

# HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

---

Conference Paper, Published Version

**Kohane, Roberto**

## **Einsatz von Modellen bei der Planung von Hochwasserschutzmaßnahmen am Beispiel der Hochwasserschutzkonzeption Zwickauer Mulde**

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/20.500.11970/103913>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Kohane, Roberto (2004): Einsatz von Modellen bei der Planung von Hochwasserschutzmaßnahmen am Beispiel der Hochwasserschutzkonzeption Zwickauer Mulde. In: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik (Hg.): Risiken bei der Bemessung und Bewirtschaftung von Fließgewässern und Stauanlagen. Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen 27. Dresden: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik. S. 249-257.

### **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.



# **Einsatz von Modellen bei der Planung von Hochwasserschutzmaßnahmen am Beispiel der Hochwasserschutzkonzeption Zwickauer Mulde**

Roberto Kohane

Zur Zeit werden Hochwasserschutzkonzepte für mehrere Fließgewässer Sachsens erarbeitet. Ziel dieser Studien ist es, zum einen die Entstehung des Hochwassers sowie den Ablauf des Ereignisses und der eingetretenen Schadensprozesse zeitlich und räumlich zu analysieren und zu beschreiben. Zum anderen sollen im Ergebnis der Analyse geeignete Abhilfemaßnahmen zum Hochwasserschutz der betroffenen Gebiete und Ortslagen untersucht und vorgeschlagen werden. Im vorliegenden Beitrag wird am Beispiel der Hochwasserschutzkonzeption Zwickauer Mulde der Einsatz von mathematischen Modellen und GIS demonstriert.

Hochwasserschutzkonzept, mathematische Modellierung, GIS, Hochwasserschutz

## **1 Einleitung**

Das Extremhochwasser vom August 2002 hat gezeigt, dass in vielen Flüssen Sachsens kein umfassender und wirksamer Hochwasserschutz für Siedlungen, Industrie- und Infrastrukturanlagen vorhanden ist. Mit dem Ziel der Verbesserung des Hochwasserschutzes werden zur Zeit für mehrere Flusseinzugsgebiete Sachsens Hochwasserschutzkonzepte an Gewässern 1. Ordnung durch Ingenieurbüros erarbeitet. Mit Hilfe dieser Konzepte sollen technische Hochwasserschutzmaßnahmen für Objekte und Flächen unter Berücksichtigung definierter Schutzziele entlang des Flusses geplant und ausgewiesen werden.

Die meisten Hochwasserschutzkonzepte, die zur Zeit in Sachsen erstellt werden, sind nach einem vorgegebenen, einheitlichen Schema aufgebaut. Dabei spielen mathematische Modelle und GIS eine zentrale Rolle. Anhand des Beispiels der Hochwasserschutzkonzeption Zwickauer Mulde wird erläutert, welche Fragen mittels hydraulischer Modellierung untersucht werden, welche Anforderungen die Modelle erfüllen müssen und welche Risiken sich für die Bemessung von Hochwasserschutzmaßnahmen ergeben.

## 2 Hochwasserschutzkonzept Zwickauer Mulde

Das hier betrachtete Beispiel des Hochwasserschutzkonzeptes Zwickauer Mulde berücksichtigt das Einzugsgebiet der Zwickauer Mulde im Flussabschnitt zwischen Flusskilometer 10,7 und 75,5. Die Flussstrecke beträgt 64,8 km und fließt 27,6 km durch den Landkreis Chemnitzer Land und 37,2 km durch den Landkreis Mittweida. Nicht zum Untersuchungsgebiet gehören die Flusseinzugsgebiete der wichtigsten Nebenflüsse Chemnitz und Lungwitzbach, für die z. Z. ebenfalls Hochwasserschutzkonzepte erarbeitet werden.

Die Studie, welche im Jahre 2003 durchgeführt wurde, gliedert sich in mehrere inhaltliche Abschnitte. Eingang der Studie wurde das Extremereignis 2002 umfassend analysiert. Dabei wurden vor allem das Schadensausmaß und die abgelaufen Prozesse des Hochwassers näher betrachtet. Darüber hinaus wurden die meteorologische Situation, die hydrologischen Verhältnisse sowie die Auswirkungen des Ereignisses auf die Hydraulik, Morphologie und ökologische Durchgängigkeit des Gewässers analysiert und beschrieben. Vergleiche zu früheren extremen Hochwassern wurden ebenfalls angestellt.

