

Arsenaufnahme von Grünlandpflanzen auf belasteten landwirtschaftlich genutzten Böden im Erdinger Moos

Ebert, T., Müller, Ch.

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Vöttinger Str. 38, 85354 Freising
e-mail: Titus.Ebert@LfL.bayern.de, Christa.Mueller@LfL.bayern.de

Abstract: *In the 'Erdinger Moos', a former fen northeast of Munich, many soils with high geogenic arsenic contents are found. In this study arsenic uptake of grassland plants and influencing factors on the arsenic transfer from soil to plant (like fine scale variability of total and plant available soil contents or forage contamination) were examined at a high contaminated area (>1000 mg As/kg Boden).*

Zusammenfassung: *Im ehemaligen Niedermoorgebiet 'Erdinger Moos' nordöstlich von München treten geogen bedingt, großflächig erhöhte Arsengehalte im Boden auf. Von einer hoch belasteten Fläche (>1000 mg As/kg Boden) werden Untersuchungsergebnisse zur Arsenaufnahme bei Grünlandpflanzen und relevante Einflussfaktoren für den Transfer Boden-Pflanze wie kleinräumig schwankende Bodengehalte oder Futtermittelschmutzung vorgestellt.*

Keywords: arsenic, transfer soil to plant, 'Erdinger Moos', grassland, forage contamination

Schlagworte: Arsen, Transfer Boden-Pflanze, 'Erdinger Moos', Grünland, Futtermittelschmutzung

1 Einleitung und Zielsetzung

Im Erdinger Moos (nordöstlich von München) wurden großflächig erhöhte Arsengehalte im Boden festgestellt. Nach umfangreichen Untersuchungen sind dafür aufsteigende, arsenhaltige Grundwässer des Tertiärs verantwortlich. Mancherorts wurden im Boden über 1000 mg Arsen (im Königswasserextrakt) gemessen und die Prüf- und Maßnahmenwerte der Bundes-Bodenschutz-Verordnung für den Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze im Hinblick auf Pflanzenqualität deutlich überschritten (Acker, Nutzgarten Prüfwerte: 200 mg/kg, bei Böden mit zeitweise reduzierenden Bedingungen 50 mg/kg; Grünland Maßnahmenwert: 50 mg/kg TS).

Arsen ist ein toxisches Halbmetall, das im Boden meist in Form der anorganischen Ionen Arsenat ($\text{As}^{\text{V}+}$) und unter reduzierenden Bedingungen als Arsenit ($\text{As}^{\text{III}+}$) vorkommt und stark an Tonminerale, Huminstoffe und amorphe Eisenoxide sorbiert wird. Es gilt im Boden als wenig mobil und wird daher von Pflanzen in geringem Umfang aufgenommen (Ausnahme: Hyperakkumulatoren). Aufgrund der geringen systemischen Aufnahme des Arsens aus dem Boden weisen Pflanzen meist geringe Arsengehalte auf.

Innerhalb der Pflanze wird Arsen kaum weitertransportiert, so dass unterschiedliche Pflanzenteile verschieden hohe Arsengehalte aufweisen. Die Arsengehalte nehmen in folgender Reihenfolge ab:

Wurzelschalen > Wurzeln > Blätter, Stängel > Blüten, Früchte

Bei Arsen wird meist der Verschmutzungsgrad des Pflanzenmaterials mit anhaftendem Boden als ausschlaggebend für die Arsenbelastung von pflanzlichen Lebens- und Futtermitteln erachtet. Der Einfluss des Verschmutzungsgrades ist besonders auf hochbelasteten Standorten (wie dem beschriebenen), bei Futtermitteln (z. B. Heu) sowie bei Heil- und Gewürzpflanzen, die beide meist ungewaschen verwendet werden, sehr groß.

