 |
| 10.3 | 2-D-Modelle | 186 |
| 10.4 | 3-D-Modelle | 197 |
| 11 | Physikalische Modellversuche | 207 |
| 11.1 | Grundlagen | 207 |
| 11.1.1 | Einleitung | 207 |
| 11.1.2 | Ähnlichkeitskriterium, Modellgesetze, Modellgrenzen..... | 208 |

| | | |
|-------------|--|------------|
| 11.1.3 | Ausbreitungsvorgänge von Wasserinhaltsstoffen und Wärme | 210 |
| 11.2 | Modelle mit fester und beweglicher Sohle..... | 210 |
| 11.2.1 | Grundlagen und Zielsetzungen | 210 |
| 11.2.2 | Wahl des Modellmaßstabes und des Modellgeschiebes..... | 211 |
| 11.2.3 | Modellüberhöhung | 214 |
| 11.2.4 | Modellierung kohäsiver/nicht kohäsiver Feststoffe..... | 215 |
| 11.3 | Modellierung von Speicherbecken | 215 |
| 11.3.1 | Grundlagen..... | 215 |
| 11.3.2 | Zielsetzungen | 216 |
| 11.3.3 | Dichteströmungen..... | 216 |
| 12 | Hybridmodelle..... | 219 |
| 12.1 | Beispiel Wasserwirtschaftliche Rahmenuntersuchung Salzach | 219 |
| 12.1.1 | Planungsinhalte | 220 |
| 12.1.2 | Für die hybride Modellierung eingesetzte Modelle | 220 |
| 12.1.3 | Planung und Umsetzung nach der Rahmenuntersuchung..... | 222 |
| 12.2 | Beispiel Physikalische und Numerische Modellierung des Strömungsverhaltens im Stauraum des KW Feistritz an der Drau | 223 |
| 12.2.1 | Allgemeines..... | 223 |
| 12.2.2 | Dreidimensionales Aufweitungsproblem | 223 |
| 12.2.3 | ADCP-Geschwindigkeitsmessungen im Stauraum | 224 |
| 12.2.4 | 3-D-numerisches Modell | 225 |
| 12.2.5 | Physikalischer Modellversuch..... | 226 |
| 12.2.6 | Ergebnisse..... | 227 |
| 12.2.7 | Einbau eines Leitwerks | 228 |
| 13 | Zusammenfassung | 231 |
| 14 | Literaturverzeichnis | 235 |