

Tagungsbeitrag zu:  
Sitzung der Kommission VI der DBG  
Jahrestagung:  
5.-13. September 2009 in Bonn  
Mitteilungen der DBG (nicht  
begutachtete Publikation)  
<http://www.dbges.de>

## **In-situ Sanierung der schwermetallbelasteten Böden in der Region Bolnisi, Georgien**

Hanauer, T.<sup>1</sup>, Kalandadze, B.<sup>2</sup>,  
Felix-Henningsen, P.<sup>1</sup>, Steffens, D.<sup>3</sup>

### **Untersuchungsgebiet**

Die Region Bolnisi liegt ca. 80 km südwestlich der Hauptstadt Tiflis im Kleinen Kaukasus, in Süd-Georgien. Leitbodentypen sind ertragreiche Chernozems und Kastanozems, die einen neutralen-schwach alkalischen pH-Wert, sowie einen hohen Gehalt an organischer Substanz und Ton aufweisen. Aufgrund des semiariden Klimas, ist die hier betriebene intensive Landwirtschaft nur mit Bewässerung möglich. Diese erfolgt über ein umfangreiches Kanalsystem, das von dem Fluss Mashavera gespeist wird.

### **Problemstellung**

Aufgrund der Erosion von Abraumhalden und der Einleitungen von Abwässern der Flotationsanlage einer Buntmetall-Mine am Mittellauf des Mashavera wurde das Flusswasser in der Vergangenheit in erheblichem Maß mit sulfidischen und gelösten Schwermetalle, in erster Linie Cu, Zn und Cd, belastet.

<sup>1</sup> Institut für Bodenkunde und  
Bodenerhaltung,  
Justus-Liebig- Universität  
35392 Gießen

<sup>2</sup> Institute of Geography, Ivane  
Javakhishvili Tbilisi State University

<sup>3</sup> Institut für Pflanzenernährung,  
Justus-Liebig-Universität  
35392 Gießen

Durch jahrzehntelange Bewässerung mit dem belasteten Wasser sind die landwirtschaftlich genutzten Böden des Mashavera-Tals teilweise so stark mit Cu, Zn und Cd kontaminiert, dass deutsche und internationale Grenzwerte weit überschritten werden.

Die Totalgehalte der Oberböden betragen bis zu 3.000 mg kg<sup>-1</sup> für Cu, 2.500 mg kg<sup>-1</sup> für Zn und 17 mg kg<sup>-1</sup> für Cd. Daher besteht potenziell die Gefahr einer Schadstoffbelastung der Nahrungskette. Eine nennenswerte Tiefenverlagerung konnte bisher nicht nachgewiesen werden.

### **Ziele**

Die Problematik ist seit mehreren Jahren Gegenstand intensiver Forschung eines Deutsch-Georgischen Forschungsteams. Nach erfolgreichen Laborversuchen zur in-situ Fixierung der drei Problemelemente mittels Fe-Oxiden (Rückgang der mobilen Fraktionen um bis zu 53%) wurde im März 2008 mit einem Feldversuch begonnen, der für insgesamt vier Jahre angesetzt ist. Ziel ist die Evaluierung der Laborergebnisse im Gelände um eine mögliche in-situ Sanierungsverfahren für die belasteten Böden in der Region Bolnisi zu entwickeln. Als Bewertungskriterien für die Effektivität der Sanierung gelten dabei die Prüf- bzw. Maßnahmenwerte für Cu, Zn und Cd der BBodSchV, da in Georgien keine äquivalenten Grenzwerte existieren. Weitere Kriterien sind die Nährstoffverfügbarkeit und Änderungen des pH-Wertes in den sanierten Oberböden.

Im Folgenden soll der Fokus auf den Änderungen der Schwermetallgehalte liegen.

### **Umsetzung**

Es wurden zwei Versuchsfelder (Feld I und II) mit unterschiedlichen Belastungsgrad (schwach und stark) ausgewählt. Die Totalgehalte der beiden Felder für Cu, Zn und Cd, sowie der pH-

Wert sind in der folgenden Tabelle 1 aufgeführt:

Tab.1: Totalgehalte und pH-Werte

|         | Cu <sub>total</sub><br>(mg kg <sup>-1</sup> ) | Zn <sub>total</sub><br>(mg kg <sup>-1</sup> ) | Cd <sub>total</sub><br>(mg kg <sup>-1</sup> ) | pH<br>(CaCl <sub>2</sub> ) |
|---------|---|---|---|----------------------------|
| Feld I  | 309   | 314   | 1.06  | 6,99                       |
| Feld II | 1.027   | 819   | 3.19  | 6,84                       |

