



## Merkblatt Nr. 3.8/5

Stand: 10/2023

alte Nummer: 3.8/5 von 04/2017

Ansprechpartner: Referat 96

# Untersuchung von Boden- und Bodenluftproben sowie Eluaten bei Altlasten und schädlichen Bodenveränderungen

Wirkungspfade Boden-Mensch und Boden-Grundwasser

### Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Allgemeine Hinweise</b>	<b>3</b>
1.1	Anwendungsbereich	3
1.2	Qualitätssicherung	4
<b>2</b>	<b>Probenvorbehandlung und -konservierung, Haltbarkeit</b>	<b>5</b>
2.1	Feststoffproben aus Böden und Materialien	5
2.1.1	Physikalisch-chemische Kenngrößen und anorganische Analyte	5
2.1.2	Probenvorbereitung bei organischen Analyten	7
2.1.2.1	Leichtflüchtige organische Stoffe	9
2.1.2.2	Mittelflüchtige organische Stoffe	9
2.1.2.3	Schwerflüchtige organische Stoffe	9
2.2	Probenvorbereitung durch Eluatherstellung	10
2.2.1	Hintergrund	10
2.2.2	Verfahrensauswahl	12
2.2.3	Ergänzende Hinweise zu den Elutionsverfahren	13
<b>3</b>	<b>Analytik</b>	<b>14</b>
3.1	Allgemeines	14
3.2	Untersuchung fester und wässriger Proben	15
3.2.1	Anorganische Untersuchungsparameter	15
3.2.1.1	Hinweise zur Untersuchung von umweltrelevanten Metallen und Halbmetallen	15

3.2.1.2	Hinweise zur Untersuchung von Anionen	15
3.2.2	Organische Untersuchungsparameter	16
3.2.2.1	Hinweise zur Untersuchung von Alkylethern und Kohlenwasserstoffen	16
3.2.2.2	Hinweise zur Untersuchung auf halogenierte Kohlenwasserstoffverbindungen	17
3.2.2.3	Hinweise zur Untersuchung von Pflanzenschutzmitteln und Biozidprodukten (PSMBP)	18
3.2.2.4	Hinweise zur Untersuchung von Phenolen	18
3.2.2.5	Hinweise zur Untersuchung von Sprengstofftypischen Verbindungen (STV)	18
3.3	Untersuchung von Bodenluftproben	18
<b>4</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>20</b>
	<b>Anhang 1: Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>24</b>
	<b>Anhang 2: Checkliste zur Qualitätssicherung von Bodenproben (Laborproben)</b>	<b>25</b>

### Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Teilschritte bei der Entnahme und Untersuchung von Proben	3
Abb. 2:	Vereinfachtes Schema der Probenvor- und -aufbereitung von Böden (Laborprobe) für die Bestimmung anorganischer Stoffe und physikalisch-chemischer Kenngrößen (in Anlehnung an DIN 19747)	7
Abb. 3:	Vereinfachtes Schema der Probenvor- und -aufbereitung von Böden (Laborprobe) für die Bestimmung organischer Stoffe (in Anlehnung an DIN 19747 und gemäß Kap. 2.1.2)	8
Abb. 4:	Vereinfachtes Schema zur Probenvorbehandlung und -vorbereitung für die Elution von Feststoffen mittels Perkulations- bzw. Schüttelverfahren nach DIN 19528 und DIN 19529	11

### Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Verfahren zur Herstellung von Eluaten mit Wasser gemäß BBodSchV	12
Tab. 2:	Einschätzung der Elutionsverfahren hinsichtlich ihrer Vor- und Nachteile	13
Tab. 3:	Dimensionierung des Elutionsansatzes	13

# 1 Allgemeine Hinweise

## 1.1 Anwendungsbereich

Die inhomogene Verteilung von Stoffen in Böden bei schädlichen Bodenveränderungen und Altlasten sowie die verschiedenen physikalisch-chemischen Eigenschaften der zu bestimmenden Stoffe, wie Flüchtigkeit oder Adsorptionsneigung, stellen hohe Anforderungen an die fachgerechte Planung und Durchführung von Probenahme, Probenvorbehandlung, Probenvorbereitung, Analyse und die Bewertung der Ergebnisse.

Die Aussagekraft einer Untersuchung hängt von der Qualität jedes einzelnen Teilschrittes des gesamten Untersuchungsverfahrens ab (siehe Abb. 1), wobei die Messung nur ein Teil des Verfahrens ist.

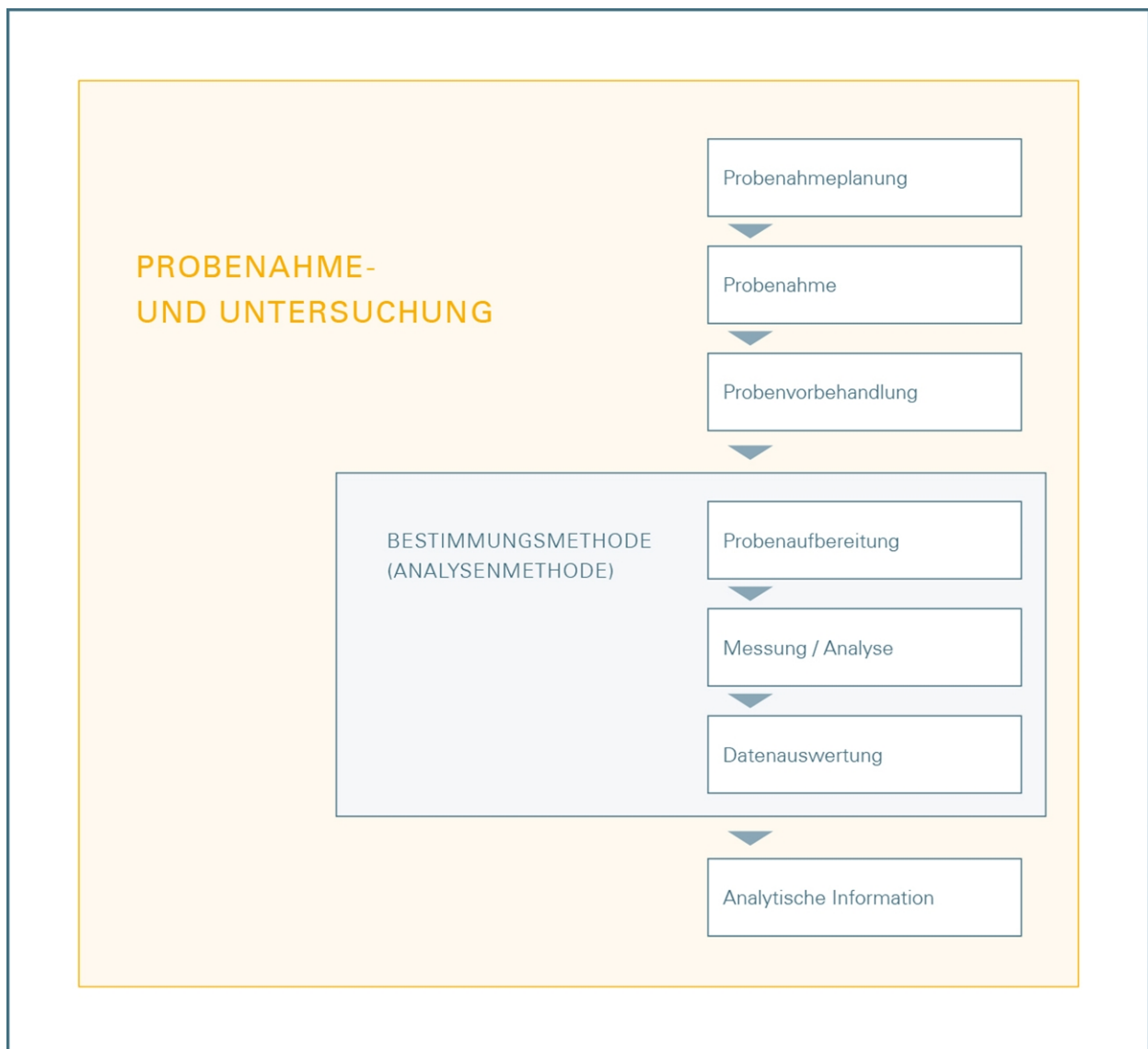


Abb. 1: Teilschritte bei der Entnahme und Untersuchung von Proben

Ziel dieses Merkblatts ist es, das Vorgehen bei Altlasten und schädlichen Bodenveränderungen und die Untersuchung von Bodenproben, Bodenluftproben und Eluaten in den Untersuchungsstellen für die Wirkungspfade Boden-Grundwasser, Boden-Mensch und ggf. Boden-Nutzpflanze durch fachgerechte Vorgaben zu vereinheitlichen. Damit soll die Richtigkeit, Vergleichbarkeit und Reproduzierbarkeit von Untersuchungsergebnissen verbessert und somit die Bewertungssicherheit erhöht werden.

Vorgaben zur Bestimmung der Schadstoffgehalte in Böden, Bodenmaterial und sonstigen Materialien sowie zu den anzuwendenden Untersuchungsverfahren sind in den §§ 19 bis 24 sowie in Anlage 3 der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) enthalten. Hierzu gehören Vorgaben zur Probenahme, Probenvorbehandlung, zur Extraktion und Elution sowie zu Analyseverfahren. Die Vorgaben in den Kap. 2 (Probenvorbehandlung) und 3 (Analytik) des vorliegenden Merkblattes zur Bestimmung von Gesamtstoffgehalten in Böden gelten für die o. g. Wirkungspfade.

Die fachlichen Anforderungen an die Untersuchung von Feststoffen, Bodenluft und Eluaten sind in der BBodSchV und den darin aufgeführten Normen festgelegt. Weiterhin enthält die BBodSchV Vorgaben zur Bestimmung von Stoffkonzentrationen in Wässern und in Eluaten. Die Stoffkonzentrationen und -frachten im Sickerwasser und der Stoffeintrag in das Grundwasser am Ort der Beurteilung können mittels Sickerwasserprognose abgeschätzt werden (§ 2 Nr. 15 und § 14 BBodSchV). Kap. 2 enthält Hinweise zur Anwendbarkeit und Durchführung von Elutions- und Säulenverfahren zur Emissionsabschätzung bei der Sickerwasserprognose. Die Festlegungen der BBodSchV werden im vorliegenden Merkblatt durch Vorgaben zur Probenvorbereitung, -vorbehandlung, Analyse und zur Durchführung von Elutions- und Säulenverfahren ergänzt.

Nach § 24 Abs. 11 BBodSchV dürfen auch andere Verfahren und Methoden zur Probenahme, Probenvorbehandlung, -vorbereitung und -aufarbeitung sowie zur physikalisch-chemischen und chemischen Analyse angewendet werden, wenn deren Gleichwertigkeit und praktische Eignung

1. durch den Fachbeirat Bodenuntersuchungen allgemein festgestellt und die Feststellung durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit im Bundesanzeiger veröffentlicht wurde oder
2. vom Anwender im Einzelfall gegenüber der zuständigen Behörde nachgewiesen wird.

Alternative Referenzverfahren bzw. gleichwertige Verfahren können dem Fachmodul Boden und Altlasten, Anhang 1 sowie der Methodensammlung Feststoffuntersuchung (FBU & LAGA 2021) entnommen werden.

Die aktuellen Versionen der jeweiligen Methodensammlungen sind über die nachfolgend genannten Links im Internet auf den Seiten der Länderarbeitsgemeinschaft Boden (LABO) und des Umweltbundesamtes (UBA) abrufbar:

- [Fachmodul Boden- und Altlasten](#)
- [Methodensammlung Feststoffuntersuchung](#)

## 1.2 Qualitätssicherung

Sachverständige und Untersuchungsstellen, die Aufgaben nach dem BBodSchG wahrnehmen, müssen gemäß § 18 BBodSchG bestimmte Voraussetzungen erfüllen. Die entsprechende Zulassung nach der Verordnung über Sachverständige und Untersuchungsstellen für den Bodenschutz und die Altlastenbearbeitung in Bayern (VSU) erfolgt durch das Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU). Nach § 18 BBodSchG zugelassene Sachverständige und Untersuchungsstelle sind auf der Internetseite [www.resymesa.de](http://www.resymesa.de) bekannt gegeben.

