



## MERKBLATT

# Untersuchung des Bodens mittels mobiler Röntgenfluoreszenz-Spektrometrie und Vergleich mit Resultaten nach VBBo

M-XRF und VBBO, FABOST 2012

## Herausgeber und Zweck

Dieses Merkblatt der Fachstellen Bodenschutz der Ostschweizer Kantone und des Fürstentums Liechtenstein (FaBOst) steckt den Rahmen für Untersuchungen des Bodens ab, die mit mobiler Röntgenfluoreszenz-Spektrometrie (m-XRF) durchgeführt werden und in Beziehung zur Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBo 1998) stehen müssen.

## Probennahmen

Probennahmen (Anzahl Einstiche, Beprobungstiefen und -muster, beprobte Flächen etc.) werden auf der Basis des entsprechenden Handbuchs durchgeführt (BUWAL 2003) und richten sich nach dem Schadstoffverteilungsmuster und dem wichtigsten -wirkungspfad (VBBo). In der Regel eignen sich Pürckhauer-Bohrer für die Entnahme von Mischproben. Auch die Probenahmetiefe richtet sich nach dem Schadstoffwirkungspfad (BUWAL 2005).

Die Mindestprobenmenge richtet sich nach den Vorgaben des BAFU (BAFU 2010, S. 21), darf aber 1 kg Masse nicht unterschreiten.

## Messung und Messgüte

Bevor die Proben analysiert werden, sind sie gründlich zu mischen.

## VBBo

Für die (nasschemischen) VBBo-Messungen sind die aufbereiteten Proben (trocken, <2 mm gesiebt) durch ein Labor der aktuellen «Öffentlichen Laborliste» ([www.bafu.admin.ch/bodenschutz/10161/10178/10179/index.html?lang=de](http://www.bafu.admin.ch/bodenschutz/10161/10178/10179/index.html?lang=de)) zu untersuchen.

## m-XRF

### Kalibration

Das m-XRF-Gerät ist nach den Vorgaben des Herstellers und ordnungsgemäss kalibriert zu betreiben.

### Bestimmungsgrenzen für m-XRF

Die Bestimmungsgrenzen für Blei, Kupfer und Zink betragen in der Praxis zurzeit rund 35, 90 bzw. 50 ppm (Zipper et al. 2006; Gasser und Mani 2008; Nyfeler 2008; Schmidiger 2009; Grimm 2010; Lüthy 2010). Die Bestimmungsgrenzen für die mit m-XRF untersuchten Proben sind u. a. von folgenden Einflussgrössen abhängig: Element, Messdauer, Bodenfeuchte, Bodenmatrix, Skelettgehalt.

## Dauer der Einzelmessung

Die Dauer der einzelnen m-XRF-Messungen kann, unter Berücksichtigung der Fragestellung der Untersuchung, der gewünschten Bestimmungsgrenze angepasst werden. Die Mindestdauer einer Einzelmessung nimmt mit zunehmender Konzentration ab. Diese Dauer darf 10 Sekunden nicht unterschreiten. Die Messdauer im Konzentrationsbereich der Bestimmungsgrenze beträgt in der Regel 60 Sekunden.

## Anzahl Einzelmessungen je Probe und Messwertangabe

Die Stoffgehalte der Proben werden an mindestens drei Stellen gemessen. Falls der Variationskoeffizient (Standardabweichung/Mittelwert) der entsprechenden Messungen 20 % überschreitet, muss die Probe an mindestens 10 Stellen gemessen werden (UWE-LU 2010). Massgebend ist das arithmetische Mittel.

## Weitere Vorgaben

Werden die Proben in Gebinden wie Plastiksäcken oder PE-Dosen gemessen, so ist stets der gleiche Gebindetyp zu verwenden.

