



Modellierung der Schadstoffausbreitung bei Extremhochwasser im Raum Bitterfeld

Marcus Schulz, Osnabrück, mschulz@usf.uni-osnabrueck.de; Olaf Büttner, Magdeburg, olaf.buettner@ufz.de; Michael Matthies*, Osnabrück, matthies@uos.de; Michael Böhme, Magdeburg, michael.boehme@ufz.de; Wolf von Tümpling, Magdeburg, wolf.vontuempling@ufz.de *Korrespondenzautor

Abstract

Die Schadstoffausbreitung bei Extremhochwasser der Mulde wurde mit dem zweidimensionalen Modellsystem Telemac2D im Raum Bitterfeld modelliert. Telemac2D besteht aus einem hydrodynamischen Finite-Elemente-Modell, das mit einem Schadstofftransportmodul gekoppelt ist. Die Ausbreitung von Schadstoffen wurde in mehreren Szenarien für den Raum Bitterfeld, der in 36.000 Finite Elemente unterteilt war, mit einer zeitlichen Auflösung von 10 Sekunden berechnet. Dabei wurden organische Schadstoffe wie HCH und Metalle wie Quecksilber und Arsen berücksichtigt. Die Konzentration gelöster Schadstoffe wurde hauptsächlich durch Advektion und Dispersion bestimmt. Der Austausch mit der partikulär gebundenen Phase war von geringer Bedeutung. Die Sedimentation von partikulärer Substanz wies eine große kleinräumige Heterogenität auf und stimmte mit Beobachtungen überein.

Hintergrund

In Industrieregionen können Extremhochwässer eine erhebliche Kontamination durch organische und anorganische Schadstoffe sowie durch Ölablagerungen verursachen, wie es beim Muldehochwasser im August 2002 der Fall war ([3], [7]). Potentielle Risiken entstehen durch die Mobilisierung belasteter Fluss- und Auensedimente und durch Freisetzungen aus Punktquellen wie Güllegruben und Heizöltanks, die zu Gesundheitsschädigungen durch menschlichen Kontakt mit Flutwasser und nach Abfließen des Hochwassers zu großflächigen Kontaminationen führen können ([4]-[5]).

Daraus leitet sich die Notwendigkeit ab, besiedelte Gebiete gegen Schadstoffe aus Extremhochwässern zu schützen. Solche Schutzmaßnahmen sollten georeferenzierte Risiken durch Schadstoffexposition berücksichtigen, die aus Erfahrungswerten abgeleitet werden können. Eine effektive Alternative zu empirischen Messungen besteht in der Modellierung der Schadstoffkontamination. Mit dem zweidimensionalen Modellsystem Telemac2D ([2]) lassen sich Schadstoffkonzentrationen am Ausstromrand als Risiko für stromabwärtige Gebiete sowie Ablagerungsfluxe von Schadstoffen in überfluteten Bereichen berechnen.

Als Modellgebiet diente der Raum Bitterfeld, der seit Beginn der Industrialisierung im 19. Jahrhundert durch Emissionen chemischer Industrien stark mit Schadstoffen wie Quecksilber, HCH und Dioxinen belastet wurde. Hinzu traten diffuse Emissionen aus dem Erzbergbau im oberen und

Braunkohletagebau im unteren Einzugsgebiet der Mulde: Bei periodischen Hochwässern wurden Schwermetalle und Arsen aus dem Fluss in die Aue exportiert, wodurch starke Elementanreicherungen im Oberboden entstanden.

Beim Jahrhunderthochwasser der Mulde im August 2002 wurden solche stark kontaminierten Ablagerungen teilweise resuspendiert und zusammen mit Schwebstoffen aus stromaufwärts gelegenen Bereichen der Mulde in Bitterfeld und benachbarten Gemeinden abgelagert.