Als Basis für die Analyse der vorhandenen Hochwasserschutzsituation und zur Untersuchung neuer Hochwasserschutzmaßnahmen wurde eine detaillierte hydraulische Modellierung vorgenommen. Ausgehend von bereits vorhandenen bzw. im Rahmen der Studien erstellten Daten zur Hydrologie des Untersuchungsgebiets wurden mit Hilfe von ein- und zweidimensionalen Strömungsmodellen die Abflussverhältnisse im Gewässer bei unterschiedlichen Hochwasserabflüssen rechnerisch erfasst. Dabei wurde der bordvolle, schadlos abführbare Abfluss im Gerinne bestimmt und die Leistungsfähigkeit bestehender Kreuzungsbauwerke sowie von HW-Schutzanlagen beurteilt. Auf der Basis der Modellergebnisse wurden die Überschwemmungsflächen und Überschwemmungsintensitäten für die betrachteten HW-Abflüsse ermittelt und mittels GIS in Karten graphisch dargestellt.

Unter Verwendung von vorhandenen Empfehlungen der Landestalsperrenverwaltung des Freistaats Sachsen wurden Schutzziele definiert. Anhand der Modellergebnisse wurde für die Ist-Situation die Hydraulik des derzeit bestehenden Gewässersystems und die Leistungsfähigkeit vorhandener Hochwasserschutzanlagen beurteilt und analysiert. Anschließend wurde eine Abschätzung des Schadenspotenzials und eine Gefahrenanalyse und Gefahrenbeurteilung für den Ist-Zustand vorgenommen.

Unter Berücksichtigung der oben definierten Schutzziele und der berechneten Wasserspiegellagen und Überschwemmungsflächen des Ist-Zustands wurden schützenswerte Bereiche im Überschwemmungsgebiet identifiziert. Zum Schutz dieser Flächen wurden Hochwasserschutzmaßnahmen vorgeschlagen und mit dem Modell hinsichtlich ihrer hydraulischen Wirksamkeit untersucht. Dabei wurden sowohl überregional wirksame als auch örtliche Hochwasserschutzmaßnahmen einzeln und in Kombination berücksichtigt. Nach technischer, hydraulischer und ökologischer Bewertung der Maßnahmen und Durchführung einer Kosten-Nutzen-Betrachtung wurde schließlich eine Vorzugsvariante vorgeschlagen, für die Intensitätskarten unter Berücksichtigung verschiedener Hochwasserabflüsse erstellt wurden.

Als Ergebnis der Studie wurde ein Maßnahmenplan mit Angaben zur Priorisierung der Maßnahmen, zum Finanzbedarf und zur Zeitplanung erarbeitet

### **3 Besonderheiten der hydraulischen Modellierung**

Für das Hochwasserschutzkonzept Zwickauer Mulde wurde gemäß den Projektvorgaben eine hydraulische Modellierung basierend auf einem eindimensionalen stationären Modellansatz durchgeführt. Zur Modellierung wurde das Programmsystem HEC-RAS (Version 3.1.1) eingesetzt. Dieses Programm ermöglicht eine eindimensionale Strömungsberechnung bei stationären und instationären Abflussverhältnissen in vernetzten und verzweigten Flusssystemen und ist in der Lage, sowohl strömenden als auch schießenden Abfluss zu simulieren.

Neben der eindimensionalen Modellierung wurde für den Bereich Glauchau ein Abschnitt der Zwickauer Mulde mit Hilfe eines zweidimensionalen Strömungsmodells untersucht. Zur 2D-Modellierung wurde das Rechenprogramm HYDRO\_AS-2d in Kombination mit dem Programmsystem SMS eingesetzt.