Für Lebensmittel sind in der EU-Kontaminatenverordnung keine Höchstgehalte für Arsen festgelegt. Für Futtermittel sind bei Inverkehrbringen und Verfütterung die maximal zulässigen Höchstgehalte der Futtermittelverordnung einzuhalten. Bei Einzelfuttermitteln gilt ein Höchstgehalt von 2 mg As/ kg (88 % TS). Die bislang untersuchten Lebens- und Futtermittel aus den betroffenen Gebieten waren meist gering mit Arsen belastet.

Ziel der Untersuchungen war es herauszufinden,

- wie hoch die Arsenaufnahme bei Grünlandpflanzen ist und
- welche Einflussfaktoren beim Arsenübergang Boden-Pflanze eine Rolle spielen.

Ausgehend von diesen Ergebnissen sollten Handlungsempfehlungen für betroffene Landwirte gegeben werden.

2 Material und Methoden

2.1 Untersuchungsgebiet

Die Untersuchungen wurden auf einem 3 ha großen, stark mit Arsen belasteten Grünland (> 1000 mg As / kg TS Boden) südöstlich von Freising durchgeführt.

Charakteristisch für das Erdinger Moos und das Untersuchungsgebiet sind kalkige, anmoorige Gleyböden oder stark vererdete Niedermoorböden mit pH-Werten >7 und geringen Phosphor- und Kaliumgehalten, vielerorts treten Almkalk- und Eisenockerlinsen auf. Die Bodeneigenschaften variieren kleinräumig sehr stark. Die stark anthropogen veränderten Niedermoorgebiete werden heute intensiv landwirtschaftlich genutzt. Neben der traditionell bedeutsamen Grünlandwirtschaft, spielen Getreide- und Hackfruchtanbau (v.a. Kartoffeln) eine wichtige Rolle. Als Besonderheit ist der Feldgemüseanbau sowie der Heil- und Gewürzpflanzenanbau dort von gewisser Bedeutung.

2.2 Probenahme

Beprobt wurden der Aufwuchs sowie Ober- und Unterböden im Wurzelraum der Pflanzen. Dazu wurden 5 jeweils in 3 Sektoren unterteilte Beprobungskreisflächen à 50 m² auf der Fläche verteilt und innerhalb jedes Kreissektors von einer 2 m² großen Parzelle, der gesamte Grünlandaufwuchs entnommen (siehe Abb. 1). Anschließend wurden innerhalb der Parzelle, die Oberböden (Entnahmetiefe: 0-10 cm) und die Unterböden (10-30 cm) beprobt.

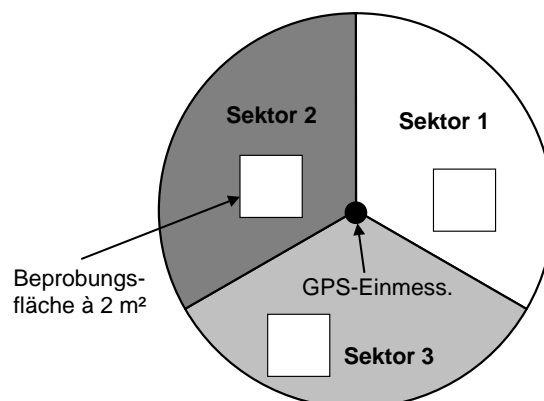


Abbildung 1: Darstellung einer Beprobungskreisfläche

2.3 Analysenparameter und -verfahren

Der *Boden* wurde auf Arsen-Gesamtgehalt und pflanzenverfügbares Arsen (Königswasser- und Ammoniumnitratextrakt), Phosphor, Kalium (jeweils CAL-Extrakt), freien Kalk (nach SCHEIBLER), Gesamtkohlenstoff und -stickstoff (DUMAS-Methode) und Mineralstoffgehalt (Kalium, Calcium, Magnesium, Eisen, Mangan, Aluminium und Silizium, siehe auch Kap. 2.4) untersucht und der pH-Wert gemessen.