Im Rahmen der Amtsermittlung sind von den Wasserwirtschaftsämtern ausschließlich nach § 18 BBodSchG zugelassene Sachverständige und Untersuchungsstellen zu beauftragen.

Das LfU empfiehlt zur Gewährleistung einer hinreichenden Qualitätssicherung und damit eines effizienten und zügigen Verfahrens auch in den übrigen Verfahrensschritten (Detailuntersuchung, Sanierungsuntersuchung, Sanierungsplanung, Sanierung, Eigenkontrollmaßnahmen) nach § 18 BBodSchG zugelassene Sachverständige und Untersuchungsstellen zu beauftragen. Die zuständige

Bodenschutzbehörde kann dies nach § 9 Abs. 2 Satz 2, § 13 Abs. 2 und § 15 Abs. 2 Satz 5 BBodSchG von der bzw. dem Pflichtigen verlangen.

## 2 Probenvorbehandlung und -konservierung, Haltbarkeit

### 2.1 Feststoffproben aus Böden und Materialien

Vor Ort entnommene Feststoffproben werden für die Untersuchung i. d. R. in ein Analytiklabor transportiert. Bei großen Probemengen ist eine Teilung bzw. Einengung der Feldprobe entsprechend den Vorgaben der LAGA PN 98, der DIN 19747 bzw. Merkblatt 3.8/4, Kap. 5.3 erforderlich. Die Übergabe der entnommenen Bodenproben an das Labor (Laborprobe), eine ggf. erforderliche Extraktion mit Lösungsmitteln oder eine anderweitige Probenvorbehandlung und die Analytik sollten generell zeitnah erfolgen. Hinsichtlich Transport, ggf. Konservierung und Lagerung von Bodenproben sind die Regelungen der DIN ISO 18400-105 sowie der DIN ISO 18512 bzw. die im Fachmodul Boden und Altlasten und der Methodensammlung Feststoffuntersuchung (FBU & LAGA 2021) genannten gleichwertigen oder vergleichbaren Untersuchungs- und Analysenvorschriften (alternative Referenzverfahren) zu beachten. Probenlagerung, Probentransport und Art der Probengefäße sind im Probenahmeprotokoll zu dokumentieren.

Für Wiederholungsmessungen oder für bestimmte Fragestellungen (z. B. für die Analyse der für die Staubbildung relevanten Feinfraktion < 63 µm) sind Rückstellproben aufzubewahren. Für getrocknete Feststoffproben (Rückstellproben) sind in der DIN 19747 die maximal empfohlenen Lagerungsdauern angegeben.

Um aus der in das Labor gelieferten Feststoffprobe eine für die jeweilige laboranalytische Untersuchung geeignete Analysenprobe zu gewinnen, ist i. d. R. eine Probenvorbehandlung nach DIN 19747 erforderlich. Die genaue Vorgehensweise ist entsprechend der Fragestellung, den Eigenschaften der jeweiligen Bodenprobe und Analyte sowie den Anforderungen der jeweiligen Analysenverfahren auszuwählen.

Zu beachten ist, dass jegliche Art der Probenvorbehandlung (und auch der Probenvorbereitung) Einfluss auf die Ergebnisse der chemischen, physikalischen oder biologischen Prüfverfahren haben kann. Mögliche Analytverluste (z. B. durch nicht repräsentative Entnahme von Teilen der Probe oder zu hohe Trocknungstemperaturen) sind zu vermeiden. Ebenso sind geeignete Maßnahmen zu ergreifen, um keine Querkontaminationen zu verursachen.

Im Analysenbericht ist der Zustand der in der Untersuchungsstelle eingetroffenen Proben, deren Lagerung sowie die erfolgte Probenvorbereitung nachvollziehbar zu beschreiben und bei der Ergebnisbewertung zu berücksichtigen. Weiterhin sind die Konzentrationen der Stoffe in der analysierten Korngrößenfraktion (bezogen auf die Trockenmasse, die bei 105 °C nach der DIN EN 15934, Verfahren A bestimmt wurde), das Massenverhältnis der getrockneten und gesiebten Fraktionen sowie der Feuchtegehalt der feldfrischen Proben anzugeben.

Vorgaben zur maximalen Lagerungsdauer von Feststoffproben ab dem Zeitpunkt der Probenahme bei unterschiedlichen Bedingungen und Untersuchungsparametern sind der DIN ISO 18512 zu entnehmen. Behandlung der Proben, Transport und Art der Probengefäße sind im Probenahmeprotokoll zu dokumentieren. Anhand der Checkliste im Anhang 2 kann überprüft werden, ob die Anforderungen dieses Merkblatts zur Probenvor- und -aufbereitung für die Untersuchung von Bodenproben und Eluatn eingehalten sind.

#### 2.1.1 Physikalisch-chemische Kenngrößen und anorganische Analyte

Die für chemische und physikalische Untersuchungen erforderliche Probenvorbehandlung von Bodenproben erfolgt nach DIN 19747. Ggf. ist eine parameterspezifische Probenvorbereitung notwendig, um eine Abtrennung oder Anreicherung der zu bestimmenden Stoffe aus der Analysenprobe (z. B. durch Extraktion oder Derivatisierung) zu ermöglichen.

Die homogenisierte Bodenprobe wird gemäß DIN 19747 an der Luft bzw. in einem Umlufttrockenschrank bei 40 °C bis zur Rieselfähigkeit getrocknet. Grobanteile (z. B. Wurzeln, Steine) müssen zuvor manuell aussortiert werden. Art und Massenanteil des ggf. aussortierten Materials sind zu bestimmen und im Ergebnisbericht zu dokumentieren. Zusätzlich wird eine Fotodokumentation empfohlen. Ergänzend zu diesen Vorgaben ist das aussortierte Material ggf. getrennt zu untersuchen (siehe Abb. 2).

Sind beim Trocknen des Probenmaterials Bodenagglomerate entstanden, werden diese mittels Handmörser möglichst fein zerstoßen. Die Feinkornfraktion (Korngröße  $\leq 2$  mm) wird unter Verwendung von Kunststoff- oder Edelstahlsieben (2 mm Maschenweite) abgesiebt. In der zurückbleibenden Grobkornfraktion sind ggf. erkennbare Bodenagglomerate zu zerstoßen, erneut zu sieben und so der Feinkornfraktion zuzuordnen. Dabei ist sicherzustellen, dass möglichst wenig feines Material an der Grobkornfraktion (Korngröße  $> 2$  mm) anhaftet. Anschließend werden die Massenanteile der Grob- und Feinkornfraktion bestimmt. Mindestens einer dieser Anteile ist im Ergebnisbericht anzugeben.

Im Regelfall wird eine repräsentative Teilprobe der Feinkornfraktion in einer geeigneten Mühle kontaminationsfrei auf die gemäß DIN 19747 vorgegebene Korngröße  $\leq 250$   $\mu\text{m}$  gemahlen und analytisch untersucht. Für die Bestimmung der meisten physikalisch-chemischen Kenngrößen darf die Probe nicht gemahlen werden.

Wird in der Bodenprobe elementares Quecksilber erwartet, muss wegen des hohen Dampfdruckes die Bestimmung an der Originalprobe (feldfrische Probe) vorgenommen werden.

Um den Glühverlust der Feinkornfraktion zu bestimmen, wird ein Aliquot zur Ermittlung des Anteils der Trockensubstanz gemäß BBodSchV nach DIN EN 15934, Verfahren A bei 105 °C getrocknet. Die so ermittelte Trockensubstanz wird zur Bestimmung des Glühverlustes verwendet.

Böden, künstliche Auffüllungen oder Material aus Altlasten können größere Anteile an kontaminiertem Fremdmaterial (z. B. Schlacke Beimengungen) der Grobkornfraktion (Korngröße  $> 2$  mm) enthalten oder überwiegend aus diesem bestehen. Für eine realistische Bewertung kann daher zusätzlich (z. B. bei Verwertungsfragen) eine chemische Analyse dieser Fraktion erforderlich sein. Die Grobkornfraktion soll gesondert untersucht werden, wenn Informationen vorliegen, die auf bewertungsrelevante Inhaltsstoffe hindeuten. Zu Beginn einer Untersuchungsserie ist deshalb stichprobenartig die Grobfraktion nach geeigneter Zerkleinerung zu analysieren, um eine eventuelle Kontamination zu erkennen. Basierend auf dem Vergleich der Analyseergebnisse für die Fein- und Grobfraktion ist festzulegen, wie häufig für eine definierte Serie die Grobfraktion zu untersuchen ist. Gegebenenfalls ist mit der Fachbehörde abzustimmen, inwieweit eine Siebung der Bodenprobe auf eine Korngröße bis 2 mm unterbleiben soll. In diesem Fall wird die entsprechend getrocknete Originalprobe bzw. ein geeigneter gröberer Korngrößenschnitt nach Zerkleinerung verarbeitet. Bei Verwendung von Backenbrechern ist auf die Kontaminationsgefahr durch Chrom bzw. Nickel zu achten.

Sind Schadstoffe zu beurteilen, für die sich nach den Ableitungsmaßstäben der inhalative Pfad als ausschlaggebend für die Festlegung des Prüfwertes für den Wirkungspfad Boden-Mensch erwiesen hat, wie z. B. Chrom (bzw. Chromat) oder Nickel, so ist die Feinfraktion bis 63  $\mu\text{m}$  (vgl. § 22 Abs. 2 BBodSchV) aus speziell für diesen Zweck entnommenen Rückstellproben zu analysieren. Dazu ist zunächst diese Fraktion mittels Trockensiebung abzutrennen. Die anschließende Aufbereitung und Analytik erfolgt gemäß den Standardverfahren.

