

## Schädliche Bodenveränderungen auf Grünlandböden – Weitere Sachverhaltsermittlung

Feldwisch, N., B. Eickler  
Ingenieurbüro Feldwisch, Hindenburgplatz 1, 51429 Bergisch Gladbach  
e-mail: n.feldwisch@ingenieurbuero-feldwisch.de

**Abstract:** *The risk evaluation is based on the action values for grassland of the German soil protection ordinance. In order to ascertain the risk it is necessary to know the causes of pollution, the transfer conditions and the possible evaluation strategies.*

**Zusammenfassung:** *Zur Gefahrenbewertung werden die Maßnahmenwerte für Grünland der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung herangezogen. Zur Sachverhaltsermittlung sind Kenntnisse zu den Ursachen schädlicher Bodenveränderungen, zum Schadstoffübergang vom Boden zum Grünlandaufwuchs sowie zu Untersuchungsstrategien notwendig.*

Keywords: Soil pollution, soil-plant transfer, grassland, soil contamination of fodder, pH effect

Schlagworte: Schädliche Bodenveränderung, Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze, Grünland, Bodenanhang am Futter, pH-Wert-Einfluss

### 1 Einleitung

Die Bewertung stofflicher Bodenbelastungen auf landwirtschaftlich genutzten Grünlandböden erfolgt anhand der Maßnahmenwerte nach BBodSchV. Die Maßnahmenwerte wurden mit Hilfe der TRANSFER-Datenbank unter definierten Randbedingungen ermittelt (KNOCHE et al. 1999). Dazu wurden Schadstoffgehalte in Boden-Pflanzen-Datenpaaren regressionsanalytisch mit und ohne Berücksichtigung eines pauschalen 3-%igen Verschmutzungsanteils ausgewertet. In der landwirtschaftlichen Praxis weichen die Standort- und Bewirtschaftungsbedingungen nicht selten von den Bedingungen ab, die der Ableitung von Maßnahmenwerten für den Schadstoffübergang Boden-Nutzpflanze auf Grünlandflächen im Hinblick auf die Pflanzenqualität zugrunde liegen. Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage nach der weiteren Sachverhaltsermittlung beim Verdacht auf schädliche Bodenveränderungen.

Konkret wird zwei Fragestellungen nachgegangen:

1. Welchen Einfluss hat das Verschmutzungsmaß auf die Gefahrenschwelle, das heißt, bei welchem Bodenschadstoffgehalt ist in Abhängigkeit vom Verschmutzungsanteil eine Überschreitung der Höchstgehalte nach Futtermittelverordnung im Erntegut zu erwarten?
2. Welchen Einfluss hat der pH-Wert des Bodens auf die Gefahrenschwelle, das heißt, bei welchem Bodenschadstoffgehalt ist in Abhängigkeit vom pH-Wert eine Überschreitung der Höchstgehalte nach Futtermittelverordnung im Erntegut zu erwarten?

Dazu wurden exemplarisch die Cadmium-Datensätze der TRANSFER-Datenbank für Grünlandstandorte ausgewertet.

### 2 Schadstoffübergang Boden-Grünlandaufwuchs

Der Schadstofftransfer vom Boden zur Futterpflanze erfolgt im Regelfall über die Teilpfade der systemischen Aufnahme über die Wurzel und über den Verschmutzungspfad, das heißt die oberflächige Verschmutzung des Erntegutes mit anhaftendem Boden. Die Bedeutung dieser Prozesse ist unter anderem abhängig von den Pflanzenarten und Pflanzensorten, den aktuellen Bodeneigenschaften sowie den vorherrschenden Standortbedingungen. So ist beispielsweise für die Belastung des Grünlandaufwuchses der Verschmutzungspfad besonders relevant (ELSÄBER et al. 2004). Es ergibt sich jedoch beim Vergleich verschiedener Schadstoffe eine große Spannbreite der Bedeutung dieses Faktors an der resultierenden Gesamtbelastung der Pflanzen.