#### **Datengrundlage**

Zur Beschreibung der Gewässergeometrie im Modell standen Höhendaten des Geländes aus einer aktuellen Laserscan-Befliegung (1 x 1 m Raster, Höhen Genauigkeit  $\pm 0,1$  m, Lagegenauigkeit  $\pm 0,5$  m) sowie Unterwasserprofile der Zwickauer Mulde aus einer terrestrischen Vermessung zur Verfügung. Diese Daten mussten für die 1D-Modellierung zusammengeführt werden. Dabei wurden die Profilsuren im Bereich der Vorländer ergänzt und neue Profilpunkte wurden durch Verschneidung mit dem DGM generiert. Zur Festlegung des Profilsuren berücksichtigte man die zu erwartenden Überflutungsverhältnisse im Hochwas-

serfall, welche aus den vorhandenen Überflutungsflächen des Extremhochwassers 1954 bekannt waren. Um bei der Ermittlung und Darstellung der Überflutungsflächen und -intensitäten eine genaue räumliche Abbildung des Flussschlauches (z.B. in Kurvenbereichen) gewährleisten zu können, mussten an einigen Stellen im Modell Zwischenprofile durch Interpolation generiert und in das Modell eingebaut werden.

Wehranlagen und anderer Querbauwerke wie Sohlschwellen und Brücken wurden im Rahmen der terrestrischen Vermessung des Gewässers aufgenommen und bei der Modellierung berücksichtigt.

Des Weiteren wurden für die Modellierung digitale, topographische Karten im Maßstab 1:10.000, Orthophotos und Relief-Dateien aus der Laserscan-Befliegung verwendet. Diese Information wurde bei der Erstellung des Modells und bei der Darstellung der Modellergebnisse als Hintergrundinformation verwendet und diente der besseren Visualisierung und räumlichen Orientierung. Vorhandene digitale Fotos einzelner Querprofile, Brückenbauwerke und Wehranlagen standen ebenfalls zur Verfügung.

Zur Festlegung der Modellrandbedingungen wurden verfügbare hydrologische und hydraulische Daten herangezogen. Die Hydrologie des Untersuchungsgebiets wurde im Rahmen einer getrennten Studie erfasst und beschrieben. Hierbei wurde durch eine umfangreiche Pegelwertstatistik das Extremhochwasser von 2002 für das Muldengebiet hydrologisch eingeordnet und die Hochwasserscheitelabflüsse verschiedener Jährlichkeiten überprüft und neu festgelegt. Die ermittelten Werte sind in einem hydrologischen Längsschnitt enthalten und bilden eine vergleichsweise zuverlässige Datengrundlage.

Zu den hydraulischen Unterlagen zählen die Hochwassermarken des Hochwassers August 2002 (56 Hochwassermarken), die als Grundlage für die Festlegung der Modellparameter verwendet wurden. Darüber hinaus lagen für die Modelluntersuchung beobachtete Werte von verschiedenen Pegeln der Zwickauer Mulde sowie an den Zuflüssen Lungwitzbach und Chemnitz vor.

### **Vergleich zwischen Modell und Natur**

Die Festlegung der Sohlreibungsbeiwerte des Modells erfolgte mit Hilfe von Daten einer Color-Infrarot(CIR)-, Biotoptypen- und Landnutzungskartierung. Die Sohlreibungsbeiwerte der Vorländer wurden durch Verschneidung der CIR-Daten mit den Profilsuren der Querprofile abschnittsweise und in Abhängigkeit der Flächennutzung definiert. Für den Flussschlauch wurde pro Querschnitt jeweils nur ein Sohlreibungsbeiwert verwendet.

Zur Überprüfung und Anpassung der gewählten Sohlreibungskoeffizienten des Modells wurde eine Simulation für das Hochwasser August 2002 durchgeführt. Für dieses Hochwasser lagen ca. 56 Hochwassermarken verteilt auf die gesamte Länge des Untersuchungsabschnitts vor. Der Vergleich zwischen gemessenen und berechneten Wasserspiegellagen unter Verwendung der geschätzten Sohlreibungskoeffizienten zeigte bereits in den ersten Versuchen eine gute Übereinstimmung. Mit Abweichungen von  $\pm 0,1-0,2$  m konnten insgesamt mit dem Modell die beobachteten Höchstwasserspiegellagen des HW2002 gut reproduziert werden.

