



Universität für Bodenkultur Wien
University of Natural Resources
and Applied Life Sciences, Vienna



Schadstoffverhalten in Flüssen und Aulandschaften

Im Rahmen des kürzlich abgeschlossenen Forschungsprojekts AquaTerra untersuchten Mitarbeiter(innen) der Universität für Bodenkultur Wien, wie sich Auböden im Laufe der Zeit verändern und wie sich dies auf ihr Filter- und Speichervermögen für Schadstoffe auswirkt. Ziel war, Voraussetzungen zu schaffen, um die Lebensräume europäischer Flusslandschaften langfristig zu sichern.

Georg J. Lair, Franz Zehetner,
Sabine Klepsch, Martin H. Gerzabek

Die Europäische Kommission hat das Forschungsprojekt *AquaTerra* im 6. Rahmenprogramm mit 13,7 Millionen Euro finanziert. Über 200 Mitarbeiter(innen) aus zwölf EU-Ländern sowie der Schweiz und Serbien arbeiteten von 2004 bis 2009 an verschiedenen Fragestellungen in den Bereichen Hydrologie, Biologie, Bodenkunde, Biogeochemie, Klimamodellierung und Sozioökonomie.

Das Hauptziel von *AquaTerra* war es, Eintrag, Ausbreitung, Toxizität und Abbau von Schadstoffen in europäischen Flusslandschaften zu bestimmen und zu bilanzieren. Dafür wurden unterschiedlich verschmutzte Flussabschnitte von Elbe, Ebro, Donau, Maas sowie das Einzugsgebiet des Brévilles-Flusses – ein kleines, intensiv landwirtschaftlich genutztes Gebiet in Frankreich – untersucht. Die Wissenschaftler(innen) schätzten die lokalen Gefährdungspotenziale für die Ökosysteme bei anhaltendem Schadstoffeintrag sowie die Folgen des Klimawandels ab. Zudem gaben sie Anregungen und Hilfestellungen für die Planung und Überarbeitung von EU-Richtlinien zum Erhalt dieser Lebensräume.

Das Teilprojekt *Trend*

Innerhalb von *AquaTerra* arbeiteten im Teilprojekt *Trend* unter der Leitung und Koordination von *Martin H. Gerzabek* und *Georg J. Lair* Wissenschaftler(innen) der Universität für Bodenkultur Wien sowie mehrerer europäischer wissenschaftlicher Institutionen zusammen. Die Aufgabe des Teilprojekts bestand darin, zum einen die Gehalte von Schadstoffen, zum anderen deren Mobilität und Verfügbarkeit für Organismen in Auböden und Gewässern im Jahreskreislauf zu bestimmen. Außerdem sollten die Wirkungen langfristiger Umweltveränderungen, hervorgerufen durch menschliche Eingriffe (zum Beispiel Bau von Flussregulierungen, Änderungen in der Aunutzung), und klimatischer Veränderungen auf die Schadstoffmobilität in Flusslandschaften erfasst werden. Hierzu haben die Mitarbeiter(innen) Grundwasserkörper und Sedimentablagerungen datiert und auf ihre Schadstoffgehalte untersucht, diverse Aktivitäts- und Vitalitätstests an Mikroorganismen und Regenwürmern durchgeführt und die Ergebnisse in mathematischen Modellen verarbeitet.

Am Institut für Bodenforschung der Universität für Bodenkultur Wien wurde die Entwicklung von Auböden in verschie-

denen Klimaregionen Europas analysiert. Grundsätzlich gelangen Schadstoffe vor allem durch Hochwasser, aber auch über den Luftweg in Auböden und werden dort angereichert. Untersuchungsgegenstand war, inwieweit sich die Filter- und Speicherkapazität dieser Böden für verschiedene Schadstoffgruppen durch bodenbildende Prozesse und bei unterschiedlicher Landnutzung (zum Beispiel Wald, Grünland, Acker) verändert.

