

TEXTE

85/2020

Handlungsanleitung zum Umgang mit der Ergebnisunsicherheit bei der Über- und Unterschreitung von Prüf- und Maßnahmenwerten für den Vollzug der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung

TEXTE 85/2020

Umweltforschungsplan des
Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz und nukleare Sicherheit

Forschungskennzahl 3715 74 299 0
FB000052/ANH

Handlungsanleitung zum Umgang mit der Ergebnisunsicherheit bei der Über- und Überschreitung von Prüf- und Maßnahmenwerten für den Vollzug der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung

von

Priv.-Doz. Dr. habil. Steffen Uhlig, Dipl.-Math Henning Baldauf, Dipl.-Math.
Kirstin Frost, Dr. Karina Hettwer, Dipl.-Psych. Kirsten Simon (Master of Business
Administration)
QuoData GmbH, Quality & Statistics!, Dresden

Dr. Frank Küchler
Beratung Probenahme, Rehfelde OT Werder

Prof. Dr. mult. Dr. h. c. Konstantin Terytze,
Umweltbundesamt, Fachbeirat für Bodenuntersuchungen, Dessau-Roßlau

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber:

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
buergerservice@uba.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt

Durchführung der Studie:

QuoData GmbH, Quality & Statistics!
01309 Dresden

Abschlussdatum:

Januar 2019

Redaktion:

Fachgebiet II 2.6 Maßnahmen des Bodenschutzes
Dr. David Kaiser

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, Juni 2020

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	5
Tabellenverzeichnis	7
Abkürzungsverzeichnis	8
Glossar	9
1 Veranlassung und Aufgabenstellung	12
2 Rechtliche Grundlagen	14
2.1 Prüf- und Maßnahmenwerte	14
2.1.1 Funktion von Prüf- und Maßnahmenwerten	14
2.1.2 Definitionen.....	14
2.1.3 Anwendungsbereich von Prüf- und Maßnahmenwerten	14
2.1.4 Anwendungsregeln	15
2.2 Folgen der Überschreitung bzw. Einhaltung der Prüf- und Maßnahmen-werte.....	15
2.2.1 Räumlicher Bezug – Verdachtsfläche.....	15
2.2.2 Prüfwerte	16
2.2.3 Maßnahmenwerte	17
2.3 Schritte der Ermittlung, Bewertung und Entscheidung.....	17
2.3.1 Verdacht einer schädlichen Bodenveränderung/Altlast.....	17
2.3.2 Orientierende Untersuchung (§§ 12, 10 Abs. 4, 15 Abs. 2)	18
2.3.3 Detailuntersuchung (§§ 13, 10 Abs. 4, 15 Abs. 2)	18
2.4 Zuverlässigkeit der Untersuchungsergebnisse – Bedeutung von Ergebnis- und Messunsicherheit.....	19
2.5 Anforderungen an die Probennahme, Analytik und Qualitätssicherung bei der Untersuchung	20
2.6 Anforderungen an den Umgang mit der Ergebnisunsicherheit.....	23
2.6.1 Vorgaben des Bodenschutzrechts.....	23
2.6.2 Allgemeine verwaltungsrechtliche Vorgaben	24
2.6.3 Fazit zur Ermittlung, Begrenzung und Dokumentation der Ergebnisunsicherheit	24
3 Fachliche Grundlagen	25
3.1 Stoffgehalte in Böden	25
3.2 Zweck von Bodenuntersuchungen: Orientierende Untersuchung und Detailuntersuchung	26
3.3 Proben und Messungen.....	26
3.3.1 Repräsentative Probennahme	26
3.3.2 Messung.....	27

3.3.3	Untersuchungsergebnis	27
3.3.4	Ergebnisunsicherheit.....	28
3.4	Ergebnisunsicherheitskomponenten bei Bodenuntersuchungen	28
3.4.1	Zufällige und systematische Messabweichungen	28
3.4.2	Angabe der Ergebnisunsicherheit gemäß Mantelverordnung.....	29
3.4.3	Von der Deutschen Akkreditierungsstelle GmbH (DAkkS) geforderte Ergebnisunsicherheitskomponenten.....	29
3.4.4	Ergebnisunsicherheitskomponenten in dieser Handlungsanleitung	30
3.4.4.1	Räumliche Heterogenität	31
3.4.4.2	Unsicherheit der Probennahme	31
3.4.4.3	Fundamentalvariabilität	31
3.4.4.4	Analytische Unsicherheit	32
3.4.5	Zusammenfassung.....	33
3.5	Verfahren zur statistisch abgesicherten Ermittlung der Ergebnisunsicherheit.....	34
3.5.1	Zusammenhang zwischen Ergebnisunsicherheit und Standardabweichung	34
3.5.2	Ermittlung der Ergebnisunsicherheit mit einem Berechnungsprogramm	34
3.5.3	Experimentelle Verfahren zur Ermittlung der Ergebnisunsicherheitskomponenten.....	37
3.5.3.1	Übersicht der Verfahren	37
3.5.3.2	Experimentelles Design	37
3.5.3.3	Ermittlung der zufälligen Abweichungen des Analysenverfahrens, der Fundamentalvariabilität und der räumlichen Heterogenität	38
3.5.3.4	Informationen über die Unsicherheit des Probennahmeverfahrens und die systematischen Abweichungen des Analysenverfahren	38
3.5.3.5	Ermittlung des Ergebnisunsicherheitsbereiches	39
4	Umgang mit der Ergebnisunsicherheit bei der Bewertung von Messwerten im Rahmen der Untersuchung (§ 12, § 13 BBodSchV)	43
4.1	Wann gelten Prüf- oder Maßnahmenwerte als überschritten?	43
4.2	Wann sollten Einzelwerte und wann sollten Mittelwerte für die Bewertung herangezogen werden?	43
4.3	Anwendungsbereich in Bezug auf das Bodenmaterial	44
4.4	Zugrundeliegende Modellvorstellung.....	44
4.5	Orientierende Untersuchung.....	45
4.5.1	Überschreitung von Prüfwerten und Maßnahmenwerten	45
4.5.1.1	Ergebnisunsicherheitsbereich	45
4.5.1.2	Indizienkraft	45
4.5.2	Ablauf bei orientierenden Untersuchungen	46

4.6	Detailuntersuchung	54
4.6.1	Überschreitung von Prüfwerten und Maßnahmenwerten	54
4.6.1.1	Ergebnisunsicherheitsbereich	54
4.6.1.2	Indizienkraft	54
4.6.2	Ablauf bei Detailuntersuchungen	54
5	Quellenverzeichnis.....	62
6	Anhang.....	63
6.1	Messungen im Zuge der Untersuchung (§ 10 BBodSchV-E (Mai 2017)) bei der Anwendung der Prüf- und Maßnahmenwerte – mögliche Ursachen für Ergebnisunsicherheit	63
6.2	Messungen im Zuge der Untersuchung (§ 10 BBodSchV-E (Mai 2017)) bei der Anwendung der Prüf- und Maßnahmenwerte – Beispiele.....	67
6.3	Untersuchungsschritte bei Bodenuntersuchungen: Begrifflichkeiten der gültigen BBodSchV (1999) und der Fassung vom 3. Mai 2017 (BBodSchV-E)	69

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Zusammenhang zwischen Untersuchungsschritten bei Bodenuntersuchungen und Ergebnisunsicherheitskomponenten, die einerseits von DAkkS-Leitfaden 71 SD 4 016 und andererseits in dieser Handlungsanleitung vorgeschlagen werden, sowie Bezug zur BBodSchV-E (Mai 2017).	33
Abbildung 2:	Flussdiagramm zur Ein- und Ausgabe des Berechnungsprogramms.....	36
Abbildung 3:	Versuchsplan zur Ermittlung der zufälligen Abweichungen des Analysenverfahrens, der Fundamentalvariabilität und der räumlichen Heterogenität.	37
Abbildung 4:	Statistische Verteilung hypothetischer Untersuchungsergebnisse unter der Annahme, dass der wahre Gehalt der Verdachtsfläche beim Prüfwert 100 liegt und die relative Standardabweichung 10% beträgt. Das tatsächliche Untersuchungsergebnis liegt bei 110, und der schraffierte Bereich entspricht der Indizienkraft, d.h. der Wahrscheinlichkeit, dass das Untersuchungsergebnis nicht überschritten wird. In diesem Beispiel liegt diese Wahrscheinlichkeit liegt bei 0,84.	46
Abbildung 5:	Ablaufdiagramm bei orientierenden Untersuchungen.	47
Abbildung 6:	Empfehlungen für weitere Untersuchungsmaßnahmen im Rahmen der orientierenden Untersuchung. Gezeigt ist der Fall, dass der Prüfwert bzw. Maßnahmenwert im Ergebnisunsicherheitsbereich liegt.	49
Abbildung 7:	Ergebnisunsicherheitsbereich des Untersuchungsergebnisses für den Fall, dass der Prüfwert bzw. der Maßnahmenwert unterschritten oder überschritten ist (orientierende Untersuchung). Die blauen Kurven markieren die untere und obere Grenze des Ergebnisunsicherheitsbereiches zum Niveau 90 % für ein Untersuchungsergebnis und die schwarze Kurve markiert den wahren Wert. PW – Prüfwert, MW – Maßnahmenwert.	51
Abbildung 8:	Ergebnisunsicherheitsbereich des Untersuchungsergebnisses für den Fall, dass der Prüfwert im E-Bereich liegt und keine eindeutige Bewertung möglich ist (orientierende Untersuchung). Die blauen Kurven markieren die untere und obere Grenze des Ergebnisunsicherheitsbereiches zum Niveau 90 % für ein Untersuchungsergebnis und die schwarze Kurve markiert den wahren Wert. PW – Prüfwert, ES - Erheblichkeitsschwelle.	52
Abbildung 9:	Ergebnisunsicherheitsbereich des Untersuchungsergebnisses für den Fall, dass der Maßnahmenwert im E-Bereich liegt und keine eindeutige Bewertung möglich ist (orientierende Untersuchung). Die blauen Kurven markieren die untere und obere Grenze des Ergebnisunsicherheitsbereiches zum Niveau 90 % für ein Untersuchungsergebnis und die schwarze Kurve markiert den wahren Wert. MW – Maßnahmenwert, ES - Erheblichkeitsschwelle.....	53

Abbildung 10:	Ablaufdiagramm bei Detailuntersuchungen.	55
Abbildung 11:	Empfehlungen für weitere Untersuchungsmaßnahmen im Rahmen der Detailuntersuchung. Gezeigt ist der Fall, dass der Prüfwert bzw. Maßnahmenwerte im E-Bereich liegt.....	57
Abbildung 12:	Ergebnisunsicherheitsbereich des Untersuchungsergebnisses für den Fall, dass der Prüfwert bzw. Maßnahmenwert unterschritten oder überschritten ist (Detailuntersuchung). Die blauen Kurven markieren die untere und obere Grenze des Ergebnisunsicherheitsbereiches zum Niveau 90 % für ein Untersuchungsergebnis und die schwarze Kurve markiert den wahren Wert. PW – Prüfwert, MW - Maßnahmenwert.	59
Abbildung 13:	Ergebnisunsicherheitsbereich des Untersuchungsergebnisses für den Fall, dass der Prüfwert im E-Bereich liegt und keine eindeutige Bewertung möglich ist (Detailuntersuchung). Die blauen Kurven markieren die untere und obere Grenze des Ergebnisunsicherheitsbereiches zum Niveau 90 % für ein Untersuchungsergebnis und die schwarze Kurve markiert den wahren Wert. PW – Prüfwert, ES - Erheblichkeitsschwelle.	60
Abbildung 14:	Ergebnisunsicherheitsbereich des Untersuchungsergebnisses für den Fall, dass der Maßnahmenwert im E-Bereich liegt und keine eindeutige Bewertung möglich ist (Detailuntersuchung). Die blauen Kurven markieren die untere und obere Grenze des Ergebnisunsicherheitsbereiches zum Niveau 90 % für ein Untersuchungsergebnis und die schwarze Kurve markiert den wahren Wert. MW – Maßnahmenwert, ES - Erheblichkeitsschwelle.....	61
Abbildung 15:	Zusammenhang zwischen Begrifflichkeiten der gültigen BBodSchV (1999) und der Fassung vom 3. Mai 2017 (BBodSchV-E) in Verbindung mit Untersuchungsschritten bei Bodenuntersuchungen und Ergebnisunsicherheitskomponenten gemäß DAkKS-Leitfaden 71 SD 4 016 und dieser Handlungsanleitung.	70

