

Universität Hohenheim
Institut für Bodenkunde und Standortlehre
Prof. Dr. Karl Stahr



Bewertung potentieller Schwermetallbelastungen in Auenböden des Wassertals bei Vișeu de Sus (Rumänien)

Studienarbeit im Studiengang Agrarwissenschaften (B.Sc.)

von

CHRISTIAN BIERNATH
Agrarwissenschaften

HOHENHEIM
JUNI 2004



Foto 1: Valea Vaserul (Wassertal), Foto: Michael Schneeberger



Foto 2: Dambruch Novaț März 2000, Foto: Michael Schneeberger

Hiermit erkläre ich, dass die vorliegende Arbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet wurden. Die Arbeit wurde bisher keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und nicht veröffentlicht.

Hohenheim, im Mai 2004

Christian Biernath

Inhaltsverzeichnis:

| | |
|---|----|
| 1. Einleitung und Aufgabenstellung | 4 |
| 2. Stand der Wissenschaft | 6 |
| 3. Das Arbeitsgebiet | 7 |
| 4. Material und Methoden | 12 |
| 5. Ergebnisse | 15 |
| 5.1 Lage und Beschreibung der Profile | 15 |
| 5.2 Ergebnisse des Transekts Novaț-Vaserul | 24 |
| 6. Diskussion und Bewertung | 28 |
| 6.1 Bewertungsgrundlagen | 28 |
| 6.2 Bewertung der Profile | 33 |
| 6.3 Bewertung Transekt | 40 |
| 6.4 Sanierung SM-belasteter Böden | 47 |
| 7. Zusammenfassung | 49 |
| 8. Literaturverzeichnis | 52 |
| Abkürzungen | 54 |
| Verzeichnis der Fotos, Tabellen und Abbildungen | 54 |
| Anhang | 56 |

1. Einleitung und Aufgabenstellung:

Böden gestalten durch ihren physikalischen, chemischen und biologischen Charakter den Stoffhaushalt von Landschaften (Selim, 2001: 1). Für uns Menschen sind Böden eine unwiederbringliche Lebensgrundlage. Als Vermittler zwischen den vier Sphären unserer Umwelt sind sie Bestandteile unzähliger Stoff- und Energiekreisläufe und da sie entsprechende Potentiale besitzen sind Böden wichtige Puffer- und Transformationssysteme für viele „Nähr-“ und „Schadstoffe“ innerhalb und zwischen Ökosystemen (Zauner, 1996: 1). Da Böden sehr heterogen sind, können Stoffe in Böden an sehr komplexen chemischen und biologischen Interaktionen beteiligt sein (einschließlich Redoxprozesse, Lösungs- und Festlegungsprozesse, Verflüchtigung, Oberflächen- und Lösungsphasen-Komplexe). Diese heterogene Natur der unterschiedlichen Bodenkomponenten kommt zu der Komplexität der Interaktionen der verschiedenen Stoffe mit der Bodenumwelt noch dazu (Selim, 2001: 1). Allerdings können viele in den Boden gelangende Stoffe für lebende Organismen (Mikroorganismen, Pflanzen, Tiere und den Menschen) gefährlich sein. Ist das der Fall, nennt man dies eine Bodenbelastung. Diese kann auf zwei Arten wirken: Die Stoffe können selbst unmittelbar, an Ort und Stelle, schädlich sein oder sie können aus dem Boden ausgewaschen werden und ins Grund- und Oberflächenwasser gelangen. Da Trinkwasser vorwiegend aus dem Grundwasser entnommen wird, führen Bodenbelastungen notwendigerweise eines Tages zu einer Beeinträchtigung der Qualität des Trinkwassers (Bliefert, 2002: 345).

In den letzten Jahrzehnten gelangen in zunehmendem Umfang durch anthropogen ausgelöste Kreisläufe Schwermetalle (SM) in die Umwelt (Bliefert, 2002: 360). Alloway et al. (1999) schreibt dies sei einerseits bedingt durch das genauere Verständnis der toxikologischen Bedeutung für Ökosysteme, Landwirtschaft und die Gesundheit des Menschen sowie aufgrund der wachsenden Aufgeschlossenheit von Wissenschaft und Öffentlichkeit für Umweltfragen, andererseits durch die Entwicklung immer empfindlicherer quantitativer Analyseverfahren.

SM sind Metalle mit einer Dichte $>5 \text{ g/cm}^3$. Manche SM sind Nährstoffe. So wird grundsätzlich zwischen essentiellen (z.B. Cr, Cu, Fe, Ni und Zn) und nicht essentiellen Metallen (z.B. Cd, Pb) unterschieden. Nicht essentielle wirken oft schon in geringen Dosen toxisch (Bliefert, 2002: 354). Da SM persistent sind, akkumulieren sie sich im Laufe der Zeit in Böden. Durch SM-Einträge können so Wirkungsmechanismen aktiviert werden, die zu kostenintensiven Folgeschäden in der belebten Umwelt führen und menschliche Nutzungsansprüche einengen.

Um eine Belastung von Böden abschätzen zu können wird eine Schadstoffbewertung, die bei der Bewertung von Böden eine Schlüsselstellung einnimmt, durchgeführt. Letztendlich bestimmen die Prüfwerte für die einzelnen Schadstoffe den Handlungs- bzw. Sanierungsbedarf. In der Bewertungspraxis sind die gesetzlichen Grundlagen das Bundesbodenschutzgesetz (BBodSchG) und die daraus resultierende Handlungsanweisung Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV).

Problemstellung:

Am 10. März 2000 kam es im Norden Rumäniens zu einer ökologischen Katastrophe. Der Damm eines Rückhaltebeckens für SM-haltige Schlämme unterhalb der Minen von Băia Borşa (im Bezirk Maramureş, Rumänien) brach nach starken Niederschlägen und Schneeschmelze. Die Verwendung eines Notpumpensystems in einem geschlossenen Kreislaufsystem funktionierte nicht – die Pumpen waren defekt und das System war außerdem für solche Extrembedingungen nicht ausgelegt.

Obwohl große Mengen im Dammkomplex zurückgehalten wurden, flossen ungefähr 20 000 Tonnen SM-haltiger Schlamm in das Tal des Novaţ, einem Zulauf der Vaserul und erreichten die Theis (Task Force, 2000: 4).

Entlang des Flusses leben Menschen, die in den Auen der Vaserul Landwirtschaft betreiben.

Diese Arbeit soll klären, wie stark die Böden mit SM kontaminiert sind, ob für die Bevölkerung eine akute Gefahr besteht und ob Handlungsbedarf erforderlich ist.

2. Stand der Wissenschaft:

Das Unglück wurde verursacht durch (Task Force, 2000: 4):

- ungeeignete Damm- und Pumphanlagen
- die Akzeptanz dieser Anlagen durch die rumänische Regierung
- unzulängliche Überwachung der Konstruktion und der Arbeitsweise des Damms
- extreme, aber vorhersehbare Witterungsbedingungen

Im Bericht des United Nations Disaster Assessment and Coordination Teams (UNDAC) wird die Gesamtausschüttungsmenge an SM anhand der wenigen zur Verfügung stehenden Proben nicht exakt angegeben. In einer Hochrechnung werden dabei die insgesamt freigesetzten Mengen für Blei (Pb) mit ca. 70 Tonnen, für Zink (Zn) mit ca. 150 Tonnen und für Kupfer (Cu) mit ca. 40 Tonnen angegeben.

Die Untersuchungen des UNDAC-Teams (2000) zeigen, dass die Flussraten des Flusswassers der Theis mit 0,5 t Pb/h, 2,51 t Zn/h und 0,54 t Cu/h schon vor dem Unglück hoch waren. Diese Gehalte repräsentieren den Grundgehalt des Flusswassers. Nach der Katastrophe stiegen die Transportmengen des Flusses auf 1,64 t Pb/h, 3,56 t Zn/h und 1,02 t Cu/h.

Der Task Force Bericht vom Dezember 2000 berichtet ferner, dass durch den Unfall keine Personen getötet oder daran unmittelbar erkrankt sind. Jedoch sind die Langzeitfolgen zu diesem Zeitpunkt nicht abschätzbar. Die SM-Gehalte sind bisher nicht ausreichend untersucht. (Task Force, 2000: 12).

Auswirkungen auf die Umwelt:

Es hat den Anschein, als ob der Hauptteil der SM auf den obersten 6 – 10 km unterhalb des Novațstaudammes abgelagert wurde. Zu erwarten ist, dass diese im Laufe der Zeit mit Hochwasserereignissen langsam flussabwärts verlagert werden. Die Ausschüttung bei Băia Borșa birgt das größte Risiko von mittelfristigen Folgeerscheinungen, da SM in der Umwelt persistent sind und in lebenden Organismen „bioakkumulieren“. Die Belastungen sollten Bestandteil weiterer Überwachungs- und Forschungsarbeit sein (Task Force, 2000: 15).

3. Das Arbeitsgebiet:

Geographische Lage:

Rumänien liegt zwischen dem 43° 37' und dem 48° 15' nördlichen Breitengrad und dem 20° 16' und 29°41' östlichen Längengrad. Im Osten grenzt es an Moldavien, im Südosten an das Schwarze Meer, im Süden an Bulgarien (Donau bildet die Südgrenze), im Südwesten an Serbien, im Westen an Ungarn und im Norden an die Ukraine. Mit einer Fläche von 238.391 km² ist Rumänien etwas kleiner als Großbritannien. Die W-O Ausdehnung ist 720 km, die N-S Ausdehnung 510 km (Zahn et al., 1998: 110).

Laut www.maramures.de erstreckt sich der im Norden von Rumänien gelegene Bezirk **Maramureş** (47-48° nördliche Breite und 22-25° östliche Länge) etwa 160 km von Westen nach Osten und knapp 60 km von Norden nach Süden. Im Norden stößt der Kreis an die Grenze der Ukraine. Im Westen befindet sich der Kreis Satu Mare. Im Süden liegen die Kreise Sălaj, Cluj und Biştrita-Násáud, während im Osten der Kreis Suceava liegt.

Die zwei dem Arbeitsgebiet am nächsten gelegenen Städte sind Vişeu de Sus und Baia Borşa.

Die Stadt **Vişeu de Sus** (Oberwischau) liegt am Zusammenfluss der beiden Flüsse Vişeuului (Wischau) und Vaserul (Wasser) im Nordosten des Bezirks Maramureş. Die Entfernung nach Băia Mare beträgt 125 km und nach Sighetu Marmatiei 65 km. Angegliederte Täler sind das Weintal (Valea Vinului), das Wassertal (Valea Vaserul) und das Fischtal (Valea Peştilor) (Schneeberger & Lange, 1998: 94).

Die wichtigste Lebensgrundlage der rund 23000 Einwohner ist die Holzverarbeitung (Schneeberger & Lange, 1998: 94).

„[...]Die Stadt **Băia Borşa** kam vor allem durch den Bergbau zu wirtschaftlicher Bedeutung. Nach dem Zusammenbruch der kommunistischen Planwirtschaft wurden die meisten Gruben geschlossen.“ (Schneeberger/Lange, 1998: 166).

Băia Borşa liegt 850 m über dem Meeresspiegel und 80 km südlich von Sighetu Marmatiei in einem Tal am Fuße des Rodna-Gebirges. Băia Borşa hat 30.000 Einwohner, deren Hauptbeschäftigung die Verarbeitung der Bodenerze, des Holzes und die Viehzucht ist. Bodenerze werden in den nahen Minen oberhalb des Novaţtales abgebaut. Auch Holz wird dort geschlagen. (Publirom, 1998).

Die beiden Städte bilden annähernd die West-Ost Ausdehnung des Arbeitsgebiets. Baia Borşa liegt ca. 5 km südöstlich der Schadensquelle. Das Zentrum von Vişeu de Sus liegt Luftlinie ca. 15 km westlich von dieser. Dazwischen erstrecken sich die Täler des Novaţ und der Vaserul.

Geologie und Geomorphologie:

Ein Großteil der Landesoberfläche Rumäniens wird von den Höhenzügen der Karpaten eingenommen (Zahn, 1991). Die höchsten Gipfel befinden sich im südlichen Teil, den Südkarpaten. Schluchten und Täler der Flüsse Olt und Buzău zergliedern sie in einzelne Gebirgsmassive (Zahn et al., 1991). Das lößbedeckte Transylvanische Becken (FAO/Unesco, 1988/1997) liegt am Außenrand der Karpaten und wird vom Bihargebirge umschlossen. Dieses wird von den Flüssen Someş und Mureş durchströmt: Der Someş in nordwestlicher Richtung nach Ungarn und der Mureş in westlicher Richtung in die Theiß an der ungarischen Grenze. Die Moldau, eine hügelige Landschaft, bedeckt den Nordosten Rumäniens und erstreckt sich weit in die Republik Moldawien hinein. Die Walachei eine Tiefebene, mit der Hauptstadt Bukarest im Zentrum, verläuft südlich des Karpatenbogens und erstreckt sich bis an die Donau. Im Osten liegt die Dobrudscha, ein Hügelland mit Mooren und einem ausgedehnten Sumpfdelta, das bis zum Schwarzen Meer reicht (Onescu, 1965).



Abbildung 1: Geographische Lage Rumäniens in Europa
(verändert nach www.mygeo.info)



Abbildung 2: Geographische Lage der Maramureș in Rumänien
(verändert nach www.lib.utexas.edu)

Klima:

Das Untersuchungsgebiet liegt auf Höhen zwischen 490 m und 770 m über NN.

Laut www.maramures.de liegen die mittleren Jahresdurchschnittstemperaturen bei 6-9°C.

Im Juni als wärmstem Monat liegt das langjährige Mittel bei 20°C. Die durchschnittlichen Regentage sind 170 pro Jahr, davon 30 Tage mit Schneefall. Weiter schreibt Medici, dass an der Westflanke der Ostkarpaten mit mehr als 1000 mm Niederschlag pro Jahr zu rechnen ist (Medici et al., 1969: 345). An durchschnittlich 70 Tagen/Jahr herrscht Frost, an 10 Tagen/Jahr tropische Hitze und an 70 Tagen/Jahr liegt Schnee in einer durchschnittlichen Höhe von 15 cm.

Vegetation und Nutzung:

Der Westen der Maramureş ist fruchtbares Land. Hier liegen die Ebene der Theis, des Szamos und des Kraşna. In den höheren Lagen, dem Teil zwischen Băia Mare und Sighetu Marametiei und zwischen Negreşti und Vişeu de Sus sind vorwiegend Weiden und Dauergrasland, sowie Wälder und Forste (Medici et al., 1969: Plate 8).

In den Flusstälern wird subsistent Landwirtschaft und Gartenbau betrieben. Der obere Teil des Transekts Novaţ - Vaserul wird fast ausschließlich forstwirtschaftlich genutzt. Vorherrschende Baumarten sind Grünerle (*Alnus viridis* DC.) und Fichte (*Picea abies* L.). Von Ihoasa bis Novaţ kommt dort, wo das Tal etwas weiter ist, vereinzelt Grünland hinzu. Unterhalb von Novaţ bis zum Beginn von Valea Scrađei CFF werden die Talsohle und die Hänge vor allem als Grünland genutzt. Weiter flussabwärts werden die Auenböden vorwiegend ackerbaulich oder als Siedlungsraum genutzt. Hauptsächlich verwendete Nutzpflanzen sind Stangen- (*Phaseolus vulgaris* var. *vulgaris* L.) und Buschbohnen (*Phaseolus vulgaris* var. *nanus* L.), Mais (*Zea mays* L.), Amaranth (*Amaranthus lividus* L.), Kürbis (*Cucurbita pepo* L.) und Kartoffeln (*Solanum tuberosum* L.).

4. Material und Methoden

Profilauswahl:

Die Profilaufnahme und Ansprache erfolgte nach der Übungsanleitung zur Beschreibung, Deutung und ökologischen Bewertung von Böden des Instituts für Bodenkunde und Standortslehre der Universität Hohenheim (1994), den Guidelines for Soil Profile Description (FAO, 1990) und der FAO / UNESCO Bodenkarte der Welt (Deutsche Übersetzung der revidierten Legende, 1988/1997), welche dann auch zur Bestimmung des Bodentyps herangezogen wurde.

Die Profile wurden mittels Spaten, Schaufel und Spitzhacke freigelegt und zur Profilaufnahme möglichst vertikal zur ehemaligen Bodenoberfläche abgezogen. Alle Bodenprofile und deren Umgebung wurden mit Fotos dokumentiert. Die Profile wurden horizontweise beprobt (gestörte Beutelproben, 800-1000 g, feldfrisch) um sie später im Labor genauer zu analysieren. Bei Horizonten mit hohem Steingehalt wurde mangels ausreichender Anteile an Feinerde (FE) eine Beutelprobe unterlassen (Profil 1: 80-120 cm; Profil 2: >20 cm; Profil 3: >30 cm; Profil 4: Horizonte 30-50 cm, 50-60 cm, 60-120 cm; Profil 5: >50 cm).

Die Proben wurden luftdicht in Plastiktüten verpackt, sowie kühl und dunkel gelagert. Bei der Ankunft in der BRD wurden die Proben im Kühlschrank bei 4°C bis zur weiteren Bearbeitung gelagert.

Transektproben:

Die Proben, die entlang des Transekts Novaț-Vaserul genommen wurden, erfolgten durch spatentiefe (ca. 20 cm) Entnahme von Sedimenten entlang des Flusssystemes. Dabei handelte es sich stets um alluvial verlagerte Oberböden. Stets wurden Standorte beprobt, die frei von Bodenskelett sind. Die Proben wurden genau wie bei der Profilauswahl als Beutelproben und wie oben beschrieben entnommen (s. Profilauswahl).

Probenvorbereitung:

Bis zur Verarbeitung wurden die Proben bei 4°C gekühlt. Dann wurden sie gesiebt (Edelstahlsieb, Maschenweite 2mm) und anschließend 4 Tage bei 65°C getrocknet. Der gravimetrische Wassergehalt wurde durch Einwiegen der Probe in eine offene Schale, vor und nach dem Trocknen (bis zur Gewichtskonstanz) im Trockenschrank, bestimmt.

Der Wassergehalt in Masseprozent errechnet sich mit der Formel:

$$X'\% = \frac{\text{Feuchtgewicht} - \text{Trockengewicht}}{\text{Trockengewicht} - \text{TARA}} \times 100$$

Nach dem Trocknungsvorgang wurden die Proben im Mörser verrieben, geteilt (LA - Chemie/Allgemeine Bodenkunde) und in Plastikflaschen abgefüllt.

Die folgenden Analysen wurden, wenn nicht anders beschrieben, an der FE durchgeführt.

Bestimmung des pH-Wertes:

Die Messung erfolgte mit dem Messgerät pH 535 der Firma WTW. Exakt 10g lufttrockene FE werden mit 0,01 M CaCl₂-Lösung im Verhältnis Boden / Lösung = 1 / 2,5 angesetzt, umgerührt und mindestens eine Stunde abgedeckt stehen gelassen. Nach nochmaligem Umrühren wird der pH-Wert, nach Absetzen der groben Partikel, mit der Glaselektrode in der Suspension gemessen (je ein Parallelversuch) (Schlichting et al., 1995: 132).

Bestimmung des Kohlenstoffs (C):

Die Messung erfolgte mit dem pyrolytischen Wösthoff - Gasanalysegerät. Die FE (0,2-2,3 g; hier ca. 0,5 g) wird durch Verbrennen im Sauerstoff bei 1050°C aufoxidiert. Stark humose Proben werden mit Meersand abgedeckt. Das dabei gebildete CO₂ wird dann am Wösthoff - Gasanalysegerät nach Einleiten in Natronlauge durch die Änderung der Leitfähigkeit bestimmt. Anhand einer Eichung mit einer vorgegebenen Menge CaCO₃ wird nun, nach Abzug des Karbonatgehaltes der Probe, der C-Gehalt bestimmt (je ein Parallelversuch).

Der Humusgehalt wird daraus durch Multiplikation mit dem Faktor 1,7 berechnet. Dieser Faktor ergibt sich aus einem angenommenen mittleren C-Gehalt der organischen Substanz von Ackerböden von 58%. Dies entspricht dem Mittelwert von isolierten Huminsäuren (Scheffer/Schachtschabel, 2002: 75).

Bestimmung des CaCO₃-Gehaltes:

Bei den Proben ist kein hoher Karbonatgehalt zu erwarten. Aus diesem Grund wird ein Esslöffel (EL) einer Probe mit HCl beträufelt (nach Bodenkundliche Kartieranleitung des Instituts für Bodenkunde der Universität Hohenheim). Bei offensichtlicher Reaktion (visuell oder hörbar) wird die Probe eingehender untersucht.

Mit Hilfe von erwärmter Phosphorsäure wird das Karbonat aus der FE als CO₂ ausgetrieben. Das CO₂ wird nach dem Einleiten in Natronlauge durch die Änderung der Leitfähigkeit am Wösthoff-Gasanalysegerät in Kombination mit dem Wösthoff Carmograph C125 bestimmt. Anhand einer Eichung mit einer vorgegebenen Menge CaCO₃ wird der CaCO₃-Gehalt der Probe bestimmt (je ein Parallelversuch).

Körnungsanalyse:

Die Bodenarten wurden bei den Profilansprachen mittels Fingerprobe geschätzt. Zusätzlich wurde die genaue Korngrößenverteilung des karbonat- und humusfreien Materials in ausgewählten besonders hoch SM-belasteten Proben mit Hilfe des Laserbeugungsspektrometers Coulter LS200 des Herstellers Beckmann analysiert, um Informationen über die Verhältnisse von T:U:S (Ton / Schluff / Sand) zu bekommen und um etwas über die hydraulischen Eigenschaften des Bodens zu erfahren.

Es wurde jeweils eine Probenmenge von 5 g absolut trockenem (atro) Boden eingewogen. Die Humuszerstörung wurde nach der Methode der LA-Chemie durchgeführt. Dabei werden der Probenmenge 25 ml destilliertes H₂O und 15 ml H₂O₂ (30%-ig) zugesetzt und über Nacht stehen gelassen. Am folgenden Morgen wird bei 95°C 3 Stunden lang im Wasserbad erhitzt. Anschließend werden nochmals 25 ml destilliertes H₂O und 15 ml H₂O₂ zugesetzt und die Probe nochmals 3 Stunden gekocht. Dieses Schnellverfahren kann laut LA-Chemie zur Zerstörung der organischen Substanz bei Proben mit Humusgehalten bis 15% angewendet werden.

Alle Mengen wurden mit Hilfe eines Probenteilers unmittelbar vor der Messung geteilt, um eine optimale Messkonzentration zu erreichen (8–12%). Nach der Probenzugabe in den Probenbehälter des Geräts, wurden die Proben zwei Minuten lang vor der eigentlichen Messung mit Ultraschall, zur vollständigen Dispergierung, behandelt. Die vollständige Dispergierung der Proben erfolgte mit dem zum Laserbeugungsspektrometer gehörenden Ultraschallgerät.

Bestimmung der Elementgesamtgehalte und der mobilen Fraktionen:

Die Messungen der Elementgesamtgehalte erfolgen nach dem Königswasseraufschluss (KW) und die der mobilen Elemente mit Hilfe des Ammoniumnitratenaufschlusses (AN) und anschließender Messung am AAS (Atomadsorptionsspektrometer) und ICP (inductively coupled plasma).

Beim KW werden 2 g der homogenisierten, trockenen und zerkleinerten Probe in ein geeignetes Aufschlussgefäß eingewogen und mit 50 ml eines Gemisches (Volumenverhältnis 3,6:1) aus Salzsäure

(36-37 %) und Salpetersäure (65 %) übergossen. Anschließend bleibt der vorbereitete Aufguss 12 h bei Raumtemperatur stehen. Karbonathaltigen Proben werden einige Tropfen Octanol zugesetzt. Danach wird der Aufschluss 2h unter Rückfluss bei Siedetemperatur des Gemischs (135°C) erhitzt und extrahiert.

Nach Abkühlen auf Raumtemperatur wird der Inhalt des Aufschlussgefäßes mit 100 ml reinst H₂O überspült und dann abfiltriert durch ein spurenelementfreies Filter. Dabei werden 10 ml Vorlauf verworfen. Im Filtrat können die Elementgehalte bestimmt werden.

Mit Hilfe eines Dilutors wird eine Rhodium (Rh)-Standardlösung 1 g/l (10,2 ml einer Rh-Lösung (1000ppb) zusammen mit 28,5 ml HNO₃ auf 1l auffüllen) im Verhältnis 1:50 dem KW zugesetzt. Die Rh-Standardlösung fungiert als sogenannter interner Standard und dient dazu das Messinstrument zu kalibrieren. So werden Schwankungen im Messsystem ausgeglichen. Die Kalibration erfolgte über eine externe Kalibrierung. Für eine exakte Messung muss die Lösung unmittelbar vor dem Messvorgang hergestellt werden.

Der Ammoniumnitrat-aufschluss (AN) wurde nach DIN 19730 durchgeführt.

20 g Boden werden in einer Weithalsflasche mit 50 ml Ammoniumnitratlösung versetzt und 2 Stunden bei Raumtemperatur mit 20 Umdrehungen je Minute geschüttelt. Die Weithalsflasche lässt man anschließend zum Absetzen des Filtrats 5 Minuten ruhen. Die überstehende Lösung wird dekantiert und filtriert. Die ersten 5 ml des Filtrats werden verworfen. Der Rest wird in 50-ml-Kunststoffflaschen aufgefangen. Nach beendeter Filtration werden dem Extrakt zur Stabilisierung 0,5 ml Salpetersäure zugesetzt.

ICP-OES

Wellenlängenspektrometer der Firma Varian

Mit einer Plasmafackel wird die Probe verbrannt. Schutz- und Leuchtgas ist Argon.

Die Probe wird mit Druck und Argon als Schutzgas angesaugt und vernebelt. Beim Durchströmen eines Hochfrequenzfeldes (27MHz) entsteht eine Plasmafackel mit einer Temperatur von ca. 3000-4000°C. Dabei kommt es zu einer Atomisierung, teils zur Ionisierung der Probenbestandteile. Die Emissionen werden an einem Gitter umgeleitet und von Prismen in unterschiedliche Wellenlängenbereiche aufgefächert. Mit Hilfe eines Arrays von Photodioden werden die unterschiedlichen Wellenlängen erfasst, mit einem Verstärker verstärkt und dann gemessen. Das ICP-OES (Inductive coupled-plasma - Emissions-Spektrometer) hat einen Polychromator mit dem die Wellenlängen vieler Elemente simultan messbar sind. [In dieser Arbeit untersuchte Elemente: Cr (KW), Cu (KW + AN), Fe (KW), Ni (KW), Pb (KW), Zn (KW + AN)]

ICP-MS

Massenspektrometer der Firma Perkin Elmer

Über der Plasmafackel des ICP (siehe ICP-OES) werden die freigesetzten Gase abgesaugt. Sodann werden sie chemo- oder radioionisiert (meist mit γ -Strahlung ⁶³Ni) und anschließend durch ein Ventil in einen Quadropol geleitet. Der dort anliegende Drehstrom mit einer Spannung von 2-5 kV versetzt die Teilchen in eine massenspezifische Schwingung. Die Zeit, die die Teilchen zum Durchqueren des Feldes benötigen, ist isotopenspezifisch und kann gemessen werden. Ein Element hat deshalb durchaus mehrere Piks. [In dieser Arbeit untersuchte Elemente: As (KW + AN), Cd (KW + AN), Cr (AN), Ni (AN), Pb (AN), U (KW + AN)].