Vom *Pflanzenmaterial* wurden der TS-Gehalt, der Arsengehalt (Mikrowellenverfahren) sowie der Mineralstoffgehalt (siehe oben) bestimmt.

Die Arsenbestimmung von Boden und Pflanzen erfolgte mittels Hydrid-AAS, die Mineralstoffbestimmungen mittels ICP-OES.

2.4 Bestimmung des Verschmutzungsgrades des Aufwuchses

Da die Verschmutzung des Aufwuchses mit anhaftendem Bodenmaterial bei Arsen besonders relevant ist für die Arsengehalte in der Pflanze, wurde der Aufwuchs auch hinsichtlich seines Verschmutzungsanteils untersucht. Für die Bestimmung des Verschmutzungsgrades sieht die amtliche Futtermittelüberwachung das Verfahren der salzsäureunlöslichen Pflanzenasche vor. Dieses erfasst jedoch nur den silikatischen Anteil des Bodens und stellte sich bei den organischen und/oder stark kalkhaltigen Böden des Erdinger Moores als ungeeignet heraus.

Der Verschmutzungsanteil wurde daher über die Mineralstoffzusammensetzung des Boden- und Pflanzenmaterials ermittelt. Dazu wurden je drei hoch-, mittel- und gering- mit Arsen - belastete Aufwuchsproben hinsichtlich ihres Gehalts an Kalium, Calcium, Magnesium, Eisen, Mangan, Aluminium und Silizium untersucht. Parallel dazu wurden die Mineralstoffgehalte von 3 Bodenproben bestimmt. Es sollte der Frage nachgegangen werden, ob sich stark mit Arsen belastete Pflanzenproben hinsichtlich ihrer Mineralstoffzusammensetzung von gering belasteten unterscheiden und ob hochbelastete Pflanzenproben höhere Mengen an typisch bodenbürtigen Mineralstoffen enthalten als schwach belastete.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Arsengehalte in Böden und Aufwuchs

Die Messungen ergaben hohe bis sehr hohe Arsenmengen im Königswasserextrakt der Böden (297-2210 mg As/kg TS in den Oberböden). Die Werte schwankten kleinräumig sehr stark, was auch für die Arsengehalte in den Pflanzen zutraf. Der Ammoniumnitratextrakt des Bodens enthielt dagegen nur wenig Arsen (Faktor 10^{-4} der Gesamtgehalte).

Beim Aufwuchsmaterial wurden neben sehr niedrigen Arsengehalten, in drei Fällen Überschreitungen des Höchstgehaltes der Futtermittelverordnung festgestellt (Abb. 2). Dieser Grünlandschnitt darf damit nicht als Futtermittel in Verkehr gebracht oder verfüttert werden. Aufgrund der kleinräumig stark schwankenden Boden- und Pflanzengehalte dürfte bei einer Futtermittel-Mischbeprobung, wie sie in der Praxis üblich ist, der Höchstgehalt der Futtermittel-Verordnung allerdings nur selten überschritten werden. Die Arsengehalte der Böden (Königswasser- und Ammoniumnitratextrakte) korrelierten nicht mit den Arsengehalten im Grünlandaufwuchs (Abb. 3).

