

Verbundvorhaben „Morphodynamik der Elbe“: Eindimensionale Strömungs- und Feststofftransport-Berechnungen der Elbe

Kerstin Adam, Günter Meon, Klaas Rathke

Zielstellung

Das Ziel des Teilprojektes „1D-Berechnung der Wasserspiegellagen und des Feststofftransports“ im Verbundprojekt „Morphodynamik der Elbe“ (FKZ 0339566) ist die Erfassung und Beurteilung des gegenwärtigen Abfluß- und Feststoffregimes der Elbe von der tschechisch-deutschen Grenze bis zur Staustufe Geesthacht (rd. 600 km Fließstrecke). Das Abflußverhalten der Elbe ist einer ständigen Veränderung unterworfen, die sich insbesondere auch auf den Feststofftransport auswirkt und wiederum eine Rückkopplung auf das Abflußgeschehen bewirkt.

Auswahl des Berechnungsverfahrens

Im Verbundprojekt ist die Auswertung und Bearbeitung des vorhandenen aktuellen Datenmaterials entlang der Elbe vorgesehen. Für den Aufbau der eindimensional-hydrnumerischen Modelle mit fester bzw. beweglicher Sohle sind neben Geometriedaten auch hydrologische und sedimentologische Eingangsgrößen zu bestimmen.

Aktuelle Querprofile mit Vorlandanschluß aus den 90er-Jahren liegen für die deutsche Elbe nicht durchgehend vor. Eine komplette modelltechnische Aufnahme des Ist-Zustandes der deutschen Elbe ist schon allein aus diesem Grund nicht möglich. Für die Erstellung von eindimensionalen (1D) Modellen müssen die vorhandenen Peilungen des Flußschlauches durch Digitalisieren der Vorländer bis zu den Hochwasserdeichen aus den Topographischen Karten (M 1:10.000) ergänzt bzw. mit Digitalen Geländemodellen (DGM) der Landesvermessungsämter verknüpft werden. Die Höhengenaugigkeit der Vorlandanbindungen liegt in beiden Fällen i.d.R. bei 0,5 m.

Aufgrund der Datenlage und des gegenüber der 1D-Modellierung erheblich höheren Bearbeitungsaufwandes wurde schon bei der Vorhabensbeantragung für die Erstellung eines aussagekräftigen Planungsinstrumentes auf die 2D-Modellierung für die gesamte Elbe verzichtet. Insgesamt liefern die aufbereiteten Daten der Flußpeilungen und Anbindungen eine solide Datenbasis für eine 1D-Berechnung, die für detaillierte 2D-Berechnungen zu erweitern bzw. zu verbessern ist.

Zu den erforderlichen hydrologischen Daten für 1D-Modelle zählen die Abflußkurve für den unterstromigen Modellrand und die Wasserspiegelfixierungen, anhand derer die Kalibrierung (Eichung) der hydrnumerischen Modelle erfolgt. Die Auswertung der Abflüsse und Wasserstände an den neun Hauptpegeln entlang der Elbe wurden im Teilprojekt „Hydrologische Analyse und Datenmanagement“ des Verbundprojektes durchgeführt. Aus diesen Abflußkurven und den Wasserspiegelfixierungen lassen sich

die erforderlichen unterstromigen Modellrandbedingungen ableiten. Die Fixierungen des Wasserspiegels sind nicht in allen Abschnitten der Elbe über das gesamte Abflußspektrum vorhanden (i.d.R. fehlen Hochwasserfixierungen). Die Aufnahmegenauigkeit nimmt mit steigendem Wasserstand ab und kann bei Hochwasser im Dezimeter-Bereich liegen.

Abflußabhängige Geschiebe- und Schwebstoffmessungen werden von der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) an verschiedenen Probenahmepunkten der Elbe seit 1990 durchgeführt. Die Untersuchungsschwerpunkte liegen zumeist in den bekannten Problemstellen der Elbe (Erosionsstrecke, Reststrecke) und zeigen auch bei vergleichbaren Abflüssen eine hohe Streuung.

Die oben beschriebenen Einschränkungen in der Datenlage und die Länge des Untersuchungsgebietes (rd. 600 km Fließstrecke) lassen eine gesamtheitliche Betrachtung nur mit eindimensional-hydrnumerischen Modellen zu. Die vorhandenen Sedimentdaten können zur Abschätzung von sedimentologischen Parametern herangezogen werden; für die Erstellung von Sedimenttransportmodellen mit größerer Genauigkeit müßte die Häufigkeit der Messungen erhöht und das gesamte Abflußspektrum besser erfaßt werden.