Modellsystem

Als Grundlage für die Modellierung der Schadstoffkontaminationen wurde das zweidimensionale Modellsystem Telemac2D verwendet, das in [2] detailliert beschrieben wird. Ein hydrodynamisches Modul (Telemac-2D) berechnet für jeden Knoten eines Gitternetzes zwei Fließgeschwindigkeitskomponenten und die Wassertiefe. Diese Daten werden an ein Transportmodul (Subief-2D) übergeben, das die Fließgeschwindigkeit in Beziehung zu kritischen Erosions- und Depositionsgeschwindigkeiten setzt und für mehrere Korngrößen und partikulär gebundene Schadstoffe Ablagerungsfluxe und Konzentrationen in der Suspension berechnen kann. Im Transportmodul wurde von uns das Gewässergütemodul (wq2subief) integriert, das folgende Gleichung erster Ordnung zur Partitionierung beinhaltet (hier beispielhaft für Arsen):

$$\frac{d[As_{aq}]}{dt} = k_1 \cdot [As_{ss}] \cdot ([Sand] + [Silt] + [Ton]) - K_D \cdot ([Sand] + [Silt] + [Ton]) \cdot [As_{aq}] \quad (1)$$

Dabei sind $[As_{aq}]$ die gelöste Arsenkonzentration [$g\ l^{-1}$]; $[As_{ss}]$ die Konzentration partikulär gebundenen Arsens im Schwebstoff [$mg\ kg^{-1}$]; $[Ton]$, $[Silt]$ und $[Sand]$ die Konzentrationen von Ton, Silt und Sand in der Suspension [$g\ l^{-1}$]; K_D der Partitionskoeffizient zwischen gelöster und partikulärer Phase [g^{-1}] und k_1 ein kinetischer Koeffizient [s^{-1}].

Simulationen

Wir berechneten für ein Gebiet in und nördlich von Bitterfeld ein hydrodynamisches Szenario (Abb. 1) und mehrere Transportszenarien (Arsen, Quecksilber, HCH, Blei, Zink, etc.) des Flutereignisses im August 2002. Ein regelmäßiges Gitternetz dieses Gebiets umfasste ungefähr 36.000 Finite Elemente. Die Oberflächenrauigkeit wurde aus einer Biotopkartierung abgeleitet. Die zeitliche Auflösung der Szenarien betrug 10 s. Während der Überflutung wurde ein variabler Wasserstand

am Einstromrand angenommen, so dass sich die in Tabelle 1 dargestellten Quellterme ergaben. Für K_D verwendeten wir generische Werte. Für k_1 wurde ein Wert von $0,001 \text{ s}^{-1}$ gewählt, der einer schnellen Phasenreaktion in einem turbulenten Milieu entspricht. Zweidimensionale Grafiken der Szenarien wurden mit Hilfe des Programms JANET (Smile Consult, Germany) erstellt.

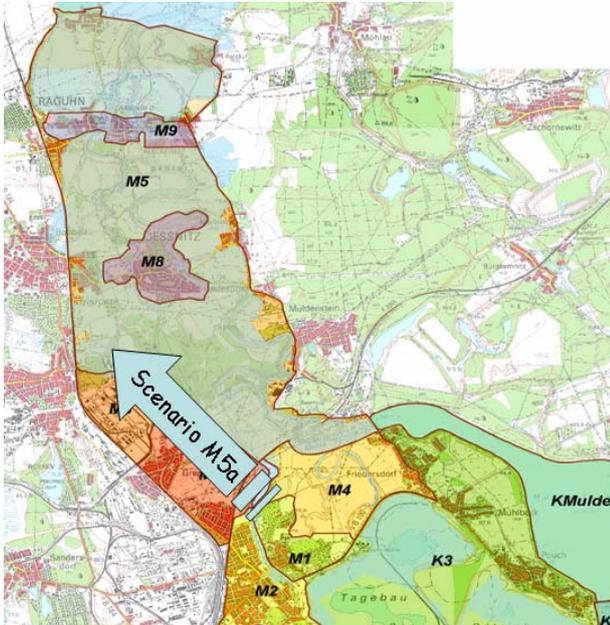


Abb. 1: Hydrodynamisches Szenario: Nachsimulation des Jahrhunderthochwassers vom August 2002 im Raum Bitterfeld.

t	[As _{aq}]	[As _s]	[Hg _{aq}]	[Hg _s]	[Silt]	[Clay]
[h]	[g s ⁻¹]	[kg s ⁻¹]	[kg s ⁻¹]			
10	1.5	0.3	0.003	0.013	7.2	0.9
20	2.1	0.4	0.004	0.018	10.3	1.3
30	13.1	2.3	0.012	0.057	42.2	5.2
50	12.7	2.2	0.011	0.055	40.8	5.0
70	6.6	1.2	0.006	0.029	21.3	2.6
100	2.4	0.4	0.002	0.010	7.6	0.9