Eine weitere Bestätigung der Modellgüte lieferte der Vergleich zwischen den berechneten Überschwemmungsflächen des 100-jährlichen Hochwasserabflusses und den beobachteten Überschwemmungsflächen des Hochwassers 1954. Eine gute Übereinstimmung zwischen Modell und Messung wurde vor allem im mittleren und unteren Abschnitt der Untersuchungsstrecke erzielt. Hier sind nämlich die Scheitelabflüsse beider Hochwasserereignisse nahezu gleich ( $HQ_{1954} \approx HQ_{100}$ ).

### **Untersuchung von Hochwasserschutzmaßnahmen**

Im Überschwemmungsgebiet der Zwickauer Mulde befinden sich zur Zeit verschiedene Flächen und Objekte, die keinen oder nur einen unzureichenden Schutz gegen Hochwasser aufweisen. Um geeignete Hochwasserschutzmaßnahmen vorschlagen und untersuchen zu können, müssen die zu schützenden Flächen zuerst identifiziert werden. Der Prozess der Identifizierung dieser Flächen wurde mittels hydraulischer Modellierung und durch Einsatz von GIS vollzogen.

Im ersten Schritt wurden Schutzziele nach den Empfehlungen des Freistaats Sachsen festgelegt, wonach Objektkategorien in Abhängigkeit von den zu schützenden Werten angegeben sind. Jede Objektkategorie ist durch einen Bemessungshochwasserabfluss mit einem bestimmten Wiederkehrintervall gekennzeichnet, so dass die Flächen der Objektkategorie bis zum jeweiligen Hochwasserabfluss hochwasserfrei gehalten werden müssen. Zur Festlegung der Zuordnung der Objektkategorien zu den Flächen wurden hier CIR-Daten (Biotop- und Landnutzungskartierung des Freistaates Sachsen, LfUG 2000) im Bearbeitungsmaßstab 1:10.000 mit Befliegungsstand 1993 verwendet.

Für den Bemessungshochwasserabfluss  $HQ_{100}$  wurde für den Ist-Zustand eine hydraulische Berechnung mit dem 1D-Modell durchgeführt. Mit den berechneten Wasserspiegellagen wurden anschließend die dazugehörigen Überflutungs-

flächen ermittelt. Durch Verschneidung der Überflutungsflächen mit den Flächen der Objektkategorien für das Wiederkehrintervall 100 Jahre (geschlossene Siedlungen, Industrieanlagen und überregionale Infrastrukturanlagen) erhielt man schließlich die Grenzen der Schutzflächen im Untersuchungsgebiet. Die ermittelten Flächengrenzen wurden anschließend mit Hilfe der aktuellen Orthophotos und der digitalen topographischen Karten TK10 überprüft und angepasst.

Die nach dem oben beschriebenen Schema ermittelten Schutzflächen dienten als Grundlage für die Auswahl und die Erarbeitung von Hochwasserschutzmaßnahmen. Diese wurden in einem iterativen Prozess unter Berücksichtigung verschiedener Kriterien (hydraulische Wirksamkeit, Kosten-Nutzen-Betrachtung, Realisierbarkeit, ökologische Verträglichkeit) einzeln und in Kombination untersucht. Für einige Maßnahmen wurden zusätzlich verschiedene Alternativvarianten berücksichtigt. Als wichtigstes Werkzeug zur Definition der Maßnahmen und zur Beurteilung deren hydraulischen Wirksamkeit diente hier das hydraulische Modell. Zu den vorgeschlagenen Maßnahmen zählten Deicherhöhungen, Deichrückverlegungen, Deichneubau, Sohlabtragungen sowie das Anlegen von Ufermauern und mobilen Hochwasserschutzwänden in einigen Ortslagen.