Die Au: Ökosystem im ständigen Wandel

In Niederungen entlang von Flüssen entstehen Aulandschaften, die von wechselnden Abflussverhältnissen der Flüsse geprägt und geformt werden. Hochwasser versorgen das Überschwemmungsgebiet mit Nährstoffen und verändern die Oberflächenstrukturen durch Erosion und Sedimentablagerungen. Durch hohe Fließgeschwindigkeiten während Hochwasser kann sich der Flusslauf verschieben, wodurch neue Seitenarme entstehen und Altarme verlanden. Bei niedrigeren Wasserständen im Flussbett kann im Umland der

Kontakt Autor(inn)en: Dr. Georg J. Lair | Universität für Bodenkultur Wien (BOKU) | Department für Wald- und Bodenwissenschaften | Institut für Bodenforschung | Wien | Österreich | E-Mail: georg.lair@boku.ac.at

Kontakt Österreich-Konsortium GAIA: Dr. Christian Smoliner | Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung | Rosengasse 4 | 1014 Wien | Österreich | Tel.: +43 1 531206353 | E-Mail: christian.smoliner@bmwf.gv.at



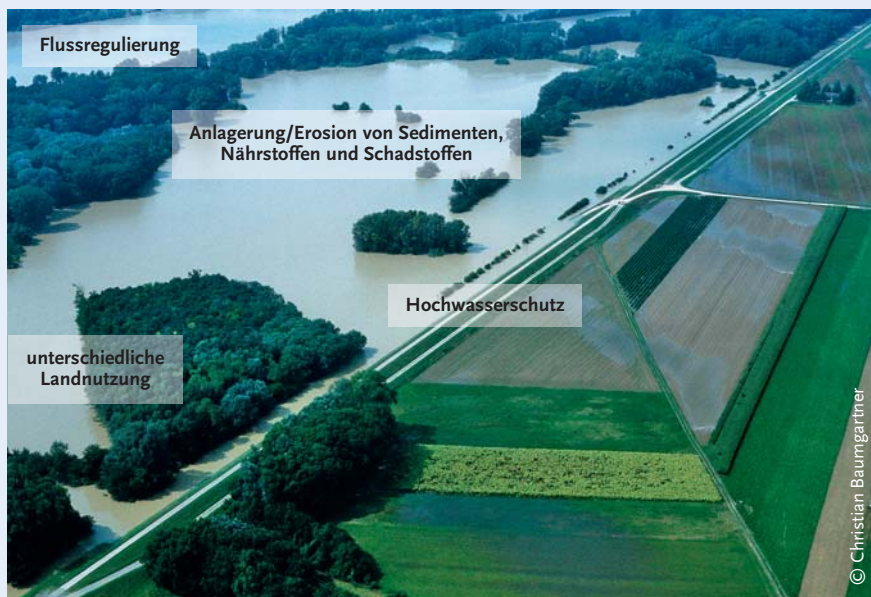


ABBILDUNG 1: Die Aulandschaften in Europa wurden durch den Menschen stark geprägt. Im Bild die Aulandschaft im Nationalpark Donau-Auen, die im August 2002 als natürlicher Hochwasserpuffer diente.

Grundwasserspiegel sinken, was zu einer raschen Austrocknung wasserdurchlässiger, grobkörniger Böden führt. Diese Aulandschaften zerstört immer wieder Lebensräume, lässt neue entstehen und erhöht so die Vielfalt an Pflanzen und Tieren.