5. Ergebnisse:

5.1 Lage und Beschreibung der Profile:

Lage und Beschreibung von Profil 1 nach dem Erscheinungsbild im Feld:

Ort: ca. 800 m flussaufwärts von Ihoasa, N: 47.42.758, E: 024.36.150

Lage: (695 m ü. NN, GPS-Wert) ebener Tiefenbereich, nicht geneigt,
Exposition: Nord

Gesteine: alluviale Kiese, Schotter und Sande. Unterschiedliche Sedimentgesteine, Tonstein, Sandstein, sowie Metamorphite (Gneis)

Vegetation: Erlenbruchwald (Grünerle (*Alnus viridis* DC.))

Nutzung: Forst

Humusform: Mull

Akt. GW-Stand: 1,90 m unter GOF

Mittlerer GW-Tiefstand: 1,90 m unter GOF

Hauptwurzelraum: 30 - 80 cm

Aufnahme: August 2003

| Hori- zont | Tiefe (cm) | Beschreibung (Profilbild: s. Foto 3, S. 20) |
|---------------|---------------|--|
| ylC1 | 0-10 | N 4/0 grauer (80%) und 2,5Y 6/8 gelber, sandiger Schluff, Kohärentgefüge mit geringer Stabilität bei hoher Lagerungsdichte, frei von Skelett, Hohlräumen, Humus Karbonat und Durchwurzelung, aktuell feucht, eben bis wellig und abrupter Übergang zu |
| aAh | -20 | 2,5Y 4/6 brauner, lehmiger Sand, Einzelkorngefüge mit sehr geringer Stabilität bei niedriger Lagerungsdichte, <1% Skelett, kaum Hohlräume und schwache Durchwurzelung, frei von Karbonaten, aktuell frisch, eben und undeutlicher Übergang zu |
| ailC2 | -28 | 7,5YR 4/2 braune Steine und 7,5YR 5/8 gelbbraune FE, Schichtgefüge ohne Stabilität, Steingehalt >>50% bei Durchmessern um 3cm, viele Hohlräume, schwache Durchwurzelung, frei von Karbonaten, aktuell frisch, eben bis wellig und undeutlicher Übergang zu |
| aM | -80 | 10YR 4/4 brauner, lehmiger Sand, Einzelkorngefüge mit sehr geringer Stabilität und niedriger Lagerungsdichte, sehr schwach kiesig, kaum Hohlräume bei mittlerer Durchwurzelung, frei von Karbonaten, aktuell frisch, wellig und diffuser Übergang zu |
| aG | ≥120 | 10YR 4/2 graue FE, Kohärentgefüge mit sehr geringer Gefügestabilität und sehr hoher Lagerungsdichte, sehr hoher Steingehalt mit Durchmessern von 20 – 80 cm, schwache Durchwurzelung, frei von Karbonaten, aktuell frisch. |

Bodenklassifikation:

KA4: Norm Paternia

FAO: Orthithionic Fluvisol (sulfuric Horizon innerhalb 100cm)

Lage und Beschreibung von Profil 2 nach dem Erscheinungsbild im Feld:

Ort: ca. 800 m flussabwärts von Poiana Novaț, Insel im Fluss,
N: 47.43.736, E: 024.33.874

Lage: (584 m ü. NN, GPS-Wert) ebener Tiefenbereich, nicht geneigt,
Exposition: Süd

Gesteine: alluviale Kiese, Schotter und Sande. Gesteine vorwiegend metamorpher Art
(Gneis)

Vegetation: Grünerle (*Alnus viridis* DC.), Fichte (*Picea abies* L.)

Nutzung: Forst

Humusform: Mull

Akt. GW-Stand: 0,5 m unter GOF

Mittlerer GW-Tiefstand: 0,5 m unter GOF

Hauptwurzelraum: 5 - 18 cm

Aufnahme: August 2003

| Hori- zont | Tiefe (cm) | Beschreibung (Profilbild: s. Foto 6, S.20) |
|--------------------------------|--|--|
| ylC-L (Hori- zont 1*) | 0-5 unmit- telbar neben Profil | N4/0 grauer (80%) und 2,5Y 6/8 gelber, sandiger Schluff, Kohärentgefüge mit geringer Stabilität bei hoher Lagerungsdichte, frei von Skelett, Hohlräumen, Humus, Karbonat und Durchwurzelung, aktuell feucht. |
| aAh | 0-6 | 10YR 3/4 brauner, lehmiger Sand, Einzelkorngefüge mit geringer Stabilität bei mittlerer Lagerungsdichte, ~1% Skelett, kaum Hohlräume und schwache Durchwurzelung, frei von Karbonaten, aktuell frisch, eben und diffuser Übergang zu |
| aGo-aM | -20 | 10YR 2/3 brauner, sandiger Schluff, Subpolyederggefüge mit geringer Stabilität und mittlerer Lagerungsdichte, Steingehalt 5-7% bei Durchmessern bis 3cm, kaum Hohlräume, schwache Durchwurzelung, frei von Karbonaten, aktuell feucht, eben und deutlicher Übergang zu |
| aGro | -50 | Nicht bestimmte graue Farbe, >>50% (90) Skelettanteile, Übergang zu aG nicht bestimmt. |
| aGr | >50 | Horizont nicht näher untersucht. |

Klassifikation

KA4: Dystropher Auengley

WRB: Orthothionic Gleysol

Lage und Beschreibung von Profil 3 nach dem Erscheinungsbild im Feld:

Ort: Wassertal, ca. 1500 m flussabwärts Cozia, Gleithang,
N: 47.45.900, E: 024.33.840

Lage: (Höhe: kein GPS-Wert) ebener Tiefenbereich, nicht geneigt,
Exposition: Nord

Gesteine: alluviale Kiese, Schotter und Sande. Gesteine vorwiegend metamorpher Art
(Gneis)

Vegetation: Gräser und Kräuter

Nutzung: Grünland

Humusform: Mull

Akt. GW-Stand: 0,8 m unter GOF

Mittlerer GW-Tiefstand: 0,8 m unter GOF

Hauptwurzelraum: 0 - 10 cm

Aufnahme: August 2003

| Hori- zont | Tiefe (cm) | Beschreibung (Profilbild: s. Foto 5, S.20) |
|---------------|---------------|---|
| aAh | 0-12 | 2,5Y 3/3 brauner, lehmiger Sand, Kohärentgefüge mit sehr geringer Stabilität bei mittlerer Lagerungsdichte, frei von Skelett und Karbonat, viele Hohlräume, mittlere Durchwurzelung, aktuell frisch, wellig und undeutlicher Übergang zu |
| aG-M | -27 | 5Y 5/1 grauer, lehmiger Sand, Subpolyedergefüge mit geringer Stabilität bei mittlerer Lagerungsdichte, ~1% Skelett bis 1cm Durchmesser, mittel bis viele Hohlräume und schwache Durchwurzelung, frei von Karbonaten, aktuell frisch, ebener und deutlicher bis welliger Übergang zu |
| aGso | -30 | 10YR 6/6 Eisenbändchen, Horizont ansonsten nicht näher untersucht, ebener, deutlicher bis welliger Übergang zu |
| aGr | ≥30 | 2,5Y 4/2 braungraues, sandiges Bodenskelett, Einzelkorngefüge mit hoher Lagerungsdichte, >> 50% (85) Skelett mit Durchmessern von 5-30 cm, sehr schwache Durchwurzelung, frei von Karbonaten, aktuell frisch. |

Klassifikation:

KA4: Mesotropher Auengley

WRB: Dystric Gleysol

Lage und Beschreibung von Profil 4 nach dem Erscheinungsbild im Feld:

Ort: Wassertal, in Vişeu de Sus, Poldis Garten, Gleithang,
N: 47.42.930, E: 024.26.338

Lage: (492 m ü. NN, GPS-Wert) ebener Tiefenbereich, nicht geneigt,
Exposition: Ost

Gesteine: alluviale Kiese, Schotter und Sande. Gesteine vorwiegend metamorpher Art
(Gneis, auch Sandsteine)

Vegetation: Gräser und Kräuter

Nutzung: Grünland (Schnitt, Sense)

Humusform: Mull

Akt. GW-Stand: 2,0 m unter GOF

Mittlerer GW-Tiefstand: 2,0 m unter GOF

Hauptwurzelraum: 6 - 30 cm

Aufnahme: September 2003

| Hori- zont | Tiefe (cm) | Beschreibung (Profilbild: s. Foto 7, S.20) |
|---------------|---------------|---|
| aAh | 0-6 | 7,5Y 3/2 brauner, lehmiger Sand, Einzelkorngefüge mit sehr geringer Stabilität bei geringer Lagerungsdichte, frei von Skelett, mittlerer Anteil an Hohlräumen, frei von Karbonat und schwache Durchwurzelung, aktuell trocken, ebener und undeutlicher Übergang zu |
| aM | -30 | 2,5YR 3/1 graubrauner, schluffiger Sand, Subpolyederggefüge mit mäßiger Stabilität bei niedriger Lagerungsdichte, ~1% Skelett mit Durchmessern bis 3cm, sehr hoher Anteil an Hohlräumen und schwache Durchwurzelung, frei von Karbonaten, aktuell trocken, ebener und deutlicher Übergang zu |
| aIC1 | -70 | 5YR 5/2 grauer, sandiger Kies, Einzelkorngefüge mit sehr geringer Stabilität und sehr hoher Lagerungsdichte, Steingehalt >> 50% (85) bei Durchmessern bis 40cm, mäßig viele Hohlräume, schwache Durchwurzelung, frei von Karbonaten, aktuell trocken, ebener, unterbrochener und diffuser Übergang zu |
| aIC2 | -120 | 5YR 4/1 grauer, Kies, Einzelkorngefüge, Steingehalt >>50% (90) mit Durchmessern bis 50 cm, ~1% Hohlräume, keine Durchwurzelung, frei von Karbonaten, aktuell feucht, undeutlicher und diffuser Übergang zu |
| Hv | ≥120 | 5Y 4/2 brauner, sandiger Sand, Einzelkorngefüge mit hoher Lagerungsdichte, 10% Steingehalt mit Durchmessern bis 2cm, keine Durchwurzelung, frei von Karbonaten, aktuell feucht bis nass. |

Klassifikation:

KA4: Norm Vega

WRB: endosceletic/haplic Fluvisol (keine Basensättigung analysiert!)

Lage und Beschreibung von Profil 5 nach dem Erscheinungsbild im Feld:

Ort: Wassertal, Vişeu de Sus, Migus Garten, N: 47.43.115, E: 024.26.946
 Lage: (500 m ü. NN, GPS-Wert) ebener Tiefenbereich, nicht geneigt,
 Exposition: Ost
 Gesteine: alluviale Kiese, Schotter und Sande. Gestein vorwiegend metamorphe
 Flusskiese (Gneis)
 Vegetation: diverse Gräser und Kräuter
 Nutzung: Grünland, Schnitt (Sense)
 Humusform: Mull
 Akt. GW-Stand: 1,50 m unter GOF
 Mittlerer GW-Tiefstand: 0,80 m unter GOF
 Hauptwurzelraum: 0 - 40 cm
 Aufnahme: September 2003

| Hori- zont | Tiefe (cm) | Beschreibung (Profilbild: s. Foto 8, S.20) |
|---------------|---------------|--|
| aAh | 0-12 | 7,5Y 3/2 brauner, lehmiger Sand, Subpolyedergefüge mit hoher Stabilität bei geringer Lagerungsdichte, 2% Skelett, geringer bis mittlerer Anteil an Hohlräumen, sehr karbonatarm und sehr starke Durchwurzelung, aktuell frisch, welliger und deutlicher Übergang zu |
| aM | -30 | 10YR 4/3 braun, lehmiger Sand, Einzelkorn- und Subpolyedergefüge mit mäßig bis hoher Stabilität bei niedriger Lagerungsdichte, ~5% Skelett mit Durchmessern bis 1cm, mäßig viele Hohlräume und sehr starke Durchwurzelung, frei von Karbonaten, aktuell trocken, ebener und undeutlicher Übergang zu |
| aM-aGo | -50 | 10YR 4/2 brauner, lehmiger Sand, Einzelkorn- und Subpolyedergefüge mit mittlerer Stabilität und niedriger Lagerungsdichte, ~5% Skelett mit Durchmessern bis 1cm, mäßig viele Hohlräume und starke Durchwurzelung, frei von Karbonaten, aktuell trocken, deutlicher bis welliger Übergang zu |
| aGro | ≥50 | 10YR 4/2 brauner, sandiger Kies, Einzelkorngefüge mit hoher Lagerungsdichte, Steingehalt >>50% (90), ~1% Hohlräume, schwache Durchwurzelung, frei von Karbonaten, aktuell frisch. |

Klassifikation:

KA4: Gley-Vega

WRB: Gleyic Cambisol

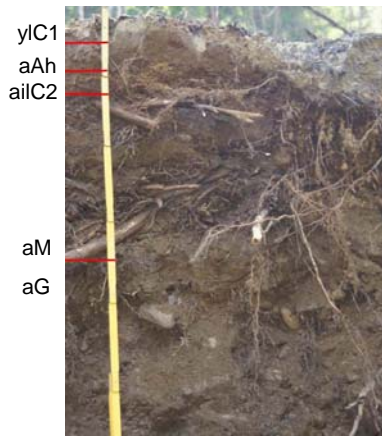


Foto 3: Profil 1



Foto 4: SM-Schlammauflage mit geschädigten Grünerlen. Wo kein Schlamm liegt ist die Vegetation grün. Hinten Fichten, vorne Huflattich.



Foto 5: Profil 3



Foto 6: Profil 2

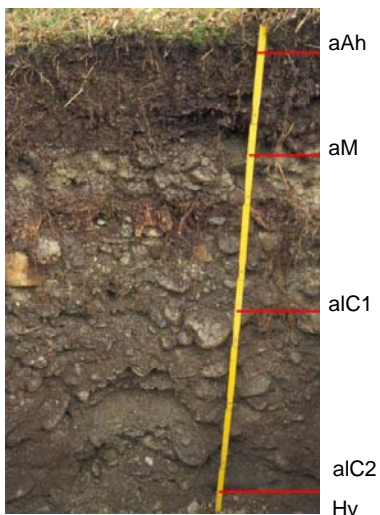


Foto 7: Profil 4

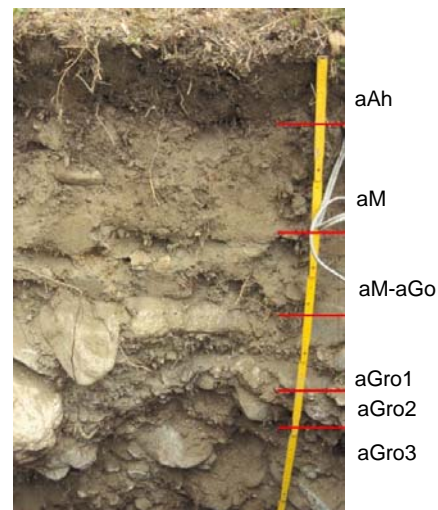


Foto 8: Profil 5

Gesamtgehalte der Profile:

Referenzprofil (Profil 3)

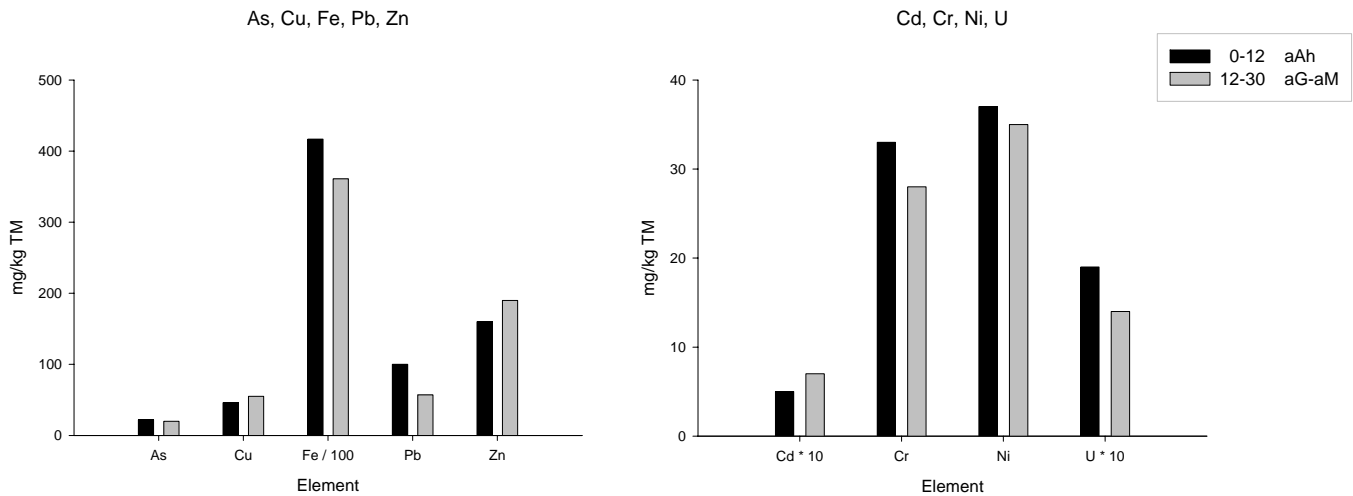


Abbildung 4: Gesamtgehalte der untersuchten Elemente in mg/kg TM.

Cd, Cu und Zn nehmen in ihren Gesamtgehalten mit der Profiltiefe zu. Der Gehaltsunterschied macht dabei zwischen 16% (Cu, Zn) und 30% (Cd) aus. Die übrigen Elementgehalte sind im aAh-Horizont etwas höher als im aG-aM-Horizont. Die Gehaltsunterschiede liegen zwischen 6% (Ni) und 17% (Cr). Pb ist als einziges Element im aAh-Horizont auffällig stark angereichert. Von 100 mg/kg TM nimmt der Pb-Gehalt auf 60 mg/kg TM ab. Der pH-Wert steigt von 4,4 (aAh) auf 4,8 (aG-aM) an.

Profil 1

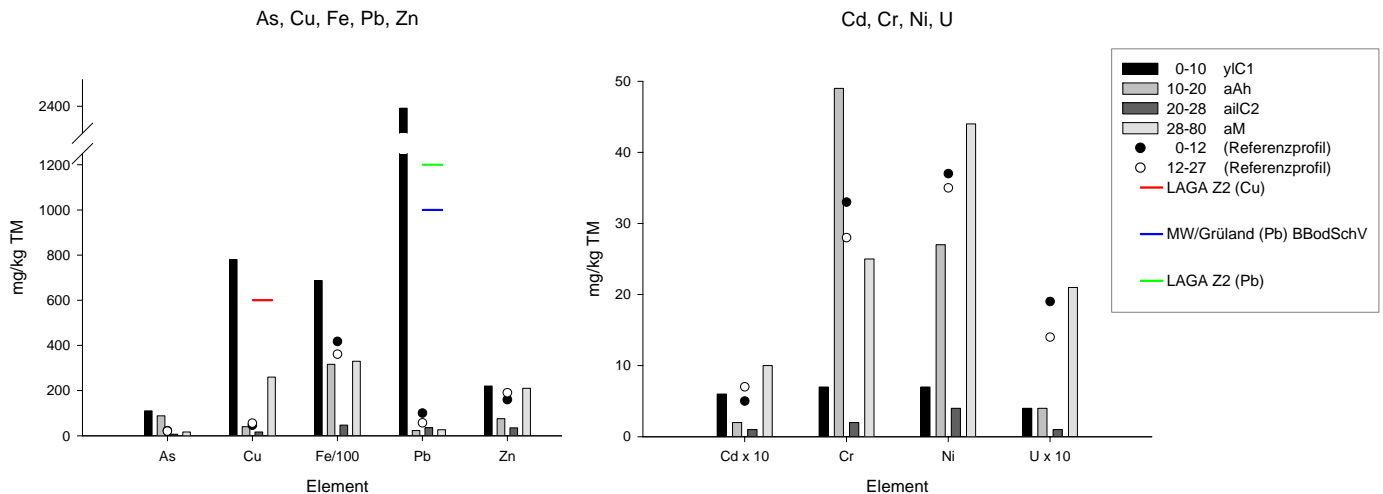


Abbildung 5: Profil 1 - Gesamtgehalte der untersuchten Elemente in mg/kg TM

Innerhalb der oberen 28 cm nehmen die Gehalte von As, Cd, Cu, Fe, Pb, U, Zn kontinuierlich ab. Ein abrupter Anstieg der Gehalte erfolgt im aM-Horizont (außer Pb) und Cd, Ni und U haben in diesem Horizont das Maximum. Die As-Gehalte steigen vom aiIC2- in den aM-Horizont weniger stark ausgeprägt von 7 auf 17 mg/kg TM. Cr, Ni sowie Pb alternieren in ihren Gehalten von Horizont zu Horizont. Dabei hat Pb ein sehr ausgeprägtes Maximum im yIC-Horizont (2390mg/kg TM). Das Cr-Maximum liegt im aAh -Horizont (50 mg/kg TM) und das Ni-Maximum im aM (45 mg/kg TM). Der pH-Wert nimmt über die Profiltiefe von 2,2 auf 3,6 zu. Die Humusgehalte sind stark alternierend (s. S. 61, Tabelle 20).

Profil 2

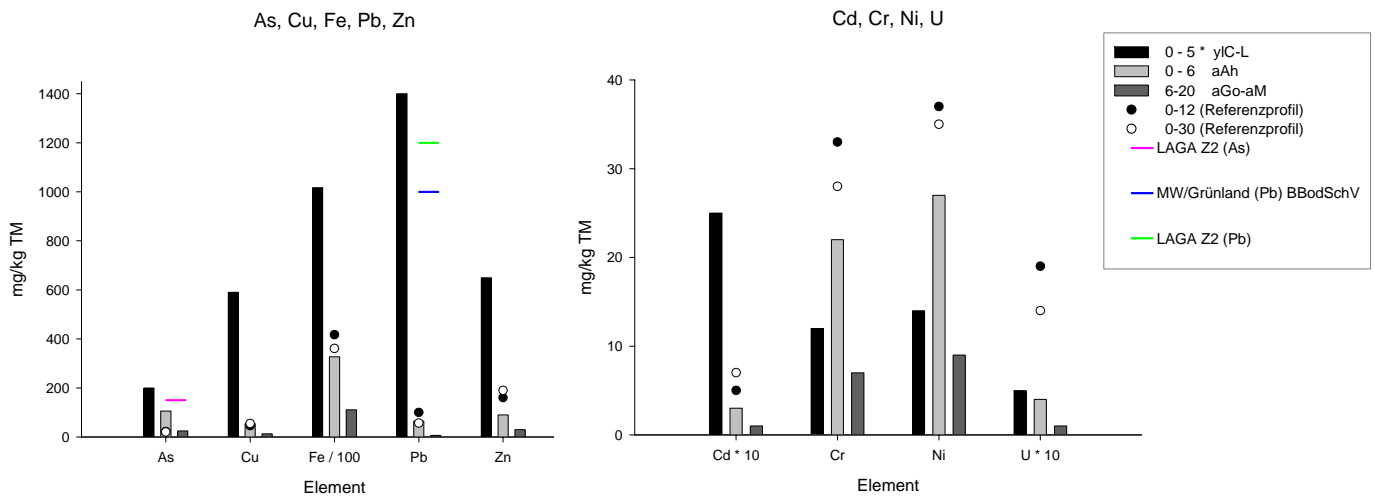


Abbildung 6: Profil 2 - Gesamtgehalte der untersuchten Elemente in mg/kg TM

* Unmittelbar in der Umgebung des Profils 2 ist der Boden großflächig von einem 5 cm mächtigen, mineralischen, grauen Auflagehorizont (yIC-L) überlagert. Obwohl dem Profil 2 dieser Horizont aktuell fehlt soll dieser Auflagehorizont berücksichtigt werden und wird als Horizont 1* des Profils 2 bezeichnet.

Profil 2 bietet ein sehr einheitliches Bild wenn man die Gesamtgehalte betrachtet. Für die Elemente As, Cd, Cu, Fe, Pb, Zn (und U) gilt die Regel: Horizont 1* (yIC-L): sehr viel, Horizont 1 (aAh): um ein Vielfaches niedriger als Horizont 1*, Horizont 2 (aGo-aM): wiederum um ein Vielfaches niedriger als Horizont 1. Besonders ausgeprägt ist dies bei Cu, Fe, Pb, Zn und Cd. Ausnahmen sind Cr und Ni, bei denen im Horizont 1* die Gehalte jeweils ca. die Hälfte von jenen im Horizont 1 betragen. Der pH-Wert bleibt über die gesamte Tiefe des Profils bei 2,3 bis 2,4. Die Humusgehalte liegen in Horizont 1 fast 3 mal höher als in Horizont 1*. Im Horizont 2 nimmt er auf 0,8 % ab (s. S. 61, Tabelle 21).

Profil 4

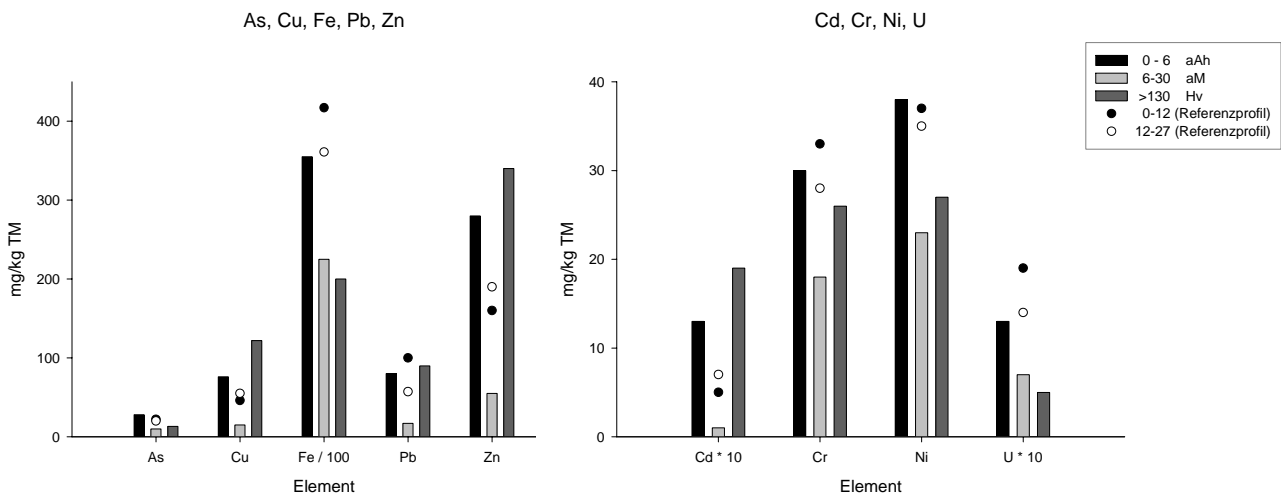


Abbildung 7: Profil 4 - Gesamtgehalte der untersuchten Elemente in mg/kg TM

Aufgrund des hohen Steingehalts konnte in den Horizonten a1C1 und a1C2 nicht genug repräsentative Feinerde gewonnen werden, um die Proben im Labor auf SM zu untersuchen. Vom aAh- in den aM-Horizont nehmen die Gesamtgehalte der untersuchten Elemente stark ab. Im Hv-Horizont liegen die Gesamtgehalte wiederum auf ähnlichem Niveau wie im aAh-Horizont. Nur bei Fe und U findet man im Hv-Horizont geringere Gehalte als im aM. Die pH-Werte liegen bei 6,4 (aAh) und 6,7 (aM), im Hv-Horizont <6. Der aAh-Horizont hat einen Humusgehalt von fast 13 %. Im aM-Horizont fällt dieser auf <1 %. Im Hv-Horizont liegt der Humusgehalt bei 35 % (s. S. 62, Tabelle 22).