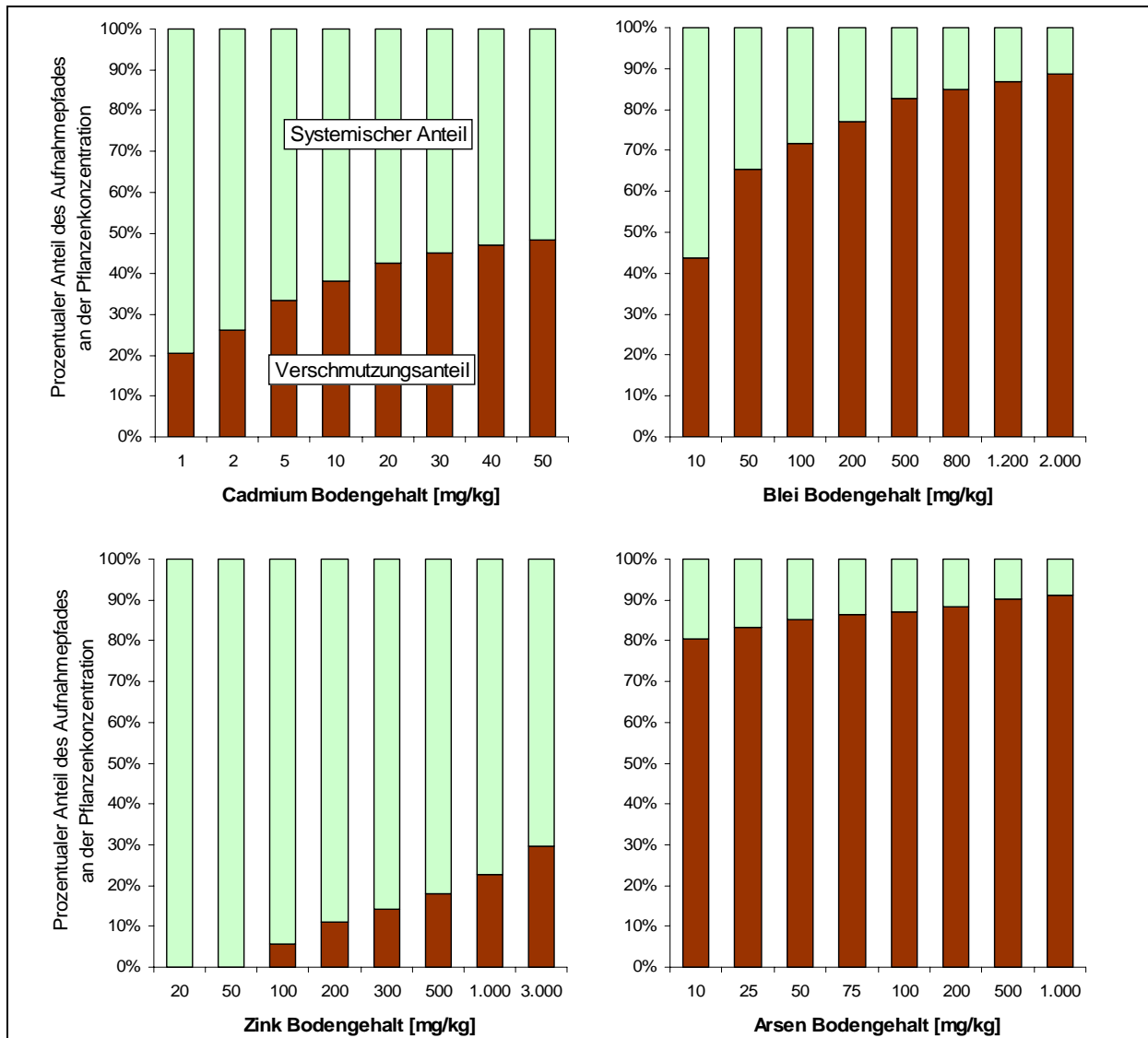


Abb. 1: Prozentuale Anteile der Transferpfade (systemisch bzw. +3% Verschmutzung) von Cd, Pb, Zn und As an der Gesamt-Pflanzenkonzentration von Grünlandaufwuchs in Abhängigkeit vom Schadstoffgehalt der Böden. Die rechnerische Pflanzenkonzentration inkl. dem pauschalen 3-%igen Verschmutzungsanteil wurde gleich 100 % gesetzt. Dazu wurde die Pflanzenkonzentration ohne den pauschalen Verschmutzungsanteil in Relation gesetzt. (Auswertung und Berechnung mit Hilfe der TRANSFER-Datenbank) (FELDWISCH 2006a)

