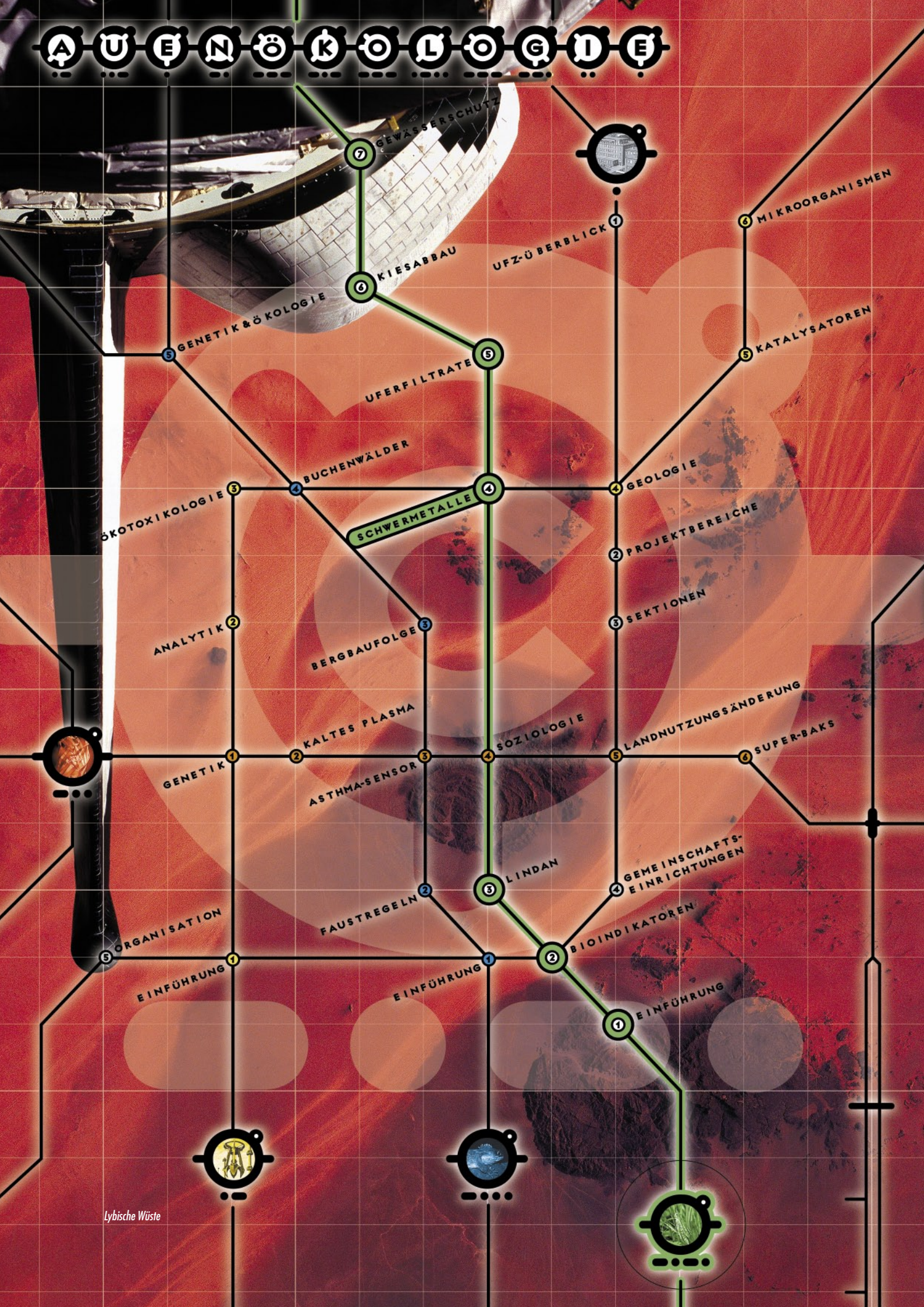


A U E N Ö K O L O G I E



WAS FRESSEN DIE KÜHE IN DEN ELBAUEN ?