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Ergebnisunsicherheitskomponenten in dieser Handlungsanleitung.....	31
Tabelle 2:	Im Konzept der Top-Down-Methode und für den Webservice zugrunde gelegter Ansatz zur Ermittlung der vier Hauptbeiträge der Ergebnisunsicherheit.	35
Tabelle 3:	Quantile $t_{n-1;1-\alpha/2}$ der t-Verteilung.	39
Tabelle 4:	Analysenergebnisse.	40
Tabelle 5:	Zwischenergebnisse der Berechnungen.....	41
Tabelle 6:	Interpretation von Untersuchungsergebnissen mit zugehörigem Ergebnisunsicherheitsbereich, Indizienkraft und ggfs. einer Erheblichkeitsschwelle im Fall der orientierenden Untersuchung. PW – Prüfwert.....	67
Tabelle 7:	Interpretation von Untersuchungsergebnissen mit zugehörigem Ergebnisunsicherheitsbereich, Indizienkraft und ggfs. einer Erheblichkeitsschwelle im Fall der Detailuntersuchung. PW – Prüfwert.....	68

Abkürzungsverzeichnis

Anh.	Anhang
BBodSchV	Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung
BBodSchV (1999)	Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung vom 12. Juli 1999
BBodSchV-E (Mai 2017)	Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung, die am 3. Mai 2017 von der Bundesregierung beschlossen wurde
E-Bereich	Ergebnisunsicherheitsbereich
i.d.R.	in der Regel
MW	Maßnahmenwert
PW	Prüfwert

Glossar

Ergebnisunsicherheitsbereich

Dieser Wertebereich enthält mit einer hohen Sicherheit den wahren Schadstoffgehalt der untersuchten Böden oder des spezifizierten Punktes in der Fläche bzw. Bereichs des Bodenvolumens.

Der Bereich berücksichtigt die Unsicherheiten des Messvorgangs beginnend bei der Probennahme bis hin zur analytischen Messung. Die Ergebnisunsicherheit kann sowohl für Einzel- als auch für Mittelwerte angegeben werden.

Ergebnisunsicherheitskomponenten / -beiträge

Komponenten, die den Messwert beeinflussen und einen Beitrag zum Ergebnisunsicherheitsbereich leisten.

In dieser Handlungsanleitung werden bei Bodenuntersuchungen folgende Unsicherheitskomponenten berücksichtigt: (1) Räumliche Heterogenität, (2) Unsicherheit der Probennahme, (3) Fundamentalvariabilität, (4) analytische Unsicherheit.

Ergebnisunsicherheitskomponente „analytische Unsicherheit“

Diese Komponente beinhaltet Unsicherheiten, die sich aus der Probenvorbehandlung,- vorbereitung und- aufbereitung bis hin zur Detektion und Quantifizierung der Schadstoffe ergeben.

Ergebnisunsicherheitskomponente „Fundamentalvariabilität“

Die Fundamentalvariabilität berücksichtigt die Unsicherheit, die sich daraus ergibt, dass der Schadstoffgehalt der Bodenpartikel von Partikel zu Partikel mehr oder weniger stark variiert und somit auch der Schadstoffgehalt der entnommenen Probe selbst bei perfekter Durchmischung des Bodenmaterials zufälligen Schwankungen unterliegt.

Ergebnisunsicherheitskomponente „Räumliche Heterogenität“

Die Komponente „räumliche Heterogenität“ berücksichtigt, dass die Schadstoffbelastung innerhalb einer Fläche nicht überall gleich ist. Die räumliche Heterogenität kann außer Acht gelassen werden, wenn die Schadstoffbelastung nur lokal bestimmt werden soll.

Ergebnisunsicherheitskomponente „Unsicherheit der Probennahme“

Diese Komponente berücksichtigt Unsicherheiten, die sich aus der Probengewinnung, der Probenkonservierung, -transport und -lagerung ergeben.

Horwitzfunktion

Mittels der Horwitzfunktion kann, unabhängig vom Analyten und unabhängig von der untersuchten Matrix, die relative Vergleichsstandardabweichung angenähert werden. Es handelt sich nur um eine grobe Näherung, die dann verwendet werden kann, wenn keine Daten aus Ringversuchen verfügbar sind. Die aus der Horwitzfunktion abgeleitete relative Standardabweichung errechnet sich gemäß

$SD_{rel} = 2^{1-0,5\log_{10}(c)}$, wobei c den Gehalt des Analyten in kg/kg bezeichnet (Horwitz 1982).

Indizienkraft

Die Indizienkraft gibt für ein Untersuchungsergebnis an, wie plausibel eine Überschreitung des Prüf- bzw. Maßnahmenwertes ist. Je höher die Indizienkraft ausfällt, desto sicherer kann angenommen werden, dass eine Überschreitung vorliegt. Die Indizienkraft nimmt Werte zwischen 0 und 1 an, wobei ein Wert von 1 bedeutet, dass eine Überschreitung sicher vorliegt. Ab einem Wert von 0,95 liegt der Ergebnisunsicherheitsbereich vollständig oberhalb des Prüf- bzw. Maßnahmenwertes.

Ringversuch

Ein Ringversuch ist eine Vergleichsuntersuchung, in welcher verschiedene Labore die gleiche Untersuchung durchführen. Etwas genauer kann ein Ringversuch wie folgt definiert werden: „Eine Anzahl von Laboratorien führt unabhängig voneinander eine Serie von Messungen/Analysen für einen oder mehrere Merkmalswerte an Proben aus einem bestimmten Material aus.“ (Funk et al. 2005) Aus dem Vergleich der Ergebnisse der verschiedenen Labore lassen sich Rückschlüsse über die Präzision eines Verfahrens oder eines Labors ziehen. Ringversuche bilden damit ein wichtiges Element der Qualitätssicherung.

Systematische Abweichungen

Als systematische Messabweichungen werden Abweichungen bezeichnet, die auch bei wiederholter Messung unter Wiederholbedingungen unverändert in Größe und Vorzeichen auftreten oder sich bei kontrollierter Veränderung der Bedingungen auf entsprechende Weise ändern. Das Messergebnis wird unrichtig.

Untersuchungsergebnis

Der aus der Messung oder den Messungen gewonnene Schätzwert für den wahren Schadstoffgehalt. Das Untersuchungsergebnis kann ein Einzel- oder ein Mittelwert sein.

Vergleichbedingungen

Vergleichbedingungen liegen vor, wenn Teilmengen einer Probe unter wechselnden Bedingungen untersucht werden („Vergleichsbedingungen“), aber immer unter Anwendung desselben Verfahrens, d.h. Teile derselben Probe, dasselbe Messverfahren, verschiedene Labore, verschiedene Bearbeiter, verschiedene Messgeräte.

Vergleichstandardabweichung

Die Vergleichstandardabweichung charakterisiert die Variabilität der Messwerte zwischen verschiedenen Laboratorien (Vergleichsbedingungen, d.h. Teile derselben Probe, dasselbe Messverfahren, verschiedene Labore, verschiedene Bearbeiter, verschiedene Messgeräte). (DIN ISO 5725-1 (1997-11))

Wiederholbedingungen

Wiederholbedingungen liegen in der Regel dann vor, wenn Teile einer Probe mehrmals kurz hintereinander mit dem gleichen Zubehör untersucht werden, d.h. Teile derselben Probe, dasselbe Messverfahren, dasselbe Labor, derselbe Bearbeiter, dasselbe Messgerät.

Wiederholstandardabweichung

Die Wiederstandardabweichung beschreibt die Variabilität von Messergebnissen innerhalb eines Labors unter konstanten Messbedingungen innerhalb einer kurzen Zeitspanne (Wiederholbedingungen d.h. Teile derselben Probe, dasselbe Messverfahren, dasselbe Labor, derselbe Bearbeiter, dasselbe Messgerät). (DIN ISO 5725-1 (1997-11))

Zufällige Abweichungen

Zufällige Messabweichungen treten bei Wiederholmessungen unregelmäßig auf. Die Messergebnisse streuen in Größe und Richtung. Zufällige Messabweichungen sind nicht vermeidbar und werden hervorgerufen durch, z. B. nicht beeinflussbare unsystematische Änderungen der Versuchs- und Umgebungsbedingungen.

1 Veranlassung und Aufgabenstellung

Auf Grundlage der Ermächtigung des § 8 BBodSchG wurden zum Zweck einer Vereinheitlichung der Bewertung und zur Verwaltungsvereinfachung im Anhang 2 der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV (1999)) Vorsorge-, Prüf- und Maßnahmenwerte festgelegt, differenziert nach Schadstoffen, Wirkungspfaden (Boden-Mensch, Boden-Pflanze und Boden-Grundwasser), Bodenarten und Flächennutzung.

Die Bewertung der Einhaltung dieser Werte erfolgt auf Basis einer Beprobung der Fläche (z.B. Verdachtsflächen) und einer chemischen Analyse der Proben. Die Analysenergebnisse sind oft mit einer hohen Ergebnisunsicherheit behaftet, da Probennahme, Probenvorbehandlung, Probenvorbereitung und chemisch-analytische Bestimmung oft sehr aufwändig sind und mit unvermeidbaren systematischen und zufälligen (Mess-)Abweichungen einhergehen.

Bewertungen nach §4 BBodSchV sind grundsätzlich unter Beachtung der Gegebenheiten des Einzelfalls vorzunehmen. Dabei sind insbesondere Prüf- oder Maßnahmenwerte als Indizien von großer Bedeutung. Für den bodenschutzrechtlichen Vollzug kann es im Einzelfall entscheidend sein, ob Werte unterschritten sind (und damit diesbezüglich keine Gefahr anzunehmen ist) oder ob Werte überschritten sind und behördliche Anordnungen zur Durchführung von Maßnahmen darauf gestützt werden können. Sowohl der Gefahrenausschluss wie die behördliche Anordnung benötigen hinreichend sichere Entscheidungsgrundlagen.

Im Anhang 1 der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (1999) wird die Angabe der Ergebnisunsicherheit für Prüfergebnisse (nach DIN 1319-3: 1996-05: Grundlagen der Messtechnik – Teil 3: Auswertung von Messungen einer einzelnen Messgröße, Messunsicherheit und DIN 1319-4: 1985-12: Grundbegriffe der Messtechnik; Behandlung von Unsicherheiten bei der Auswertung von Messungen) gefordert.