### **Vergleich zwischen 1D- und 2D-Berechnung**

Zur genaueren Beurteilung der hydraulischen Wirksamkeit einer vorgeschlagenen Maßnahme im Bereich der Stadt Glauchau wurde für einen 3,5 km langen Abschnitt der Zwickauer Mulde neben der 1D-Berechnung auch eine 2D-Strömungsmodellierung durchgeführt. Die Zwickauer Mulde verläuft in diesem Abschnitt mäandrierend zwischen Hochwasserschutzdeichen, so dass sich im Hochwasserfall relativ komplexe Abflussverhältnisse einstellen (Abb. 1). Beim Extremhochwasser vom August 2002 wurden einige Deichabschnitte überströmt und es kam in einigen Ortsteilen zu Überflutungen. Die vorhandenen Deiche im betrachteten Abschnitt sind teilweise zu niedrig und bieten keinen wirksamen Schutz gegen einen 100-jährlichen Hochwasserabfluss.

Im Rahmen der 1D-Modellierung konnte für den nördlichen Bereich von Glauchau eine wirksame Maßnahme vorgeschlagen und untersucht werden. Diese sieht den Rückbau von vorhandenen Deichabschnitten links und rechts des Flusses über eine Länge von ca. 0,8 km bzw. 1,5 km vor. Diese Maßnahme wurde auch mit dem 2D-Strömungsmodell (Programm HYDRO\_AS-2d) untersucht. Beide Modellrechnungen zeigen, dass die Maßnahme eine Wasserspiegelabsenkung bei  $HQ_{100}$  von bis zu 0,6 m bewirkt (Abb. 2).