Abb. 1 zeigt einen Vergleich der Anteile vom systemischen Pfad und Verschmutzungspfad an der Schadstoffkonzentration im Grünlandaufwuchs in Abhängigkeit von den Bodenschadstoffgehalten. Die dargestellten Relationen zwischen systemischem Anteil und Verschmutzungsanteil an der Gesamtbelastung des Pflanzenaufwuchses sind nur als grobe Schätzung zu interpretieren, die im Einzelfall gänzlich anders sein können.

Es ist ersichtlich, dass der Verschmutzungspfad bei Pb und As einen großen Anteil zur Gesamtschwermetallkonzentration der Pflanzen beiträgt. Je nach Belastungsniveau der Böden werden die As- und Pb-Konzentrationen des Grünlandaufwuchses zu 50 bis 90 % durch den Verschmutzungspfad bedingt. Die Aufnahme von Pb durch die Pflanze selbst ist generell gering, was auf die geringe Mobilität durch Adsorption an mineralischen Bodenbestandteilen sowie Komplexbildung mit organischem Material zurückgeführt werden kann. Die Cd- und Zn-Konzentrationen der Pflanzen werden dagegen auch bei hohen Bodengehalten noch überwiegend durch die Aufnahme über den systemischen Pfad geprägt. Einen Überblick über die Spannweite der in der landwirtschaftlichen Praxis zu erwartenden Verschmutzungsanteile gibt der im Auftrag der LABO erstellte Bericht „Maßnahmenkonzept zur

verschmutzungsarmen Nutzpflanzenernte“ (ELSÄßER et al. 2004). So wird im Regelfall, das heißt im Rahmen der guten fachlichen Praxis, ein 3-%iger Verschmutzungsanteil kaum unterschritten. Unter ungünstigen Bewirtschaftungsbedingungen oder nicht angepassten Bewirtschaftungsverfahren kann der Verschmutzungsanteil sehr deutlich über dem 3-%igen Verschmutzungsanteil liegen.

Das Ausmaß der systemischen Aufnahme ist allgemein abhängig von Bodeneigenschaften, Pflanzenart und Quelle der Elemente. Einige Elemente wie Pb und As sind weniger mobil, so dass die systemische Aufnahme durch Pflanzen durch den pH-Wert nicht so stark beeinflusst wird. Bei Cd und Zn hingegen steigt die Adsorptionsrate mit dem pH-Wert an, umgekehrt ist in sauren Böden die Desorption der Schwermetalle am größten. Die Mobilität dieser Elemente und die Aufnahme durch Pflanzen werden so durch eine zunehmende Versauerung verstärkt.

Die Ausführungen machen deutlich, dass die Belastung von Grünlandaufwuchs mit mobilen Schwermetallen wie Cd auch über die systemische Aufnahme relevant sein kann. In der landwirtschaftlichen Praxis sind Grünlandböden zum Teil stark versauert, wie es exemplarisch an Daten aus dem Bergischen Land (Nordrhein-Westfalen) mit vorwiegend schluffig-lehmigen Böden deutlich wird (Abb. 2). Die landwirtschaftlichen Ziel-pH-Werte werden hier zum Teil um mehr als eine pH-Wertstufe unterschritten. Rund 50 % der Grünlandböden weisen pH-Werte < 5 auf und ca. 10 % der Böden sogar pH-Werte unter 4,5. Die große Relevanz der Versauerung von Grünlandböden wird durch eine bundesweite Erhebung verdeutlicht, nach der auf rund 30 % der Grünlandflächen die Ziel-pH-Werte unterschritten werden, so dass ein erhöhter Kalkungsbedarf besteht (SUNTHEIM & NEUBERT 2002).

