

**Tagungsbeitrag zu:**

Jahrestagung der DBG, Kommission II

**Titel der Tagung:**

Horizonte des Bodens

**Veranstalter:**

DBG

**Termin und Ort der Tagung:**

2.-7. September 2017, Göttingen

Berichte der DBG (nicht begutachtete online Publikation)

<http://www.dbges.de>

**Mobilität und Toxizität von geogenen Schwermetallen in Boden und Bodenaushub in der Steiermark**

Martin Wellacher<sup>1</sup>, Hannah Kunodi<sup>1</sup> und Roland Pomberger<sup>1</sup>

**Zusammenfassung:**

In diesem Beitrag wird ein Einblick in das Projekt ReSoil gegeben, in welchem die Mobilität und Toxizität von geogenen Metallen in Boden und Bodenaushub in der Steiermark untersucht werden. Ergebnisse zur Katalogisierung von elf Standorten für mit den Metallen As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni und Pb geogen belastete Böden werden dargestellt. Deren Mobilität in den Böden wurde mittels einer sequentiellen chemischen Extraktion nach Tessier beleuchtet. Zwei Testverfahren für

die Qualitätssicherung von Bodenaushub und Komposterden wurden entwickelt und validiert.

**Schlüsselworte:**

Bodenaushub, Metalle, Komposterde, geogen, Toxizität

## 1 Einleitung

In Österreich fielen 2015 33 Mio. t Bodenaushub als Abfall an. Seit 2009 ist ein Anstieg um 40 % zu verzeichnen. Es wird geschätzt, dass etwa 2/3 des Bodenaushubes deponiert und 1/3 verwertet werden (BMLFUW 2017). In der Steiermark betrug das Aufkommen von Bodenaushub 2015 2,4 Mio t (Umweltbundesamt 2017a).

Die dem Bodenaushub folgende Bodenversiegelung betrug in Österreich 2016 2.200 km<sup>2</sup> und ist ein Umweltproblem, für das noch eine Lösung zu finden ist. Weitere 3.347 km<sup>2</sup> wurden im Zuge von Nutzungsänderungen in Anspruch genommen (Umweltbundesamt 2017b). Sie stellen nach Abschluss der Bautätigkeiten den Markt für Rekultivierungsmaßnahmen dar.

Alternativ zur Nutzung von Bodenaushub für die Rekultivierung gibt es nur die Möglichkeit der Deponierung, bei welcher die Funktionen des ursprünglichen Bodens in überwiegendem Maß dauerhaft verloren gehen.

Zur Rekultivierung werden auch Komposterden angeboten. Diese werden

<sup>1</sup> Montanuniversität Leoben, Lehrstuhl für Abfallverwertungstechnik und Abfallwirtschaft, Franz Josef Straße 18, A-8700 Leoben, Österreich; [martin.wellacher@unileoben.ac.at](mailto:martin.wellacher@unileoben.ac.at)

aus Bodenaushub, Kompost und anderen Zuschlagstoffen hergestellt.

In Österreich sind Komposterden Abfall, welcher bei zulässiger Verwertung gemäß den Vorgaben des Bundesabfallwirtschaftsplans seine Abfalleigenschaft verliert. Für den verwendeten Bodenaushub ist für Chargen bis maximal 7.500 (vor Aushub) bzw. 2.500 t (nach Aushub) eine grundlegende Charakterisierung durchzuführen, bei welcher auch Grenzwerte für Metalle als Gesamtgehalte nach Aufschluss mit Königswasser (A.r.) (Austrian Standards Institute 2002a) und als Eluate festgelegt sind (Bundesgesetz 2008). Werden im Zuge der Überprüfung einer Rekultivierungsmaßnahme diese Werte von der Komposterde nicht eingehalten, ist für das Substrat ein Altlastensanierungsbeitrag zu bezahlen oder das Material ist wieder zu entfernen.

