

Tagungsbeitrag zu: Sitzung der Kommission II der DBG  
 Titel der Tagung: Jahrestagung 2009 - Böden eine endliche Ressource  
 Veranstalter: Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft, 11.09.2009, Bonn  
 Berichte der DBG (nicht begutachtete online Publikation)  
<http://www.dbges.de>

## Remediation von stark schwermetallbelasteten Kastanozems unter Bewässerung in Georgien – Ergebnisse von Laborversuchen

Peter Felix-Henningsen<sup>1</sup> & Mohammed . A. H. A. Sayed<sup>1</sup>

### Zusammenfassung

Durch Bewässerung Flusswasser des Mashavera in SE-Georgien, das stark mit schwermetallhaltige Abraum befrachtet ist, wurden intensiv landwirtschaftlich genutzten Kastanozems großflächig mit Cu, Zn und Cd belastet. Mit Bodensättigungsextrakten wurde der zeitliche Verlauf der Mobilisierung der eingebrachten Elemente unter den simulierten Bedingungen der sommerlichen Bewässerung verfolgt. Zusätze von gemahlenem 1 % Eisenerz führten spontan zu einer deutlichen Abnahme der Löslichkeit um 30 – 67 % gegenüber der unbehandelten Anfangskonzentration, so dass im nächsten Schritt Feldversuche folgen, um das Verfahren unter natürlichen Bedingungen zu testen.

### Schwermetallbelastung, Schwermetallmobilität, Remediation, Kastanozem

#### 1. Einleitung

Durch das kontinentale Klima ist ertragreiche Landwirtschaft in Ost-Georgien nur unter Bewässerung möglich. Das Wasser des Mashavera Fluss in Südosten Georgien wird von einer Edelmetallmine im angrenzenden Bergland stark mit Abraum

<sup>1</sup> Inst. f. Bodenkunde u. Bodenerhaltung, Heinrich-Buff-Ring 26, 35392 Gießen;

einer Flotationsanlage befrachtet. Die Schwebstoffe weisen extrem hohe Konzentrationen an den sulfidischen gebundenen Schwermetallen (SM) Kupfer, Zink und Cadmium auf. Durch Bewässerung mit dem Flusswasser werden die intensiv landwirtschaftlich genutzten Böden großflächig belastet. In ersten Feldversuchen wurde eine starke, vom Belastungsgrad der Böden abhängige SM-Aufnahme festgestellt, so dass von einem Gefährdungspotenzial für die Nahrungskette auszugehen ist. Mit Bodensättigungsextrakten wurde an Oberbodenproben von zwei unterschiedlich stark belasteten Flächen der zeitliche Verlauf der Mobilisierung der eingebrachten Elemente und die Wirkung einer Remediation durch Zusatz von gemahlenem Eisenerz unter den simulierten Bedingungen der sommerlichen Bewässerung im Labor verfolgt.

#### 2. Untersuchungsgebiet und Versuchsböden

Das Untersuchungsgebiet befindet sich im Südosten der Republik Georgien, etwa 60 km südwestlich der Hauptstadt Tbilisi. Der engere Untersuchungsraum umfasst den mittleren Abschnitt des Mashavera-Tales in der Umgebung der Stadt Bolnissi. Die intensiv durch Garten- und Ackerbau, Obst- und Weingärten mit Gemüse als Unterkultur genutzten Kastanozems sind tonreich, tief humos, schwach carbonathaltig und alkalisch. Sie bieten daher für die Sorption von Schwermetallen beste Voraussetzungen. Der im Flussbett und in den Bewässerungskanälen abgesetzte Schlamm weist extrem hohe sulfidisch gebundene SM-Gehalte auf

Tab. 1: Eigenschaften der beiden Versuchsböden (B) und des Schlammes (S) aus dem Bewässerungskanal

	Cu	Zn	Cd	pH	CO <sub>3</sub>	% OM
	Königswasserextrakt mg*kg <sup>-1</sup>			CaCl <sub>2</sub>		
B 1	527	362	1,7	7,4	1,30	2,76
B 2	242	280	0,9	7,4	0,38	3,32
S	16.257	3.038	9,6	5,4	-	4,04

In beiden Böden wurden die Vorsorgewerte für alle drei Metalle und in Versuchsboden 1 auch die Maßnahmenwerte nach BBSchV (1998) für Cd überschritten.