Profil 5

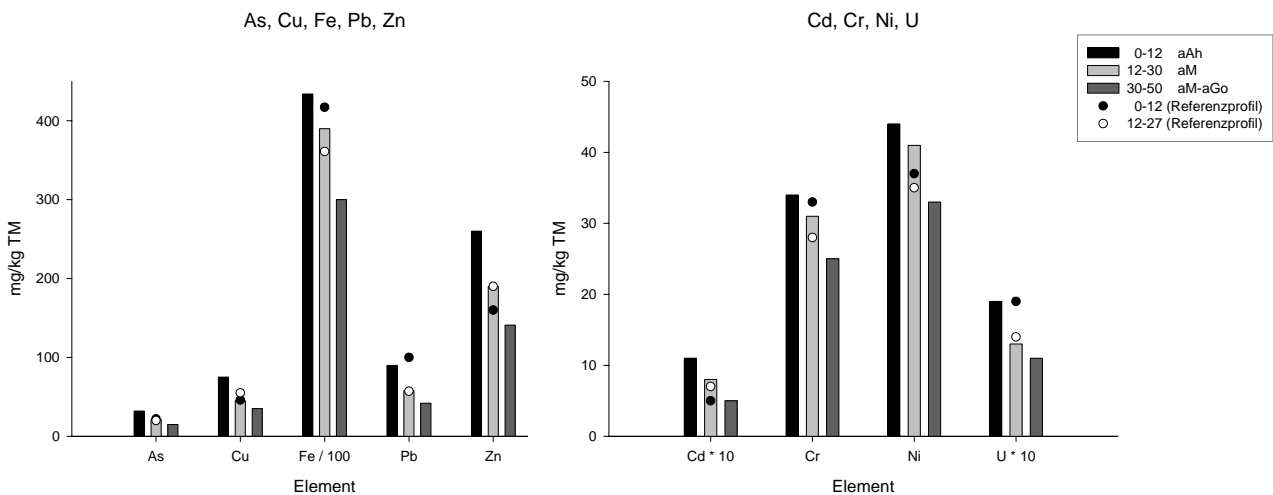


Abbildung 8: Profil 5 - Gesamtgehalte der untersuchten Elemente in mg/kg TM

Über die ersten 3 Horizonte nehmen die Gesamtgehalte aller Elemente (annähernd linear) ab. Die pH-Werte steigen von 6 auf 6,6. Die Humusgehalte nehmen von 7,4 auf 2,4 % ab (s. S. 62, Tabelle 23). Aus den tieferliegenden Horizonten konnte man aufgrund des hohen Anteils an Bodenskelett nicht ausreichend repräsentative Feinerde gewinnen um nähere Untersuchungen im Labor durchzuführen.

5.2 Ergebnisse des Transekts Novaç-Vaserul:

Humusgehalte, Korngrößen und pH-Werte

Die Humusgehalte des ersten Oberbodens (Profile und Spatenproben Transekt) liegen im oberen Flussabschnitt zwischen 0,3 und 7%. Im Mittel schwanken die Werte über den gesamten Transekt zwischen 1,5 und 5%. Die mineralischen SM-Schlammauflagen enthalten Humusgehalte von unter 1%.

Die Korngrößenuntersuchung anhand von Fingerproben vor Ort zeigt, dass die Oberböden entlang des Flusssystemes überwiegend aus sandigem Material bestehen.

Ausgewählte Proben wurden zusätzlich mit dem Laserbeugungsspektrometer bestimmt. Diese Ergebnisse bestätigen die Fingerproben und verdeutlichen besonders die niedrigen Tongehalte der Proben. Der Schluffanteil aller Proben liegt über 26%. Die Sandgehalte schwanken zwischen 41 und 72%. Damit bestehen 10 der 11 mit dem Laserbeugungsspektrometer untersuchten Proben aus der Hauptbodenart Sand.

Insgesamt sind die Schluffgehalte am Novaç-Staudamm höher als im Verlauf des Transekts flussabwärts. Aus den Proben direkt am Staudamm kann man erkennen, dass der belastete Schlamm zu über 50% Schluff enthält.

Die pH-Werte zeigen, dass vor allem im oberen Flussabschnitt (ca. erste 7 km) die Werte bei einem pH (CaCl₂) von 2,6 liegen. Im weiteren Verlauf des Flusses liegen die Werte im Durchschnitt bei pH (CaCl₂) 5,1 wobei die Werte zwischen pH 2,5 und pH 7 schwanken.

In den Böden ist ein hoher Anteil an Eisenoxiden enthalten (visueller Eindruck). Im Rahmen dieser Arbeit wurden diese Oxide allerdings nicht bestimmt.

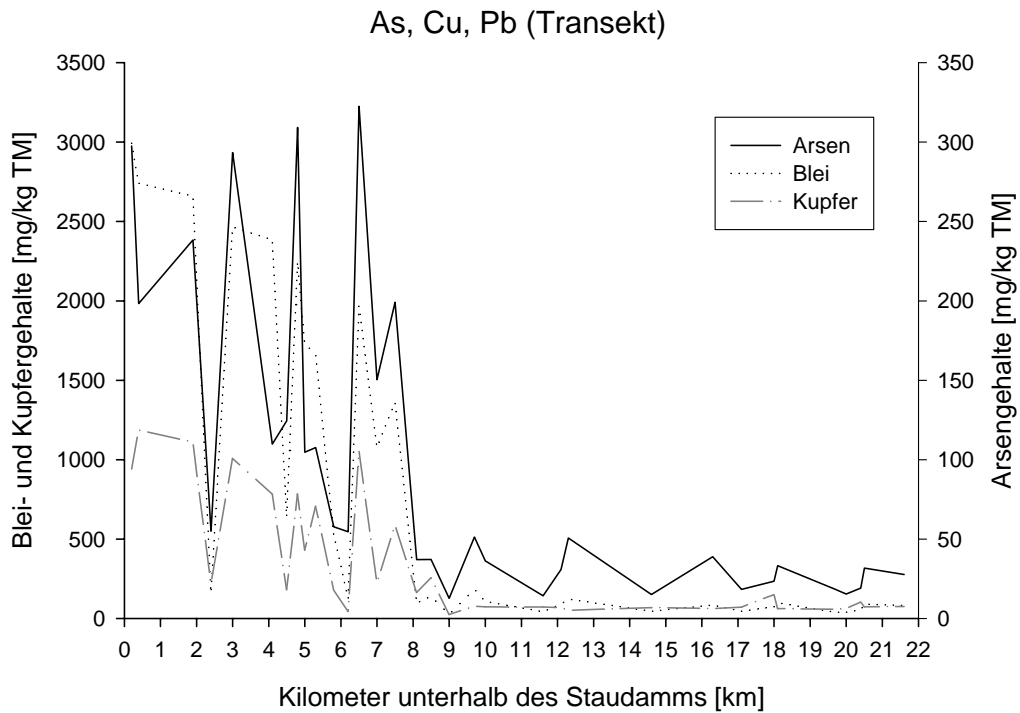


Abb.9 Vergleich der Gesamtgehalte von Arsen, Kupfer und Blei entlang des Transekts Novat-Vaserul ab dem Staudamm bis nach Viseu de Sus

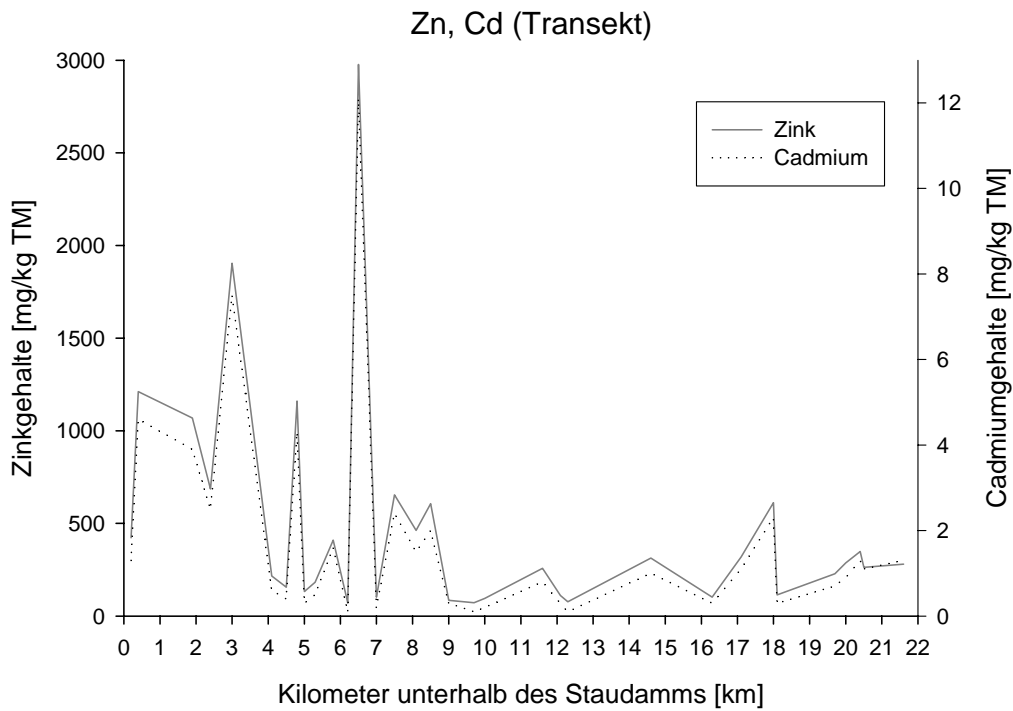


Abb.10 Vergleich der Gesamtgehalte von Zink und Cadmium entlang des Transekts Novat-Vaserul ab dem Staudamm bis nach Viseu de Sus

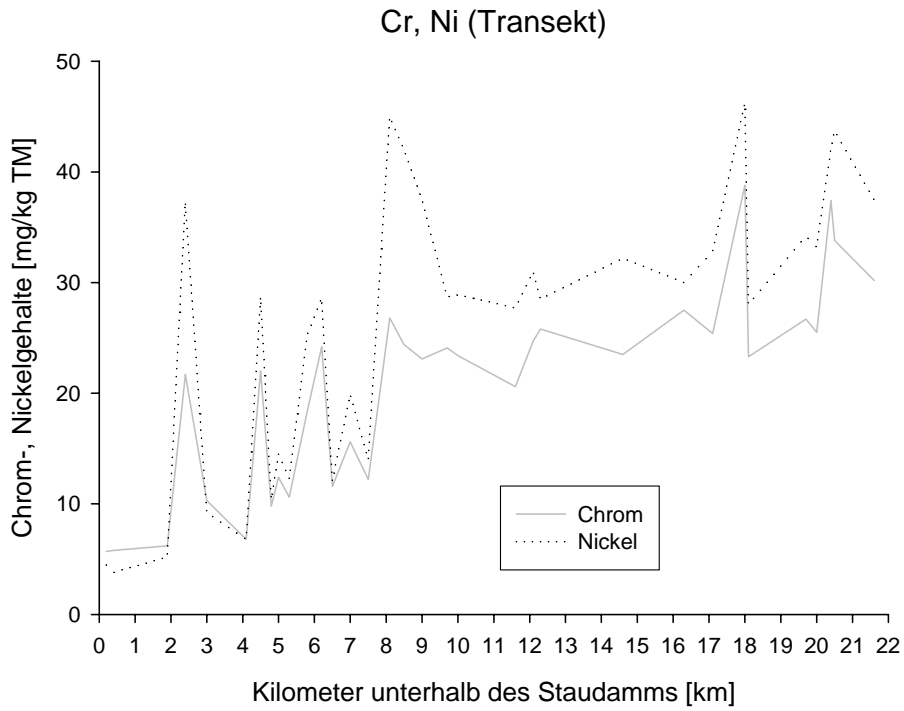


Abb.11 Vergleich der Gesamtgehalte von Chrom und Nickel entlang des Transekts Novat-Vaserul ab dem Staudamm bis nach Viseu de Sus

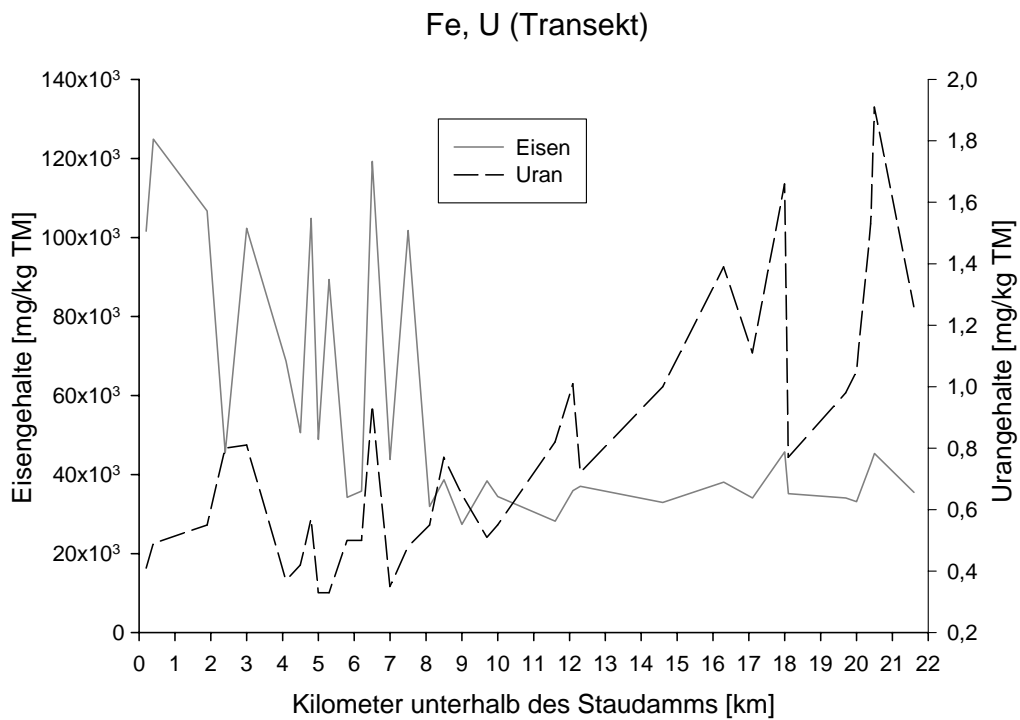


Abb.12 Vergleich der Gesamtgehalte von Eisen und Uran entlang des Transekts Novat-Vaserul ab dem Staudamm bis nach Viseu de Sus

Anmerkungen zu den Diagrammen S. 24f. Abb. 9-12:

As, Cu, Pb:

Die Gesamtgehalte der drei Elemente entlang des Transeks Novat-Vaserul lassen sich in 2 Abschnitte einteilen. Auf den ersten 8 km sind die Gehalte elementspezifisch und alternierend erhöht bis stark erhöht. As: 55-298 (Ø175) mg/kg TM, Pb: 127-2993 (Ø 1650) mg/kg TM, Cu: 45-1186 (Ø 629) mg/kg TM.

Ab Kilometer 8 fallen die Gehalte auf wesentlich niedrigere Werte und alternieren um ein gleichbleibendes Niveau bis Kilometer 22. As: 13-51 (Ø 28) mg/kg TM, Pb: 26-139 (Ø 82) mg/kg TM, Cu: 26-255 (Ø 117) mg/kg TM.

Cd, Zn:

Bei dem Kurvenverlauf dieser beiden Elemente kann man etwas stärker differenzieren. Auf den ersten 3 Kilometern ist ein starker Anstieg der Gehalte erkennbar. Zn: von 423 auf 1904 mg/kg TM, Cd: von 1,3 auf 7,5 mg/kg TM. Ab Kilometer 4 gibt es eine starke Depression der Gehalte, die bis Kilometer 7 vorliegt. Zn: 102-409 (Ø 181), Cd: 0,1-1,6 (Ø 0,5) mg/kg TM. Allerdings gibt es in diesem Bereich bei den Kilometerpunkten 4,8 (Zn: 1160 mg/kg TM, Cd: 4,3 mg/kg TM) und 6,5 (Zn: 2977 mg/kg TM, Cd: 12,1 mg/kg TM) zwei starke Piks nach oben. Nach Kilometer 7 steigen die Gehalte für die nächsten zwei Kilometer an (Ø Zn: 575 mg/kg TM, Ø Cd: 2 mg/kg TM), um dann ab Kilometer 9 auf ein niedriges Niveau abzufallen. Im weiteren Verlauf ist dann wiederum ein leichter Anstieg der Gehalte bis zum Ende der Messstrecke erkennbar. Zn: 71-612 (Ø 220) mg/kg TM, Cd: 0,1-2,3 (Ø 0,7) mg/kg TM.

Cr, Ni:

Bei Cr und Ni kann man über den gesamten Verlauf des Transeks eine starke Zunahme der Gehalte erkennen. Direkt am Staudamm liegen die Werte für Cr bei 6 mg/kg TM und für Ni: 4 mg/kg. Nach 22 Kilometern liegen die Gehalte von Cr bei etwa 32 mg/kg TM, jene von Ni bei etwa 38 mg/kg TM.

Besonders beim Ni kann man mehrere starke Piks im Verlauf des Transeks erkennen. Auch im Oberlauf werden dabei mehrfach Werte von über 37 bis 45 mg(Ni)/kg TM erreicht.

Fe, U:

Den Verlauf der Gehalte von Fe kann man entlang des Transeks grob in 2 Abschnitte einteilen. Dabei findet man auf den ersten 7 km alternierend hohe Gehalte und Gehalte, die nur etwas höher liegen, als jene die ab Kilometer 8 anzutreffen sind (34200-124900 (Ø 72600) mg/kg TM). Ab Kilometer 8 alternieren die Gehalte um einen Durchschnittswert von 34650 mg/kg TM.

6. Diskussion und Bewertung:

6.1 Bewertungsgrundlagen

Geogene Hintergrundgehalte:

Der Hintergrundgehalt eines Bodens setzt sich zusammen aus dem geogenen Grundgehalt (= aus dem Ausgangsgestein stammender Stoffbestand) und den ubiquitären Einträgen. Böden mit naturbedingt erhöhten Hintergrundgehalten gelten als unbedenklich, soweit eine Freisetzung der Schadstoffe oder zusätzliche Einträge keine nachteiligen Wirkungen auf die Bodenfunktionen erwarten lassen. Wegen der starken pH-Abhängigkeit der SM-Mobilität gelten für Böden der Bodenart Ton bei pH-Werten <6 für Cd, Ni und Zn die Vorsorgewerte der Bodenart Lehm/Schluff. Für Böden der Bodenart Lehm/Schluff gelten dann jene der Bodenart Sand (Scheffer/Schachtschabel, 2002: 361).

Im gesamten Transekt kommen fast ausschließlich pH-Werte unter 6 vor. Häufig und vor allem auf den ersten 7 km unterhalb des Staudamms liegen sie sogar unterhalb pH 3. Die vorherrschende Hauptbodenart ist fast ausschließlich Sand, in Einzelfällen Schluff.

In dieser Arbeit werden zur Bewertung die Vorsorgewerte der BBodSchV für sandige Böden angewendet.

| Element | Übliche Gehalte [mg/kg TM] in Böden des gemäßigten Klimas |
|---------|---|
| Blei | 2-60 |
| Cadmium | <0,5 |
| Chrom | 5-100 |
| Kupfer | 2-40 |
| Nickel | 5-50 |
| Zink | 10-80 |
| Eisen | 2000-50000 |

Tabelle 1: Elementgehalte in unbelasteten Böden in Breiten mit gemäßigtem Klima (nach Wedepohl K.-H., 1984)

| Element | Normale Gehalte im Boden [mg/kg TM] |
|---------|-------------------------------------|
| Arsen | 1-20 |

Tabelle 2: Normale Gehalte von Arsen im Boden (nach Scheffer/Schachtschabel 2003: 363)

Um einen Einblick in die geogenen Hintergrundgehalte zu bekommen, werden die Elementgehalte unbelasteter Böden (Wedepohl K.-H., 1984) mit den Werten aus den Horizonten des potenziell unbelasteten Referenzprofils (Profil 3) verglichen. Dieses Profil liegt im Oberlauf der Vaserul ca. 4 km oberhalb der Einmündung des Novaț. Eine Kontamination mit SM durch das Unglück im März 2000 im Novațgraben ist also ausgeschlossen.

Bei Cd, Cu, Ni, Fe liegen die Analysenwerte des Referenzprofils an der oberen Grenze der üblichen geogenen Hintergrundgehalte. Bei Pb (100 mg/kg TM) und Zn (160 mg/kg TM) wird der übliche Grundgehalt um das Doppelte überschritten. Nur Cr (30 mg/kg TM) befindet sich im unteren Drittel allgemein üblicher Hintergrundgehalte unbelasteter Böden. Allerdings ist auch beim Referenzprofil eine länger zurückliegende Kontamination nicht auszuschließen, da im Oberlauf des Flusses früher auch Erzminen betrieben wurden. Die Gesamtgehalte der Elemente im Referenzprofil sind meist höher

als die jeweiligen Gehalte des am höchsten belasteten Horizonts der Profile 1, 2, 4 und 5. Es stellt sich deshalb die Frage, ob Profil 3 als Referenzprofil geeignet ist.

Die Schadstoffbewertung nimmt bei der Bewertung von Böden eine Schlüsselstellung ein. Letztendlich bestimmen die Prüfwerte für die einzelnen Schadstoffe den Handlungs- bzw. Sanierungsbedarf. Weder für die Republik Rumänien noch für die europäische Gemeinschaft existieren einheitliche Regelwerte bezüglich der Bewertung von SM in Böden. In der Bewertungspraxis sind die gesetzlichen Grundlagen das Bundesbodenschutzgesetz (BBodSchG) und die daraus resultierende Handlungsanweisung Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV), sowie parallel dazu das Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG) und die darauf aufbauende Klärschlamm- und Bioabfallverordnung (AbfKlärV, BioAbfV), die TA Abfall sowie die (noch) nicht rechtsverbindliche, aber allgemein anerkannte LAGA 20 (Mitteilung der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall, Heft 20). In dieser Arbeit werden die BBodSchV und ergänzend die *LAGA 20* (Zuordnungswert Feststoff/Eluat Boden) als Bewertungsgrundlage verwendet.

In der BBodSchV erfolgt die Einteilung in drei Risikobereiche. Hier werden neben den Vorsorgewerten für Böden, Prüfwerte und Maßnahmenwerte für Böden unter Ackerbau und Gartenbau, sowie Maßnahmenwerte für Grünland festgelegt, die den Wirkungsgrad Boden – Nutzpflanze repräsentieren (Scheffer/Schachtschabel (2002): 361).

„Die Bewertung von schädlichen Bodenveränderungen, von Verdachtsflächen, von altlastenverdächtigen Flächen und von Altlasten ist in der *Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung* (BBodSchV, 1999) geregelt. In dieser aufgrund des Bundes-Bodenschutzgesetzes erlassenen Rechtsverordnung sind für zahlreiche Stoffe Maßnahmen-, Prüf- und Vorsorgewerte festgelegt (§8).

Maßnahmenwerte („Interventionswerte“) sind Konzentrationen, bei deren Überschreitung unter Berücksichtigung der jeweiligen Bodenveränderungen oder von einer Altlast auszugehen ist und Maßnahmen (z.B. Sanierung) erforderlich sind. Wenn die *Prüfwerte* überschritten werden, ist im Einzelfall unter Berücksichtigung der Bodennutzung festzustellen, ob eine schädliche Bodenveränderung oder Altlast vorliegt. *Vorsorgewerte* schließlich sind Bodenwerte, bei deren Überschreiten die Besorgnis einer schädlichen Bodenveränderung besteht.

Bei der *Bodennutzung*, die bei den Maßnahmen- und Prüfwerten berücksichtigt wird, werden vier Bereiche unterschieden (Kinderspielflächen, Wohngebiete, Park- und Freizeitanlagen, Industrie- und Gewerbegrundstücke), für die verschiedene Werte festgelegt sind.“ (Bliefert C., 2002: 372).

Einige Prüf- und Maßnahmenwerte:

| Ackerbau, Nutzgarten | | | |
|----------------------|---------------------------------|----------|---------------|
| Stoff | Methode* | Prüfwert | Maßnahmenwert |
| Arsen | KW | 200** | - |
| Cadmium | NH ₄ NO ₃ | - | 0,04/0,1*** |
| Blei | NH ₄ NO ₃ | 0,1 | - |
| Arsen | NH ₄ NO ₃ | 0,4**** | - |
| Kupfer | NH ₄ NO ₃ | 1**** | - |
| Nickel | NH ₄ NO ₃ | 1,5**** | - |
| Zink | NH ₄ NO ₃ | 2**** | - |

Tabelle 3: Prüf- und Maßnahmenwerte nach §8 Abs. 1 Satz 2 Nr. 1 und 2 des BBodSchG (1998)

für den Schadstoffübergang Boden – Nutzpflanze auf Ackerbauflächen und Nutzpflanzen im Hinblick auf die Pflanzenqualität in mg/kg TM, Feinboden (BBodSchV, 1999)

* Extraktionsverfahren für Arsen und Schwermetalle

** Bei Böden mit zeitweise reduzierenden Verhältnissen gilt ein Prüfwert von **50mg/kg TM**

*** Auf Flächen mit Brotweizenanbau oder Anbau stark Cd-anreichernder Gemüsearten gilt als Maßnahmenwert 0,1 mg/kg TM

**** Prüfwerte nach § 8 Abs.1 Satz 2 Nr. 1 des BBodSchG (1998) für den Schadstoffübergang Boden – Pflanze nur auf Ackerbauflächen

Vorsorgewerte nach BBodSchV:

| Bodenart | Cadmium | Blei | Chrom | Kupfer | Nickel | Zink |
|--|---|------|-------|--------|--------|------|
| Ton | 1,5 | 100 | 100 | 60 | 70 | 200 |
| Lehm/Schluff | 1 | 70 | 60 | 40 | 50 | 150 |
| Sand | 0,4 | 40 | 30 | 20 | 15 | 60 |
| Böden mit naturbedingt und großflächig siedlungsbedingt erhöhten Hintergrundgehalten | Unbedenklich, soweit eine Freisetzung der Schadstoffe oder zusätzliche Einträge nach §8 Abs. 2 und 3 dieser Verordnung keine nachteiligen Auswirkungen auf die Bodenfunktionen erwarten lassen. | | | | | |

Tabelle 4: Vorsorgewerte für Metalle nach BBodSchV (1999) im mg/kg TM, Feinboden, Königswasseraufschluss

Die Prüf-, Vorsorge- und Maßnahmenwerte der BBodSchV sind bis zu Humusgehalten von 8% anwendbar (BBodSchV, 1999).

Die LAGA 20 bezieht sich im Sinne eines vorsorgenden Umweltschutzes auf den Einbau mineralischer Altlasten und Abfälle bei Baumaßnahmen und will sicherstellen, dass es nicht zur Besorgnis schädlicher Verunreinigungen des Grundwassers, des Entstehens einer schädlichen Bodenveränderung und zu keiner Schadstoffanreicherung kommt. In der LAGA 20 wird unter 6 Zuordnungswerten unterschieden: Z0 – Z5. Dabei gelten Stoffe mit einer Belastung bis Z0 als uneingeschränkt einbaubar. Innerhalb des Zuordnungswertes 1 (Z1.1, Z1.2) dürfen die Abfälle für den Einbau verwertet werden. Dabei müssen allerdings teilweise technische Sicherheitsmaßnahmen

eingehalten werden. Ab dem Zuordnungswert Z2 sind die mineralischen Abfälle in Deponien abzulagern und somit als ökologisch bedenklich einzustufen. Die beprobten Böden sind zwar nicht durch bauliche Maßnahmen mit SM belastet, doch die durch das Unglück freigesetzten Schlämme sind mineralische Abfälle aus Bergbautätigkeiten.