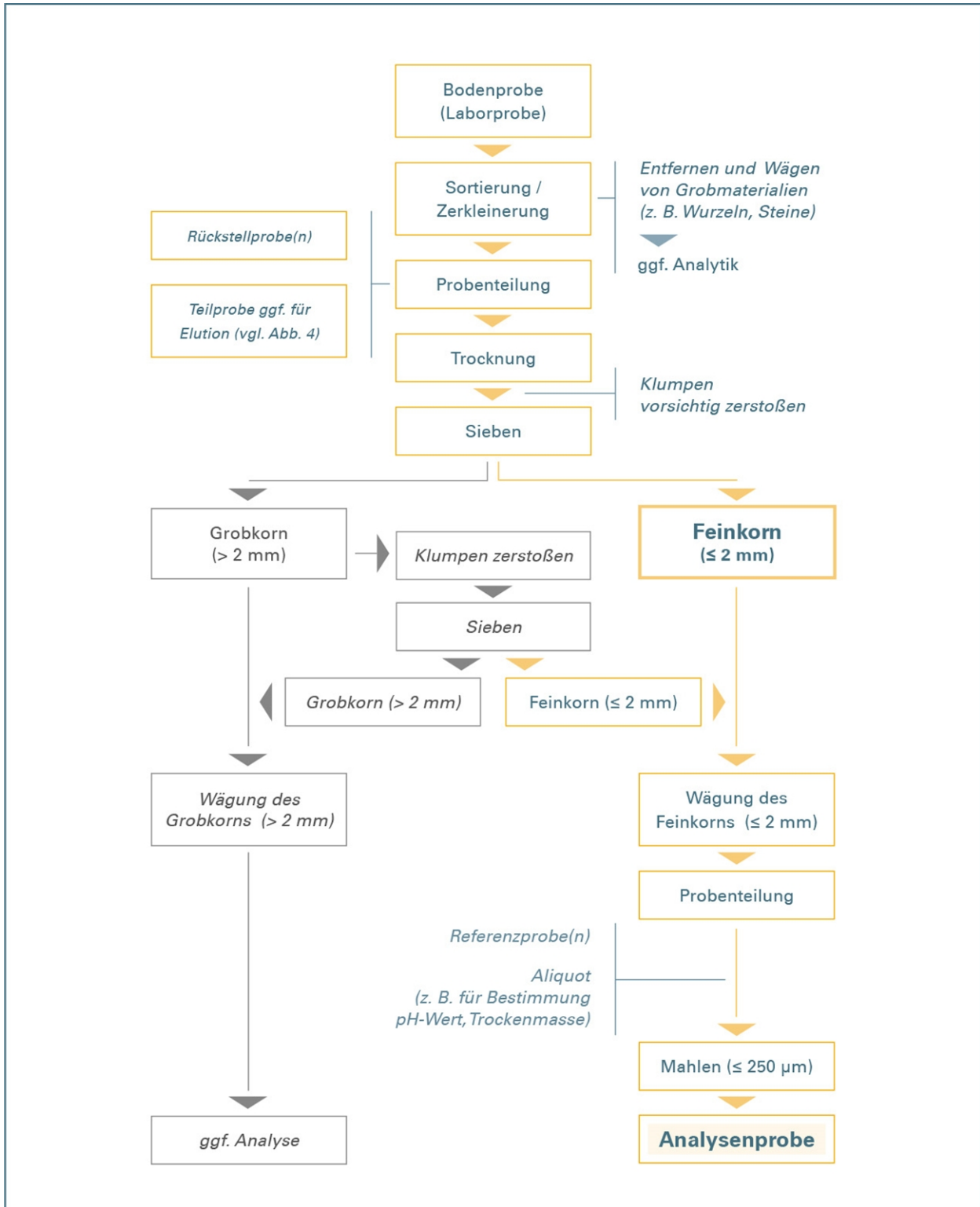


Abb. 2: Vereinfachtes Schema der Probenvor- und -aufbereitung von Böden (Laborprobe) für die Bestimmung anorganischer Stoffe und physikalisch-chemischer Kenngrößen (in Anlehnung an DIN 19747)

### 2.1.2 Probenvorbereitung bei organischen Analyten

Die Vorbehandlung der Proben unterscheidet sich je nachdem, ob auf leicht-, mittel- oder schwerflüchtige organische Stoffe analysiert werden soll (vgl. Abb. 3). In jedem Fall ist darauf zu achten, Verdampfungsverluste sowie Querkontaminationen zu vermeiden.

Für organische Stoffe sind entsprechend vorgereinigte und ausgeheizte Glas- oder Edelstahlgefäße zu verwenden, die luftdicht verschließbar sind. Die Proben müssen dunkel und kühl gelagert und transportiert werden.

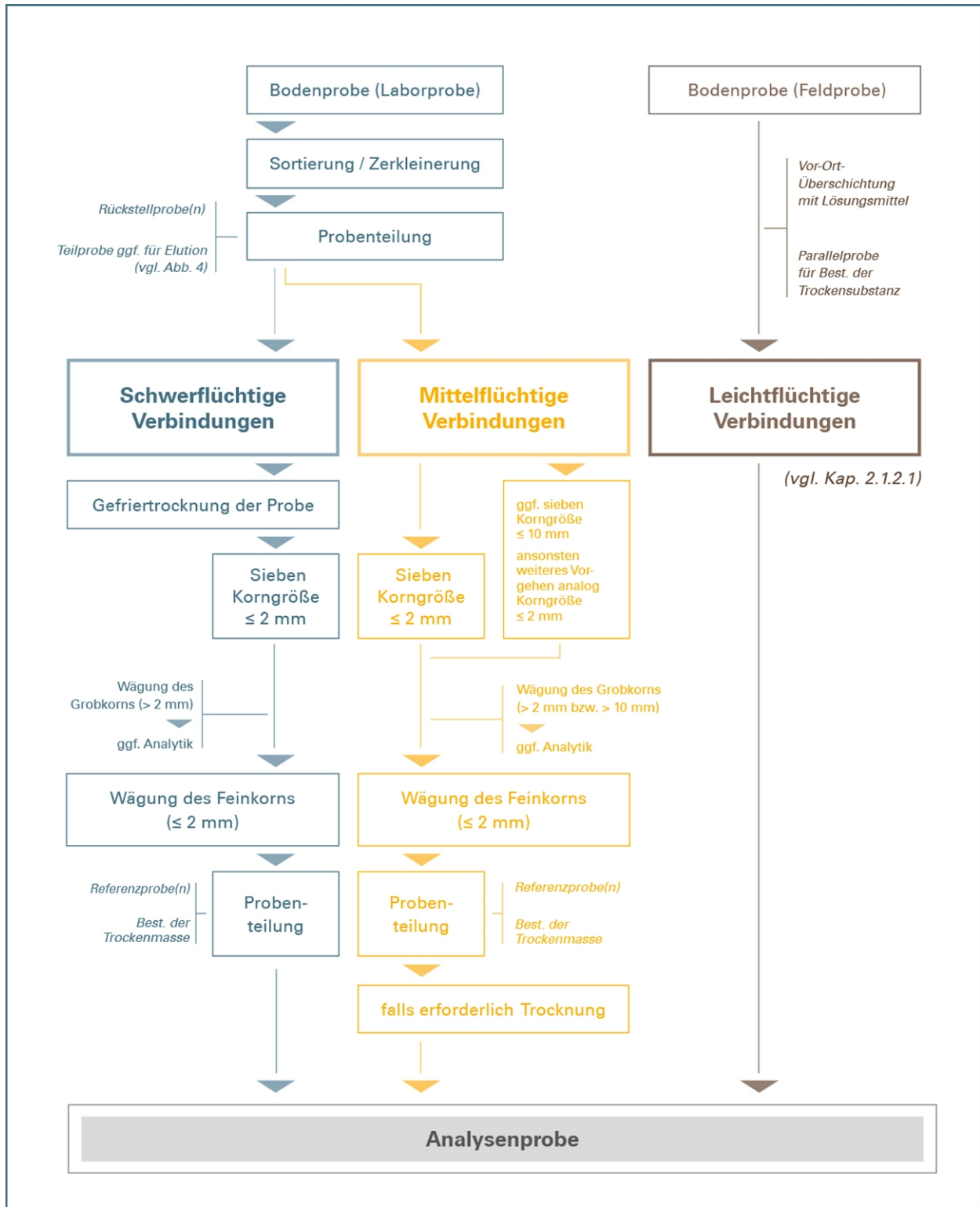


Abb. 3: Vereinfachtes Schema der Probenvor- und -aufbereitung von Böden (Laborprobe) für die Bestimmung organischer Stoffe (in Anlehnung an DIN 19747 und gemäß Kap. 2.1.2)



### 2.1.2.1 Leichtflüchtige organische Stoffe

Die Untersuchung auf leichtflüchtige organische Stoffe (z. B. LHKW, BTEX) erfolgt aus einer bereits bei der Probenahme **vor Ort mit Lösungsmittel überschichteten Bodenprobe**, die möglichst ungestört, z. B. aus dem frischen Bohrkern einer Rammkernsonde oder frisch abgeschälten Schurfwand, entnommen wird. Das Probenmaterial darf nicht verrührt werden. Beim Verschließen der Probengefäße ist darauf zu achten, dass die Dichtflächen (Rand, Dichtung im Deckel) sauber sind, damit die Gefäße gasdicht verschlossen werden können. Die Proben werden dunkel, gekühlt bei  $< 10\text{ °C}$  und aufrecht stehend in die Untersuchungsstelle transportiert und dort unverzüglich analysiert.

Bei leichtflüchtigen organischen Schadstoffen sind entsprechend vorgereinigte und ausgeheizte gasdichte Gefäße zu verwenden. Die Proben sind spätestens an dem auf die Probenahme folgenden Tag beim Labor abzugeben. Es muss sichergestellt sein, dass während des Transports und der Lagerung keine Substanzverluste auftreten. Die Dauer zwischen Probenahme und Analysenbeginn ist zu dokumentieren. Es ist sicherzustellen, dass die Analyse auf leichtflüchtige organische Schadstoffe – analog der Analytik von Wasserproben nach DIN 38407-43 bzw. DIN EN ISO 10301 – auch bei den Methanol überschichteten Bodenproben innerhalb von 48 Stunden erfolgt. Probenlagerung, -transport und Art der Probengefäße müssen im Probennahmeprotokoll dokumentiert sein.

Bei der Bestimmung von leichtflüchtigen organischen Substanzen hat jegliche Trocknung bzw. sonstige Probenvorbehandlung (z. B. Siebung) zu unterbleiben. Der Feuchtegehalt wird in einer Parallelprobe gesondert bestimmt.

Bei **nicht bindigen Böden** ist die Entnahme und Untersuchung von Bodenluftproben der Bestimmung von Gesamtstoffgehalten leichtflüchtiger organischer Verbindungen in Bodenproben vorzuziehen. Hinweise zur Entnahme und Untersuchung von Bodenluftproben enthalten die VDI-Richtlinien VDI 3865-2, VDI 3865-3 und VDI 3865-4 bzw. das Merkblatt 3.8/4.

### 2.1.2.2 Mittelflüchtige organische Stoffe

Für die Untersuchung der Bodenprobe auf mittelflüchtige organische Stoffe (z. B. Naphthalin, Acenaphthylen, Methylnaphthaline; Mono-, Di- und Trichlorbenzole, Mono- und Dichlorphenole, Heizöl, Terpene) wird **nicht bindiges, feldfrisches Probenmaterial** in einem größeren Gefäß kontaminationsfrei homogenisiert. Ggf. in der Bodenprobe vorhandene größere Steine und Wurzeln werden herausgelesen (Art und Masse des Grobmaterials sind zu dokumentieren). Anschließend wird die Probe zur Gewinnung der Feinkornfraktion ohne Trocknung durch ein Edstahlsieb mit einer Maschenweite von 2 mm gegeben. Das Verhältnis der zwei Fraktionen ist zu dokumentieren.

Aus **bindigem feldfrischem Probenmaterial** kann die Feinkornfraktion z. B. dadurch gewonnen werden, dass das Probenmaterial nacheinander durch gröbere Edstahlsiebe mit abnehmender Maschenweite gedrückt wird. Sehr bindiges Probenmaterial kann z. B. mit einem Wiegemesser auf einer festen Unterlage zerteilt werden.

Falls es nicht möglich ist, die Probe auf  $\leq 2\text{ mm}$  zu sieben, wird über ein 10 mm-Edstahlsieb getrennt; die Vorgehensweise ist im Analysenbericht zu dokumentieren und zu begründen.

Ein repräsentativer Anteil der Feinkornfraktion bzw. der Fraktion  $\leq 10\text{ mm}$  ist möglichst sofort nach der Homogenisierung zu analysieren. Ist dies nicht möglich, kann das Probenmaterial gemäß DIN ISO 18512 bis zu 4 Tage im Kühlschrank bei Temperaturen unter  $+ 4\text{ °C}$  gelagert werden. Um länger zu lagern, muss die Probe bei  $-20\text{ °C}$  oder kälter konserviert werden. Art und Dauer der Lagerung sind zu dokumentieren. Der Feuchtegehalt wird in einer Parallelprobe gesondert bestimmt.

### 2.1.2.3 Schwerflüchtige organische Stoffe

Zur Untersuchung auf schwerflüchtige organische Stoffe (z. B. polychlorierte Dioxine und Furane, PCB, Penta- und Hexachlorbenzol, Pentachlorphenol, per- und polyfluorierte Chemikalien) kann die Probe

analog der Vorbehandlung für mittelflüchtige Stoffe (Kap. 2.1.2.2) homogenisiert werden. Hierzu wird sie gefriergetrocknet. Dabei ist nach DIN 38414-14 sicherzustellen, dass keine Substanzverluste oder Querkontaminationen auftreten. Anschließend wird mit einer Maschenweite von 2 mm gesiebt. I. d. R. wird für die Analyse die Feinkornfraktion verwendet, bei Hinweisen auf bewertungsrelevante Inhaltsstoffe in der Grobkornfraktion wird diese zusätzlich analysiert.