Der Fachbeirat für Bodenuntersuchungen (FBU) empfiehlt daher bei der Bewertung von Bodenuntersuchungsergebnissen grundsätzlich die „nach dem aktuellen Stand der Analysentechnik“ im Allgemeinen zu erwartende Parameter-Messunsicherheit anzuwenden. Der Vergleich der Analysenergebnisse mit Prüf- und Maßnahmenwerten sowie Vorsorgewerten des Anhangs 2 der BBodSchV erfordert den Nachweis, dass die Messgröße innerhalb bestimmter Grenzen liegt. Ohne die Angabe einer Messunsicherheit kann nicht entschieden werden, ob die Differenzen zwischen Ergebnissen mehr als die experimentelle Variabilität widerspiegeln, oder wie die Ergebnisse im Hinblick auf gesetzlich geregelte Werte zu bewerten sind.

Beim Vollzug der BBodSchV existiert zurzeit kein einheitlicher Umgang mit der Messunsicherheit. In einem vom Umweltbundesamt geförderten Forschungsprojekt wurde deswegen - in Abstimmung mit dem FBU - eine Handlungsanleitung für die Vollzugsbehörden der BBodSchV erarbeitet, welche das Vorgehen bei der Bewertung von Messergebnissen darlegt. Die Anwendung dieser Handlungsanleitung unterstützt die naturwissenschaftlich abgesicherte Bewertung von Messergebnissen bei Bodenuntersuchungen.

Gegenwärtig wird die BBodSchV novelliert (Stand Mai 2017, BMUB (2017)). Gegenstand der Novellierung sind insbesondere die Vorgaben für Probenahme, Analytik und Qualitätssicherung bei der Untersuchung (siehe Anhang 1 BBodSchV). Als Basis dieser Handlungsanleitung wird daher der Entwurf der Bundesregierung für die Neufassung der BBodSchV verwendet; auf die entsprechenden und ggf. ab-

weichenden Regelungen der bisher geltenden BBodSchV sowie auf Unterschiede zum Entwurf wird in Fußnoten hingewiesen¹.

In den Diskussionen mit dem FBU hatte sich gezeigt, dass der Begriff der Messunsicherheit nur schwer abgrenzbar ist und sich häufig nur auf den Arbeitsschritt der chemischen Analyse bezieht. Um deutlich zu machen, dass nicht nur dieser Schritt, sondern auch die Probenahme und Probenvorbereitung berücksichtigt werden soll, wird in dieser Handlungsanleitung der Begriff der Ergebnisunsicherheit verwendet.

Die Ergebnisunsicherheit beinhaltet alle Unsicherheitskomponenten, die das Ergebnis einer Probe oder das arithmetische Mittel mehrerer Proben beeinflussen können, gleich, ob die Unsicherheit aus der Wahl der Probenahmestelle(n), der Probenahme, der Probenvorbereitung oder der chemischen Analyse resultiert. Der Begriff der Ergebnisunsicherheit umfasst daher die Messunsicherheit im engeren Sinne. Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird der Begriff des Ergebnisunsicherheitsbereichs abgekürzt durch E-Bereich.

Diese Handlungsanleitung behandelt den Umgang mit der Ergebnisunsicherheit bei der Bewertung von Bodenanalysen für die Wirkungspfade Boden-Mensch und Boden-Pflanze, jedoch nicht den Wirkungspfad Boden-Grundwasser oder die Bewertung der Analysen von Sicker- oder Grundwasser und Bodenluft. Er richtet sich an Behörden, die im Vollzug des Bodenschutzes arbeiten, sowie an Laboratorien, Sachverständige und Ingenieurbüros, die in diesem Zusammenhang Leistungen erbringen.

Dazu werden zunächst die rechtlichen (s. Abschnitt 2) und fachlichen Grundlagen (s. Abschnitt 3) ausführlich dargestellt und das hier verwendete Verfahren zur statistisch abgesicherten Ermittlung der Ergebnisunsicherheit beschrieben (s. Abschnitt 3.4). Anschließend werden Randbedingungen des Berechnungsverfahrens sowie eine Anleitung zum Umgang mit der Ergebnisunsicherheit bei der Bewertung von Messwerten bei Untersuchungen nach der BBodSchV. (s. Abschnitt 4).

Das vorgestellte Berechnungsverfahren ist in Form eines Webservice der Firma QuoData GmbH verfügbar². Dieser Webservice ist auf der Webseite des Fachbeirates für Bodenuntersuchungen (FBU) verlinkt³. Regelmäßige Schulungen zur Nutzung des Berechnungsprogramms werden angeboten.

Berlin, Januar 2019

¹ Verweise auf §§ ohne Quellenangabe beziehen sich auf den Entwurf der BBodSchV in der Fassung der BR-Drs. 566/17. Soweit es notwendig ist, wird auf den Entwurf durch E-BBodSchV verwiesen. Verweise auf die geltende Fassung werden durch BBodSchV gekennzeichnet.

² <http://www.quodata.de/> bzw. <https://messunsicherheit-bbodschv.quodata.de>

³ <https://www.umweltbundesamt.de/themen/boden-landwirtschaft/kommissionen-beiraete/fachbeirat-bodenuntersuchungen-fbu>

2 Rechtliche Grundlagen⁴

Die rechtlichen Rahmenbedingungen für die Anwendung von Prüf- und Maßnahmenwerten und für die Berücksichtigung der Ergebnisunsicherheit bzw. Messunsicherheit ergeben sich aus dem Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG)⁵, aus der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV)⁶ sowie aus allgemeinen verfassungs- und verwaltungsrechtlichen Regeln.⁷ Was die Vorgaben der BBodSchV betrifft, werden die rechtlichen Grundlagen im Folgenden anhand des Entwurfs der Bundesregierung für die Novelle der BBodSchV dargelegt (E-BBodSchV).⁸ Paragrafen (§§) ohne Quellenangabe beziehen sich auf die E-BBodSchV; auf die Vorläuferregelungen in der geltenden BBodSchV wird in den Fußnoten verwiesen.

2.1 Prüf- und Maßnahmenwerte

2.1.1 Funktion von Prüf- und Maßnahmenwerten

Die in dem E-BBodSchV festgelegten Prüf- und Maßnahmenwerte sind Kriterien

- ▶ für die **Gefährdungsabschätzung** (orientierende Untersuchung und Detailuntersuchung) bezüglich der Bewertung von Flächen bzw. Standorten bei dem Verdacht einer schädlichen Bodenveränderung oder Altlast (§ 9 BBodSchG, §§ 10 bis 15⁹);
- ▶ für die **Pflichten zur Gefahrenabwehr** (z. B. **Sanierungserfordernisse**) und die Entscheidung über durchzuführende Maßnahmen (§§ 4, 10, 13, 16 BBodSchG, §§ 16, 17¹⁰).

2.1.2 Definitionen

- ▶ **Prüfwerte:** Werte, bei deren Überschreiten eine einzelfallbezogene Prüfung durchzuführen ist zur Feststellung, ob eine schädliche Bodenveränderung oder Altlast vorliegt (§ 8 Abs. 1 Satz 2 Nr. 1 BBodSchG).
- ▶ **Maßnahmenwerte:** Werte, bei deren Überschreitung unter Berücksichtigung der jeweiligen Bodennutzung in der Regel eine schädliche Bodenveränderung oder Altlast anzunehmen ist, die Maßnahmen erfordert (§ 8 Abs. 1 Satz 2 Nr. 2 BBodSchG).

2.1.3 Anwendungsbereich von Prüf- und Maßnahmenwerten

Prüf- und Maßnahmenwerte gelten jeweils für einen bestimmten Wirkungspfad (Boden-Mensch, Boden-Nutzpflanze, Boden-Grundwasser), Stoff und Nutzungsart (vgl. Anh. 2¹¹).

Bei Stoffen, für die auf dem jeweiligen Wirkungspfad nach dem E-BBodSchV keine Prüf- oder Maßnahmenwerte gelten, sind für die Bewertung die Methoden und Maßstäbe zu beachten, die zur Ablei-

⁴ Verfasser dieses Teils 2 (Rechtliche Grundlagen) sind: Rechtsanwälte Dr. Achim Willand und Moriz Felder, **Anwaltskanzlei [GGSC]**, 10243 Berlin.

⁵ Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten vom 17.03.1998 (BGBl. I, S. 502, zuletzt geändert am 27.09.2017 (BGBl. I, S. 3465).

⁶ Vom 12.07.1999 (BGBl. I, S. 1554), zuletzt geändert am 27.09.2017 (BGBl. I, S. 3465).

⁷ Die Anforderungen und Empfehlungen aus technischen Regelwerken – z.B. DIN und/oder ISO-Regeln, auf die in BBodSchV bzw. E-BBodSchV verwiesen wird – werden in diesem Teil nicht aufbereitet und dargestellt.

⁸ Siehe oben, 1. mit Fn. 1.

⁹ §§ 3, 4 BBodSchV.

¹⁰ §§ 5, 6 BBodSchV.

¹¹ Anh. 2 BBodSchV.

tung der Prüf- und Maßnahmenwerte in Anh. 2 BBodSchV herangezogen wurden (Ableitungsgrundlagen, veröffentlicht im Bundesanzeiger Nr. 161a, 28.08.1999, vgl. § 15 Abs. 4¹²).

2.1.4 Anwendungsregeln

Bei der Anwendung der Prüf- und Maßnahmenwerte sind bestimmte Regeln zu beachten, z. B.:

- ▶ maßgebliche Bodentiefe bei den Wirkungspfaden Boden-Mensch und Boden-Nutzpflanze (§ 15 Abs. 1 Satz 1 i.V.m. Anhang 3 Tabelle 3 und Anlage 2 Tabellen 4 bis 8¹³).
- ▶ Ort der Beurteilung beim Wirkungspfad Boden-Grundwasser (Übergang zur gesättigten Bodenzone, vgl. § 2 Nr. 16 i.V.m. Anh. 2 Tabellen 1 – 3 mit unterschiedlichen Prüfwerten für den Ort der Beprobung und den Ort der Beurteilung).¹⁴

2.2 Folgen der Überschreitung bzw. Einhaltung der Prüf- und Maßnahmenwerte

2.2.1 Räumlicher Bezug – Verdachtsfläche

Die Werte gelten für die Untersuchung und Bewertung von Verdachtsflächen, altlastverdächtigen Flächen, schädlichen Bodenveränderungen und Altlasten (§ 2 Abs. 3 bis Abs. 6, § 8 Abs. 1 und § 9 BBodSchG).

Erforderlich ist also eine auf die jeweils untersuchte (Teil-)Fläche bzw. das jeweils betrachtete Schutzgut auf dem jeweiligen Wirkungspfad bezogene Bewertung, ob Prüfwerte bzw. Maßnahmenwerte überschritten sind. Diese Bewertung stützt sich auf entsprechende Beprobungen und Analyseergebnisse (vgl. Anlage 3 E-BBodSchV¹⁵). Die Analyseergebnisse sind daraufhin zu beurteilen, ob und für welchen Ort (Teilfläche), für welchen Wirkungspfad bzw. Schutzgut und für welche Stoffe sie hinsichtlich der Prüf- und Maßnahmenwerte aussagekräftig sind. Dies hängt u. a. maßgeblich von der Heterogenität der untersuchten Verdachtsfläche, dem jeweiligen Wirkungspfad und von der Qualität des Probennahmeplans und seiner Umsetzung ab (dazu im Einzelnen unten, 2.3.).