## 2. Laborversuche

Bodensättigungsextrakte wurden nach den Vorgaben der Bundesbodenschutzverordnung durchgeführt. Abweichend wurden die gesättigten Proben 3 Tage bei 40 °C inkubiert, danach zur Gewinnung der Extrakte zentrifugiert. Nach einer anschließenden Trocknungsphase von 7 Tagen bei 40 °C wurde der Sättigungsextrakt wiederholt. Neben den natürlichen Versuchsböden wurden in weiteren Serien die Versuchsböden und reiner Quarzsand mit Schlamm in Höhe der 25-jährigen und 100-jährigen Fracht versetzt, um den Einfluss des Bodens auf die SM-Bindung zu kennzeichnen. Um zu prüfen, ob Zusätze von Fe-Oxid zu einer Minderung der Schwermetallverfügbarkeit führen und daher als Remediationsverfahren geplant werden können, wurden die Boden- und Quarzsandproben mit 1 % fein gemahlenem Eisenerz versetzt, das in der Flotationsanlage der Mine zur Reduktion von  $\text{CuSO}_4$ -Lösungen verwendet wird. Der hohe Anteil von  $\text{Fe}^0$  führt bei der Oxidation im Boden zur Bildung von Ferrihydrit mit einer hohen Bindungskapazität für SM.

In den Extrakten wurden die Gehalte an Cu, Zn, Cd,  $\text{SO}_4$  und DOC gemessen.

## 3. Ergebnisse

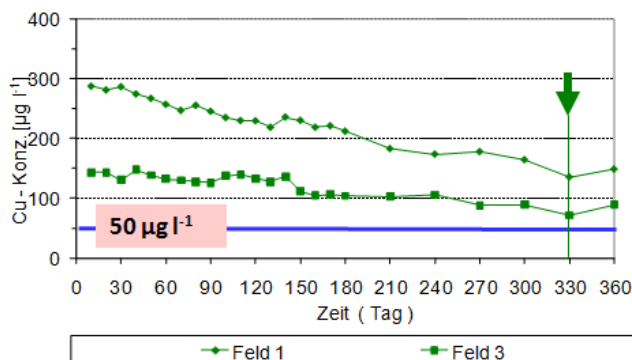


Abb. 1: Jahresgang der Cu-Konzentration in den Bodensättigungsextrakten alternierend mit Trocknungsphasen (blaue Linie: Prüfwert für den Wirkungspfad Boden Grundwasser)

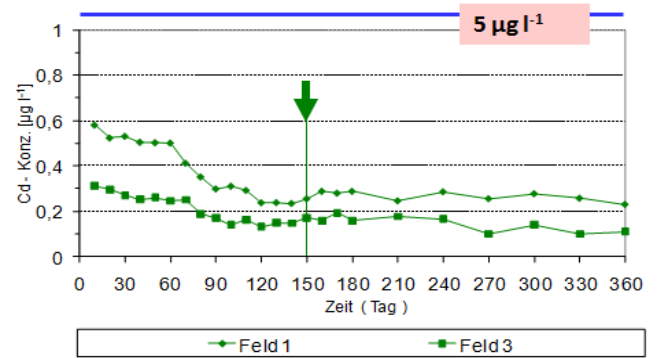


Abb. 2: Jahresgang der Cd-Konzentration in den Bodensättigungsextrakten alternierend mit Trocknungsphasen (blaue Linie: Prüfwert für den Wirkungspfad Boden Grundwasser)

