

## RIMAX-Verbundprojekt (Herausgeber: Jens Didszun)

### Entwicklung eines Schadstoffausbreitungsmodells zur stoffbezogenen Risikoanalyse und -bewertung extremer Hochwasserereignisse am Beispiel des Landkreises und der Stadt Bitterfeld



Wolf von Tümpling<sup>1\*</sup>, Michael Rode<sup>1</sup>, Olaf Büttner<sup>1</sup>, Martina Baborowski<sup>1</sup>, Michael Böhme<sup>1</sup>, Cornelia Gläßer<sup>2</sup>, Burkhard Sonnabend<sup>2</sup>, Michael Matthies<sup>3</sup>, Markus Schulz<sup>3</sup>, Jochen Schanze<sup>4</sup>, Ulrich Walz<sup>4</sup> und Axel Sauer<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH, Brückstraße 3a, 39114 Magdeburg

<sup>2</sup> Martin Luther Universität Halle-Wittenberg, Von-Seckendorff-Platz 4, D-O6120 Halle

<sup>3</sup> Universität Osnabrück, Institut für Umweltsystemforschung, Artilleriestr. 34, D-49069 Osnabrück

<sup>4</sup> Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e.V., Weberplatz 1, D-01217 Dresden

\* Korrespondenzautor (wolf.vontuempling@ufz.de)

Das Hochwasser im Einzugsgebiet der Mulde vom August 2002 hat gezeigt, dass neben der zerstörenden Wirkung des Wassers auch Gefährdungen für Mensch und Umwelt durch die mobilisierten, transportierten und abgelagerten Schadstoffe entstanden sind, beispielsweise durch Schwermetalle, Arsen, PAK und HCH. Das Risikomanagement zukünftiger extremer Hochwasserereignisse erfordert daher neben der quantitativen Hydrologie auch die Schadstoffausbreitung für dieses Einzugsgebiet zu berücksichtigen.

#### Projektziel

Nach dem Extremhochwasser 2002 (Brack et al. 2002, Merz & Didszun 2005) bestand eine große Unsicherheit über Schadstoffkontaminationen insbesondere in Bereichen von Wohnsiedlungen sowie zu möglichen Belastungen bei künftigen Hochwasserereignissen. Stichpunktartige Messungen ergaben nur für die großräumig aus dem Erzgebirge eingetragenen Schadstoffe wie Schwermetalle und Arsen verlässliche Werte. Lokale Emissionen/Depositionen wurden nicht erfasst.

Übergeordnetes Ziel des Projektes ist es, für lokale und regionale Entscheidungsträger ein EDVgestütztes modellbasiertes Entscheidungshilfesystem zur Vorsorge und zum Management eines Extremhochwassers zu entwickeln. Das Modellsystem soll Hinweise auf die Schadstoffausbreitung und mögliche Depositionsflächen aufgrund lokaler Schadstoffquellen sowie der damit einher gehenden Risiken geben. Das Entscheidungshilfesystem wird exemplarisch gemeinsam mit der Stadt und dem Landkreis Bitterfeld erarbeitet und implementiert werden. Es wird so gestaltet, dass es auf andere Flusseinzugsgebiete mit anderen Schadstoffbelastungen übertragen werden kann.

#### Struktur des Verbundprojekts

Zentraler Ansatz des Forschungsvorhabens ist die Verknüpfung aller für die Schadstoffausbreitung relevanten Modellkomponenten in einem integrierten System, welches neben hydraulischen Komponenten auch die Modellierung des Sedimenttransports sowie die Freisetzung, Ausbreitung und Ablagerung von Schadstoffen umfasst. Durch die Modellkopplungen können erstmals die Wechselwirkungen zwischen Strömungsdynamik und Schadstoffausbreitung unter Berücksich-

tigung von lokalen Schadstoffquellen in bebauten Flussniederungsgebieten simuliert werden. Aufbauend auf der naturwissenschaftlichen Analyse erfolgt für unterschiedliche Überflutungsszenarien eine Risikobewertung möglicher Schadstoffbelastungen für das Modellgebiet. Untersuchungsgebiet ist das von extremen Überschwemmungen der Mulde gefährdete Areal flussabwärts vom Pegel Bad Dübren bis zum Pegel Priorau mit Kern im Stadtgebiet Bitterfeld und weiterer urbaner Räume wie Jessnitz und Raghun. Aktuelle Informationen zum Verbundprojekt siehe <http://www.ufz.de/btf>.