Die folgenden Ausführungen zur Über- und Unterschreitung von Prüf- und Maßnahmenwerten beziehen sich daher nicht allein auf das Analyseergebnis einer Probe, sondern auf die jeweils untersuchte (Teil-) Fläche auf dem jeweiligen Wirkungspfad und bezogen auf das jeweils betrachtete Schutzgut.

¹² § 4 Abs. 5 BBodSchV.

¹³ Anh. 2 Ziff. 2.5 i.V.m. Anh. 1 Ziff. 2.1 Tabelle 1 BBodSchV.

¹⁴ Die geltende BBodSchV legt dagegen Prüfwerte lediglich für den Ort der Beurteilung fest (vgl. § 4 Abs. 3 Satz 2 i.V.m. Anh. 2 Ziff. 3.1 und 3.2 BBodSchV).

¹⁵ Anh. 1 BBodSchV.

Fallbeispiel 1:

Die Verdachtsfläche ist ein ehemaliges Mineralöllager mit unterirdischen und überirdischen Tanks, einer Abfüllstation und einem ehemaligen Fasslager. Untersuchungsziel ist die Feststellung, ob auf der Verdachtsfläche eine Altlast oder schädliche Bodenveränderung vorliegt (s. o., 2.1.1.). Hierfür ist insbesondere zu untersuchen, ob auf der Verdachtsfläche Prüfwerte eingehalten oder überschritten werden. Im Rahmen der orientierenden Untersuchung werden Teilflächen zu bilden sein, die jeweils gesondert untersucht und bewertet werden (z.B. Teilflächen im Bereich der Abfüllstation, unterhalb der Tanks, in deren Umfeld und im Bereich des Fasslagers). Relevante untersuchungsbedürftige Wirkungspfade sind Boden-Grundwasser und Boden-Mensch (je nach der Nutzung des Grundstücks).

Fallbeispiel 2:

Die Verdachtsfläche ist eine ehemalige chemische Reinigung. Im Boden und Grundwasser werden erhebliche Belastungen mit LHKW und BTEX vermutet. Ein Teil des mutmaßlichen Kontaminationsbereichs ist mit einem Wohngebäude überbaut. Für das Untersuchungsziel (s. o., 2.1.1) wird es hier sinnvoll sein, im Kontaminationsbereich Teilflächen nach den verschiedenen Schadstoffen sowie ggf. höher oder geringer belastete Teilflächen gesondert zu untersuchen. Ferner wird nach Wirkungspfaden zu differenzieren sein (Teilflächen mit mobilisierbaren Schadstoffen, die das Grundwasser gefährden können, sowie Teilflächen, von denen ggf. Risiken für die Wohnnutzung ausgehen können (entsprechend dem Rahmen dieser Handlungsanleitung wird auf Bodenuntersuchungen, nicht aber auf etwaige Grundwasserverunreinigungen eingegangen).

2.2.2 Prüfwerte

Ist ein Prüfwert für einen Schadstoff nicht überschritten, besteht insoweit kein Verdacht einer schädlichen Bodenveränderung oder Altlast bzgl. des jeweiligen Schutzgutes (§ 15 Abs. 2¹⁶).

Ist der maßgebliche Prüfwert dagegen überschritten, so

- ▶ ist die zuständige Behörde im Regelfall zu weiterer (Detail-) Untersuchung (§ 9 Abs. 1 Satz 2 BBodSchG) verpflichtet;
- ▶ kann die Behörde gegenüber dem Pflichtigen (z. B. Verursacher oder Grundstückseigentümer) anordnen, dass dieser die notwendigen Untersuchungen zur Gefährdungsabschätzung durchführt, insbesondere eine Detailuntersuchung (§ 9 Abs. 2 Satz 1 BBodSchG i. V. m. (§ 10 Abs. 4¹⁷);

¹⁶ § 4 Abs. 2 Satz 1 BBodSchV.

¹⁷ § 3 Abs. 4 BBodSchV.

- ▶ kann sich daraus bereits im Einzelfall die Notwendigkeit von Sanierungs- oder Sicherungsmaßnahmen ergeben, wenn alle ungünstigen Umstände zusammentreffen (§ 15 Abs. 3 Satz 2¹⁸).

Die Überschreitung eines Prüfwertes löst also nach der gesetzlichen Regelung nicht direkt bestimmte Rechtsfolgen im Sinne eines „Automatismus“ aus. Die Prüfwerte bilden ein Kriterium für die Beurteilung, ob eine Gefahr vorliegt und ob bzw. welche weiteren Untersuchungen erforderlich sind. Neben den Prüfwerten werden für die Gefährdungsabschätzung – je nach den Umständen – weitere Gesichtspunkte herangezogen. Das Absehen von weiteren Untersuchungen im Falle einer Prüfwertüberschreitung kommt jedoch nur im Ausnahmefall in Betracht. Die Auswahl der weiteren Untersuchungsmaßnahmen (Art, Umfang und Zeitpunkt) steht im Ermessen der Behörde.

Fallbeispiele 1a/2a:

Wenn in Fallbeispielen 1/2 (s.o.) in einer Bodenprobe eine Prüfwertüberschreitung festgestellt wird, führt dies allein noch nicht zur Einstufung der entsprechenden Teilfläche als Altlast oder schädliche Bodenveränderung. Vielmehr sind die Ausdehnung der Kontamination und ggf. von ihr ausgehende Gefahren (z. B. mit Blick auf die Nutzung der Fläche) ebenfalls zu untersuchen, um zu einer einzelfallbezogenen Bewertung zu kommen. Die Überschreitung des Prüfwerts an einer Stelle rechtfertigt jedoch regelmäßig weitere Untersuchungen und ggf. auch eine entsprechende Anordnung der Behörde nach § 9 Abs. 2 BBodSchG.

2.2.3 Maßnahmenwerte

Ist ein Maßnahmenwert überschritten, so folgt daraus nach § 8 Abs. 1 Nr. 2 BBodSchG dass in der Regel von einer schädlichen Bodenveränderung oder Altlast auszugehen ist, die Maßnahmen erfordert (Gefahrenabwehrmaßnahmen z. B. Sanierung, vgl. § 15 Abs. 1 Satz 1¹⁹).

Nur im Ausnahmefall kann davon abgesehen werden, Gefahrenabwehrmaßnahmen zu ergreifen. Art und Umfang der Maßnahmen sowie Sanierungsziele stehen jedoch im Ermessen der Behörde (§ 10 BBodSchG). § 4 Abs. 3 BBodSchG verlangt allerdings regelmäßig Sanierungsmaßnahmen (Dekontamination oder Sicherung i.S.d. § 2 Abs. 7 Nr. 1 und Nr. 2 BBodSchG).

2.3 Schritte der Ermittlung, Bewertung und Entscheidung

2.3.1 Verdacht einer schädlichen Bodenveränderung/Altlast

Anlass für die Untersuchung einer (Teil-)Fläche ist der Verdacht i.S.d. § 9 Abs. 1 BBodSchG, wenn also Anhaltspunkte für eine schädliche Bodenveränderung oder Altlast vorliegen (§ 10 Abs. 1 und 2²⁰).

¹⁸ § 4 Abs. 2 Satz 3 BBodSchV.

¹⁹ § 4 Abs. 4 BBodSchV.

²⁰ Entspricht mit leichten Änderungen § 3 Abs. 1 und 2 BBodSchV.

Fallbeispiel 2b:

Im Fallbeispiel 2 könnten sich solche Anhaltspunkte aus der früheren, längeren Nutzung als chemische Reinigung und ggf. aus Berichten von Augenzeugen über den Umgang mit Betriebsstoffen ergeben.

2.3.2 Orientierende Untersuchung (§§ 12, 10 Abs. 4, 15 Abs. 2²¹)

- ▶ Untersuchungsziel: feststellen, ob konkrete Anhaltspunkte für das Vorliegen einer Altlast/schädlichen Bodenveränderung vorliegen („hinreichender Verdacht“)
- ▶ Bewertung der Untersuchungsergebnisse nach der BBodSchV, insbesondere auch anhand von Prüfwerten (s. o.).
- ▶ Bewertung je nach Wirkungspfad/Schutzgut, konkreter Nutzung und Stoff.

2.3.3 Detailuntersuchung (§§ 13, 10 Abs. 4, 15 Abs. 2²²)

Eine Detailuntersuchung ist durchzuführen bei „hinreichendem Verdacht“ einer schädlichen Bodenveränderung oder Altlast (§ 9 Abs. 2 BBodSchG):

- ▶ Untersuchungsziel: abschließende Gefährdungsabschätzung
- ▶ Feststellung von Menge und räumlicher Verteilung von Schadstoffen, ihrer mobilen bzw. mobilisierbaren Anteile, ihrer Ausbreitungsmöglichkeiten in verschiedenen Umweltmedien und die Möglichkeit ihrer Aufnahme durch Menschen, Tiere und Pflanzen.
- ▶ Zur Bewertung der Gefahren für das Grundwasser: Sickerwasserprognose (§ 14).
- ▶ Bewertung der Untersuchungsergebnisse, insbesondere auch anhand von Prüfwerten und Maßnahmenwerten.
- ▶ Gesonderte Bewertung für Teilflächen mit besonders empfindlicher Nutzung.
- ▶ Bewertung je nach Wirkungspfad/Schutzgut, konkreter Nutzung und Stoff.
- ▶ Bei Altlasten ggf. Sanierungsuntersuchung und Sanierungsplanung i. S. d. § 13 BBodSchG;
- ▶ Auswahl und Ergreifen von Maßnahmen der Gefahrenabwehr (behördliches Ermessen, §§ 10, 16 BBodSchG).

²¹ §§ 2 Nr. 3, 3 Abs. 4 BBodSchV.

²² §§ 2 Nr. 4, 3 Abs. 4 BBodSchV.

2.4 Zuverlässigkeit der Untersuchungsergebnisse – Bedeutung von Ergebnis- und Messunsicherheit

Wie mit einer Verdachtsfläche umzugehen ist, hängt maßgeblich davon ab, ob Prüf- oder Maßnahmenwerte überschritten sind (s. o. 2.1 bis 2.3).

Die Behörde kann aus dem Untersuchungsergebnis jedoch nur dann Schlussfolgerungen für das weitere Vorgehen (z.B. hinsichtlich des Vorliegens einer schädlichen Bodenveränderung oder Altlast) ziehen, wenn das Untersuchungsergebnis hinreichend zuverlässig ist.

Der hier verwendete Begriff der Ergebnisunsicherheit fasst alle Unsicherheiten zusammen, die im Verlauf der Untersuchung der jeweiligen Teilflächen (s.o., 2.2.1) entstehen und auf ihr Ergebnis einwirken können (s. o. 1).

Das geltende Recht verwendet den Begriff „Messunsicherheit“ (Anh. 1 Ziff. 4.2 BBodSchV) und erfasst damit nur die Unsicherheiten bei der Analyse des beprobten Materials.

Der E-BBodSchV verwendet punktuell den Begriff „Ergebnisunsicherheit“, und zwar im Zusammenhang mit den Aufgaben des Fachbeirates Bodenuntersuchungen (FBU): Dieser kann Empfehlungen betreffend die zulässige Ergebnisunsicherheit von Verfahren und Methoden geben (§ 25 Abs. 1 Nr. 3). Wie aus dem Verweis auf die Nr. 1 und 2 (vgl. auch § 24 Abs. 11) ersichtlich ist, sind Unsicherheiten gemeint, die in den verschiedenen Stadien der Untersuchung auftreten können (Probennahme, -vorbehandlung, -vorbereitung und -aufarbeitung sowie Analyse). Damit verwendet der E-BBodSchV den Begriff „Ergebnisunsicherheit“ in dem hier in der Handlungsanleitung zu Grunde gelegten, umfassenden Sinne.