Olaf Büttner und Frank Krüger

Wo Wasser in der Natur fließt, trägt und formt es die unterschiedlichsten Materialien. Jeder, der am Ufer eines Flusses steht, kann es beobachten. Größere Pflanzenteile und Partikel (unter Umständen allerlei menschlichen Unrat) führt die Strömung erkennbar mit sich. Daneben werden aber auch – für das bloße Auge unsichtbar – gelöste Stoffe, Bakterien, Algen, Schleime, Sandkörner, Schluff- und Tonpartikel sowie Kies (an der Sohle des Flusses) und Schadstoffe stromabwärts bewegt.

Was die Flut so alles mit sich bringt

Mit Ausnahme des groben Materials können aus den verschiedenartigen kleinen Dingen sogenannte Schwebstoff-flocken entstehen.

Das sind sehr dynamische Gebilde, die auf der Fließstrecke eines Flusses neu entstehen, sich verändern und unter bestimmten Bedingungen auch aus dem Wasserkörper verschwinden können. Ihre Zusammensetzung hängt unter anderem von der Jahreszeit – beispielsweise gibt es im Sommer viel mehr Algen als im Winter – und von der hydrologischen Situation, das heißt von Niederschlägen und von der transportierten Wassermenge ab.

Diese Schwebstoffe dienen aber auch als Transportvehikel für einen großen Teil der Schadstoffe, die durch Emissionen der chemischen Industrie und kommunale Abwässer direkt eingeleitet oder über das Grundwasser beziehungsweise über die Atmosphäre in die Flüsse gelangen.

Während eines Hochwassers werden weite Bereiche der Flussauen überflutet. Einerseits nehmen diese das zeitweilige Zuviel an Wasser auf und leisten damit einen natürlichen Hochwasserschutz. Andererseits setzen sich die Schwebstoffe in den strömungsberuhigten Bereichen ab

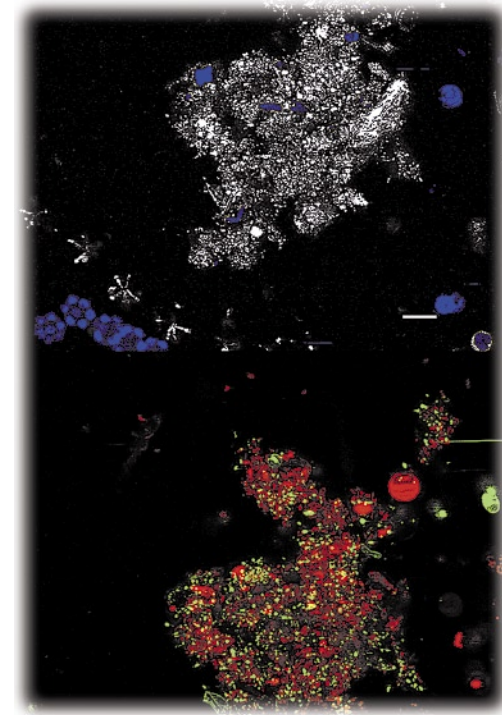


Bild 1: So sieht eine Schwebstoffflocke 630fach vergrößert aus, dargestellt mit Hilfe eines »konfokalen Laser Scanning Mikroskops«. Im oberen Bild erkennt man mineralische Komponenten (weiß) und Grünalgen (blau). Unten sind Bakterien (grün) und polymere Zuckerverbindungen (rot) zu sehen. Der Mikrometerbalken rechts im Bild hat eine Länge von 10 µm. (Aufnahme: Thomas Neu, UFZ)

und damit auch die an ihnen haftenden Schadstoffe. Die landwirtschaftlich genutzten Wiesen und Weiden sowie die Auwälder werden so durch die schwebstoffgebundenen Schadstoffe belastet und es besteht die Gefahr, dass diese über weidende Tiere oder über das auf den Flächen wachsende Viehfutter in den Nahrungskreislauf des Menschen gelangen.

