Alexy, Matthias

Entwicklung eines 1-D-Feststofftransportmodells für den Niederrhein

Verfügbar unter / Available at:

<https://hdl.handle.net/20.500.11970/100643>

Vorgeschlagene Zitierweise / Suggested citation:

Alexy, Matthias (2008): Entwicklung eines 1-D-Feststofftransportmodells für den Niederrhein. In: Wasserwirtschaft Jg. 98 (1-2/2008). S. 23-26.

Erstveröffentlichung in WasserWirtschaft 1-2 (2008), S. 23-26.

Für eine korrekte Zitierbarkeit ist die Seitennummerierung der Originalveröffentlichung für jede Seite kenntlich gemacht.

S. 23

Entwicklung eines 1-D-Feststofftransportmodells für den Niederrhein

Matthias Alexy

Auf der Grundlage des Programmsystems HEC-6 ist ein 1-D-Feststofftransportmodell für den Niederrhein (Rh-km 643,0 bis 865,4) entwickelt worden. Das Modell wurde auf der Grundlage der zwischen 1975 und 2000 eingetretenen morphologischen Entwicklung kalibriert und gibt dabei die beobachteten Veränderungen der mittleren Sohlenlagen gut wieder. Auch die Validierung des Modells anhand der zwischen 1934 und 1975 festgestellten Sohlenlagenentwicklung zeigt, dass mit dem Modell großräumige und langfristige morphologische Entwicklungen im Niederrhein gut nachvollzogen werden können. In verschiedenen Szenarienrechnungen wurde untersucht, wie die morphologische Entwicklung unter verschiedenen Randbedingungen verlaufen wäre. Im Mittelpunkt standen dabei die Auswirkungen der durch den Bergbau verursachten Bergsenkungen.

1 Einleitung

Die Rheinstrecke zwischen Rh-km 654 bei Bonn und Rh-km 865 an der deutsch-niederländischen Grenze wird als Niederrhein bezeichnet und zählt zu den am stärksten befahrenen Wasserstraßen Europas. Das Einzugsgebiet vergrößert sich von ca. 141 000 km² am Pegel Bonn auf ca. 160 000 km² an der Grenze. Das Sohlenlängsgefälle beträgt zwischen 0,23 ‰ im oberen und 0,08 ‰ im unteren Teil der Strecke. Durch die bis etwa 1900 im Wesentlichen abgeschlossenen Ausbauarbeiten ist ein weitgehend einheitliches Rheinbett geschaffen worden. In den darauf folgenden Jahren wurden die daraus resultierenden stabilen Sohlenlagen jedoch durch anthropogene Eingriffe massiv gestört. Seit Ende der Zwanziger Jahre werden unter dem Rhein befindliche Steinkohlevorkommen abgebaut. Dadurch kam und kommt es im Bereich zwischen Rh-km 775 und 810 zu teilweise erheblichen Absenkungen der Flusssohle und der Vorländer. Seit 1976 werden die eingetretenen Absenkungen durch die Verklappung von Waschbergematerial zeitnah ausgeglichen. Außerdem erfolgten im vergangenen Jahrhundert weitere anthropogene Eingriffe mit zum Teil erheblichen Auswirkungen auf die morphologische Entwicklung des Niederrheins:

- Kiesbaggerungen im Sohlenbereich,
- Eindeichung von Retentionsräumen,
- Verminderung des Geschiebeeintrags aus den Nebenflüssen durch den Bau von Staustufen,
- Initialisierung des Geschiebetransports durch den Schraubenstrahl leistungsstarker Binnenschiffe.

Um das derart aus dem Gleichgewicht gebrachte Geschieberegime zu stabilisieren, bedarf es neben Flussregelungsmaßnahmen einer ergänzenden Geschiebemanagement. Damit soll es gelingen, ein dynamisches Sohlengleichgewicht als eine wesentliche Voraussetzung für die Sicherung der Leistungsfähigkeit der wichtigeren

Bild 1: Modellkalibrierung: Zwischen 1975 und 2000 beobachtete und berechnete Änderungen der mittleren Sohlenlagen

Rh-km	1934/1950	1950/1960	1960/1965	1965/1970	1970/1975
775-780	581550 m ³ 0,39 m	198170 m ³ 0,13 m	28936 m ³ 0,02 m	0 0,00 m	0 0,00 m
780-785	1348000 m ³ 0,90 m	583600 m ³ 0,39 m	0 0,00 m	0 0,00 m	0 0,00 m
786-789	1254780 m ³ 1,39 m	841164 m ³ 0,93 m	40000 m ³ 0,04 m	40000 m ³ 0,04 m	40000 m ³ 0,04m
791-793	32042 m ³ 0,05 m	760718 m ³ 1,27 m	700000 m ³ 1,17 m	50000 m ³ 0,08 m	750000 m ³ 1,25 m
795-798	0 0,00m	52129 m ³ 0,06 m	240000 m ³ 0,27 m	670000 m ³ 0,74 m	980000 m ³ 1,09 m