## 2.2 Probenvorbereitung durch Eluatherstellung

### 2.2.1 Hintergrund

Von schädlichen Bodenveränderungen und Altlasten ausgehende oder zu erwartende Schadstoffeinträge über das Sickerwasser in das Grundwasser werden gemäß BBodSchV mittels einer Sickerwasserprognose abgeschätzt. Da das Sickerwasser i. d. R. nicht direkt an dem Ort erfasst werden kann, an dem es in das Grundwasser eintritt (Ort der Beurteilung), basiert die Abschätzung der Sickerwasserbeschaffenheit am Ort der Beurteilung i. d. R. auf den Ergebnissen, die vom Ort der Probenahme stammen. Die anzuwendenden Untersuchungsverfahren sind in der Anlage 3 BBodSchV vorgeschrieben und richten sich nach der Untersuchungsphase sowie nach der Art der Analyte. Die Sickerwasserprognose ist detailliert im Merkblatt 3.8/1 beschrieben.

Üblicherweise bilden Elutionsuntersuchungen (Extraktion, Auszug mit Wasser) die Grundlage für die Sickerwasserprognose. Hierbei wird anhand von Schüttel-, Säulen- bzw. Lysimeterversuchen eine Emissionsabschätzung (Quelltermbestimmung) für den Ort der Probenahme erstellt und im nächsten Schritt unter Berücksichtigung der Untergrundverhältnisse (Transportprognose) die derzeitige und künftige Sickerwasserkonzentration am Ort der Beurteilung abgeschätzt. Zu beachten ist dabei, dass zwischen den Standortbedingungen am Ort der Probenahme (d. h. auf der verunreinigten Fläche) und den Randbedingungen der Elutionsversuche ein wesentlicher Unterschied besteht. Insgesamt werden durch die Elutionsversuche die Standortbedingungen am Ort der Probenahme (i. d. R. in der ungesättigten Bodenzone) nur eingeschränkt nachgebildet, weil nicht davon ausgegangen werden kann, dass sämtliches bewertungsrelevante Material eluiert wird. Für die Emissionsabschätzung sind deshalb i. d. R. auch die Feststoffgehalte zu bestimmen.

Die nachfolgenden Kapitel enthalten Vorgaben zu den im Rahmen der Emissionsabschätzung durchzuführenden Schüttel-, Säulen- bzw. Lysimeterversuchen. Für die Elution mit Wasser mittels Schüttel- und/oder Säulenschnellverfahren sind repräsentative Bodenproben zu verwenden, die gemäß Merkblatt 3.8/4 entnommen wurden. Hinsichtlich der Herstellung, Lagerung und Konservierung und Analyse von Eluaten (und Bodensickerwasser) sind die Regelungen der in Anlage 3 der BBodSchV genannten Verfahren zu beachten. Bei fehlenden Vorgaben sind die allgemeinen Empfehlungen der DIN EN ISO 5667-3 zu berücksichtigen.

Die Probenvorbereitung für die Elution von Feststoffen mittels Perkulations- bzw. Schüttelverfahren ist schematisch in Abb. 4 dargestellt. Abweichungen von den Vorgaben können zu falschen Ergebnissen führen und sind zu begründen sowie zu dokumentieren.

Hinsichtlich des Wirkungspfades Boden-Mensch kann es im Rahmen der Detailuntersuchung zielführend sein, ergänzend zu den Feststoffgehalten auch die mobilen und mobilisierbaren, resorptionsverfügbaren Anteile der organischen und anorganischen Analyte zu ermitteln. Dies erfolgt entsprechend den Vorgaben der DIN 19738 mit den geeigneten Analyseverfahren. Weitere Ausführungen zur Resorptionsverfügbarkeit sind dem Merkblatt 3.8/8 zu entnehmen.

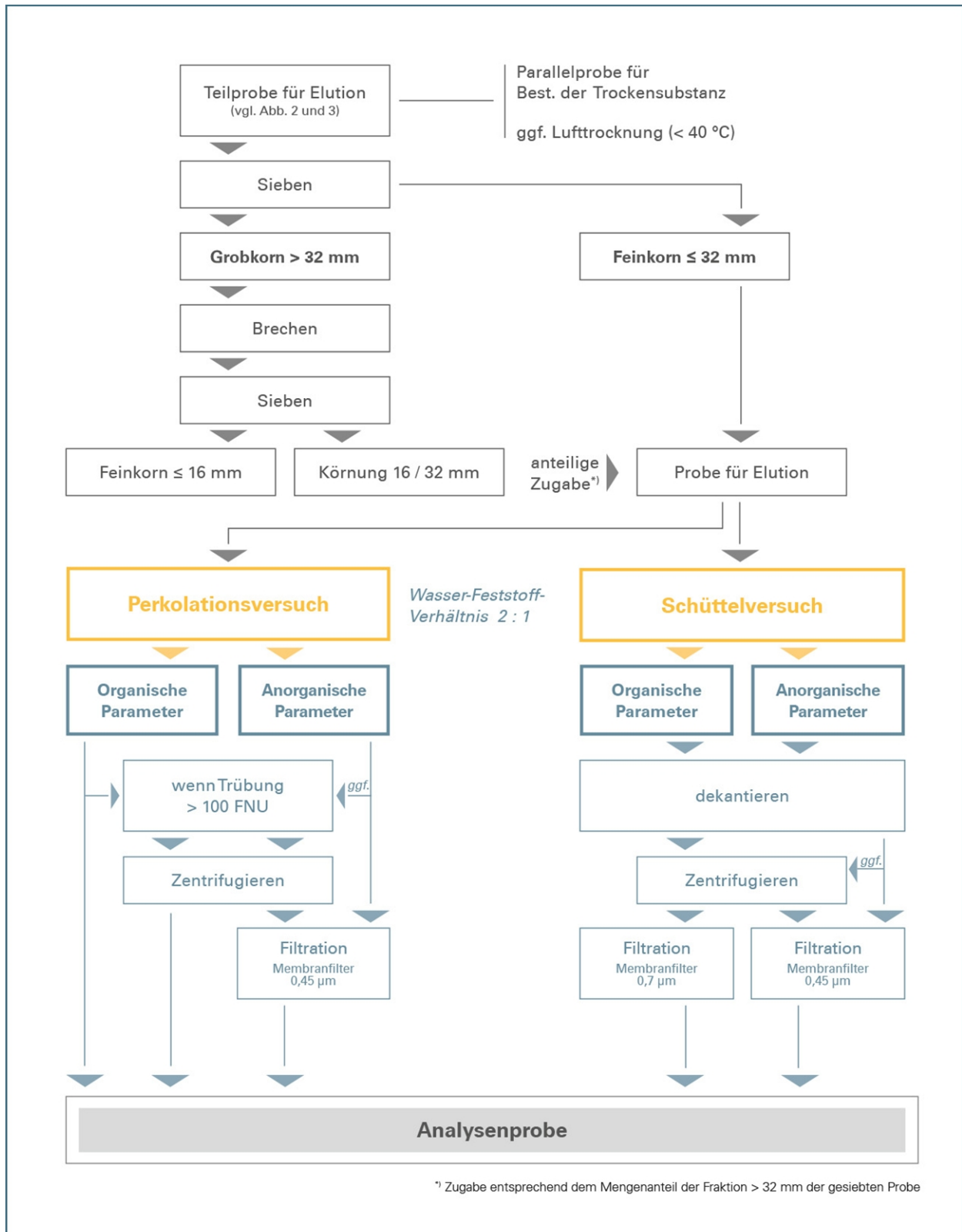


Abb. 4: Vereinfachtes Schema zur Probenvorbereitung und -vorbereitung für die Elution von Feststoffen mittels Perkolations- bzw. Schüttelverfahren nach DIN 19528 und DIN 19529

### 2.2.2 Verfahrensauswahl

Prinzipiell ist es nicht möglich, die reale Sickerwasserkonzentration mit einem Laborverfahren nachzubilden. Daher wird auf standardisierte Konventionsverfahren zurückgegriffen, die bereits mit Erfolg bei praktischen Fragestellungen angewendet worden sind und die reproduzierbare Ergebnisse liefern. Die gemäß BBodSchV vorgeschriebenen Verfahren zur Herstellung von Eluaten sind in Tab. 1 zusammengestellt.

I. d. R. sind für Eluatuntersuchungen größere Probenmengen erforderlich als bei der Gesamtgehaltsbestimmung im Feststoff; dies ist bei der Probenahme im Feld zu berücksichtigen (vgl. Merkblatt 3.8/4). Da bei der Eluatherstellung die Analyte aus einer großen Probenmenge in das homogene Medium Wasser überführt werden, ist – im Vergleich zu Gehaltsbestimmungen im Feststoff – mit einer erheblich geringeren Streuung der Ergebnisse aufgrund der Variabilität des Probenmaterials zu rechnen. Zur Bewertung des hinreichenden Gefahrenverdachts für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser ist primär die Eluierbarkeit der in einer Feststoffprobe enthaltenen Kontaminanten relevant. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass aufgrund der jeweiligen Verfahrensbedingungen bei der Eluatherstellung die Analyte möglicherweise nicht vollständig in das Eluat überführt werden.

Gemäß BBodSchV können weitere Extraktionsverfahren zur Abschätzung der Stoffkonzentrationen im Sickerwasser angewandt werden, z. B. wenn ein Eindringen von sauren Sickerwässern, von Lösevermittlern bzw. eine Änderung des Redoxpotenzials zu erwarten ist, oder zur Bewertung des Wirkungspfades Boden-Mensch, z. B. wenn die resorptionsverfügbaren Schadstoffanteile ermittelt werden sollen.

Für die Bewertung des Wirkungspfades Boden-Nutzpflanze ist der Ammoniumnitratextrakt nach DIN ISO 19730 zur Bestimmung von pflanzenverfügbaren Nährstoffen und umweltrelevanten Metallen und Halbmetalle (vgl. Anlage 2 Tab. 6 BBodSchV) anzuwenden. Als Beurteilungsgrundlage für die Emissionsabschätzung beim Wirkungspfad Boden-Grundwasser ist der Ammoniumnitratextrakt nicht geeignet.

Tab. 1: Verfahren zur Herstellung von Eluaten mit Wasser gemäß BBodSchV

<b>Wirkungspfad Boden-Grundwasser</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>DIN 19529: 2015-12</b> Schüttelverfahren zur Untersuchung des Elutionsverhaltens von anorganischen und organischen Stoffen mit einem Wasser/Feststoff-Verhältnis von 2 l/kg (für Materialien mit einer Korngröße ≤ 32 mm)</li> <li>• <b>DIN 19528: 2009-01</b> Perkolationsverfahren zur gemeinsamen Untersuchung des Elutionsverhaltens von anorganischen und organischen Stoffen (Sammlung des Säuleneluats bis zu einem Wasser/Feststoff-Verhältnis von 2 l/kg; für Materialien bis zu einer Korngröße von 32 mm; schwer perkolierbare Feststoffe werden mit einem Anteil von 80 % Quarzsand vermischt, eingebaut und perkoliert)</li> </ul>
<b>Wirkungspfad Boden-Mensch</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>DIN 19738: 2017-06</b> Resorptionsverfügbarkeit von organischen und anorganischen Schadstoffen aus kontaminiertem Bodenmaterial</li> </ul>
<b>Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>DIN ISO 19730: 2009-07</b> Extraktion von Spurenelementen aus Böden mit Ammoniumnitratlösung</li> </ul>

Die Vor- und Nachteile der beiden 2:1-Elutionsverfahren sind der Tab. 2 zu entnehmen.