Dass Gesamtgehalte von Metallen in Böden keine ausreichende Information über deren Mobilität und Schadwirkung wiedergeben, ist beschrieben (Adriano 2001).

In der Steiermark sind geogene Belastungen von Böden mit Metallen bekannt (Reinhofer et al. 2004).

Die Schadwirkung von Metallen in Böden kann verschiedenartig bestimmt werden. Genormte Toxizitätstests sind v.a. für aquatische Systeme verfügbar, zeigen aber eine hohe Streuung. Als Ausweg für die Bestimmung der Schadwirkung könnte der Transfer in Futter- und Lebensmittel sowie in das Grundwasser und der

Vergleich mit gesetzlich festgelegten Grenzwerten herangezogen werden.

Die Qualitätskontrolle für Komposterden erfolgt neben der rein abfallwirtschaftlich orientierten grundlegenden Charakterisierung oft nur visuell und durch Erfüllung der Kundenerwartungen hinsichtlich Bewuchs und Niederschlagsableitungsvermögen.

Produzenten von Komposterden haben damit weder eine verlässliche Qualitätskontrolle für übernommenen Bodenaushub auf dessen Schadwirkung noch für das Produkt vorab der Auslieferung. Es gibt auch keine Korrekturmöglichkeit und keinen Schutz vor Fremdeinwirkung auf die Qualität der Komposterden im Zuge der Anwendung, z.B. durch zu hohe Verdichtung, Zumischung von Fremdkomponenten, Fehler bei Aussaat und Bewässerung etc.

## 2 Ziele

Im FFG-Forschungsprojekt „ReSoil - Entwicklung von Qualitätssicherungsmethoden zur Verwertung von Bodenaushub mit geogen bedingten Schwermetallgehalten“, werden u.a. folgende Ziele verfolgt:

- 1) Beschaffung von Bodenproben von Standorten in der Steiermark, die eine geogene Belastung mit Metallen aufweisen. Herstellung von Komposterden mit geogenen Metallbelastungen.
- 2) Untersuchungen zum Mobilitätsverhalten von Metallen in Böden mit geogenen Belastungen.
- 3) Entwicklung eines Testverfahrens zur Qualitätskontrolle für

Bodenaushub zur Feststellung von potentiellen Schadwirkungen vor Übernahme.

- 4) Entwicklung eines Testverfahrens zur Qualitätskontrolle für Komposterde vor Auslieferung.

Die hier vorgestellten Untersuchungen stellen nur auszugsweise Inhalte des Forschungsprojektes dar.

### 3 Material und Methoden

Die untersuchten Metalle waren As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni und Pb.

#### 3.1 Belastete Bodenproben und Komposterden

Für Bodenaushub wurden bekannte Standorte mit geogen erhöhten Metallgehalten ausgewählt (z.B. L5). Ein unbelasteter Standort, dessen Nutzung über Jahrzehnte bekannt war, wurde als Referenzprobe verwendet (L3). An den meisten Standorten kam es nicht zu einem Bodenaushub im eigentlichen Sinne, sondern es erfolgten nur Probenahmen und der Standort verblieb in landwirtschaftlicher Nutzung, meist als Grünland. Die Probenahmen wurden nach ÖNORM L 1054 und 1056 (Österreichisches Normungsinstitut 2004a und 2004b) durchgeführt.

Außerdem wurden Komposterden mit geogenen Belastungen großtechnisch hergestellt. Die hergestellte Komposterde L30 bestand beispielsweise zu 28 % aus Bodenaushub L5 (siehe oben), zu 23 % aus Bioabfall-Kompost und zum Rest aus einem lokal verfügbaren Sand eines Schotterwerkes (0-2 mm). Die

Probenahme erfolgte nach Austrian Standards Institute 2010.