Tab. 1: Zwischen 1934 und 1975 beobachtete Bergsenkungen und daraus abgeleitete Eintiefungen der Flusssohle (Angaben des WSA Duisburg-Rhein)

ten Binnenwasserstraße Europas zu erreichen und im Zusammenwirken mit gleichzeitig durchgeführten Flussregelungsmaßnahmen eine dauerhafte Sicherheit und Leichtigkeit der Schifffahrt sowie den Erhalt der Umwelt im Nahfeld des Flusses zu gewährleisten.

Zur Optimierung der Geschiebemanagement ist es erforderlich, die Wirkung von Einzelmaßnahmen zu prognostizieren. Ein wichtiges Werkzeug zur Erstellung langfristiger und großräumiger Prognosen für die zukünftige morphologische Entwicklung des Niederrheins sind numerische Modelle zur Simulation von Feststofftransportvorgängen und den daraus resultierenden Veränderungen der Flusssohle. Für ausgedehnte Strecken und lange Simulationszeiträume werden aufgrund des hohen Rechenzeit- und Speicherplatzbedarfs für mehrdimensionale Modelle bevorzugt 1-D-Feststofftransportmodelle (FTM) eingesetzt.

2 Kalibrierung und Validierung des Modells

Der Niederrhein wurde auf der Grundlage des 1-D-FTM-Verfahrens HEC-6 mit Querprofilen in einem Abstand von 100 m modelliert. Nach der hydraulischen Kalibrierung, die anhand von Wasserspiegelfixierungen durchgeführt wurde, erfolgte auf der Grundlage der zwischen 1975 und 2000

beobachteten Sohlenlagenentwicklung die morphologische Kalibrierung des Modells. Mit der Vorgabe der hydrologischen und sedimentologischen Randbedingungen gelang es, die morphologische

Bild 2: Modellvalidierung: Zwischen 1934 und 1975 beobachtete und berechnete Änderungen der mittleren Sohlenlagen

Entwicklung des Niederrheins recht genau nachzuvollziehen (Bild 1). Auch die errechneten Feststofffrachten stimmen mit den gemessenen Werten im Wesentlichen überein.

Die Validierung, d. h. die Überprüfung des Modells mit nicht zur Kalibrierung verwendeten Naturdaten, erfolgte über die Berechnung der zwischen 1934 und 1975 beobachteten Entwicklung der mittleren Sohlenhöhen. Als wesentliche Randbedingung waren dabei die im Validierungszeitraum von 1934 bis 1975 eingetretenen, nicht ausgeglichenen Bergsenkungen zu berücksichtigen (Tabelle 1). Bild 2 zeigt den beobachteten und berechneten Verlauf der Sohlenlagenentwicklung unter den im Zeitraum 1934 bis 1975 tatsächlich eingetretenen Verhältnissen, welche neben den Bergsenkungen auch zahlreiche Baggermaßnahmen umfassen.

Im Wesentlichen gibt das auf der Grundlage der im Zeitraum von 1975 bis 2000 beobachteten Sohlenlagenveränderungen kalibrierte Modell auch die zwischen 1934 und 1975 beobachtete morphologische Entwicklung recht gut wieder. Lokale Abweichungen können ihre Ursache in einer ungenauen räumlichen und zeitlichen Abbildung der tatsächlich eingetretenen Bergsenkungen und Baggerungen im Modell haben. Außerdem mussten wegen fehlender Daten für den Ufer- und Vorlandbereich die im Jahr 2000 ermittelten Geländehöhen in die 1934er Ausgangsgeometrie eingebaut werden. Damit konnten im Validierungszeitraum außerhalb des Mittelwasserbettes durchgeführte Bau- und Unterhaltungsmaßnahmen nicht berücksichtigt werden.

3 Szenarienrechnungen

Bild 3 zeigt die mit dem Feststofftransportmodell berechnete morphologische Entwicklung für das hypothetische Szenario, in dem kein Bergbau stattgefunden hätte. Im Vergleich dazu ist der für die tatsächlichen Randbedingungen berechnete Verlauf der Sohlenlagenentwicklung dargestellt.

Der Vergleich der morphologischen Entwicklungen, die sich nach den Berechnungen mit und ohne Bergbau ergeben, zeigte, dass durch die Bergsenkungen eine leichte, rückschreitende Erosion oberhalb Rh-km 775 verursacht wird. Gleichzeitig ist ersichtlich, dass sich die Sen-

Alexy: Entwicklung eines 1-D-Feststofftransportmodells für den Niederrhein.
WasserWirtschaft 1-2 (2008), S. 23-26.