Zuordnungswerte Feststoff für Boden

| Parameter | Dimension | Zuordnungswert | | | |
|--------------|-----------|----------------|-------|-------|------|
| | | Z 0 | Z 1.1 | Z 1.2 | Z 2 |
| Arsen | mg/kg TM | 20 | 30 | 50 | 150 |
| Blei | mg/kg TM | 100 | 200 | 300 | 1000 |
| Cadmium | mg/kg TM | 0,6 | 1 | 3 | 10 |
| Chrom (ges.) | mg/kg TM | 50 | 100 | 200 | 600 |
| Kupfer | mg/kg TM | 40 | 100 | 200 | 600 |
| Nickel | mg/kg TM | 40 | 100 | 200 | 600 |
| Zink | mg/kg TM | 120 | 300 | 500 | 1500 |

Tabelle 5: Zuordnungswerte Feststoff für Boden nach LAGA Mitteilung Abfall 20 (1998), Königswasseraufschluss

Zuordnungswerte Eluat für Boden

| Parameter | Dimension | Zuordnungswert | | | |
|--------------|-----------|----------------|-------|-------|-----|
| | | Z 0 | Z 1.1 | Z 1.2 | Z 2 |
| Arsen | µg/l | 10 | 10 | 40 | 60 |
| Blei | µg/l | 20 | 40 | 100 | 200 |
| Cadmium | µg/l | 2 | 2 | 5 | 10 |
| Chrom (ges.) | µg/l | 15 | 30 | 75 | 150 |
| Kupfer | µg/l | 50 | 50 | 150 | 300 |
| Nickel | µg/l | 40 | 50 | 150 | 200 |
| Zink | µg/l | 100 | 100 | 300 | 600 |

Tabelle 6: Zuordnungswerte Eluat für Boden nach LAGA Mitteilung Abfall 20 (1998)

Tabelle 11 wurde im Rahmen dieser Arbeit nicht angewendet und ist nur zur Information gedacht.

Die Bewertung der Analyseergebnisse wurde in folgende Schritte gegliedert:

Zunächst wurden für die einzelnen Elemente die geogenen Hintergrundwerte aufgezeigt, anschließend die analysierten SM-Gehalte mit den Soll-Werten verglichen und nach "Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung" (BBodSchV) und ergänzend „Mitteilungen der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall 20“ (LAGA)) bewertet.

Mobilität und Verfügbarkeit von Schwermetallen:

Die Schlüsseleigenschaften der Böden für die Verfügbarkeit von SM sind die Bodenreaktion, der Gehalt an organischem Material, die Bodenart und Tonmineralien, Oxide des Eisens und Mangans, sowie Oxidations- und Reduktionsprozesse in Böden (Alloway et al., 1999: 12).

Briefert (2002): 271 zeigt, dass mit sinkenden pH-Werten der Anteil der SM in der Bodenlösung, verglichen mit dem Gesamtgehalt im Boden, stark ansteigt. Dabei ist die relative Bindungsstärke (FSM) ein Maß für die Stärke der Bindung von Schwermetallionen an die Bodenmatrix (Scheffer/Schachtschabel, 2002). Die FSM wird maßgeblich vom pH-Wert beeinflusst. Dabei zeigt

sich, dass Cadmium schon bei einem pH-Wert von 6,5 in die Lösungsphase übergeht und bei einem pH-Wert von 2,5 vollständig in der Bodenlösung vorliegt. Bei einem pH-Wert von 5 sind nur noch Blei und Eisen vollständig an die Matrix gebunden. Ab einem pH-Wert <4 gehen alle untersuchten Schwermetalle in die Lösungsphase über. Korrigierenden Einfluss können dabei Humus- und Tongehalt, der Oxidgehalt und der Grundwasserstand der Böden unter der Oberfläche haben. Humusgehalte nehmen erst ab einem Gehalt von $>2\%$ einen Einfluss auf die Fixierung durch Komplexe und das auch erst ab einer mittleren FSM. Die Bodenart hat bei sandigen Böden keinen Einfluss auf eine Verbesserung der FSM. Ein bedeutender Faktor ist der Oxidgehalt und der Eisengehalt der Böden, sofern Hue $\leq 7,5$ YR und Chroma/Value ≥ 1 . Auch die Einwirkung des Grundwasserspiegels hat Einfluss auf die Mobilität von SM. Allerdings liegt auch hier eine Abhängigkeit von der FSM vor. Liegen im Boden geringe relative Bindungsstärken vor, so ist die Mobilität unabhängig vom Grundwasserstand hoch. Bei Grundwasserständen $<0,4\text{m}$ werden allerdings, trotz starker Bindung an die Bodenmatrix, die SM stark mobilisiert (Scheffer/Schachtschabel, 2002).

6.2 Bewertung der Profile:

Profil 1

Bei dem mineralischen, grauen (gelb gefleckten) yIC1-Horizonts handelt es sich um eine Ablagerungsschicht, die aus den Schwermetallschlämmen des besagten Rückhaltebeckens stammen und nach dem Dammbuch mit der resultierenden Flutwelle und dem Frühjahrshochwasser talabwärts transportiert wurde. In den SM-Schlämmen liegen die SM sulfidisch gebunden vor (z.B. ZnS, PbS, Cu₂S, Fe₂S). Besonders durch vertikale Wasserbewegungen (Niederschlag) kommt es dabei zur Bildung von schwefliger Säure und Schwefelsäure. Durch Dissoziation werden Protonen frei. Dabei kommt es zu starker Versauerung der Bodenreaktion und somit zu einer starken Mobilisierung der SM. (siehe Mobilität und Verfügbarkeit von SM). Über die Profiltiefe steigt der pH-Wert von 2,2 auf 3,6 an. Insgesamt ist das gesamte Profil damit als extrem sauer zu bewerten (Scheffer/Schachtschabel, 2002: 129). Die kontinuierliche Zunahme des pH-Werts lässt auf eine fortschreitende Versauerung von oben nach unten schließen. Dies ist mit einem vorwiegend vertikalen Wassertransport zu erklären (Niederschlag). Das Flusswasser selbst hat einen pH-Wert im neutralen Bereich (pH(H₂O) 7). Die starke Schädigung der Jungerlen, das Fehlen von Bodenvegetation und von Pionierpflanzen/Keimlingen zeigt, dass der Lebensraum durch die Kontamination stark belastet ist. Es ist jedoch nicht geklärt, ob die hohe Belastung mit Schwermetallen dafür ausschlaggebend ist, oder ob allein der stark saure pH-Wert hierfür verantwortlich ist.

As:

In den zwei oberen Horizonten überschreiten die As-Gesamtgehalte den Prüfwert/Ackerbau der BBodSchV (50 mg/kg TM) deutlich. Es liegen um ein vielfaches höhere As-Gesamtgehalte vor als in den Horizonten drei und vier, wo sie mit 6,5 und 17 mg/kg TM zwar deutlich über dem Vorsorgewert Sand liegen, jedoch unter den im Referenzprofil angetroffenen Vergleichswerten (20,4 mg/kg TM).

Eine Verlagerung der SM aus dem yIC1 in den aAh scheint gegeben, da hier eine deutliche Schwelle erkennbar ist. Durch die höheren Humusgehalte werden die im yIC1 mobilisierten Fraktionen im aAh fixiert.

Cd:

Die Analysenwerte von allen vier beprobten Horizonten liegen deutlich unter dem Grenzwert LAGA Z2 (10mg/kg TM) und der BBodSchV MW/Grünland (20mg/kg TM). Mit 0,6 mg/kg TM ist der Gehalt des ersten Horizonts fast vier mal höher als in den Horizonten zwei und drei. Der vierte Horizont weist einen Cd-Gesamtgehalte von über 1 mg/kg TM auf. Allerdings kann man auch beim Referenzprofil einen nach unten ansteigenden Gehalt an Cd erkennen. Es ist auch denkbar, dass sich Cd im vierten Horizont angereichert hat, denn Cadmium geht schon ab pH-Werten von 6,5 in die Lösungsphase über und wird unter den hiesigen, sauren Bedingungen (mit Sicherheit lagen die pH-Werte schon vor der Katastrophe unter <6,5 – typisch für Waldböden) bevorzugt verlagert. Damit ist in den Horizonten eins und vier der Vorsorgewert für die Hauptbodenart Sand (BBodSchV) überschritten.

Cu, Fe, Pb:

Bei allen 3 Elementen findet man im ersten Horizont, der vermutlich ein Auflagehorizont aus den im März 2003 freigesetzten SM-Schlämmen ist, deutlich höhere Gesamtgehalte als in den darunter liegenden Horizonten. Bei Pb und Cu werden der Grenzwert LAGA Z2 (Cu, Pb) und der Maßnahmenwert (MW)/Grünland der BBodSchV (Pb) im 1. Horizont überschritten.

Die Cu-Gesamtgehalte sind im vierten Horizont sechs mal höher als der Referenzwert aus Profil 3. Nur im dritten Horizont übersteigen die Cu-Gesamtgehalte den Vorsorgewert Sand nicht. Dabei ist zu beachten, dass Referenzprofil 3 als Grünland genutzt wird. Die pH-Werte liegen zwischen 4,5 und 5 und somit wesentlich höher. Die sauren pH-Werte in Profil 1 erlauben also eine wesentlich stärkere Anreicherung im tieferliegenden Horizont innerhalb kürzerer Zeiträume. Vom yIC1 ist eine beginnende Verlagerung in den aAh erkennbar.

Anhand der Pb-Gehalte ist zu vermuten, dass seit der Ablagerung des Schlammes keine vertikale Verlagerung von Blei stattgefunden hat. Die Gehalte in den drei unteren Horizonten sind sehr homogen und die Vorsorgewerte für Böden mit der Hauptbodenart Sand sind nicht überschritten. Im ersten Horizont werden allerdings der Grenzwert LAGA Z2 und der MW/Grünland der BBodSchV deutlich überschritten.

Ähnlich lässt sich dies auch anhand der Fe-Gesamtgehalte vermuten. Man findet einen erhöhten Wert im yIC1 aufgrund des Fe-Reichtums der SM-Schlämme, die tieferliegenden Horizonte sind wesentlich ärmer an Fe. Eisen geht schlechter als andere Schwermetalle in die lösliche Phase über und oxidiert bei ausreichendem Sauerstoffangebot zu Eisenoxiden und Eisenhydroxiden (gelbe Flecken im yIC1-Horizont). Der verhältnismäßig niedrige Wert im dritten Horizont könnte aus einer Fehleinschätzung der Skelettgehalte und Hohlräume herrühren. Insgesamt weichen die Gesamtgehalte jedoch nicht gravierend von den Werten des Referenzprofils ab. Mit 70000 mg/kg TM ist auch der Wert des ersten Horizonts nicht erschreckend hoch für ein Gebiet in dem Bergbau betrieben wird.

Cr, Ni:

Cr und Ni weisen über die Horizonte betrachtet ein ähnliches Verteilungsschema der Gesamtgehalte auf. Auf einen Horizont mit niedrigeren Gehalten folgt ein Horizont mit erhöhten Gehalten. Dabei werden die Vorsorgewerte Sand (BBodSchV) jeweils im angereicherten Horizont überschritten. In einem Auensystem ist es denkbar, dass sich mit unterschiedlichen Hochwässern auch Horizonte mit unterschiedlichen Gehalten abgelagert haben. Denkbar ist auch eine bereits ablaufende Verlagerung aus dem oberen Horizont in den darunter liegenden. So könnten die im Horizont eins ausgewaschenen Fraktionen durch die höheren Humusgehalte im tiefer liegenden Horizont gebunden worden sein. Aber auch schon länger zurückliegende Katastrophen, die sich in parallelen Ablagerungsschichten bemerkbar machen sind nicht undenkbar. Des weiteren ist eine generelle Armut der Schlämme an Cr und Ni denkbar, was ein Hinweis auf den Abbau dieser SM in den Minen sein könnte. Die Analyseergebnisse aller Horizonte liegen deutlich unter dem Grenzwert LAGA Z2 und dem MW/Grünland der BBodSchV.

U:

Die Urangehalte nehmen mit der Profiltiefe zu. Mit <0,4 mg/kg TM in den oberen zwei Horizonten sind diese Gehalte als unbedenklich einzustufen. Überraschend ist allerdings der starke Anstieg im vierten Horizont auf >2 mg/kg TM. Die niedrigen Gehalte der Oberhorizonte könnte auf eine Verlagerung in den vierten Horizont hinweisen. Dies wird dadurch unterstützt, dass im Referenzprofil etwas niedrigere Gehalte angetroffen wurden. Gehalte unter 5 mg/kg TM sind geogen (Alloway et al., 1999: 371).

Zn:

Die Analysenwerte liegen deutlich unter dem Grenzwert LAGA Z2 (1500 mg/kg TM). In den Horizonten eins und vier sind die Werte allerdings >200 mg/kg TM und damit etwas höher als die Werte aus dem Referenzprofil 3. Im zweiten Horizont liegt der Messwert bei 75,5 mg/kg TM und damit doppelt so hoch als im Horizont drei, welcher als einziger Horizont den Vorsorgewert Sand

(BBodSchV) nicht überschreitet. Der erhöhte Wert im zweiten Horizont kann durch Verlagerung von Zink aus dem ersten in den zweiten Horizont entstanden sein. Denn Zink beginnt ab pH-Werten <6 in die Lösungsphase überzugehen. Auch die Anreicherung im vierten Horizont ist so erklärbar.

Pflanzenverfügbare SM-Fractionen:

Unbedenklich sind die mobilen Gehalte von U, Cr und Ni. Für U und Cr liegt kein Grenzwert vor und die Nickelgehalte unterschreiten den Prüfwert (BBodSchV) von 1,5 mg/kg TM in allen Horizonten.

Kritischer sind die Gehalte der anderen untersuchten Elemente zu betrachten:

Bei As ist der Prüfwert im ersten Horizont um das 35fache überschritten.

Bei Cd wird der *Maßnahmenwert* im ersten und im dritten Horizont überschritten.

Bei Cu, Pb und Zn werden in allen drei Horizonten die Prüfwerte überschritten. Im ersten Horizont jeweils deutlich.

Folgerung: Aus den hohen mobilen SM-Fractionen lässt sich die visuelle Schädigung der Pflanzen (Grünerlen) am Standort von Profil 1 sehr gut erklären. Ein weiterer Grund (vielleicht der Hauptgrund) für die Schädigung sind aber mit Sicherheit auch die niedrigen pH-Werte.

Profil 2:

Achtung: Der yIC-L Horizont ist ca. 50 cm neben dem Profil entnommen und wird deshalb Horizont 1* genannt. Hier war über dem Horizont 1 des Profils noch der für die SM-Schlämme charakteristische graue Horizont ca. 5 cm mächtig aufgelagert.

Dieser yIC-L Horizont entspricht dem yIC1 Horizont aus Profil 1. Wieder handelt es sich zweifellos um die durch den Dambruch freigesetzten Schwermetallschlämme. Der pH-Wert ist nahezu identisch (siehe hierzu Profil 1, S. 32). Offen bleibt die Frage, warum der Schlamm bei allen Elementen (außer Cu, Pb) bei Profil 2 wesentlich höher belastet ist als in Profil 1.

Eine mögliche Erklärung könnten die etwas höheren Humusgehalte im yIC-L sein. Sie könnten trotz der extrem sauren pH-Werte etwas mehr SM fixieren und so einer Verlagerung in tieferliegende Horizonte vorbeugen. Eine weitere Erklärung könnten die Korngrößenverteilungen geben. Allerdings wurden bei Profil 2 lediglich Fingerproben durchgeführt, die für den SM-Schlamm genau wie in Profil 1 sandiger Schluff ergab. Da SM vorwiegend an Ton und Schluff gebunden sind und nicht bzw. weniger an die Sandfraktion, könnte der Unterschied in den Gesamtgehalten hier zu finden sein.

Sulfidoxidation und daraus resultierende Säuren führen zu starker Versauerung des Bodens. Erstaunlich ist, dass trotz der niedrigen pH-Werte und den hohen SM-Gehalten keine Schäden an der Vegetation erkennbar sind. Jedenfalls nicht an den Grünerlen, die allerdings an diesem Standort auch wesentlich älter sind als am Standort bei Profil 1. Lediglich eine Streuschicht bedeckt den Boden. Eine Krautschicht fehlt vollständig. Besonders ist, dass ein Bittersüßer Nachtschatten (*Solanum dulcamara* L.) völlig unbeschadet zum Fruchten gekommen ist. Diese Spezies ist eher an Standorte mit höheren Lichtwerten (L7) angepasst, gegenüber der Bodenreaktion ist er indifferent (Ellenberg et al., 1992). Ein Zeichen, dass die Lichtverhältnisse an diesem Standort für eine Krautschicht ausreichend wären. Der Verdacht liegt nahe, dass die fehlende Krautschicht mit den aktuellen Bodenbedingungen im Zusammenhang steht.

Aufgrund der erhöhten SM-Gehalte und der niedrigen pH-Werte im Horizont 1 (aAh) liegt die Vermutung nahe, dass auch hier der graue SM-Schlamm aufgelagert war, allerdings mit einem der letzten Hochwässer erodiert wurde. Die im Horizont 1* (yIC-L) mobilisierten SM wurden im Horizont 1 (aAh) bei Humusgehalten von 3,3 Prozent wieder festgelegt. Die wesentlich niedrigeren SM-Gehalte im Horizont 2 (aGo-aM) sind so erklärbar. Der sehr saure pH-Wert 2,3 sollte allerdings eine weit größere Mobilität trotz der hohen Gehalte an Humus zulassen.

As:

In den Horizonten 1 und 1* werden der Grenzwert LAGA Z2 (nur 1*) und der MW/Grünland der BBodSchV (1 und 1*) überschritten. Im zweiten Horizont liegt der As-Gesamtgehalt lediglich noch bei 24,4 mg/kg TM und damit nur geringfügig höher als im Referenzprofil 3. Der Vorsorgewert Sand (BBodSchV) wird in allen 3 Horizonten überschritten.

Cd:

Die Gesamtgehalte liegen mit <2,5 mg/kg TM deutlich unter dem Grenzwert LAGA Z2 und dem MW/Grünland der BBodSchV. In den Horizonten 1 (0,31 mg/kg TM) und 2 (0,09 mg/kg TM) auch niedriger als die zur Referenz genommenen Werte aus Profil 3. Im Horizont 1* liegt der gemessene Wert bei 2,5 mg/kg TM, wodurch der Vorsorgewert Sand (BBodSchV) um das 6-fache überschritten wird. Trotz des sauren pH-Wertes wurde sehr wenig Cd in die unteren Horizonte verlagert. Ein großer Anteil könnte an den im SM-Schlamm vorhandenen Fe-Oxiden fixiert sein.

Cr, Ni:

Für beide Elemente liegen die Gesamtgehalte der Horizonte deutlich unter dem Grenzwert LAGA Z2 und dem MW/Grünland der BBodSchV. Auffällig ist für diese beiden Elemente der niedrigere Gesamtgehalt im Horizont 1* gegenüber dem Horizont 1. Weiter fällt auf, dass die Referenzwerte aus Profil 3 deutlich höher liegen als die Gesamtgehalte in Profil 2. Es zeigt sich, dass die SM-Schlämme an Chrom und Nickel stark verarmt sind, was mit einer Gewinnung dieser Metalle in den Minen erklärbar wäre. Allein für Ni wird im Horizont 1 der Vorsorgewert Sand überschritten. Die Gesamtgehalte liegen innerhalb der Spannweite, die als übliche geogene Hintergrundgehalte in humiden Klimaten (s.S. 27, Tabelle 1) angesehen werden.

Cu:

Der Gesamtgehalt an Cu entspricht im Horizont 1 den Referenzwerten aus Profil 3, wodurch allerdings der Vorsorgewert Sand schon überschritten wird. Horizont 1* weist hingegen einen 10mal so hohen Gesamtgehalt auf und liegt damit nur knapp unter dem Grenzwert LAGA Z2.

Fe:

Für Fe liegen keine praktikablen Grenzwerte vor. Die gemessenen Werte in den Horizonten 1 und 2 entsprechen den Referenzwerten aus Profil 3. Horizont 2 (aGo-aM) ist gegenüber dem aAh mit Fe angereichert, da wir uns im Grundwasseroxidationshorizont befinden und Fe ausfällt. Die hohen Gehalte im Horizont 1 (yIC-L) sind ebenfalls oxidisch festgelegt.

Pb:

Mit 1360 mg/kg TM im Horizont 1* werden der Grenzwert LAGA Z2 und der MW/Grünland der BBodSchV deutlich überschritten. Die Gehalte im Horizont 1 sind vergleichbar mit den Referenzwerten aus Profil 3. Dabei wird der Vorsorgewert Sand allerdings überschritten. Verblüffend ist der mit 7 mg/kg TM so niedrige Gesamtgehalt im Horizont 2 (aGo-aM).

U:

Über die Profiltiefe nehmen die Gesamtgehalte ab. Der graue Schlamm aus Horizont 1* weist wieder den höchsten Gehalt auf.

Die Werte liegen mit <0,5 mg/kg TM drei bis vier mal unter den Referenzwerten aus Profil 3. Die Gehalte sind als unbedenklich einzustufen.

Zn:

Die Zn-Gesamtgehalte des Horizontes 1 und 2 liegen deutlich unter den Gehalten im Referenzprofil 3. Im Horizont 1 wird trotzdem der Vorsorgewert Sand überschritten. Dennoch liegen sie im Rahmen der geogen zu erwartenden Hintergrundwerte (s. S. 27, Tabelle 1). Im Horizont 1* hingegen liegen die Zn-Gesamtgehalte bei 650 mg/kg TM und damit deutlich höher.

pH-Wert:

Der pH (CaCl₂) ist mit Werten von 2,3 und 2,4 über die Profiltiefe sehr konstant. Insgesamt ist dies als sehr sauer einzustufen. Im Vergleich zum Referenzprofil liegt er um 0,7 – 1,1 pH Einheiten tiefer.

Pflanzenverfügbare SM-Fractionen:

Das Gesamtbild ähnelt den Gehalten an ammoniumnitratextrahierbaren SM von Profil 1.

Unbedenklich sind die Gehalte der mobilen Fraktionen von U, Cr und Ni. Für U und Cr liegt kein Grenzwert vor und die Ni-Gehalte unterschreiten den Prüfwert (BBodSchV) von 1,5 mg/kg TM in allen Horizonten. (Vorsicht: im ersten Horizont wird der Prüfwert nur knapp verfehlt.)

Kritischer sind die Gehalte der anderen untersuchten Elemente zu betrachten:

Bei As ist der Prüfwert im ersten Horizont um das 80fache überschritten.

Bei Cd wird der Maßnahmenwert (AN: 0,1 mg/kg TM) im ersten (7fach) und im zweiten Horizont überschritten.

Bei Cu, Pb und Zn werden in allen 3 Horizonten die Prüfwerte überschritten. Im ersten Horizont jeweils deutlich. Dabei fällt auf, dass im Horizont 1* der Zinkgehalt an mobilem Zink eben so hoch ist wie der Zn-Gesamtgehalt im Referenzprofil 3.

Folgerung: Zwar lässt sich am Standort direkt keine direkte Schädigung der Pflanzen erkennen, jedoch sind die mobilen SM-Gehalte wesentlich höher als jene bei Profil 1. Die höhere Mobilität ist nur schlecht mit den pH-Werten zu erklären, da diese sich in den Profilen stark ähneln und zwischen 2 und 3 liegen.

Profil 3: „Referenzprofil“

Referenzprofil 3 dient der Ermittlung des geogenen Hintergrundwertes in den Tälern des Novař und der Vaserul. Das Profil wurde im Oberlauf der Vaserul gegraben, wo eine Kontamination des Bodens mit den SM-Schlämmen aus dem Staudammbruch am 10. März 2000 ausgeschlossen ist.

Das Profil ist 30 cm tief entwickelt und macht in diesem Bereich insgesamt einen sehr homogenen Eindruck. Der pH-Wert steigt über die Tiefe des Profils von 4,4 auf 4,8 und liegt damit im stark sauren Bereich. Auffallend ist, dass die Gesamtgehalte aller untersuchten Elemente (außer Cd, Cu und Zn) im ersten Horizont höher sind als im zweiten. Dabei ist der Konzentrationsunterschied bei Pb am größten. Da die auftretenden Pb-Verbindungen in der Umwelt äußerst gering löslich sind (Bliefert, 2002: 367), und der Grenz-pH-Wert von 4,0 bei dem die Mobilisierung des Pb beginnt noch nicht erreicht ist (Sauerbeck, 1985b), ist die Mobilität auch sehr gering. Die relative Anreicherung des Pb im ersten gegenüber dem zweiten Horizont lässt deshalb auch bei diesem Profil auf eine Kontamination mit SM schließen. Über die Herkunft kann allerdings nur spekuliert werden. Im Gegensatz dazu steht die Anreicherung von Zn und besonders Cd im zweiten Horizont gegenüber dem ersten. Cd und Zn werden mit Abstand am schlechtesten adsorbiert. Da der Grenz-pH (Cd: pH 6,5, Zn: pH 6-5,5) für beide SM unterschritten ist, können sie verstärkt in Lösung gehen und werden in tieferliegende Horizonte und aufgrund des geringen Abstands des Grundwasserstandes eventuell ins Grundwasser verlagert. Bei Cd, Cu, Pb und Zn sind die Gehalte zwar höher als sie für unbelastete Böden in den gemäßigten Breiten zu erwarten wären (s. S. 27, Tabelle 1), für ein Gebiet in dem Bergbau betrieben wird allerdings nicht ungewöhnlich. Die Vorsorgewert der BBodschV für Sandböden (s. S. 29, Tabelle

4) werden in diesem Profil für alle untersuchten Elemente (außer für As, Fe und U für die keine Werte vorliegen) überschritten. Für As blieb der Gesamtgehalt unter dem Prüfwert für Böden mit teilweise reduzierenden Bedingungen. Alle Gesamtgehalte blieben unter den Maßnahmenwerten der BBodSchV.

Profil 4:

Bei keinem der analysierten Elemente ist der Grenzwert LAGA Z2 und die MW/Grünland der BBodSchV überschritten oder auch nur annähernd erreicht. Aus landwirtschaftlicher Sicht sind nur die SM-Gehalte der beiden oberen Horizonte interessant. Der dritte untersuchte Horizont liegt zu tief (+120 cm). Wie schon in Profil 5 liegen die Gesamtgehalte von Fe und U in allen untersuchten Horizonten im Bereich der zu erwartenden geogenen Hintergrundwerte (s. S. 27, Tabelle 1). Für Cd, Cr, Cu, Pb und Zn werden die Vorsorgewerte Sand (BBodSchV) im ersten Horizont überschritten. Bei Cd, Cu, Pb und Zn liegen die Werte höher als es in Gebieten gemäßigter Klimate geogen zu erwarten wäre (s. S. 27, Tabelle 1). Die Zn-Gesamtgehalte sogar deutlich. Im zweiten Horizont sind die Gehalte im unbedenklichen Bereich. Die erhöhten Werte im ersten Horizont können auch anthropogen eingetragen sein und müssen nicht unbedingt von der Flutwelle im März 2003 herrühren. Allerdings wird der Bereich des Profils nach Aussagen des Besitzers bei starken Hochwassern überschwemmt. Die Gehalte von As und Ni liegen im ersten und zweiten Horizont über dem jeweiligen Vorsorgewert Sand (BBodSchV). Die As-Gehalte sind wie schon in Profil 5 um ein Vielfaches des Vorsorgewertes erhöht.