Die Metalle wurden als Gesamtgehalte mit A.r.-Aufschluss und als Eluatgehalte bestimmt (Bundesgesetz 2008). Zusätzlich wurden pH, Textur (Sand, Schluff, Ton), Nährstoffe (N, P, K, Mg), CaCO<sub>3</sub> und Wassergehalt nach bodenkundlichen und abfallwirtschaftlichen Normen untersucht.

#### 3.2 Mobilitätsverhalten von Metallen

Das Mobilitätsverhalten von Metallen in geogen belasteten Bodenproben wurde durch eine sequentielle chemische Extraktion (SCE) nach Tessier bestimmt (Tessier et al. 1979) (Abbildung 1). Dabei wurden konsekutiv fünf Elutionsmittel verwendet, die durch ihren Gehalt an Säuren bzw. Oxidationsmitteln in fünf Stufen an Aggressivität zunahmen.

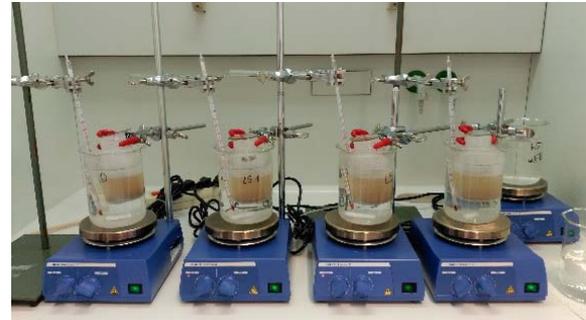


Abbildung 1: Versuchsaufbau zur SCE nach Tessier

Die getesteten Bodenaushub- und Komposterde-Materialien waren u.a.:

- L3 Referenzprobe, unbelastet
- L5 Boden mit erhöhten geogenen Metallgehalten von Cd, Hg und Pb
- L22 Komposterde mit erhöhtem geogenen Metallgehalt an Cr und Ni

### 3.3 Kleingefäßtest

Zur Ermittlung des Transfers der Metalle As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni und Pb von Bodenaushub in die Pflanze wurde ein Kleingefäßtest aufgebaut (Abbildung 2).

Die getesteten Pflanzenspezies waren Hafer, *Avena sativa* (A.s.), Kopfsalat, *Lactuca sativa* (L.s.), Italienisches Raygras, *Lolium multiflorum* (L.m.), und Große Brennnessel, *Urtica dioica* (U.d.).

Die verwendeten Gefäße waren oben aufgeschnittene Kunststofffässer mit Ablauf, die mit 7-9 kg Substrat befüllt wurden. Die Kulturdauer bis zur Ernte betrug 68 d (L.s.), 96 d (A.s.) und 117 d (U.d. und L.m.) (20.05.-14.09.2016). L.m. wurde über die Kulturdauer drei Mal geerntet.

Die getesteten Bodenaushub- und Komposterde-Materialien waren u.a. wieder L3, L5 und L22.

Die Kultivierung erfolgte unter freiem Himmel am Standort Kraubath/M., Bezirk Murtal, auf 632 m Seehöhe unweit der Mur. In den vergangenen zehn Jahren betrug der durchschnittliche Jahresniederschlag 849 mm und die Jahresdurchschnittstemperatur 8,0 °C (Messstation Leoben).

Die Metallgehalte der Pflanzen wurden nach Austrian Standards Institute 2002b und 2017 bestimmt.

Als Kriterien für die Validierung des Tests sollten die besten Zeigerpflanzen gefunden und ihr Pflanzenwuchs (Blattlänge und Erntegewicht) bestimmt werden. Die Gehalte wurden mit den Grenzwerten für Lebens- (Europäische

Union 2006) und Futtermittel (Europäische Union 2002) verglichen.



Abbildung 2: Kleingefäßtest in Kraubath/M

### 3.4 Großgefäßtest

Um den Transfer von Metallen von Komposterden in das Sickerwasser sowie der Wasserhaushalt (Sickerwassermenge, Wasserspeicherkapazität) zu untersuchen wurde ein Großgefäßtest durchgeführt (Abbildung 3).