Eine Wissenschaftlergruppe der Sektion Gewässerforschung des UFZ richtet in diesem Zusammenhang ihr Augenmerk insbesondere auf ein Untersuchungsgebiet – die mittlere Elbe – und auf eine Schadstoffgruppe – die Schwermetalle. So bezeichnet man die Metalle, die eine Dichte von mehr als $4,5 \text{ g/cm}^3$ aufweisen. Einige Schwermetalle wie Kupfer, Zink und Mangan sind in geringen Mengen (Spurenelemente) lebensnotwendig. Viele von ihnen, zum Beispiel Quecksilber, Blei oder Cadmium haben jedoch bei den Stoffwechselprozessen keine erkennbar lebensnotwendige Funktion, sondern wirken giftig auf Mensch, Tier und Pflanze. Bedingt durch ihre vielfältige industrielle Nutzung und unzureichende Vorsorge können diese in die Umwelt gelangen und sich in Pflanzen und Tieren anreichern. Un-



Bild 2: Wie viele Schwermetalle nehmen weidende Kühe in den Elbauen zu sich? (Foto: Mathias Scholz, UFZ)

tersuchungen im Gebiet zeigen, dass zirka ein Viertel der untersuchten Proben die gesetzlichen Grenzwerte für die Konzentration von Schwermetallen in Futtermitteln überschreiten.

Ziel der Wissenschaftler ist es nun zu verstehen, wie die Absetzvorgänge (Sedimentation) und der Abtrag (Erosion) von Bodenmaterial durch die Kräfte des Wassers funktionieren, das heißt wo und unter welchen Bedingungen sich die Schwebstoffklofen ablagern beziehungsweise weiter transportiert werden. Sie wollen erkennen, an welchen Stellen der Elbaue mit erhöhten Gehalten an Schwermetallen im Boden und in Pflanzen zu rechnen ist und wie groß genau die aktuellen Schwermetalleinträge sind. Letztlich sollen die Ergebnisse als Entscheidungshilfe bei der Konzeption einer sinnvollen Nutzung der betroffenen Flächen dienen.

Computermodelle simulieren Überflutungsereignisse

Das Untersuchungsgebiet befindet sich in Sachsen-Anhalt, 15 km stromaufwärts von Wittenberge, gegenüber dem Gnevsdorfer Vorfluter, durch den die Havel in die Elbe mündet. In den Jahren 1997 bis 1999 wurden durch die Wissenschaftler mehrere Hochwässer beobachtet und eine Vielzahl von Untersuchungen im Gelände durchgeführt. Mit Hilfe der dort gewonnenen Ergebnisse konnten später die eingesetzten Modelle geeicht werden. Ausgewählte Hochwasserereignisse wurden am Computer simuliert. Die im Rahmen dieses Artikels dargestellten Beispiele beziehen sich auf das Hochwasser im November/Dezember 1998 mit



Bild 3: Das Untersuchungsgebiet befindet sich links im Bild. Gegenüber ist die Einmündung der Havel in die Elbe zu erkennen. (Foto: Olaf Büttner, UFZ)

einem Scheiteldurchfluss von $2350 \text{ m}^3/\text{s}$ – zum Vergleich: der mittlere Durchfluss (MQ), gemessen am Pegel in Wittenberge, liegt bei $677 \text{ m}^3/\text{s}$. Rein statistisch tritt ein solches Hochwasser etwa aller vier Jahre auf.

1. Schritt: Raumbezogene Daten als Basis für die Modellierung

Eine wichtige Rolle für die Modellierung spielt die Topografie des Untersuchungsgebietes. Mit Hilfe von Vermessungsdaten und Karten wurde ein Digitales Geländemodell (DGM) erstellt, welches mit einem Geografischen Informationssystem (GIS) verwaltet wird. Darin werden Lageinformationen über die Geländestrukturen, wie Rinnen, Senken, Höhenrücken, Altarme, Biotoptypen, Bodenarten, topografische Festpunkte, Standorte von Messgeräten und vieles andere mehr gespeichert. Aus all diesen Informationen wird ein Computermodell aufgebaut, welches die tatsächlichen Verhältnisse in der Natur vereinfachend beschreibt. Es handelt sich dabei um ein sogenanntes »Finite Elemente Modell«, bei dem das betrachtete Gebiet in kleine Stücke (die finiten – endlichen – Elemente) mit jeweils gleichen Eigenschaften zerlegt wird. Die in der Natur beobachteten Prozesse werden durch mathematische Gleichungen beschrieben und können dann durch die Anwendung von numerischen Lösungsverfahren im Rahmen vorgegebener Randbedingungen gelöst werden. Die Randbedingungen werden an den Modellrändern – im vorliegenden Fall den Deichen, dem Einströmrand (oberer Modellrand) und dem Ausströmrand (unterer Modellrand) – definiert und bestimmen wesentlich das Ergebnis der Berechnungen.