Tab. 2: Einschätzung der Elutionsverfahren hinsichtlich ihrer Vor- und Nachteile

Verfahren	Vorteile	Nachteile
<b>2:1-Säulenelution</b> (DIN 19528:2009-01)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• realitätsnah (der Theorie nach)</li> <li>• zeitliche Entwicklung der Stofffreisetzung dokumentierbar</li> <li>• Eigenfiltration (d. h. meist kein fest/flüssig-Trennungsschritt für Organik)</li> <li>• gute Reproduzierbarkeit</li> <li>• kaum mechanische Beanspruchung des Materials</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• hoher Arbeitsaufwand</li> <li>• hoher Personalaufwand</li> <li>• hoher Zeit-/Kostenaufwand</li> <li>• Ansatzgröße und Eluatmenge materialabhängig</li> <li>• wenig geeignet für undurchlässiges oder stückiges Material</li> </ul>
<b>2:1-Schüttelelution</b> (DIN 19529:2015-12)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• geringer Arbeitsaufwand</li> <li>• geringer Personalaufwand</li> <li>• mittlerer Zeit-/Kostenaufwand</li> <li>• variable Ansatzgröße</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• hohe mechanische Beanspruchung des Materials</li> <li>• meist Höherbefunde im Vergleich mit anderen Verfahren</li> <li>• Zerkleinerung von größerem Material notwendig</li> </ul>

### 2.2.3 Ergänzende Hinweise zu den Elutionsverfahren

Als Verfahren zur Herstellung von Eluaten mit Wasser werden in Anlage 3, Tab. 2 der BBodSchV sowohl für anorganische als auch für organische Stoffe das Perkolationsverfahren nach DIN 19528 (Stand: 01/2009) bzw. das Schüttelverfahren nach DIN 19529 (Stand: 12/2015) vorgeschrieben. Für die Herstellung der Eluate dürfen auch die Normen mit Ausgabestand 07/2023 angewendet werden. Diese wurden vom Fachbeirat Bodenuntersuchungen (FBU) als gleichwertig und praktisch geeignet eingestuft (FBU 2023). In den neuen Ausgabeständen ist die Elution mit der Korngrößenfraktion bis 22,4 mm durchzuführen.

Die Prüfwerte für anorganische Stoffe am Ort der Probenahme in der BBodSchV, Anlage 2, Tab. 1 sowie im Merkblatt 3.8/1, Anhang 1, Tab. 1 differieren teilweise in Abhängigkeit vom TOC-Gehalt. Die hierzu erforderliche Bestimmung des TOC ist in Anlehnung an DIN 19747 an der Fraktion  $\leq 2$  mm vorzunehmen (vgl. Abb. 2). Liegt kein Messergebnis für den TOC vor, so sind für die Bewertung der Eluatkonzentrationen die Prüfwerte bei einem TOC-Gehalt  $< 0,5$  % anzuwenden.

Aus der Laborprobe ist in Abhängigkeit vom Größtkorn der Originalkörnung und entsprechend der Trockenmasse die Untersuchungsprobe für die Elution gemäß Tab. 3 zu erstellen.

Größtkorn [mm]	Trockenmasse [g]	Gefäßgröße [l]
$\leq 2$	100 ± 5	0,5
> 2 bis 10	250 ± 12,5	1,0
> 10 bis 22,4	1.000 ± 50	5,0
> 22,4 bis 32	2.500 ± 125	10,0

Tab. 3: Dimensionierung des Elutionsansatzes

Keines der Elutionsverfahren mit Wasser ist jedoch für die Untersuchung auf leichtflüchtige Stoffe oder biologisch sehr leicht abbaubare Stoffe (z. B. LHKW, BTEX) geeignet.

Die verfahrensbedingten Unterschiede der Schüttel- und Perkulationsverfahren können die Schadstoffkonzentration im jeweiligen Eluat beeinflussen. Entsprechend den Ergebnissen eines vom LfU durchgeführten Ergebnisvergleichs verschiedener Elutionsverfahren ist bei der 2:1-Schüttel-elution zu berücksichtigen, dass sich erfahrungsgemäß höhere Schadstoffkonzentrationen als bei der Säulenelution ergeben; die Ergebnisse der 2:1-Schüttel-elution unterstützen demnach eher eine Worst-Case-Abschätzung.

In begründeten Fällen können auch zeitlich engere Eluatentnahmen oder spätere Entnahmezeitpunkte mit anderen Wasser-Feststoff-Verhältnissen zielführend sein. Ergänzend erlaubt der Vergleich des Schadstoffgesamtgehalts im Boden mit den Eluatuntersuchungen eine näherungsweise Abschätzung der potenziell mobilen Schadstoffanteile.

### **Mehrfachelution**

Bei bestimmten Fragestellungen (z. B. Bestimmung der maximalen Eluierbarkeit) kann die ggf. mehrfache Wiederholung (Mehrfachelution, Kaskadentest) des Schüttelverfahrens hilfreich sein. Folgende zwei Varianten sind möglich:

1. Die Bodenprobe aus der ersten Elution wird erneut, ggf. mehrfach, mit destilliertem Wasser versetzt und für 24 Stunden über Kopf gedreht oder geschüttelt. Die Summe der Stoffkonzentrationen aus den Einzelschritten beschreibt die maximale Eluierbarkeit (Fracht) des Stoffes in der Probe. Zu beachten ist, dass chemische Milieuveränderungen in der Elutionslösung zusätzliche Auswirkungen auf die Probe haben können.
2. Dem (jeweils) abfiltrierten Eluat wird, ggf. mehrmals, frisches Probenmaterial zugegeben und im Gefäß für 24 Stunden über Kopf gedreht oder geschüttelt. Hier kann die maximal erreichbare Konzentration des Stoffes bestimmt werden.

### **Lysimeterversuche**

Aussagen zur Anwendung von Lysimeterversuchen für die Emissionsabschätzung finden sich in der BBodSchV nicht. Lysimeterversuche sind jedoch u. a. aus der bodenkundlichen Feld- und Laborforschung bekannt und werden vornehmlich zur Untersuchung der Wasser- und Stoffflüsse im weitgehend ungestörten Boden durchgeführt. Mit Hilfe von Lysimetern können standortbezogene Verhältnisse der ungesättigten Bodenzone realitätsnah untersucht werden, allerdings sind die Versuche sehr aufwändig und langwierig. Ausführungen zum Aufbau und Betrieb von Lysimetern sowie zur Bestimmung des Elutionsverhaltens finden sich in der DIN EN ISO 18772 und im DWA-Merkblatt 905 (DWA 2012). Lysimeterversuche können allerdings nur als ergänzende Maßnahme bei speziellen Fragestellungen empfohlen werden.

## **3 Analytik**

### **3.1 Allgemeines**

In Anlage 3 BBodSchV sind Untersuchungsverfahren für die Bestimmung von anorganischen und organischen Stoffen in Böden, Eluaten, (Boden-)Sickerwasser, Bodenluft- und Deponiegas sowie von physikalisch-chemischen Kenngrößen an Bodenproben vorgegeben.

Die nachfolgenden Zusammenstellungen fassen die umweltrelevanten Metalle und Halbmetalle und sonstige Kationen, Anionen, summarische Wirkungs- und Stoffgrößen sowie gemeinsam erfassbare organische Stoffgruppen und organische Einzelparameter, die bei Altlasten und schädlichen Bodenveränderungen relevant sein können, gruppenspezifisch zusammen. Abweichungen von den Vorgaben der BBodSchV werden ggf. kurz begründet.

Bei Verdacht auf Schadstoffe, die nicht in der BBodSchV aufgeführt sind oder bei besonderen Matrixverhältnissen, sind in Abstimmung mit der zuständigen Behörde die anzuwendenden Untersuchungsverfahren im Einzelfall festzulegen.

Es wird empfohlen, zu Beginn einer Untersuchung sowie an ausgewählten Proben im Laufe der weiteren Untersuchungen, fallbezogene Übersichtsanalysen (ICP-MS- bzw. GC-MS-Screening) durchzuführen. So können mögliche unerwartete Verunreinigungen ermittelt bzw. kann ein Überblick über den zu berücksichtigenden Parameterumfang erhalten werden.

## 3.2 Untersuchung fester und wässriger Proben

Die Analysen der nach entsprechender Vorbereitung (Kap. 2) erhaltenen Proben erfolgen mit den in der BBodSchV vorgegebenen Untersuchungsverfahren bzw. gleichwertigen Verfahren. Die im Rahmen der Altlastenbearbeitung nach BBodSchV und Merkblatt 3.8/1 relevanten Parameter sind nachstehend genannt. Die **anorganischen und organischen Untersuchungsparameter der BBodSchV** sind in den nachfolgenden Aufzählungen blau hervorgehoben.

Für die nachstehend aufgeführten Parameter werden zusätzliche Hinweise und Ergänzungen zu den relevanten Normen gegeben. Die Anwendungsgrenzen des jeweiligen Verfahrens können der zugehörigen Norm und der Methodensammlung Feststoffuntersuchung (FBU & LAGA 2021) entnommen werden.

### 3.2.1 Anorganische Untersuchungsparameter

#### 3.2.1.1 Hinweise zur Untersuchung von umweltrelevanten Metallen und Halbmetallen

Antimon (Sb), Arsen (As), Barium (Ba), Blei (Pb), Bor (B), Cadmium (Cd), Calcium (Ca), Chrom, gesamt (Cr, ges.), Eisen (Fe), Kalium (K), Kobalt (Co), Kupfer (Cu), Magnesium (Mg), Mangan (Mn), Molybdän (Mo), Natrium (Na), Nickel (Ni), Quecksilber (Hg), Selen (Se), Thallium (Tl), Vanadium (V), Zink (Zn)

Chrom wird bei mineralischen Feststoffen mittels Königswasseraufschluss zu 30 % bis 70 % nicht aufgeschlossen. (Chromat siehe Kap. 3.2.1.2). Hochgeglühte Fe-Oxide werden mittels Königswasseraufschluss nicht vollständig aufgeschlossen.

Gemäß BBodSchV werden anorganische Schadstoffe in **Feststoffproben** im Allgemeinen nach Aufschluss mittels Königswasser gemäß DIN EN 13657 oder DIN EN ISO 54321 aus gemahlener Probe (Korngröße < 250 µm) bestimmt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass gegenüber einem Totalaufschluss bei den Elementen Aluminium, Antimon, Arsen, Beryllium, Chrom, Eisen, Kalium, Molybdän, Natrium, Technetium, Titan, Vanadium, Wismut und Zinn i. d. R. Minderbefunde auftreten.

Bei der Untersuchung auf Thallium nach Königswasseraufschluss treten bei zu hohen Veraschungstemperaturen Minderbefunde durch flüchtige Thalliumhalogenide auf. Daher wird empfohlen, Thallium aus einem HNO<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Aufschluss gemäß DIN ISO 20279 zu bestimmen.

Die Elemente Antimon, Arsen und Selen sollten mittels Atomabsorptionsspektrometrie (elektrothermisch oder mittels Hydrid-Technik) nach DIN ISO 20280 bzw. Plasma-Massenspektrometrie nach DIN EN ISO 17294-2 bestimmt werden.

#### 3.2.1.2 Hinweise zur Untersuchung von Anionen

Chlorid (Cl<sup>-</sup>), **Chromat (Chrom<sup>VI</sup>)**, Cyanid (CN<sup>-</sup> gesamt bzw. leicht freisetzbar), **Fluorid (F<sup>-</sup>)**, Nitrat (NO<sup>3-</sup>), Nitrit (NO<sup>2-</sup>), Sulfat (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), Sulfid (S<sup>2-</sup> gelöst bzw. leicht freisetzbar)

Die **Elutionsverfahren** DIN 19529 (Schüttelverfahren) bzw. DIN 19528 (Perkolationsverfahren) erfassen nur die löslichen Verbindungen dieser Anionen. Wenn es erforderlich ist, auf schwerlösliche Verbindungen zu untersuchen, ist in Abstimmung mit der Fachbehörde ein geeignetes Verfahren festzulegen.