Zur Messung dürfen die Böden nicht nass, d. h. die Grobporen müssen grösstenteils entwässert sein. Dieser Zustand, Feldkapazität genannt, ist in der Regel zwei Tage nach Wassersättigung durch ununterbrochenes Trocknen an der Luft erreicht (Kuntze et al. 1994). Die Bodenfeuchte ist deshalb abzuschätzen (AGB 2005). Der Bodenfeuchtegrad pF (Logarithmus der Saugspannung in mbar oder hPa) soll in der Regel grösser sein als 1.8 (6 cbar). Bei üblichen Verhältnissen liegt der pF zwischen 1.8 und 3 (100 cbar). Unterschiede im Wassergehalt <10 Vol.-% bewirken in der Regel einen Messfehler <10% (Kuntze et al. 1994; Schmidiger 2009).

Der Skelettgehalt der Proben ist auf 5 Vol.-% genau zu schätzen. Liegt er über 20 Vol.-% muss die Fraktion <10 mm durch Sieben gewonnen werden.

Werden von luftgetrockneten Proben Teilmengen benötigt, ist ein Probenteiler wie z. B. ein Riffelteiler zu verwenden.

## Korrektur der m-XRF-Werte

Die m-XRF-Werte müssen überprüft und korrigiert werden (BAFU 2006). Dazu werden mindestens 6 Proben, welche die Bandbreite der Schadstoffgehalte des Untersuchungsobjektes gut abdecken, mit beiden analytischen Methoden, m-XRF und VBBo (total), untersucht (Hofer und Locher 2011).

Proben, die für die Korrektur verwendet werden, müssen auf die gleiche Weise und unter gleichen Bedingungen entnommen und untersucht werden wie die übrigen Proben für die m-XRF-Analytik (BD-ZH 2011).

Die maximalen – mit m-XRF gemessen – Schadstoffgehalte der für die Korrektur verwendeten Proben sollen in der Regel den entsprechenden Sanierungswert nicht übersteigen.

Der Zusammenhang zwischen den beiden Methoden wird mittels Regression berechnet. Die Korrekturfunktion ergibt sich aus den Regressionsparametern.

Korrekturfunktionen müssen auf einer Regression mit einem  $R^2$ -Wert (Bestimmtheitsmass) von grösser als 0.80 beruhen (Hofer und Locher 2011), andernfalls sind im Bereich mit den grössten Messwertschwankungen drei weitere Datenpaare zu berücksichtigen. Für Böden mit partikulären Belastungen, z. B. Kugelfang-Material, soll der  $R^2$ -Wert mehr als 0.70 betragen.

Eine Korrekturmessung darf nur dann als Ausreisser von der Regression ausgeschlossen werden, wenn die verursachende Belastung nachweislich nicht standortüblich ist (Bsp: Probenverwechslung, Analytikfehler, Fremdkörper etc.).

Für eine gegebene Korrektur müssen Böden verwendet werden, die - insbesondere hinsichtlich Wasser- und Skelettgehalt - vergleichbar sind. Unterschiedliche Substrate benötigen individuelle Korrekturen. Deshalb gilt eine Korrekturfunktion meist nur für ein geografisch enges Gebiet.

## Berichterstattung und Dokumentation

### Vorgaben und Methoden

Die Dokumentation (Prüfbericht) erfolgt nach Vorgaben des BAFU. Die Schadstoffgehalte und Bodenkennwerte werden in Tabellen dargestellt (vgl. BAFU 2010, S. 23).

Neben dem verwendeten Geräte-Typ (m-XRF) sowie dem Labor der VBBo-Analysen sind im Bericht folgende Angaben zu vermerken:

### Beprobungsplan

Über die Lage der Beprobungen und die Schadstoffgehalte gibt ein detaillierter georeferenzierter Plan Auskunft. Dieser muss massstäblich sein und mindestens zwei Referenzpunkte (Koordinaten der Landeskarte) mit der Genauigkeit von  $\pm 1$  m aufweisen.

## Datenstruktur und -inhalte

Probenentnahmestelle (Standort), Identifikation der Probenentnahmestelle (StandortID), Rasterpunkt oder Koordinaten, Probenahmedatum, Anzahl am Standort entnommene Proben.

### Probe

Identifikation (ProbenID), StandortID, Beprobungstiefe (von/bis), Probenart, beprobte Fläche oder Linienlänge, ggf. Anzahl Einstiche, Probennahmegerät (z. B. Pürckhauer-Bohrer etc.), Skelettgehalt (i.d.R. auf 5 Vol.-% genau), evtl. weitere notwendige Angaben wie Humus- und Tongehalt sowie pH und Gebinde der Probe.

