

Boden

Karlheinz Weinfurtner, Andrea Körner*
Fraunhofer Institut für Molekularbiologie und Angewandte Oekologie,
Auf den Aberg 1, 57392 Schmallenberg
*Umweltbundesamt, Wörlitzer Platz 1, 06844 Dessau-Roßlau

Inhaltsverzeichnis

1 Umweltprobenbank des Bundes	2
2 Zielsetzung dieser Richtlinie	2
3 Funktion der Probenart	2
4 Festlegungen für die Probenahme	3
4.1 Bodenkundliche Gebietscharakterisierung.....	3
4.2 Auswahl und Abgrenzung der Probenahmeflächen.....	4
4.3 Auswahl der Probenahmepunkte und Probenmenge	5
4.4 Material und Gerätschaften	6
4.5 Probenahmezeitraum und -häufigkeit	6
4.6 Gebietsbezogener Probenahmeplan	6
5 Durchführung der Probenahme	7
5.1 Technische Vorbereitungen	7
5.2 Erforderliche Ausrüstung und Reinigungsvorschriften	7
5.3 Probenahmetechnik	7
5.4 Probenaufbereitung und pedologische Charakterisierung.....	10
6 Dokumentation	10
7 Literatur	11

Anhang: Checkliste zur Vorbereitung und Durchführung der Probenahme
Probendatenblätter und Protokoll

1 Umweltprobenbank des Bundes

Die Umweltprobenbank des Bundes (UPB) ist ein Instrument der Umweltbeobachtung des Bundesumweltministeriums unter fachlicher und administrativer Koordinierung des Umweltbundesamtes (UBA). Die UPB sammelt ökologisch repräsentative Umweltproben sowie Humanproben, lagert sie ein und untersucht sie auf umweltrelevante Stoffe (UBA 2014).

Die Langzeitlagerung erfolgt unter Bedingungen, die eine Zustandsveränderung oder einen Verlust chemischer Eigenschaften über einen Zeitraum von mehreren Jahrzehnten weitestgehend ausschließen. Damit stellt das Archiv Proben für die retrospektive Untersuchung solcher Stoffe bereit, deren Gefährdungspotential für die Umwelt oder die menschliche Gesundheit heute noch nicht bekannt ist.

Umfassende Informationen zur UPB sind unter www.umweltprobenbank.de verfügbar.

2 Zielsetzung dieser Richtlinie

Die Probenahme ist der erste und wichtigste Schritt zur Sicherung der Proben- und Datenqualität. Sie erfolgt nach fachlich begründeten und standardisierten Methoden, um Kontaminationen zu minimieren und den Verlust von chemischen Informationen zu vermeiden.

Der besonders hohe Anspruch an Qualitätssicherung ergibt sich aus der außergewöhnlichen Bedeutung der Proben als Archivmaterial. Repräsentativität und Reproduzierbarkeit der Proben sind Voraussetzung für die Vergleichbarkeit der Untersuchungsergebnisse in Zeit und Raum.

Die vorliegende Richtlinie stellt die Fortschreibung der Fassung von Weinfurter & Kördel (2012) dar.

Der Transport und die weiterführende Probenbearbeitung, die Lagerung sowie die chemische Charakterisierung hat nach den gültigen Richtlinien der UPB zu erfolgen.

3 Funktion der Probenart

Böden gehören zu den wichtigsten Struktur- und Funktionselementen terrestrischer Ökosysteme und bilden die Schnittstelle zwischen Atmosphäre, Pedosphäre und Biosphäre. Sie stellen eine Senke und, je nach Stoff- und Bodeneigenschaften, ein Akkumulationsmedium oder einen Zwischen-speicher für alle über die Atmosphäre eingetragenen und direkt aufgetragenen Stoffe dar. Im Boden werden die eingebrachten Stoffe transportiert, umgewandelt und/oder akkumuliert. Über den Streufall gelangen auch die schwer zu erfassenden, durch trockene Deposition oder Auskämmeffekte an der Vegetation abgeschiedenen Stoffe auf bzw. in den Boden. Da Böden die unverzichtbare Lebensgrundlage aller terrestrischen Probenarten sind, stellen sie eine für die Umweltprobenbank notwendige Ergänzung von pflanzlichen und tierischen Umweltproben dar.

Böden repräsentieren neben ihrer natürlichen Grundbelastung und den aktuellen Einträgen auch alle bis zum Zeitpunkt der Probenahme langfristig akkumulierten und unter den gegebenen Bedingungen nicht abgebauten Fremdstoffe. Dazu gehören u.a. die an mineralische und/oder organische Sorptionsträger gebundenen Schwermetalle sowie organische Verbindungen ("bound residues", z. B. Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe [PAK]). Deren Gesamtkonzentrationen bzw. analytisch erfassbaren Anteile sagen jedoch wenig über ihre aktuelle und potentielle ökotoxikologische Relevanz aus. Bodenanalysen können die Belastungssituationen nur dann realistisch beschreiben, wenn alle ökotoxikologisch relevanten Stoffe in ihrer aktuellen chemischen Form bis zur Analyse erhalten bleiben und als solche qualitativ und quantitativ bestimmt werden.

Diese Anforderung wird von keiner der vorhandenen Richtlinien (z.B. DIN ISO 10381, DIN ISO 18400, Paetz et al. 1994, Önorm L 1055-1059, 2004) erfüllt. Deshalb ist für die UPB unter der Berücksichtigung aller existierenden Vorschriften ein neu konzipiertes Verfahren zur Probenahme und Behandlung von Bodenproben erforderlich.

Kapazitätsgrenzen des Probenlagers verlangen eine sehr restriktive Definition der für die UPB zu gewinnenden Bodenproben. Da eine horizont-, schicht- und/oder tiefenstufenbezogene Differenzierung und eine Einlagerung kompletter Bodenprofile unmöglich ist, wird eine definierte, flächenbezogene Beprobung der Auflagenhorizonte sowie eine reduzierte Anzahl von Mineralbodenhorizonten durchgeführt. Dabei wird eine Vermischung von Humusaufgabe und Mineralboden aufgrund der extrem unterschiedlichen organischen und mineralogischen Zusammensetzung der Horizonte nicht vorgenommen.