Für alle drei Elemente sind, mit Ausnahme von Cd im Feld I, die Vorsorgewerte der BBodSchV (Bodenart: Ton) überschritten. Die beiden Felder wurden in insgesamt 24 Parzellen unterteilt. Die Oberböden (20 cm) der Hälfte der Parzellen wurde mit 1 Gew.% nullwertigem Fe (in Form von Eisenpulver) versetzt (Rem). Dieses wird im Boden relativ schnell zu amorphem Fe-Oxid oxidiert, das aufgrund seiner hohen Mikroporosität und hohen Oberfläche und der großen Anzahl an Bindungsplätzen eine hohe Adsorptionskapazität für Schwermetalle aufweist. Die andere Hälfte der Parzellen verblieb als Kontrolle (Con). Im Verlaufe von 2008 wurden alle Parzellen an drei Terminen beprobt (volumenäquivalente Mischprobe): im März (direkt nach der Behandlung), im Juni und im Oktober. Nach Lufttrocknung und Siebung auf <2 mm wurde die mobilen Fraktionen (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>-Extrakt, DIN 19730) sowie die Totalgehalte (Königswasser-Aufschluss, DIN 11466) von Cu, Zn und Cd bestimmt. Die statistische Auswertung der Messergebnisse erfolgte aufgrund der verbundenen Stichproben mittels t-Test.

## Ergebnisse

Die Änderungen der mobilen Fraktionen sind in der folgenden Tabelle 2 und den folgenden Abbildung 1 zusammengestellt:

Tab.2: Mobile Fraktionen von Cu, Zn und Cd

|                | Cu (mg kg <sup>-1</sup> ) |               |               | Zn (mg kg <sup>-1</sup> ) |              |              | Cd (µg kg <sup>-1</sup> ) |                |                 |
|----------------|---------------------------|---------------|---------------|---------------------------|--------------|--------------|---------------------------|----------------|-----------------|
|                | Mrz                       | Jni           | Okt           | Mrz                       | Jni          | Okt          | Mrz                       | Jni            | Okt             |
| ConI<br>(n=4)  | 0.34 ± 0.04               | 0.31 ± 0.03   | 0.11 ± 0.02** | 0.20 ± 0.17               | 0.21 ± 0.23  | 0.22 ± 0.26  | 6.10 ± 2.34               | 4.73 ± 2.10    | 5.41 ± 3.08     |
| RemI<br>(n=4)  | 0.37 ± 0.01               | 0.29 ± 0.03** | 0.10 ± 0.02** | 0.20 ± 0.15               | 0.16 ± 0.17* | 0.15 ± 0.17* | 10.45 ± 6.19              | 4.96 ± 1.77    | 4.81 ± 2.80*    |
| ConII<br>(n=8) | 1.06 ± 0.17               | 0.95 ± 0.13*  | 1.27 ± 0.62   | 2.21 ± 0.93               | 2.52 ± 1.23  | 1.95 ± 0.84  | 61.53 ± 14.27             | 49.53 ± 12.68  | 64.45 ± 12.65** |
| RemII<br>(n=8) | 4.11 ± 2.71               | 0.92 ± 0.20*  | 1.16 ± 0.44*  | 1.52 ± 0.34               | 1.86 ± 0.79  | 1.24 ± 0.41  | 111.69 ± 39.74            | 44.78 ± 14.72* | 52.03 ± 6.35*   |