Als Gefäße wurden oben aufgeschnittene IBC-Container mit einem Volumen von 1 m<sup>3</sup> verwendet, in welchen Sickerwasser gespeichert werden konnte. Als Drainage wurde eine gewaschene Schotterschicht von 30 cm eingefüllt, darüber 30 cm Unterboden der Referenzprobe L3 und darüber 30 cm die Komposterde. Die Kultivierung erfolgte analog dem Kleingefäßtest.

Die u.a. hergestellte Komposterde L30 (siehe oben) wurde mit L3 verglichen.



Abbildung 3: Großgefäßtest für verschiedene Komposterden in Kraubath/M

Folgende Pflanzen wurden verwendet:

- Kopfsalat (L.s.)
- Grasmischung mit 85 % Lolium perenne und 15 % Poa pratensis

Die im Sickerwasser enthaltenen Metalle wurden nach Austrian Standards Institute 2006 gemessen.

Die Transfers wurden mit Grenzwerten für Trinkwasser (Bundesgesetz 2001) verglichen.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Belastete Bodenproben und Komposterden

Es wurde ein Materialienkatalog erstellt, der elf Standorte für potentiellen oder bereits entnommenen Bodenaushub und zehn Komposterden enthielt. Darin wurden Standortinformationen, die sieben betrachteten Metalle als Gesamt- und Eluatgehalte in zwei Tiefen (0-30 cm und 70-100 cm) sowie andere Bodenparameter angegeben. Die Standortinformationen beinhalten derzeitige und etwaige ehemalige bergbauliche Nutzungen aus der Vergangenheit. Von den elf Standorten zeigten neun eine geogene Belastung mit einem oder mehreren der untersuchten Metalle.

### 4.2 Mobilitätsverhalten von Metallen

Die SCE der Proben von sieben Böden ergab Elutionskurven, die verglichen wurden. Fünf der sieben untersuchten Metalle konnten zwei Gruppen zugeordnet werden: Die erste Gruppe (Cd und Pb) kennzeichnete sich durch einen degressiven Kurvenverlauf, der eine leichte Elution der überwiegenden

Metallmenge schon bei wenig drastischen Bedingungen zeigte (Abbildung 4). Die Elutionskurven der zweiten Gruppe (As, Cr und Ni) verliefen progressiv. Die Elution der überwiegenden Metallmenge passiert erst bei drastischen Bedingungen (Abbildung 5).

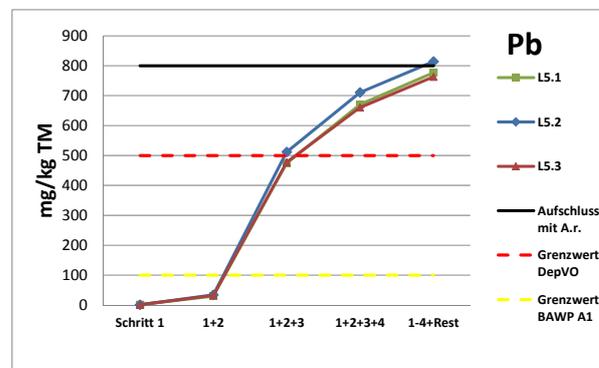


Abbildung 4: Degressive Elutionskurven für die fünf Elutionsstufen nach Tessier 1979 für Pb in L5 (drei Parallelansätze, DepVO = Bundesgesetz 2008, BAWP = BMLFUW 2017)