S. 25

kungen ab Rh-km 790 bis zum Ende des Simulationszeitraumes im Jahr 1975 nur wenig aufgefüllt haben und damit immer noch recht deutlich hervortreten. Mit dem Feststofftransportmodell wird über den Simulationszeitraum 1934 bis 1975 ein Volumenverlust von 7,15 Mio. m³ berechnet. Bei einem für den Zeitraum von 1934 bis 1975 angegebenen Bergsenkungsvolumen von 9,2 Mio. m³ haben sich somit ca. 2 Mio. m³ Geschiebematerial im Bergsenkungsbereich abgelagert. Diese Menge entspricht einer jährlichen Rate von 50 000 m³/a und führt umgerechnet zu einer mittleren Sohlenaufhöhung von insgesamt etwa 0,2 m (0,5 cm/a), womit der durch die Bergsenkung verursachte Sohlenverfall nur zu etwa 20 % ausgeglichen wurde. Das ist auch der Grund dafür, dass sich unmittelbar unterhalb der vom Bergbau betroffenen Flussstrecke das Geschiebedefizit in Grenzen hält und deshalb dort auch keine nennenswerte bergbaubedingte Erosion zu verzeichnen ist.

In einem weiteren Schritt wurde untersucht, welche Sohlenhöhenentwicklung eingetreten wäre, wenn die aufgetretenen Bergsenkungen nicht zeitnah durch die Verklappung von Waschbergematerial ausgeglichen worden wären. Zur Realisierung des fiktiven Szenarios, dass kein Ausgleich der Senkungen stattgefunden hätte, wurde das im Untersuchungszeitraum verklappte Volumen in Sohleneintiefungen entsprechend Tabelle 2 umgerechnet.

Bild 4 zeigt die mit dem Feststofftransportmodell berechnete Entwicklung der mittleren Sohlenhöhen für den Zeitraum von 1975 bis 2000 für die tatsächlichen Verhältnisse und für den hypothetischen Fall, dass kein zeitnaher Ausgleich der eingetretenen Sohlenabsenkungen stattgefunden hätte. Außerdem sind die in diesem Zeitraum abgelaufenen Bergsenkungen eingetragen, welche entsprechend Tabelle 2 aus den verklappten Waschbergemengen berechnet wurden.

Die Ergebnisse zeigen, dass es ohne den Ausgleich der Bergsenkungen zu Sohleneintiefungen von bis zu 2,5 m gekommen wäre (Differenzdarstellung in Bild 4). Außerdem sind bergsenkungsbedingte Erosionserscheinungen unmittelbar oberhalb des vom Bergbau betroffenen Bereiches sichtbar.

Seit den siebziger Jahren wirkt der von den Bergsenkungen betroffene Flussabschnitt offenbar zunehmend als Geschiebefang. Deshalb kommt es für das hypothetische Szenario – ohne den Aus-

Bild 3: Für den Zeitraum von 1934 bis 1975 berechnete Sohlenlagenentwicklung für die tatsächlichen Randbedingungen und unter der Annahme, dass keine Bergsenkungen stattgefunden hätten

Strecke	Fläche=Länge x300m	Verklapptes Vo- lumen	Absenkung	12 Teilabs.
Rh-km 794-799	1500000 m ²	5870000 m ³	3,91 m	0,33 m
Rh-km 801-804	900000 m ²	630000 m ³	0,70 m	0,06 m
Rh-km 806-808	600000 m ²	180000 m ³	0,30 m	0,03 m
Insgesamt		6680000 m ³		

Tab. 2: Im Modell vorgegebene Eintiefungen des Flussbettes zur Simulation einer Sohlenlagenentwicklung ohne Ausgleich der zwischen 1975 und 2000 eingetretenen Bergsenkungen

Bild 4: Für den Zeitraum von 1975 bis 2000 berechnete Sohlenlagenentwicklung mit und ohne zeitnahen Ausgleich der Bergsenkungen

Alexy: Entwicklung eines 1-D-Feststofftransportmodells für den Niederrhein.
WasserWirtschaft 1-2 (2008), S. 23-26.

S. 26

gleich der Bergsenkungen in der sich unterstrom anschließenden Strecke – wegen des zunehmenden Geschiebedefizits zu erheblichen Sohleintiefungen.