Tab. 1: Quellterme am oberen Einstromrand

Ergebnisse der Schadstoffszzenarien

Der zeitliche Verlauf des hydrodynamischen Szenarios (Abb. 1) stimmte gut mit Beobachtungen und Luftbildern überein, die während der Flut im August 2002 gemacht wurden. Die Konzentration gelöster Schadstoffe wurde hauptsächlich durch Advektion und Dispersion bestimmt. Der Austausch mit der partikulär gebundenen Phase war von geringer Bedeutung (Abb. 2). Die akkumulierte Sedimentmächtigkeit zeigte kleinräumig eine starke Heterogenität (Abb. 3). Dieses Verteilungsmuster stimmte mit Beobachtungen nach dem Flutereignis 2002 überein.

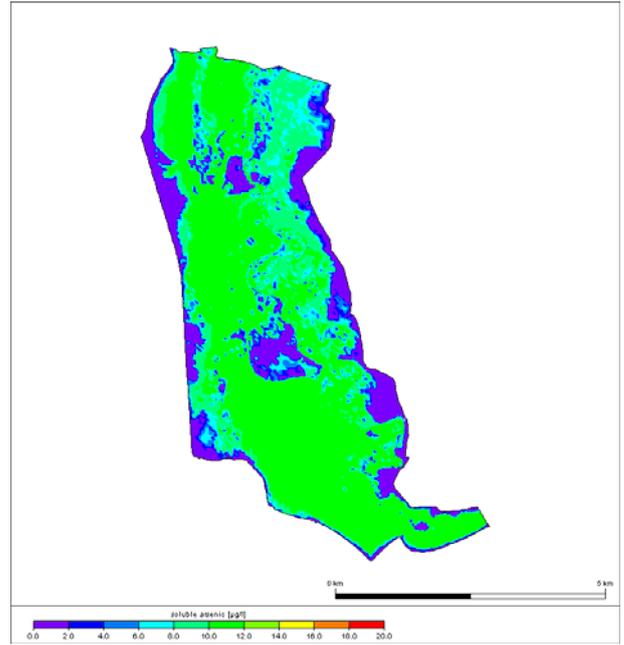


Abb. 2: Konzentrationen gelösten Arsens [$\mu\text{g l}^{-1}$] 50 Stunden nach Beginn der Hochwassersimulation (Scheitelpunkt der Flutwelle).

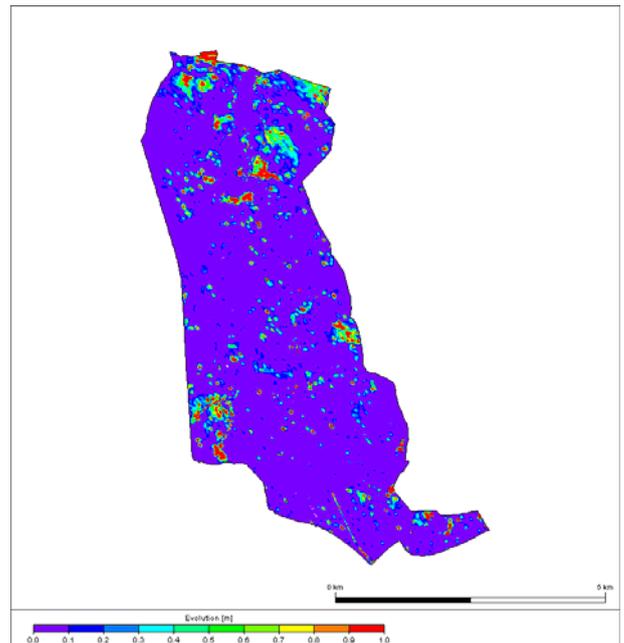


Abb. 3: Abgelagerte Sedimentmächtigkeit [m] 100 Stunden nach Beginn der Hochwassersimulation.