Für jede Probe wird das arithmetische Mittel der Einzelmessungen, der entsprechende Variationskoeffizient (Standardabweichung/Mittelwert) sowie die Anzahl Einzelmessungen notiert.

### Messung

ProbenID, Probenaufbereitung (z.B. Trocknung, Siebung, verwendete Kornfraktion etc.; soweit nicht aus den Angaben zur Probe ersichtlich), Bodenfeuchtezustand zum Zeitpunkt der Messung («nass», «feucht», «trocken»), Messmethode, Analysendatum, Stoffgehalte. Für m-XRF-Messungen sind auch die Messdauer und der Element-bezogene Messfehler festzuhalten sowie die Art der Messung (z.B. Pürckhauer-Bohrkerne im Plastiksack etc.).

## Messergebnisse und Korrektur

Zur Korrektur werden folgende Angaben gemacht: Regressionsgleichung und Bestimmtheitsmass ( $R^2$ ), Tabelle der gemessenen sowie der korrigierten XRF-Werte und entsprechende grafische Darstellung. Ggf. ist die Entfernung von Ausreissern zu begründen.

## Hinweise

Proben, die für die Korrektur verwendet werden, benötigen also mindestens eine Messung nach VBBo sowie ein gemittelt Messergebnis mit m-XRF.

Die VBBo bezieht sich auf Feinerdeproben, also gesiebtes Bodenmaterial  $< 2$  mm. Partikuläre Schadstoffe der Skelettfraktion ( $> 2$  mm) müssen ggf. für bodenschutzrechtliche Fragestellungen zur künftigen Entwicklung der Bodenfruchtbarkeit zusätzlich untersucht werden.

Für Altlasten- und entsorgungsrechtliche Fragen richtet sich die Analytik nach anderen Vorgaben des BAFU (BAFU 2010, vgl. auch BD-ZH 2011).

Für die Elemente Cadmium und Quecksilber liegen die Bestimmungsgrenzen der m-XRF über den in der Umwelt vorkommenden Konzentrationen (Zipper et al. 2006). Für

viele Fragestellungen, welche diese Elemente betreffen, ist somit m-XRF nicht geeignet.

Der Variationskoeffizient von wiederholt gemessenen Proben ist in Böden auf Schiessanlagen oft erhöht, sowohl für die XRF-Technik als auch für Untersuchungen nach VBBo (Hofer und Locher 2011).