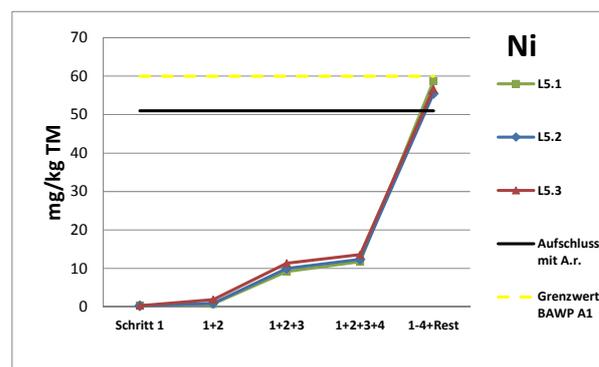


Abbildung 5: Progressive Elutionskurve für die fünf Elutionsstufen nach Tessier 1979 für Ni in L5 (wie Abbildung 4)

Cu verhält sich nach der dargestellten Charakteristik indifferent und Hg konnte wegen Verdampfung bei zwei Elutionsschritten, nicht eingeordnet werden.

### 4.3 Kleingefäßtest

Der Versuchsaufbau des Kleingefäßtests war geeignet, um geogene Metallbelastungen in Bodenaushub zu erkennen.

Die Wachstumsverläufe der vier Testpflanzen zeigten teilweise signifikante Unterschiede zwischen Referenzprobe und Ansätzen mit hohen Metallgehalten und teilweise keine Unterschiede. L.s. erwies sich als die beste Zeigerpflanze für den Boden L5 mit den erhöhten Gehalten an Cd, Hg und Pb. Die Messparameter Erntegewicht und Verlauf der Pflanzenhöhe (Abbildung 6) ergeben hier dasselbe Bild.

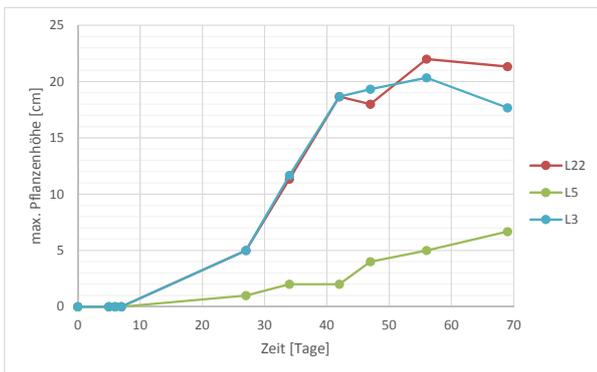


Abbildung 6: Verlauf der Pflanzenhöhe von L.s. für L22, L3 und L5 (n=3)

Der Unterschied war auch mit bloßem Auge sichtbar (Abbildung 7).



Abbildung 7: Wachstumsunterschiede zwischen der Referenzprobe L3 und L5 bei L.s. nach 68 d

Die nächst beste Zeigerpflanze war U.d., welche bei Erntegewicht und Pflanzenhöhe signifikante Unterschiede zwischen Referenzprobe L3 und metallhaltigem Boden L5 zeigte. Im Vergleich dazu reagierte A.s. bei der

Pflanzenhöhe nur wenig (Abbildung 8), zeigte aber Unterschiede beim Erntegewicht. L.m. reagierte auf die unterschiedlichen Metallgehalte kaum sichtbar.

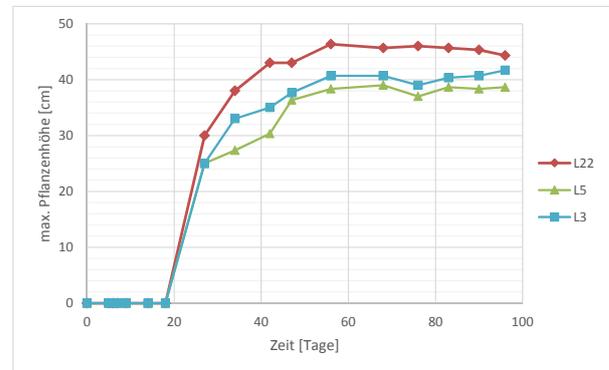


Abbildung 8: Verlauf der Pflanzenhöhe von A.s. für L22, L3 und L5 (n=3)

Der Metalltransfer vom Boden in die Pflanze war bei L.s. und U.d. am stärksten, z.B. beim in L5 in erhöhten Konzentrationen gegen auftretenden Pb (Abbildung 9).