2. Schritt: Berechnung der Strömungsverhältnisse

Zunächst werden Strömungsrichtung und Strömungsge-

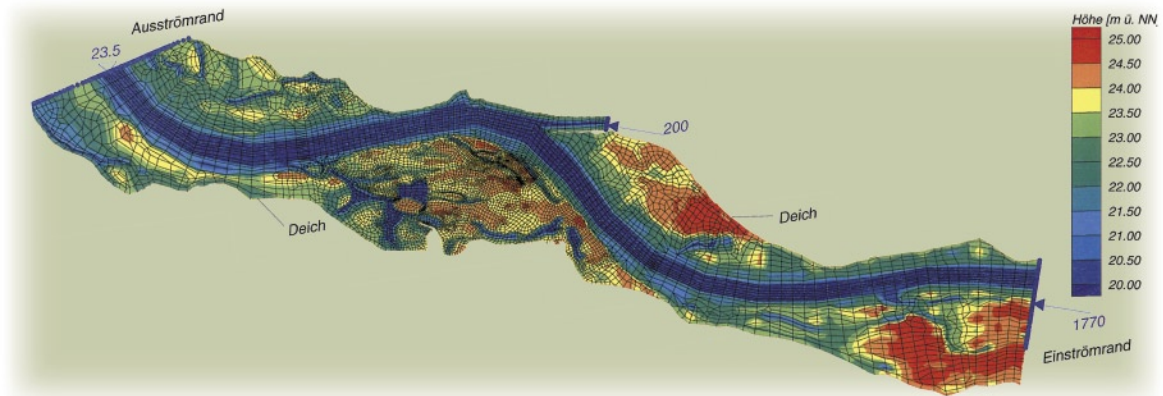


Bild 4: Die Diskretisierung (Abbildung der Naturverhältnisse im Modell) des Untersuchungsgebietes erfolgte mit Hilfe eines »Finiten Elemente Netzes«. Farblich dargestellt sind die Geländehöhen in Metern über NN. Am Ausströmrand ist der Wasserstand (Meter über NN) und an den Einströmrandern (Elbe und Havel) die Wassermenge (m^3/s) dargestellt.

schwindigkeit bestimmt. Dies geschieht, indem am Einströmrand der Durchfluss und am Ausströmrand der Wasserstand vorgegeben wird und das Wasser anschließend das Modell durchfließt. Über das Rechenmodell werden an ungefähr 25.000 Stellen des Untersuchungsgebietes die Strömungsrichtung, die Wassertiefe sowie die Strömungsgeschwindigkeit bestimmt.

Diese berechneten Größen werden im Anschluss mit gemessenen Naturwerten verglichen. Man bezeichnet diesen Prozess auch als Validierung. So wurden während des Hoch-

wassers an verschiedenen Stellen des Untersuchungsgebietes die Strömungsgeschwindigkeit und die Wassertiefe vom Schlauchboot aus gemessen. Ebenso wurde die Wasserspiegellage (Höhe der Wasseroberfläche über NN) vermessen. Sie ergibt sich als Summe aus Wassertiefe und Höhe der Geländeoberfläche und steht unmittelbar in Zusammenhang mit dem Durchfluss und der Strömungsgeschwindigkeit.

