

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

Bewertung der Schwermetallbelastung anhand einer multifunktionalen Referenz-Landschaft

D. Zörner¹, W. Reiher¹ und S. Gäth¹

Zusammenfassung

Zur Bewertung der Schwermetallbelastung in Oberböden von Landschaften wurde ein normatives Szenario, das sogenannte Multifunktionalitätsszenario, als Referenz-Landschaft herangezogen. Der Schwermetallstatus der beiden Szenarien „Ist-Zustand“ sowie „multifunktionale Landschaft“ wurde mit dem Modell ATOMIS prognostiziert und die jährlichen Schwermetall-Inputfrachten in den Boden berechnet. Durch den Vergleich der Modellergebnisse konnten sowohl Defiziten als auch positive Effekte des aktuellen Bewirtschaftungssystems aufgezeigt werden. Die Schwermetalleinträge waren unter aktueller Landnutzung im Gebietsmittel bis zu 30 % höher als im Multifunktionalitätsszenario. Insbesondere durch die Umstellung auf Ökolandbau und extensive Grünlandnutzung können dabei die Inputfrachten und die Anreicherung von Schwermetallen im Oberboden reduziert werden.

Schlüsselworte

Schwermetalle, Modellierung, nachhaltige Landnutzung, Multifunktionalität

Einleitung und Zielsetzung

Landschaften sind durch eine Vielzahl an Funktionen, sowohl natürlichen als auch Nutzungsfunktionen, geprägt. Die Bewertung dieser multiplen Funktionen erfordert als Bewertungsmaßstab eine multifunktionale Referenz-Landschaft (SANTELMANN et al.

2004). Im Rahmen des SFB „Landnutzungskonzepte für periphere Regionen“ sollte daher ein normatives Szenario entwickelt werden, welches die Landnutzungsverteilung für eine aus Sicht der Multifunktionalität optimal bewirtschaftete Landschaft darstellt. Zur räumlich expliziten Abbildung der ökologischen, ökonomischen und sozialen Effekte von Landnutzungen auf die Landschaftsfunktionen kommt der im SFB entwickelte Modellverbund ITE²M (Integrated Tool for Ecological and Economic Modelling) zum Einsatz. In dieser Arbeit werden die Ergebnisse des integrierten Modells ATOMIS (Assessment Tool for Heavy Metals in Soils) vorgestellt, welches die Entwicklung der Schwermetallbelastung in Böden prognostiziert. Die Modellergebnisse für den aktuellen Zustand einer Landschaft sollen anhand des multifunktionalen Referenzszenarios im Hinblick auf die chemische Bodenqualität bewertet werden.

Methodik

Die Entwicklung der Referenz-Landschaft umfasst 5 Teilschritte und führt zu dem sogenannten Multifunktionalitätsszenario (MS), welches zur Bewertung des aktuellen Zustandes (Basisszenario/BS) herangezogen wird (FREDE 2009):

1. Dokumentation der aktuellen Landnutzung und Landschaftsstruktur auf der Skalenebene gleich genutzter Flächeneinheiten (Schläge)
2. Disziplinäre Identifizierung von funktionalen Defiziten der aktuellen Landnutzung auf Grundlage von Geländeerhebungen und weiteren Auswertungen
3. Interdisziplinäre Erarbeitung eines Katalogs von geeigneten Alternativ-Landnutzungen zur Minimierung der funktionalen Defizite
4. Erstellung eines normativen Szenarios durch die regelbasierte Übertragung der alternativen Landnutzungen in das aktuelle Landnutzungsmuster
5. Anwendung des ITE²M-Modellverbundes und Bewertung der Multifunktionalität der Landschaft bei aktueller Landnutzung durch den Vergleich mit dem normativen Szenario

¹ Institut für Landschaftsökologie und Ressourcenmanagement, Justus-Liebig-Universität Gießen, Heinrich-Buff-Ring 26 C, 35392 Gießen

Die für das MS festgelegten Alternativ-Landnutzungen unterliegen interdisziplinär bestimmten Anforderungen und Nutzungseinschränkungen. So wurden unter anderem unbewirtschaftete Ackerrandstreifen und Krautsäume sowie ökologisch bewirtschaftete Flächen eingebracht. Die für die Schwermetallbilanzierung relevanten Anforderungen bezogen sich dabei insbesondere auf die unterschiedlichen Düngemittelstrategien der verschiedenen Landnutzungstypen. Für das Multifunktionalitätsszenario wurden folgende Annahmen zugrunde gelegt:

- Extensive Grünlandflächen sowie sonstige, nicht bewirtschaftete Flächen (z.B. Ackerrandstreifen, Krautsäume) werden nicht gedüngt, d.h. der Schwermetalleintrag erfolgt ausschließlich über die atmosphärische Deposition.
- Ökologisch bewirtschaftete Flächen werden mit Wirtschaftsdüngern des Ökolandbaus sowie Rohphosphat beaufschlagt. Die Schwermetallgehalte in Düngemitteln wurden der Literatur entnommen (UBA 2007).
- Der Düngemittelbedarf der bewirtschafteten Acker- und Grünlandflächen wird über mineralische und organische Düngemittel gedeckt (Schwermetallgehalte nach UBA 2007). Für konventionelle Ackerflächen beinhaltet dies auch die Applikation von Klärschlämmen.
- Für Ackerflächen wird eine pfluglose Bearbeitung angenommen. Die Oberbodenmächtigkeit wurde daher in der Schwermetallbilanzierung für Acker und Grünland gleichermaßen mit 10 cm vorgegeben.

Der methodische Ansatz wurde auf eine Teilregion (südliches Wetter-Einzugsgebiet, 166 km²) in der Wetterau/Hessen angewandt (Abb. 1). Das Teileinzugsgebiet ist durch intensive landwirtschaftliche Nutzung (vgl. BS Abb. 2) und dadurch bedingte Strukturarmut sowie hohe Düngemiteleinträge infolge langjähriger Applikation von Klärschlämmen geprägt.

Die Prognose des Schwermetallstatus im Oberboden in Abhängigkeit von Landnutzung und Bewirtschaftungssystem wurde mit dem Modell ATOMIS durchgeführt (REIHER 2008). Das Modell bilanziert durch die Ge-

genüberstellung der Schwermetallein- und -austräge die Gesamtgehalte von Ni, Cu, Zn und Cd im Boden. Dabei werden Einträge dieser Elemente über Düngemittel sowie die atmosphärische Deposition berücksichtigt. Zur Bestimmung der Schwermetallausträge werden aus den Gesamtgehalten im Boden über Pedotransferfunktionen die Schwermetallkonzentrationen in der Bodenlösung berechnet. Diese Lösungskonzentrationen werden mit der Sickerwassermenge und dem Transpirationsstrom aus dem Oberboden multipliziert, um die Auswaschung von Schwermetallen und deren Entzug über Pflanzen abschätzen zu können. Die Bilanzierung der Schwermetallein- und -austräge erfolgt ausgehend von einem Startwert (Gesamtgehalt im Boden, abgeleitet nach HUG 2007 und LABO 2003) in Jahresschritten. Für die Szenarien BS und MS wurde ein Simulationszeitraum von 100 Jahren angenommen, um langfristige Entwicklungen des Schwermetallhaushaltes zu betrachten.

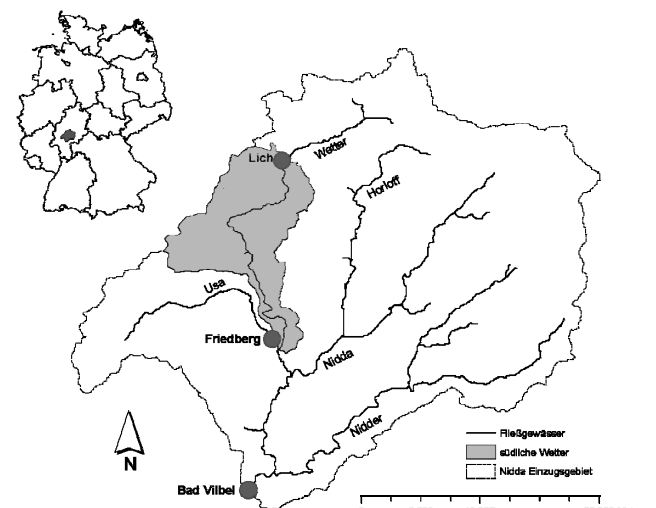


Abb. 1: Untersuchungsgebiet (grau): Teileinzugsgebiet der Wetter in der Region Wetterau (Hessen)