Die Extrakte aus den natürlichen Böden zeigen, dass Belastungsunterschiede in den Lösungskonzentrationen sichtbar werden und diese im Laufe der Zeit abnehmen. Der Bodenpool entleert sich durch die Bewässerung. Die Cu-Konzentrationen sind so hoch, dass der Prüfwert (BBSchV 1998) für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser weit überschritten wird. Die hohe Cu-Mobilität geht auf die Komplexierung durch das im alkalischen Milieu mobilisierte DOC zurück. Cd ist aufgrund der geringeren Gesamtgehalte schwächer löslich, folgt aber dem gleichen Trend wie Cu. Die hohen Cu-Gehalte aus einem leicht nachlieferbaren Pool bedingen, dass sich die Kurve erst nach 330 Tagen abflacht, während dieses bei Cd schon nach 150 Tagen erfolgt.

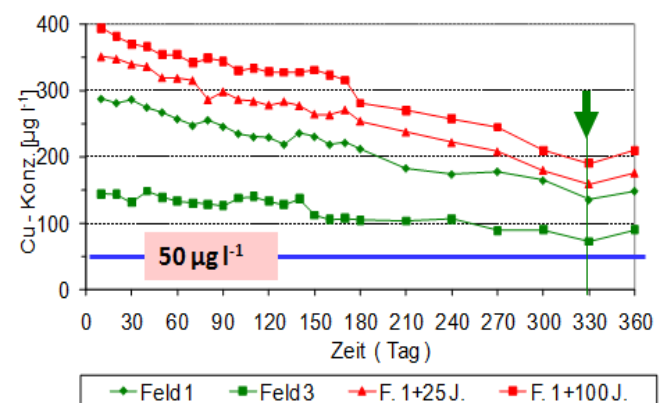


Abb. 3: Jahresgang der Cu-Konzentration in den Bodensättigungsextrakten alternierend mit Trocknungsphasen (blaue Linie: Prüfwert für den Wirkungspfad Boden Grundwasser), natürliche Proben grün, mit Schlamm beaufschlagte Proben rot

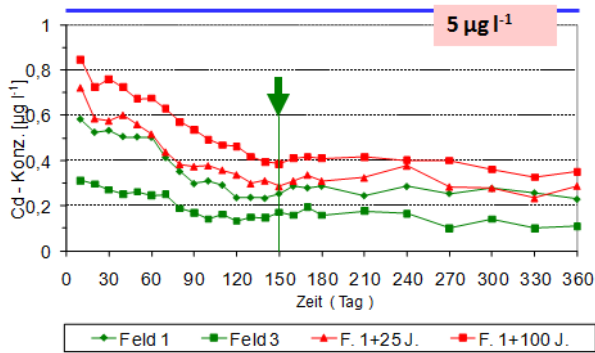


Abb. 4: Jahresgang der Cd-Konzentration in den Bodensättigungsextrakten alternierend mit Trocknungsphasen (blaue Linie: Prüfwert für den Wirkungspfad Boden Grundwasser), natürliche Proben grün, mit Schlamm beaufschlagte Proben rot

Im weiteren Verlauf bleibt die Extraktkonzentration gleich, sie überschreitet bei Cu auch auf diesem Niveau den Prüfwert. Offenbar wird im weiteren Verlauf ein relativ schwer verfügbarer SM-Pool langsam entleert. Die Zugabe von Schlamm aus einem Bewässerungskanal in Höhe des 25-fachen bzw. 100-fachen der jährlichen Fracht ( $50 \text{ g m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ ) zeigte eine deutliche Steigerung der Extraktkonzentrationen aber in den zeitlichen Verläufen keine Änderung der Freisetzungsdynamik.

Die Extraktion der Mischungen aus Schlamm und Quarzsand (Abb. 5 u. 6) belegt mit den extrem hohen Gehalten die starke SM-Freisetzung aus dem Schlamm und im Vergleich zu den Konzentrationen der Bodenextrakte (Abb. 3 und 4) die ausgezeichnete Pufferkapazität der Böden, die in Folge der jahrzehntelangen Bewässerung mit verschmutztem Flusswasser mit SM beladen wurden und diese im Verlauf der Bewässerung wieder freisetzen. Auch die zeitliche Freisetzungsdynamik in den Quarz-Schlamm-Mischungen entspricht dem Konzentrationsverlauf in den Bodenextrakten. Dieses belegt, dass die aus einem schnell und langsam bzw. nachhaltig verfügbaren Pool auf die SM-Bindung in den sulfidischen Schwebstoffen zurückgeht und nicht auf die Bindungsformen im Boden.