Die Bestimmung von Chromat (Chrom<sup>VI</sup>) in Feststoffproben nach DIN EN ISO 15192 erfasst nur die wasserlöslichen Chromate, während das schwerlösliche Bleichromat nicht erfasst wird. Die Bestimmung von Chrom<sup>VI</sup> in wässrigen Proben sollte – nach chromatografischer Abtrennung von Chrom<sup>III</sup> – mittels atom- oder massenspektrometrischer Verfahren erfolgen.

Ggf. zusätzlich relevante anorganische Parameter können dem Merkblatt 3.8/1, Anhang 1 entnommen werden.

### 3.2.2 Organische Untersuchungsparameter

I. d. R. erfolgt die Untersuchung von Böden auf organische Schadstoffe nach entsprechender Extraktion der zu bestimmenden Parameter mit geeigneten Lösemitteln und Reinigung der Extrakte. Die Probenvorbereitung und Extraktreinigung sind jedoch aufwändiger als für Wasserproben und z. T. noch nicht standardisiert. Die Wirksamkeit des eingesetzten Extraktionsverfahrens ist bei nicht normierten Verfahren für die jeweils vorliegende Matrix, z. B. durch wiederholte Extraktion mit anderen Lösemitteln, zu überprüfen.

#### 3.2.2.1 Hinweise zur Untersuchung von Alkylethern und Kohlenwasserstoffen

Alkylether (MTBE, ETBE, TAME), BTEX, MKW (C<sub>10</sub> – C<sub>40</sub>), MKW (C<sub>5</sub> – C<sub>9</sub>), Naphthalin und Methyl-naphthaline (Summe), PAK

##### Alkylether

Die in Tab. 2 genannten Elutionsverfahren sind für Alkylether nicht geeignet. Im Bodensickerwasser sind Alkylether unterhalb der Geringfügigkeitsschwellenwerte (GFS) der LAWA mit dem Verfahren nach DIN EN ISO 17943 bestimmbar.

##### BTEX

Zur Untersuchung von BTEX in Feststoffproben wird auf die Ausführungen in Kap. 2.1.2 verwiesen. Die in Tab. 2 genannten Elutionsverfahren sind für BTEX nicht geeignet. Um bei der Bestimmung von BTEX im Bodensickerwasser die notwendige Bestimmungsgrenze im Hinblick auf den Prüfwert der BBodSchV bzw. von 1 µg/l für Benzol zu erreichen, wird die Anwendung des empfindlicheren Purge-and-Trap-Verfahren gemäß DIN EN ISO 15680 bzw. die Headspace-Festphasenmikroextraktion (HS-SPME) nach DIN EN ISO 17943 mit GC-MS bzw. das Headspace-GC-MS-Verfahren nach DIN 38407-43 empfohlen. Mit diesen Verfahren sind ggf. auch aliphatische C<sub>5</sub> – C<sub>9</sub>-Kohlenwasserstoffe bestimmbar.

##### MKW

Bei Untersuchungen auf Ottokraftstoffe können zusätzlich auch kurzkettige mineralölbasierte Kohlenwasserstoffe (C<sub>5</sub> – C<sub>9</sub>) beurteilungsrelevant sein. Analytisch können die C<sub>5</sub> – C<sub>9</sub>-Aliphaten im Feststoff nach den Verfahren der BTEX-Analytik bestimmt werden. Bei Anwendung einer GC-MS-Methode ist vorher festzulegen, ob nur die n-Alkane oder alle C<sub>5</sub> – C<sub>9</sub>-Aliphaten (n-Alkane, Isoalkane, Cycloalkane, Alkene) zu bestimmen sind. Danach richten sich die Auswahl der Quantifizierungsmassen und die Kalibrierungsmethode.

In Feststoffproben kann der Gesamtgehalt an Kohlenwasserstoffen von C<sub>5</sub> bis C<sub>9</sub> nach DIN EN ISO 22155, der von C<sub>10</sub> bis C<sub>40</sub> nach DIN EN 14039 mittels Gaschromatografie bestimmt werden. Die in Tab. 2 genannten Elutionsverfahren sind nur für die C<sub>10</sub> – C<sub>40</sub>-Aliphaten geeignet. Das GC-Verfahren nach DIN EN ISO 9377-2 ermöglicht, neben der Summenauswertung, zusätzlich die Identifizierung von Einzelstoffen und ggf. der Art des technischen Produktes.

##### PAK, Naphthalin und Methyl-naphthaline

Die Liste der 16 Einzelstoffe gemäß US-EPA umfasst auch leichter flüchtige PAK. Deshalb ist bei der Probenvorbereitung und Extraktion sicherzustellen, dass Verluste der leichter flüchtigen PAK vermieden bzw. minimiert werden. Bei der Extraktion nach DIN ISO 13877 werden in Abhängigkeit des Kontaminationsgrades zwei verschiedene Probenvorbereitungsverfahren empfohlen:



- Soxhlet-Extraktion mit Toluol für hochkontaminierte Böden
- Kaltextraktion mit Aceton/Petrolether für gering kontaminierte Böden

Die Extraktreinigung mit Aluminiumoxid führt zu vollständigen Verlusten der PAK. Acenaphthylen kann nicht mittels Fluoreszenzdetektor bestimmt werden.

Die Bestimmung der PAK in Eluaten und Bodensickerwasser erfolgt nach DIN 38407-39 bzw. DIN EN ISO 17993.

Die Anteile einzelner PAK an der Gesamtsumme geben Hinweise auf die Herkunft (Art des technischen Produkts) bzw. die Genese der PAK. Deshalb ist im Untersuchungsbericht das Analyseergebnis jeder Einzelsubstanz der 16 PAK nach US-EPA anzugeben. Zur Quellenidentifizierung und Gefährdungsabschätzung kann darüber hinaus der Nachweis von Alkyl-naphthalinen sowie von NSO-Heterozyklen (z. B. Chinoline und Benzofurane) notwendig sein.

NSO-Heterozyklen, die neben Kohlenstoff auch Stickstoff (N), Schwefel (S) oder Sauerstoff (O) im Ring-system enthalten, können insbesondere in Teerölen mit einem Gewichtsanteil von bis zu 15 % in Feststoffproben vorhanden sein (Werner et al. 2008), in der wasserlöslichen Fraktion (Eluat oder Bodensickerwasser) kann dieser Anteil deutlich höher liegen. Deshalb sollten ab der Detailuntersuchung im Grundwasser von kontaminierten Standorten ausgewählte Proben auf NSO-Heterozyklen untersucht werden. Altlastenbezogene Bewertungs- und Analyseverfahren sind in DVGW 2011 enthalten.

### 3.2.2.2 Hinweise zur Untersuchung auf halogenierte Kohlenwasserstoffverbindungen

Leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe (LHKW), Chlorethen (Vinylchlorid), extrahierbare organisch gebundene Halogene (EOX), Mono-, Di- und Trichlorbenzole, Tri- bis Hexachlorbenzole, PCB, PCDD/F und dioxinähnlichen polychlorierte Biphenyle (dl-PCB), PFAS

Zur Untersuchung von Feststoffproben auf halogenierte Kohlenwasserstoffverbindungen wird auf die Ausführungen in Kap. 2.1.2 verwiesen. Der Extrakt ungetrockneter Proben mit einem Gemisch aus Aceton/Wasser/Petrolether (HLUG 1998) ist auch für die Bestimmung der schwerflüchtigen halogenierten Kohlenwasserstoffe bzw. der Organochlorpestizide verwendbar. Die in Tab. 2 genannten Elutionsverfahren sind für LHKW nicht geeignet.

#### EOX

Die extrahierbaren organisch gebundenen Halogene werden gemäß DIN 38414-17 nach Gefriertrocknung und Extraktion mit z. B. Hexan erfasst und im Sauerstoffstrom verbrannt.

#### PCB

Stellvertretend für die Gruppe der polychlorierten Biphenyle (PCB) werden für PCB-Gemische sechs Leitkongenere nach Ballschmiter (PCB-Nummer 28, 52, 101, 138, 153, 180) sowie PCB-118 untersucht.

Gemeinsam mit den PCB können in Bodenproben Organochlorpestizide und Tri- bis Hexachlorbenzole bestimmt werden.

Bei Anwendung einer Soxhlet-Extraktion gemäß DIN 38414-20 ist, durch die Gefriertrocknung und beim Einengen des Extraktes, mit Verlusten von niedrigchlorierten PCB, der Tri- bis Hexachlorbenzole und der flüchtigeren Organochlorpestizide (z. B. Hexachlorcyclohexan (HCH)) zu rechnen.

#### PFAS

Die Gruppe der PFAS umfasst zahlreiche verschiedene Stoffe. Wegen der Vielzahl unbekannter PFAS kann die Einzelstoffanalytik in bestimmten Fällen zu einer Unterschätzung des Risikopotenzials führen. Für Untersuchungen nahe der Schadstoffquelle wird die Bestimmung von Summenparametern (z. B. AOF, TOP-Assay) empfohlen. Im Routinefall ist auf die in den vorläufigen PFAS-Leitlinien (LfU 2022)

genannten perfluorierten Carbon- und Sulfonsäuren zu analysieren. Die Leitlinien enthalten auch ergänzende Ausführungen zur Bewertung von PFAS-Verunreinigungen in Wasser und Boden.

### 3.2.2.3 Hinweise zur Untersuchung von Pflanzenschutzmitteln und Biozidprodukten (PSMBP)

PSMBP (allgemein), Organochlorpestizide (z. B. Aldrin, Dichlordiphenyltrichlorethan (DDT) und Hexachlorcyclohexan (HCH-Gemisch oder  $\beta$ -HCH)), Organische Stickstoff- und Phosphorverbindungen (z. B. Triazinherbizide), Phenoxyalkancarbonsäureherbizide, Phenylharnstoffherbizide

#### Organochlorpestizide

Die Analyse der Organochlorpestizide ist gemeinsam mit den PCB und den Tri- bis Hexachlorbenzolen möglich.

### 3.2.2.4 Hinweise zur Untersuchung von Phenolen

Phenol, Summe Chlorphenole, Summe Nonylphenole (4-Nonylphenol, verzweigt und Nonylphenol-Isomere)

Liegen z. B. aufgrund der Historischen Erkundung Hinweise auf Produktion oder Verwendung von konkreten phenolischen Produkten vor, ist eine Bestimmung der relevanten Einzelstoffe unter Anwendung der DIN 38407-27 durchzuführen.

### 3.2.2.5 Hinweise zur Untersuchung von Sprengstofftypischen Verbindungen (STV)

2,4-Dinitrotoluol, 2,6-Dinitrotoluol, 2,4,6-Trinitrotoluol (TNT), 2,2',4,4',6,6'-Hexanitrodiphenylamin (Hexyl), 1,3,5-Trinitro-hexahydro-1,3,5-triazin (Hexogen), Pentaerythryltetranitrat (Nitropenta), 1,3,5,7-Tetranitro-octahydro-1,3,5,7-tetrazocin (Oktogen), 2,4,6-Trinitrophenol (Pikrinsäure), Ethylenglykoldinitrat (EGDN), Diethylenglykoldinitrat (DEGN), 1,3,5-Trinitrobenzol, 1,3-Dinitrobenzol, N-Methyl-N-2,4,6-tetranitroanilin (Tetryl), Glycerintrinitrat (Nitroglycerin), 4-Amino-2,6-dinitrotoluol, 2-Amino-2,6-dinitrotoluol, 2-Nitrotoluol, 3-Nitrotoluol, 4-Nitrotoluol, Diphenylamin

Bezüglich des Parameterumfangs wird auf die Arbeitshilfe zur Untersuchung von Sprengplätzen (Arbeitshilfe für die Untersuchung von Sprengplätzen) bzw. die DIN EN ISO 22478 verwiesen. Bei der Analyse nach DIN ISO 11916-1 kann es in Wasser oder Methanol zu Zersetzungsreaktionen für Tetryl kommen. Aufgrund der geringeren Löslichkeit von Oktogen (HMX), Hexyl und Nitropenta (PETN) in Methanol sollte bei Anwesenheit dieser Verbindungen bevorzugt mit Acetonitril extrahiert werden.