Hinweise auf eine besondere Gefahrensituation auf schwermetallbelasteten Grünlandböden können sich also aus deutlich erhöhten Verschmutzungsanteilen oder aus stark abgesenkten Boden-pH-Werten ergeben.

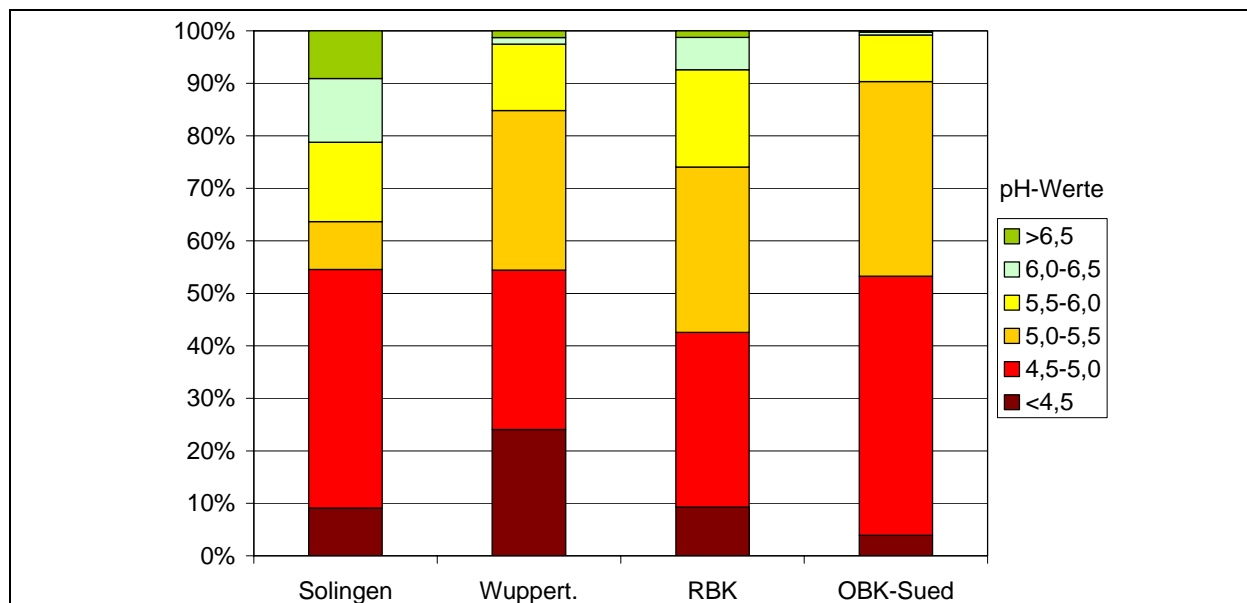


Abb. 2: pH-Wert-Verteilung landwirtschaftlicher Böden verschiedener Kreise / kreisfreier Städte in Nordrhein-Westfalen. Datengrundlage: Digitale Bodenbelastungskarten Solingen, Wuppertal, Rheinisch-Bergischer Kreis (RBK) und Oberbergischer Kreis Süd (OBK-Sued)

### 3 Ansätze zur Ableitung angepasster Gefahrenschwellen

#### 3.1 Verschmutzungspfad

Analog zur Vorgehensweise von KNOCHE et al. (1999) wurden die Datenpaare Boden-Grünlandaufwuchs regressionsanalytisch ausgewertet. Dabei wurde anstelle eines 3-%igen Verschmutzungsanteils ein 6-%iger Verschmutzungsanteil berücksichtigt. Dieser höherer

Verschmutzungsanteil ist in der Praxis nicht selten (vgl. ELSÄßER et al. 2004) und kann stellvertretend für schlechte Produktionsbedingungen stehen. Für den 6-%igen Verschmutzungsanteil ermittelt sich folgende Gleichung (Abb. 3):

$$\text{Log (Cd-Konz. Pflanze inkl. 6 \% Verschmutzung)} = 0,502 * \text{Log (Cd-Gehalt Boden)} - 0,522$$

Rechnerisch wird der Cd-Höchstgehalt nach Futtermittelverordnung im Grünlandaufwuchs nach vorstehender Gleichung bereits ab 14,1 mg/kg Bodengehalt überschritten. Der gültige Cd-Maßnahmenwert liegt bei 20 mg Cd/kg Boden.