Die Analysendaten aus dem Horizont in 120 cm Tiefe sind für die Elemente As, Cd, Cu, Ni, Pb und Zn auch stark erhöht. Auf das Pflanzenwachstum hat dies keine Auswirkung. Wohl aber auf das Grundwasser. Die Trinkwasserversorgung funktioniert vorwiegend über Ziehbrunnen. Um dazu Aussagen zu treffen sind jedoch weitere Untersuchungen notwendig. Jedoch kann man davon ausgehen, dass bei einem Humusgehalt von über 30% die Schwermetalle gut an die Matrix gebunden sind.

Die pH-Werte der Horizonte liegen zwischen 6,7 und 5,7 und sind mit mäßig bis schwach sauer zu bewerten. Damit sind die pH-Werte in den oberen Horizonten gerade eben so hoch, dass die SM hauptsächlich in gebundener Form im Boden vorliegen müssten. In dem in 120 cm Tiefe liegenden Horizont liegt allerdings ein pH-Wert (CaCl₂) von <6 vor, was vor allem Cd – mobilisierend wirken könnte. Die äußerst hohen Humusgehalte wirken dieser Mobilisierung jedoch puffernd entgegen.

Profil 5:

Bei keinem der analysierten Elemente sind der Grenzwert LAGA Z2 und der MW/Grünland der BBodSchV überschritten oder auch nur annähernd erreicht. Bei den Elementen Fe und U liegen die Gesamtgehalte in allen untersuchten Horizonten im Bereich der zu erwartenden geogenen Hintergrundwerte (s. S. 27, Tab. 1). Für die Elemente Cd, Cu, Ni, Pb und Zn bleibt festzuhalten, dass die Vorsorgewerte Sand (BBodSchV) in den beprobten Horizonten überschritten sind. Selbiges gilt auch für As. Jedoch muss bemerkt werden, dass hier der Vorsorgewert bei diesem Element um ein Vielfaches überschritten wird und im ersten Horizont mit 32 mg/kg TM dem Maßnahmenwert der BBodSchV sehr nahe kommt. Die Cr-Gesamtgehalte überschreiten nur in den ersten beiden Horizonten den Vorsorgewert Sand. Im dritten Horizont fällt der Gesamtgehalt mit 25 mg/kg TM darunter. Allerdings muss man hierbei berücksichtigen, dass gerade die Horizonte 1 und 2 für die landwirtschaftliche Nutzung interessant sind. Weitere Untersuchungen auf die Pflanzenverfügbarkeit der SM in diesen Horizonten wären somit interessant.

Besonderheiten:

Die pH-Werte der Horizonte liegen zwischen 6,0 und 6,7 und liegen somit im schwach sauren Bereich. Besonders im ersten Horizont könnte dies eine erhöhte Verfügbarkeit von Cd bedeuten, da das Element bereits ab einem pH-Wert von 6,5 mobilisiert wird (Scheffer/Schachtschabel, 2002: 369).

6.3 Bewertung Transekt:

Gesamtgehalte (KW) wurden an allen Proben überprüft. Pflanzenverfügbare Fraktionen (AN) wurden nur an ausgewählten, besonders hoch belasteten Proben, überprüft.

Arsen

Prüfwerte: KW: 50 mg/kg TM (BBodSchV)
AN: 0,4 mg/kg TM (BBodSchV)
Vorsorgewert (Sand): KW: 0,4 mg/kg TM (BBodSchV)
Deponieklasse: KW: 150 mg/kg TM (LAGA Z2)
Hintergrundwert Profil 3: 23 mg/kg TM (KW)
Geogene Hintergrundgehalte: 1-20 mg/kg TM

Gesamtgehalte:

Die Gesamtgehalte liegen auf den ersten 7 km ausschließlich über dem Maßnahmenwert der BBodSchV, in 8 von 15 Proben liegen die Gesamtgehalte über 150 mg/kg TM bis über 300 mg/kg TM. Auf den Kilometern 8 bis 22 alternieren die Gesamtgehalte um den Referenzwert von 23 mg/kg TM aus Profil 3. Außer in 2 Fällen zwischen Kilometer 8 und 13 wird der kritische Wert von 50 mg/kg TM nicht mehr erreicht.

Pflanzenverfügbarkeit:

Die Gehalte an pflanzenverfügbarem Arsen sind in den untersuchten Proben sehr hoch und liegen in 6 der 9 untersuchten Proben über dem Vorsorgewert von 0,4 mg/kg TM (BBodSchV). In 2 Proben liegt der Wert um fast das 100fache erhöht. Dies ist direkt am Staudamm auch nicht verwunderlich. Eine der zwei Proben ist allerdings in 6 km Entfernung vom Staudamm genommen. Anhand der Farbe und der Bodenart kann man vermuten, dass es sich hier um die beim Unglück verlagerten SM-Schlämme handelt, die ungestört den Horizont 1* aus Profil 2 bilden.

Am beprobten Ackerstandort bei Kilometer 9,7 sind die pflanzenverfügbaren As-Fractionen 20 mal niedriger als der Vorsorgewert.

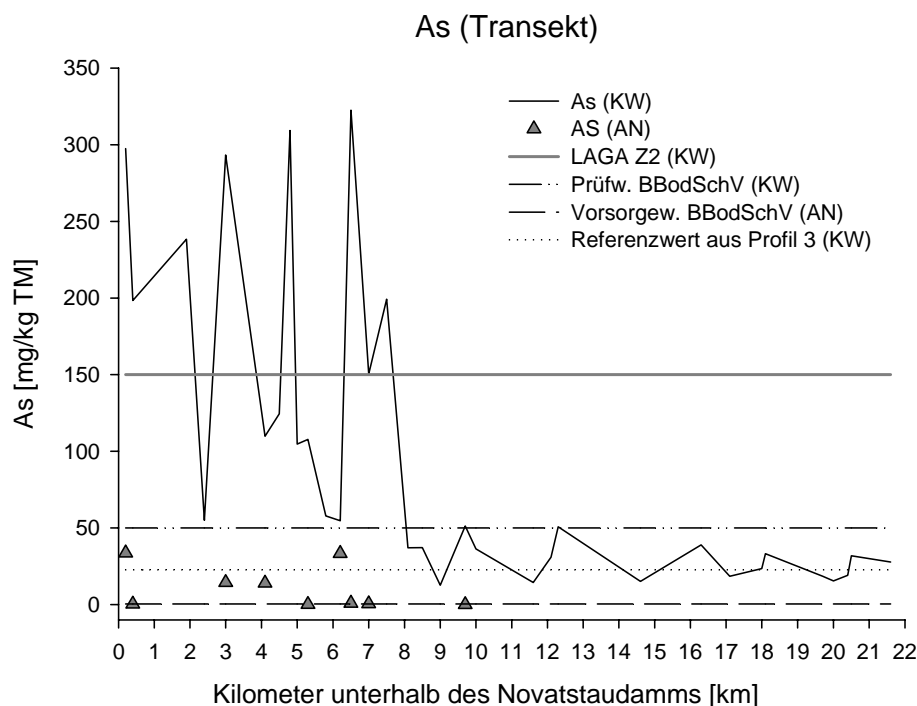


Abb.13 Arsengehalte in mg/kg TM entlang des Transekts Novat-Vaserul ab dem Staudamm bis nach Viseu de Sus, sowie ausgewählte Grenzwerte

Blei

Prüfwerte: AN: 0,1 mg/kg TM (BBodSchV)
Vorsorgewert (Sand): KW: 40 mg/kg TM (BBodSchV)
Maßnahmenwerte: KW: 1200 mg/kg TM (BBodSchV)
Deponieklasse: KW: 1000 mg/kg TM (LAGA Z2)
Hintergrundwert Profil 3: 100 mg/kg TM (KW)
Geogene Hintergrundgehalte: 2-60 mg/kg TM

Gesamtgehalte:

Die Bleigehalte entlang des Transekts sind wiederum nur auf den ersten 7 km unterhalb des Novatstaudamms besorgniserregend erhöht. Jedoch sinken die Werte fast linear mit der Entfernung vom Staudamm von 3000 mg/kg TM auf ca. 1200 mg/kg TM. Lediglich an 3 Standorten wird der Maßnahmenwert der LAGA Z2 unterschritten und liegt ähnlich hoch wie der Referenzwert aus Profil 3. Von Kilometer 8 bis 22 schwanken die Messwerte auch um eben diesen Wert (26 –186 mg/kg TM).

Pflanzenverfügbarkeit:

Die Analysenergebnisse der mit der Ammoniumnitratextraktion (AN) untersuchten Proben liegen zwischen 0,6 und 121 mg/kg TM. Dies bedeutet eine Ver5- bis Ver1000fachung des Prüfwertes und ist somit als bedenklich einzustufen. Eine Schädigung von Pflanzen scheint nahezu zwingend.

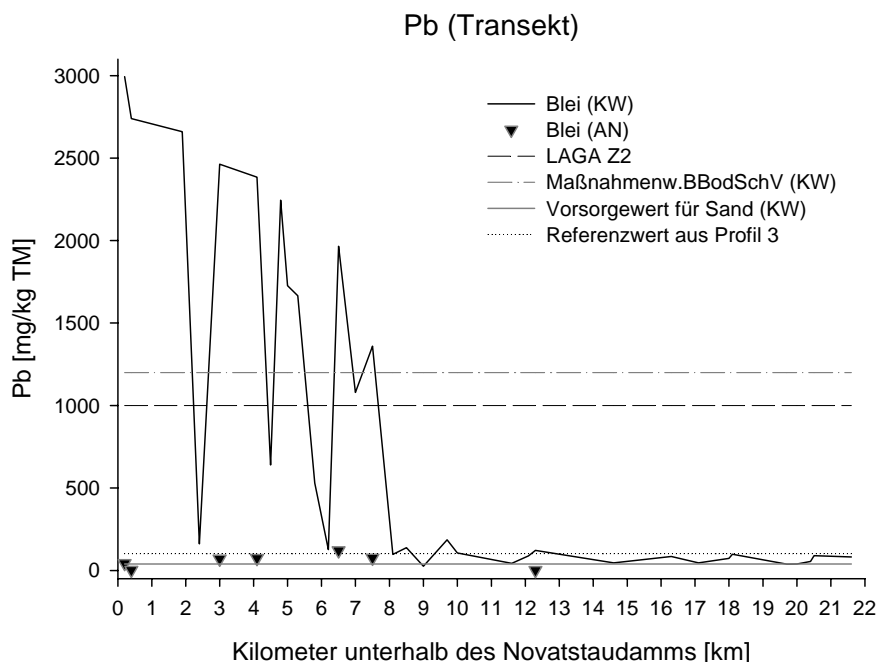


Abb.14 Bleigehalte in mg/kg TM entlang des Transekts Novat-Vaserul ab dem Staudamm bis nach Viseu de Sus, sowie ausgewählte Grenzwerte

Cadmium

Vorsorgewert (Sand): KW: 0,4 mg/kg TM (BBodSchV)

Maßnahmenwerte: KW: 10 mg/kg TM (BBodSchV)

AN: 0,1 mg/kg TM (BBodSchV)

Deponieklasse: KW: 20 mg/kg TM (LAGA Z2)

Hintergrundwert Profil 3: 0,5 mg/kg TM (KW)

Geogene Hintergrundgehalte: <0,5 mg/kg TM

Gesamtgehalte:

Der Transekt lässt sich grob in 3 Abschnitte einteilen. Auf den ersten 8,5 km sind die Cd-Gehalte deutlich erhöht und nehmen tendenziell mit der Entfernung vom Staudamm ab. Ausgenommen ist die Probe Nr. 16 bei Kilometer 6,5 mit einem Wert von 12 mg/kg TM. Dieser Wert überschreitet als einziger den Maßnahmenwert der BBodSchV für Gesamtgehalte. Im zweiten Abschnitt (Kilometer 9 bis 16) findet man niedrige Konzentrationen, die im Mittel 0,4 mg/kg TM betragen und somit knapp unter dem Vorsorgewert für Sandböden liegen. Im dritten Abschnitt (Kilometer 17 bis 22) sind die Gehalte wieder leicht erhöht und liegen im Mittel bei 1,1 mg/kg TM. Dies ist höher als der Vorsorgewert für Böden mit der Bodenart Sand. Zu beachten ist, dass der Referenzwert aus Profil 3 mit 0,54 mg/kg TM den Vorsorgewert (Sand) auch überschreitet.

Pflanzenverfügbarkeit:

Die Analysenergebnisse der mit der AN untersuchten Proben haben im Mittel bei 0,9 mg/kg TM. Dabei lagen alle auf den ersten 7 km genommenen Proben über dem Maßnahmenwert der BBodSchV. Die bei Kilometer 9,7 genommene Probe liegt mit 0,04 mg/kg TM deutlich unter diesem Maßnahmenwert.

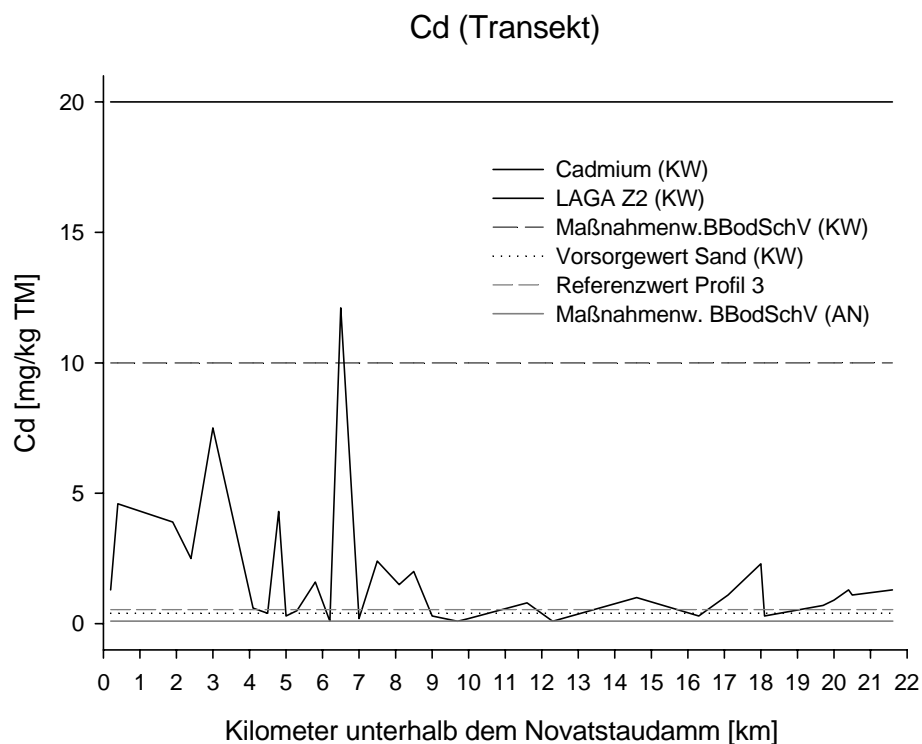


Abb.15 Cadmiumgehalte in mg/kg TM entlang des Transekts Novat-Vaserul ab dem Staudamm bis nach Viseu de Sus, sowie ausgewählte Grenzwerte

Chrom

Vorsorgewert (Sand): KW: 30 mg/kg TM (BBodSchV)

Deponieklasse: KW: 600 mg/kg TM (LAGA Z2)

Hintergrundwert Profil 3: 37 mg/kg TM (KW)

Geogene Hintergrundgehalte: 5-100 mg/kg TM

Gesamtgehalte:

Die Messergebnisse liegen weit unter dem Grenzwert LAGA Z2. Im oberen Flussabschnitt (erste 8 km) liegen die Werte im Durchschnitt bei 13 mg/kg TM und schwanken zwischen 5 und 24 mg/kg TM. Ab Kilometer 8 bis 17 alternieren die Werte um einen Mittelwert von 25 mg/kg TM, der allerdings immer noch unterhalb des Vorsorgewertes für sandige Böden liegt. Erst im letzten Flussabschnitt wird dieser Vorsorgewert mehrmals überschritten. Insgesamt liegen die Analysenwerte des gesamten Transekts jedoch unter dem Referenzwert aus Profil 3.

Die Chromgehalte steigen mit der Entfernung vom Staudamm kontinuierlich an.

Pflanzenverfügbarkeit:

Die Gehalte von pflanzenverfügbarem Cr liegen zwischen 0,1 und 1,3 mg/kg TM. Eine detaillierte Aussage lässt sich jedoch nicht machen, da erstens der Datenumfang zu niedrig ist und zweitens keine Grenzwerte für NH_4NO_3 -Aufschlüsse für Cr vorliegen.

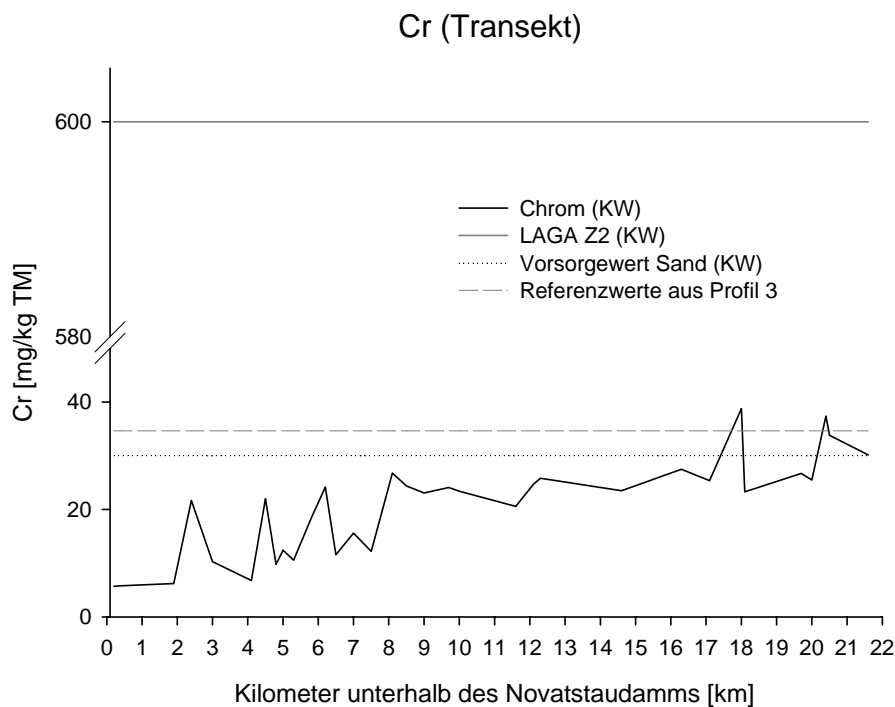


Abb.16 Chromgehalte in mg/kg TM entlang des Transekts Novat-Vaserul ab dem Staudamm bis nach Viseu de Sus, sowie ausgewählte Grenzwerte

Kupfer

| | | |
|-----------------------------|-----|--------------------------|
| Prüfwerte: | AN: | 1 mg/kg TM (BBodSchV) |
| Vorsorgewert (Sand): | KW: | 20 mg/kg TM (BBodSchV) |
| Maßnahmenwerte: | KW: | 1300 mg/kg TM (BBodSchV) |
| Deponieklasse: | KW: | 600 mg/kg TM (LAGA Z2) |
| Hintergrundwert Profil 3: | | 48 mg/kg TM (KW) |
| Geogene Hintergrundgehalte: | | 2-40 mg/kg TM |

Gesamtgehalte:

Der Maßnahmenwert der BBodSchV wird nie erreicht. Der gemessene Maximalwert liegt bei knapp 1200 mg/kg TM. Der Maßnahmenwert der LAGA Z2 wird dabei um das Zweifache überschritten. Auf den ersten 8 km wird dieser Maßnahmenwert an 8 von 15 Standorten überschritten. Der Mittelwert der restlichen 7 Proben liegt bei ca. 260 mg/kg TM. Die Vorsorgewerte für sandige Böden sind auf der gesamten Länge des Transekts überschritten. Dies wird allerdings durch den Wert aus dem Referenzprofil mit 48 mg/kg TM relativiert. Insgesamt liegen die Werte (Mittelwert: 72 mg/kg TM) ab Kilometer 9 (unterhalb des Novatstaudammes) jedoch auch deutlich über diesem Referenzwert.

Pflanzenverfügbarkeit:

Die Analysenergebnisse der mit der AN untersuchten Proben ergaben Analysenwerte zwischen 5,9 und 92 mg/kg TM. Dieser Wert liegt deutlich über dem Prüfwert der BBodSchV und ist als bedenklich einzustufen. Die Probe bei Kilometer 12,3 stammt direkt von einem Ackerstandort und ist deshalb als besonders kritisch zu bewerten.

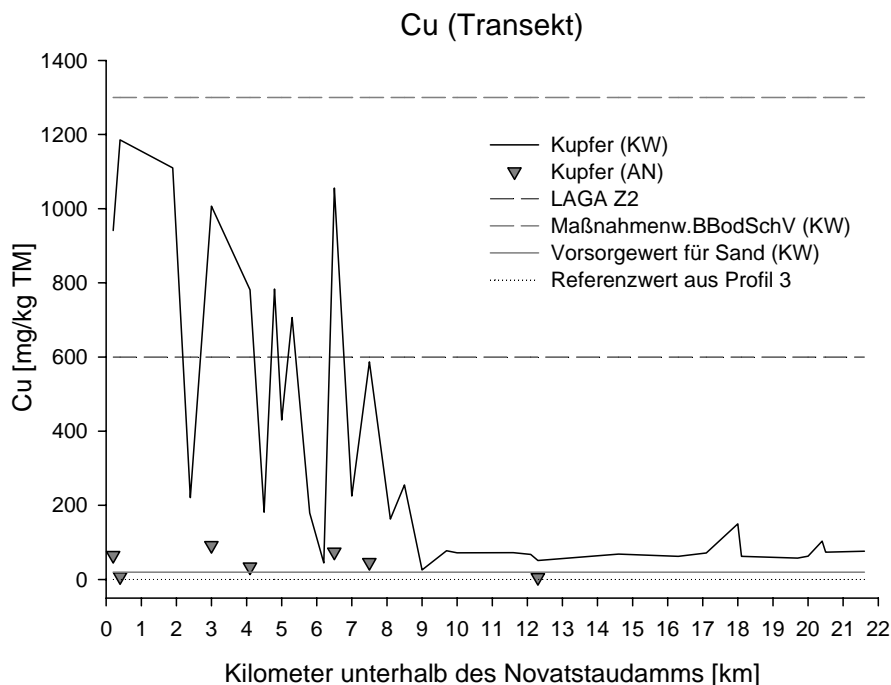


Abb.17 Kupfergehalte in mg/kg TM entlang des Transekts Novat-Vaserul ab dem Staudamm bis nach Viseu de Sus, sowie ausgewählte Grenzwerte

Nickel

| | | |
|-----------------------------|-----|--------------------------|
| Prüfwerte: | AN: | 1,5 mg/kg TM (BBodSchV) |
| Vorsorgewert (Sand): | KW: | 15 mg/kg TM (BBodSchV) |
| Maßnahmenwerte: | KW: | 1900 mg/kg TM (BBodSchV) |
| Deponieklasse: | KW: | 600 mg/kg TM (LAGA Z2) |
| Hintergrundwert Profil 3: | | 37 mg/kg TM (KW) |
| Geogene Hintergrundgehalte: | | 5-50 mg/kg TM |

Gesamtgehalte:

Auch beim Ni liegen die Gesamtgehalte weit unter dem Grenzwert LAGA Z2 (mehr als 15 mal niedriger). Mit 1900 mg/kg TM liegt der MW/Grünland der BBodSchV nochmals 2,5 mal höher als der Grenzwert LAGA Z2. Die Vorsorgewerte für Böden der Bodenart Sand werden allerdings regelmäßig überschritten. Und zwar umso stärker, je weiter der Probennahmeort vom Novatstaudamm entfernt ist. Ab Kilometer 8 wird dieser Vorsorgewert um meist mehr als das Doppelte überschritten ($\bar{\text{O}}$ 35 mg/kg TM). Auf den ersten 8 Kilometern steigt der Messwert alternierend an. Die durchschnittlichen Gehalte liegen bei 13 mg/kg TM und somit unter dem Vorsorgewert von 15 mg/kg TM. Der Referenzwert von Profil 3 liegt mit 37 mg/kg TM im Bereich der Werte wie sie ab Kilometer 8 im Verlauf des Transekts vorkommen.

Pflanzenverfügbarkeit:

Der Prüfwert der BBodSchV wird nur in einem Fall der näher untersuchten Proben um 0,25 mg/kg TM überschritten. Insgesamt ist keine Gefährdung der Pflanzenbestände durch Ni zu erwarten.

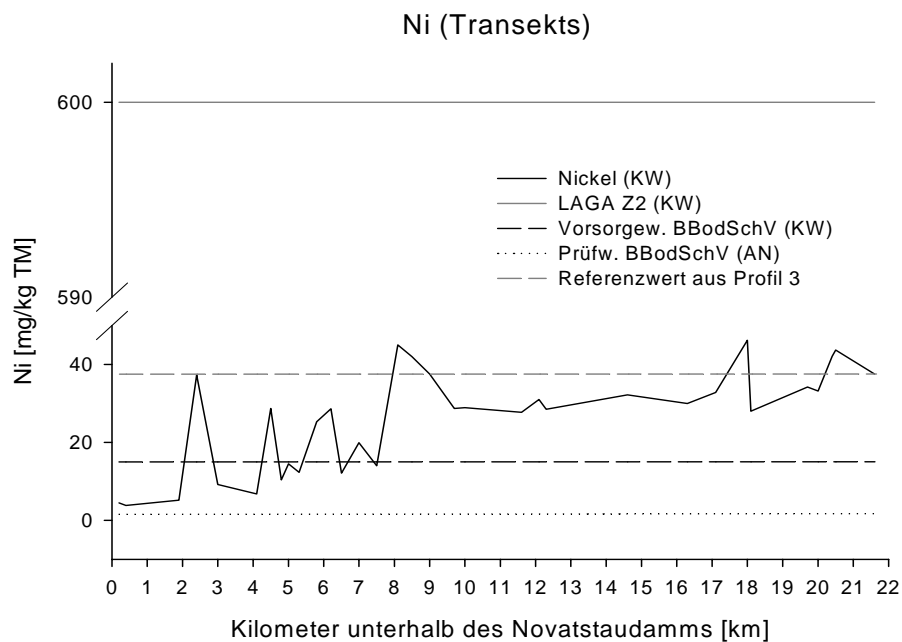


Abb.18 Nickelgehalte in mg/kg TM entlang des Transekts Novat-Vaserul ab dem Staudamm bis nach Viseu de Sus, sowie ausgewählte Grenzwerte

Zink

Prüfwerte: AN: 2 mg/kg TM (BBodSchV)
Vorsorgewert (Sand): KW: 60 mg/kg TM (BBodSchV)
Deponieklasse: KW: 1500 mg/kg TM (LAGA Z2)
Hintergrundwert Profil 3: 170 mg/kg TM (KW)
Geogene Hintergrundgehalte: 10-80 mg/kg TM

Gesamtgehalte:

Wie beim Cd lässt sich auch beim Zn der Transekt in 3 Abschnitte einteilen. In Abschnitt 1 (Kilometer 0 bis 8,5) sind die Werte gegenüber den anderen beiden Abschnitten erhöht und sinken mit der Entfernung vom Novatstaudamm. An zwei Messpunkten liegen die Gesamtgehalte deutlich über dem Grenzwert LAGA Z2, an drei weiteren Messpunkten liegen die Werte über 1000 mg/kg TM. Im zweiten Abschnitt (Kilometer 9 bis 16) liegt der Mittelwert bei 139 mg/kg TM. Also etwas niedriger als der Referenzwert aus Profil 3. Im dritten Abschnitt (Kilometer 17 bis 22) liegen die Werte im Mittel bei 307 mg/kg TM und steigen dabei tendenziell an.