Im Unterschied zum Entwurf der Ersatzbaustoffverordnung²³ verzichtet der E-BBodSchV darauf, im Zusammenhang mit der Bewertung die Berücksichtigung von Ergebnisunsicherheiten festzuschreiben. Dagegen plant die Bundesregierung in der Ersatzbaustoffverordnung, die zulässige Ergebnisunsicherheit pauschal festzulegen²⁴. Die in Anlage 6 ErsatzbaustoffV festgelegten Unsicherheitsbereiche berücksichtigen neben der eigentlichen Analytik auch die Heterogenität und die Probennahme als Quelle für Unsicherheiten²⁵, wie der hier verwendete Begriff „Ergebnisunsicherheit“.

Hintergrund für den Verzicht auf eine solche Festlegung im Rahmen des E-BBodSchV ist nach Angaben der Bundesregierung, dass die Unsicherheiten bei der Probenahme und der analytischen Bestimmung der Schadstoffgehalte und -konzentrationen bei der Gefährdungsabschätzung von altlastenverdächtigen Flächen weitaus höher seien, als bei der Bewertung von Ersatzbaustoffen; die zu untersuchenden altlastenverdächtigen Standorte und die mögliche Verteilung von Schadstoffen seien in vielen Fällen höchst unterschiedlich, so dass ein pauschal vorgegebener Unsicherheitsbereich hier weitaus weiter aufzuspannen wäre. Insofern sei die Berücksichtigung der Unsicherheiten zweckmäßiger Weise bei der Beurteilung des Einzelfalls vorzunehmen.²⁶

Die geltende BBodSchV wie die E-BBodSchV enthalten zahlreiche Regelungen, die darüber hinaus die Ergebnisunsicherheit bei der Untersuchung begrenzen (dazu nachfolgend).

²³ Verordnung über die Anforderungen an den Einbau von mineralischen Ersatzbaustoffen in technische Bauwerke (ErsatzbaustoffV) BR-Drs. 566/17.

²⁴ BR-Drs. 566/17, Seite 312, Begründung zu § 15.

²⁵ BR-Drs. 566/16, Seite 272, Begründung zu § 10 E-ErsatzbaustoffV.

²⁶ Vgl. Begründung der Bundesregierung zu § 15 E-BBodSchV, BR-Drs. 566/17.

2.5 Anforderungen an die Probennahme, Analytik und Qualitätssicherung bei der Untersuchung

Die geltende BBodSchV wie der E-BBodSchV stellen zahlreiche Anforderungen an die einzelnen Untersuchungsschritte. Diese Regeln dienen dazu, die Ergebnisunsicherheit zu begrenzen. Die Ermittlung, Begrenzung und Dokumentation der Ergebnisunsicherheit ist vor allem in den „Phasen“ Probennahme und Analytik relevant.

Bedeutung kommt auch technischen Regeln zu, die – soweit E-BBodSchV auf sie verweist – Bestandteil des Normprogramms des E-BBodSchV werden²⁷. Ihr bindender Charakter wird beispielsweise durch folgende Formulierungen deutlich:

- ▶ „hat mit den in Anlage 3 Tabelle [...] angegebenen Verfahren zu erfolgen“ (§ 23 Abs. 4, -10) ,
- ▶ „[...] ist zu beachten“ (§ 19 Abs. 7, § 23 Abs. 1) und
- ▶ „richtet sich nach [...]“ (§ 19 Abs. 9, § 23 Abs. 2),
- ▶ „[...] sind zu berücksichtigen.“ (§ 19 Abs. 3)

So ist die DIN ISO 10381-1 bezüglich ihrer Empfehlungen zu Konservierung, Transport und Lagerung „zu beachten“ (§ 23 Abs. 1). Die Hinweise zur Probennahmeplanung und Entnahme des Probenmaterials in dieser DIN sind hingegen lediglich „zu berücksichtigen“ (§ 19 Abs. 3). Von den dort enthaltenen Empfehlungen kann daher in begründeten Fällen abgewichen werden.

Die §§ 18 bis 24²⁸ bündeln Anforderungen zur Vorerkundung von Böden in situ und von Materialien in Haufwerken (§ 18), zur Probennahme allgemein (§ 19), zur Probennahme insbesondere aus Böden in situ und aus Haufwerken (§§ 20, 21), zur Wirkungspfadbezogenen Probennahme bei Untersuchungen (§ 22), zu Konservierung, Transport, Aufbewahrung, Probenvorbehandlung, -vorbereitung und -aufarbeitung (§ 23) und zur Analyse (§ 24). Nachfolgend eine Auswahl der Anforderungen zu bestimmten Schritten der Untersuchung:

Untersuchungsumfang und erforderlicher Kenntnisstand

- ▶ Berücksichtigung aller bereits verfügbaren Informationen (§ 11 Abs. 1²⁹), ggf. Ermittlung durch Vorerkundung (§ 18³⁰).
- ▶ Unterscheidung nach Wirkungspfaden und Expositionsbedingungen (§ 11 Abs. 2 und 3³¹).
- ▶ Abgrenzung von Schadensbereichen mit unterschiedlichen Schadstoffgehalten u. a. (§ 13 Abs. 2³²).
- ▶ Ggf. ist eine Sickerwasserprognose³³ und ergänzend eine Einmischungsprognose³⁴ zu erstellen (§ 12 Abs. 3, § 13 Abs. 4 i.V.m. § 14).

²⁷ Vgl. zum geltenden Recht u.a. Bachmann, in: Holzwarth u.a., Bundes-Bodenschutzgesetz/Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung, Handkommentar, 2. Auflage 2000, § 3 BBodSchV, Rn. 42.

²⁸ Der E-BBodSchV erhebt den Anspruch, die zur Zeit noch in Anh. 1 Ziff. 2 bis 4 BBodSchG geregelten Vorgaben mit den §§ 18-24 E-BBodSchV redaktionell zu verbessern und den technischen Teil zu aktualisieren (BR-Drs. 566/17, Seite 215).

²⁹ Anh. 1 Ziff. 1 BBodSchV.

³⁰ Die Vorerkundung wird mit dem E-BBodSchV neu eingeführt. Bodenkartierung und Bodenansprache gehören jedoch bereits zum Untersuchungsprogramm der orientierenden Untersuchung, vgl. Anh. 1 Ziff. 1.1 BBodSchV.

³¹ Anh. 1 Ziff. 1 BBodSchV.

³² Anh. 1 Ziff. 1.2 BBodSchV.

³³ § 3 Abs. 4 Satz 1, § 4 Abs. 3 und § 2 Nr. 4 i.V.m. Nr. 5 BBodSchV.

³⁴ Eine Einmischungsprognose ist in der geltenden BBodSchV nicht vorgesehen.

Probennahmenplanung

- ▶ Die zu untersuchenden Böden und Materialien müssen hinreichend repräsentativ erfasst werden (§ 19 Abs. 2³⁵).
- ▶ Berücksichtigung (§ 19 Abs. 3)
 - des Ziels der Untersuchung,
 - der örtlichen Umstände,
 - die Eigenarten des zu untersuchenden Materials,
 - die zu untersuchenden Parameter und
 - der erforderlichen Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Ergebnisse.
 - der Hinweise der DIN ISO 10381-1 Bodenbeschaffenheit – Probennahme; diese technische Regel enthält ergänzende Anforderungen, z.B. „Checklisten“ mit deren Hilfe die Untersuchung hinsichtlich ihrer Ziele, der zu beachtenden Vorinformationen, der zu bestimmenden Probennahmenstellen etc. geplant werden kann.
- ▶ Bei inhomogenen oder heterogenen Böden: geeignete Untergliederung in Teilbereiche (§ 19 Abs. 4³⁶).
- ▶ Zahl und räumliche Anordnung der Entnahmestellen sind so zu planen, dass eine räumliche Abgrenzung von Schadstoffanreicherungen erfolgen kann (§ 19 Abs. 5 Satz 2³⁷).
- ▶ Horizontweise Beprobung von Böden entsprechend bestimmter technischer Regeln (§ 20); Beprobung von Haufwerken entsprechend LAGA PN 98 (§ 21).

Probennahme

- ▶ Vermutete Schadstoffanreicherungen sind gezielt zu beproben (§ 19 Abs. 5 Satz 1³⁸).
- ▶ Mischproben sollen aus 20 Einzelstichproben je Teilbereich bestehen (§ 19 Abs. 6³⁹).
- ▶ Bei vorbereitenden Schritten sind die Hinweise der DIN 19747:2009-07 zu beachten (§ 19 Abs. 7⁴⁰).
- ▶ Materialien mit einer Korngröße von über 2 mm sowie Fremdbestandteile die möglicherweise Schadstoffe enthalten sind gesondert zu untersuchen (§ 19 Abs. 8⁴¹).
- ▶ Beachtung technischer Regeln bei der Probennahme aus Böden und aus Haufwerken (§§ 20 Abs. 2, 21).

Konservierung, Transport und Lagerung sowie Vorbehandlung, Vorbereitung und Aufarbeitung von Proben

- ▶ Probenkonservierung, -transport und -lagerung (§ 23 Abs. 1⁴²).

³⁵ Nach Anh. 2 Ziff. 2.1 Abs. 1 BBodSchV sind die zu untersuchenden Fläche oder Teilflächen grundsätzlich unter Zuhilfenahme eines Rasters repräsentativ zu beproben.

³⁶ Anh. 1 Ziff. 2 Abs. 2 BBodSchV: Untersuchungsflächen sind in geeignete Teilflächen zu unterteilen, unter anderem dann, wenn ein unterschiedlicher Gefahrenverdacht besteht.

³⁷ Anh. 1 Ziff. 2.1 Abs. 2 Satz 2 BBodSchV.

³⁸ Anh. 1 Ziff. 2.1 Abs. 2 Satz 1 BBodSchV.

³⁹ Anh. 1 Ziff. 2.1.1 und 2.1.2 BBodSchV: Für die Beprobung des Wirkungspfades Boden-Mensch und Boden-Grundwasser sind für zu bildende Teilflächen 15 bis 25 Mischproben zu nehmen.

⁴⁰ Anh. 1 Ziff. 3.1.1 Abs. 3 BBodSchV: konkrete Anweisungen wie Grobmaterialien aufzubrechen sind (wird der Untersuchungsphase zugeordnet).

⁴¹ Anh. 1 Ziff. 2.4.1 BBodSchV.

⁴² Zu beachten sind die DIN ISO 10381-1:2003-08, DIN 19747:2009-07 und DIN EN ISO 5667-3:2013-03. Anhang 1 Ziff. 2.5 BBodSchV verweist nur auf Vorgängerversionen der DIN ISO 10381 und der DIN EN ISO 5667-3.

- ▶ Vorbehandlung, Vorbereitung und Aufarbeitung von Feststoffproben (§ 23 Abs. 2⁴³).
- ▶ Rückstellung repräsentativer Teile der Proben (§ 23 Abs. 3⁴⁴).