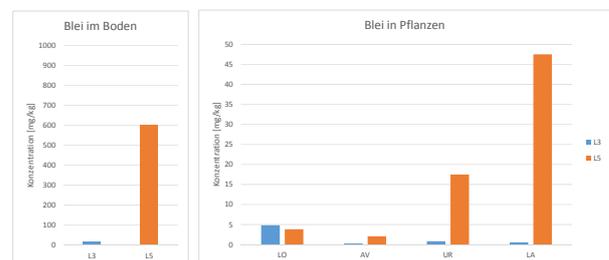


Abbildung 9: Pb-Transfer von L3 und L5 in die vier Pflanzenspezies (n=3)

Der Metallgehalt in Pflanzen, die auf L5 wuchsen, überstieg bei L.s., A.s. und U.d. die Grenzwerte für Pb in Lebensmittel z.T. um das 17fache, der Cd-Grenzwert wurde eingehalten. Die Grenzwerte für Futtermittel in L.m. und A.s. für As, Cd, Hg und Pb wurden eingehalten. Bei L3 wurden alle Grenzwerte eingehalten.

#### 4.4 Großgefäßtest

Vom Großgefäßtest liegen erst wenige Ergebnisse vor. Danach dürfte der Versuchsaufbau geeignet sein, um

Aussagen über die Metallbelastung im Sickerwasser und zum Wasserhaushalt zu treffen. Bei der Komposterde L30 gab es keine Überschreitung des Grenzwertes für Pb in Trinkwasser.

## 5 Diskussion

Die in einigen steirischen Böden gefundenen geogenen Metall-Gesamtgehalte überstiegen gesetzliche Grenzwerte deutlich.

Die Untersuchungen mit der SCE zeigten, dass die Gesamtgehaltsbestimmung von Metallen mit A.r. für die drei Metalle, As, Cr und Ni keine relevante Aussage über deren Mobilität gibt. Diese Metalle stellten sich als schwer löslich heraus und konnten unter natürlichen Bedingungen in nur unerheblichem Ausmaß eluiert werden. Es ist also nicht zu erwarten, dass bei einer begrenzten Überschreitung der A.r.-Grenzwerte eine Schadwirkung eintritt. Dagegen stellten sich Cd und Pb als vergleichsweise mobil heraus, womit die Anwendung eines mit A.r. festgelegten Grenzwertes für diese Metalle noch eher bestätigt werden kann. Adriano (2001) und andere wiesen darauf hin, dass Gesamtgehalte von Metallen in Böden kaum Aussagen zu deren Mobilität und Schadwirkung zulassen.

Der vorgeschlagene Kleingefäßtest ist geeignet, eine Qualitätskontrolle hinsichtlich erhöhter Metallgehalte in Bodenaushub durchzuführen. Kopfsalat (L.s.) ist eine gute Zeigerpflanze und reagiert auf hohe Cd-, Hg- und Pb-Gehalte in Böden mit einer Wachstumshemmung. Italienisches Raygras (L.m.) dagegen ist als Zeigerpflanze eher ungeeignet. Auch

die Schadwirkung konnte am Beispiel Pb gezeigt werden, indem in Zeigerpflanzen gesetzliche Grenzwerte für Lebensmittel überschritten wurden.

Der Großgefäßtest lässt die Untersuchung von Sickerwasserbelastungen und den Vergleich mit Grenzwerten für Trinkwasser zu. Um die Eignung des Tests zur Qualitätskontrolle von Komposterden festzustellen, sind der Versuchsabschluss und die Auswertung der Ergebnisse abzuwarten.