Diese exemplarische Berechnung der Gefahrenschwelle für Grünlandnutzung unter Verwendung eines von den Ableitungsgrundlagen der BBodSchV abweichenden Verschmutzungsanteils macht deutlich, dass bereits unterhalb der gültigen Maßnahmenwerte Gefahren für die Pflanzenqualität bestehen können, wenn in der landwirtschaftlichen Praxis die Verschmutzungsanteile deutlich oberhalb von 3 % Bodenanhang liegen.

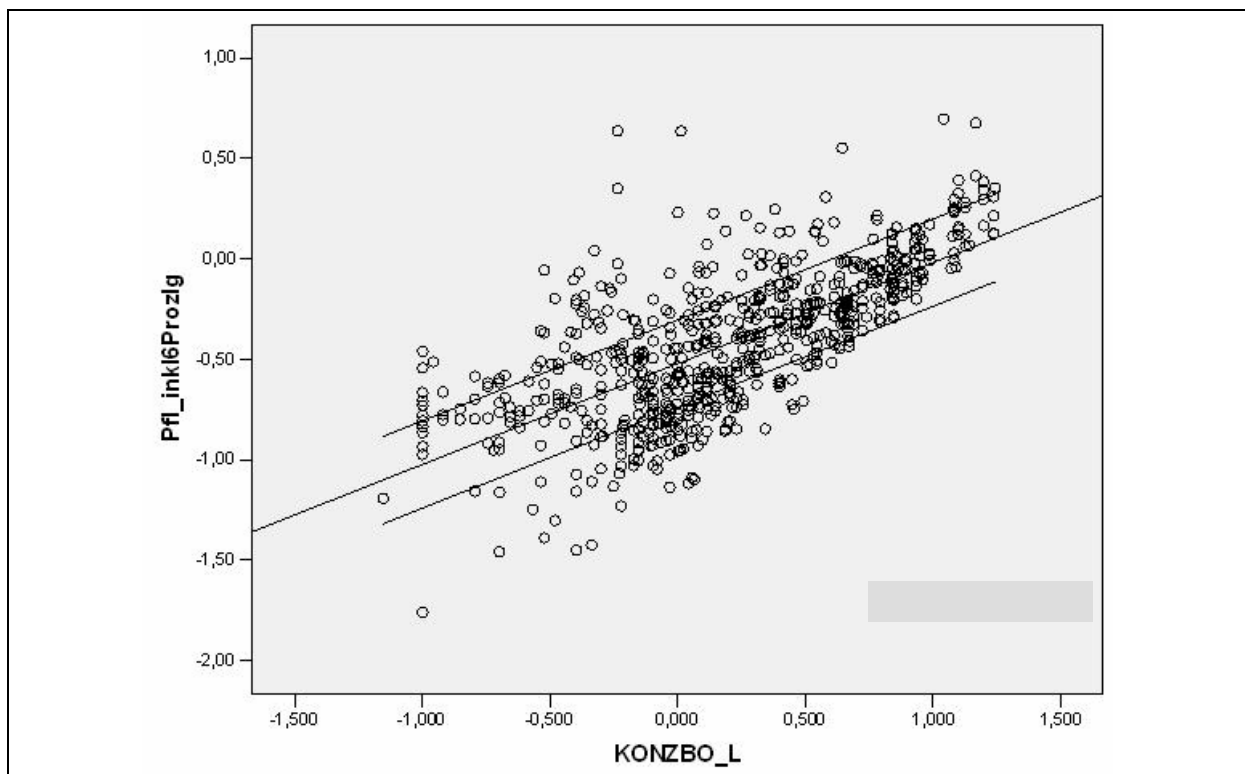


Abb. 3: Logarithmierte Cd-Erntegehalte in Abhängigkeit vom Cd-Bodengehalt bei 6-%igem Verschmutzungsanteil mit Regressionsgerade und 60%-Konfidenzintervall der individuellen Werte