Die Grundsätze dieser Probenahmestrategie weichen von Vorschriften und Probenahmerichtlinien anderer Programme zum Teil erheblich ab, stellen aber für die Erfordernisse der UPB - u.a. Erfassung aller bekannten und unbekanntem Stoffe im Boden in ihrer aktuellen Form und Konzentration - einen Kompromiss dar (Aichberger et al. 1986, BDF 1991, BMELF 1990, Cline 1944, Fortunati et al. 1994, Fränze 1994, Müller et al. 1980, Smith et al. 1987).

Bei der Vorbereitung, Durchführung und Bewertung der Ergebnisse ist eine Kooperation mit anderen Forschungs- und Beobachtungsprogrammen (z.B. BDF, BZE, Integrated Monitoring) anzustreben.

4 Festlegungen für die Probenahme

Die Festlegung der Probenahmeflächen (PNF) in den übergeordneten Gebietsausschnitten (GA) erfolgt in zwei Schritten:

- 1.) bodenkundliche Gebietscharakterisierung
- 2.) Auswahl und Abgrenzung der Probenahmeflächen.

Dafür wird mindestens eine Person mit adäquater Fachkenntnis, z.B. erfahrener Bodenkundler, benötigt.

4.1 Bodenkundliche Gebietscharakterisierung

Böden sind ein wichtiger Standortfaktor, der für die Interpretation der Analyseergebnisse anderer Probenarten von Bedeutung ist. Deshalb ist eine bodenkundliche Gebietscharakterisierung zwingend erforderlich.

Die Gebietscharakterisierung wird in folgenden Schritten durchgeführt:

- Auswertung von Literatur, Karten- und Datenmaterial hinsichtlich geologischer und bodenkundlicher Situation
- Kontaktaufnahme mit relevanten Behörden und Institutionen zur Abklärung von Zugangs- und Nutzungsgenehmigungen
- Bodenkundliche Kartierung des Gebietsausschnittes und Festlegung des Leitbodentyps.

Aus der Gebietscharakterisierung werden die Homogenitätskriterien für den jeweiligen Gebietsausschnitt festgelegt.

Die einleitende bodenkundliche und boden-ökologische Proben- und Gebietscharakterisierung muss die Unterbodenhorizonte bis zum Ausgangssubstrat der Bodenbildung (i.d.R. einer Tiefe bis ca. 1,5 m) einbeziehen.

Die bodenkundliche Gebietscharakterisierung erfolgt durch Bohrstockkartierung mittels gängiger Feldmethoden. Bei den Untersuchungen darf kein überschüssiges Bohrungsmaterial auf die Oberfläche der potentiellen Probenahmefläche gelangen. Als Grundlage für die Datenerfassung dient die bodenkundliche Kartieranleitung 5 – kurz KA 5 - (AG Bodenkunde, 2005). Dabei sind mindestens folgende Parameter zu erfassen:

- Bodentyp und Humusform
- Bodenart (Feinboden)
- Bodenfarbe
- Hydromorphisierungsmerkmale (Fe- und Mn Konkretionen)
- Horizontmächtigkeit.

4.2 Auswahl und Abgrenzung der Probenahme­flächen

Die Probenahme­fläche muss sich, soweit möglich, im selben Gebietsausschnitt wie die terrestrischen Probenarten der UPB (z.B. Fichte bzw. Kiefer) befinden. Die Fläche muss nach dem Ergebnis einer Bodenkartierung klar definiert und bodenkundlich ausreichend homogen sein. Sie muss, soweit möglich, den dominierenden Bodentyp in gebietstypischer Ausprägung (Leitbodentyp) des Gebietsausschnittes repräsentieren. Dafür müssen

- topographische Karten (1:5.000 bis 1:10.000)
- Bodenkonzeptkarten
- Bodentypenkarten
- Waldwirtschaftskarten (1:10.000)
- Standortkartierungen
- geomorphologische Kartierungen
- geologische Karten
- Vegetationskarten
- Flächennutzungskarten u. ä. berücksichtigt werden.

Die Fläche muss groß genug sein, um eine nachhaltige Wiederholbarkeit der Beprobung zu gewährleisten. Sie sollte eine Größe von 2500 m² nur in Ausnahmefällen (z. B. in urbanen Gebieten) unterschreiten. Ist dies nicht gegeben, müssen zusätzliche Probenahme­flächen in räumlicher Nähe zu den terrestrischen Probenarten hinzugezogen werden.

Darüber hinaus müssen ausreichend Ausweich­flächen vorhanden sein, die z. B. in einem Fichtenwald für den Fall der Entstehung von Lichtungen durch Borkenkäferkalamitäten, Sturmschäden o. ä. zu nutzen sind. Zur endgültigen Abgrenzung müssen die Probenahme­flächen durch eine Bohrstockkartierung auf einheitliche bodenkundliche Verhältnisse hin überprüft werden. Dabei sind Faktoren wie Ausgangsmaterial und Bodenart, Geländeform, Hangneigung und -richtung, Flächennutzung, Vegetation und ggf. gestörte Flächenteile besonders zu berücksichtigen. Die Kartierung muss detailliert die homogenen Bodeneinheiten aufzeigen (Blume 2004, Burgess et al. 1984, Mückenhausen 1977, Wilding 1985).

Folgende Parameter müssen zur Determinierung der Bodeneinheiten erfasst werden:

- Bodentyp und Humusform
- Bodenart (Feinboden und Skelettanteile)
- Bodenfarbe
- Horizontmächtigkeiten und -ausprägungen
- Bodenreaktion.

Im Ergebnis der Kartierung wird abschließend die Probenahme­fläche festgelegt und im gebietsbezogenen Probenahmeplan (Kap. 4.6) beschrieben.

Die Fläche muss im Gelände dauerhaft, aber für die Allgemeinheit unauffällig markiert werden.

In unmittelbarer Nähe zur Probenahme­fläche ist ein Leitprofil zu ergraben, nach bodenkundlicher Kartieranleitung anzusprechen und horizontweise zu beproben. Die Daten der bodenkundlichen Profilaufnahme sind in einem Formblatt nach KA 5 (AG Bodenkunde 2005) zu erfassen. Die Daten der Profilsprache sind um nachfolgende Laboranalysen zu ergänzen:

- Wasserhaltekapazität (WHK)
- Trockenraumdichte (TRD) bzw. Bodendichte
- Textur (Sand/Schluff/Ton)
- pH-Wert
- $C_{\text{total}}/N_{\text{total}}$
- C_{Karbonat}
- ges. KAK_{eff} /austauschbare Kationen
- Sesquioxide (Fe/Al/Mn) im Dithionitextrakt
- Tonmineralanalyse
- Schwermetalle im Königswasserextrakt (As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Ni, Pb, Zn) und NH_4NO_3 -Extrakt (Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn).