3. Schritt: Modellierung des Schwebstofftransportes

Wenn die Strömungsverhältnisse bekannt sind, kann die

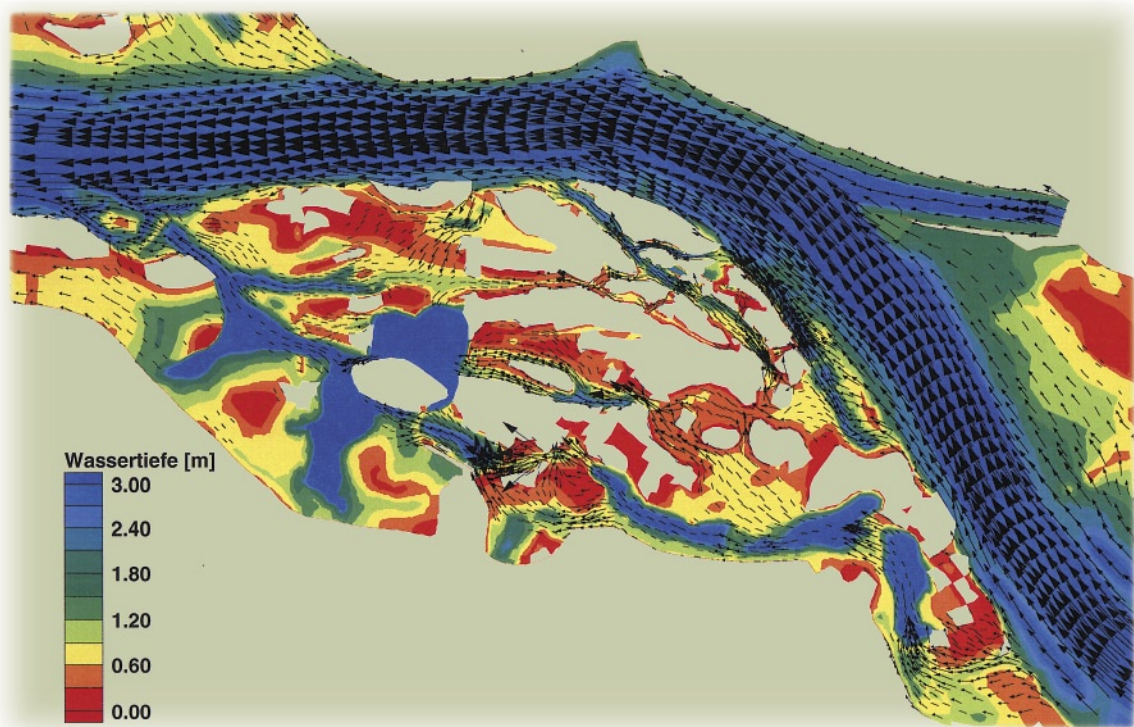


Bild 5: Das Untersuchungsgebiet mit Angabe der Strömungsrichtung und Wassertiefe bei einem Durchfluss von $2000 m^3/s$ (große Teile der Aue bereits überflutet). Die Stärke der Pfeile ist proportional zur Geschwindigkeit des Wassers.



*Bild 6a: Messung der Strömungsgeschwindigkeiten während der Überflutung
Bild 6b: Messung der Wasserspiegellagen am Elbekilometer 439 am Tage des Hochwasserscheitels (Fotos: Olaf Büttner, UFZ)*

eigentliche Simulation des Schwebstofftransportes beginnen. Dazu wird wiederum am Einströmrand des Modells eine angenommene Konzentration der Schwebstoffe vorgegeben. Diese Annahmen basieren auf täglichen Messungen über den Flussquerschnitt an Brücken in Tangermünde und Wittenberge durch die Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) sowie auf eigenen Messungen im Untersuchungsgebiet. Die Eigenschaften der Schwebstofflocken werden durch die Sinkgeschwindigkeit beschrieben, die wiederum von Faktoren wie Strömung, Form der Flocke oder spezifischem Gewicht abhängen. Mit Hilfe des Simulationsmodells werden nun Ablagerungsbereiche und Schwebstoffkonzentrationen berechnet, die anzeigen, wo mit erhöhten Schadstoffgehalten im Boden und auf den Pflanzen zu rechnen ist.

Auch diese Ergebnisse müssen natürlich mit Naturmessungen überprüft werden. Dazu dienen die oben erwähnten Messungen von Schwebstoffkonzentrationen sowie Sedimentfallen, die vor dem Hochwasser im Untersuchungsgebiet ausgelegt und im Anschluss wieder geborgen werden.