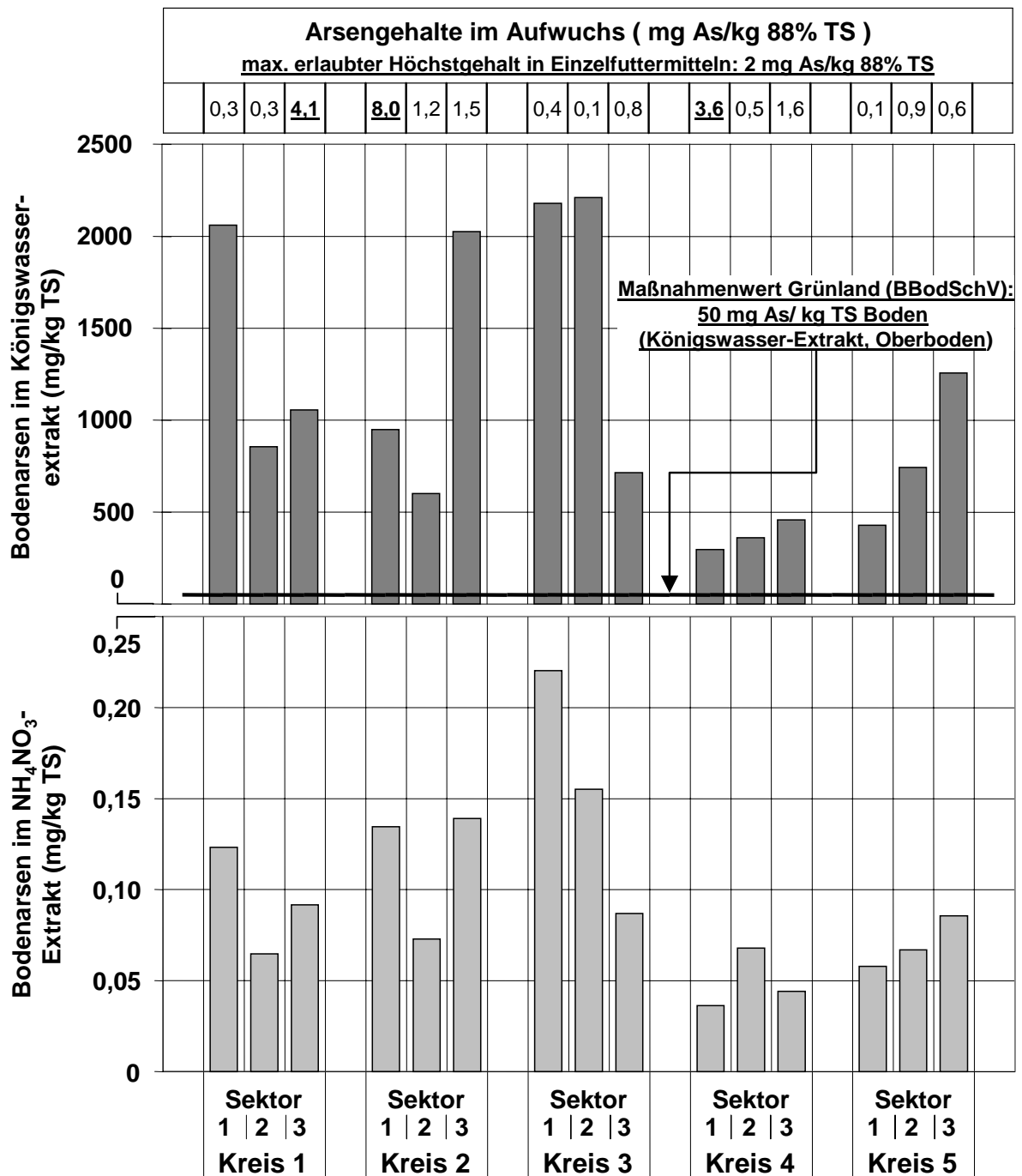


Abbildung 2: Arsengehalte in Oberböden (0-10 cm) und Grünlandaufwuchs

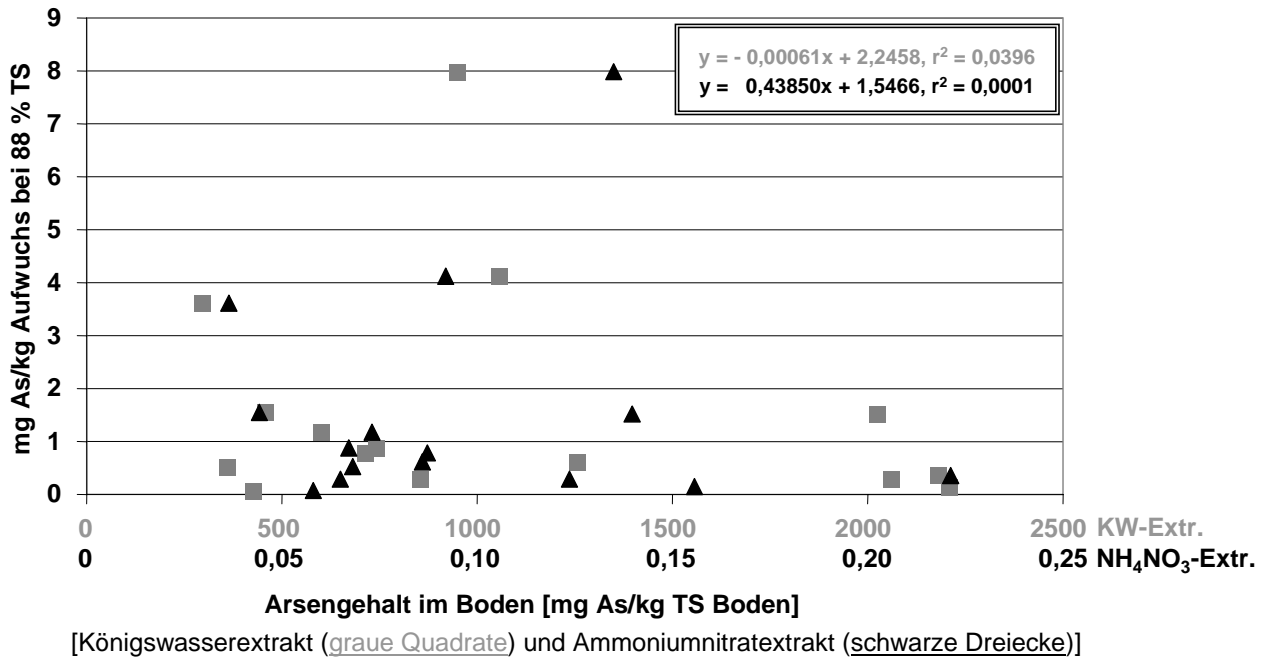


Abbildung 3: Korrelation der Arsengehalte in Oberböden [Königswasser (KW)- und Ammoniumnitrat (NH₄NO₃)-Extrakt] und Aufwuchs ($\alpha = 5\%$)

3.2 Verschmutzungsgrad des Aufwuchses

Tab. 1 zeigt ausgewählte Mineralstoffe von jeweils einer gering-, mittel- und hoch- mit Arsen-belasteten Aufwuchsprobe und die zugehörigen Oberbodenwerte. Wie man sieht, weisen Böden eine andere Mineralstoffzusammensetzung auf als die Pflanzen, die auf ihnen wachsen. Die Konzentration an Aluminium, Calcium, Eisen und Mangan ist im Boden deutlich höher als im Aufwuchsmaterial. Diese Mineralstoffe sind daher geeignet, den Verschmutzungsgrad des Pflanzenmaterials mit anhaftendem Boden zu ermitteln. Wären hoch mit Arsen belastete Aufwuchsproben auf starke Verschmutzung zurückzuführen, so müssten diese auch höhere Gehalte an bodenbürtigen Mineralstoffen (Al, Ca, Fe, Mn) aufweisen als gering belastete Aufwuchsproben.

Tabelle 1: Mineralstoffgehalte in 3 Aufwuchsproben (Mikrowellenaufschlussverfahren) und zugehörige Oberbodenwerte (Königswasserextrakt)

Aufwuchs:

Kreis	Sektor	Al [mg/kg]	CaO [%]	Fe [mg/kg]	Mn [mg/kg]	As [mg/kg]
3	2	30,5	1,11	201,7	30,6	0,16
4	1	30,5	1,08	107,9	31,0	4,10
2	1	48,9	1,06	179,6	35,7	9,07

Oberboden:

Kreis	Sektor	Al [mg/kg]	CaO [%]	Fe [mg/kg]	Mn [mg/kg]	As [mg/kg]
3	2	5815,1	11,6	114380,3	818,9	2210,00
4	1	4905,7	23,8	30378,4	734,6	297,08
2	1	8144,0	26,5	63364,1	852,1	949,58

Aus der sehr ähnlichen Mineralstoffzusammensetzung der Aufwuchsproben sind jedoch keine unterschiedlichen Verschmutzungsgrade durch Bodenmaterial abzuleiten. Demnach ist die hohe Arsenbelastung einiger Pflanzenproben nicht die Folge einer Kontamination mit Boden, sondern der systemischen Aufnahme dieses Halbmetalls durch die Pflanzen. Die starke Streuung der Arsengehalte der Pflanzen unabhängig vom Arsengehalt der Böden, weist auf das Vorhandensein einer kleinräumigen Variabilität der Bodeneigenschaften wie wechselndes Redoxpotential oder die Verfügbarkeit und Anzahl an Sorptionsplätzen (z.B.

örtlich auftretende Almkalk- und Eisenockerausfällungen) mit Auswirkungen auf die Verfügbarkeit des im Boden enthaltenen Arsens für die Pflanzen hin.

Ein Unterschied in der Art des Aufschlussverfahrens (Mikrowellenverfahren – Königswasserextrakt) konnte bei Untersuchung der 3 Oberbodenproben nach beiden Aufschlussverfahren nicht festgestellt werden.

4 Handlungsempfehlungen für Landwirte

Da die Arsengehalte im Aufwuchs der untersuchten Grünlandfläche teilweise die Höchstgehalte der Futtermittelverordnung überschritten und sich herausgestellt hat, dass Arsen auch systemisch von den Pflanzen in größerer Menge aufgenommen wird, sollte auf eine Verfütterung des Aufwuchses von so hoch belasteten Flächen verzichtet werden (besser: Nutzung als Einstreu).

Für arsenbelastete Flächen allgemein gilt, dass auf einen geringen Verschmutzungsgrad des Ernteguts geachtet werden sollte. Dies kann unter anderem erreicht werden durch eine Schnitthöhenanpassung, eine Befahrung der Fläche nur bei trockener Witterung und eine Erhöhung des Bedeckungsgrades des Pflanzenbestandes. Ein umfangreicher Maßnahmenkatalog zur verschmutzungsarmen Nutzpflanzenernte wird derzeit im Auftrag der LABO von der staatlichen Lehr- und Versuchsanstalt Aulendorf (LVVG) und dem Ingenieurbüro Feldwisch erarbeitet.

5 Literatur

BAYR. GEOL. LANDESAMT (2003/2004): 1. und 2. Untersuchungsbericht über die Arsengehalte in Böden des Dachauer, Freisinger und Erdinger Mooses, München.

BISSON M., FRIMMEL F. H. (2003): Arsenic – a Review. Part I: Occurrence, Toxicity, Speciation, Mobility, Acta Hydrochimica et Hydrobiologica Vol. 31, Issue 1, S. 9-18, Verlag Wiley-VCH, Weinheim.

BUND-/LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT BODENSCHUTZ (2004): Maßnahmenkonzept zur verschmutzungsarmen Nutzpflanzenernte, Handlungsempfehlungen für die Bodenschutzbehörden, Entwurf der LVVG Aulendorf und des Ingenieurbüros Feldwisch vom 10.12.2004.

EBERT T., MÜLLER C. (2006): Arsenaufnahme von Grünlandpflanzen auf belasteten landwirtschaftlich genutzten Böden im Erdinger Moos. Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (in Druck).

FUTMV (2005): Neufassung der Futtermittelverordnung vom 07.03.2005, BGB 2005/Nr. 15, S. 522.

MERIAN E., ANKE M., IHNAT M., STOEPLER M. (2004): Elements and their Compounds in the environment, Volume 3, S. 1321-1364, Verlag Wiley-VCH.