Das Verbundprojekt besteht aus fünf eng miteinander verbundenen und aufeinander aufbauenden Teilprojekten und der Koordinierung. Sie werden im Folgenden näher erläutert. **Abb. 1** zeigt die Grundzüge des Datenflusses sowie die Schnittstellen zwischen den Teilprojekten.

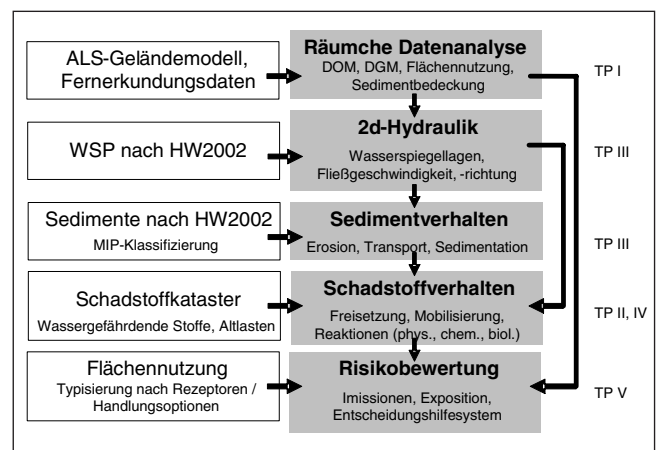


Abb. 1: Vernetzung der Teilprojekte

### **TP I Integrierte räumliche Datenanalyse mit Laserscanner- und multispektralen Fernerkundungsdaten für das Hochwasserrisikomanagement**

Mit Hilfe von Fernerkundungstechniken werden vom TP I für das Gesamtprojekt Informationen mit Raumbezug (Geo-Informationsdaten) zur Verfügung gestellt. Diese Rauminformationen werden in verschiedenen Hierarchieebenen verfügbar gemacht, in dem parallel ein regionaler und ein lokaler räumlicher Ansatz untersucht werden. Zu diesem Zweck erfolgt die Erstellung eines hochgenauen digitalen Geländemodells (DGM) aus den Daten einer Laserscanner-Befliegung. Dies umfasst die Entwicklung einer operationell einsetzbaren DGM-Prozessierungskette, welche die speziellen Bedingungen im Untersuchungsgebiet berücksichtigt und ebenso die Bedürfnisse von Entscheidungsträgern im Hochwasserrisikomanagement erfüllt. Die entwickelte Methodik wird auf andere Gebiete und Fragestellungen übertragbar sein. Synergien zwischen Laserscanner-DGM-Daten und multispektralen Fernerkundungsdaten werden im Rahmen des Projektes aufgezeigt. Ergänzend zu der DGM-Prozessierungskette erfolgt eine Validierung des für das Untersuchungsgebiet erzeugten DGMs und eine Fehlerabschätzung für verschiedene Maßstabsebenen. Mit Hilfe hochauflösender Daedalus-Flugzeugscannerdaten vom September 2002 und ergänzender Fernerkundungsdaten werden Aussagen darüber getroffen, welche Gebiete durch das Muldehochwasser im August 2002 besonders von Sedimentablagerungen betroffen waren. Objektbasierte Methoden und Spectral-Unmixing-Verfahren dienen dabei zur Identifizierung kleinräumiger Differenzierungen innerhalb der Auen (Gläßer & Reinartz 2005). Zusätzlich werden urbane Flächennutzungen und deren Versiegelungsgrad ermittelt. Zur Verwertung der Projektergebnisse wird in einem Geographischen Informationssystem (GIS) die Verschneidung der Projektergebnisse mit ergänzenden Datensätzen, insbesondere aus dem Ad-hoc-Hochwasservorhaben des BMBF, erfolgen. In enger Absprache mit dem UFZ werden daraus Oberflächenparameter abgeleitet, die in der Modellierung als Input-Daten Verwendung finden. Unter der Federführung des Leibniz-Instituts für ökologische Raumentwicklung e.V. in Dresden werden die Projekt-Ergebnisse weiterhin zur Ausweisung von potentiell hochwassergefährdeten Bereichen verwendet und in die Regionalisierung und Bewertung von Bodenbelastungen eingehen.