Die gaschromatografische Bestimmung nach DIN ISO 11916-2 bzw. DIN 38407-17 ist für die Analyse von Hexogen (RDX), Oktogen (HMX), Tetryl, Hexyl und Nitropenta (PETN) nicht geeignet.

Bei Verdacht auf STV sind immer auch Eluatuntersuchungen durchzuführen. Detaillierte Ausführungen hierzu sind in der Arbeitshilfe für die Untersuchung von Sprengplätzen enthalten.

Prinzipiell sind die Normen zur STV-Analytik in Bodenproben, Eluaten und Bodensickerwasser auch für andere, in den Normen nicht explizit genannte, jedoch ähnlich strukturierte Nitroaromaten oder Nitrates-ter geeignet. Die Anwendbarkeit des jeweiligen Verfahrens ist im Einzelfall zu prüfen.

## 3.3 Untersuchung von Bodenluftproben

Die Bestimmung von leichtflüchtigen organischen Stoffen in Bodenluftproben (z. B. BTEX, LHKW) erfolgt gaschromatografisch entweder nach aktiver oder passiver Anreicherung auf geeigneten Adsorbentmaterialien sowie anschließender Extraktion mit organischen Lösemitteln bzw. Thermodesorption gemäß VDI-Richtlinie VDI 3865-3 oder durch direkte Injektion der Bodenluft mittels einer Gasspritze (Autosampler oder von Hand) bzw. über eine Probenschleife in den Einlass des Gaschromatographen.

Als Direkt-Gassammelgefäße kommen v. a. in Frage (vgl. Merkblatt 3.8/4):

- Headspace-Glasgefäße mit PTFE-kaschierter Butylkautschuk-Septum-Kappe

- **Minican-Aluminium-Gefäße**  
Diese verlangen i. d. R. einen Umfüllschritt im Labor, der mit Unsicherheiten verbunden ist und deswegen vor dem routinemäßigen Einsatz validiert werden muss.
- **Beidseitig abgeschmolzene Pasteur-Pipetten** (sogenannte „Glaspipetten“)  
Auch wenn diese Variante zu langzeitstabilen Proben führt, ist die Handhabung kompliziert und erfordert i. d. R. eine nicht automatisierbare Injektion in den Gaschromatographen „von Hand“. Diese Variante wird deshalb nur Laboratorien empfohlen, die damit intensiv Erfahrung gesammelt haben und sie regelmäßig in der Routine einsetzen.

Um vergleichbare Ergebnisse zu erhalten, sollte Bodenluft immer mit denselben Probenahme- und Analyseverfahren gewonnen und untersucht werden. Eine enge Abstimmung zwischen Probenehmer und Analyselabor ist zwingend notwendig.

- Grundsätzlich sind Feldblindproben mit zu untersuchen. Wird die **Anreicherungstechnik auf Aktivkohle** gewählt, ist zu beachten, dass die Extraktion mittels Kohlenstoffdisulfid (CS<sub>2</sub>) durchgeführt und die Durchbruchsschicht getrennt untersucht wird, um einen eventuellen Durchbruch von Analyten durch die Adsorbens-Packung feststellen zu können. Der Schadstoffgehalt beladener Aktivkohleröhren ist innerhalb **von fünf Tagen nach der Probenahme zu bestimmen**.

Bodenluftproben in **Headspace-Gefäßen** sind nur begrenzt lagerfähig. Sie müssen mit PTFE-beschichteten Butylkautschuksepten verschlossen (verbördelt) werden. Durch Absprachen zwischen dem Analytelabor und dem Probenehmer ist im Vorfeld sicherzustellen, dass die Proben nur in solche Gefäße abgefüllt werden, die für den speziellen Autosampler des Gaschromatographen des Analyselabors geeignet sind (hinsichtlich Größe und Form, aber auch beispielsweise im Hinblick auf die Ausstattung mit einer speziellen Kappe, die es dem Autosampler erlaubt, das Gefäß unter Ausnutzung des Magnet-Effektes anzuheben). Ein Umfüllen einer Bodenluftprobe, aus einem Headspace-Gefäß in ein anderes, ist unter allen Umständen zu vermeiden.

Das **Minicanverfahren** bietet Vorteile bei der Lagerfähigkeit der Proben und der Möglichkeit zur Durchführung von Wiederholungsuntersuchungen. Dabei sind die jeweiligen Laborvorgaben zur Befüllung der Minican zu befolgen. Das Analyseverfahren erfordert neben einer verfahrensangepassten Kalibrierung eine gesonderte Validierung des Transferschritts vom Probengefäß in den Gaschromatographen. Nachweise hierzu sind dem Auftraggeber vorzulegen.

## 4 Literaturverzeichnis

Die angegebenen LfU-Merkblätter können im Internet unter [www.lfu.bayern.de](http://www.lfu.bayern.de) heruntergeladen werden.

BBodSchG (1998): Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundes-Bodenschutzgesetz - BBodSchG) vom 17.03.1998 (BGBl. I S. 502), das zuletzt durch Artikel 7 des Gesetzes vom 25.02.2021 (BGBl. I S. 306) geändert worden ist.

BBodSchV (2021): Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) vom 9. Juli 2021 (BGBl. I S. 2598, 2716).

DIN 19528:2009-01: Elution von Feststoffen - Perkolationsverfahren zur gemeinsamen Untersuchung des Elutionsverhaltens von anorganischen und organischen Stoffen.

DIN 19529:2015-12: Elution von Feststoffen - Schüttelverfahren zur Untersuchung des Elutionsverhaltens von anorganischen und organischen Stoffen mit einem Wasser/Feststoff-Verhältnis von 2 l/kg.

DIN 19738:2017-06: Bodenbeschaffenheit - Resorptionsverfügbarkeit von organischen und anorganischen Schadstoffen aus kontaminiertem Bodenmaterial.

DIN 19747:2009-07: Untersuchung von Feststoffen - Probenvorbereitung, -vorbereitung und -aufarbeitung für chemische, biologische und physikalische Untersuchungen.

DIN 38407-17:1999-02: Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung - Gemeinsam erfassbare Stoffgruppen (Gruppe F) - Teil 17: Bestimmung ausgewählter nitroaromatischer Verbindungen mittels Gaschromatographie (F 17).

DIN 38407-27:2012-07: Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung - Gemeinsam erfassbare Stoffgruppen (Gruppe F) - Teil 27: Bestimmung ausgewählter Phenole in Grund- und Bodensickerwasser, wässrigen Eluaten und Perkolaten (F 27).

DIN 38407-39:2011-09: Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung - Gemeinsam erfassbare Stoffgruppen (Gruppe F) - Teil 39: Bestimmung ausgewählter polycyclischer aromatischer Kohlenwasserstoffe (PAK) - Verfahren mittels Gaschromatographie und massenspektrometrischer Detektion (GC-MS) (F 39).

DIN 38407-43:2014-10: Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung - Gemeinsam erfassbare Stoffgruppen (Gruppe F) - Teil 43: Bestimmung ausgewählter leichtflüchtiger organischer Verbindungen in Wasser - Verfahren mittels Gaschromatographie und Massenspektrometrie nach statischer Headspacetechnik (HS-GC-MS) (F 43).

DIN 38414-14:2011-08: Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung - Schlamm und Sedimente (Gruppe S) - Teil 14: Bestimmung ausgewählter polyfluorierter Verbindungen (PFC) in Schlamm, Kompost und Boden - Verfahren mittels Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie und massenspektrometrischer Detektion (HPLC-MS/MS) (S 14).

DIN 38414-17:2017-01: Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung - Schlamm und Sedimente (Gruppe S) - Teil 17: Bestimmung von extrahierbaren organisch gebundenen Halogenen (EOX) (S 17).

DIN 38414-20:1996-01: Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung - Schlamm und Sedimente (Gruppe S) - Teil 20: Bestimmung von 6 polychlorierten Biphenylen (PCB) (S 20).

DIN EN 13657:2003-01: Charakterisierung von Abfällen - Aufschluß zur anschließenden Bestimmung des in Königswasser löslichen Anteils an Elementen in Abfällen, Deutsche Fassung EN 13657:2002.

DIN EN 14039:2005-01: Charakterisierung von Abfällen - Bestimmung des Gehalts an Kohlenwasserstoffen von C10 bis C40 mittels Gaschromatographie; Deutsche Fassung EN 14039:2004.

DIN EN 15934:2012-11: Schlamm, behandelter Bioabfall, Boden und Abfall - Berechnung des Trockenmassenanteils nach Bestimmung des Trockenrückstands oder des Wassergehalts, Deutsche Fassung EN 15934:2012.

DIN EN ISO 5667-3:2019-07: Wasserbeschaffenheit - Probenahme - Teil 3: Konservierung und Handhabung von Wasserproben (ISO 5667-3:2018); Deutsche Fassung EN ISO 5667-3:2018.

DIN EN ISO 9377-2:2001-07: Wasserbeschaffenheit - Bestimmung des Kohlenwasserstoff-Index - Teil 2: Verfahren nach Lösemittelextraktion und Gaschromatographie (ISO 9377-2:2000); Deutsche Fassung EN ISO 9377-2:2000.

DIN EN ISO 10301:1997-08: Wasserbeschaffenheit - Bestimmung leichtflüchtiger halogener Kohlenwasserstoffe - Gaschromatographische Verfahren (ISO 10301:1997); Deutsche Fassung EN ISO 10301:1997.

DIN EN ISO 15192:2022-01: Boden und Abfall - Bestimmung von sechswertigem Chrom in Feststoffen durch alkalischen Aufschluss und Ionenchromatographie mit photometrischer Detektion (ISO 15192:2021); Deutsche Fassung EN ISO 15192:2021.

DIN EN ISO 15680:2004-04: Wasserbeschaffenheit - Gaschromatographische Bestimmung einer Anzahl monocyclischer aromatischer Kohlenwasserstoffe, Naphthalin und einiger chlorierter Substanzen mittels Purge und Trap-Anreicherung und thermischer Desorption (ISO 15680:2003); Deutsche Fassung EN ISO 15680:2003.

DIN EN ISO 17294-2:2017-01: Wasserbeschaffenheit - Anwendung der induktiv gekoppelten Plasma-Massenspektrometrie (ICP-MS) - Teil 2: Bestimmung von ausgewählten Elementen einschließlich Uran-Isotope (ISO 17294-2:2016); Deutsche Fassung EN ISO 17294-2:2016.

DIN EN ISO 17943:2016-10: Wasserbeschaffenheit - Bestimmung flüchtiger organischer Verbindungen in Wasser - Verfahren mittels Headspace-Festphasenmikroextraktion (HS-SPME) gefolgt von der Gaschromatographie und Massenspektrometrie (GC-MS) (ISO 17943:2016); Deutsche Fassung EN ISO 17943:2016.

DIN EN ISO 17993:2004-03: Wasserbeschaffenheit - Bestimmung von 15 polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) in Wasser durch HPLC mit Fluoreszenzdetektion nach Flüssig-Flüssig-Extraktion (ISO 17993:2002); Deutsche Fassung EN ISO 17993:2003.

DIN EN ISO 18772:2014-07: Bodenbeschaffenheit - Anleitung für Elutionsverfahren für die nachfolgende chemische und ökotoxikologische Prüfung von Böden und Bodenmaterialien (ISO 18772:2008); Deutsche Fassung EN ISO 18772:2014.

DIN EN ISO 22155:2016-07: Bodenbeschaffenheit- Gaschromatographische Bestimmung flüchtiger aromatischer Kohlenwasserstoffe, Halogenkohlenwasserstoffe und ausgewählter Ether- Statisches Dampf-raum-Verfahren (ISO 22155:2016), Deutsche Fassung EN ISO 22155:2016.