## Quellen

- AGB (2005).** Bodenkundliche Kartieranleitung – 5. verbesserte und erweiterte Auflage. AD-HOC-ARBEITSGRUPPE BODEN der Staatlichen Geologischen Dienste und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (Vorsitz: WOLF ECKELMANN) - In Kommission: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller), Johannesstraße 3 A, D-70176 Stuttgart (Fachliche Redaktion: H. SPONAGEL (Leitung), W. GROTTENTHALER, K.-J. HARTMANN, R. HARTWICH, P. JANETZKO, H. JOISTEN, D. KÜHN, K.-J. SABEL & R. TRIDL), Hannover (D), 438 S.
- BAFU (2006).** VASA-Abgeltungen bei Schiessanlagen. Mitteilung des BAFU an die Gesuchsteller. UV-0634-D. Bundesamt für Umwelt (BAFU). Bern. 30 S.
- BAFU (2010).** Analysenmethoden im Abfall- und Altlastenbereich – Stand 2010. Umwelt-Vollzug Nr. 1027 (UV-1027-D). Bundesamt für Umwelt (BAFU). 3003 Bern. 72 S.
- BD-ZH (2011).** Anleitung zum Einsatz mobiler XRF-Geräte bei der Untersuchung und Sanierung von Schiessanlagen. Ämter für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL) sowie für Landschaft und Natur (ALN) der Baudirektion Kanton Zürich. Juli 2011. 8090 Zürich. 4 S.
- BUWAL (2003).** Handbuch Probenahme und Probenvorbereitung für Schadstoffuntersuchungen in Böden. VU-4814-D. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL). Dezember 2003. 3003 Bern. 85 S.
- BUWAL (2005).** Handbuch – Gefährdungsabschätzung und Massnahmen bei schadstoffbelasteten Böden – Gefährdungsabschätzung Boden. VU-4817-D. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL). Dezember 2005. 3003 Bern. 104 S.
- Gasser, U. und R. Mani (2008).** 300-m-Schiessanlagen Zürich-Höngg und Wil. Antimon und Blei: Gehalte und ihre Entwicklung, beurteilt aufgrund der Untersuchung von Proben von 1999 und 2004 (Manuskript). 4587\_Bericht\_Antimon\_V1 (Projektablage). Fachstelle Bodenschutz des Kantons Zürich. 27. November 2008. 8090 Zürich. 30 S.
- Grimm, C. (2010).** Semesterarbeit. Ausdehnung und Beurteilung stofflicher Belastungen in heutigen und ehemaligen Rebbergen (Betreuung Rolf Krebs und Ubald Gasser). Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften. 8820 Wädenswil. 36 S.
- Hofer, C. und R. Locher (2011).** Qualitätskriterien zur Beurteilung von XRF-VBBo-Kalibrationsfunktionen für das Schwermetall Blei – im Auftrag der Fachstellen Bodenschutz der Ostschweiz und des Fürstentums Liechtenstein (FABOst), Institut für Datenanalyse und Prozessdesign (IDP) - Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW). 27. Juni 2011. 8401 Winterthur. 19 S.
- Kuntze, H., G. Roeschmann und G. Schwertdtfeger (1994).** Bodenkunde. ISBN 3-8252-8076-4. Verlag Eugen Ulmer. Stuttgart. 424 S.
- Lüthy, L. (2010).** Bachelorarbeit. Kupfer- und andere Schwermetallbelastung in Rebbergböden in Stäfa (ZH) (Betreuung: Rolf Krebs und Ubald Gasser). Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften. 8820 Wädenswil. 82 S.
- Nyfeler, F. (2008).** Diplomarbeit. Eignung von Hochspannungsmaststandorten für die Bodendauerüberwachung im Kanton Zürich (Betreuung: Rolf Krebs und Ubald Gasser). Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften. 8820 Wädenswil. 50 S.
- Schmidiger, C. (2009).** Bericht zur Aussagekraft der mobilen XRF-Spektrometrie für die Bestimmung der Schwermetallgehalte von Blei, Zink und Kupfer (Praktikumsbericht; Betreuer: Ubald Gasser). 31. August 2009. Fachstelle Bodenschutz Kanton Zürich. 8090 Zürich. 69 S.
- UWE-LU (2010).** Bodenbelastung bei Schiessanlagen – Technische Details von Sanierungsprojekten. Umwelt und Energie - Kanton Luzern. 6002 Luzern. 2 S.
- VBBo (1998).** «Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBo)» vom 1. Juli 1998 (Stand am 1. Juli 2008). Der Schweizerische Bundesrat, Bern. **SR 814.12.** 12 S.
- Zipper, C., T. Burri, J. Dollinger, F. Peyer und C. Schickor (2006).** Zur Aussagekraft der XRF-Spektrometrie für die Bestimmung des Schwermetallgehaltes in Böden gemäss VBBo (eine Studie im Auftrag des BUWAL - Bern) 31-3477.001. 31. Januar 2006. Geotechnisches Institut AG, Gartenstr. 13, 3007 Bern. 34 S.

Zitervorschlag und Copyright FABOST 2012: MERKBLATT: Untersuchung des Bodens mittels mobiler Röntgenfluoreszenz-Spektrometrie und Vergleich mit Resultaten nach VBBo. Bodenschutzfachstellen der Ostschweizer Kantone und des Fürstentums Liechtenstein c/o Fachstelle Bodenschutz Kanton Zürich, Walcheplatz 2, 8090 Zürich

Bestellungen Fachstelle Bodenschutz Kanton Zürich, Amt für Landschaft und Natur, Walcheplatz 2, 8090 Zürich