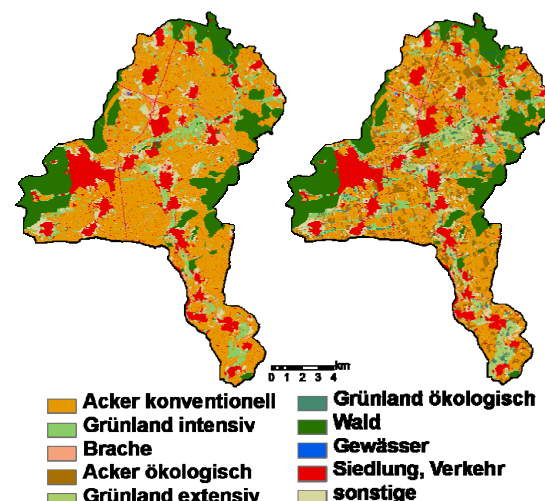


Abb. 2: Landnutzungsverteilung für Basis- (links) und Multifunktionalitätsszenario (rechts)

Ergebnisse

Schwermetall-Inputfrachten

In Abb. 3 sind die berechneten jährlichen Inputfrachten in den Boden für Basis- und Multifunktionalitätsszenario beispielhaft für das Element Kupfer abgebildet.

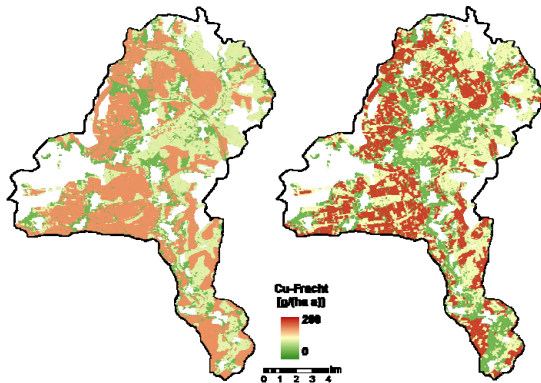


Abb. 3: Berechnete jährliche Cu-Inputfrachten für Basis- (links) und Multifunktionalitätsszenario (rechts)

Die höchsten Cu-Frachten wurden in beiden Szenarien für konventionelle Ackerflächen (vgl. Abb. 2) berechnet. Dagegen wiesen ungedüngte Flächen wie Extensivgrünland oder Ackerrandstreifen geringe Inputfrachten auf, da deren Schwermetalleintrag ausschließlich von der atmosphärischen Deposition bestimmt wird. Unterschiede in der Verteilung der Cu-Inputfrachten im Gebiet ergaben sich demnach durch unterschiedlich hohe Düngemiteleinträge der einzelnen Landnutzungen.

Um die Unterschiede zwischen den Szenarien zu verdeutlichen, wurden die prozentualen Anteile der Inputfrachten des BS an den für MS ermittelten Frachten berechnet (Abb. 4). Positive Anteile zeigen höhere prognostizierte Frachten im BS an, was Defizite der aktuellen Landnutzung hinsichtlich des bodenchemischen Zustandes anzeigt. Bei negativen Prozentzahlen waren die Schwermetallfrachten im BS geringere als bei einer multifunktionalen Landnutzung.

Bei der Betrachtung der gesamten landwirtschaftlich genutzten Flächen im Gebiet (LF gesamt, Abb. 4) ergaben sich bis zu 30 % höhere Inputfrachten im BS gegenüber MS für die Schwermetalle Ni, Cu, Zn und Cd. Die Umstellung von konventioneller auf ökologische Landbewirtschaftung führte im MS zu deutlich geringeren Schwermetalleinträgen. Dies ist auf die geringeren Schwer-

metallgehalte in ökologischen gegenüber konventionellen Wirtschaftsdüngern (vgl. UBA 2007) sowie auf das Verbot der Klärschlammdüngung zurückzuführen. Ebenso zeigten sich bei der Extensivierung von Grünlandflächen deutlich positive Effekte im MS bei allen Schwermetallen. Für Cadmium wurden hier im BS bis zu 400 % höhere Cd-Frachten berechnet. Im BS unterlagen diese Flächen größtenteils intensiver Grünland- bzw. konventioneller Ackernutzung, deren Düngemittelbedarf über organische sowie mineralische Dünger gedeckt wird. Insbesondere die Mineraldünger können hohe Cd-Gehalte aufweisen (vgl. DE MEEÛS et al. 2002, DE TEMMERMAN et al. 2003) und demzufolge hohe Cd-Einträge verursachen.