\* p ≥ 0.05 \*\* p ≥ 0.001

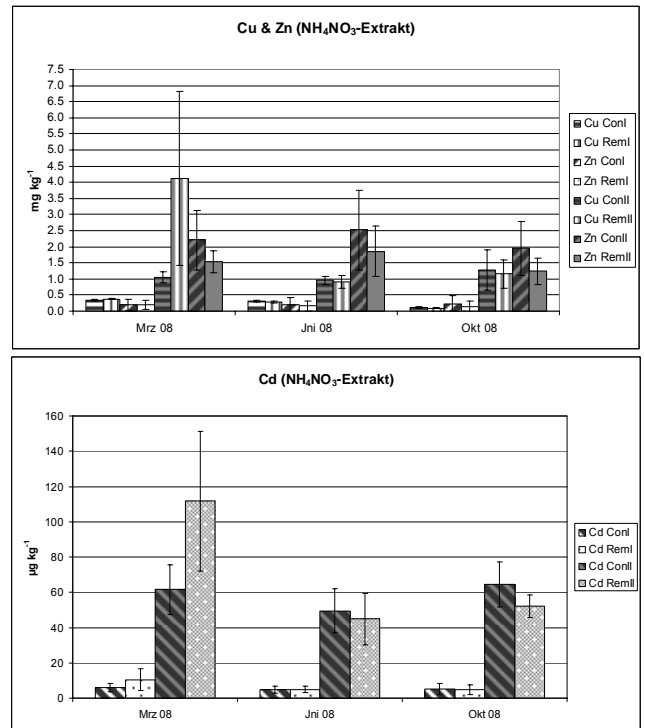


Fig.1: Mobile Fraktionen von Cu, Zn und Cd

In der Behandlung im Feld I (Rem I) ist für alle drei Elemente ein signifikanter Rückgang von März verglichen zu Oktober messbar. Er beträgt für Cu 0,27 mg kg<sup>-1</sup> (73%), für Zn 0,05 mg kg<sup>-1</sup> (25%) und für Cd 5,64 µg kg<sup>-1</sup> (54%). Allerdings ist auch in der Kontrollvariante (Con I) für mobiles Cu ein signifikanter Rückgang um 0,23 mg kg<sup>-1</sup> (68%) messbar, für Zn und Cd sind hier keine signifikanten Änderungen nachweisbar.

Im gleichen Zeitraum kann für die Behandlung im stark belasteten Feld II (Rem II) ein signifikanter Rückgang des mobilen Cu um 2,95 mg kg<sup>-1</sup> (72%) und des mobilen Cd um 59,66 µg kg<sup>-1</sup> (53%) nachgewiesen werden. Für Zn ist keine signifikante Änderung messbar. In der Kontrolle (Con II) ist für Cd sogar eine leichte, aber signifikante, Zunahme um 14,92 µg kg<sup>-1</sup> (5%) messbar, für Cu und Zn ist keine signifikanten Änderungen nachweisbar.

Die prozentualen Veränderungen in beiden Feldern über die Monate März, Juni und Oktober sind in der folgenden Abbildung 2 dargestellt:

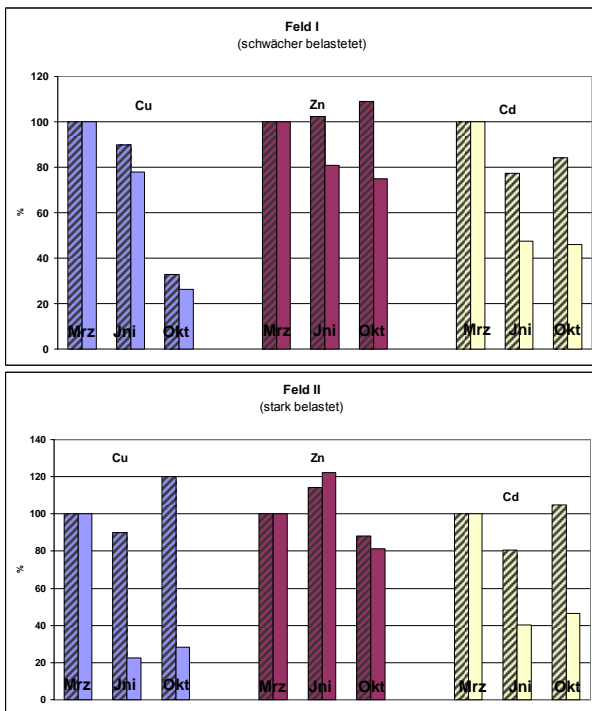


Fig.2: Prozentuale Veränderungen der mobilen Fraktionen in 2008

Auswirkungen auf den pH-Wert des Oberbodens konnten in keinem der beiden Felder nachgewiesen werden (Daten nicht dargestellt). Im Rem II wurden allerdings signifikant niedrigere Gehalte an pflanzenverfügbarem Phosphat gegenüber Con II gemessen (Daten nicht dargestellt). Allerdings sind auch die Parzellen von Rem II noch gut mit Phosphat versorgt (Versorgungsstufe C)