Bild 7: Sedimentfallen zur Messung von sedimentiertem Material (Schwebstoff) in der Nähe des Elbufers (Foto: Frank Krüger, UFZ)

Bei den Sedimentfallen handelt es sich um gewöhnliche Fußabtreter aus Kunststoffmaterial mit zirka zwei Zentimeter langen Borsten, die einen Bewuchs mit Gras nachbilden. Die Matten wurden an Stellen ausgelegt, an denen eine unterschiedliche Sedimentationsrate (Eintrag von Material pro Zeit) zu erwarten ist. So wurden Fallen in alten Flutrinnen, auf erhöhten Geländepunkten oder direkt an der Elbe befestigt. Das in den Matten gefangene Material wurde gewogen, in Größenklassen eingeteilt und im Labor auf Schwermetallgehalte untersucht.

Als Ergebnis der Simulation erhält man Karten, auf denen die bevorzugten Sedimentationsbereiche eingezeichnet sind. Setzt man diese Ergebnisse mit Überflutungshäufigkeiten und den gemessenen Schwermetallkonzentrationen unter Beachtung der Zusammenhänge zwischen Schwebstoff- und Schwermetallkonzentrationen in Beziehung, lassen sich Belastungsschwerpunkte kennzeichnen.

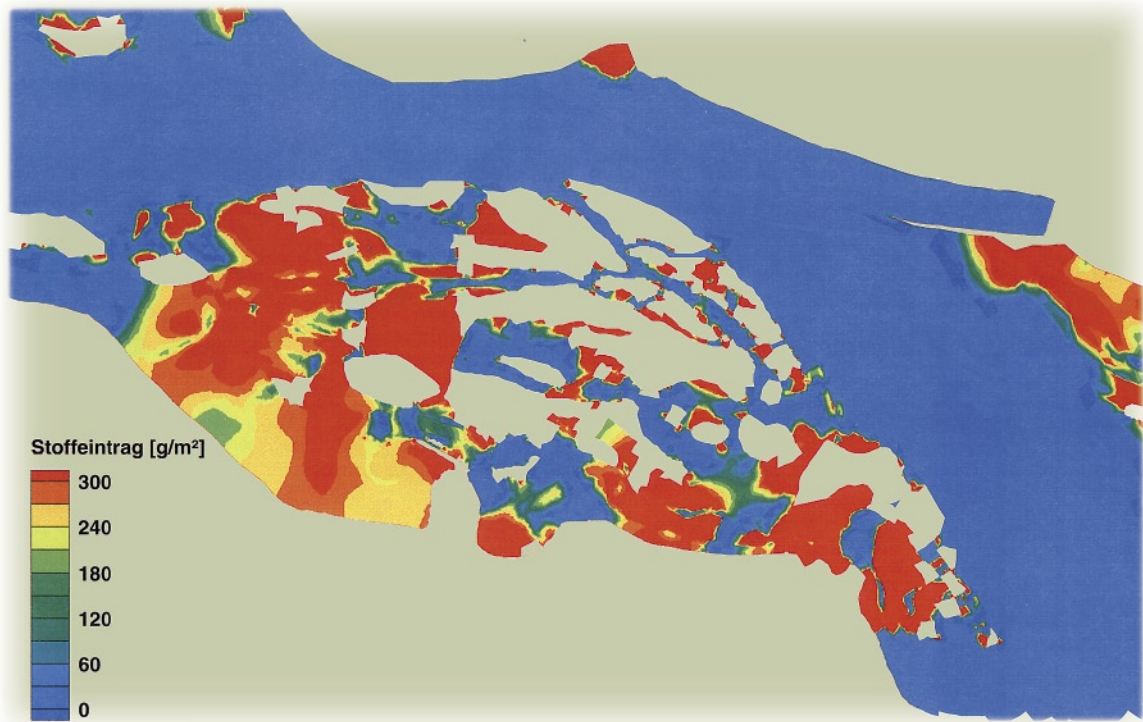


Bild 8: Das Ergebnis der Modellierung: Der berechnete Schwebstoffeintrag während des Hochwassers bei einem Durchfluss von 2000 m³/s

Fazit

Die Frage, wie viele Schwermetalle die Kühe auf der Weide im Überflutungsbereich der Elbe mit ihrem Futter tatsächlich zu sich nehmen, kann nach heutigem Kenntnisstand der Wissenschaftler noch nicht eindeutig beantwortet werden.