Ausblick

Das auf der Grundlage des Programmsystems HEC-6 entwickelte Feststofftransportmodell für den Niederrhein (Rh-km 643,0 bis 865,4) gibt die zwischen 1975 und 2000 beobachteten Veränderungen der mittleren Sohlenlagen gut wieder. Auch die Validierung des Modells anhand der zwischen 1934 und 1975 festgestellten Sohlenlagenentwicklung zeigt, dass mit dem Modell die in diesem Zeitraum beobachtete morphologische Entwicklung gut nachvollzogen werden kann. Das hier vorgestellte Feststofftransportmodell ermöglicht damit trotz einiger programmseitiger Beschränkungen langfristige und großräumige Prognosen für die Entwicklung der mittleren Sohlenlagen im Niederrhein unter der Annahme verschiedener Randbedingungen. Aufgrund der sehr detaillierten Aufbereitung der Naturdaten (Profilzustände, Bauwerke, hydrologische und morphologische Randbedingungen) und der umfangreichen Erfassung der anthropogenen Einflüsse stellt das Modell eine

ideale Basis für künftige Untersuchungen mit verbesserten 1-D- und mehrdimensionalen Feststofftransportmodellen dar.

Matthias Alexy

Development of an 1-D Sediment Transport Model for the Lower Part of the River Rhine

A one-dimensional sediment transport model based on the HEC-6 modelling system was developed for the lower part of the River Rhine. The calibration of the model followed the morphological changes between 1975 and 2000 and the model reproduces the measured mean bed levels well. An additional validation using bed data from 1934 up to 1975 confirms the model prognostic ability for large scale and long term morphological developments. Investigations of potential morphodynamical changes by means of various scenario computations which differ in applied boundary conditions were performed, concentrating mainly on the influence of mining subsidences of the river bed.

Autor

Dipl.-Ing. Matthias Alexy

Bundesanstalt für Wasserbau
Kußmaulstr. 17
76187 Karlsruhe
matthias.alexey@baw.de

Buchtipps

DWA (Hrsg.):

Handlungsempfehlungen zum Umgang mit Regenwasser

DWA, Hennef, 2007; ISBN 978-3-939057-98-7; 37 S.; € 41,-

Das neue Merkblatt DWA-M 153 liefert Handlungsempfehlungen zur Regenwasserbewirtschaftung v. a. durch Maßnahmen zur Rückhaltung und Versickerung desselben. Kern des Merkblattes ist die Bewertung des Regenabflusses einschließlich der verschiedenen Einflussfaktoren. Dabei wird auf die Gewässer, in die Regenwasser abgeleitet wird, und auf die Verschmutzung der Oberflächen eingegangen. Auch wird dargestellt, wann eine Regenwasserbehandlung sowohl aus qualitativen als auch quantitativen Gründen erforderlich ist sowie welche Maßnahmen möglich sind und welche Effekte sie bringen. Schließlich enthält das Merkblatt Empfehlungen zur mengen- und gütemäßigen Behandlung von Regenwasser in modifizierten Entwässerungssystemen und in Trennsystemen. Mit Hilfe vereinfachter Bewertungsverfahren kann die Belastung von unter- und oberirdischem Wasser durch Regenwasser von Dach- und Verkehrsflächen qualitativ und quantitativ berücksichtigt werden. Der Anhang enthält die Tabellen zum Bewertungsverfahren sowie drei Beispiele, die die Anwendung des Bewertungsverfahrens illustrieren und dem Anwender die Nutzung erleichtern.

Autorenfassung

Alexy: Entwicklung eines 1-D-Feststofftransportmodells für den Niederrhein, 2008

Heiland, J. :

Wassergesetz für Baden-Württemberg (WG)

Kommunal- und Schul-Verlag, Wallauf, 2007; ISBN 978-3-8293-0687-4; 754 S., € 65,-

Der aktualisierte Kommentar behandelt alle bedeutenden Fragen und Problemfelder der baden-württembergischen Wasserrechtspraxis, wie z. B. Gewässerbenutzungen, Gewässerausbau und Gewässerunterhaltung, Gewässereigentum und Gemeingebrauch, Bewirtschaftung des Niederschlagswassers, Wasserversorgung, Gewässeraufsicht, Hochwasserschutz und Überschwemmungsgebiete u. a. m. Dieser anschauliche Praxis-Kommentar behandelt darüber hinaus bundes- und europarechtlichen Vorschriften sowie Richtlinien und berücksichtigt die Verflechtung des wasserrechtlichen Vollzugs mit anderen Rechtsgebieten, wie z. B. des Baurechts und des Verfahrensrechts. SH

Neuerscheinungen in Kürze

Lersner et al.: Handbuch des Dt. Wasserrechts. Erg. 8/07 mit Änderungen des WHG sowie der WG Niedersachsens und Sachsens u. a. m. Berlin: E. Schmidt Verlag, ISBN 9-783-503-00011-1.

Storm/Lohse: EG-Umweltrecht. Erg. 8/07 mit Aktualisierung des Arten- und Biotopschutzrechts u. a. m. Berlin: E. Schmidt Verlag, ISBN 978-3-503-03497-0.

Bundesanstalt für Wasserbau (Hrsg.): Wasserbauliches Versuchswesen. Mitteilungsblatt der BAW, Nr. 90, 2007 (www.baw.de).