

# Georeferenzierte Simulation und Bewertung von Gewässerbelastungen

Jürgen Berlekamp, Michael Matthies

## 1 Einführung

Europäische Flüsse werden durch unterschiedliche menschliche Aktivitäten mit chemischen Stoffen belastet (Industrie, Haushalt, Landwirtschaft u.a.). Chemikalien gelangen direkt, über Kläranlagen oder durch diffuse Verunreinigungen in das Oberflächenwasser (Flüsse, Bäche, Flussmündungen). Europäische Flüsse sind hydrologische Systeme, die eine große strukturelle und ökologische Vielfalt zeigen. Das räumliche Muster der Umweltfaktoren kann am besten in einem Geo-Informationssystem (GIS) dargestellt werden, das die Instrumente für die Speicherung, Verwaltung, das Wiederfinden, die Analyse und visuelle Darstellung von hydrologischen, demographischen und anderen räumlichen Daten bereitstellt. Simulationsmodelle beschreiben die Dynamik des Transports und der Umwandlung einer Chemikalie innerhalb des Abwassersystems beginnend von ihrer Verwendung über die Behandlung bis zu den aufnehmenden Gewässern, wobei die physikalischen, chemischen und biologischen Prozesse betrachtet werden, welche die Menge, Struktur, Konzentration und die Eigenschaften der Chemikalie auf der gegebenen räumlich-zeitlichen Skala beeinflussen. Durch die Kopplung eines GIS mit solchen Simulationsmodellen für Flussgebiete kann die Konzentration von Chemikalien in den Flussabschnitten und Teileinzugsgebieten vorausgesagt werden. Der Beitrag gibt einen kurzen Überblick über die georeferenzierte Methodologie der Kopplung von räumlichen Datensätzen verschiedener Herkunft und Auflösung mit dynamischen Simulationsmodellen, die den Transport und die Umwandlung von Chemikalien im Abwassersystem und Flussgebiet beschreiben. Das Softwaresystem GREAT-ER (Geography-referenced Regional Exposure Assessment Tool for European Rivers) wurde für ausgewählte Haushaltschemikalien in verschiedenen europäischen Flussgebieten entwickelt und validiert. Eine detaillierte Beschreibung ist an anderer Stelle zu finden (Matthies et al. 1997, Feijtel et al., 1997, Boeije et al. 1997). Das Handbuch zu GREAT-ER ist auf Anfrage erhältlich (ECETOC 1999).

## 2 GREAT-ER – modularer Aufbau

GREAT-ER wurde im Rahmen eines internationalen Vorhabens zur Entwicklung und Erprobung der Modell- und Datenmethodik für die georeferenzierte Bewertung der Exposition von aquatischen Ökosystemen entwickelt. Für Pilotgebiete in Großbritannien, Deutschland, Italien und Belgien wurden räumliche und nichträumliche Datensätze für im Abwasser vorkommende Haushaltschemikalien (Bor, Lineares Alkylbenzolsulfonat LAS) und industrielle Zwischenprodukte zusammengestellt und unter Verwendung des Desktop-GIS ArcView auf einer Windows NT-Plattform integriert (Abb. 1).