Details zu diesem Teilprojekt siehe <http://geofern.geographie.uni-halle.de/irada/index.de.php>.

### **TP II Untersuchungen zum Schadstofftransport**

Die Arbeiten im Teilprojekt II sind fokussiert auf Untersuchungen zum Schadstofftransport in der vereinigten Mulde der Region Bitterfeld. Sie schließen das Zusammenstellen aller Fakten und Daten über die Schadstoffverteilung in der Region, verursacht durch den Ferntransport aus der Freiburger Region, in enger Kooperation mit den Behörden des Landkreises und den Vorkenntnissen aus Forschungsprojekten wie z.B. dem Ad-hoc Projekt ein. Eigene Untersuchungsergebnisse aus Hochwasserproben vom Sommer 2002, die nachgewiesen haben, dass die Arsenkonzentration

im Wasserkörper in der gleichen Größenordnung lag wie in den Schlammablagerungen überfluteter Flächen nahe der vereinigten Mulde, bilden die Grundlage für die weiteren Untersuchungen und Validierungen. Fehlende Kenntnisse über den Transport- und die Sedimentationsprozesse der Schwermetalle und des Arsens im Wasserkörper der vereinigten Mulde sind durch entsprechende partikelgrößenabhängige Untersuchungen, auch im kolloidalen Bereich, zu ergänzen. Im Gegensatz zur herkömmlich definierten Trennung in gelöst und partikulär gebundenen Anteil durch Filtration  $<0,45 \mu\text{m}$  ermöglicht die weitere Fraktionierung  $<0,02 \mu\text{m}$  sowie die feinstufige Trennung mittels Feldflussfraktionierung die Unterscheidung der Elementverteilung im Bezug auf gelöste, kolloidale und partikuläre Phasen. Zusätzliche Erkenntnisse sind dabei insbesondere für den Schadstofftransport und die Sedimentation zu erwarten. Durch die Nutzung dieser Erkenntnisse im gekoppelten Schadstoffmodell lassen sich erstmals Sedimentationsbereiche für die Schwermetalle und Arsen kleinräumig ermitteln und vorhersagen. Projektbegleitend werden analytische Untersuchungen zur Validierung des Schadstoffausbreitungsmodells an Sedimentationsbereichen durchgeführt, die nach der Flut nicht beräumt wurden und ggf. bis jetzt lokal Kontaminanten beherbergen.

### **TP III Hydraulische und Schwebstoff-Modellierung**

Die räumlich detaillierte Analyse der Strömungsverhältnisse und des Schwebstofftransports in potentiellen Überschwemmungsgebieten erfolgt anhand einer zweidimensionalen (2D) Strömungsmodellierung und Sedimenttransportmodellierung, die für das Untersuchungsgebiet implementiert und kalibriert werden. Dafür wird eine 2D-instationäre Analyse der Strömungsverhältnisse im Untersuchungsgebiet mit dem TELEMAC Modellsystem durchgeführt (Hervouet 2000). Es werden unterschiedliche Randbedingungen mit räumlich hoch aufgelöster hydraulischer Modellierung urbaner Bereiche untersucht. Daran schließt sich die Ermittlung der Sedimentausbreitung und -deposition im Untersuchungsgebiet mit einem Schwebstofftransportmodul (SUBIEF-2D) an. Hierbei wird der Stoffeintrag oberhalb des Modellgebiets berücksichtigt, wodurch die Verlagerung der an Schwebstoffe gebundenen Schwermetalle untersucht werden kann (z.B. Blei-, Arsen oder Uran-Emissionen aus dem Erzgebirge). Das dritte Arbeitspaket bildet die räumlich differenzierte Kopplung der hydraulischen und Sedimenttransportroutinen mit den Schadstofftransportmodellen, wobei die Schadstoffemissionen im Modellgebiet (z.B. Lager wassergefährdender Stoffe in Gewerbe und Privathaushalten) anhand von Fließgeschwindigkeiten und Wasserständen ermittelt werden. Mit dem kalibrierten Modell werden die im Verbundprojekt festgelegten Szenarien hinsichtlich der Strömungsmodellierung und des Schwebstofftransports für verschiedene Hochwasserjährlichkeiten und Überflutungszustände mit unterschiedlichen Deichbruchszenarien simuliert. Durch die Modellkopplungen können die Wechselwirkungen zwischen Strömungsdynamik und Schadstoffausbreitung in urbanen Flussniederungen unter Berücksichtigung lokaler Schadstoffquellen bebauter Gebiete untersucht werden.