Untersuchungsverfahren

- ▶ Bestimmte Untersuchungsmethoden und Verfahren sind anzuwenden (§ 24 Abs. 2 bis 10 und Anh. 3 i.V.m. in Bezug genommenen DIN- und ISO-Normen sowie VDI-Richtlinien⁴⁵).
- ▶ Nur fortschrittliche Verfahren und Methoden, deren praktische Eignung für die erforderlichen Untersuchungen gesichert erscheint, dürfen angewandt werden (§ 24 i.V.m. Anh. 3⁴⁶).
- ▶ Die in Anh. 3⁴⁷ ausdrücklich genannten Verfahren/Methoden genügen diesen Anforderungen.
- ▶ Interne und externe Qualitätssicherungsmaßnahmen finden sich in E-BBodSchV selbst nicht mehr⁴⁸. Sie ergeben sich aus technischen Regeln oder Empfehlungen des FBU (§ 25 Abs. 1 Nr. 3).
- ▶ Anwendung abweichender Verfahren nur, wenn deren Gleichwertigkeit (§ 24 Abs. 11⁴⁹)
 - durch den FBU generell festgestellt und im Bundesanzeiger veröffentlicht oder
 - im Einzelfall der zuständigen Behörde nachgewiesen wurde.

Qualitätssicherung

- ▶ Probennahme, -transport und -lagerung (Beeinflussung des Probematerials möglichst ausschließen, vgl. § 23 Abs. 1⁵⁰).
- ▶ Bei der Probennahme ist die erforderliche Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Ergebnisse zu berücksichtigen (§ 19 Abs. 3 Satz 1⁵¹).
- ▶ Empfehlungen zur Eignung von Qualitätssicherungsmaßnahmen einschließlich der zulässigen Ergebnisunsicherheit von Verfahren und Methoden kann der FBU geben (§ 25 Abs. 1 Nr. 3⁵²).
- ▶ Beachtung der Bestimmungsgrenzen in der Analytik (Anh. 4⁵³).
- ▶ Die Dokumentation der angewandten Verfahren wird von dem E-BBodSchV nicht ausdrücklich vorgegeben.⁵⁴ Zu dokumentieren sind jedenfalls die Probennahme (§ 19 Abs. 1 Satz 1) und der Masseanteil grobkörniger Materialien, Fremd- und Störstoffen (§ 19 Abs. 8 Satz 2).

⁴³ Richtet sich nach der DIN 19747:2009-07. Anh. 1 Ziff. 3.1.1 BBodSchV verweist auf die DIN ISO 11464: 12.96 und für organische Schadstoffe auf die DIN ISO 14507: 02.96.

⁴⁴ Die Proben sind nach DIN 19474:2009-07 aufzubewahren. Nach Anh. 1 Ziff. 3.1.1. Abs. 4 BBodSchV richtet sich die Art und der Umfang der Rückstellung nach den Erfordernissen des Einzelfalls.

⁴⁵ Anh. 1 Ziff. 3 BBodSchV.

⁴⁶ Der Kreis der in Anh. 3 genannten Verfahren und Methoden kann durch Empfehlungen des FBU erweitert werden (§ 25 Abs. 1 Nr. 2).

⁴⁷ Anh. 1 BBodSchV

⁴⁸ Anh. 1 Ziff. 4.2. BBodSchV sieht Maßnahmen zur Sicherung der Qualität der Analytik vor, insbesondere zur Reproduzierbarkeit (Präzision) und Richtigkeit der Untersuchungsergebnisse.

⁴⁹ Anh. 1 Ziff. 3.1.2, 3.1.3 BBodSchV: abweichende Verfahren dürfen nur angewandt werden, wenn deren Gleichwertigkeit im Einzelfall nachgewiesen ist. Zu den Aufgaben des FBU: Anh. 1 Einleitung letzter Satz BBodSchV.

⁵⁰ Zu beachten sind die DIN ISO 10381-1:2003-08, DIN 19747:2009-07 und DIN EN ISO 5667-3:2013-03. Anhang 1 Ziff. 2.5 BBodSchV verweist nur auf Vorgängerversionen der DIN ISO 10381 und der DIN EN ISO 5667-3.

⁵¹ Anh. 1 Ziff. 4.2, letzter Satz BBodSchV: Für das Analysenergebnis ist eine Messunsicherheit gem. DIN 1319-3:05.96 und/oder DIN 1319-4:12.85 anzugeben.

⁵² Anh. 1 Ziff. 4.2 BBodSchV listet interne und externe Maßnahmen zur Qualitätssicherung auf, die insbesondere zu beachten sind.

⁵³ Die DIN-Norm wird zwar durch § 27 Abs. 1 Satz 1 i.V.m. Anhang 4 E-BBodSchG aufgelistet, jedoch an keiner anderen Stelle konkret in Bezug genommen; Anhang 1 Ziff. 4.2 BBodSchV.

2.6 Anforderungen an den Umgang mit der Ergebnisunsicherheit

2.6.1 Vorgaben des Bodenschutzes

BBodSchG und E-BBodSchV enthalten keine expliziten Vorgaben zur Ermittlung, Begrenzung und Dokumentation der Messunsicherheit bzw. der Ergebnisunsicherheit. Die bisherige BBodSchV sowie E-BBodSchV gehen lediglich punktuell auf die Messunsicherheit bzw. Ergebnisunsicherheit ein:

- ▶ Nach geltendem Recht (Anh. 1 Ziff. 4.2 BBodSchV) ist das Bestimmungsverfahren so auszuwählen, dass aufgrund der Bestimmungsgrenze eine Über- oder Unterschreitung der Prüf- und Maßnahmenwerte sicher beurteilt werden kann.⁵⁴ Die Messunsicherheit des Analyseergebnisses ist gemäß DIN 1319-3:05.96 und/oder DIN 1319-4:12.85 anzugeben.
- ▶ In E-BBodSchV ist der Begriff „Messungen“ erwähnt in § 12 Abs. 1 und 2 E-BBodSchG⁵⁶ (im Kontext der orientierenden Untersuchung). „Messunsicherheit“ wird im Titel der in Anlage 3 E-BBodSchG aufgeführten DIN ISO 11352:2012 erwähnt.
- ▶ Der Begriff „Ergebnisunsicherheit“ wird im Zusammenhang mit den Aufgaben des FBU in E-BBodSchV erwähnt (§ 25 Abs. 1 Nr. 3).

Wie oben unter 2.4 dargelegt, verzichtet die Bundesregierung im Entwurf zur neuen BBodSchV bewusst auf Regeln zum Umgang mit der Ergebnisunsicherheit und sieht auch davon ab, pauschale Ergebnisunsicherheiten für bestimmte Verfahren festzuschreiben.

Aus dem systematischen Zusammenhang der Regelungen ergibt sich allerdings, dass der Begriff „Ergebnisunsicherheit“ i.S.d. E-BBodSchV so verwendet wird, wie in dieser Handlungsanleitung.

Der Verzicht auf konkrete Regeln zum Umgang mit der Ergebnisunsicherheit bedeutet allerdings nicht, dass im Vollzug insoweit ein Freiraum bestände, ob die Ergebnisunsicherheit berücksichtigt wird oder nicht.

So dienen die oben unter 2.5 genannten Anforderungen an die Untersuchung in Verbindung mit den zugehörigen technischen Regeln insgesamt ⁵⁷ dazu, ein möglichst hohes Maß an Verlässlichkeit der Untersuchung und Bewertung von Verdachtsflächen zu erreichen. Indirekt sollen diese Vorgaben die Ergebnisunsicherheit durch die Auswahl geeigneter Verfahren und im Rahmen der Qualitätssicherung begrenzen.

Aus übergeordneten verwaltungs-, ordnungs- und verfassungsrechtlichen Grundsätzen ergeben sich weitere Orientierungen für die Berücksichtigung der Ergebnisunsicherheit (dazu nachfolgend):

⁵⁴ Anh. 1 Ziff. 4.1. BBodSchV: Alle für die Laboruntersuchung und die Auswertung der Untersuchungsergebnisse relevanten Informationen sind zu dokumentieren.

⁵⁵ Hierzu soll in der Regel erforderlich sein, dass „die Bestimmungsgrenze halb so groß ist wie die Konzentration des zu bestimmenden Wertes“, vgl. Eckhoff, in: Fehlau u.a., Vollzugshilfe Bodenschutz und Altlastensanierung - Erläuterungen zur Bundes-Bodenschutz und Altlastenverordnung, 2000, S. 278, Anhang 1, Rn. 111.

⁵⁶ § 2 Nr. 3 BBodSchV.

⁵⁷ Anh. 1 BBodSchV.

2.6.2 Allgemeine verwaltungsrechtliche Vorgaben

Die Untersuchung und Bewertung, die sich u. a. auf Probennahme und Analytik stützen, dienen zur Bestimmung von Pflichten zu weitergehenden Untersuchungen von Verdachtsflächen und zur Gefahrenabwehr (z. B. Sanierung, vgl. 2.1 und 2.2). Diese bodenschutzrechtlichen Pflichten haben ordnungsrechtlichen Charakter - behördliche Anordnungen sind regelmäßig Eingriffe in rechtliche geschützte Interessen und Grundrechte der Betroffenen. Solche behördlichen Maßnahmen mit Eingriffscharakter dürfen nur getroffen werden, wenn die rechtlichen Voraussetzungen hierfür vorliegen (z. B. Einstufung als „schädliche Bodenveränderung“ oder „Altlast“ bzw. das Vorliegen einer „Gefahr“ als Voraussetzung für die Verpflichtung zur Durchführung von Gefahrenabwehrmaßnahmen). Jedenfalls für solche bodenschutzrechtlichen Anordnungen muss hinreichende Gewissheit bestehen, dass die jeweiligen Voraussetzungen erfüllt sind.

Stützt sich die jeweilige Anordnung maßgeblich auf die Überschreitung von Prüfwert oder Maßnahmenwert (dazu s. o., 2.2), so muss nach allgemeinen verwaltungsrechtlichen Grundsätzen hinreichend sicher feststehen, dass die herangezogenen Messergebnisse verlässlich sind. Hieran fehlt es jedoch, wenn die maßgeblichen Prüf- oder Maßnahmenwerte im Unsicherheitsbereich der Messung liegen.

Gewöhnlich werden bodenschutzrechtliche Anordnungen auf eine Vielzahl von Erkenntnissen und Gesichtspunkten gestützt, regelmäßig sind sie Ergebnis einer Gewichtung und Abwägung von Belangen. Die Untersuchung und Bewertung auf Grund von Beprobungen anhand von Prüfwert und Maßnahmenwert ist dabei ein wesentliches Element. Deshalb wird sich in der Praxis eine entsprechende Untersuchungs- oder Sanierungsanordnung maßgeblich auf entsprechende Untersuchungsergebnisse stützen. Dies setzt aber voraus, dass diese Untersuchungsergebnisse auch im Hinblick auf eine eventuelle Ergebnisunsicherheit hinreichend verlässlich sind. Sofern also bodenschutzrechtliche Anordnungen getroffen werden sollen, die sich (auch) auf die Überschreitung von Prüf- oder Maßnahmenwerten stützen und die Ergebnisse im möglichen Unsicherheitsbereich der Messungen liegen, muss zuvor die Ergebnisunsicherheiten ermittelt werden.