Die Profilgrube muss einen Abstand von mindestens 4 m zur eigentlichen Probenahme­fläche aufweisen. Das Aushubmaterial ist horizontweise auf Planen abzulagern und entsprechend wieder einzufüllen.

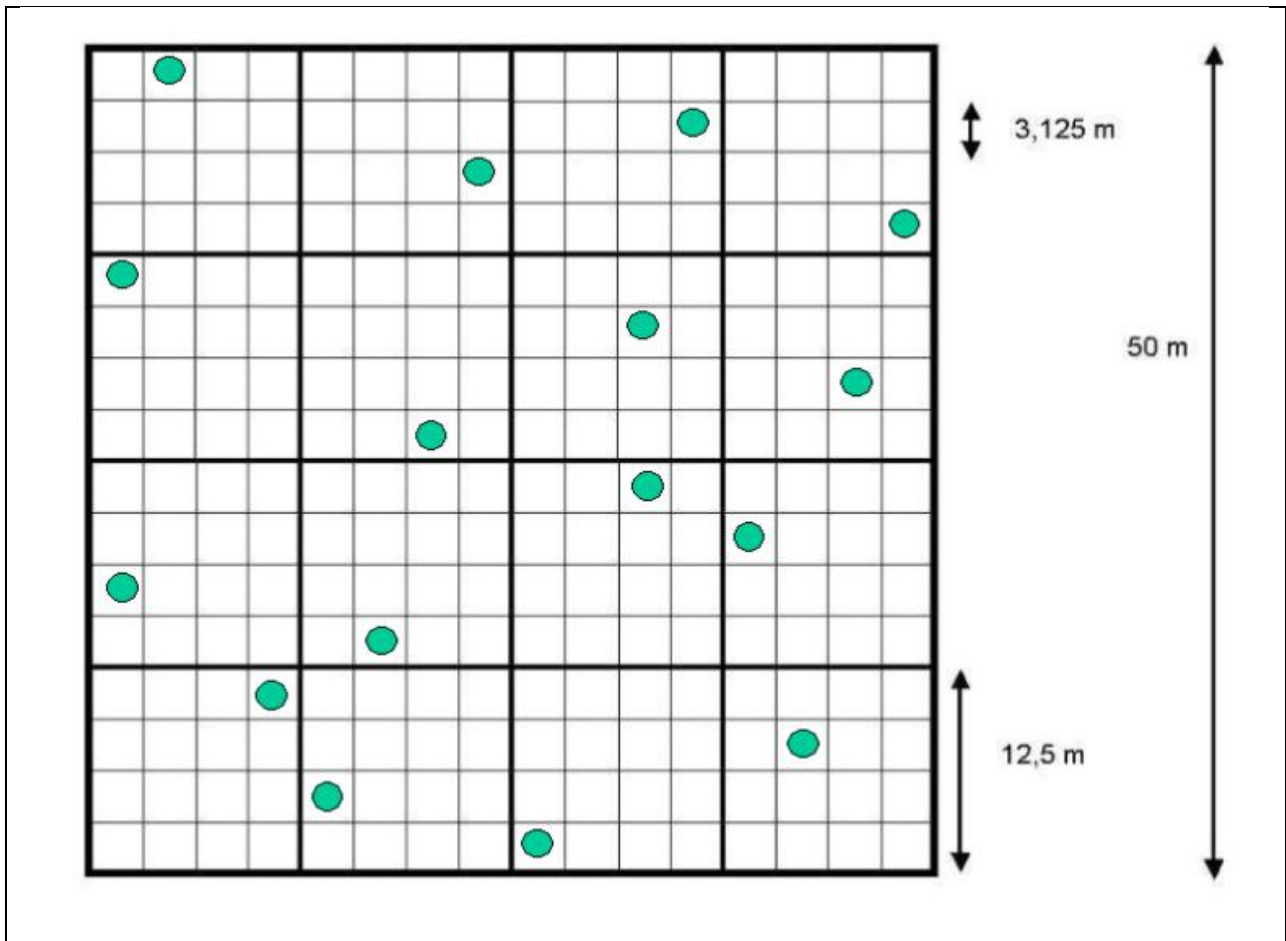


Abbildung 1:
Probenahmeschema für Langzeitbeprobung

Für die langfristige Gewährleistung einer vergleichbaren und wiederholbaren Probenahme sind die festgelegten Probenahmeflächen vertraglich gegen störende Veränderungen und Eingriffe Dritter zu schützen. Insbesondere ist die direkte Einbringung von Fremdstoffen (Abfälle aller Art, Düngemittel, Pestizide, Holzschutzmittel, Korrosionsschutzmittel etc.) zu unterlassen, unvermeidliche Zuwendungen sind, soweit möglich, mit genauen Orts-, Zeit-, Mengen- und Stoffangaben kartographisch zu erfassen sowie im Probenahmeprotokoll zu dokumentieren. Bei bewirtschafteten Flächen muss die Bewirtschaftungsform und Nutzungsinformationen (z. B. Düngung, Pflanzenschutz), soweit möglich, im Probandatenblatt festgehalten werden. Darüber hinaus darf die Fläche auch nicht durch anderweitige Probenahme- und Forschungsaktivitäten gestört werden.

4.3 Auswahl der Probenahmepunkte und Probenmenge

Von jeder Probenahmefläche werden für die Archivierung Mischproben für je drei Bodenhorizonte (Humusaufgabe oder Wurzelfilz, Oberboden, Unterboden) erstellt. Dabei sollte die Auflage, soweit vorhanden, aus 5 kg Frischgewicht (FG) Humusschichtmaterial bestehen und die beiden Mineralbodenhorizonte aus je mind. 15 kg FG Bodenmaterial.

Für die Gewinnung dieser Mischproben werden von der festgelegten Probenahmefläche 16 systematisch verteilte Einzelproben entnommen. Dafür wird über die Probenahmefläche ein quadratisches/rechteckiges 4 x 4 Raster gelegt, bei der jede Rasterfläche in ein weiteres 4 x 4 Raster unterteilt wird (Abb. 1). Das Schema der

systematischen Stellenbeprobung ist in den Probenblättern enthalten und muss für jede Probenahme aktualisiert werden.