### 3.2 pH-Wert-Einfluss

Aufgrund der bekannten pH-Abhängigkeit der Mobilität verschiedener Schadstoffe wurde der pH-Wert als beeinflussenden Faktor in die Berechnungen einbezogen. Unter Verwendung der logarithmierten Cd-Pflanzengehalte +3% Bodenanhang wurde eine schrittweise multiple Regression durchgeführt, in die als beschreibende Parameter die logarithmierten Bodengehalte sowie die pH-Werte eingingen. Beide beschreibenden Parameter wurden bei einem Signifikanzniveau von  $p = 0,01$  aufgenommen:

$$\text{Log (Cd-Konz. Pflanze inkl. 3 \% Verschmutzung)} = -0,228 + 0,474 * \text{Log (Cd-Gehalt Boden)} - 0,063 * \text{PH\_WERT}$$

Abb. 4 verdeutlicht die Gefahrenschwellen in Abhängigkeit von unterschiedlichen pH-Werten.

Der pH-Wert zeigt hier einen deutlichen Einfluss auf die abgeleiteten Gefahrenschwellen. Durch die verstärkte Cd-Mobilität bei niedrigen pH-Werten ist bereits unterhalb des gültigen Maßnahmenwertes von 20 mg Cd/kg Boden eine Überschreitung des Höchstgehaltes in Futtermitteln zu erwarten.