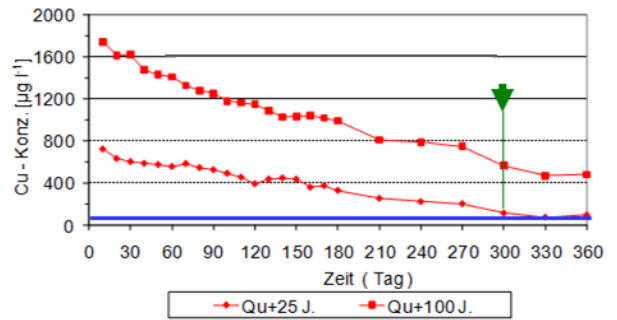


Abb. 5: Jahresgang der Cu-Konzentration in den Sättigungsextrakten aus mit Schlamm beaufschlagtem Quarzsand alternierend mit Trocknungsphasen (blaue Linie: Prüfwert für den Wirkungspfad Boden Grundwasser)

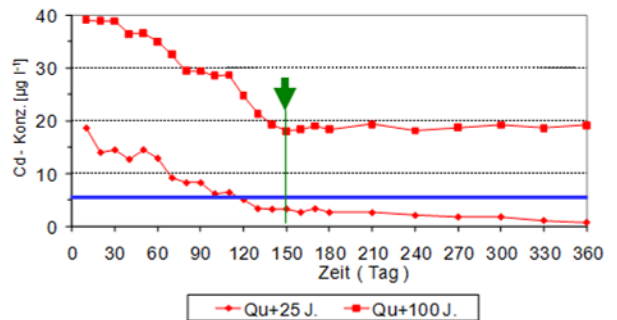


Abb. 6: Jahresgang der Cd-Konzentration in den Sättigungsextrakten aus mit Schlamm beaufschlagtem Quarzsand alternierend mit Trocknungsphasen (blaue Linie: Prüfwert für den Wirkungspfad Boden Grundwasser)

Nach Zugabe von gemahlenem Eisenerz zeigen die Extrakte eine deutliche Abnahme der SM-Konzentrationen (Abb. 7 und 8) und eine wesentlich verkürzte Freisetzungsphase aus dem leicht verfügbaren Pool. Eine erhebliche Konzentrationsabnahme setzt spontan beim 1. Extrakt ein und setzt sich im weiteren Verlauf fort. Die Abnahme der Cd-Konzentration in den Extrakten fällt im Vergleich zu Cu wesentlich stärker aus, da Cd eine höhere Affinität zu Fe-Oxiden hat und von diesen stärker gebunden wird. Dennoch kommt es zu einer fortgesetzten Freisetzung aus dem schwerer und nachhaltig verfügbaren Pool, vermutlich aus organischer Bindung. Daher kann auch die Eisenerzzugabe die Cu-Konzentration nicht unter den Prüfwert drücken.

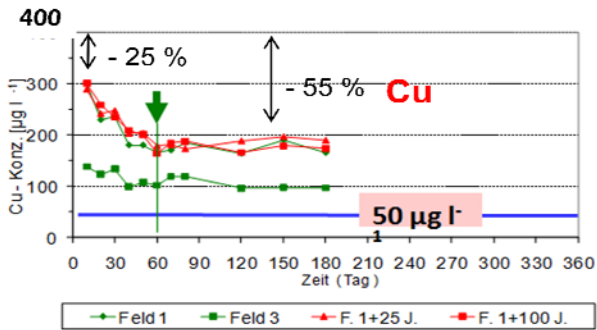


Abb. 7: Jahresgang der Cu-Konzentration in den Bodensättigungsextrakten alternierend mit Trocknungsphasen (blaue Linie: Prüfwert für den Wirkungspfad Boden Grundwasser) nach Zusatz von 1 % Eisenerz, natürliche Proben grün, mit Schlamm beaufschlagte Proben rot