Entlang des Transekts liegen alle gemessenen Gesamtgehalte über dem Vorsorgewert für Böden mit der Hauptbodenart Sand. Allerdings auch der Referenzwert aus Profil 3.

Pflanzenverfügbarkeit:

Bei den mit AN untersuchten Proben wird der Prüfwert der BBodSchV (2 mg/kg TM) immer deutlich überschritten (gemessene Gehalte liegen zwischen 3,5 mg/kg TM und 700 mg/kg TM). Hohe Gesamtgehalte scheinen dabei aber nicht gleichzeitig für hohe pflanzenverfügbare Gehalte verantwortlich zu sein. Interessant ist das Messergebnis bei Kilometer 12,3. Hier wird trotz niedriger Gesamtgehalte von 77 mg/kg TM mit 3,4 mg/kg TM eine hohe pflanzenverfügbare Fraktion Zn gefunden. Dies könnte ein Hinweis darauf sein, dass im gesamten Transekt eine hohe Pflanzenverfügbarkeit von Zink vorliegt. Um genauere Aussagen zu treffen bedürfte es allerdings eingehender Untersuchungen.

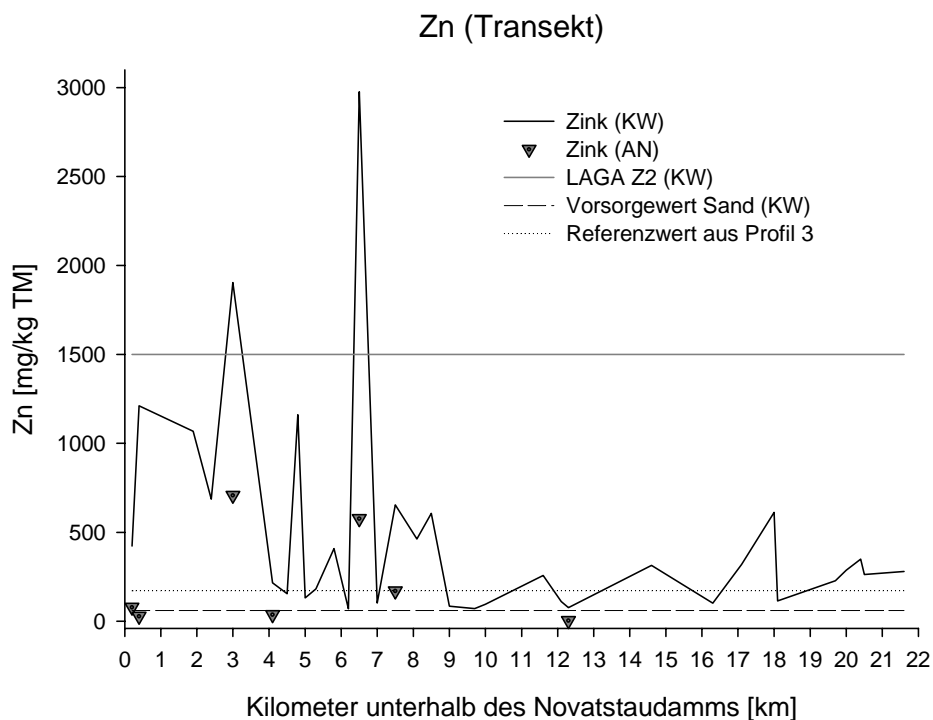


Abb.19 Zinkgehalte in mg/kg TM entlang des Transekts Novat-Vaserul ab dem Staudamm bis nach Viseu de Sus, sowie ausgewählte Grenzwerte

Eisen (s. S. 25, Abb. 12)

Für Eisen liegen keine Prüf-, Vorsorge- oder Maßnahmenwerte vor.

Hintergrundgehalt Referenzprofil 3: 43900 mg/kg TM.

Geogene Hintergrundgehalte: 2000-50000 mg/kg TM

Gesamtgehalte:

Der Kurvenverlauf des Fe verhält sich ähnlich wie der des As, jedoch auf höherem Niveau. Die Konzentrationen im Boden liegen bei bis zu 120.000 mg/kg TM. Die Höchstwerte liegen wiederum auf den ersten 7 km unterhalb des Novațstaudammes und schwanken stark zwischen 40.000 und 120.000 mg/kg TM. An 7 der 15 Messpunkte wird eine Konzentration von 100.000 mg/kg TM überschritten. Zwischen dem 8. und 22. Kilometer liegen die Analysenwerte zwischen 30.000 und 40.000 mg/kg und liegen damit etwas niedriger als im Referenzprofil 3.

Pflanzenverfügbarkeit:

Die Analyse der mobilen Eisenfraktionen wurde unterlassen. Es ist zu erwarten, dass ein hoher Prozentsatz des Eisengesamtgehaltes oxidisch gebunden ist.

Uran (s. S. 26, Abb. 12)

Für Uran liegen keine Prüf-, Vorsorge- oder Maßnahmenwerte vor.

Hintergrundgehalt Referenzprofil 3: 2 mg/kg TM

Gesamtgehalte:

Unter 5 mg/kg können Urangelte als geogene Hintergrundwerte bezeichnet werden (Alloway et al., 1999: 371). Die Werte sind ≤ 2 mg/kg TM und somit unbedenklich.

Ähnlich wie bei Cr und Ni nehmen die Gehalte auch beim Uran mit der Entfernung vom Novațstaudamm zu.

Pflanzenverfügbarkeit:

Die mobilen Gehalte liegen bei Anteilen von $< 13\%$. Nur bei Messpunkt 5 ist ein Drittel des Gesamtgehalts auch pflanzenverfügbar.

6.4 Sanierung SM-belasteter Böden

Die Sanierung eines belasteten Bodens dient der Wiederherstellung des ursprünglichen Zustands. Ziel ist es, dass der Boden in Zukunft möglichst vielfältig genutzt werden kann und keine Gefahr für das Grund- und Trinkwasser, die Pflanzen, Tiere und den Menschen besteht. Bei der Bodensanierung wird zwischen aktiven (Sanierung) und passiven (Sicherung) Verfahren unterschieden. Langfristig soll durch ein passives Verfahren die Ausbreitung von Schadstoffen unterbunden oder eingeschränkt werden. Das Gefährdungspotential wird reduziert, aber nicht beseitigt (Bliefert, 2002: 373). Ein passives Verfahren ist beispielsweise das Rückhaltebecken der Minen von Baia Borșa. Durch das Brechen des zur Sicherung der SM-Schlämme errichteten Dammes (Baumaßnahme), wurde das Unglück verursacht, dessen Auswirkungen in dieser Studienarbeit untersucht wurden. Weitere Möglichkeiten sind Oberflächenabdichtung gegen das Auswaschen der Schadstoffe in das Grundwasser und hydraulische Verfahren wie Grundwasserabsenkung oder -umlenkung und Abpumpen von kontaminiertem Grundwasser. Bei aktiven Verfahren soll die Schadstoffbelastung aus dem Boden entfernt oder zumindest vermindert werden (Bliefert, 2002: 373)

Man unterscheidet zwischen:

In-Situ-Verfahren: Vor Ort wird der verunreinigte Boden behandelt, ohne dass ein Aushub des kontaminierten Bodens erfolgt (Bodenluft-Absaugung, Mikrobiologische Verfahren, Immobilisierung, Chemische Verfahren).

Ex-Situ-Verfahren: Nach dem Aushub des Bodens wird der kontaminierte Boden behandelt

(Bodenaustausch, Extrahieren, Waschen). Dabei wird zwischen On-site und Off-site-Verfahren unterschieden:

On-site: Behandlung direkt vor Ort.

Off-site: Behandlung des Bodens nach Transport auf einem anderen Grundstück.

Bei der Auswahl des günstigsten Sanierungsverfahrens sind grundsätzlich technische Aspekte, Zeit- und Kostenaspekte, die Genehmigungsfähigkeit und die Akzeptanz des Verfahrens in der Bevölkerung berücksichtigen (HUGO A. et al., 1999: 49)

Handlungsbedarf und Dekontaminierung der Profile 1 und 2, sowie ab dem Novaçtstaudamm bis zur Einmündung in die Vaserul:

Die in dieser Umgebung mit SM belasteten Flächen liegen in einer Gegend, die aktuell weder als Siedlungsfläche noch landwirtschaftlich genutzt wird. Forstwirtschaftlich ist der Schaden insofern begrenzt, dass das Tal nur sehr eng und die somit kontaminierten Flächen überschaubar sind. Bei periodisch wiederkehrenden Hochwässern werden die stark kontaminierten Böden regelmäßig überflutet. Dabei ist es zu befürchten, dass die Schlämme mechanisch abgetragen und weiter flussabwärts wieder abgelagert werden. Dort kann es dadurch zu starken Beeinträchtigungen der Lebensbedingungen von Mensch und Tier kommen.

Eine Sanierung ist allerdings aufgrund der fehlenden Infrastruktur kaum möglich. Bei raschem Handeln könnte man sich die Tatsache, dass die Schlämme durch ihre charakteristische Färbung und den relativ mächtigen Auflagehorizont (>10 cm) gut erkennbar sind, zu Nutze machen. Arbeitskräfte sind in dieser Gegend billig und es wäre somit nicht undenkbar mit leichten Arbeitsgeräten (Schaufel, Pferdegespanne) relativ kostengünstig viele Schlämme rechtzeitig zu entfernen und andernorts sachgemäß zu deponieren.

Handlungsbedarf und Dekontaminierung der Profile 4 und 5, sowie für das Tal der Vaserul ab der Einmündung des Novaçt:

Da die Gehalte an SM auf diesen Flächen aktuell außerhalb des kritischen Bereiches liegen, ist trotz der gartenbaulichen und landwirtschaftlichen Nutzung der Auenflächen keine Gefährdung der Bevölkerung zu erwarten. Gefahr besteht, wenn durch kommende Hochwässer SM-Schlämme aus dem Novaçttal abgetragen und in den Auenflächen oberhalb von Viçeu de Sus abgelagert werden.

7. Zusammenfassung:

Auch drei Jahre nach dem Unfall vom 10. März 2000 waren die Gehalte von Blei und Arsen auf den ersten 7 km flussabwärts nach der Schadensquelle immer noch stark erhöht. An 10 von 15 Messstellen waren die Werte von Blei noch über 1359 mg/kg TM (Pb) bis zu einem Höchstwert von 2993 mg/kg TM (Pb). Bei Arsen lagen auf dieser Strecke die Messwerte an allen 15 Messstellen über 55 mg/kg TM (As) bis zu einem Höchstwert von 322 mg/kg TM (As) und damit über den Grenzwertgehalten der Bundes Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV). Entlang der weiteren 13 km fiel der Durchschnittsgehalt auf 75 (26 –186) mg/kg TM (Pb) und 28 (12 – 51) mg/kg TM (As) und blieb somit unter dem Grenzwert (Grasland: 1200mg/kg TM (Pb), Grasland: 50mg/kg TM (As)), aber nicht unterhalb des Vorsorgewertes (Pb, sandige Böden: 40 mg/kg TM, As: keine Angaben).

Der Kontaminationsgrad für Zn und Cd im oberen Drittel des Flussabschnittes beträgt im Durchschnitt 2,8 (0,1-12,1) mg/kg TM Cd und 756 (70-2976) mg/kg TM Zn und liegt deshalb über dem Vorsorgewert der BBodSchV für sandige Böden: 0.4 mg/kg TM Cd und 60 mg/kg TM Zn. Auch in den anderen beiden Dritteln des Flusses fallen die mittleren Gehalte (Cd 0.8 mg/kg TM und Zn 230 mg/kg TM) nicht unter den Vorsorgewert. Die mittleren Gehalte an Cr (20 (5-39) mg/kg TM) und Ni (26 (3-46) mg/kg TM) sind erhöht, aber im ganzen Flusstal immer noch innerhalb des vertretbaren Bereiches. 5 – 100 mg (Cr)/kg TM und 3 – 50 mg (Ni)/kg TM sind für Bergbauregionen ein typisches Erscheinungsbild (SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL, 2002). Die Gehalte an U und Fe wurden nicht näher bewertet, die Fe- Werte liegen im Mittel über typisch geogenen Hintergrundwerten, die U- Werte darunter. Die insgesamt stärker mit SM belasteten Böden (7 km von der Schadensquelle flussabwärts) werden aktuell weder landwirtschaftlich noch als Siedlungsraum genutzt. Es besteht deshalb keine direkte Gefahr für die Bevölkerung, längerfristig ist für diesen Bereich jedoch eine Sanierung wünschenswert. Darüber hinaus ist die Gefahr eines erneuten Dammbrechens bei Extremwetterlagen nicht gebannt!

Summary

Even three years after the accident the topsoil contents of Pb and As were still elevated within the first seven kilometers downhill the source. At 10 of 15 points of measurement the contents of Pb were above 1359 mg/kg drymatter (DM) up to a top content of 2993 mg/kg DM. The contents of As along those seven kilometers were always above 55 mg/kg DM up to a top content of 322 mg/kg DM and therefore above the threshold levels of the German “Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung” (BBodSchV). On the following thirteen km the average contents dropped to 75 (26-186) mg(Pb)/kg DM and 28 (12-51) mg(As)/kg DM and remained below the critical levels (grassland: 1200 mg(Pb)/kg DM,

grassland: 50 mg(As)/kg DM) but not below the preventive levels (Pb, sandy soils: 40 mg/kg DM, As: n/a). The contamination levels for Zn and Cd in the upper third river section are 2,8 (0,1-12) mg(Cd)/kg DM and 756 (70-2976) mg(Zn)/kg DM in average and therefore above the preventive BBodSchV levels for sandy soils: Cd: 0.4 mg/kg DM and Zn: 60 mg/kg DM. The mean contents (Cd: 0,8 mg/kg DM and Zn 230 mg/kg DM) do not drop below the preventive levels in the lower two river sections. The mean contents of Cr (20 (5-39) mg/kg DM) and Ni (26 (3-46) mg/kg DM) are elevated, but still within tolerable ranges (SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL, 2002) in the whole river valley: 5 – 100 mg(Cr)/kg DM and 3 – 50 mg(Ni)/kg DM, which are typical values in a mining region. The contents of U and Fe are not assessed closer. The mean contents of Fe are elevated, those of U are lower compared to typical geogenous background values. Altogether those soils which are higher contaminated with heavy metals (7 km downhill the source of contamination) are neither used for agriculture nor for housing estates right now. Recently there is no direct danger for the population. Even though in the long term a redevelopment of this area is desirable. Beyond the danger, that the tailing pond might burst again in cases of extreme weather situations, is not banned!

Rezumat

După 3 ani de zile de la accident, nenorocirile au rămas: Blai și arsen 7 km pe lângă apă. Din 15 Măsurari, zece au fost cu Blai continut: peste 1359 mg/kg masă uscată (mu) până la o valoare de 2993 mg/kg mu. Iar Arsen continut peste 55 mg/kg mu până la 322 mg/kg mu ceea ce depășirea de limită a Ocrotirii Pământului în Germania (Bundes Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV), 1999). De-a lungul râului 13 km mai departe se observă următoarele observatii : 75 (26–186) mg/kg mu (Pb) și 28 (12–51) mg/kg mu (As), ceea ce înseamnă că sunt încă sub limită (Câmpie: 1200 mg/kg mu (Pb), Câmpie: 50 mg/kg mu (As)). Pământ nisipos (Pb): 40 mg/kg mu; (As) –nici o afirmație.

Pentru Zn și Cd în a treimea segment superior, următoarele prognoze: 2,8 (0,1-2,1) mg/kg mu (Cd) și 756 (70-2976) mg/kg mu (Zn) aceasta înseamnă că sunt peste limită a Ocrotirii Pământului în Germania (BbodSchV). Iar pentru pământ nisipos la (Cd): 0,4 mg/kg mu iar la (Zn) 60 mg/kg mu. De asemenea, celelalte două treimi a apei sunt deocamdată sub limită: 0,8 mg/kg mu (Cd) și 230 mg/kg mu (Zn). Cr continut (20 (5-39) mg/kg mu și Ni (26 (3-46) mg/kg mu au crescut, însă pentru Cultur-regiune în munte este o apariție normală. Continutul în U și Fe nu au fost foarte amănunțit analizat. Valoarea la Fe sunt peste normală “geogenen” iar valoarea la U este chiar invers. Cea mai mare parte a pământului este contaminat u grele metale. Economic și populativ deocamdată nu se observă nici o primejdie. O dorință în această sferă de activitate ar fi a repara, mai bine spus a sanita. Pe lângă toate acestea este un mare pericol dacă încă o dată barajul se rupe la o vreme extremă.

8. Literaturverzeichnis:

ALLOWAY B.J., BAKER D.E., DAVIES B.E., EDWARDS R., JONES K.C., KIEKENS L., LEPP N.W., MCGRATH S.P., NEAL R.H., O'NEILL P., PATERSON J.E., SENFT J.P., SMITH K.A., STEINNES E., URE A.M. (1999): Schwermmetalle in Böden, 510 S., Springer-Verlag Berlin Heidelberg

BLUME H.-P., BRÜMMER G. W., SCHWERTMANN U., HORN R., KÖGEL-KNABNER I., STAHR K., AUERSWALD K., BEYER L., HARTMANN A., LITZ N., SCHEINOST A., STANJEK H., WELP G., WILKE B.-M. (2002): Lehrbuch der Bodenkunde / Scheffer/Schachtschabel, 593 S., Spektrum Akademischer Verlag GmbH, Heidelberg Berlin

BLIEFERT C., PERRAUD R. (2002): Umweltchemie, 468 S., Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim

ELLENBERG H., WEBER H. E., DÜLL R., WIRTH V., WERNER W., PAULIBEN D. (1992): Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa, 258 S., Verlag Erich Goltze KG, Göttingen

FAO(1990): Guidelines for Soil Profile Description, FAO Rome

FAO/UNESCO (1988/1997): Bodenkarte der Welt (Deutsche Übersetzung der revidierten Legende)

HUGO A., KOCH M., LINDEMANN H., ROBRECHT H. (1999): Altlastensanierung und Bodenschutz, 373 S., Springer Verlag, Berlin

LAGA MITTEILUNG 20 (1998): Anforderungen an die Stoffliche Verwertung/Abfällen – technische Regeln, Berlin

MEDICI G., VANCETTI C., ANDERSON J.R., ANTONIETTI A., BRITTON D.K., CHATTERJEE S.P., CHEN C.S., EDWARDS K.C., GEORGE P., GIGGS J.A., KLATZMANN J., RAUTERBERG M., SAAB G.S., TROLL C., VALVERDE O., VAN RIEMSDIJK J.F. (1969): World Atlas of Agriculture, 1:2,500,000, Verlag I.G.D.A, Novara, 1969

MEDICI G., VANCETTI C., ANDERSON J.R., ANTONIETTI A., BRITTON D.K., CHATTERJEE S.P., CHEN C.S., EDWARDS K.C., GEORGE P., GIGGS J.A., KLATZMANN J., RAUTERBERG M., SAAB G.S., TROLL C., VALVERDE O., VAN RIEMSDIJK J.F. (1969): World Atlas of Agriculture, Plate 8 Hungary, Romania und Balkan (Nord), 1:2,500,000, Verlag I.G.D.A, Novara

ONCESCU N. (1965): Geologia Romaniei, 533 S., Editura tehnica, Bucuresti

PUBLIROM S.A. BUCURESTI (Hg.) (1998): Kreis Maramures, Bukarest

SAUERBECK, D. (1985b): Funktionen, Güte und Belastbarkeit des Bodens aus agrikulturchemischer Sicht. In: Materialien zur Umweltforschung 10, 259 S., Kohlhammer, Stuttgart

SCHLICHTING E., BLUME H.-P., STAHR K. (1995): Bodenkundliches Praktikum, 295 S., Blackwell Wissenschaftsverlag, Berlin

SCHNEEBERGER M., LANGE F. M. (1998): Die rumänischen Waldkarpaten, 207 S., Schelzky und Jeep, Berlin

SELIM H.M., SPARKS D.L. (2001): Heavy Metals Release in Soils, 245 S., CRC Press LLC, Boca Raton, Florida

STAHR K., HERRMANN L., JAHN R. (1994): Übungsanleitung zur Beschreibung, Deutung und ökologischen Bewertung von Böden des Instituts für Bodenkunde und Standortslehre der Universität Hohenheim

VEREIN „HILFE FÜR DIE WASSERTALBAHN“ (2002): Wassertalkarte, Bern, Schweiz

WEDEPOHL K.-H. (1984): Die Zusammensetzung der oberen Erdkruste und der natürliche Kreislauf ausgewählter Metalle. Ressourcen. In: Merian E., (ed). Metalle in der Umwelt – Verteilung, Analytik und biologische Relevanz Kap. I. 1: 1-10

ZAHN U., DORNBUSCH J., KÄMMER H.-J., SENG P. (1998): Dirke Weltatlas 275 S., Westermann Druck, Braunschweig

ZAUNER G. (1996): Schwermetallgehalte und –bindungsformen in Gesteinen und Böden aus südwestdeutschem Jura und Keuper, 189 S., S.1, Hohenheimer Bodenkundliche Hefte –Nr. 31-

Webseiten:

www.umwelt.schleswig-holstein.de, 19.03.04

www.mineralsresourceforum.org/incidents/BaiaBorsa/docs/baiaborsa-final.pdf, 19.03.04

www.maramures.de/Chronik/chronik.html, 20.12.2003

www.wassertalbahn.ch, 01.05.04

www.mygeo.info/karten/EUROPE/map_europe.jpg, 04.05.04

www.lib.utexas.edu/maps/europe/romania_re196.jpg, 30.04.04

http://bundesrecht.juris.de/bundesrecht/bbodschv/anhang_4_29.html, 19.03.04

<http://europa.eu.int/comm/environment/press/baiamare000306.htm>, 10.06.04

Abkürzungen

| | |
|----------|--|
| AAS | Atomadsorptionsspektrometer |
| AN | Ammoniumnitrat NH ₄ NO ₃ |
| As | Arsen |
| atro | absolut trocken |
| BbodSchG | Bundesbodenschutzgesetz |
| BBodSchV | Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung |
| Cd | Cadmium |
| Cr | Chrom |
| Cu | Kupfer |
| dm | drymatter |
| EL | Esslöffel |
| Fe | Eisen |
| FE | Feinerde |
| GOF | Geländeoberfläche |
| GW | Grundwasser |
| ICP | inductively coupled plasma |
| LAGA Z2 | „Mitteilungen der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall 20“ |
| mu | masă uscată |
| Ni | Nickel |
| KW | Königswasseraufschluss |
| Pb | Blei |
| Rh | Rhodium |
| SM | Schwermetall |
| TM | Trockenmasse |
| U | Uran |
| Zn | Zink |

Verzeichnis der Fotos, Tabellen und Abbildungen

Fotoverzeichnis:

| | |
|---|----|
| Foto 1: Valea Vaserul (Wassertal) | 2 |
| Foto 2: Dambruch Novaț März 2000 | 2 |
| Foto 3: Profil 1 - Norm Paternia | 20 |
| Foto 4: Schwermetallschlammauflage | 20 |
| Foto 5: Profil 3 - Mesotropher Auengley | 20 |
| Foto 6: Profil 2 - Dystropher Auengley | 20 |
| Foto 7: Profil 4 - Norm Vega | 20 |
| Foto 8: Profil 5 - Gley Vega | 20 |

Tabellenverzeichnis:

| | |
|---|----|
| Tabelle 1: Elementgehalte in unbelasteten Böden | 28 |
| Tabelle 2: Normale Gehalte von Arsen im Boden | 28 |
| Tabelle 3: Prüf- und Maßnahmenwerte (BodSchG, 1998)..... | 30 |
| Tabelle 4: Vorsorgewerte für Metalle (BodSchV, 1999) | 30 |
| Tabelle 5: Zuordnungswerte Feststoff für Boden nach LAGA Mitteilung Abfall 20 (1998)..... | 31 |
| Tabelle 6: Zuordnungswerte Eluat für Boden nach LAGA Mitteilung Abfall 20 (1998) | 31 |
| Tabelle 7: C _t - Messung | 56 |
| Tabelle 8: pH - Wert (CaCl ₂) | 56 |
| Tabelle 9: Exakte geographische Lage..... | 57 |
| Tabelle 10: Wassergehalt | 57 |
| Tabelle 11: Ammoniumnitratanalyse | 58 |
| Tabelle 12: Korngrößen (aufaddiert)..... | 58 |
| Tabelle 13: Korngrößen und Bodenarten | 58 |
| Tabelle 14: Gesamtgehalte, Königswasseraufschluss | 59 |
| Tabelle 15: Freilandbezeichnung Pflanzenproben | 59 |
| Tabelle 16: Pflanzenuntersuchung Probenverzeichnis | 60 |
| Tabelle 17: Gesamtgehalte der Pflanzenproben..... | 60 |
| Tabelle 18: Verzeichnis der Probennummer | 61 |
| Tabelle 19: Profil 3 (Mesotropher Auengley) - Gesamtgehalte | 62 |
| Tabelle 20: Profil 1 (Norm Paternia) - Gesamtgehalte..... | 62 |
| Tabelle 21: Profil 2 (Dystropher Auengley) - Gesamtgehalte..... | 62 |
| Tabelle 22: Profil 4 (Norm Vega) - Gesamtgehalte | 63 |
| Tabelle 23: Profil 5 (Gley Vega) - Gesamtgehalte..... | 63 |
| Tabelle 24: SM-Gehalte der Proben entlang des Transekts | 64 |
| Tabelle 25: Fortsetzung SM-Gehalte der Proben entlang des Transekts..... | 65 |

Abbildungsverzeichnis:

| | |
|---|----|
| Abbildung 1: geographische Lage Rumäniens..... | 8 |
| Abbildung 2: geographische Lage des Maramureş | 8 |
| Abbildung 3: Das Arbeitsgebiet..... | 1 |
| Abbildung 4: Elementgesamtgehalte | 21 |
| Abbildung 5: Profil 1 - Gesamtgehalte | 21 |
| Abbildung 6: Profil 2 - Gesamtgehalte | 22 |
| Abbildung 7: Profil 4 - Gesamtgehalte | 23 |
| Abbildung 8: Profil 5 - Gesamtgehalte | 23 |
| Abbildung 9: Gesamtgehalte (Transekt) As, Cu, Pb | 25 |
| Abbildung 10: Gesamtgehalte (Transekt) Zn und Cd | 25 |
| Abbildung 11: Gesamtgehalte (Transekt) Cr und Ni | 26 |
| Abbildung 12: Gesamtgehalte (Transekt) Fe und U | 26 |
| Abbildung 13: Arsengehalte (Transekt) mit Grenzwerten | 40 |
| Abbildung 14: Bleigehalte (Transekt) mit Grenzwerten | 41 |
| Abbildung 15: Cadmiumgehalte (Transekt) mit Grenzwerten | 42 |
| Abbildung 16: Chromgehalte (Transekt) mit Grenzwerten..... | 43 |
| Abbildung 17: Kupfergehalte (Transekt) mit Grenzwerten | 44 |
| Abbildung 18: Nickelgehalte (Transekt) mit Grenzwerten | 45 |
| Abbildung 19: Zinkgehalte (Transekt) mit Grenzwerten | 46 |