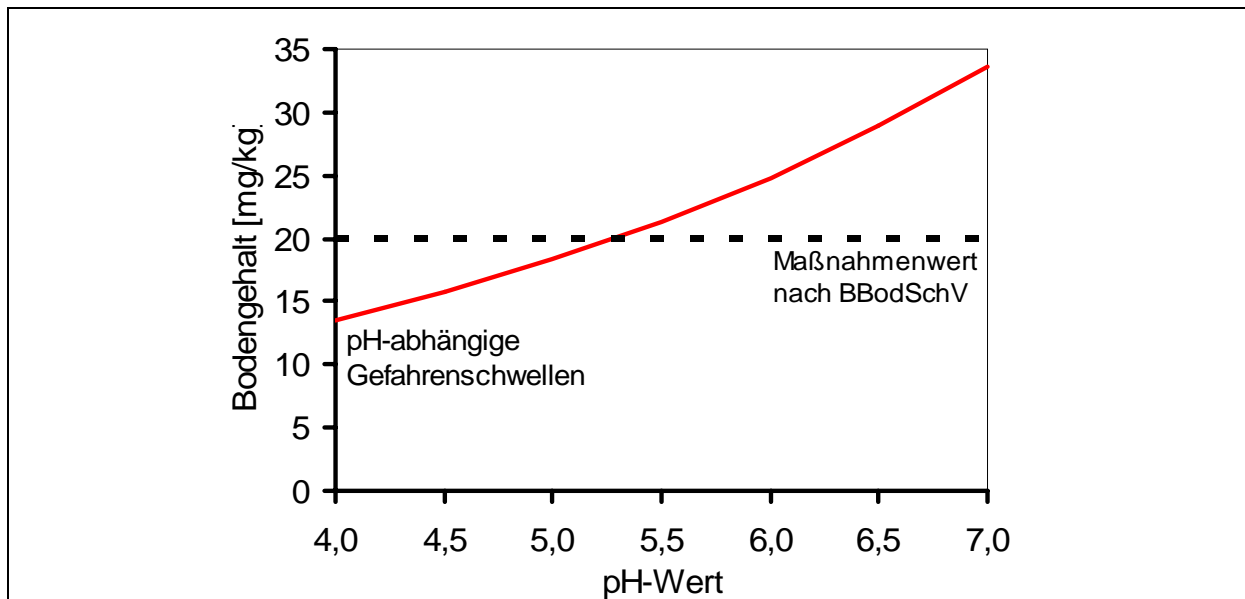


Abb. 4: pH-Wert-abhängige Gefahrenschwellen für Grünland (Cd-Bodengehalte), bezogen auf einen Cd-Höchstgehalt des Grünlandaufwuchses von 1,0 mg/kg bei 12 % Feuchte, im Vergleich zum bestehenden Cd-Maßnahmenwert der BBodSchV

### 3.3 Hinweise zur Datengrundlage

Die Auswertung erfolgte für den TRANSFER-Datenbankbestand „Grünland – Freilanduntersuchungen“ (EICKLER & FELDWISCH 2005). Die Betrachtung der Daten in Hinsicht auf die Fragestellung wurde u. a. für Cd vorgenommen. Folgende Mindestanforderungen wurden an die Datenpaare gestellt: Angaben zum Boden-pH, Boden- und Pflanzengehalte > 0, Angaben zur Beprobungstiefe und Analyse im Königswasserextrakt.

Nach entsprechender Datenselektion enthielt der Cd-Datensatz 734 Datenpaare „Boden:Pflanze“. Im Gegensatz dazu weisen KNOCHE et al. (1999) 744 Datenpaare für die „Grünland – Freilanduntersuchungen“ aus. Der Unterschied im selektierten Datenbestand wirkt sich auf die Ergebnisse der Regressionsanalysen aus. Im Zuge weiterer Auswertungen sollte diesen Unterschieden nachgegangen werden. Auf dieser Grundlage bietet sich dann die Gelegenheit, im Zuge der anstehenden Novellierung der BBodSchV ggf. angepasste Werteregulungen zur Gefahrenbewertung auf Grünlandstandorten festzulegen.

## 4 Schlussfolgerung

Im Rahmen der weiteren Sachverhaltsermittlung auf Grünlandstandorten sind neben den Schadstoffgehalten der Böden auch die Schadstoffverfügbarkeit mit Hilfe des pH-Wertes und das Verschmutzungsausmaß zu berücksichtigen.

Die Auswertungen der TRANSFER-Datenbank machen deutlich, dass auf stark versauerten Grünlandstandorten Gefahren für die Pflanzenqualität bereits unterhalb der gültigen Maßnahmenwerte möglich sind. Dies gilt explizit für Cd als Vertreter der mobilen Schwermetalle. Auch für Ni und im eingeschränkten Umfang auch für das weniger mobile Pb sind niedrigere Gefahrenschwellen auf versauerten Grünlandstandorten zu erwarten. Als einfaches Mittel der Gefahrenabwehr ist die Aufkalkung der Grünlandböden mindestens auf das Niveau der

Ziel-pH-Werte der landwirtschaftlichen Beratungsstellen vorzusehen. Ggf. sind im Interesse einer effektiven Gefahrenabwehr auch höhere pH-Werte einzustellen. Für die zum Teil mehrjährige Aufkalkungsphase bis zur Erreichung des angestrebten pH-Wertes können Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen im Hinblick auf die Futtermittelüberwachung notwendig sein. Angemessene Maßnahmen sollten mit den Beteiligten (Landwirt, Beratung, Futtermittelüberwachung) abgestimmt werden. Nach Abschluss der Aufkalkungsphase ist durch regelmäßige Erhaltungskalkungen das notwendige pH-Wert-Niveau sicherzustellen.