2.6.3 Fazit zur Ermittlung, Begrenzung und Dokumentation der Ergebnisunsicherheit

- ▶ Zum „Standard“ der Untersuchung, ob Prüf- oder Maßnahmenwerte eingehalten werden, gehört die Ermittlung und Angabe der Ergebnisunsicherheit.
- ▶ Die Konzeption der BBodSchV wie der E-BBodSchV geht davon aus, dass die Vorgaben für Methoden und Verfahren eine hinreichend sichere Bewertung von Kontaminationen im Rahmen der Beprobung ermöglichen. Verbleibende Unsicherheiten werden insoweit in Kauf genommen, sie sollten jedoch durch Angabe der Ergebnisunsicherheit offengelegt werden.
- ▶ Aus den rechtlichen Anforderungen an die Untersuchungen, aus dem systematischen Zusammenhang der maßgeblichen Vorschriften und aus dem ordnungsrechtlichen Charakter des BBodSchG ergibt sich, dass die die Ergebnisunsicherheit zu begrenzen und zu ermitteln ist: Anordnungen zu Untersuchungen bzw. zu Maßnahmen zur Gefahrenabwehr dürfen auf die Überschreitung von Prüf- oder Maßnahmenwerten nur dann gestützt werden, wenn diese Überschreitung sicher ist.
- ▶ Ein Untersuchungsergebnis ist nicht hinreichend sicher, wenn der einzuhaltende Prüf- oder Maßnahmenwert innerhalb des Unsicherheitsbereichs des Ergebnisses liegt. Da dann nicht sicher festgestellt werden kann, ob der Prüf- oder Maßnahmenwert eingehalten/überschritten ist, kann ein solches Untersuchungsergebnis nicht als verlässliche Grundlage für eine behördliche Entscheidung dienen.
- ▶ Meist ist die Überschreitung von Prüf- oder Maßnahmenwerten nur ein Gesichtspunkt unter mehreren, die für eine Entscheidung über bodenschutzrechtliche Anordnungen herangezogen werden. Sofern eine Entscheidung maßgeblich auf andere Gesichtspunkte gestützt wird, scheint die genaue Ermittlung der Ergebnisunsicherheit nicht unbedingt erforderlich.

3 Fachliche Grundlagen

3.1 Stoffgehalte in Böden⁵⁸

Der Stoffgehalt eines Bodens entsteht durch bodenbildende Prozesse, die auf das Ausgangsmaterial (-gestein) wirken (i. W. Verwitterung, aber auch Auswaschung, Umlagerung u. a.), und durch Stoffeinträge in den Boden (über Niederschläge, luftgetragene Immissionen, Havarien mit Flüssigkeiten, Ablagerungen usw.).

Schadstoffe sind gem. §2 Abs. 6 BBodSchV Stoffe und Zubereitungen, die aufgrund ihrer Gesundheitschädlichkeit, ihrer Langlebigkeit oder Bioverfügbarkeit im Boden oder auf Grund anderer Eigenschaften und ihrer Konzentration geeignet sind, den Boden in seinen Funktionen zu schädigen oder sonstige Gefahren hervorzurufen. Einige dieser Schadstoffe können in natürlichen Ausgangsgesteinen (z. B. Erze, Erdöl, Aschen von Waldbränden) oder vor allem auch in anthropogenen Ausgangsmaterialien des Bodens (Aschen, Schlacken, Bauschutt, Straßenaufbruch usw.) bereits enthalten sein. In den meisten nach Bodenschutzrecht zu bewertenden Fällen gelangten die Schadstoffe hingegen durch Ereignisse in den Boden, die von der Entstehung des Bodens unabhängig waren. Hier sind grundsätzlich zu unterscheiden:

- aus der Luft abgelagerte feine Feststoffpartikel, Aerosole, Flüssigkeiten,
- aus Dämpfen kondensierte Flüssigkeiten,
- versickerte wässrige Lösungen und nichtwässrige Flüssigkeiten,
- angeschwemmte, aufgespülte oder aufgeschüttete Feststoffe.

Bodenbildende Prozesse und anthropogene Aktivitäten (i. W. Erdbaumaßnahmen) nach dem Schadstoffeintrag, Umwandlungs- und Abbaureaktionen, Migration und erneute Festlegung, An- und Abreicherungen führen schließlich zu der aktuell zu beobachtenden Schadstoffverteilung. Mindestens ein, in der Regel aber eine ganze Reihe von aufeinander folgenden oder auch gleichzeitig verlaufenden und sich damit gegenseitig beeinflussenden Prozessen waren dabei beteiligt. Das Ergebnis sind vor allem Schadstoffe,

- die in Bodenpartikeln oder bodenfremden Feststoffpartikeln enthalten sind,
- die an Bodenpartikeln anhaften oder mit dem natürlichen Zement, der Bodenkörner verkitet, verbunden sind,
- die an organische Komponenten im Boden (lebende und tote Organismen, Humus, Kohle usw.) gebunden sind,
- die gelöst im Bodenwasser oder als nichtwässrige Flüssigkeit in Porenräumen und Zwischenräumen zwischen Bodenpartikeln hängen geblieben sind.

Zustand und Verteilung der Schadstoffe im Boden sind nicht konstant. Sie unterliegen im Laufe der Zeit zum Teil erheblichen Veränderungen.

Bedingt durch die Zusammensetzung und Struktur des Bodens und die vielfältigen Prozesse des Stoffeintrags, der Stoffumwandlung und der Stoffumlagerung ergeben sich sehr unterschiedliche, in der Regel recht uneinheitlich, also inhomogen verteilte Schadstoffgehalte im Boden. Es liegt in der Natur der

⁵⁸ Autor dieses Kapitels ist Dipl.-Geol. Dieter Horchler, Niedersächsisches Landesamt für Bau und Liegenschaften (NLBL), 30169 Hannover

Sache, dass es einen einheitlichen durchgängigen Gehalt eines Stoffes im Boden nicht geben kann. Dennoch ergibt sich für verschiedenste Entscheidungen, die in der Praxis zu treffen sind (z. B. Nährstoffgehalte, Eignung als Baumaterial oder eben auch zur Bewertung möglicher schädlicher Bodenveränderungen), die Notwendigkeit, den Boden als Gesamtheit (oder allenfalls unterteilt in handhabbare Teilmengen) zu charakterisieren und an orientierenden Maßstäben zu messen.

Die Ergebnisunsicherheit bei der Beprobung und chemischen Analytik von Böden ist naturgemäß von einer ganzen Reihe von Einflussgrößen abhängig, die in der Praxis oft nur zum Teil bekannt sind oder nur abgeschätzt werden können. Die in dieser Handlungsanleitung beschriebenen Vorgehensweisen und ihre Implementierung in dem Webtool nutzen daher einige vereinfachende, aber zugleich konservative Annahmen.

3.2 Zweck von Bodenuntersuchungen: Orientierende Untersuchung und Detailuntersuchung

Ziel der Orientierenden Untersuchung ist es, festzustellen, ob ein hinreichender Verdacht für das Vorliegen einer Altlast oder einer schädlichen Bodenveränderung besteht (BBodSchV-E (Mai 2017) §12 Abs. 1). Ziel der Detailuntersuchung ist insbesondere die Feststellung von Menge und räumlicher Verteilung von Schadstoffen innerhalb einer Verdachtsfläche oder altlastverdächtigen Fläche, und ob eine Abgrenzung von nicht belasteten Flächen geboten ist (BBodSchV-E (Mai 2017) §13 Abs. 1 und 2).

Unter Beachtung der Gegebenheiten des Einzelfalls dienen die dazu notwendigen Bodenuntersuchungen grundsätzlich

- ▶ der Charakterisierung des Bodens der gesamten zu betrachtenden Verdachts- oder Teilfläche oder Altlast über mittlere Gehalte (z. B. anorganische oder organische Schadstoffgehalte) bzw. physikalisch-chemische Eigenschaften (z. B. Trockenmasse, pH-Wert, Korngrößenverteilung, Rohdichte), oder
- ▶ der Ermittlung der räumlichen Verteilung der Schadstoffe (z.B. Kontaminationsschwerpunkte, Abgrenzung von Teilbereichen mit verschiedenen Schadstoffkonzentrationen oder -gehalten), oder
- ▶ ergänzend der Ermittlung der Größenordnung der Streuung der Gehalte bzw. der Eigenschaften der betrachtenden Verdachtsfläche oder Altlast.

3.3 Proben und Messungen

3.3.1 Repräsentative Probennahme

Gemäß BBodSchV-E (Mai 2017) §19 Abs. 2 muss sichergestellt werden, dass die zu untersuchenden Böden und Materialien hinreichend repräsentativ erfasst werden. Dies bezieht sich einerseits auf die vollständige Verdachtsfläche, andererseits auf geeignete Teilbereiche, in welche die Verdachtsfläche untergliedert wird (im Falle von Hinweisen auf Inhomogenitäten oder Heterogenitäten gemäß §19 Abs. 4 oder bei größeren Flächen gemäß §22, Abs. 3 und 4). Vermutete Schadstoffanreicherungen sind gezielt zu beproben (BBodSchV-E (Mai 2017) §19 Abs. 5).

Wenn die jeweilige Fragestellung Mischproben erfordert, sollen diese aus Gründen der Vergleichbarkeit in der Regel aus 20 Einzelstichproben hergestellt werden (BBodSchV-E (Mai 2017) §19 Abs. 6).

Repräsentativität in Hinblick auf das mittlere Niveau einer Fläche bzw. des Bodenvolumens bedeutet, dass der mittlere Gehalt aller Proben repräsentativ für den mittleren Gehalt der Fläche bzw. des Bodenvolumens ist.

Im Hinblick auf die räumliche Verteilung bedeutet Repräsentativität, dass die Gesamtheit aller entnommenen und untersuchten Proben eine zuverlässige Identifikation der Verteilungsmuster und eine quantitative Abschätzung der Stoffmengen erlaubt.

Als „repräsentativ“ ist eine Probennahme anzusehen, wenn sie gemeinsam mit einer hinreichend umfassenden Dokumentation des Probennahmeverganges und der dabei sichergestellten Beobachtungen ein Material liefert, an dem die für die jeweilige Fragestellung erforderlichen Messungen durchgeführt werden können und die Messergebnisse zur Beantwortung der Fragestellung interpretierbar sind.

3.3.2 Messung

Ziel von Messungen ist es, den wahren/tatsächlichen Wert (unter den bei der Ermittlung herrschenden Bedingungen) der Messgröße in der Probe zu ermitteln. Die Messgröße ist eine interessierende Eigenschaft der Probe. Im Fall von Bodenuntersuchungen ist die Messgröße z. B. der Schadstoffgehalt in einer einzelnen (Misch-)Probe oder der mittlere Schadstoffgehalt in einer Reihe von (Misch-)Proben.

3.3.3 Untersuchungsergebnis

Der Untersuchungsvorgang ist die Ausführung geplanter Tätigkeiten zu einer Aussage über eine Messgröße der Grundgesamtheit. Die Tätigkeiten sind überwiegend experimenteller Art, schließen jedoch theoretische Überlegungen und Berechnungen ein. Bei Bodenuntersuchungen umfasst der Untersuchungsvorgang Tätigkeiten vom ersten Verdacht des Vorliegens einer Kontamination oder Altlast bis hin zur Messung der Probe und der Interpretation der Messergebnisse. Der aus der Messung oder den Messungen gewonnene Schätzwert für den wahren Wert der Messgröße ist das Untersuchungsergebnis.