Beeinträchtigungen durch den Menschen
Flussnahe Flächen nehmen zurzeit mehr als zwei Millionen Quadratkilometer auf der Erde ein, was einem Anteil von etwa 1,3 Prozent des Festlands entspricht. Viele Aulandschaften sind mittlerweile stark vom Menschen beeinflusst (Abbildung 1). So werden etwa in Europa bereits über 79 Prozent der Auflächen intensiv landwirtschaftlich genutzt (Tockner und Stanford 2002). Mitte des 19. Jahrhunderts wurde in Europa im großen Stil begonnen, Flüsse zu begraden und zu kanalisieren, um die Schifffahrt zu erleichtern. Dämme und Deiche wurden errichtet, um Siedlungen und landwirtschaftliche Flächen vor Hochwassern zu schützen. Seit den 1950er Jahren werden zunehmend Wasserkraftwerke gebaut, die den Geschiebetransport von Flüssen verringern und in der Folge eine „Selbsteintiefung“ der Flüsse vorantreiben. Diese baulichen Maßnahmen führten zur Verringerung der Auflächen und zur zunehmenden Abkopplung der Aulandschaften von der Dynamik der Flüsse. Zudem

führten hohe Düngemittel- und Pestizideinsätze in der Landwirtschaft sowie die Einleitung ungeklärter Abwässer aus Industrie und Haushalten in die Flüsse zu Schadstoffanreicherungen und Umweltschäden in Auegebieten (vergleiche Lair et al. im Erscheinen). Wasserproben und Sedimentuntersuchungen in europäischen Flüssen ergaben, dass die Schadstoffbelastungen aufgrund von Kläranlagen und Luftfiltern heute wesentlich geringer sind als noch vor 30 Jahren. Allerdings werden in den Aulandschaften zunehmend neue Substanzen wie Pharmazeutika, Parfümrückstände oder Duftstoffe aus Shampoos und Waschmitteln messbar, deren Auswirkungen auf die Umwelt noch weitgehend unerforscht sind.

Entstehung und Entwicklung von Auböden

Je nach Höhe und Dauer eines Hochwassers lagern sich Sedimentschichten unterschiedlicher Korngrößen ab, wobei es zu Schichtmächtigkeiten von Millimetern bis Metern kommen kann (zum Beispiel Lair et al. 2009 a). Aus diesen Sedimenten entwickeln sich Auböden durch physikalische und chemische Verwitterung sowie durch biologische Prozesse. Beispielsweise zeugen etwa Schichten mit Humusanreicherungen von längeren Pflanzenwachstums-

und Bodenbildungsphasen ohne stärkere Hochwassereinflüsse (Abbildung 2).

Untersuchungen von Auböden auf unterschiedlichen Höhenniveaus im Nationalpark Donau-Auen (Österreich) erlaubten es, deren Entwicklung über 600 Jahre nachzuvollziehen (Abbildung 3). Es konnte gezeigt werden, dass durch pflanzliches Wachstum innerhalb der ersten 100 Jahre pro Quadratmeter mehr als 100 Gramm Kohlenstoff jährlich aus der Atmosphäre in den Boden gelangen. Weiter ergaben die Untersuchungen, dass das Kohlenstoffspeichervermögen von Auböden durch intensive landwirtschaftliche Nutzung stark reduziert wird (Zehetner et al. im Erscheinen). Im Zuge der Bodenentwicklung werden Minerale aufgelöst und andere neu gebildet. So konnte etwa in den Auböden der Donau nach weniger als 250 Jahren Bodenentwicklung eine deutliche Abnahme von mineralischem Phosphor sowie eine Anreicherung des freigesetzten Phosphors im Humus nachgewiesen werden (Zehetner et al. 2008). Ferner wurde festgestellt, dass die Kristallinität von bodenbürtigen Eisenmineralen mathematisch beschreibbar mit dem Bodenalter zunimmt. Diese Erkenntnis ermöglichte eine weitere Altersbestimmung von Sedimenten und Bodenschichten des Untersuchungsgebiets – neben den herkömmlichen Datierungsmethoden wie optisch stimulierte Lumi-



ABBILDUNG 2: Auböden auf Grobkies in einem Seitenarm der Donau. Der dunkelgraue Bereich zeigt den mit Grundwasser befeuchteten Boden.