→ [Grafiken vergrößern](#)

Schlussfolgerungen und Ausblick

Das einfache Partitionierungsmodell genügte den Ansprüchen, den Phasenaustausch von Arsen in einem sehr turbulenten Milieu darzustellen. In der Pedologie wurden indes weitaus komplexere Sorptions-Modelle entwickelt, die die chemische und räumliche Heterogenität von Böden berücksichtigen. ([1], [6]). Jedoch ist eine turbulente Suspension ein weitaus einfacheres System als ein komplex gefügter Boden, so dass unser einfacher Partitionierungsansatz den Anforderungen der Modellierung gerecht wurde. In Übereinstimmung mit vorhergehenden Studien zeigten die Simulationen von gelösten und partikulären Schadstoffen mit Hilfe von Telemac-2D in einem mesoskaligen Gebiet plausible Ergebnisse bei mäßigem Rechenaufwand (je 10 Min. für die Transportszenarien).

Das Modell wird anhand von Sedimentfallenuntersuchungen kalibriert und validiert werden. Flächen erhöhter Kontamination konnten aufgezeigt und plausible Konzentrationen von gelösten Schadstoffen am Ausstromrand berechnet werden, woraus sich wiederum Risiken für stromabwärts gelegene Gebiete ableiten lassen.

Zukünftige Szenarien werden die Ausbreitung von aufschwimmenden Ölfilmen, die aus Punktquellen wie leckgeschlagenen Heizöltanks, Tankstellen und Pipelines stammen, simulieren. Am Ende sollen insgesamt mehrere hundert Schadstoffszenarien vorliegen, die auf mehreren hydrodynamischen Szenarien basieren. Die berechneten Kontaminationen sind wiederum Ausgangspunkt für eine Risikoanalyse und ein Entscheidungshilfesystem, welches zunächst für den Raum Bitterfeld entwickelt werden soll.

Danksagung

Wir danken F. Walkow für die Bereitstellung von chemischen Daten und für logistische Unterstützung. M. Schulz und M. Böhme wurden durch das BMBF-Projekt SARISK finanziert. Weiteren Kollegen aus diesem Projekt danken wir für ihre wissenschaftliche Unterstützung.

Literatur

- [1] Dijkstra, J. J., Meeussen, J. C. L., Comans, R. N. J. (2004): Leaching of heavy metals from contaminated soils: An experimental and modeling study. *Environ. Sci. Technol.* **38**, 4390-4395.
- [2] Hervouet, J.-M., van Haren, L. (1996): Recent advances in numerical methods for fluid flows. In: *Floodplain Processes*, Anderson M. G., Walling D. E. and P. D. Bates (eds.). Wiley: Chichester, 183-214.
- [3] Krüger, F., Meissner, R., Gröngroft, A., Grunewald, K. (2005): Flood induced heavy metal and arsenic contamination of Elbe River floodplain soils. *Acta hydrochim. hydrobiol.* **33**, 455-465.
- [4] Mielke, H. W., Powell, E. T., Gonzales, C. R., Mielke Jr., P. W., Ottesen, R. T., Langedal, M. (2006): New Orleans soil lead (Pb) cleanup using Mississippi River alluvium: Need, feasibility, and cost. *Environ. Sci. Technol.* **40**, 2784-2789.
- [5] Pardue, J. H., Moe, W. M., McInnis, D., Thibodeaux, L. J., Valsaraj, K. T., Maciasz, E., van Heeden, I., Korevec, N., Yuan, Q. Z. (2005): Chemical and microbiological parameters in New Orleans floodwater following Hurricane Katrina. *Environ. Sci. Technol.* **39**, 8591-8599.
- [6] Tao, F., Jiantong, L., Bangding, X., Xiaoguo, C., Xiaoqing, X. (2005): Mobilization potential of heavy metals: a comparison between river and lake sediments. *Water, Air, Soil Pollut.* **161**, 209-225.
- [7] Umlauf, G., Bidoglio, G., Christoph, E. H., Kampheus, J., Krüger, F., Landmann, D., Schulz, A. J., Schwartz, R., Severin, K., Stachel, B., Stehr, D. (2005): The situation of PCDD/Fs and dioxin-like PCBs after the flooding of River Elbe and Mulde in 2002. *Acta hydrochim. hydrobiol.* **33**, 543-554.

Korrespondenzadresse

Michael Matthies, Institut für Umweltsystemforschung, Universität Osnabrück, Barbarastrasse 12, 49076 Osnabrück, Tel.: 0541 969-2576/2575, Fax: 0541 969-2599