Stand der Bearbeitung

Für eine vielfältige Nutzung der Daten über das Projektende hinaus ist die Verwendung von üblichen Standards und Programmen (HEC-2/HEC-6) sinnvoll. Im Verbundprojekt wird daher intensiv mit der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) zusammengearbeitet, um eine Ergänzung ihrer Arbeiten zu ermöglichen und die im Verbundprojekt gesteckten Ziele (Betrachtung der gesamten Elbe) - soweit datentechnisch und zeitlich realisierbar - erreichen zu können.

Die Erstellung von hydrnumerischen Modellen erfolgt daher verstärkt in den Streckenabschnitten, in denen bisher keine Untersuchungsschwerpunkte der BAW (Erosionsstrecke, Reststrecke) lagen. Tabelle 1 zeigt einen Überblick über die im Verbund erstellten 1D-Modelle in Ergänzung zur BAW. Insbesondere im Bereich der tschechisch-deutschen Grenze (Elbe-km 0) bis zur Erosionsstrecke (km 121) lassen die verfügbaren Daten keine aussagekräftige Modellierung zu.

Tab. 1 Übersicht der erstellten eindimensional-hydrnumerischen Modelle

Elbe-km	Bezeichnung des Streckenabschnitts	Bearbeitung
121 – 235	Erosionsstrecke	BAW/Verbund
271 – 288	Biosphärenreservat	Verbund
340 – 425	Sachsen-Anhalt	Verbund
438 – 495	Lenzen	BAW/Verbund
480 – 536	Reststrecke	BAW

Vergleich verschiedener Berechnungsansätze

Grundlage der Wasserspiegellagen-Berechnungen mit den Programmen HEC-2/HEC-6 ist der Ansatz nach Gaukler-Manning-Strickler in Verbindung mit der Energiehöhengleichung nach Bernoulli. Der physikalisch besser begründete Ansatz von Darcy-Weisbach ist im DVWK-Merkblatt 220 näher erläutert. Er berücksichtigt den Einfluß von Bewuchs nach Mertens oder Pasche und ermöglicht aufgrund der differenzierteren Behandlung der Rauheitsanteile im Flußquerschnitt die Ermittlung des sohlenbezogenen Schubspannungsanteils als Eingangsgröße für die nachfolgenden sedimentologischen Berechnungen.

An der Universität-GH Paderborn, Abt. Höxter, wurde das Programm HYSEMO32 auf Grundlage der DVWK 220 entwickelt. Zur Berücksichtigung der Bewuchsrauhheit wurde zunächst nur der Ansatz nach Mertens einbezogen, da der Einfluß der Interaktion im Übergang vom Vorland zum Flußquerschnitt auf die gesamte Abflußsituation bei dem verhältnismäßig breiten Gewässer der Elbe als vernachlässigbar einzustufen ist.

An einem Streckenabschnitt der Elbe (Biosphärenreservat an der mittleren Elbe, km 271,2-288,3) sind die hydraulischen und sedimentologischen Berechnungen von HYSEMO32 mit HEC-2/HEC-6 verglichen worden. Es zeigten sich weitgehend übereinstimmende Ergebnisse in der Berechnung der Wasserspiegellagen. Die Möglichkeiten des Ansatzes von Gaukler-Manning-Strickler reichen demnach aus, um das Abflußgeschehen der Elbe ausreichend genau darzustellen. Als Ursache hierfür ist in erster Linie die Verteilung des Abflusses auf Flußschlauch und Vorland zu sehen. Selbst bei höchsten Wasserständen wird der deutlich höhere Abflußanteil im Flußschlauch abgeführt; die Durchströmung von Bewuchsbereichen bzw. die Interaktion mit bewuchsfreien Querschnittsanteilen tritt in den Hintergrund.

Die Betrachtung des Feststofftransports der beiden Berechnungsansätze zeigte unter Verwendung der Transportformel von Tofaletti ähnliche Jahresfrachten und auch Auflandungs- und Erosionstendenzen an den vergleichbaren Stellen im Streckenabschnitt Biosphärenreservat.

Anwendung der Berechnungsergebnisse

Die Berechnungen liefern hydraulische und sedimentologische Strömungsparameter (z.B. Wasserstände, Geschwindigkeiten, Sohlschubspannungen, Feststofffrachten). Diese können im Hinblick auf wasserbauliche und ökologische Fragestellungen weiter aufbereitet werden. Die Einbeziehung abiotischer Parameter kann somit zur Erstellung ökologischer Leitbilder von Teilräumen an der Elbe beitragen.