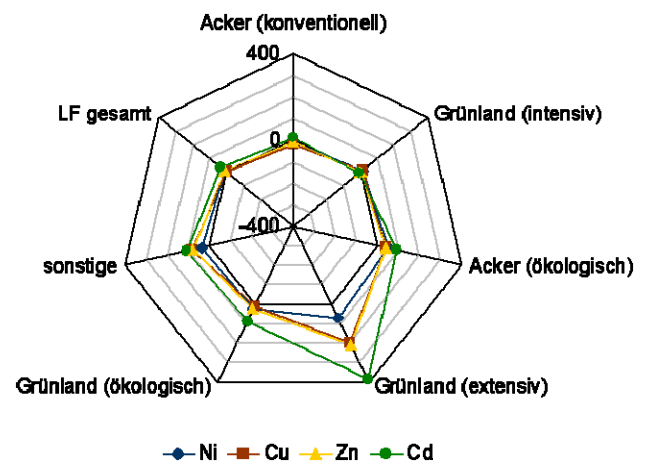


Abb. 4: Prozentuale Abweichung der Schwermetall-Inputfrachten des Basis- vom Multifunktionalitätsszenario

Für die Elemente Ni, Cu und Zn wurden im MS auf konventionellen Ackerflächen höhere Inputfrachten berechnet als im BS (rote Flächen in Abb. 3). Dies würde auf eine, hinsichtlich der Schwermetalleinträge, günstigere Bewirtschaftung dieser Flächen bei aktueller Landnutzung im Vergleich zum multifunktionalen Szenario hindeuten. Der Effekt ist darauf zurückzuführen, dass der Anteil verfügbarer Ackerflächen im MS gegenüber dem BS verringert wurde, jedoch in beiden Szenarien gleiche Gesamtmengen an organischen Düngemitteln (Wirtschaftsdünger, Klärschlamm) im Gebiet verteilt wurden.

Schwermetall-Gesamtgehalte im Boden

In Abb. 5 sind die aus den jährlichen Ein- und Austrägen bilanzierten Gesamtgehalte von Kupfer im Oberboden nach einem Simulationszeitraum von 100 Jahren dargestellt.

Deutlich zu erkennen sind die erhöhten geogen bedingten Cu-Gehalte im Nordwesten des Untersuchungsgebietes.

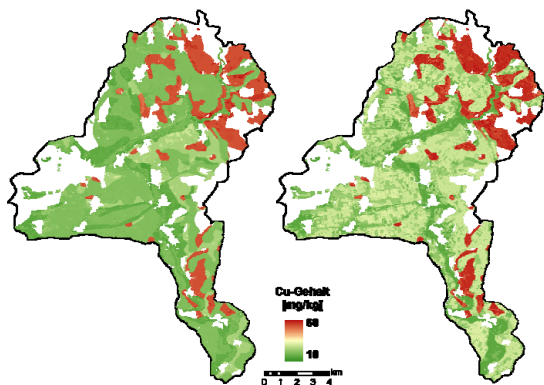


Abb. 5: Berechnete Cu-Gesamtgehalte im Oberboden nach 100 Jahren für Basis- (links) und Multifunktionalitätsszenario (rechts)

Insgesamt zeigten sich für Cu nur geringe Unterschiede in den Gesamtgehalten von BS und MS am Ende des simulierten Zeitraums von 100 Jahren. Flächen mit reduzierten Cu-Einträgen im MS gegenüber dem BS wiesen auch geringere Cu-Gehalte im Boden auf. Die konventionell genutzten Ackerflächen zeigten im MS aufgrund der höheren Cu-Frachten im Vergleich zum BS eine geringfügig stärkere Cu-Anreicherung im Boden. Ähnliche Ergebnisse ergaben sich für die Gesamtgehalte von Ni und Zn (Abb. 6). Für Cd wurden im MS bei fast allen Landnutzungen deutlich geringere Gesamtgehalte im Boden simuliert als im BS, was auf die geringeren Inputfrachten zurückzuführen ist.