Anhang

| PH-Messung | | | Version 2000/1 | | |
|--------------------|------|--------|-------------------------|--------|--------|
| Gerätetyp: | | | Datum: November 03 | | |
| T°C: 20,2 | | | Eichung: 7 u. 4 | | |
| Asymmetrie (mV): 6 | | | Steilheit (mV/pH): 57,3 | | |
| Probe | pH | T (°C) | Probe | pH | T (°C) |
| Puffer | | | Puffer | | |
| 11/1 | 4,10 | 21,0 | 11/2 | 4,20 | 20,9 |
| 28/1 | 6,07 | 20,7 | 28/2 | 6,13 | 20,8 |
| 25/1 | 6,34 | 20,9 | 25/2 | 6,22 | 20,6 |
| 31/1 | 6,36 | 20,8 | 31/2 | 6,40 | 20,6 |
| 14/1 | 2,26 | 20,7 | 14/2 | 2,22 | 20,8 |
| 21/1 | 2,34 | 20,6 | 21/2 | 2,78 | 20,5 |
| 3/1 | 2,44 | 20,4 | 3/2 | 2,30 | 20,4 |
| 32/1 | 6,93 | 20,3 | 32/2 | 7,09 | 20,4 |
| 23/1 | 3,07 | 20,6 | 23/2 | 3,25 | 20,4 |
| T°C: | 20,3 | | Eichung: | 7 u. 4 | |
| Asymmetrie (mV): | 9 | | Steilheit (mV/pH): | 56,9 | |
| Puffer | | | Puffer | | |
| 24/1 | 2,74 | 20,9 | 24/2 | 2,7 | 20,7 |
| 52/1 | 2,45 | 20,8 | 52/2 | 2,33 | 20,8 |
| 72/1 | 5,75 | 21,3 | 72/2 | 5,75 | 21,1 |
| 26/1 | 2,75 | 21,1 | 26/2 | 3,01 | 21 |
| 5/1 | 2,5 | 21 | 5/2 | 2,42 | 21,1 |
| 1/1 | 2,95 | 20,4 | 1/2 | 3,15 | 20,4 |
| 19/1 | 5,01 | 20,9 | 16/2 | 5,11 | 20,7 |
| 40/1 | 2,15 | 20,8 | 40/2 | 2,29 | 20,8 |
| 7/1 | 2,4 | 20,8 | 7/2 | 2,22 | 21 |
| 81/1 | 6,14 | 20,7 | 81/2 | 6,16 | 20,6 |
| 27/1 | 6,52 | 20,8 | 27/2 | 6,58 | 20,6 |
| 20/1 | 2,57 | 20,8 | 20/2 | 2,51 | 20,8 |
| 30/1 | 6,63 | 20,7 | 30/2 | 6,71 | 20,6 |
| T°C: | 20 | | Eichung: | 7 u. 4 | |
| Asymmetrie (mV): | 8 | | Steilheit (mV/pH): | 57,1 | |
| Puffer | | | Puffer | | |
| 51/1 | 2,35 | 19,5 | 51/2 | 2,29 | 19,4 |
| 41/1 | 2,45 | 19,7 | 41/2 | 2,57 | 19,7 |
| 8/1 | 2,32 | 19,7 | 8/2 | 2,44 | 19,6 |
| 18/1 | 6,1 | 19,7 | 18/2 | 6,2 | 19,9 |
| 80/1 | 5,96 | 19,4 | 80/2 | 6,12 | 19,4 |
| 40/1 | 2,21 | 19,7 | 40/2 | 2,25 | 19,7 |
| 10/1 | 2,23 | 19,9 | 10/2 | 2,35 | 20 |
| 50/1 | 2,33 | 19,7 | 50/2 | 2,27 | 19,8 |
| 2/1 | 2,15 | 19,7 | 2/2 | 2,29 | 19,7 |
| 60/1 | 4,25 | 20,2 | 60/2 | 4,51 | 20,3 |
| T°C: | 19,5 | | Eichung: | 7 u. 4 | |
| Asymmetrie (mV): | 7 | | Steilheit (mV/pH): | -56,4 | |
| Puffer | | | Puffer | | |
| 12/1 | 2,63 | 19,3 | 12/2 | 2,79 | 19,3 |
| 61/1 | 4,75 | 19,4 | 61/2 | 4,85 | 19,5 |
| 42/1 | 2,83 | 19,5 | 42/2 | 2,91 | 19,5 |
| 22/1 | 6,16 | 19,5 | 22/2 | 6,24 | 19,3 |
| 17/1 | 6,23 | 19,5 | 17/2 | 6,33 | 19,3 |
| 9/1 | 2,17 | 19,5 | 9/2 | 2,16 | 19,6 |
| 29/1 | 2,59 | 19,6 | 29/2 | 2,87 | 19,8 |
| 13/1 | 3,27 | 19,5 | 13/2 | 3,39 | 19,5 |
| 71/1 | 6,61 | 19,7 | 71/2 | 6,77 | 19,7 |
| 4/1 | 6,96 | 19,5 | 4/2 | 6,8 | 19,3 |
| 81/1 | 6,51 | 19,7 | 81/2 | 6,69 | 19,7 |
| 70/1 | 6,41 | 19,7 | 70/2 | 6,47 | 19,6 |
| 82/1 | 6,65 | 19,9 | 80/2 | 6,57 | 19,7 |
| 43/1 | 3,63 | 19,7 | 43/2 | 3,59 | 19,8 |

Tabelle 8: pH – Wert (CaCl₂)

| Methode: | | Eichung: 0,040 g C entspr. 0,333 g CaCO ₁ | | | |
|------------------------|-----------------|--|------------------|-----------------|------------|
| Meßgerät: | | Wösthoff | | | |
| | | Ausschl. (cm) | | Ausschl. (cm) | |
| 1.Eichung: | 16,600 | | | | |
| 2.Eichung: | 17,100 | MW: | | 16,85 | |
| 3.Eichung: | | | | | |
| Proben- bezeichnung | Eichung (cm) | Messung | | | Ø Ct |
| | | E (g) | Ausschl. (cm) | Ct (%) lutro | |
| StandardA1 | 16,9 | 0,513 | 6,3 | 2,92 | 1,5505955 |
| 1 | 17,4 | 0,742 | 0,6 | 0,18589088 | 0,19 |
| 2 | 17,4 | 0,514 | 0,5 | 0,2236236 | 0,25574699 |
| 2 | 17,4 | 0,559 | 0,7 | 0,28787038 | |
| 3 | 16,9 | 0,558 | 0,6 | 0,26 | 0,24018334 |
| 3 | 16,9 | 1,160 | 1,1 | 0,23 | |
| 4 | 17,4 | 0,545 | 3,7 | 1,56068755 | 1,35776307 |
| 4 | 17,4 | 0,637 | 3,2 | 1,15483859 | |
| 5 | 16,9 | 0,535 | 1,2 | 0,53 | 0,55757105 |
| 5 | 16,9 | 1,100 | 2,7 | 0,58 | |
| 7 | 17,5 | 0,521 | 6,5 | 2,85982984 | 2,7849476 |
| 7 | 17,5 | 0,406 | 4,8 | 2,71006535 | |
| 8 | 17,4 | 0,578 | 2,6 | 1,03408503 | 1,0635746 |
| 8 | 17,4 | 0,673 | 3,2 | 1,09306417 | |
| 9 | 17,4 | 0,526 | 4,2 | 1,83558411 | 2,3613403 |
| 9 | 17,4 | 0,637 | 8 | 2,88709648 | |
| 10 | 17,4 | 0,612 | 2,8 | 1,0517617 | 1,06532232 |
| 10 | 17,4 | 0,554 | 2,6 | 1,07888294 | |
| 11 | 17,5 | 0,531 | 7,7 | 3,32399808 | 3,29933019 |
| 11 | 17,5 | 0,546 | 7,8 | 3,2746623 | |
| 12 | 17,4 | 0,437 | 6 | 3,15631658 | 3,70672364 |
| 12 | 17,4 | 0,459 | 8,5 | 4,25713069 | |
| 13 | 17,4 | 0,593 | 1,7 | 0,65902968 | 0,68318416 |
| 13 | 17,4 | 0,520 | 1,6 | 0,70733864 | |
| 14 | 17,4 | 0,426 | 7,4 | 3,99330851 | 3,90421111 |
| 14 | 17,4 | 0,470 | 7,8 | 3,81511372 | |
| 17 | 17,4 | 0,472 | 2,9 | 1,41242938 | 1,42356284 |
| 17 | 17,4 | 0,689 | 4,3 | 1,43469629 | |
| 18 | 17,4 | 0,486 | 4,4 | 2,08126389 | 2,06835338 |
| 18 | 17,4 | 0,425 | 3,8 | 2,05544287 | |
| 19 | 16,9 | 0,622 | 8,7 | 3,32 | 3,27365209 |
| 19 | 16,9 | 0,846 | 11,5 | 3,22691528 | |
| 20 | 17,4 | 0,557 | 6,2 | 2,55886419 | 2,49647064 |
| 20 | 17,4 | 0,510 | 5,4 | 2,43407708 | |
| 21 | 17,5 | 0,481 | 3,1 | 1,47734245 | 1,65405104 |
| 21 | 17,5 | 0,601 | 4,8 | 1,83075962 | |
| 22 | 17,4 | 0,614 | 2,4 | 0,89857351 | 0,94260233 |
| 22 | 17,4 | 0,466 | 2 | 0,98663115 | |
| 23 | 17,4 | 0,613 | 4,7 | 1,76257711 | 1,57267219 |
| 23 | 17,4 | 0,532 | 3,2 | 1,38276726 | |
| 24 | 16,9 | 0,844 | 6 | 1,69 | 1,9163382 |
| 24 | 16,9 | 0,830 | 7,5 | 2,15 | |
| 25 | 16,9 | 0,618 | 3,1 | 1,19 | 1,16832514 |
| 25 | 16,9 | 1,098 | 5,3 | 1,15 | |
| 26 | 16,9 | 0,560 | 5,5 | 2,33 | 2,67601696 |
| 26 | 16,9 | 0,558 | 7,1 | 3,02 | |
| 27 | 16,9 | 0,502 | 2,4 | 1,13492617 | 1,1914563 |
| 27 | 16,9 | 0,875 | 4,6 | 1,24798643 | |
| 28 | 17,4 | 0,400 | 6,4 | 3,67816092 | 3,71707847 |
| 28 | 17,4 | 0,508 | 8,3 | 3,75599602 | |
| 29 | 17,4 | 0,599 | 1,3 | 0,49891582 | 0,50921504 |
| 29 | 17,4 | 0,531 | 1,2 | 0,51951425 | |
| 30 | 17,5 | 0,538 | 1,4 | 0,59649982 | 0,66905726 |

Tabelle 7: C_t - Messung

| Probennr. | Schalengewi | Naßgewicht | Trockengewi | Wasser-geha |
|-----------|-------------|----------------|----------------|-------------|
| | | incl.G(Schale) | incl.G(Schale) | gehalt in % |
| | tara | lutro | atro | |
| 1 | ? | ? | ? | #WERT! |
| 2 | 22,55 | 232,96 | 204,28 | 15,7817 |
| 3 | 21,56 | 250,87 | 207,99 | 23,0006 |
| 4 | 24,1 | 308,1 | 239,61 | 31,7804 |
| 5 | 23,05 | 321,04 | 286,55 | 13,0892 |
| 6 | 21,63 | 224,71 | 179,51 | 28,6293 |
| 7 | 23,73 | 295,32 | 244,44 | 23,0529 |
| 8 | 24,07 | 636,95 | 494,27 | 30,3445 |
| 9 | 23,7 | 461,19 | 357,31 | 31,1382 |
| 10 | 22,36 | 501,19 | 440,85 | 14,4185 |
| 11 | 22,31 | 271,82 | 202,12 | 38,7631 |
| 12 | 21,43 | 282,48 | 249,43 | 14,4956 |
| 13 | 22,72 | 431,58 | 356,77 | 22,3949 |
| 14 | 21,38 | 267,24 | 216,67 | 25,8948 |
| 15 | 22,2 | 315,38 | 258,76 | 23,9347 |
| 17 | 22,39 | 386,64 | 293,48 | 34,3650 |
| 18 | 22,15 | 393,34 | 305,97 | 30,7836 |
| 19 | 20,4 | 350,95 | 276,25 | 29,1968 |
| 20 | 22,98 | 341,51 | 269,73 | 29,0902 |
| 21 | 23,73 | 379,79 | 310,67 | 24,0887 |
| 22 | 22,52 | 216,14 | 162,41 | 38,4087 |
| 23 | 22,13 | 305,64 | 255,54 | 21,4644 |
| 24 | 20,7 | 453,29 | 381,59 | 19,8675 |
| 25 | 21,61 | 461,92 | 349,56 | 34,2613 |
| 26 | 21,6 | 304,11 | 237,45 | 30,8826 |
| 27 | 22,16 | 383,62 | 301,78 | 29,2683 |
| 28 | 23,51 | 262,47 | 195,3 | 39,1001 |
| 29 | 22 | 476,38 | 454,13 | 5,1489 |
| 30 | 21,29 | 363,69 | 321,18 | 14,1752 |
| 31 | 21,28 | 500,02 | 378,2 | 34,1309 |
| 32 | 22,33 | 293,76 | 209,62 | 44,9250 |
| 33 | 21,79 | 269,82 | 201,29 | 38,1783 |
| 34 | 22,29 | 303,1 | 196,94 | 60,7844 |
| 40 | 21,63 | 224,71 | 179,51 | 28,6293 |
| 41 | 22,27 | 224,06 | 187,25 | 22,3118 |
| 42 | 21,13 | 75,31 | 65,76 | 21,3982 |
| 43 | 21,23 | 178,26 | 153,95 | 18,3168 |
| 50 | 22,2 | 315,38 | 258,76 | 23,9347 |
| 51 | 24,61 | 231,06 | 176,38 | 36,0282 |
| 52 | 24,05 | 248,69 | 191,39 | 34,2417 |
| 60 | 21,09 | 238,78 | 201,27 | 20,8181 |
| 61 | 23,25 | 263,42 | 191,43 | 42,8053 |
| 70 | 22,29 | 303,1 | 196,94 | 60,7844 |
| 71 | 26,03 | 417,98 | 388,4 | 8,1629 |
| 72 | 27,89 | 248,71 | 191,59 | 34,8931 |
| 80 | 21,79 | 269,82 | 201,29 | 38,1783 |
| 81 | 21,44 | 336,16 | 306,62 | 10,3584 |
| 82 | 20,79 | 429,75 | 408,35 | 5,5217 |

Tabelle 10: Wassergehalt

| Probe | Höhe ü.nN | Höhe ü.GW | N | O |
|-------|-----------|-----------|-----------|------------|
| 1 | | | | |
| 2 | 764 | 2 | 47.43.335 | 024.38.307 |
| 3 | 758 | 0,8 | 47.43.276 | 024.37.925 |
| 4 | 725 | 0,1 | 47.43.050 | 024.37.015 |
| 5 | | 1,2 | 47.42.860 | 024.36.819 |
| 6 | 695 | 1,9 | 47.42.758 | 024.36.150 |
| 7 | 680 | 0,8 | 47.42.733 | 024.35.831 |
| 8 | 694 | 1,2 | 47.42.706 | 024.35.727 |
| 9 | 662 | 1,3 | 47.42.707 | 024.35.427 |
| 10 | 672 | 1 | 47.42.748 | 024.35.292 |
| 11 | 640 | 1,5 | 47.42.914 | 024.35.100 |
| 12 | 630 | 1 | 47.43.030 | 024.34.890 |
| 13 | 639 | 1,8 | 47.43.102 | 024.34.794 |
| 14 | 637 | 1,2 | 47.43.460 | 024.34.410 |
| 15 | 584 | 0,5 | 47.43.736 | 024.33.874 |
| 17 | 606 | 0,7 | 47.43.690 | 024.33.708 |
| 18 | 617 | 1,3 | 47.43.744 | 024.33.570 |
| 19 | 607 | 0,2 | 47.43.880 | 024.33.198 |
| 20 | 564 | 0,9 | 47.44.115 | 024.32.595 |
| 21 | 569 | 1,4 | 47.44.238 | 024.32.431 |
| 22 | 596 | 0,2 | 47.44.560 | 024.31.986 |
| 23 | | 1,1 | 47.44.623 | 024.31.286 |
| 24 | | 1,3 | 47.44.624 | 024.31.287 |
| 25 | 542 | 0,1 | 47.44.533 | 024.30.342 |
| 26 | 532 | 1 | 47.43.947 | 024.30.047 |
| 27 | 531 | 0,4 | 47.43.541 | 024.29.314 |
| 28 | 522 | 2,4 | 47.43.199 | 024.28.516 |
| 29 | 522 | 0,4 | 47.43.200 | 024.28.517 |
| 30 | 528 | 1,1 | 47.43.368 | 024.27.752 |
| 31 | 498 | 0,2 | 47.43.280 | 024.27.102 |
| 32 | 496 | 0,7 | 47.43.094 | 024.26.943 |
| 33 | 500 | 2,2 | 47.43.115 | 024.26.946 |
| 34 | 492 | 3,6 | 47.42.930 | 024.26.338 |

Tabelle 9: Exakte geographische Lage

| LaborNr. | LaborNr alt | Bezeichnung | As | Cd | Cr | Cu | Ni | Pb | U | Zn | |
|----------|-------------|-------------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|---------|
| | | | NH4NO3 | NH4NO3 | NH4NO3 | NH4NO3 | NH4NO3 | NH4NO3 | NH4NO3 | NH4NO3 | NH4NO3 |
| | | | ICP-MS | ICP-MS | ICP-MS | ICP-OES | ICP-MS | ICP-MS | ICP-MS | ICP-MS | ICP-OES |
| | | | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg | |
| S12868-1 | S11135-1 | 2 | 32,8 | 0,27 | 0,48 | 64 | 0,47 | 45 | 0,04 | 77,8 | |
| S12868-2 | 11135-2 | | 34,6 | 0,29 | 0,52 | 66 | 0,49 | 41 | 0,04 | 79,9 | |
| S12869-1 | 11138-1 | 5 | 11,8 | 2,93 | 1,22 | 85 | 1,1 | 74 | 0,25 | 646 | |
| S12869-2 | 11138-2 | | 17,0 | 3,46 | 1,43 | 99 | 1,3 | 66 | 0,29 | 769 | |
| S12870-1 | 11145-1 | 13 | 0,17 | 2,9 | 0,08 | 76 | 1,8 | 120 | 0,07 | 595 | |
| S12870-2 | 11145-2 | | 0,15 | 2,8 | 0,08 | 72 | 1,7 | 122 | 0,06 | 558 | |
| S12871-1 | 11154-1 | 24 | 0,03 | 0,04 | 0,08 | 6,1 | 0,75 | 0,57 | 0,03 | 3,9 | |
| S12871-2 | 11154-2 | | 0,01 | 0,04 | 0,09 | 5,7 | 0,72 | 0,54 | 0,02 | 2,9 | |
| S12872-1 | 11163-1 | 40 | 14,2 | 0,15 | 0,42 | 35 | 0,57 | 74 | 0,03 | 38 | |
| S12872-2 | 11163-2 | | 13,7 | 0,16 | 0,41 | 34 | 0,57 | 73 | 0,03 | 36 | |
| S12873-1 | 11164-1 | 41 | 0,08 | 0,07 | 0,16 | 9,2 | 0,67 | 0,83 | 0,02 | 7,1 | |
| S12873-2 | 11164-2 | | 0,07 | 0,06 | 0,16 | 9,0 | 0,63 | 0,53 | 0,02 | 7,0 | |
| S12874-1 | 11165-1 | 42 | 0,02 | 0,97 | 0,04 | 42 | 4,2 | 15 | 0,06 | 162 | |
| S12875-1 | 11167-1 | 50 | 33,6 | 0,72 | 0,62 | 46 | 1,4 | 75 | 0,08 | 171 | |
| S12875-2 | 11167-2 | | 33,2 | 0,72 | 0,63 | 46 | 1,4 | 77 | 0,08 | 170 | |
| S12876-1 | 11168-1 | 51 | 0,91 | 0,17 | 0,31 | 21 | 1,1 | 1,1 | 0,04 | 36 | |
| S12876-2 | 11168-2 | | 0,93 | 0,17 | 0,30 | 20 | 1,1 | 0,87 | 0,03 | 33 | |
| S12877-1 | 11169-1 | 52 | 0,50 | 0,19 | 0,29 | 17 | 1,3 | 0,47 | 0,04 | 36 | |
| S12877-2 | 11169-2 | | 0,50 | 0,20 | 0,30 | 17 | 1,3 | 0,49 | 0,04 | 36 | |
| S12878-1 | S11754-1 | Probe 1 | 0,33 | 0,19 | 0,09 | 7,5 | 0,09 | 1,17 | 0,01 | 27 | |
| S12878-2 | S11754-2 | | 0,36 | 0,19 | 0,09 | 7,8 | 0,09 | 1,54 | 0,01 | 28 | |

Tabelle 11: Ammoniumnitratanalyse

| COULTER LS | 10.11.2003 12:58 | 10.11.2003 12:59 | 10.11.2003 13:01 | 10.11.2003 13:05 | 10.11.2003 13:05 | | |
|---------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|-------------------------|
| Dateiname: | 1.\$01 | 1.\$02 | 1.\$03 | 1.\$04 | 1.\$05 | | ø d.3 engsten Parallele |
| Partikeldurchmesser | Volumen | Volumen | Volumen | Volumen | Volumen | ø 1.\$01-1.\$05 | ø |
| um | % < | % < | % < | % < | % < | | |
| 2 | 8,72 | 9,44 | 8,21 | 8,68 | 8,33 | 8,68 | 8,58 |
| 8 | 21,70 | 23,50 | 20,30 | 21,50 | 20,70 | 21,54 | 21,30 |
| 63 | 59,80 | 64,80 | 56,20 | 58,50 | 57,40 | 59,34 | 58,57 |

Tabelle 12: Korngrößen (aufaddiert)

| Probennummer | | Partikeldurchmesser in µm | | | total % | KA4 | Fingerprobe |
|--------------|----|---------------------------|---------|------|---------|-----|-------------|
| | | Ton | Schluff | Sand | | | |
| | | <2 | <63 | >63 | | | |
| | % | % | % | | | | |
| 1 | 1 | 8,6 | 50,0 | 41,4 | 100 | Slu | |
| 2 | 2 | 7,6 | 50,5 | 41,9 | 100 | Uls | |
| 5 | 5 | 5,9 | 46,2 | 47,9 | 100 | Slu | |
| 13 | 16 | 5,3 | 35,5 | 59,3 | 100 | Su3 | |
| 24 | 28 | 1,9 | 26,1 | 72,1 | 100 | Su3 | |
| 40 | 6 | 5,2 | 42,4 | 52,4 | 100 | Su4 | |
| 41 | 7 | 2,9 | 41,0 | 56,1 | 100 | Su4 | |
| 42 | 8 | 5,6 | 38,0 | 56,4 | 100 | Su3 | |
| 50 | 18 | 5,6 | 29,4 | 65,1 | 100 | Su3 | |
| 51 | 19 | 7,9 | 48,8 | 43,3 | 100 | Su4 | |
| 52 | 20 | 6,1 | 41,0 | 52,9 | 100 | Su4 | |