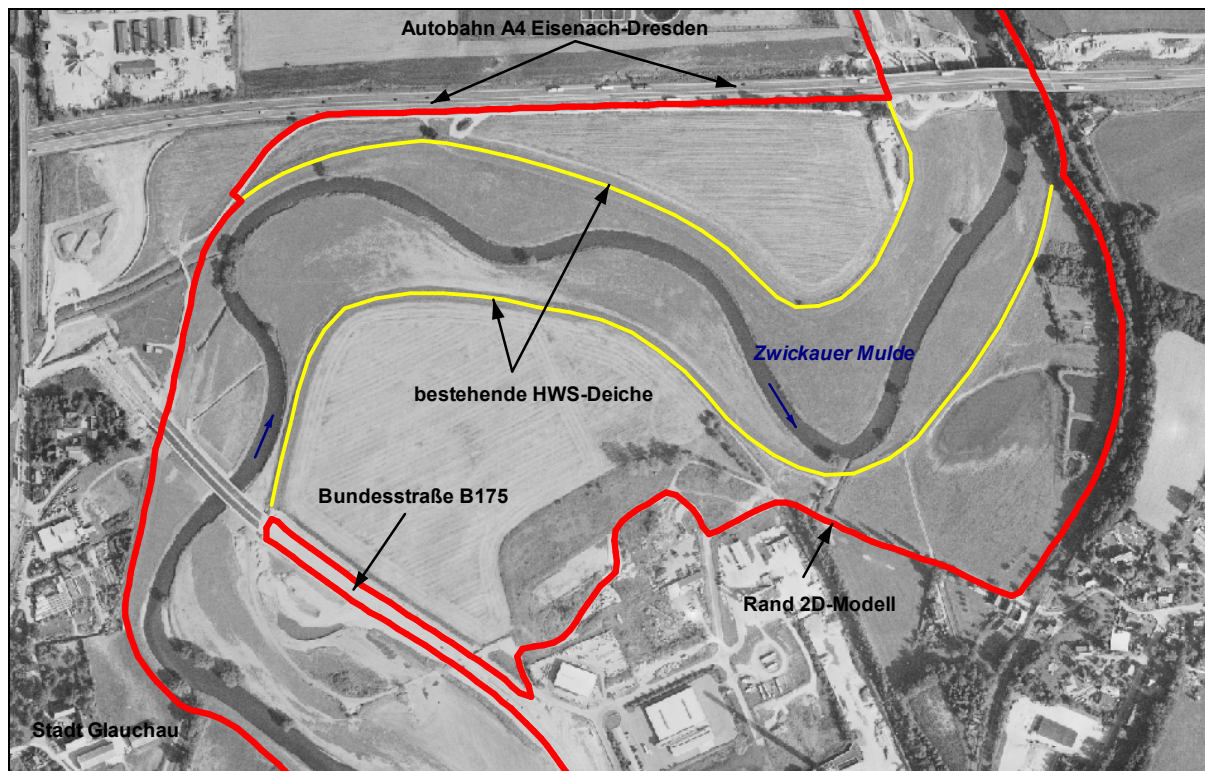


Abbildung 1: Zwickauer Mulde bei Glauchau

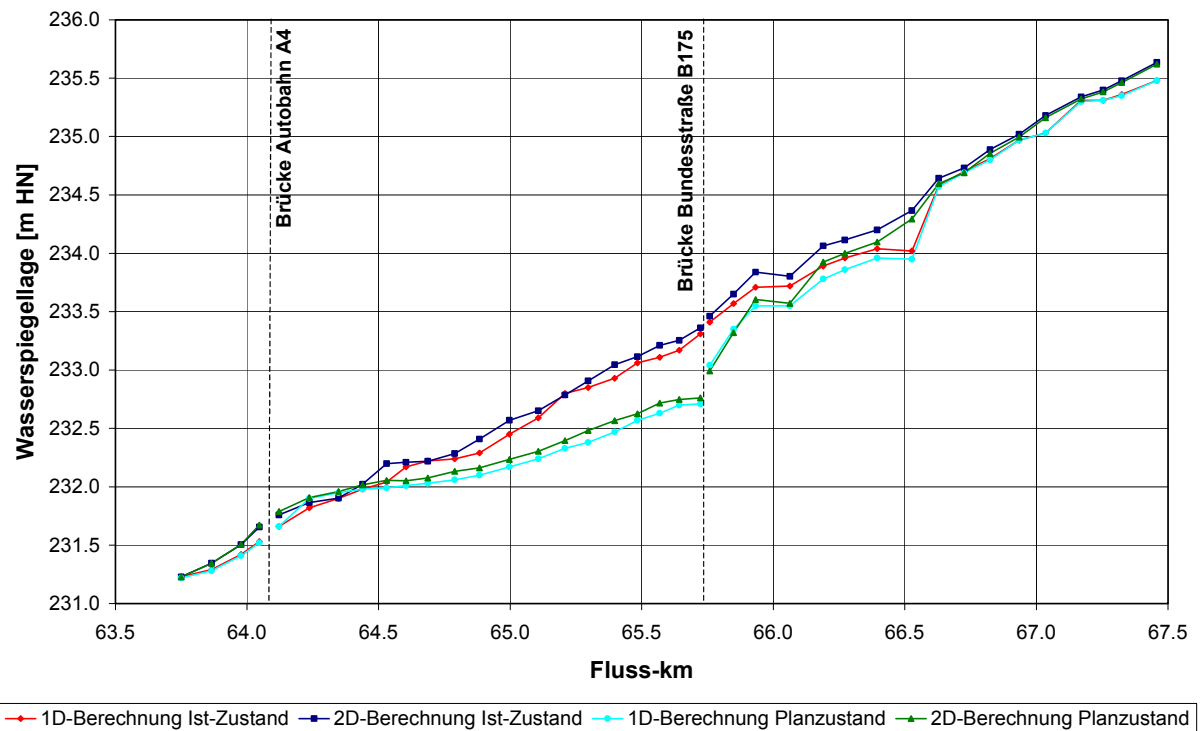


Abbildung 2: Vergleich zwischen 1D- und 2D-Berechnung bei Glauchau



Aus dem Vergleich zwischen den im Flussschlauch berechneten Wasserspiegellagen des 1D- und des 2D-Modells für den Ist- und den Planzustand ist zu erkennen, dass trotz komplexer Geometrie und Strömungskonfiguration sich keine großen Unterschiede zwischen der 1D- und der 2D-Berechnung ergeben (Abb. 2). Die 1D-Berechnung liefert hier ausreichend genaue Ergebnisse zur Wasserspiegellage und ermöglicht eine ausreichende Beurteilung der hydraulischen Wirksamkeit der vorgeschlagenen Maßnahme. Was die räumliche Erfassung des Strömungsfeldes (Fließgeschwindigkeiten, Abflüsse) betrifft, so sind gewiss die Ergebnisse der 2D-Berechnung genauer und zuverlässiger. Mit dem 1D-Modell lassen sich hier nur begrenzt Aussagen zu den lokalen hydraulischen Verhältnisse (z.B. an Deichböschungen oder in Bereichen mit starken Fließrichtungsänderungen) machen.