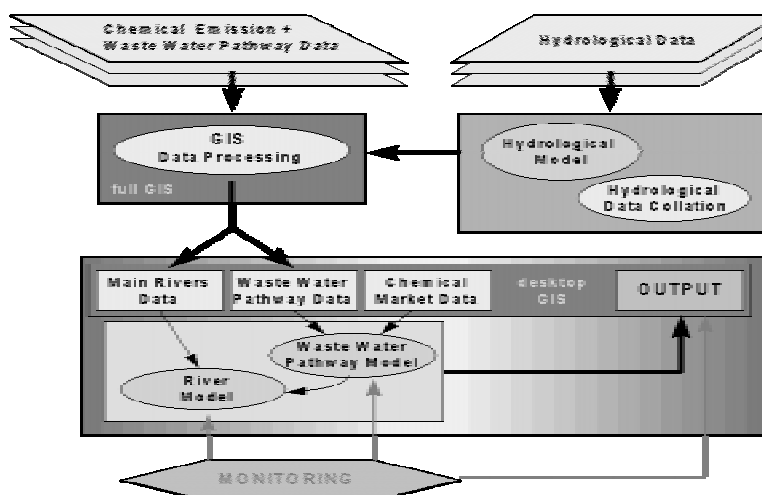
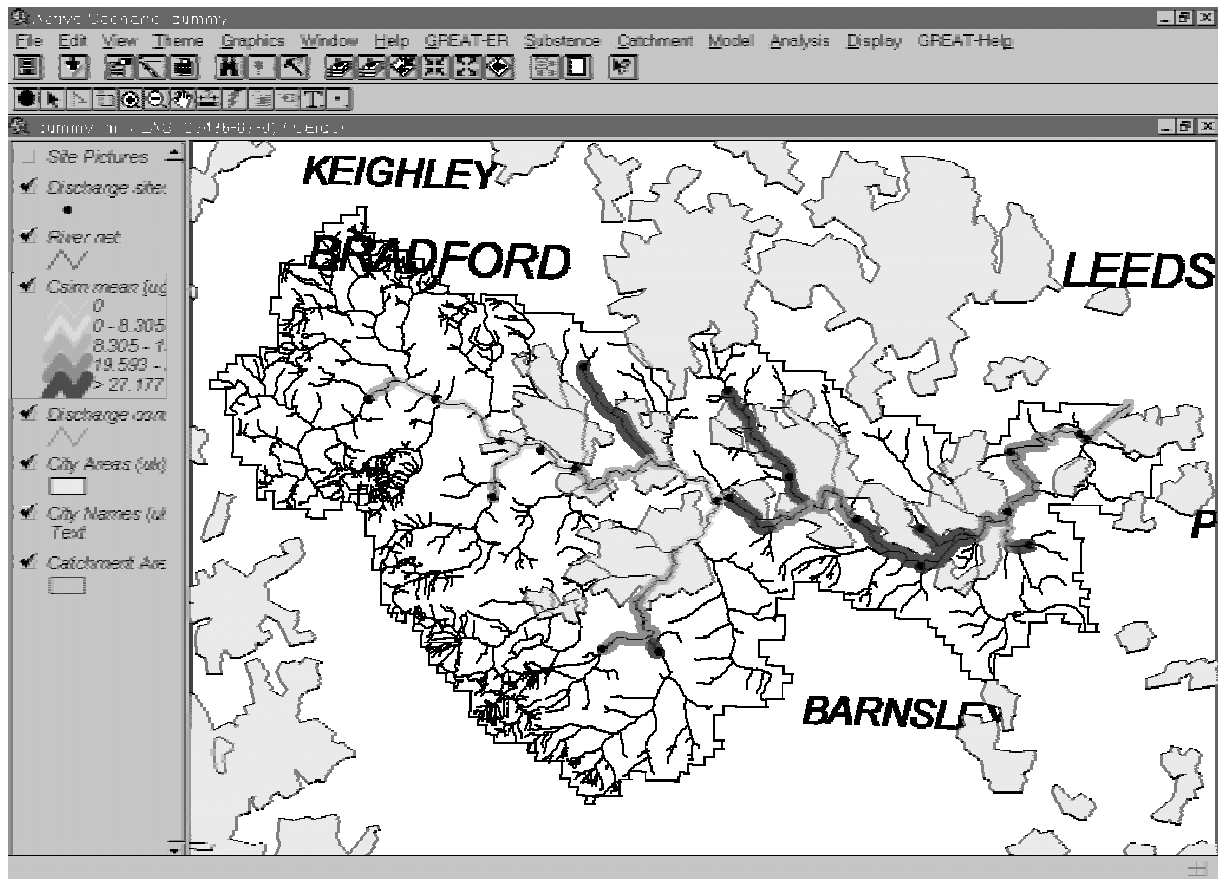