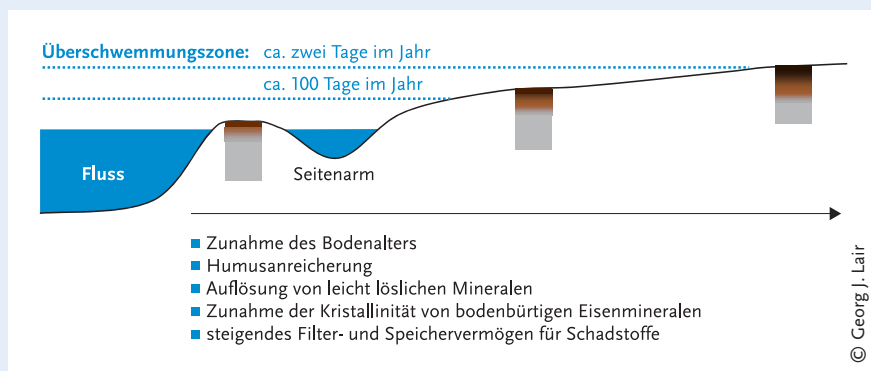


ABBILDUNG 3: Schema der Aulandschaft im Nationalpark Donau-Auen (Österreich): In Abhängigkeit von Überschwemmungshäufigkeit und -dauer verändern sich die Eigenschaften der Auböden.

neszenz oder die Tiefenverteilung von Radioisotopen (Fiebig et al. 2009, Lair et al. 2009 a). Ein Vergleich der Auböden an der Donau mit jenen an Ebro und Elbe zeigte, dass die klimatischen Bedingungen und das geologische Ausgangsmaterial die Geschwindigkeit und den Verlauf der Bodenentwicklung stark beeinflussen (Lair et al. 2007).

Auböden als Filter und Speicher von Schadstoffen

Heute sind, bedingt durch menschliche Aktivitäten, Schadstoffe überall in Böden, Gewässern und in der Atmosphäre nachweisbar. Durch Niederschläge und Hochwasser gelangen Schadstoffe auch in Au-Ökosysteme. In Böden werden Schadstoffpartikel aus dem Sickerwasser gefiltert und gelöste Schadstoffe an Bodenpartikel gebunden, angereichert und, abhängig von der Art des Schadstoffs, abgebaut. Böden schützen so das Grundwasser vor Schadstoffeinträgen und sind ein „Gedächtnis“ früherer Umweltbelastungen. In den Böden des Nationalparks Donau-Auen konnte etwa eine Zunahme organischer Schadstoffe mit Beginn der Industrialisierung nachgewiesen werden: Ungefähr ein Drittel des gesamten Eintrags von sehr abbaureisistenten polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) wurde durch Hochwasser, etwa zwei Drittel über den Weg der Atmosphäre in die Überflutungszonen eingebracht. Bilanzierungen von Eintrag und Auswaschung der PAK zeigten eine geringe Verlagerung dieser Schadstoffe im Boden. Laborversuche ergaben, dass sich die Bindung von PAK an Boden-

partikel mit dem Bodenalter erhöht, was darauf zurückzuführen ist, dass sich mit dem Bodenalter Humus anreichert und PAK im Humus gebunden werden (Lair et al. im Erscheinen). Ähnliche Ergebnisse zeigten sich auch für Schwermetalle, wobei hier neben Humus auch bodenbürtige Minerale entscheidend zur Bindung beitragen (Graf et al. 2007, Lair et al. 2008). Andererseits war bei der Bindung von Phosphat (noch) kein Einfluss von 600 Jahren Bodenentwicklung an der Donau festzustellen (Lair et al. 2009 b).