Tabelle 13: Korngrößen und Bodenarten

| Analyte | Bezeichnung | | As | Cd | Cr | Cu | Fe | Ni | Pb | U | Zn |
|----------|-------------|----|-----------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|
| | | | ICP-MS mg/kg | ICP-MS mg/kg | ICP-OES mg/kg | ICP-OES mg/kg | ICP-OES mg/kg | ICP-OES mg/kg | ICP-OES mg/kg | ICP-OES mg/kg | ICP-MS mg/kg |
| S11754-1 | 1 | 1 | 223 | 4,6 | 6,1 | 1199 | 125627 | 3,95 | 2773 | 0,50 | 1231 |
| S11754-2 | 1 | | 173 | 4,7 | 5,4 | 1172 | 124118 | 3,68 | 2706 | 0,48 | 1192 |
| S11135-1 | 2 | 2 | 298 | 1,27 | 5,2 | 946 | 100839 | 4,3 | 2944 | 0,41 | 421 |
| 11135-2 | | | 297 | 1,29 | 6,1 | 937 | 102322 | 4,8 | 3042 | 0,42 | 426 |
| 11136-1 | 3 | 3 | 238 | 3,91 | 5,6 | 1115 | 106034 | 5,2 | 2664 | 0,54 | 1073 |
| 11136-2 | | | 238 | 3,93 | 6,8 | 1105 | 107342 | 5,2 | 2655 | 0,55 | 1064 |
| 11137-1 | 4 | 4 | 57,2 | 2,50 | 21,1 | 227 | 46001 | 37,0 | 161,33 | 0,84 | 679 |
| 11137-2 | | | 53,0 | 2,51 | 22,3 | 215 | 44980 | 37,6 | 163,51 | 0,75 | 693 |
| 11138-1 | 5 | 5 | 288 | 7,37 | 9,6 | 990 | 101543 | 9,2 | 2452 | 0,82 | 1872 |
| 11138-2 | | | 298 | 7,65 | 11,0 | 1024 | 103094 | 9,3 | 2475 | 0,80 | 1936 |
| 11139-1 | 7 | 10 | 124 | 0,46 | 21,0 | 183 | 50109 | 28,5 | 648 | 0,41 | 158 |
| 11139-2 | | | 125 | 0,39 | 22,9 | 181 | 51025 | 28,9 | 633 | 0,43 | 153 |
| 11140-1 | 8 | 11 | 312 | 4,38 | 9,9 | 772 | 104534 | 10,3 | 2237 | 0,57 | 1146 |
| 11140-2 | | | 307 | 4,28 | 9,8 | 795 | 105108 | 10,5 | 2251 | 0,56 | 1175 |
| 11141-1 | 9 | 12 | 105 | 0,27 | 12,3 | 411 | 50860 | 14,6 | 1688 | 0,33 | 130 |
| 11141-2 | | | 104 | 0,34 | 12,6 | 450 | 46911 | 14,3 | 1764 | 0,33 | 135 |
| 11142-1 | 10 | 13 | 108 | 0,50 | 10,5 | 715 | 90393 | 12,2 | 1674 | 0,34 | 184 |
| 11142-2 | | | 107 | 0,49 | 10,7 | 698 | 88274 | 12,4 | 1657 | 0,33 | 180 |
| 11143-1 | 11 | 14 | 58,0 | 1,56 | 19,2 | 185 | 34288 | 25,5 | 535 | 0,54 | 409 |
| 11143-2 | | | 57,7 | 1,56 | 17,6 | 174 | 34114 | 25,1 | 525 | 0,47 | 409 |
| 11144-1 | 12 | 15 | 53,3 | 0,14 | 23,4 | 43,4 | 33876 | 27,9 | 123 | 0,54 | 68,4 |
| 11144-2 | | | 56,0 | 0,14 | 25,1 | 45,8 | 37785 | 29,3 | 131 | 0,46 | 73,4 |
| 11145-1 | 13 | 16 | 322 | 12,1 | 11,7 | 1052 | 118116 | 12,3 | 1946 | 0,95 | 2978 |
| 11145-2 | | | 323 | 12,2 | 11,5 | 1059 | 120402 | 12,0 | 1985 | 0,93 | 2975 |
| 11146-1 | 14 | 17 | 150 | 0,19 | 15,3 | 224 | 44071 | 19,9 | 1073 | 0,35 | 107 |
| 11146-2 | | | 151 | 0,20 | 15,9 | 226 | 43537 | 19,9 | 1086 | 0,35 | 98 |
| 11147-1 | 17 | 21 | 37,5 | 1,49 | 27,4 | 170 | 25748 | 45,0 | 98,0 | 0,54 | 488,9 |
| 11147-2 | | | 36,7 | 1,45 | 26,1 | 157 | 38081 | 45,1 | 96,1 | 0,55 | 436,2 |
| 11148-1 | 18 | 22 | 34,5 | 1,94 | 23,1 | 242 | 35651 | 40,3 | 131 | 0,72 | 577,9 |
| 11148-2 | | | 39,8 | 2,09 | 25,7 | 269 | 41745 | 43,7 | 146 | 0,82 | 635,4 |
| 11149-1 | 19 | 23 | 12,4 | 0,34 | 22,7 | 25,7 | 27551 | 37,5 | 25,9 | 0,65 | 87,5 |
| 11149-2 | | | 12,9 | 0,32 | 23,5 | 25,5 | 27216 | 37,5 | 26,0 | 0,65 | 83,0 |
| 11150-1 | 20 | 24 | 53,3 | 0,13 | 24,4 | 79,6 | 38905 | 29,3 | 189 | 0,51 | 73,4 |
| 11150-2 | | | 49,3 | 0,16 | 23,8 | 75,1 | 37819 | 28,2 | 183 | 0,50 | 69,3 |
| 11151-1 | 21 | 25 | 37,0 | 0,25 | 23,0 | 73,9 | 34381 | 28,7 | 108 | 0,53 | 95,9 |
| 11151-2 | | | 35,5 | 0,23 | 23,7 | 70,5 | 34466 | 29,1 | 105 | 0,57 | 96,1 |
| 11152-1 | 22 | 26 | 10,1 | 0,60 | 15,5 | 52,1 | 19819 | 20,8 | 31,7 | 0,61 | 186,2 |
| 11152-2 | | | 18,8 | 1,03 | 25,7 | 92,6 | 36519 | 34,6 | 54,3 | 1,03 | 329,2 |
| 11153-1 | 23 | 27 | 30,7 | 0,32 | 25,3 | 69,1 | 36145 | 31,1 | 88,7 | 1,00 | 112,2 |
| 11153-2 | | | 31,2 | 0,32 | 24,1 | 66,3 | 35740 | 30,9 | 89,5 | 1,02 | 109,9 |
| 11154-1 | 24 | 28 | 52,2 | 0,09 | 25,7 | 52,9 | 37402 | 28,6 | 125 | 0,73 | 78,3 |
| 11154-2 | | | 49,2 | 0,09 | 25,9 | 50,1 | 36599 | 28,4 | 117 | 0,70 | 75,5 |
| 11155-1 | 25 | 29 | 15,9 | 1,02 | 23,7 | 67,7 | 33013 | 32,3 | 44,2 | 1,03 | 311,9 |
| 11155-2 | | | 14,5 | 1,05 | 23,2 | 69,3 | 32837 | 32,3 | 47,3 | 0,98 | 315,2 |
| 11156-1 | 26 | 30 | 37,3 | 0,26 | 27,3 | 60,7 | 37433 | 29,8 | 83,5 | 1,35 | 100,0 |
| 11156-2 | | | 40,5 | 0,31 | 27,7 | 64,3 | 38689 | 30,2 | 86,5 | 1,43 | 104,6 |
| 11157-1 | 27 | 31 | 18,0 | 1,04 | 25,1 | 71,5 | 34203 | 32,9 | 44,3 | 1,12 | 320,3 |
| 11157-2 | | | 18,8 | 1,07 | 25,6 | 72,1 | 33934 | 32,8 | 47,3 | 1,10 | 318,8 |
| 11158-1 | 28 | 32 | 23,8 | 2,41 | 38,5 | 153 | 45729 | 46,3 | 73,5 | 1,68 | 622,2 |
| 11158-2 | | | 23,2 | 2,28 | 39,1 | 147 | 45781 | 46,1 | 72,9 | 1,65 | 601,1 |
| 11159-1 | 29 | 33 | 32,5 | 0,27 | 22,4 | 61,1 | 34679 | 27,6 | 95,9 | 0,75 | 111,6 |
| 11159-2 | | | 34,0 | 0,28 | 24,2 | 64,2 | 35616 | 28,4 | 101 | 0,79 | 117,3 |
| 11160-1 | 30 | 34 | 17,7 | 0,73 | 26,2 | 59,1 | 33958 | 34,3 | 38,4 | 0,95 | 228,4 |
| 11160-2 | | | 19,2 | 0,72 | 27,2 | 56,6 | 34138 | 34,2 | 39,4 | 1,00 | 227,9 |
| 11161-1 | 31 | 35 | 15,3 | 0,92 | 25,1 | 63,5 | 33125 | 33,0 | 40,3 | 1,05 | 282,9 |
| 11161-2 | | | 15,6 | 0,94 | 25,9 | 62,6 | 33185 | 33,5 | 39,1 | 1,05 | 290,5 |
| 11162-1 | 32 | 36 | 19,0 | 1,27 | 37,9 | 104 | 42853 | 42,4 | 54,7 | 1,54 | 350,9 |
| 11162-2 | | | 19,3 | 1,27 | 37,0 | 103 | 42568 | 41,7 | 54,4 | 1,53 | 346,2 |

Tabelle 14: Gesamtgehalte, Königswasseraufschluss

| Analyse der Pflanzenproben auf Schwermetalle | | |
|--|---------|--------------------|
| Probennr. | Fundort | Probenart |
| Pf1 | P1 | Fichtennadeln 2003 |
| Pf2 | P1 | Fichtennadeln 2002 |
| Pf3 | P1 | Fichtennadeln 2001 |
| Pf4 | P1 | Fichtennadeln 2000 |
| Pf5 | P1 | Fichtenwurzeln |

Tabelle 15: Freilandbezeichnung Pflanzenproben

Pflanzenuntersuchung; Fichte mit deutlichen Schäden bei Profil 1

| LA-Chemie | Nummer | Jahrgang | Organ |
|--------------|--------|----------|--------|
| 2003/1P04861 | 1 | 2000 | Stamm |
| 2003/1P04862 | 2 | 2000 | Nadel |
| 2003/1P04863 | 3 | 2001 | Stamm |
| 2003/1P04864 | 4 | 2001 | Nadel |
| 2003/1P04865 | 5 | 2002 | Stamm |
| 2003/1P04866 | 6 | 2002 | Nadel |
| 2003/1P04867 | 7 | 2003 | Stamm |
| 2003/1P04868 | 8 | 2003 | Nadel |
| 2003/1P04869 | 9 | 2003 | Wurzel |

Tabelle 16: Pflanzenuntersuchung Probenverzeichnis

| Pflanzenuntersuchung | | | | As | Cd | Cr | Cu | Fe | Ni | Pb | U | Zn |
|----------------------|---|------|---------|-------|-------|-------|-------|-----------|-------|-------|-------|-------|
| | | | | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg |
| 2003/1P0486 | 1 | 2000 | Stamm | 0,88 | 0,53 | <2,0 | 15,00 | 704,00 | 2,30 | 57,00 | 0,09 | 94,00 |
| 2003/1P0486 | 2 | 2000 | Nadeln | 0,10 | 0,17 | <2,0 | 7,40 | 697,00 | 27,00 | 10,00 | 0,17 | 49,00 |
| 2003/1P0486 | 3 | 2001 | Stamm | 0,95 | 0,40 | 2,10 | 13,00 | 621,00 | 2,80 | 29,00 | 0,05 | 56,00 |
| 2003/1P0486 | 4 | 2001 | Nadeln | 0,19 | 0,26 | 2,50 | 3,80 | 195,00 | 2,30 | 6,90 | 0,11 | 19,00 |
| 2003/1P0486 | 5 | 2002 | Stamm | 0,64 | 0,34 | <2,0 | 8,80 | 369,00 | 3,70 | 14,00 | 0,03 | 49,00 |
| 2003/1P0486 | 6 | 2002 | Nadeln | 0,09 | 0,05 | <2,0 | 3,30 | 112,00 | 2,00 | 1,70 | 0,03 | 17,00 |
| 2003/1P0486 | 7 | 2003 | Stamm | 0,37 | 0,17 | <2,0 | 8,20 | 202,00 | 3,20 | 6,80 | 0,03 | 37,00 |
| 2003/1P0486 | 8 | 2003 | Nadeln | 0,15 | 0,09 | <2,0 | 4,00 | 107,00 | 3,00 | 1,50 | 0,03 | 24,00 |
| 2003/1P0486 | 9 | 2003 | Wurzeln | 47,00 | 0,27 | <2,0 | 41,00 | 12.592,00 | 1,50 | 52,00 | 0,10 | 33,00 |

Tabelle 17: Gesamtgehalte der Pflanzenproben

| Probenverzeichnis | | | | | | |
|----------------------|--------------|----------------------|----------|--------------------------|-------------------|-------------------|
| Kilometer ab Damm | laufende Nr. | Feldbe- zeichnung | Horizont | Horizontbe- zeichnung | LA-Chemie (KW) | LA-Chemie (AN) |
| 0,2 | 1 | 2 Novat | | | S11754 | S12878 |
| 0,4 | 2 | 2 LPA | | | S11135 | S12868 |
| 1,9 | 3 | 3 LPB | | | S11136 | |
| 2,4 | 4 | 4 LPC | | | S11137 | |
| 3 | 5 | 5 LPD | | | S11138 | S12869 |
| 4,1 | 6 | 40 P1 0-10 | 1 | yIC1 | S11163 | S12872 |
| | 7 | 41 P1 10-20 | 2 | aAh | S11164 | S12873 |
| | 8 | 42 P1 20-28 | 3 | aiIC2 | S11165 | S12874 |
| | 9 | 43 P1 28-80 | 4 | aM | S11166 | |
| 4,5 | 10 | 7 LPE | | | S11139 | |
| 4,8 | 11 | 8 LPF | | | S11140 | |
| 5 | 12 | 9 LPG | | | S11141 | |
| 5,3 | 13 | 10 LPH | | | S11142 | |
| 5,8 | 14 | 11 LPI | | | S11143 | |
| 6,2 | 15 | 12 LPK | | | S11144 | |
| 6,5 | 16 | 13 LPL | | | S11145 | S12870 |
| 7 | 17 | 14 LPM | | | S11146 | |
| 7,5 | 18 | 50 P2 0-5 | 1* | yIC-L | S11167 | S12875 |
| | 19 | 51 P2 0-6 | 1 | aAh | S11168 | S12876 |
| | 20 | 52 P2 6-20 | 2 | aGo-aM | S11169 | S12877 |
| 8,1 | 21 | 18 LPV | | | S11147 | |
| 8,5 | 22 | 19 LPW | | | S11148 | |
| 9 | 23 | 20 LPX | | | S11149 | |
| 9,7 | 24 | 21 LPY | | | S11150 | |
| 10 | 25 | 22 LPZ | | | S11151 | |
| 11,6 | 26 | 23 B | | | S11152 | |
| 12,1 | 27 | 24 LPU1 | | | S11153 | |
| 12,3 | 28 | 25 LPU2 | | | S11154 | S12871 |
| 14,6 | 29 | 26 LPT | | | S11155 | |
| 16,3 | 30 | 27 LPS | | | S11156 | |
| 17,1 | 31 | 28 LPR | | | S11157 | |
| 18 | 32 | 29 LPQ1 | | | S11158 | |
| 18,1 | 33 | 30 LPQ2 | | | S11159 | |
| 19,7 | 34 | 31 LPP | | | S11160 | |
| 20 | 35 | 32 LPO | | | S11161 | |
| 20,4 | 36 | 33 LPN | | | S11162 | |
| 20,5 | 37 | 80 P5 0-12 | 1 | aAh | S11175 | |
| | 38 | 81 P5 12-30 | 2 | aM | S11176 | |
| | 39 | 82 P5 30-50 | 3 | aM-aGo | S11177 | |
| 21,6 | 40 | 70 P4 0-6 | 1 | aAh | S11172 | |
| | 41 | 71 P46-30 | 2 | aM | S11173 | |
| | 42 | 72 P4 120+ | 5 | Hv | S11174 | |
| | 43 | 60 P3 0-12 | 1 | aAh | S11170 | |
| | 44 | 61 P3 12-27 | 2 | aG-M | S11171 | |

Tabelle 18: Verzeichnis der Probennummer

Referenzprofil 3

| Gehalte in mg/kg FE | 0-12 cm | 12-30 cm |
|------------------------------|---------|----------|
| Arsen (As) | 22 | 20 |
| Cadmium (Cd) | 0,5 | 0,7 |
| Chrom (Cr) | 33 | 28 |
| Kupfer (Cu) | 46 | 55 |
| Eisen (Fe) | 41700 | 36100 |
| Nickel (Ni) | 37 | 35 |
| Blei (Pb) | 100 | 57 |
| Uran (U) | 1,9 | 1,4 |
| Zink (Zn) | 160 | 190 |
| pH-Wert (CaCl ₂) | 4,4 | 4,8 |
| Humusgehalt | 1,9 | 1,4 |

Tabelle 19: Profil 3 - Gesamtgehalte

der untersuchten Elemente in mg/kg TM, Humusgehalte und pH-Werte (CaCl₂), getrennt nach Horizonten

Profil 1:

| Gehalte in mg/kg FE | 0-10 cm | 10-20 cm | 20-28 cm | 28-80 cm |
|---------------------|---------|----------|----------|----------|
| Arsen (As) | 110 | 88 | 7 | 17 |
| Cadmium (Cd) | 0,6 | 0,2 | 0,1 | 1,0 |
| Chrom (Cr) | 7 | 49 | 2 | 25 |
| Kupfer (Cu) | 780 | 39 | 17 | 255 |
| Eisen (Fe) | 68700 | 31600 | 4750 | 33000 |
| Nickel (Ni) | 7 | 27 | 4 | 44 |
| Blei (Pb) | 2380 | 23 | 36 | 27 |
| Uran (U) | 0,4 | 0,4 | 0,1 | 2,1 |
| Zink (Zn) | 215 | 75 | 34 | 210 |
| pH-Wert | 2,2 | 2,5 | 2,9 | 3,6 |
| Humusgehalt | 0,9 | 1,9 | 0,3 | 2,9 |

Tabelle 20: Profil 1 - Gesamtgehalte

der untersuchten Elemente in mg/kg TM, Humusgehalte und pH-Werte (CaCl₂), getrennt nach Horizonten
 Grau unterlegt sind die Werte, die LAGA Z2 und/oder MW/Grünland überschreiten.

Profil 2:

| Gehalte in mg/kg FE | 0-5* cm | 0-6 cm | 6-20 cm |
|---------------------|---------|--------|---------|
| Arsen (As) | 200 | 110 | 24 |
| Cadmium (Cd) | 2,5 | 0,3 | 0,1 |
| Chrom (Cr) | 12 | 22 | 7 |
| Kupfer (Cu) | 590 | 55 | 13 |
| Eisen (Fe) | 101700 | 32700 | 11100 |
| Nickel (Ni) | 14 | 27 | 9 |
| Blei (Pb) | 1360 | 65 | 7 |
| Uran (U) | 0,5 | 0,4 | 0,1 |
| Zink (Zn) | 654 | 91 | 31 |
| pH-Wert | 2,3 | 2,3 | 2,4 |
| Humusgehalt | 1,2 | 3,3 | 0,8 |

Tabelle 21: Profil 2 - Gesamtgehalte

der untersuchten Elemente in mg/kg TM, Humusgehalte und pH-Werte (CaCl₂), getrennt nach Horizonten
 Grau unterlegt sind die Werte, die LAGA Z2 und/oder MW/Grünland überschreiten.

* Unmittelbar in der Umgebung des Profils ist der Boden großflächig von einem 5 cm mächtigen, mineralischer, grauen Auflagehorizont überlagert.

Profil 4:

| Gehalte in mg/kg Fe | 0-6 cm | 6-30 cm | >130 cm |
|---------------------|--------|---------|---------|
| Arsen (As) | 28 | 10 | 13 |
| Cadmium (Cd) | 1,3 | 0,1 | 1,9 |
| Chrom (Cr) | 30 | 18 | 26 |
| Kupfer (Cu) | 76 | 15 | 122 |
| Eisen (Fe) | 35500 | 22500 | 19800 |
| Nickel (Ni) | 38 | 23 | 27 |
| Blei (Pb) | 82 | 17 | 90 |
| Uran (U) | 1,3 | 0,7 | 0,5 |
| Zink (Zn) | 280 | 56 | 341 |
| pH-Wert | 6,4 | 6,7 | 5,8 |
| Humusgehalt | 12,8 | 0,6 | 34,7 |

Tabelle 22: Profil 4 - Gesamtgehalte

der untersuchten Elemente in mg/kg TM, Humusgehalte und pH-Werte (CaCl₂), getrennt nach Horizonten

Profil 5:

| Gehalte in mg/kg Fe | 0-12 cm | 12-30 | 30-50 cm |
|---------------------|---------|-------|----------|
| Arsen (As) | 32 | 21 | 15 |
| Cadmium (Cd) | 1,1 | 0,8 | 0,5 |
| Chrom (Cr) | 34 | 31 | 25 |
| Kupfer (Cu) | 74 | 45 | 34 |
| Eisen (Fe) | 43400 | 39000 | 30000 |
| Nickel (Ni) | 44 | 41 | 33 |
| Blei (Pb) | 90 | 58 | 42 |
| Uran (U) | 1,9 | 1,3 | 1,1 |
| Zink (Zn) | 263 | 188 | 142 |
| pH-Wert | 6,0 | 6,6 | 6,6 |
| Humusgehalt | 7,4 | 5,2 | 2,4 |

Tabelle 23: Profil 5 - Gesamtgehalte

der untersuchten Elemente in mg/kg TM, Humusgehalte und pH-Werte (CaCl₂), getrennt nach Horizonten

| Probennummer | As (KW) | As (AN) | Pb (KW) | Pb (AN) | Cu (KW) | Cu (AN) |
|--------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | 199 | 0,4 | 2740 | 1,4 | 1186 | 7,7 |
| 2 | 298 | 34 | 2993 | 43 | 941 | 65 |
| 3 | 238 | | 2660 | | 1110 | |
| 4 | 55 | | 162 | | 221 | |
| 5 | 293 | 14 | 2464 | 70 | 1007 | 92 |
| 6 | 110 | 14 | 2384 | 74 | 781 | 34 |
| 10 | 125 | | 640 | | 182 | |
| 11 | 309 | | 2244 | | 783 | |
| 12 | 105 | | 1726 | | 431 | |
| 13 | 108 | 0,2 | 1665 | | 706 | |
| 14 | 58 | | 530 | | 179 | |
| 15 | 55 | 33 | 127 | | 45 | |
| 16 | 323 | 0,9 | 1966 | 121 | 1055 | 74 |
| 17 | 150 | 0,5 | 1079 | | 225 | |
| 18 | 199 | | 1360 | 76 | 587 | 46 |
| 21 | 37 | | 97 | | 163 | |
| 22 | 37 | | 139 | | 255 | |
| 23 | 13 | | 26 | | 26 | |
| 24 | 51 | 0,02 | 186 | | 77 | |
| 25 | 36 | | 106 | | 72 | |
| 26 | 14 | | 43 | | 72 | |
| 27 | 31 | | 89 | | 68 | |
| 28 | 51 | | 121 | 0,56 | 52 | 5,9 |
| 29 | 15 | | 46 | | 69 | |
| 30 | 39 | | 85 | | 63 | |
| 31 | 18 | | 46 | | 72 | |
| 32 | 24 | | 73 | | 150 | |
| 33 | 33 | | 98 | | 63 | |
| 34 | 18 | | 39 | | 58 | |
| 35 | 16 | | 39 | | 63 | |
| 36 | 19 | | 55 | | 103 | |
| 37 | 32 | | 90 | | 74 | |
| 40 | 28 | | 82 | | 76 | |
| 43 | 23 | | 102 | | 48 | |

| Probennummer | Fe (KW) | U (KW) | U (AN) |
|--------------|---------|--------|--------|
| 1 | 124900 | 0,5 | 0,01 |
| 2 | 101600 | 0,4 | 0,04 |
| 3 | 106700 | 0,6 | |
| 4 | 45500 | 0,8 | |
| 5 | 102300 | 0,8 | 0,27 |
| 6 | 68700 | 0,4 | 0,03 |
| 10 | 50600 | 0,4 | |
| 11 | 104800 | 0,6 | |
| 12 | 48900 | 0,3 | |
| 13 | 89300 | 0,3 | |
| 14 | 34200 | 0,5 | |
| 15 | 35800 | 0,5 | |
| 16 | 119300 | 0,9 | 0,06 |
| 17 | 43800 | 0,4 | |
| 18 | 101700 | 0,5 | 0,08 |
| 21 | 31900 | 0,6 | |
| 22 | 38700 | 0,8 | |
| 23 | 27400 | 0,7 | |
| 24 | 38400 | 0,5 | |
| 25 | 34400 | 0,6 | |
| 26 | 28200 | 0,8 | |
| 27 | 36000 | 1,0 | |
| 28 | 37000 | 0,7 | 0,03 |
| 29 | 32900 | 1,0 | |
| 30 | 38100 | 1,4 | |
| 31 | 34100 | 1,1 | |
| 32 | 45800 | 1,7 | |
| 33 | 35100 | 0,8 | |
| 34 | 34000 | 1,0 | |
| 35 | 33200 | 1,1 | |
| 36 | 42700 | 1,5 | |
| 37 | 45400 | 1,9 | |
| 40 | 35500 | 1,3 | |
| 43 | 43900 | 2,0 | |

Tabelle 24: SM-Gehalte der Proben entlang des Transekts

Alle Angaben in mg/kg TM – alle Proben sind den Oberflächensedimenten entnommen und frei von Bodenskelett.

Grau unterlegt sind die Werte, die LAGA Z2 und/oder MW/Grünland überschreiten.

| Probennummer | Cr (KW) | Cr (AN) | Ni (KW) | Ni (AN) | |
|--------------|---------|---------|---------|---------|-----|
| 1 | 6 | | 0,1 | 4 | 0,1 |
| 2 | 6 | | 0,5 | 5 | 0,5 |
| 3 | 6 | | | 5 | |
| 4 | 22 | | | 37 | |
| 5 | 10 | | 1,3 | 9 | 1,2 |
| 6 | 7 | | 0,4 | 7 | 0,6 |
| 10 | 22 | | | 29 | |
| 11 | 10 | | | 10 | |
| 12 | 12 | | | 15 | |
| 13 | 11 | | | 12 | |
| 14 | 18 | | | 25 | |
| 15 | 24 | | | 29 | |
| 16 | 12 | | 0,1 | 12 | 1,8 |
| 17 | 16 | | | 20 | |
| 18 | 12 | | 0,6 | 14 | 1,4 |
| 21 | 27 | | | 45 | |
| 22 | 24 | | | 42 | |
| 23 | 23 | | | 38 | |
| 24 | 24 | | | 29 | |
| 25 | 23 | | | 29 | |
| 26 | 21 | | | 28 | |
| 27 | 25 | | | 31 | |
| 28 | 26 | | 0,1 | 29 | 0,7 |
| 29 | 24 | | | 32 | |
| 30 | 28 | | | 30 | |
| 31 | 25 | | | 33 | |
| 32 | 39 | | | 46 | |
| 33 | 23 | | | 28 | |
| 34 | 27 | | | 34 | |
| 35 | 26 | | | 33 | |
| 36 | 37 | | | 42 | |
| 37 | 34 | | | 44 | |
| 40 | 30 | | | 38 | |
| 43 | 35 | | | 39 | |

| Probennummer | Zn (KW) | Zn (AN) | Cd (KW) | Cd (AN) | |
|--------------|---------|---------|---------|---------|------|
| 1 | 1211 | | 27,6 | 4,6 | 0,2 |
| 2 | 423 | | 78,9 | 1,3 | 0,3 |
| 3 | 1069 | | | 3,9 | |
| 4 | 686 | | | 2,5 | |
| 5 | 1904 | | 707,5 | 7,5 | 3,2 |
| 6 | 216 | | 36,9 | 0,6 | 0,2 |
| 10 | 156 | | | 0,4 | |
| 11 | 1160 | | | 4,3 | |
| 12 | 132 | | | 0,3 | |
| 13 | 182 | | | 0,5 | 2,8 |
| 14 | 409 | | | 1,6 | |
| 15 | 71 | | | 0,1 | 0,7 |
| 16 | 2977 | | 576,5 | 12,1 | 0,2 |
| 17 | 103 | | | 0,2 | 0,2 |
| 18 | 654 | | 170,5 | 2,4 | |
| 21 | 463 | | | 1,5 | |
| 22 | 607 | | | 2 | |
| 23 | 85 | | | 0,3 | |
| 24 | 71 | | | 0,1 | 0,04 |
| 25 | 96 | | | 0,2 | |
| 26 | 258 | | | 0,8 | |
| 27 | 111 | | | 0,3 | |
| 28 | 77 | | 3,4 | 0,1 | |
| 29 | 314 | | | 1 | |
| 30 | 102 | | | 0,3 | |
| 31 | 320 | | | 1,1 | |
| 32 | 612 | | | 2,3 | |
| 33 | 115 | | | 0,3 | |
| 34 | 228 | | | 0,7 | |
| 35 | 287 | | | 0,9 | |
| 36 | 349 | | | 1,3 | |
| 37 | 263 | | | 1,1 | |
| 40 | 280 | | | 1,3 | |
| 43 | 171 | | | 0,5 | |

Tabelle 25: Fortsetzung SM-Gehalte der Proben entlang des Transekts

Alle Angaben in mg/kg TM – alle Beutelproben sind den Oberflächensedimenten entnommen und frei von Bodenskelett.

Grau unterlegt sind die Werte, die LAGA Z2 und/oder MW/Grünland überschreiten.

Danksagung

Hiermit möchte ich, Christian Biernath, mich bei allen bedanken, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben, ganz besonders bei:

Herrn Prof. Dr. Karl Stahr für die Überlassung dieser Arbeit,
Herrn Dr. Frank-Michael Lange und Carsten Marohn für die Aufgabenstellung, die Betreuung, die Hilfestellung und für die Geländeeinführung,
Herrn Prof. Dr. Emil Luca von der University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine in Cluj-Napoca, Rumänien für die fruchtbare Zusammenarbeit,
Herrn Dr. Jörn Breuer für die freundliche Unterstützung und die Möglichkeit einige Analysen in den Labors der Landesanstalt für Landwirtschaftliche Chemie durchzuführen,
Herrn Dr. Thomas Gaiser für die hilfreiche Diskussion,
Herrn Prof. Dr. Thilo Streck und Herrn Dr. Joachim Ingwersen für die Möglichkeit die Körnungsanalysen am Laserbeugungsspektrometer durchzuführen,
Frau Barbara Horn und Herrn Daniel Schäfer für die Unterstützung bei den Laborarbeiten in der Landesanstalt für Landwirtschaftliche Chemie,
Frau Rita Hierl für die Unterstützung bei der Körnungsanalyse mit dem Laserbeugungsspektrometer,
Frau Annerose Böttcher für die Einführung in die Laborarbeiten des Instituts für Bodenkunde,
Herrn Leopold Langtaler für Kurzweil und technische Unterstützung in Rumänien,
Herrn Michael Schneeberger für die Unterkunft und die Fotos vom Dambruch und von der Wassertalbahn,
Frau Ramona Radu für die Übersetzung ins Rumänische,
Herrn Jonathan Kern für die Tipps bei der englischen Übersetzung,
Frau Silja Tribuhl für das zur Verfügung stellen ihres Laptops und die konstruktive Kritik,
Frau Stefanie Jaeger und Herrn Günter Scholich für die konstruktive Kritik,
meinen Eltern und meinem Bruder für die liebe und vielseitige Unterstützung.

Ich bedanke mich beim DAAD für die Förderung dieser Arbeit im Rahmen des Go-East-Programme 2003.