Abb. 1. Modularer Aufbau des GREAT-ER Prototyps

Daten zu chemischen Emissionen, den Abwasserpfaden sowie des Abflusses werden mit dem Ziel verarbeitet, einen konsistenten räumlichen Datensatz für das zu untersuchende Flussgebiet zu erhalten. Das gesamte Flussnetz wird in Segmente unterteilt, welche geographischen Einheiten (GU) oder Untereinzugsgebieten entsprechen. Es wird ein hydrologisches Modell verwendet, um das Volumen des Abflusses und die Fließgeschwindigkeit in den Flussabschnitten,

in denen keine Messungen durchgeführt wurden, zu berechnen. Modelle der Abwasserpfade und des Weges von Chemikalien werden gekoppelt, um die Auswirkung der Landnutzung und menschlicher Aktivitäten in jeder geographischen Einheit festzustellen. Die Modelle können in unterschiedlicher Komplexität laufen – abhängig von den verfügbaren Daten, den Eigenschaften der Chemikalien und den Umweltparametern (Trapp und Matthies 1998). GREAT-ER erstellt auf dieser Grundlage Voraussagen zu Umweltkonzentrationen (Predicted Environmental Concentration: PEC) in einem Flussnetz, die visuell als farbkodierte digitale Karten unter Verwendung eines GIS dargestellt werden. Mit Monte-Carlo-Simulationen wird die Wahrscheinlichkeitsverteilung der erhaltenen Voraussagen zu Umweltkonzentrationen als Funktion der Variabilität und Unsicherheit der eingegebenen Daten bestimmt. Zeitliche sowie räumliche Wahrscheinlichkeitsverteilungen stellen stochastische Werte für  $PEC_{initial}$  (in der Nähe der Einleitung) und  $PEC_{catchment}$  (für das gesamte Flussgebiet) dar (Boeije et al. 2000).



**Abb. 2.** Grauwert-kodierte Karte der mittleren berechneten LAS-Konzentration im Flussgebiet der Calder (Yorkshire, GB)

### 3 Anwendung in Pilotgebieten

Die GREAT-ER-Software wurde für verschiedene Flussgebiete in Großbritannien (Ouse in Yorkshire), Italien (Lambro), Deutschland (Itter, Rhein, Ruhr, s. Koormann et al. 1998, Schulze et al. 1999) und Belgien (Rüppel) entwickelt und getestet. Umfassende Beobachtungen über mehr als zwei Jahre wurden durchgeführt und mehr als 2000 Flusswasserproben sowie über 600 Proben von aufbereiteten Abwässern auf Lineares Alkylbenzolsulfonat (LAS) und Bor untersucht. Abb. 2 zeigt die Karte mit den Ergebnissen der Simulation des oberflächenaktiven Stoffes LAS im Flussgebiet des Calder in Yorkshire (GB). Die mittleren berechneten LAS-Konzentrationen im Fluss werden dargestellt und mit Hilfe von Farben klassifiziert. Zusätzliche Hintergrundinformationen, z.B. Karten zur allgemeinen Wasserqualität können erstellt und mit den Simulationsergebnissen überlagert werden.

Die gemessenen Konzentrationsprofile der Beobachtungsprogramme wurden mit den Ergebnissen der Simulation verglichen (Abb. 3). Die Genauigkeit der Voraussage für die meisten untersuchten

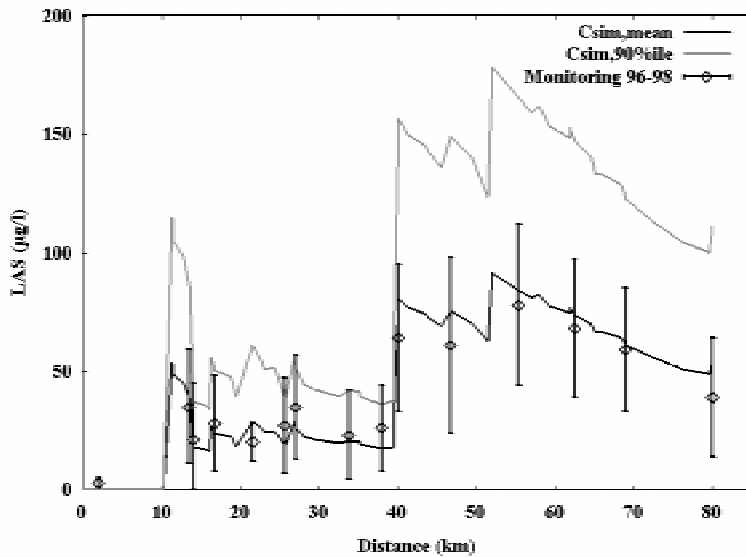


Abb. 3. Konzentrations-Längsprofile des simulierten und gemessenen LAS im Flussgebiet der Calder (Yorkshire, GB)

Flussgebiete liegt unter einem Faktor von drei und bestätigt die allgemeine Anwendbarkeit von GREAT-ER. Zurzeit werden weitere Flussgebiete in Deutschland (Elbe, Ems) einbezogen. Es wird vorgeschlagen, dieses für weitere Flussgebiete in ganz Europa vorzusetzen.