## Diskussion

Statistisch abgesicherte Rückgänge der mobilen Fraktion finden sich für beide Versuchsfelder fast ausschließlich in den behandelten Varianten. Im Feld I ist eine deutliche und signifikante Abnahme der mobilen Fraktion aller drei Elemente in Rem I messbar. Auch wenn für Con I ein signifikanter und deutlicher Rückgang des mobilen Cu messbar ist, übersteigen die Änderungen in der Behandlung jene in der Kontrolle bei weitem. Die Fixierungsleistung nimmt dabei in der Reihenfolge Cu > Cd > Zn ab. Wobei die mobile Fraktion im stärker belasteten Feld II deutlicher absinkt als im Feld I. Dies ist auf den im Vergleich zu Feld I um den Faktor 3 erhöhten Anteil der mobilen Fraktion am Totalgehalt zurückzuführen, der durch den erhöhten anthropogenen Eintrag (bedingt

durch höhere Bewässerungsfrequenz in der Vergangenheit) zurückzuführen ist.

Im stärker belasteten Feld II werden sowohl die Prüfwerte gem. BBodSchV für Cu und Zn (1 bzw. 2 mg kg<sup>-1</sup>), sowie die Maßnahmenwerte für Cd (0,1 bzw. 0,04 mg kg<sup>-1</sup>) überschritten. Eine Absenkung der mobilen Gehalte unter diese Grenzwerte kann damit als Erfolg der Sanierungsstrategie gewertet werden. Für Cu wird dieses Ziel mit im Mittel 1.16 mg kg<sup>-1</sup> nur knapp verfehlt, für Zn ergeben sich keine signifikanten Änderungen und der Cd Gehalt sinkt zumindest unter den oberen Maßnahmenwert von 0,1 mg kg<sup>-1</sup> (nicht-akkumulierende Pflanzen). Daraus kann gefolgert werden, dass für stark kontaminierte Böden eine Erhöhung der Fe Gabe notwendig wird.

Phosphorfixierung ist ein immer wieder diskutiertes Problem bei der Schwermetallfixierung mittels Fe-Oxiden. Auch in diesem Versuch ist in Rem II eine verminderte Phosphorverfügbarkeit gegenüber Con II nachweisbar. Allerdings sind auch diese Parzellen noch gut mit pflanzenverfügbarem Phosphat versorgt, sodass keine Unterversorgung mit Phosphor zu befürchten ist. Sowohl der hohe pH-Wert, wie auch die gute Phosphorversorgung der beiden Versuchsfelder (Versorgungsstufe D und E) dürften die Ursache dafür sein.

## Schlussfolgerung

Trotz signifikanter Rückgänge konnte nicht für alle Elemente die angestrebte Unterschreitung der Prüf- bzw. Maßnahmenwerte gem. BBodSchV erreicht werden.

Dennoch erscheint das Verfahren, unter Vorbehalt einiger Verbesserungen, eine viel versprechende Möglichkeit zu sein, stark kontaminierte Flächen innerhalb kurzer Zeit zu sanieren, ohne sie aus der landwirtschaftlichen Nutzung nehmen zu müssen. Die Methode scheint daher geeignet die belasteten Böden der Region Bolnisi zu sanieren. Allerdings ist ein längerfristiges Monitoring zur Beurteilung der Langzeitwirkung der in-situ Fixierung notwendig.

Schlüsselworte: in-situ Sanierung,  
Schwermetalle, Fe-Oxide

### **Literatur**

MÜLLER, I. (2000) Einfluss eisenoxidhaltiger Bodenzusätze auf die Mobilität von Schwermetallen in kontaminierten Böden. Boden und Landschaft 27. Giessen.

SAYED, M.A.H.A. (2006): Dynamik von Schwermetallen in belasteten schwarzerdeartigen Böden unter Bewässerung in Südost-Georgien. Boden und Landschaft 48. Giessen.

FELIX-HENNINGSSEN, P., RUSHADZE, T., NAMRIMANDZE, E., WICHMANN, L., STEFFENS, D. and KALANDADZE, B. (2007): Heavy metal pollution of soils and food crops due to mining wastes in an irrigation district south of Tbilisi, eastern Georgia. – Annals of Agrarian Science Vol. 5, No. 3, 11 –27.

FELIX-HENNINGSSEN, P., URUSHADZE, T., NAMRIMANDZE, E., WICHMANN, L., STEFFENS, D. and KALANDADZE, B. (2007): Heavy metal pollution of soils and food crops due to mining wastes in the Mashavera river valley. – Bull. Georgian Nat. Acad. Sci. Vol. 175, No. 3, 97 – 106.