Bei der vorgegebenen Rastergeometrie sind insgesamt 16 Wiederholungsbeprobungen möglich (dies entspricht bei einem 4-Jahresrhythmus = 60 Jahren), bevor eine neue Probenahme fläche ausgewiesen werden muss.

Störstellen wie Fahrspuren, lokale Bodenverdichtungen, alte Stubben, liegende Stämme etc. sowie frühere Probenahmestellen sind auszusparen.

Überschüssiges Bodenmaterial nach Bohrungen ist nach Möglichkeit in das Bohrloch einzufüllen und keinesfalls auf der Humusauflage zu zerstreuen. Das Ansprechen, Auslesen, Vereinigen, Mischen und Abfüllen der Bohrproben muss grundsätzlich außerhalb der Bodenprobenahme fläche vorgenommen werden.

Bei bewaldeten Flächen ist ein Radius von mindestens 50 cm (bei Laubbäumen 100 cm) um die Stammbasis älterer Bäume sowie der sichtbare Einflussbereich des Stammablaufs auszusparen. Flächen unter Lichtungen und Lücken im Kronendach sind ebenfalls zu meiden, soweit sie größer als die von einer durchschnittlichen Baumkrone bedeckte Fläche sind (z.B. auch Käferlöcher, Windwürfe etc.).

Bei unbewaldeten Flächen sind die Bodenproben außerhalb des Kronenbereichs eingestreuter Bäume zu entnehmen, selbst wenn die Bäume ebenfalls beprobt werden (z.B. bei Pyramidenpapeln).

4.4 Material und Gerätschaften

Für die bodenkundliche Gebietscharakterisierung und Auswahl der Probenahme flächen wird folgendes benötigt:

- Pürckhauer Bohrstock 1,0 m und 1,5 m
- Kunststoffhammer
- u.U. Bohrset "COBRA" mit Hebefrosch und Bohrerhammer (oder entsprechendes Gerät)
- Ziehgerät mit Hebebock
- Spaten und anderes Grabwerkzeug
- Vermessungsgerät zur Dokumentation bzw. Wiederfindung der Flächengrenzen und ggf.

Probenahme punkte (mindestens 1 Maßband mit 20 m Länge, GPS, Geologenkompass oder Theodolit und mehrere Fluchtstäbe)

- Stechzylinder (100 bzw. 250 ml aus Stahl oder Aluminium mit dicht schließenden Kunststoffdeckeln, gepolstertem Transportkoffer und entsprechender Einschlagvorrichtung
- Salzsäure (HCl 10%) und Aqua dest. in Spritzflaschen
- pH-Meter mit Zubehör sowie genormte Probenahme röhren
- Neigungsmesser/Geologenkompass
- Kanister mit Wasser und Zellstofftücher
- Kamera
- Munsell-Farbtafel
- Maßstab mit verschiedenfarbigen Feldern.

4.5 Probenahmezeitraum und -häufigkeit

Die Bodenprobenahme wird alle vier Jahre durchgeführt.

Die Beprobung erfolgt im Spätsommer/Herbst vor dem Laubfall der Blätter. In Abhängigkeit der Lage des Probenahme raumes, der jeweiligen klimatischen Verhältnisse sowie aktuellen Witterung findet sie im Zeitraum September/Oktobre eines Jahres statt. Der entsprechende Probenahmezeitraum ist dem gebietsspezifischen Probenahmeplan zu entnehmen.

Die Probenahme sollte bei Wiederholung am selben Standort in Abhängigkeit vom Witterungsverlauf im gleichen Zeitraum liegen (max. +/- vier Wochen). Besondere Bedingungen wie längere Niederschlagsperioden oder Starkregen müssen protokolliert werden.

4.6 Gebietsbezogener Probenahmeplan

Für jede Probenahme fläche existieren auf der Grundlage der Probenahme richtlinie spezifische Festlegungen wie z. B.:

- Probenahmezeitraum
- Codierung der PNF und der beprobten Horizonte
- Angabe der exakten Größe der PNF

- detaillierte Karten mit genauen Lagebeschreibungen der PNF und Entnahmestellen
- zuständige Genehmigungsbehörden, notwendigen Absprachen und Betreuungspersonal
- Probenahmetechnik
- Angaben über Probenmengen und -arten.

Diese speziellen Gebietscharakteristika werden in einem gebietsspezifischen Probenahmeplan dokumentiert und dienen damit der Umsetzung der Probenahmerichtlinie entsprechend der vorherrschenden spezifischen Bedingungen.

5 Durchführung der Probenahme

Alle bei der Probenahme und Probenbeschreibung erhobenen Daten sind in entsprechenden Proben datenblättern (PDBI.) zu vermerken. Darüber hinaus ist ein Protokoll mit folgendem Inhalt anzufertigen:

- an der Probenahme beteiligte Personen inkl. der Leitung der Probenahme und externer Helfer
- chronologischer Ablauf der Probenahme
- die für die Probenahme zugrunde liegende Version der Probenahmerichtlinie und des gebietsbezogenen Probenahmeplans sowie
- Abweichungen von der Probenahmerichtlinie und dem gebietsbezogenen Probenahmeplan.

5.1 Technische Vorbereitungen

Vor der Durchführung der Probenahme muss die Probenahmefläche überprüft werden. Neu aufgetretene Störstellen sind zu erfassen und bei der Festlegung der Einzeleinstiche zu berücksichtigen.

5.2 Erforderliche Ausrüstung und Reinigungsvorschriften

Für die Probenahme werden nachfolgend aufgeführte Geräte benötigt:

- Split-Tube-Sampler (STS)
- Stechrahmen aus Edelstahl (20 x 20 cm Kantenlänge und 10 cm Höhe)
- Edelstahlmesser, Spatel und große Pinzetten aus Edelstahl (nicht verchromt oder vernickelt, vorschriftsmäßig gereinigt)
- Maßbänder (4 Stück, 50 m) für Einmessung der Rasterflächen
- Waage (bis mindestens 5 kg, Messgenauigkeit 1 g)
- Edelstahlrundlochsiebe (2 mm und 5 mm) sowie Siebböden
- Probenbehälter
 - mindestens 2 Edelstahlwannen mit je mindestens 10 l Inhalt
 - Edelstahlgefäße (1,5; 3,5 oder 5 l) mit lose aufliegendem und mit einer Klammer zu sicherndem Deckel, jeder Probenbehälter ist durch eine fest eingravierte bzw. eingestanzte Nummer unverwechselbar gekennzeichnet
 - zusätzliche Gefäße für Siebrückstand nach Bedarf (z.B. Schott-Duran Schraub-deckelglaschen, Polyethylen-Beutel [PE])
- Kühlvorrichtungen zum raschen Tiefkühlen und Lagern der Proben in der Dampfphase über flüssigem Stickstoff (LIN), transportable(r) LIN-De war(s) für die benötigte Anzahl von Edelstahlgefäßen
- Luftthermometer zur Temperaturbestimmung.