### 3 Erweiterungen im Hinblick auf ein Instrument zum Flussgebietsmanagement

Mit dem Ziel einer Instrumentalisierung für ein Flussgebietsmanagement wird vorgeschlagen, das Verfahren auf andere Umweltmedien (z.B. Boden, Flussmündungen, Luft) sowie auf Stoffaustauschprozesse zwischen den Umweltmedien (z.B. Run-off, Deposition) zu erweitern. Hierzu werden demnächst Modelle zur Simulation diffuser Stoffeinträge in Fließgewässersysteme in das Softwaresystem integriert.

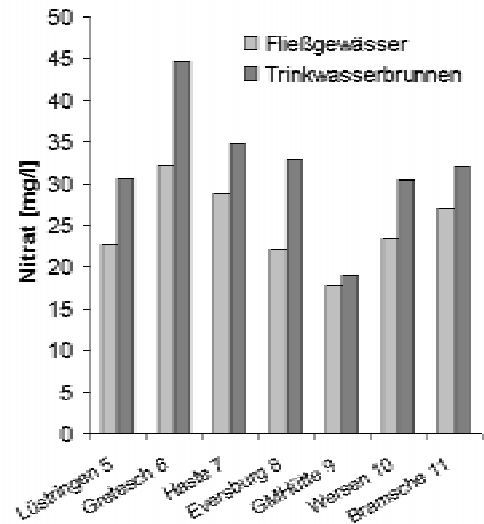
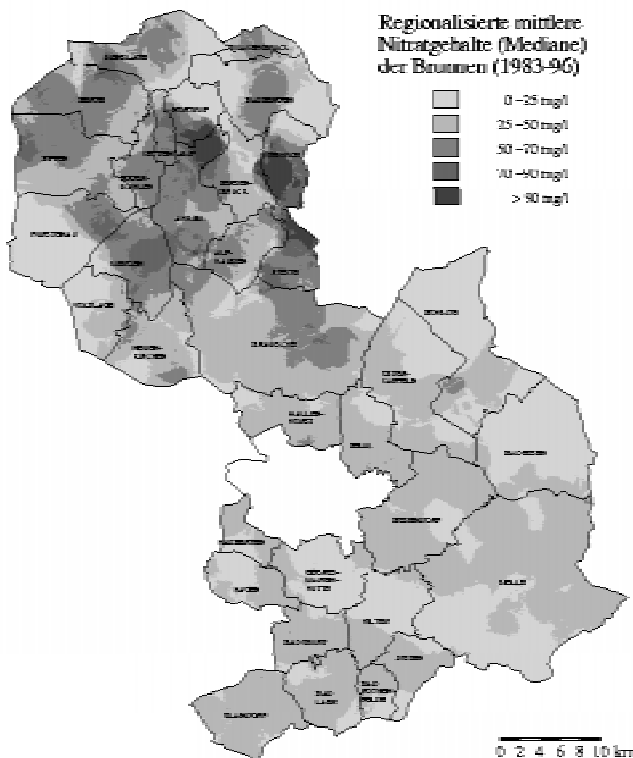


Abb. 4. Aus dem Monitoring privater Trinkwasserbrunnen abgeleitete regionalisierte Nitratgehalte des oberflächennahen Grundwassers im Landkreis Osnabrück (links) und einzugsgebietsbezogener Vergleich mit den Gehalten im Fließgewässer (oben)

Im Hinblick auf die Anforderungen eines Managementwerkzeuges können weitere Komponenten integriert werden. Für den Landkreis Osnabrück wurden beispielsweise erstmals amtliche Überwachungsdaten privater Trinkwasserbrunnen als Instrument für ein großräumiges Monitoring der Quali-

tät des oberflächennahen Grundwassers genutzt (Abb. 4 links) (Fuest et al. 1998, Berlekamp et al. 2000). Der einzugsgebietsbezogene Vergleich der Grundwasserbelastung mit der Gewässergüte der zugeordneten Gewässerabschnitte zeigte eine hohe Korrelation (Abb. 4 rechts), was den vermuteten Zusammenhang zwischen landwirtschaftlicher Landnutzung und der Gewässergüte bestätigte.