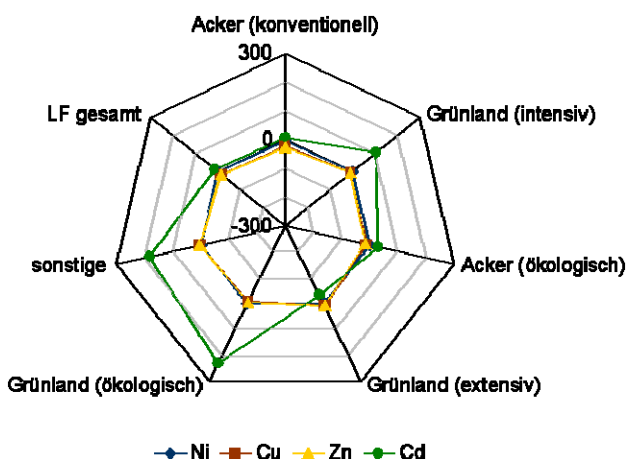


Abb. 6: Prozentuale Abweichung der Schwermetallgesamtgehalte nach 100 Jahren des Basis- vom Multifunktionalitätsszenario

Fazit

Eine Reduzierung der konventionell ackerbaulich genutzten Flächenanteile in einer

Region zu Gunsten extensiverer Nutzungen kann im Mittel für das gesamte Gebiet zu einer Verringerung der Schwermetallbelastung beitragen. Werden die im Gebiet anfallenden, organischen Düngemittel in diesem Fall jedoch verstärkt auf die noch verfügbaren, konventionell bewirtschafteten Flächen verteilt, kann dies hier negative Effekte haben. Langfristig gesehen können somit auch bei Landnutzungsverteilungen, die hinsichtlich der multiplen Landschaftsfunktionen optimiert sind, erhöhte Schwermetalleinträge auftreten und damit verstärkte Schwermetallanreicherungen auf intensiv genutzten Flächen aufweisen.

Der SFB 299 „Landnutzungskonzepte für periphere Regionen“ wurde gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft.

Literatur

DE MEEÛS, C., EDULJEE, G.H., HUTTON, M. (2002): Assessment and management of risks arising from exposure to cadmium in fertilisers. I. Science of the Total Environment 291, 167-187.

DE TEMMERMANN, L., VANONGEVAL, L., BOON, W., HOENIG, M., GEYENS, M. (2003): Heavy metal content of arable soils in northern Belgium. Water, Air, and Soil Pollution 148, 61-76.

FREDE, H.-G. (Hrsg.) (2009): Sonderforschungsbe- reich 299 „Landnutzungskonzepte für periphere Regionen“ der Deutschen Forschungsgemeinschaft. Abschlussbericht. Justus-Liebig-Universität Gießen.

HLUG (2007): GÜK 300 - Geologische Übersichtskarte von Hessen 1 : 300 000. Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Wiesbaden.

LABO (2003): Hintergrundwerte für anorganische und organische Stoffe in Böden. Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz.

REIHER W. (2008): Entwicklung eines regionalisierten Modells zur Projektion des landnutzungsabhängigen Schwermetallstatus von Oberböden. Boden und Landschaft, Band 52, Justus-Liebig-Universität Gießen, Dissertation.

SANTELMANN, M. V., WHITE, D., FREEMARK, K., NASSAUER, J. I., EILERS, J. M., VACHE, K. B., DANIELSON, B. J., CORRY, R. C., CLARK, M. E., POLASKY, S., CRUSE, R. M., SIFNEOS, J., RUSTIGIAN, H., COINER, C., WU, J., DEBINSKI, D. (2004): Assessing alternative futures for agriculture in Iowa, USA. Landscape Ecology 19, 357-374.

UBA (2007): Begrenzung von Schadstoffeinträgen bei Bewirtschaftungsmaßnahmen in der Landwirtschaft bei Düngung und Abfallverwertung. KÖRDEL, W. und neun weitere Autoren, UBA-Texte 30/07, Umweltbundesamt, Dessau.