Die Vorreinigung der Probengefäße und -geräte erfolgt in einer Laborspülmaschine mit chlorfreiem Intensivreiniger im ersten Reinigungsgang. Nach Heißspülung (95°C) erfolgt eine Neutralisation mit Phosphorsäure und warmem Wasser, dann heißes und kaltes Spülen mit destilliertem Wasser.

5.3 Probenahmetechnik

Humusauflage (O-Horizont):

An den vorgesehenen Bohrstellen wird vor der Entnahme der Oberbodenproben mit Hilfe des Stechrahmens genau definierter Flächengröße (20 x 20 cm) die Humusauflage – soweit vorhanden - bis zur Oberkante des Mineralbodens in folgenden Schritten entnommen:

- sorgfältige Entfernung lebender Pflanzen, Zweige, Zapfen u. ä.
- Stechrahmen aufsetzen und leicht eindrücken
- Humusaufgabe mit einem scharfen, nicht zu dickem Edelmessmer an der Innenkante des Stechrahmens durchschneiden
- Humusaufgabe vorsichtig mit Hilfe von Spateln und Pinzetten abtragen und in einer Edelmessmerwanne sammeln; besonders darauf achten, dass die O-Lage ohne Teilchen des Mineralbodens vollständig erfasst wird
- gröbere Skelettanteile (Fraktionen > 5 mm Durchmesser und > 5 % Volumenanteil) bzw. lebende Grobwurzeln u. ä. von Hand mittels Edelmessmerpinzetten auslesen
- beide Fraktionen (Skelettmaterial und Grobwurzeln) des ausgelesenen Materials > 5 mm separat in je einer Edelmessmerwanne sammeln und auswiegen; anschließend wird dieses Material verworfen
- Stechrahmen vorsichtig entfernen und Messung der Mächtigkeit der Humusaufgabe (an mindestens 4 Stellen) sowie Angabe als Mittelwert in der Teilprobenliste zum PDBI. 2.
- Bestimmung der beprobten Masse, Fläche und Volumen:
 - Entnommene Masse (FG) aller Einstiche = Gesamtmasse der Humusaufgabe
 - Gesamtmasse der Humusaufgabe
 - Masse Skelettmaterial
 - Masse Grobwurzeln
 - = Gesamtgewicht Humus
 - Anzahl der Entnahmepunkte
 - x Rahmenfläche
 - = Gesamtentnahmefläche Humusaufgabe
 - Summe aller Mächtigkeiten
 - x Rahmenfläche
 - = Entnahmevolunen Humusaufgabe
- Überführung der Humusprobe (mindestens 5 kg FG) in Edelmessmergefäße zum Transport unter Cryobedingungen.

Der Wurzelfilz (bei städtischen Grünanlagen bzw. Grünlandflächen) wird wie die Humusaufgabe

getrennt vom Mineralboden beprobt und weiter verarbeitet.

Mineralboden (A- und B-Horizont):

Die Probenahme von Mineralboden wird horizontweise für zwei Entnahmetiefen (Ober- und Unterboden) durchgeführt. Die Gewinnung der Proben erfolgt durch das Ausstechen zylindrischen Bodensäulen mit einem Kern- bzw. Hülsenbohrer (Split-Tube-Sampler). Der Bohrer muss stets über einen einheitlich festgestellten Durchmesser der Schnittkante (\varnothing 4,8 cm) verfügen und darüber hinaus so konzipiert sein, dass eine Stauchung der beprobten Bodenzylinder weitgehend ausgeschlossen ist*.

Die Mächtigkeit des Oberbodenhorizontes ist für jeden Einzeleinstich zu messen und im Probenahmeprotokoll zu dokumentieren. Diese Angaben werden anschließend zur Berechnung des Ursprungsvolumens der Gesamtprobe und der entsprechenden Bodenfläche benötigt.

Bei sehr flachgründigen A-Horizonten (Ah < 3 cm) kann auch der anschließende AhBv-Horizont – soweit vorhanden und A-Merkmale deutlich ausgeprägt sind – mitbeprobte werden. Dies ist im Probenahmeprotokoll zu dokumentieren.

Der darauf folgende Unterboden wird nur im ersten Unterbodenhorizont und unter Berücksichtigung der Mächtigkeit des Oberbodens (A-Horizont) bis maximal 40 cm Tiefe ab Oberfläche Mineralboden entnommen. D.h., bei geringmächtigen Oberböden wird der Unterboden ebenfalls nur bis in eine geringe Tiefe beprobt (Beprobungstiefe im Unterboden = Beprobungstiefe im Oberboden). Abweichungen sind im Probenahmeprotokoll einzutragen.

Diese Vorgehensweise ist ausreichend, da die Akkumulation der untersuchten Schadstoffe vorwiegend in den oberen Bodenschichten stattfindet.

Die von jeder Einzelprobenahmestelle entnommenen Ober- und Unterbodenproben werden gewogen und im Gelände unter feldfeuchten Bedingungen auf 2 mm gesiebt (siehe Abb. 2). Bereits während des Siebvorganges erfolgt das Einfrieren auf einer durch Flüssigstickstoff von unten gekühlten Platte. Nach dem Sieben wird das Material (mind.

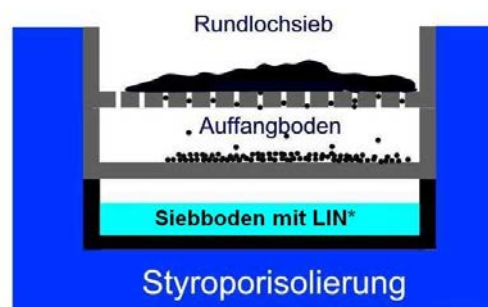
12 kg FG) je Horizont in Edelstahlgefäße überführt. Der Siebrückstand (ca. 3 kg FG Skelettmaterial, organisches Material etc.) wird in PE-Dosen bzw. -Beutel verpackt und später im Labor getrocknet und gesiebt. Anschließend werden die Gewichtsanteile bestimmt, um die Verteilung zwischen Feinboden (< 2 mm) und Skelettmaterial (> 2 mm) ermitteln zu können. Danach wird der Siebrückstand verworfen.