Bei besonderer Relevanz des Verschmutzungspfades sollten im Rahmen der weiteren Sachverhaltsermittlung die Ursachen der erhöhten Verschmutzung untersucht werden. Die Verschmutzung kann folgende Ursachen haben:

- Lückige Bestände auf Grund von nicht ausreichender Narbenpflege, hohem Wühlmaus- oder Maulwurfbesatz, mechanischer Überlastung der Narbe durch Befahren oder Viehtritt (insbesondere bei zu nassen Bodenverhältnissen)
- Verschmutzungsintensive Ernteverfahren, insbesondere durch zu tief eingestellte Mähgeräte, Wender, Schwader und Pick-up des Ladewagens
- Verschmutzung während der Futtereinlagerung, z. B. durch Überfahren des Futters in Flachsilos mit verschmutzten Schlepperreifen, Zwischenlagerung des Futters auf dem Feld oder auf verschmutzten Bodenplatten, Futtereinlagerung in Behelfsilos auf schadstoffbelasteten Böden etc.
- Befrachtung des Aufwuchses mit schadstoffhaltigen Schwebstoffen in Folge von Überschwemmungen

Mit Ausnahme der Schwebstoffbelastung durch Überschwemmungen hat der Flächenbewirtschafter auf die anderen Verschmutzungsursachen und somit auf das Verschmutzungsausmaß unmittelbar Einfluss. Die ermittelten Ursachen der erhöhten Verschmutzung weisen bereits auf angemessene Maßnahmen der Gefahrenabwehr hin. Beispielsweise muss im Falle lückiger Grünlandnarben zukünftig eine verbesserte Narbenpflege umgesetzt werden, um das Verschmutzungsrisiko zu reduzieren.

Im Bodenschutzvollzug sollten Pflanzenuntersuchungen nicht generell im Rahmen der Gefährdungsabschätzung eingeplant werden. Einzelne Pflanzenproben sind im Regelfall nicht dazu geeignet, eine abschließende Gefahrenbeurteilung im Hinblick auf bodenbürtige Schadstoffbelastungen vorzunehmen. Sie erlauben lediglich die futtermittelrechtliche Bewertung der beprobten Charge, ermöglichen jedoch nicht die Beurteilung der generellen Eignung des Bodenstandortes für eine dauerhaft schadstoffarme Nutzpflanzenproduktion (vgl. FELDWISCH 2006b).

## 5 Literatur

- EICKLER, B., FELDWISCH, N. (2005): Auswertungen zur TRANSFER-Datenbank – Einfluss des pH-Wertes und des Verschmutzungsausmaßes auf den Schadstofftransfer Boden-Nutzpflanze auf Grünlandstandorten. Ingenieurbüro Feldwisch, interner Bericht. 9. Juni 2005.
- ELSÄßER, M., EHRMANN, O., FELDWISCH, N., NUßBAUM, H. (2004): Maßnahmenkonzept zur verschmutzungsarmen Nutzpflanzenernte. Abschlussbericht des LABO-Projekts B4.03. Download unter: [http://www.ingenieurbuero-feldwisch.de/LABO-Projekt\\_B4.03.pdf](http://www.ingenieurbuero-feldwisch.de/LABO-Projekt_B4.03.pdf).
- FELDWISCH, N. (2006a): Handlungsempfehlungen zu Maßnahmen der Gefahrenabwehr bei schädlichen stofflichen Bodenveränderungen in der Landwirtschaft. Hrsg. vom Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Merkblatt Nr. 55, Essen.
- FELDWISCH, N. (2006b): Gefahrenbeurteilung von Schadstoffbelastungen auf Grünland. Zeitschrift Bodenschutz, Heft 2, 2006, im Druck.
- KNOCHE, H., BRAND, P., VIERECK-GÖTTLE L., BÖCKEN, H. (1999): Schwermetalltransfer Boden-Pflanze: Ergebnisse der Auswertungen hinsichtlich der Königswasser- und Ammoniumnitrat-Extraktion anhand der Datenbank TRANSFER; UBA-Texte 11/99, Berlin.
- SUNTHEIM, L., NEUBERT, K.-H. (2002): Die Nährstoff- und Kalkversorgung der landwirtschaftlich genutzten Böden im Freistaat Sachsen der Jahre 1997 bis 2001 im Vergleich zur Bundesrepublik Deutschland. Infodienst für Beratung und Schule der Sächsischen Agrarverwaltung, Heft 9, S. 31-38.