Schlussfolgerungen aus dem Teilprojekt Trend

Die Untersuchungen ergaben, dass sich verschiedenste Schadstoffe in den Auböden angereichert haben und lokal bereits Grenzwerte überschritten werden. Eine Verlagerung in tiefere Bodenschichten sowie die Auswaschung dieser Schadstoffe erfolgt aufgrund ihrer starken Bindung an Bodenpartikel meist nur sehr langsam. Große Umweltgefährdungen treten dann ein, wenn in Auböden gespeicherte Schadstoffe durch Erosion und Umlagerungsprozesse bei Hochwasser in höheren Konzentrationen wieder freigesetzt werden (Lair et al. im Erscheinen). Ein Beispiel ist die Situation an der Elbe: Trotz enormer Anstrengungen kommt es in den stark verschmutzten Flussabschnitten nur sehr langsam zu einer Verbesserung der Wassergüte. Schadstoffe zeigen eine schwankende Verfügbarkeit für Organismen im Jahresverlauf. Erstaunlicherweise konnten auch in stark verschmutzten Gewässerabschnitten nur geringe ökologische

Beeinträchtigungen nachgewiesen werden. Ein hohes Nährstoffangebot in den Flüssen und Aulandschaften scheint das ökologische Gefährdungspotenzial von Schadstoffen zu verringern. Mit steigendem Bodenalter nehmen Filter- und Speichervermögen der Auböden für Schadstoffe zu, wobei die Art der Landnutzung von großer Bedeutung ist. Ein Wechsel von extensivem zu intensivem Ackerbau führt zum Beispiel zu einer raschen Abnahme der Bodenhumusgehalte und verschlechtert damit die Speicherfunktion der Böden, was höhere Schadstoffeinträge in die Auegebiete und Flüsse fördert.

Literatur

- Fiebig, M. et al. 2009. Luminescence dating of historical fluvial deposits from the Danube and Ebro. *Geoarchaeology* 24: 224–241.
- Graf, M., G. J. Lair, F. Zehetner, M. H. Gerzabek. 2007. Geochemical fractions of copper in soil chronosequences of selected European floodplains. *Environmental Pollution* 148: 788–796.
- Lair, G. J., M. H. Gerzabek, M. Fiebig, F. Zehetner. 2007. Verwitterung von Auböden in verschiedenen klimatischen Regionen Europas. *Mitteilungen der Österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft* 74: 35–52.
- Lair, G. J., M. Graf, F. Zehetner, M. H. Gerzabek. 2008. Distribution of cadmium among geochemical fractions in floodplain soils of progressing development. *Environmental Pollution* 156: 207–214.
- Lair, G. J., F. Zehetner, M. Hrachowitz, N. Franz, F.-J. Maringer, M. H. Gerzabek. 2009 a. Dating of soil layers in a young floodplain using iron oxide crystallinity. *Quaternary Geochronology* 4: 260–266.
- Lair, G. J., F. Zehetner, Z. H. Khan, M. H. Gerzabek. 2009 b. Phosphorus sorption-desorption in alluvial soils of a young weathering sequence at the Danube river. *Geoderma* 149: 39–44.
- Lair, G. J. et al. Im Erscheinen. How do long-term development and periodical changes of river-floodplain systems affect the fate of contaminants? Results from European rivers. *Environmental Pollution*: doi:10.1016/j.envpol.2009.06.004.
- Tockner, K., J. A. Stanford. 2002. Riverine flood plains: Present state and future trends. *Environmental Conservation* 29: 308–330.
- Zehetner, F., G. J. Lair, M. H. Gerzabek. Im Erscheinen. Rapid carbon accretion and organic matter pool stabilization in riverine floodplain soils. *Global Biogeochemical Cycles*: doi:10.1029/2009GB003481.
- Zehetner, F., G. J. Lair, F.-J. Maringer, M. H. Gerzabek, T. Hein. 2008. From sediment to soil: Floodplain phosphorus transformations at the Danube river. *Biogeochemistry* 88: 117–126.

WEITERE INFORMATIONEN:

www.eu-aquaterra.de