## Literatur

- Berlekamp, J., Fuest, S., Gläßer, W., Matthies, M., Schreck, P., Thürkow, D. (2000) Trinkwasser aus privaten Hausbrunnen - Situation und Qualitätssicherung. Lay, J.P. (Hrsg.) Deutsche Bundestiftung Umwelt. Erich Schmidt Verlag, Berlin (im Druck)
- Boeije, G., Vanrolleghem, P., Matthies, M. (1997) A Geo-Referenced Aquatic Exposure Prediction Methodology for 'Down-The-Drain' Chemicals, *Wat. Sci. Tech.* 36, 251-258
- Boeije, G., Wagner, J.-O., Koormann, F., Vanrolleghem, P.A., Schowanek, D.R., Feijtel, T.C.J. (2000) New PEC definitions for river basins applicable to GIS-based environmental exposure assessment. *Chemosphere* (in press)
- ECETOC (1999) GREAT-ER User Manual. Special Report No.16. ECETOC, Brussels
- Feijtel, T.C.J., Boeije, G., Matthies, M., Young, A., Morris, G., Gandolfi, C., Hansen, B., Fox, K., Holt, M., Koch, V., Schröder, R., Cassani, G., Schowanek, D., Rosenblom, J., Niessen, H. (1997) Development of a Geography-referenced Regional Exposure Assessment Tool for European Rivers - GREAT-ER. *Chemosphere* 34, 2351-2374
- Fuest, S., Berlekamp, J., Klein, M., Matthies, M. (1998) Risk mapping of groundwater contamination using long-term monitoring data of shallow drinking water wells. *Journal of Hazardous Materials*, special issue 61, 197-202
- Koormann, F., Matthies, M., Trapp, S. (1998) Simulation and visualization of spatial exposure patterns: Intermediates in the Rhine River system. In: Pugh, D.M., Tarazona, J.W. (Eds.) *The use of ecotoxicology and human toxicology in the regulation of chemical safety in the European Union*. Kluwer Academic, Dordrecht, pp. 65-96
- Matthies, M., Wagner, J.-O., Koormann, F. (1997) Combination of Regional Exposure Models for European Rivers with GIS Information. In: *ECO-INFORMA Vol. 12: Information and Communication in Environmental and Health Issues*, pp. 523-529
- Trapp, S., Matthies, M. (1998) *Chemodynamics and Environmental Modeling. An Introduction*. Springer Heidelberg (mit Diskette und Handbuch). 285 p
- Schulze, C., Matthies, M., Trapp, S., Schröder, F.R. (1999) Geographically Referenced Fate Modelling of LAS in the Itter Stream. *Chemosphere* 39: 1833-1852

## Danksagung

GREAT-ER erhielt finanzielle Unterstützung vom Lenkungsausschuss für die Bewertung von Umweltrisiken (ERASM), der Association Internationale de la Savonnerie, de la Déterence et des Produits d'Entretien (A.I.S.E.) und dem Comité Européen des Agents de Surface et Intermédiaires Organiques (CESIO), in Kooperation mit der Umweltbehörde Großbritanniens und Yorkshire Water. Das Projekt wird durch eine Sonderkommission des ECETOC (Europäisches Zentrum für Ökotoxikologie und Toxikologie von Chemikalien) geleitet.

Die GREAT-ER 1.01 CD-ROM und das Handbuch können kostenlos über ECETOC, Av. Van Nieuwenhuysse 4, Box 6, B-1160 Brüssel bezogen werden. Weitere Informationen können über das Internet <http://www.usf.Uni-Osnabrueck.DE/projects/GREAT-ER> abgerufen werden.