Erst eine Verknüpfung der Topographie mit der Hydrologie und den abiotischen Strömungsparametern liefert wichtige Informationen im Hinblick auf auenökologische Fragestellungen. Die aufbereiteten topographischen Informationen wurden daher nicht nur für die Erstellung hydronumerischer Modelle dieses Teilprojekts, sondern auch zur Erstellung von digitalen Geländemodellen (DGM) im Verbundprojekt herangezogen (Teilprojekt „Geländemodell und GIS“).

Eine Verschneidung der Geländeoberfläche mit berechneten Wasserspiegeln in einem Geographischen Informationssystem (GIS) bietet die Möglichkeit überflutete Auen darzustellen. Die für die Auen-Ökologie relevanten Abflüsse werden hierbei über die Analyse der Pegelzeitreihen gewonnen. Für eine Betrachtung des Abflußgeschehens ist neben dem Wasserstand auch die Häufigkeit und die Dauer, sowie der Monat bzw. die Jahreszeit eines Ereignisses ausschlaggebend. Die nachfolgende Abbildung 1 basiert auf berechneten Wasserspiegellagen dieses Teilprojekts und soll die aufgeführten Zusammenhänge nochmals verdeutlichen.

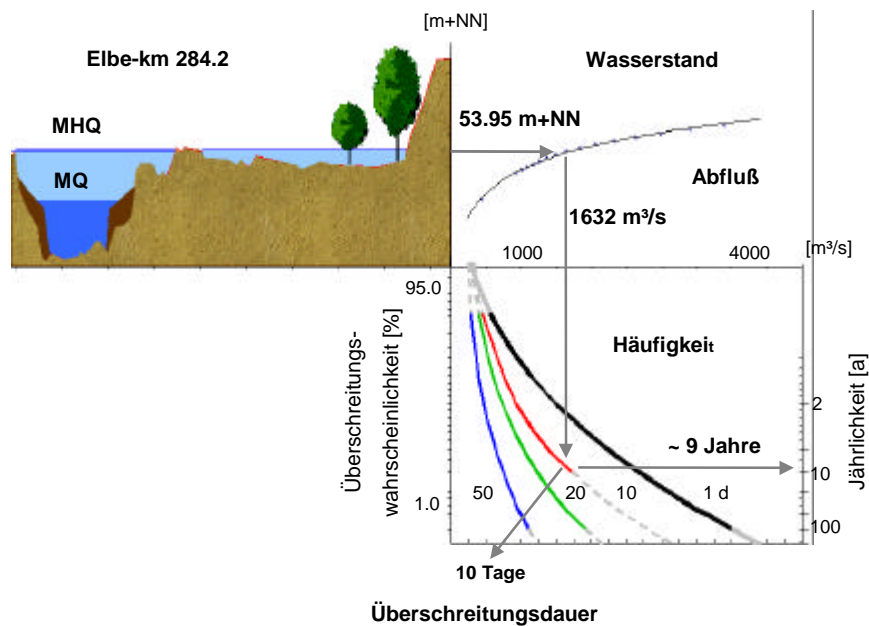


Abb. 1 Abhängigkeit Gewässergeometrie-Wasserstand-Abfluß-Häufigkeit-Dauer

Die hydraulischen und sedimentologischen Berechnungen, die zunächst die Kalibrierung (Eichung) der Modelle beinhalten, können danach für Szenarien eingesetzt werden. Über die Variation von Rauheitsbeiwerten kann z.B. die Entwicklung von Auwald simuliert oder über eine veränderte Geometrie die Auswirkungen von Deichrückverlegungen erfaßt werden. Die Sedimenttransportmodelle prognostizieren darüber hinaus die möglichen Auswirkungen auf den Sedimenttransport und weisen Erosions- und Akkumulations-strecken aus.

Der Einsatz von eindimensionalen Modellen ist durch die Berechnungsansätze und dadurch bedingten notwendigen Vereinfachungen sicherlich eingeschränkt. Aber bei der zur Zeit vorliegenden Datenlage und zu einer ersten Charakterisierung von verschiedenen Elbeabschnitten ist ihr Einsatz fachlich gerechtfertigt. Durch ihre Anwendung können die Teilabschnitte der Elbe eingegrenzt werden, in denen für spezifische Fragestellungen ein sinnvoller Einsatz erweiterter Modelltechniken (z.B. 2D, physikalisch) in Frage kommt.