Erste Ergebnisse weisen darauf hin, dass zu Beginn der Beweidung beziehungsweise zum ersten Erntetermin des Grünlandes im Mai die meisten auf den Pflanzen abgelagerten oder sedimentierten Schadstoffe durch Regen abgewaschen wurden. Die Schadstoffaufnahme über die Pflanzenwurzel kann darüber hinaus auch an weniger stark belasteten Standorten zu Futtermittelwertüberschreitungen führen. Des Weiteren bleibt ungeklärt, an welchen Standorten die weidenden Kühe die meisten Schadstoffe aufnehmen und die höchste Schadstoffanreicherung in der Nahrungskette erfolgt.

Die Wissenschaftler kennen bisher die durch Ablagerungen aus dem Fluss entstehenden Belastungsschwerpunkte und können auf der Grundlage dieser Kenntnisse und unter dem Gesichtspunkt der Minimierung des Eintrages von Schadstoffen in die Nahrungskette Handlungsempfehlungen aussprechen. Setzt man voraus, dass nicht das gesamte Vorland (das Gebiet zwischen dem Deich und dem Fluss)

aus der Nutzung genommen werden soll, was weder ökologisch noch ökonomisch sinnvoll wäre, können den Landwirten nach jetzigem Erkenntnisstand folgende Vorschläge für die Nutzung der betroffenen Flächen gemacht werden:

- an Belastungsschwerpunkten sollten Kühe im Frühjahr möglichst spät ausgetrieben werden, damit der Schadstoffbelag auf den Pflanzen vorher durch den Regen heruntergewaschen werden kann;
- nach einem Sommerhochwasser sollte aus gleichem Grund auf die Beweidung an den Belastungsschwerpunkten verzichtet werden;
- ein später Weideaustrieb und früher Weideabtrieb sichert eine kürzere Beweidungsdauer und verringert damit eine potenzielle Anreicherung der Schadstoffe in der Nahrungskette. Das trägt auch der natürlichen Schadstoffaufnahme durch die Pflanzen Rechnung, denn zu Beginn und zu Ende der Vegetationsperiode sind die Konzentrationen von Schwermetallen in Pflanzen am höchsten.

Ausblick

Ein Modell stellt immer eine Vereinfachung der Natur dar, die Natur ist immer komplexer und vielschichtiger als deren Abbild in einem Computer. So verhält es sich auch



Bild 9: Heuballen in den Elbauen. Gelangen auf diesem Wege Schwermetalle in die Nahrungskette? (Foto: Mathias Scholz, UFZ)

mit dem Schwebstofftransportmodell. Will man die zu Beginn des Artikels gestellte Frage »Was fressen die Kühe in den Elbauen« beantworten, müssen viele, bisher noch nicht in das Modell eingeflossene Dinge betrachtet werden. Beispielsweise ist im Frühjahr die über die Wurzel aufgenommene Metallkonzentration höher als im Sommer, wie Untersuchungen der Vegetation während des Projektes zeigten.

Auch lagert sich im Frühjahr und im Sommer nach den Hochwässern ein feiner, mit Schadstoffen belasteter, aus dem Wasser stammender Belag auf den Pflanzen ab, der in seiner Belastung dem der Schwebstoffe gleicht, jedoch quantitativ im Modellsystem noch nicht eingebaut ist.

Untersuchungen an Pflanzenmaterial aus dem gesamten Auenbereich zeigen außerdem, dass sich die Schadstoffaufnahme durch die Pflanzen erheblich zwischen den Standorten unterscheidet und dass die höchsten Schwermetallkonzentrationen in den Pflanzen nicht unbedingt an den Standorten mit höchster Belastung zu finden sind.