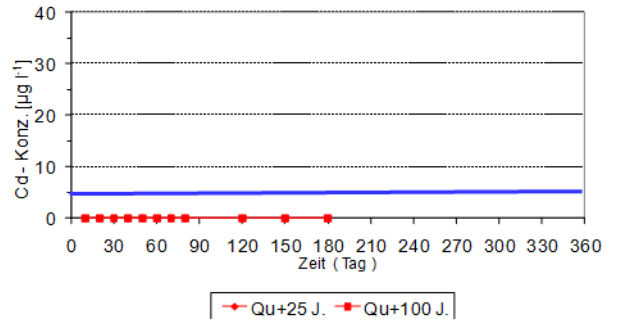


Abb. 10: Jahresgang der Cd-Konzentration in den Sättigungsextrakten aus mit Schlamm beaufschlagtem Quarzsand alternierend mit Trocknungsphasen nach Zugabe von 1 % Eisenerz (blaue Linie: Prüfwert für den Wirkungspfad Boden Grundwasser)

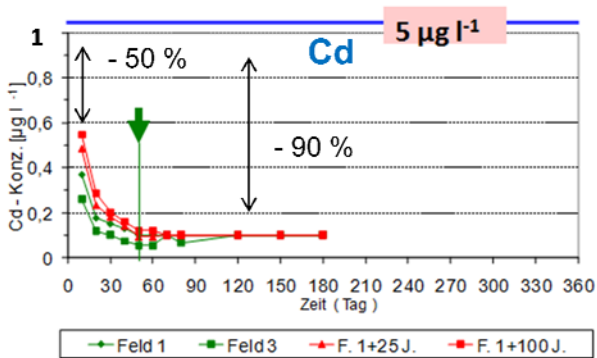


Abb. 8: Jahresgang der Cd-Konzentration in den Bodensättigungsextrakten alternierend mit Trocknungsphasen (blaue Linie: Prüfwert für den Wirkungspfad Boden Grundwasser) nach Zusatz von 1 % Eisenerz, natürliche Proben grün, mit Schlamm beaufschlagte Proben rot

Deutlich wird dieses bei dem Vergleich der Konzentrationsverläufe der Boden- und Quarzsandextrakte (Abb. 8 und Abb. 9).

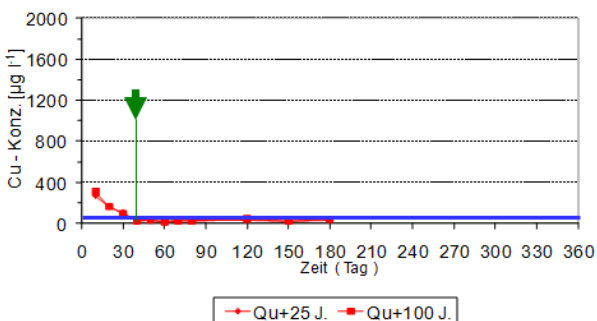


Abb. 9: Jahresgang der Cu-Konzentration in den Sättigungsextrakten aus mit Schlamm beaufschlagtem Quarzsand alternierend mit Trocknungsphasen nach Zugabe von 1 % gemahlenem Eisenerz (blaue Linie: Prüfwert für den Wirkungspfad Boden Grundwasser)

Die Extraktkonzentrationen zeigen als Folge der Zugabe von Eisenerz eine nahezu vollständige Festlegung der gelösten Cu- und Cd-Gehalte. Dieses belegt, dass vermutlich die gelöste organische Substanz und die Nachlieferung aus der organisch gebundenen Fraktion eine weitergehende Festlegung der Schwermetalle in den Böden verhindern. Feldversuche müssen zeigen, wie sich die SM bei Bewässerung unter natürlichen Bedingungen verhalten und wie sich die Trends langfristig entwickeln.

Details und Diskussion der Ergebnisse in:

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