(*) Anmerkung: Eine Kontamination der Proben durch Metallabrieb kann ausgeschlossen werden (Weinfurter et al., 2002).

Chronologischer Ablauf der Probenahme (Mineralboden):

- Einschlagen des Split-Tube-Sampler (STS) auf freipräparierter Fläche nach der Humusentnahme
- Bohrer zum Abreißen des Bohrkerns drehen und senkrecht nach oben herausziehen; Bohrer öffnen und die mit der Schneide verbundene Schalenhälfte abnehmen
- Bohrkern an Untergrenze Ah- bzw. Ap-Horizont senkrecht zur Oberfläche mit Edelmessers abtrennen; Mächtigkeit auf 0,5 cm genau messen und im PDBI. 3 dokumentieren
- zu beprobender Anteil des Unterbodens (bis maximal 40 cm Tiefe ab Oberfläche Mineralboden) von Restmaterial abtrennen und Mächtigkeit im PDBI. 4 erfassen
- nicht zu beprobendes Material sauber nach unten herausschieben und werfen; Rückführung in das Bohrloch oder Ablagerung außerhalb der PNF
- beprobtes Ober- und Unterbodenmaterial horizontweise quantitativ in je einer Edelstahlwanne sammeln
- Sammelproben des Ober- und Unterbodenmaterials (aus je 16 Einstichen) wiegen = Gesamtmasse Ober- bzw. Unterboden
- Material im Gelände feldfeucht auf 2 mm sieben und während des Siebens bereits einfrieren
- Überführen des Feinmaterials < 2 mm in Edelstahlbehälter zum Transport unter Cryobedingungen

- Siebrückstand wiegen
- Siebrückstand in PE-Dosen oder -Beutel verpacken und ins Labor überführen
- Siebrückstand im Labor trocknen und wiegen; anschließend nochmals auf 2 mm sieben und beide Fraktionen (> und ≤ 2 mm) nochmals wiegen; die Masse der Fraktion > 2 mm entspricht dem Masseanteil des Skelettmaterials; anschließend Siebrückstand werfen
- Bestimmung der beprobten Masse, Fläche und Volumen:
 - Entnommene Masse (FG) aller Einstiche = Gesamtmasse des jeweiligen Mineralbodenhorizontes
 - Gesamtmasse des jeweiligen Mineralbodenhorizontes
 - Masse Skelettmaterial = Gesamtmasse Feinboden (≤ 2 mm) des jeweiligen Bodenhorizontes
 - Anzahl der Einschläge x Fläche des STS = Gesamtentnahmefläche des jeweiligen Mineralbodenhorizontes
 - Summe aller Mächtigkeiten x Entnahmefläche des STS = Entnahmevolumen des jeweiligen Mineralbodenhorizontes



* LIN: Flüssigstickstoff

Abb. 2: Schematischer Aufbau des Sieb-/Gefriersatzes

5.4 Probenaufbereitung und pedologische Charakterisierung

Die unter Flüssigstickstoff gelagerten Proben werden im Labor unter Einhaltung der Kühlkette aufbereitet.

Falls nötig, werden zunächst zusammengefrorene Bodenpartikel der Mineralbodenhorizonte in einem Backenbrecher schonend zerkleinert und das Material anschließend in einem Mischer homogenisiert. Diesem homogenisierten Material werden Teilproben zur bodenkundlichen Charakterisierung entnommen. Das übrige Probenmaterial wird in Einzelarchivproben (ca. 100 g FG) aufgeteilt und in 100 ml Duranglasflaschen in das Probenbankarchiv eingelagert.

Das Material der Auflagehorizonte/Wurzelfilze wird auf 5 mm in einer Schneidemühle bzw. im Backenbrecher zerkleinert und wie zuvor beschrieben weiterverarbeitet. Bei den Auflagen kann aufgrund der geringeren Materialdichte die oben genannte Einwage von 100 g FG jedoch nicht immer gewährleistet werden.

An den Teilproben zur bodenkundlichen Charakterisierung werden nachfolgend aufgeführte Parameter bestimmt:

- Wassergehalt (nach DIN EN 15934)
- Gehalt an C_{org} (nach DIN EN 15936)
- Carbonatgehalt (soweit zu erwarten) aus Differenz $C_{tot} - C_{org}$
- Korngrößenverteilung (nach DIN ISO 11277)
- pH (H_2O , $CaCl_2$ und KCl), (nach DIN EN ISO 10390).

Diese Parameter dienen als Basisdaten zur Auswertung der Analysenresultate.

6 Dokumentation

Generell sind alle erhobenen Daten zu erfassen. Für die bodenkundliche Gebietsbeschreibung sind die unter 4.1 genannten Dokumente (Literatur, Karten usw., KA 5) in der jeweils aktuellen Version heranzuziehen und auszuwerten. Der Verlauf jeder Probenahmeaktion ist in den anliegenden Probenblättern (PDBI.) zu dokumentieren. Die Probenblätter sind wie folgt gegliedert:

- PDBI. 1: Beschreibung der Entnahmestellen, Probenahmezeitraum, beteiligte Personen, Angaben zur Witterung
- PDBI. 2: Protokoll zur flächen- und volumenbezogenen Probenahme der Humusauf-lage/Wurzelfilz
- PDBI. 3: Protokoll zur flächen- und volumenbezogenen Probenahme des Oberbodens
- PDBI. 4: Protokoll zur flächen- und volumenbezogenen Probenahme des Unterbodens
- PDBI. 5: Behälterliste (Aliquote)
- PDBI. 6: Bemerkungen, Abweichungen, die in Probenblättern nicht spezifiziert sind.

Über die aus Volumen und Gewicht berechnete Dichte wird für jede Fraktion die Masse/ m^2 Bodenfläche berechnet.

Die Vergleichswerte in Form von Masse/ m^2 Oberboden und Humusauf-lage ergeben sich aus der Summe der einzelnen Fraktionen.

Die Teilprobenliste enthält neben der Probenidentifikation Angaben zur Horizontbezeichnung des jeweils beprobten Horizonts sowie die zugehörige Horizontmächtigkeit (PDBI. 2 - 4).