Auch die Schadstoffaufnahme durch die Tiere erfolgt über mehrere Pfade. Kühe unterscheiden nicht zwischen unbelastetem und belastetem Gras. Aber sie bevorzugen bestimmte Arten oder bestimmte Pflanzenteile. Andererseits wirbeln sie beim Abweiden und Ausatmen belasteten Staub auf, den sie nicht fressen sondern inhalieren.

Als Ergebnis dieser Naturbeobachtungen oder Messungen werden bestehende Computermodelle Stück für Stück verbessert und können so immer perfekter komplexe Zusammenhänge und Vorgänge aus der Natur erklären.

Dieser Artikel entstand auf der Grundlage wissenschaftlicher Arbeiten, an denen neben den Autoren dieses Beitrages eine Reihe weiterer Personen beteiligt waren: Kai Otte-Witte & Günther Meon, Universität Gesamthochschule Paderborn, Abt. Höxter, FB 8-Techn. Umweltschutz, sowie Michael Rode, Martina Baborowski und Kurt Friese, UFZ Sektion Gewässerforschung Magdeburg.

Literatur

- [1] Büttner O., Otte-Witte K., Meon G., Quoika S., & Rode M. (2000): Zweidimensionale Strömungsmodellierung für einen überfluteten Auenbereich. In: Stoffhaushalt von Auenökosystemen – Böden und Hydrologie, Schadstoffe, Bewertungen, Friese K., Witter B., Mielich G. and Rode M. (eds), Springer Verlag New York, Heidelberg, Berlin.
- [2] Friese K., Mielich G., Witter B., Brack W., Büttner O., Groenroeft A., Krüger F., Kuhnert M., Rupp H., Schwartz R., van der Veen A., & Zachmann D.W. (2000): Distribution and Fate of Organic and Inorganic Contaminants in a River Floodplain – Results of a case Study on the River Elbe, Germany. In: Remediation of Hazardous Waste Contaminated Soils, Wise D.L., Trantolo D.J., Cichon E.J., Inyang H.I. and Stottmeister U. (eds), Marcel Dekker, Inc.
- [3] Krüger F., Kuhnert M., Büttner, O., Friese K., Rupp H., Meißner R. and Mielich G.: Hochwassergebundener Schadstoffeintrag an der Elbe bei Wittenberge. In: Friese K., Kirscher K and Witter B. (Hrsg.), UFZ Bericht 1/99, 1.-3.2.1999 Tagungsband zum Workshop Stoffhaushalt von Auenökosystemen der Elbe und ihrer Nebenflüsse.
- [4] Büttner, O., Quoika S., Otte-Witte K., Krüger F., Rode M., and Baborowski M.: Strömung und Feststofftransport in einem Auengebiet – eine Modellanwendung. In :Friese K., Kirscher K and Witter B. (Hrsg.), UFZ Bericht 1/99, 1.-3.2.1999 Tagungsband zum Workshop Stoffhaushalt von Auenökosystemen der Elbe und ihrer Nebenflüsse.

English Abstract

Two Dimensional Sediment Transport Model of Elbe River Wetlands

Olaf Büttner and Frank Krüger

The River Elbe belongs to the most polluted rivers in central Europe. During floods, an exchange of water, sediments, chemicals and biota takes place between the main channel and the floodplains. Floodplains are often used as pastures and for cultivation and therefore pollutants can be introduced into food web via some contamination of soil or plants.

The main objective of this study was to test a two-dimensional modeling technique to calculate spatial distribution of erosion and deposition of suspended sediment during over bank flooding.

The RMA2-WES hydraulic and the SED2D-WES sediment transport models were used to support a detailed investigation of a floodplain (2 square kilometers) in the German part of the River Elbe. Different flood situations were simulated for the steady-state case. Bed change, bed shear stress and suspended sediment concentration were determined for different discharges. Deposition was measured with sediment traps. Also concentrations of suspended matter were observed. These data and surface water elevations measured within the floodplain were used for model calibration. No erosion was calculated for the investigated discharges. Largest deposition rates were determined for backwaters. The results can be used to estimate the input of polluted sediments into floodplains.