**Danksagung:** Die Autoren danken der Österreichischen Forschungsförderungsges.m.b.H (FFG) und dem Unternehmen Poschacher Kompost für die Finanzierung und Heidi und Franz Poschacher, Peter Liebhard, Anto Jelecevic, Daniel Höllen, Susana Casaseca, Nicole Fuchs, Valentin Schaffer, Stefan Stuhlpfarrer, Fabian Ahr und Markus Brechlmacher für die Unterstützung im Projekt.

## Literatur

Adriano, D.C. (2001) Trace elements in terrestrial environments: biogeochemistry, bioavailability, and risks of metals. Springer, New York

Austrian Standards Institute (2002a) ÖNORM EN 13657: Charakterisierung von Abfällen – Aufschluss zur anschließenden Bestimmung des in Königswasser löslichen Anteils an Elementen in Abfällen. Heinestraße 38, 1020 Wien

Austrian Standards Institute (2002b) ÖNORM EN 13656: Charakterisierung

von Abfällen – Aufschluss mittels Mikrowellengerät mit einem Gemisch aus Fluorwasserstoffsäure (HF), Salpetersäure (HNO<sub>3</sub>) und Salzsäure (HCl) für die anschließende Bestimmung der Elemente im Abfall. Heinestraße 38, 1020 Wien

Austrian Standards Institute (2006) ÖNORM EN ISO 17294-2: Wasserbeschaffenheit – Anwendung der induktiv gekoppelten Plasma-Massenspektroskopie (ICP-MS). Heinestraße 38, 1020 Wien

Austrian Standards Institute (2010) ÖNORM S 2126: Grundlegende Charakterisierung von Abfallhaufen oder von festen Abfällen aus Behältnissen und Transportfahrzeugen. Heinestraße 38, 1020 Wien

Bundesgesetz (2001) Verordnung des Bundesministers für soziale Sicherheit und Generationen über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung - TWV). BGBl. II Nr. 304/2001 zuletzt geändert BGBl. II Nr. 208/2015

Bundesgesetz (2008) Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über Deponien - Deponieverordnung. BGBl II 39/2008

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW) (2017) Bundesabfallwirtschaftsplan 2017 Teil 1 – Entwurf. BMLFUW, Stubenring 1, 1010 Wien

Europäische Union (2002) Richtlinie 2002/32/EG des Europäischen

Parlaments und des Rates vom 7. Mai 2002 über unerwünschte Stoffe in der Tierernährung

Europäische Union (2006) Verordnung Nr. 1881/2006 der Kommission vom 19. Dezember 2006 zur Festsetzung der Höchstgehalte für bestimmte Kontaminanten in Lebensmitteln. 2006/1881/EG

Österreichisches Normungsinstitut (2004a) ÖNORM L 1054 Probenahme von Böden – Allgemeines, Terminologie. Heinestraße 38, 1020 Wien

Österreichisches Normungsinstitut (2004b) ÖNORM L 1056 Probenahme von Dauergrünland (inklusive Parkanlagen sowie Zier- und Sportrasen). Heinestraße 38, 1020 Wien

Reinhofer M., Proske H., Pirkl, U. & Kellerer-Pirklbauer, A. (2004) Geogene Hintergrundbelastungen – Auswirkungen auf abfallwirtschaftliche Maßnahmen. Land Steiermark, Fachabteilung 19D, Graz

Tessier, A., Campbell, P. & Bisson, M. (1979) Sequential Extraction Procedure for Speciation of Particulate Trace Metals. Analytical Chemistry (51) 844-851

Umweltbundesamt (2017a) Fortschreibung des steiermärkischen Landes-Abfallwirtschaftsplans 2010 – Detail-Auswertungen aus EDM. Interner Bericht für A14 - Abfallwirtschaft u. Nachhaltigkeit

Umweltbundesamt (2017b) Flächeninanspruchnahme in Österreich 2016. [www.umweltbundesamt.at](http://www.umweltbundesamt.at), abgerufen am 29.09.2017