Beschreibung der Probenahme-fläche

Zur Beschreibung der Probenahme-fläche ist ein Kartenausschnitt bzw. eine Lageskizze im Maßstab 1:500 bzw. 1:200 mit genauer Darstellung der dauerhaft markierten Probenahme-fläche anzufertigen. Darüber hinaus müssen darin verzeichnet sein:

- Lage des Probenahmerasters
- Lage der Profilgruben, Bohr- sowie Probe-nahmepunkte
- sonstige Störungen - soweit notwendig mit Richtungs- und Maßangabe.

Der Witterungsverlauf im Probenahmegebiet bzw. Gebietsausschnitt direkt vor und während der Probenahme ist im PDBI. 1 zu dokumentieren.

7 Literatur

- Aichberger, K.; Eichelhuber, A. & Hofer, G. (1986): Soil sampling for trace element analysis and its statistical evaluation. In: Gomez, A.; Leschber, R. & L'Hermite, P. (Hrsg.): Sampling problems for the chemical analysis for sludge, soils and plants: 38-44. London; New York.
- AG Bodenkunde (2005) Bodenkundliche Kartieranleitung (KA 5). Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung: Hannover, 438 Seiten, 5. Auflage.
- BMELF (Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung, Umweltfragen und Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Hrsg.) (1990): Bodendauerbeobachtungsflächen in Bayern: Standortauswahl, Einrichtung, Probenahme und Analytik. München.
- BDF (1991) Konzeption zur Errichtung von Dauerbeobachtungsflächen (Endbericht der UAG "Bodendauerbeobachtungsflächen" i. A. der Sonderarbeitsgruppe "Informationsgrundlagen Bodenschutz" vom 31.03. 1991).
- Blume H.-P. (Hrsg.) (2004) Handbuch des Bodenschutzes: Bodenökologie und Bodenbelastung vorbeugende und abwehrende Maßnahmen. ecomed: Landsberg/Lech, 916 Seiten.
- Burgess, T. M. & Webster, R. (1984): Optimal sampling strategies for mapping soil types- Distribution of boundary spacings. Journal of Soil Science (35):641-654.
- Cline, M. G: (1944): Principles of soil sampling. Unit. Soil Sci. Soc. Amer. Proc.:275-288.
- DIN EN 15934: 2012: Schlamm, behandelter Bioabfall, Boden und Abfall - Berechnung des Trockenmassenanteils nach Bestimmung des Trockenrückstands oder des Wassergehalts.
- DIN EN 15936: 2022: Schlamm, behandelter Bioabfall, Boden und Abfall - Bestimmung des gesamten organischen Kohlenstoffs (TOC) mittels trockener Verbrennung.
- DIN EN ISO 10390:2022: Boden, behandelter Bioabfall und Schlamm –Bestimmung des pH-Werts
- DIN EN ISO/IEC 17025: 2018: Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien
- DIN ISO 11277: 2002: Bodenbeschaffenheit – Bestimmung der Partikelgrößenverteilung in Mineralböden. Verfahren durch Sieben und Sedimentation nach Entfernen der löslichen Salze, der organischen Substanz und der Carbonate.
- DIN ISO 10381-3: 2002: Bodenbeschaffenheit - Probenahme - Teil 3: Anleitung zur Sicherheit.
- DIN ISO 18400-101: 2020: Bodenbeschaffenheit - Probenahme - Teil 101: Grundzüge der Vorbereitung und Anwendung eines Probenahmeplans.
- DIN ISO 18400-102: 2020: Bodenbeschaffenheit - Probenahme - Teil 102: Auswahl und Anwendung von Probenahmetechniken.
- DIN ISO 18400-104: 2020: Bodenbeschaffenheit - Probenahme - Teil 104: Strategien.
- DIN ISO 18400-107: 2020: Bodenbeschaffenheit - Probenahme - Teil 107: Aufzeichnung und Berichtswesen.
- DIN ISO 18400-202: 2020: Bodenbeschaffenheit - Probenahme - Teil 202: Erfassung
- DIN ISO 18400-203: 2020: Bodenbeschaffenheit - Probenahme - Teil 203: Untersuchungen kontaminationsverdächtiger Flächen
- Fortunati, G.U. & Pasturezzi, M. (1994): Quality in soil sampling. Quimica Analitica (13):5-20. Fortunati, G.U.; Banfi, C. & Pasturezzi, M. (1994): Soil sampling. Fresenius' Journal of Analytical Chemistry (348): 86-100.
- Fränzle, O. (1994): Representative soil sampling. In: Markert, B- (Hrsg.): Environmental Sampling for Trace Analysis: 305-320. VGH, Weinheim.

- Mückenhausen, E. (1977): Entstehung, Eigenschaft und Systematik der Böden der Bundesrepublik Deutschland. DLG-Verlag: Frankfurt/Main.
- Müller, W.; Renger, M.; Lüken, H. (1980): Studie: "Kriterien für die Festlegung der für die Umweltprobenbank auszuwählenden Böden"; (U8-F8 10605016).
- ÖNORM L 1055; Österreichisches Normungsinstitut (2004): „Probenahme von ackerbaulich genutzten Böden -Sampling of arable soils“ - Wien, 10 pp.
- ÖNORM L 1056; Österreichisches Normungsinstitut (2004): Probenahme von Dauergrünland (inklusive Parkanlagen und Zierrassen);- Sampling of grassland (including parks and green areas) -: Wien, 9 pp.
- ÖNORM L 1058; Österreichisches Normungsinstitut (2004): Probenahme von gärtnerisch genutzten Böden, Substraten und Nährlösungen; -Sampling of garden soils- and substrata-: Wien, 5 pp.
- ÖNORM L 1059; Österreichisches Normungsinstitut (2004): Probenahme von Waldböden - Sampling of forest soils-: Wien, 12 pp.
- Paetz, A. & Crössmann, G. (1994): Problems and results in the development of international standards for sampling and pretreatment of soils. In: Markert, B. (Hrsg.): Environmental Sampling for Trace Analysis: 312-334. VCH. Weinheim.
- Smith, C.N.; Parrish, R.S. & Garsei, R.F. (1987): Estimating sample requirements for field evaluations of pesticide leaching. Environmental Toxicology and Chemistry (6): 343-357.
- UBA (Umweltbundesamt, Hrsg.) (2014): Umweltprobenbank des Bundes – Konzeption (Stand: Dezember 2014), www.umweltprobenbank.de
- Wagner G. & Sprengart, J. (1996): Richtlinie zur Probenahme und Probenbearbeitung Boden. Institut für Biogeographie, Universität des Saarlandes, 25 S.
- Weinfurter, K., Dreher, P., Hund-Rinke, K., Kördel, W., Scheid, S., Simon, M. (2002): Methodische Weiterentwicklung der Probenrichtlinie für Böden im Rahmen der Umweltprobenbank des Bundes. Abschlussbericht UBA, FKZ: 301 02 006
<http://www.umweltprobenbank.de/de/documents/publications/11949>.
- Weinfurter, K. & Kördel, W. (2012): Richtlinie zur Probenahme und Probenbearbeitung – Boden: www.umweltprobenbank.de
- Wilding, L.P. (1985): Spatial variability: its documentation, accommodation and implication to soil surveys. In: Nielsen, D. R. & Bouma, J.: Soil spatial variability: 166-194. Wageningen.