#### **4 Betrachtung von Risiken**

Der Maßnahmenplan einer Hochwasserschutzkonzeption ist das Ergebnis von mehreren Arbeitsschritten. In jedem Arbeitsschritt lassen sich Einflussfaktoren identifizieren, die das Risiko von Fehlern bei den Ergebnissen oder Entscheidungen beeinflussen. Zu den wichtigen Einflussfaktoren zählen

- die Datengrundlage
- die Techniken der hydraulischen Modellierung
- die Methoden der GIS-Bearbeitung

Die Qualität der Datengrundlage ist für die hydraulische Modellierung und die GIS-Bearbeitung entscheidend. Eine genaue Beschreibung der Geometrie der Gewässerquerschnitte (Querprofile und Querbauwerke) und des Geländes im Überschwemmungsgebiet (digitales Geländemodell) ist Grundvoraussetzung für eine erfolgreiche rechnerische Erfassung der Strömung und der Überschwemmungsgrenzen bzw. -intensitäten. Eine gute Datengrundlage bedeutet, dass die Daten vollständig, zuverlässig und aktuell sind und, dass sie über eine ausreichende Genauigkeit (Lage- und Höhengenaugigkeit) verfügen.

Bei der hydraulischen Modellierung muss sichergestellt werden, dass der gewählte Modellansatz geeignet ist zur Beschreibung der maßgebenden Prozesse des Hochwasserabflusses. In Abhängigkeit von der Geometrie und der Komplexität der Strömungskonfiguration wird die Dimension des Modells gewählt. Falls instationäre Effekte relevant sind, müssen diese durch den gewählten Modellansatz auch ausreichend genau erfasst werden können. Entscheidend für die

Güte einer Vorhersage ist eine gute Kalibrierung und Validierung des Modells anhand von gemessenen Werten der Wasserspiegellagen und des Abflusses an mehreren Stellen im Modellgebiet. Hierbei sollten nach Möglichkeit Daten von mehreren abgelaufenen Hochwassern berücksichtigt werden. Sehr hilfreich ist außerdem die Verfügbarkeit von Information über die räumliche Ausdehnung der Überschwemmungsflächen im Hochwasserfall.

Fehler bei der GIS-Bearbeitung können entstehen, wenn ungeeignete Programme oder Werkzeuge eingesetzt werden oder bei unsachgemäßer Anwendung der Programme. Inkonsistenzen, Unvollständigkeit, Nichtaktualität oder ungenaue Georeferenzierung der Daten können ebenfalls Ursachen für Fehler sein.

Als Resultat ist aus der Erfahrung der Hochwasserschutzkonzeption Zwickauer Mulde festzuhalten, dass die angewandte Methodik zur Ausweisung und Bemessung von Hochwasserschutzmaßnahmen sinnvolle und zuverlässige Ergebnisse liefert. Bei guter und vollständiger Datengrundlage und sorgfältiger Durchführung der hydraulischen Berechnung und der GIS-Bearbeitung lassen sich die Risiken von Fehlplanungen und ungenauen Aussagen gering halten.

## 5 Literatur

Hydroprojekt Ingenieurgesellschaft mbH (2004): Hochwasserschutzkonzeption Mulden und Weiße Elster im Regierungsbezirk Chemnitz, Los 1 – Zwickauer Mulde, Endbericht, Dresden 2004.

Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen (2003): Erstellung von Hochwasserschutzkonzepten für Fließgewässer, Empfehlungen für die Ermittlung des Gefährdungs- und Schadenpotenzials bei Hochwasserereignissen sowie für die Festlegung von Schutzziele. Pirna 2003.

Autor:

Dr.-Ing. Roberto Kohane

Hydroprojekt Ingenieurgesellschaft mbH  
Büro Bad Vilbel  
Friedberger Straße 173  
D 61118 Bad Vilbel

Tel.: ++49 – 6101 – 552416

Fax: ++49 – 6101 – 552417

Email: [roberto.kohane@lahmeyer.de](mailto:roberto.kohane@lahmeyer.de)