DIN EN ISO 22478:2006-07: Wasserbeschaffenheit - Bestimmung ausgewählter Explosivstoffe und verwandter Verbindungen - Verfahren mittels Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie (HPLC) mit UV-Detektion (ISO 22478:2006); Deutsche Fassung EN ISO 22478:2006.

DIN EN ISO 54321:2021-04: Boden, behandelter Bioabfall, Schlamm und Abfall - Aufschluss von mit Königswasser löslichen Anteilen von Elementen (ISO 54321:2020); Deutsche Fassung EN ISO 54321:2021.

DIN ISO 11916-1:2014-11: Bodenbeschaffenheit - Bestimmung von ausgewählten Explosivstoffen und verwandten Verbindungen - Teil 1: Verfahren mittels Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie (HPLC) und UV-Detektion (ISO 11916-1:2013).

DIN ISO 11916-2:2014-11: Bodenbeschaffenheit - Bestimmung von ausgewählten Explosivstoffen und verwandten Verbindungen - Teil 2: Verfahren mittels Gaschromatographie (GC) und Elektronen-Einfang-Detektion (ECD) oder massenspektrometrischer Detektion (MS) (ISO 11916-2:2013).

DIN ISO 13877:2000-01: Bodenbeschaffenheit - Bestimmung von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen - Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie-(HPLC-)Verfahren (ISO 13877:1998).

DIN ISO 18400-105:2020-11: Bodenbeschaffenheit - Probenahme - Teil 105: Verpackung, Transport, Lagerung, Konservierung (ISO 18400-105:2017).

DIN ISO 18512:2009-03: Bodenbeschaffenheit - Anleitung für die Lang- und Kurzzeitlagerung von Bodenproben (ISO 18512:2007).

DIN ISO 19730:2009-07: Bodenbeschaffenheit - Extraktion von Spurenelementen aus Böden mit Ammoniumnitratlösung (ISO 19730:2008).

DIN ISO 20279:2006-01: Bodenbeschaffenheit - Extraktion von Thallium und Bestimmung durch elektrothermische Atomabsorptionsspektrometrie (ISO 20279:2005).

DIN ISO 20280:2010-05: Bodenbeschaffenheit - Bestimmung von Arsen, Antimon und Selen in Königswasser-Bodenextrakten mittels elektrothermischer oder Hydrid-Atomabsorptionsspektrometrie (ISO 20280:2007).

DVGW (2011): Altlastenbezogene Bewertungs- und Analyseempfehlung für kurzkettige Alkylphenole (SCAP) und NSO-Heterocyclen (NSO-HET) – Modul 2 (Projekt-Nr. B 2.10).

DWA (2012): Gewinnung von Bodenlösung; Beprobungssysteme und Einflussgrößen, Mai 2012, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA), Hennef (Sieg), DWA-Regelwerk, M 905, 36 S.

FBU, Fachbeirat Bodenuntersuchung; LAGA, Bund-/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall [Hrsg.] (2021): Methodensammlung Feststoffuntersuchung, Version 2.0.

FBU, Fachbeirat Bodenuntersuchungen [Hrsg.] (2023): Feststellung gemäß § 25 (1) der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung zur Gleichwertigkeit und praktischen Eignung von Methoden durch den Fachbeirat Bodenuntersuchungen, Stand 2023-08-02.

HLUG (1998): Bestimmung von Polycyclischen Aromatischen Kohlenwasserstoffen in Feststoffen aus dem Altlastenbereich, Analysenverfahren - Fachgremium Altlastenanalytik -.

LABO, Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz [Hrsg.] (2012): Fachmodul Boden und Altlasten.

LAGA, Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Abfall [Hrsg.] (2019): LAGA PN 98, Richtlinie für das Vorgehen bei physikalischen und biologischen Untersuchungen im Zusammenhang mit der Verwertung/Beseitigung von Abfällen.

LfU, Bayerisches Landesamt für Umwelt [Hrsg.] (2009): Arbeitshilfe für die Untersuchung von Sprengplätzen, Praxisteil.

LfU, Bayerisches Landesamt für Umwelt [Hrsg.] (2022): Vorläufige Leitlinien zur Bewertung von PFAS-Verunreinigungen in Wasser und Boden.

LfU, Bayerisches Landesamt für Umwelt [Hrsg.] (2023): Merkblatt 3.8/1, Untersuchung und Bewertung von Altlasten und schädlichen Bodenveränderungen - Wirkungspfad Boden-Grundwasser.

LfU, Bayerisches Landesamt für Umwelt [Hrsg.] (2023): Merkblatt 3.8/4, Probenahme von Boden und Bodenluft bei Altlasten und schädlichen Bodenveränderungen - Wirkungspfade Boden-Mensch und Boden-Grundwasser.

LfU, Bayerisches Landesamt für Umwelt [Hrsg.] (2023): Merkblatt 3.8/8, Untersuchung und Bewertung von Altlasten und schädlichen Bodenveränderungen - Wirkungspfad Boden-Mensch (direkter Kontakt) und Expositionsszenario Boden-Bodenluft-Innenraumluft.

VDI 3865-2:1998-01: VDI 3865 Blatt 2: 1998-01, Messen organischer Bodenverunreinigungen - Techniken für die aktive Entnahme von Bodenluftproben.

VDI 3865-3:1998-06: VDI 3865 Blatt 3: 1998-06, Messen organischer Bodenverunreinigungen - Gaschromatographische Bestimmung von niedrigsiedenden organischen Verbindungen in Bodenluft nach Anreicherung an Aktivkohle oder XAD-4 und Desorption mit organischem Lösungsmittel.

VDI 3865-4:2000-12: VDI 3865 Blatt 4: 2000-12, Messen organischer Bodenverunreinigungen - Gaschromatographische Bestimmung von niedrigsiedenden organischen Verbindungen in Bodenluft durch Direktmessung.

VSU (2001): Verordnung über Sachverständige und Untersuchungsstellen für den Bodenschutz und die Altlastenbehandlung in Bayern (Sachverständigen- und Untersuchungsstellen-Verordnung – VSU) vom 03.12.2001 (GVBl. S. 938), die zuletzt durch Verordnung vom 16.10.2017 (GVBl. S. 508) geändert worden ist.

Werner, P.; Börke, P.; Hüßers, N. (2008): Leitfaden Natürliche Schadstoffminderung bei Teerölaltlasten, BMBF-Förderschwerpunkt KORA, Themenverbund 2 - Gaswerke, Kokereien, Teerverarbeitung, (Holz-) Imprägnierung, TU Dresden, Schriftenreihe des Institutes für Abfallwirtschaft und Altlasten, Band 58, 270 S.

## Anhang 1: Abkürzungsverzeichnis

### 1 Gerätespezifische Abkürzungen

GC	Gaschromatographie
ICP	Induktiv gekoppeltes Plasma
MS	Massenspektrometrie

### 2 Abkürzungen für organische Stoffgruppen und Summenparameter

BTEX	Leichtflüchtige aromatische Kohlenwasserstoffe: Benzol, Toluol, Ethylbenzol und Xylole
LHKW	Summe leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe. Summe der halogenierten C <sub>1</sub> - und C <sub>2</sub> -Kohlenwasserstoffe; einschließlich Trihalogenmethane
MKW	Mineralölbasierte Kohlenwasserstoffe
C <sub>5</sub> – C <sub>9</sub>	Summe der C <sub>5</sub> – C <sub>9</sub> -Kohlenwasserstoffe
C <sub>10</sub> – C <sub>40</sub>	Summe der Kohlenwasserstoffe, die zwischen n-Dekan (C <sub>10</sub> ) und n-Tetracontan (C <sub>40</sub> ) von der gaschromatografischen Säule eluieren
PAK	Summe der 16 EPA-PAK (polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe) ohne Naphthalin und Methylnaphthaline sowie ohne NSO-Heterozyklen
PCB	Summe der Ballschmitter-PCB (PCB 28, 52, 101, 138, 153, 180) inklusive Leitkongener PCB 118 Für den Wirkungspfad Boden-Mensch nur 6 Ballschmitter-PCB
dl-PCB	dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle
PCDD/F	Polychlorierte Dibenzodioxine und Dibenzofurane
PFAS	Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen, vgl. auch PFAS-Leitlinien (LfU 2022)
PSMBP	Summe der relevanten Pflanzenschutzmittel und Biozidprodukte (PSMBP, gesamt) sowie relevante Metabolite, Abbau- und Reaktionsprodukte
SHKW	Schwerflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe
STV	Sprengstofftypische Verbindungen
TOC	Total Organic Carbon – gesamter organischer Kohlenstoff

### 3 Sonstige Abkürzungen

EPA	Environmental Protection Agency (amerikanische Umweltbehörde)
-----	---



**Anhang 2: Checkliste zur Qualitätssicherung von Bodenproben (Laborproben)**

Checkliste zur Überprüfung der Einhaltung der Anforderungen bei der Probenvor- und Probenaufbereitung. Die parameterspezifischen Vorgaben in Kap. 2 sind zu berücksichtigen.

	ja	nein	Bemerkungen
<b>1. Probenanlieferung</b>			
• Ordnungsgemäße Probenanlieferung, Übergabeprotokoll	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
• Probennahmeprotokoll vorhanden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
• Datum und Uhrzeit der Probenanlieferung			
• Nummer der Laborprobe			
<b>2. Sind folgende Punkte dokumentiert</b>			
<b>2.1. Feststoffanalytik</b>			
• Zerkleinerung durchgeführt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
• Probenteilung			
– Rückstellprobe(n)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
– Teilprobe(n) für Elution	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
• Trocknung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
• Siebung (bis 2 mm)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
• Wägung Feinkorn / Grobkorn	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
• Mahlen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
• Analytik Grobkorn	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<b>2.2. Eluatanalytik</b>			
• Siebung und Brechen der Kornfraktion > 32 mm bzw. > 22,4 mm (2:1-Elution)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
• Schüttelverfahren	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
• Perkolationsverfahren	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
• Filtration	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
• Zentrifugation	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
• Blindprobe	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

---

## Impressum:

### Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)  
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160  
86179 Augsburg  
Telefon: 0821 9071-0  
E-Mail: [poststelle@lfu.bayern.de](mailto:poststelle@lfu.bayern.de)  
Internet: [www.lfu.bayern.de](http://www.lfu.bayern.de)

### Bearbeitung:

LfU, Referat 96

### Bildnachweis:

LfU, Caroline Stumpf

### Stand:

Oktober 2023

Diese Publikation wird kostenlos im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Bayerischen Staatsregierung herausgegeben. Jede entgeltliche Weitergabe ist untersagt. Sie darf weder von den Parteien noch von Wahlwerbern oder Wahlhelfern im Zeitraum von fünf Monaten vor einer Wahl zum Zweck der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Landtags-, Bundestags-, Kommunal- und Europawahlen. Missbräuchlich ist während dieser Zeit insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken und Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zweck der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Publikation nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Staatsregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Den Parteien ist es gestattet, die Publikation zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder zu verwenden.

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte sind vorbehalten. Die publizistische Verwertung der Veröffentlichung – auch von Teilen – wird jedoch ausdrücklich begrüßt. Bitte nehmen Sie Kontakt mit dem Herausgeber auf, der Sie – wenn möglich – mit digitalen Daten der Inhalte und bei der Beschaffung der Wiedergaberechte unterstützt.

Diese Publikation wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Für die Inhalte fremder Internetangebote sind wir nicht verantwortlich.



BAYERN | DIREKT ist Ihr direkter Draht zur Bayerischen Staatsregierung. Unter Tel. 0 89 12 22 20 oder per E-Mail unter [direkt@bayern.de](mailto:direkt@bayern.de) erhalten Sie Informationsmaterial und Broschüren, Auskunft zu aktuellen Themen und Internetquellen sowie Hinweise zu Behörden, zuständigen Stellen und Ansprechpartnern bei der Bayerischen Staatsregierung.