Checkliste zur Vorbereitung und Durchführung der Probenahme

Probenart:	Boden
Zielkompartimente	Auflagehorizont, 1. und 2. Mineralbodenhorizont (Ober- und Unterboden)
Probenmenge für die UPB	mind. 5 kg FG Humusauflage, 15 kg FG Oberboden, 15 kg FG Unterboden
Probenahmezeitraum	Anfang September bis Ende Oktober vor dem Laubfall
Probenahmehäufigkeit	vierjähriger Turnus
Erforderliche Ausrüstung für die Geländearbeit	<ul style="list-style-type: none"> • Probendatenblätter zur Dokumentation während der Probennahme • Split-Tube-Sampler (STS) • Stechrahmen aus Edelstahl (20 x 20 cm Kantenlänge und 10 cm Höhe) • Edelstahlmesser, Spatel und große Pinzetten aus Edelstahl (nicht verchromt oder vernickelt, vorschriftsmäßig gereinigt) • Maßbänder (4 Stück, 50 m) für Einmessung der Rasterflächen • Waage (bis mindestens 5 kg Messgenauigkeit 1 g) • Edelstahlrundlochsiebe (2 mm und 5 mm) sowie Siebböden • Flüssigstickstoff • Laborhandschuhe und Laborbekleidung • Hilfsmittel und Schutzbekleidung für den Umgang mit flüssigem Stickstoff • Papiertücher
Probenverpackung bis zur -aufarbeitung	<ul style="list-style-type: none"> • Edelstahlgefäße (1,5; 3,5 bzw. 5 l) mit Deckel und Klammer
Probentransport und -zwischenlagerung	Kühlvorrichtungen zum raschen Tiefkühlen und Lagern der Proben in der Gasphase über flüssigem Stickstoff (LIN)

Umweltprobenbank des Bundes

Probendatenblatt 1: Entnahmestelle
Boden

Identifikation:

Datum:

1	2	3	4	/	5	/	6	7	8	9	/	10	11	12	13	14	/	15	
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	/	<input type="text"/>	/	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	/	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	/	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>																
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>																

Probenart Zustand Entnahmedatum Probenahmefläche Zusatzangabe

Koordinatensystem:

<input type="checkbox"/> UTM	<input type="checkbox"/> Gauss-Krüger	Geographische Breite und Länge
Rechtswert: <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> . <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> km	Länge: <input type="text"/> <input type="text"/> ° <input type="text"/> <input type="text"/> ' <input type="text"/> <input type="text"/> "	
Hochwert: <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> . <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> km	Breite: <input type="text"/> <input type="text"/> ° <input type="text"/> <input type="text"/> ' <input type="text"/> <input type="text"/> "	
Höhe: <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> m = Höhe über NN	Hangneigung: <input type="text"/> <input type="text"/> ° bzw. <input type="text"/> <input type="text"/> %	Exposition: <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>
Größe der Entnahmestelle: <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> m ²		
Nutzung:		
Bemerkung:		

Probenahme durchgeführt vom: Datum: bis: Datum:
Uhrzeit: Uhrzeit:

Probenahme durchgeführt von:

Witterung:
Temperatur
Niederschlag

Umweltprobenbank des Bundes

Probendatenblatt 5: Behälterliste

Boden

Identifikation:

Datum

1	2	3	4	/	5	/	6	7	8	9	/	10	11	12	13	14	/	15	
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>		<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>		<input type="text"/>

<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
----------------------	----------------------	----------------------	----------------------

<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
----------------------	----------------------	----------------------	----------------------

Probenart Zustand Entnahmedatum Probenahmefläche Zusatzangabe

Behälterliste:

Probenbezeichnung:

Umweltprobenbank des Bundes

Probendatenblatt 6: Beschreibung der Probenahmestelle
Boden

Identifikation:

Datum:

1	2	3	4	/	5	/	6	7	8	9	/	10	11	12	13	14	/	15	
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	/	<input type="text"/>	/	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	/	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	/	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>																
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>																

Probenart Zustand Entnahmedatum Probenahmefläche Zusatzangabe

Sonstige Bemerkungen:

UMWELTPROBENBANK DES BUNDES

Probenahmeprotokoll

Boden

Probenahmegebiet: _____ Identifikation: _____

Zugrundeliegende Fassung der Probenahmerichtlinie _____ . _____ . _____

Zugrundeliegende Fassung des Probenahmeplanes _____ . _____ . _____

1. Ziel der Probenahme: _____

2. Tatsächlicher Probenahmezeitraum:

Datum	Uhrzeit		Proben Nr.		Bemerkungen
	von	bis	von	bis	

3. Teilnehmer: Leitung/Protokoll _____
Beteiligte _____

4. Checkliste zum Probenahmeplan und zur Probenahmerichtlinie: eingehalten

- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> 4.1 Probenahmezeitraum | <input type="checkbox"/> 4.5 Probenahmetechnik |
| <input type="checkbox"/> 4.2 Probenahmefläche und Entnahmestelle
(Auswahl/Abgrenzung) | <input type="checkbox"/> 4.6 Probenmenge |
| <input type="checkbox"/> 4.3 Ausrüstung und technische Vorbereitungen | <input type="checkbox"/> 4.7 Datenerhebung |
| <input type="checkbox"/> 4.4 Reinigungsvorschriften für Verpackungen | <input type="checkbox"/> 4.8. Transport und Zwischenlagerung |

Nummer, Art und Grund der Abweichung als Klartext:

Bemerkungen: _____

Protokollführer

Datum

Unterschrift