#### TP IV Modellierung der Schadstoffausbreitung

Grundlage für die Schadstoffausbreitungsmodellierung bildet der Schadstoffeintrag. Von entscheidender Bedeutung für die Güte der Modellierung ist deshalb eine genaue Kenntnis der (potentiellen) Quellterme (Berlekamp et al. 2005). Basierend auf dem durch die Stadt- und den Landkreis Bitterfeld zur Verfügung gestellten Schadstoffquellenkataster und der hydrodynamischen Modellierung durch das UFZ werden die (potentiellen) Eintragsmengenflüsse ermittelt, die in die anschließende Transportmodellierung als Input eingehen. Auch Resuspensionen von Altablagerungen (Sedimente, Altlastenflächen) können als Inputquellen wirken. Der Transport der Schadstoffe hängt von den Stoffeigenschaften und der Bindung an erodiertes Sediment ab (Zarfl et al. 2006). Transport- und Transformationsprozesse von toxischen Chemikalien, Metallen, Mineralölkohlenwasserstoffen (MKW) u.a. Stoffgruppen werden im Modell abgebildet (Matthies et al. 2001). Dies gilt auch für den Sediment- und Schwebstofftransport. MKWs gehören zu den NAPLs (non-aqueous phase liquids), die als eigene Phase behandelt werden müssen. Das Schadstofftransportmodul wird mit dem hydrodynamischen Modell gekoppelt. Eine Ablagerung von Schadstoffen kann in Stillwasserzonen, Überflutungsflächen, Flussauen, Vordeichländern, urbanen Flächen etc. erfolgen. Die Deposition der Schadstoffe hängt vom Bindungszustand, Fließgeschwindigkeit, Schwebstoff/Sedimenteigenschaften etc. ab. Die abgelagerten Schadstoffe können für die betroffenen Ökosysteme und Nutzungsflächen kurz- und langfristige Schäden hervorrufen. Zu solchen sensiblen Bereichen gehören vor allem schutzwürdige Flächen wie Naturschutzgebiete, landwirtschaftlich genutzte Flächen, Gärten, Kinderspielplätze etc. Die georeferenzierten abgelagerten Schadstoffmengen dienen als Input für die integrierte Risikobewertung.

Details zu diesem Teilprojekt siehe <http://www.usf.uni-osna-brueck.de/projects/Sameb/>.

#### TP V Integrierte Risikobewertung und Entscheidungshilfesystem

Im Teilprojekt V geht es zunächst um eine integrierte Risikobewertung für die Stoffimmissionen von extremen Hochwasserereignissen. Dazu wird der Eintrag von ausgewählten Schadstoffen über die raumkonkrete Exposition urbaner und ruraler Flächennutzungen und deren Sensitivität zu stoffspezifischen, gesundheitlichen und ökologischen Risiken verknüpft. Bei dieser GIS-basierten Risikoanalyse werden stoff- und rezeptorspezifische Pfade betrachtet. Die Bewertung der Risiken erfolgt für einzelne Wirkungspfade sowie für vielfältige Wirkungsbeziehungen bei der Überflutung von genutzten Flächen mit verschiedenen Stoffen und Stoffkonzentrationen. Unter Berücksichtigung stoffspezifischer Bewertungskriterien kommt für letztere die multikriterielle Methode Compromise Programming (Thinh et al. 2004) zur Anwendung. Für Szenarios aus Hochwasserereignissen unterschiedlicher Wiederkehrwahrscheinlichkeit und Stoffkonzentration sowie strategischen Handlungsalternativen wer-

den nach der modelltechnischen Szenarioanalyse ex-ante Evaluationen vorgenommen. Die Ergebnisse der Risikoanalyse und -bewertung fließen in ein Entscheidungshilfesystem ein (Walz et al. 2005). Inhaltlich basiert es im Wesentlichen auf der Darstellung hydrologisch-stofflicher Hochwasserisrikokarten. Darüber hinaus werden die entscheidenden Grundlagendaten der Schadstoffmodellierung einbezogen. Das Entscheidungshilfesystem dient vorrangig einer web-basiert und interaktiv nutzbaren Entscheidungsunterstützung lokaler und regionaler Akteure sowohl für die Vorsorge als auch für das Ereignismanagement.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die wesentliche Innovation dieses Verbundprojekts in der Verknüpfung wichtiger Modellkomponenten zu einem integrierten System liegt, welches nicht nur die hydraulische Modellierung und die Modellierung des Sedimentverhaltens, sondern auch das daran gekoppelte Verhalten verschiedener Schadstoffe/Schadstoffgruppen und die Risikobewertung im betrachteten Modellgebiet berücksichtigt und der Stadt und dem Landkreis Bitterfeld zur Nutzung übergeben wird.

Das Verbundprojekt wird vom Bundesministerium für Forschung und Bildung (BMBF; PT Forschungszentrum Jülich, FKZ 0330690) innerhalb RIMAX gefördert

#### Literatur

- Berlekamp J, Graf N, Lautenbach S, Matthies M (2005): A Decision Support System for Integrated River Basin Management of the German Elbe. In: Zenger A, Argent RM (eds), MODSIM 2005 International Congress on Modelling and Simulation. Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand, December 2005, pp 1518–1524
- Brack W, Altenburger R, Dorusch F, Hubert A, Möder M, Morgenstern P, Moschütz S, Mothes S, Schirmer K, Wennrich R, Wenzel K-D, Schüürmann G (2002): Hochwasser 2002 – Chemische und toxische Belastung überschwemmter Gemeinden im Raum Bitterfeld. UWSF – Z Umweltchem Ökotox 14 (4) 213–220
- Gläser C, Reinartz P (2005): Multitemporal and Multispectral Remote Sensing Approach for Flood Detection in the Elbe-Mulde Region 2002. Acta hydrochim hydrobiol 33 (5) 395–403
- Hervouet J-M (2000): TELEMAC modelling system: An overview. Hydrological Processes 14, 2209–2210
- Matthies M, Berlekamp J, Koormann F, Wagner J-O (2001): Georeferenced regional simulation and aquatic exposure assessment. Wat Sci Technol 43 (7) 231–238
- Merz B, Didszun J (2005): Risikomanagement extremer Hochwasserereignisse. UWSF – Z Umweltchem Ökotox 17 (4) 191–192
- Thinh NG, Walz U, Schanze J, Ferencsik I, Göncz A (2004): GIS-based Multiple Criteria Decision Analysis and Optimization for Land Suitability Evaluation. In: Wittmann J, Wieland R (eds), Simulation in Umwelt- und Geowissenschaften. Workshop Müncheberg 2004. ASIM-Mitteilungen 88, 208–223 (Aachen)
- Walz U, Etter J, Dransch D (2005): Actor-oriented flood risk maps as support for societal decision making. In: Buchroithner MF (ed), Proceedings of the International Symposium on Cartographic Cutting-Edge Technology for Natural Hazard Management. Kartographische Bausteine 30, 183–195 (Dresden)
- Zarfl C, Klasmeyer J, Matthies M (2006): Modellierung von Arsen in der Mulde. Hydrologie und Wasserbewirtschaftung (im Druck)