Entsprechend der BBodSchV-E (Mai 2017) beinhaltet der Untersuchungsvorgang Tätigkeiten zu folgenden Punkten:

- ▶ Vorerkundung (BBodSchV-E (Mai 2017) § 18) (u.a. als Grundlage für die Entwicklung einer geeigneten Probennahmestrategie)
- ▶ Probennahme (BBodSchV-E (Mai 2017) § 19) (inkl. der Probennahmeplanung (Abs. 1))
- ▶ Probengewinnung (BBodSchV-E (Mai 2017) § 20 Abs. 2) als Teil der Probennahme bei Böden
- ▶ Konservierung, Transport und Aufbewahrung von Proben (BBodSchV-E (Mai 2017) § 23)
- ▶ Probenvorbehandlung, -vorbereitung und -aufarbeitung (BBodSchV-E (Mai 2017) § 23)
- ▶ Physikalisch-chemische und chemische Analyse (BBodSchV-E (Mai 2017) § 24)
 - Extraktion / Elution (Abs. 3)
 - Bestimmung der Gehalte und Konzentrationen (Abs. 4 bis 10)

Es können eine Messung oder auch mehrere unter Wiederholbedingungen gewonnene Messungen derselben Größe (Vergleichs-/Wiederholmessungen) durchgeführt werden. Liegen mehrere Messergebnisse mehrerer Proben vor, die aus einem Teilbereich entnommen wurden, empfiehlt sich je nach Fragestellung sowohl eine Betrachtung des jeweiligen Mittelwertes als auch eine Betrachtung der Einzelwerte.

Die Betrachtung von Mittelwerten ist nicht nur bei homogen verteilten Einzelwerten sinnvoll, sondern auch bei deutlichen Unterschieden zwischen den Einzelwerten, denn sie ermöglichen eine Abschätzung der gesamten Schadstoffbelastung. Dies gilt nicht, wenn anhand der Einzelwerte innerhalb der Teilfläche ein Hotspot abgegrenzt werden kann oder wenn innerhalb der Teilfläche Bereiche mit deutlich unterschiedlichen Gehalten identifiziert werden können. In solchen Fällen sind Mittelwerte für diese Bereiche oder Hotspots separat zu betrachten. Statistische Ausreißer dürfen nur in Ausnahmefällen aus dem Datensatz entfernt werden und auch nur dann, wenn ein begründeter Verdacht besteht,

dass während der Messung Unregelmäßigkeiten aufgetreten sind, die das Ergebnis verfälscht haben können.

Einzelwerte sind insbesondere dann von Interesse, wenn sie besonders hoch sind, zumal sich bereits bei einem einzelnen Wert ein Verdacht auf eine schädliche Bodenveränderung oder Altlast ergeben kann.

3.3.4 Ergebnisunsicherheit

Der wahre Wert bezeichnet z. B. den wahren Schadstoffgehalt, der tatsächlich vorliegt, während der Messwert jenen Wert bezeichnet, der gemessen wurde. Jede Messung ist mit Unsicherheiten aufgrund von Messabweichungen oder Messfehlern behaftet. Die Messabweichung ist im Allgemeinen nicht bekannt, weil der wahre Wert nicht exakt bekannt ist.

Da der wahre Wert unbekannt ist, muss ein Bereich errechnet werden, in dem mit einer definierten Wahrscheinlichkeit (üblich sind Bereiche von 90 %, 95 % und 99 %) der wahre Wert liegt. Die Ergebnisunsicherheit bezeichnet diesen mathematisch-statistisch ermittelten Bereich, der auch als Vertrauensintervall für den wahren Wert angesehen werden kann.

Ein vollständiges Messergebnis besteht aus dem Messwert, der Einheit der Messgröße sowie der quantitativen Aussage zur Ergebnisunsicherheit.

Die hier beschriebene Ergebnisunsicherheit bezieht sich auf den mittleren Analytgehalt der untersuchten Böden oder des spezifizierten Punktes in der Fläche bzw. des Bereichs des Bodenvolumens. Die Ergebnisunsicherheit beinhaltet nicht nur die analytische Unsicherheit (Extraktion, Elution und Untersuchungsverfahren), sondern umfasst die Unsicherheit des gesamten Vorgangs beginnend bei der Probennahme bis hin zur analytischen Messung, wobei sich die Unsicherheit bei der Probennahme sowohl auf die Probennahmeunsicherheit als auch – bei Untersuchungen einer Fläche - auf die räumliche Heterogenität bezieht.

3.4 Ergebnisunsicherheitskomponenten bei Bodenuntersuchungen

Bei Bodenuntersuchungen gibt es zahlreiche Unsicherheitsquellen bzw. Unsicherheitskomponenten, die den Messwert beeinflussen und einen Beitrag zur Ergebnisunsicherheit leisten. Mögliche Ursachen für die Unsicherheiten sind in Kapitel 4.a detaillierter beschrieben.

3.4.1 Zufällige und systematische Messabweichungen

Prinzipiell werden zufällige und systematische Messabweichungen unterschieden. Grobe Messabweichungen, z. B. bei der Durchführung der Analyse oder wenn das Probennahmeverfahren ungeeignet ist, gelten als vermeidbar und werden nicht weiter behandelt.

- Als systematische Messabweichungen werden Abweichungen bezeichnet, die bei wiederholter Messung unter Wiederholbedingungen unverändert in Größe und Vorzeichen auftreten.
- Systematische Messabweichungen setzen sich aus einem bekannten und einem unbekanntem Anteil zusammen. Da bekannte systematische Messabweichungen identifiziert werden können, muss das Messergebnis um bekannte systematische Messabweichungen korrigiert werden.
- Zufällige Messabweichungen treten bei Wiederholmessungen – selbst unter genau gleichen Bedingungen – unregelmäßig auf. Die Messergebnisse streuen in Größe und Richtung.
- Zufällige Messabweichungen sind nicht vermeidbar und werden hervorgerufen durch nicht beeinflussbare unsystematische Änderungen der Versuchs- und Umgebungsbedingungen u. a.
- Wiederholmessungen reduzieren die zufälligen Abweichungen des Untersuchungsergebnisses, nicht jedoch die unbekanntem systematischen Abweichungen vom wahren Wert.

3.4.2 Angabe der Ergebnisunsicherheit gemäß Mantelverordnung

Auch wenn im Entwurf der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung auf die Festlegung pauschaler Ergebnisunsicherheiten, wie zum Beispiel bei der Ersatzbaustoffverordnung, verzichtet wird, bedeutet dies aber keineswegs, dass die Berücksichtigung von Unsicherheiten bei der Bewertung im Einzelfall nicht erlaubt oder sogar gerechtfertigt wäre. Hintergrund für den Verzicht der Festlegung ist, dass die Unsicherheiten bei der Probennahme und der analytischen Bestimmung der Schadstoffgehalte und -konzentrationen bei der Gefährdungsabschätzung von altlastverdächtigen Flächen weitaus höher sind als bei der Bewertung von Ersatzbaustoffen im Rahmen der Güteüberwachung. Die zu untersuchenden altlastverdächtigen Standorte und die mögliche Verteilung von Schadstoffen sind in vielen Fällen höchst unterschiedlich, so dass ein pauschal vorgegebener Unsicherheitsbereich hier weitaus weiter aufzuspannen wäre als bei der Ersatzbaustoffverordnung. Insofern ist die Berücksichtigung der Unsicherheiten zweckmäßigerweise bei der Beurteilung des Einzelfalles vorzunehmen und kann insofern nicht pauschal festgelegt werden⁵⁹.

Zu diesem Zweck kann der Fachbeirat insbesondere 1. Maßstäbe zur Beurteilung der Gleichwertigkeit und praktischen Eignung von Verfahren und Methoden zur Probennahme, -vorbehandlung, -vorbereitung und -aufarbeitung sowie zur physikalisch-chemischen und chemischen Analyse aufstellen, 2. die Gleichwertigkeit und praktische Eignung von Verfahren und Methoden zur Probennahme, -vorbehandlung, -vorbereitung und -aufarbeitung sowie zur physikalisch-chemischen und chemischen Analyse allgemein feststellen und 3. Empfehlungen zur Eignung von Qualitätssicherungsmaßnahmen einschließlich der zulässigen Ergebnisunsicherheit von Verfahren und Methoden im Sinne der Nummern 1 und 2 abgeben (BBodSchV-E (Mai 2017)).

3.4.3 Von der Deutschen Akkreditierungsstelle GmbH (DAkkS) geforderte Ergebnisunsicherheitskomponenten

Die BBodSchV beinhaltet keine Angaben zu den zu berücksichtigenden Ergebnisunsicherheitskomponenten. Weil die Messung der Proben durch eine nach DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditierte Untersuchungsstelle durchzuführen ist (BBodSchV-E (Mai 2017) §24 Abs.1), bietet es sich an, die Ergebnisunsicherheitskomponenten gemäß der Deutschen Akkreditierungsstelle GmbH (DAkkS) zu berücksichtigen.

Die DAkkS fordert im Rahmen der Akkreditierung nach DIN EN ISO/IEC 17025: 2018-03 (Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien) die Ermittlung der Ergebnisunsicherheitsbeiträge für die folgenden vier Teilbereiche (DAkkS-Leitfaden 71 SD 4 016):

- A Probennahme aus der Gesamtheit des Prüfobjektes zur Herstellung einer Laborprobe,
- B Ggf. Probenvorbehandlung zur Homogenisierung der Laborprobe,
- C Entnahme einer Analysenportion als repräsentative Teilprobe der Laborprobe,
- D Anwendung aller Schritte des Bestimmungsverfahrens, einschließlich Kalibrierung und Berechnung der Probengehalte unter Berücksichtigung von Qualitätssicherungsmaßnahmen.

Zur Ermittlung dieser Ergebnisunsicherheitskomponenten bedarf es einer systematischen Zusammenstellung aller möglichen Fehlerquellen. Nicht relevante Unsicherheitsbeiträge können vernachlässigt werden.

⁵⁹ Drucksache 18/12213 vom 03.05.2017 vom Deutschen Bundestag: Verordnung zur Einführung einer Ersatzbaustoffverordnung, zur Neufassung der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung und zur Änderung der Deponieverordnung und der Gewerbeabfallverordnung

Im DAkkS-Leitfaden 71 SD 4 016 wird darauf hingewiesen, dass in der Praxis häufig keine Messdaten vorhanden sind, um die Unsicherheit der Probenahme abzuschätzen. Die Unsicherheit A wird folglich in der Ergebnisunsicherheit ignoriert und die Ergebnisunsicherheit bezieht sich auf die Teilbereiche B bis D, d.h. auf die analytische Unsicherheit in Verbindung mit der Analytverteilung in der Laborprobe. Es wird aber darauf hingewiesen, dass nach allgemeiner Laborpraxis die Inhomogenität der Analytverteilung in der Laborprobe nicht getrennt ermittelt wird, sondern Teil der Standardabweichung für Wiederholmessungen unabhängiger Analysenportionen ist.

3.4.4 Ergebnisunsicherheitskomponenten in dieser Handlungsanleitung

Anstelle der vom DAkkS-Leitfaden 71 SD 4 016 geforderten Ermittlung der vier aufgezählten Ergebnisunsicherheitsbeiträge werden in dieser Handlungsanleitung aus Praktikabilitätsgründen insgesamt sechs Ergebnisunsicherheitsbeiträge ermittelt, die wiederum vier Bereichen zugeordnet werden. Die Ergebnisunsicherheit bei Bodenuntersuchungen setzt sich zusammen aus:

1. Räumlicher Heterogenität,
2. Unsicherheit der Probennahme, bestehend aus den beiden Komponenten:
 - a. Systematische Abweichungen des Probennahmeverfahrens,
 - b. Zufällige Abweichungen des Probennahmeverfahrens,
3. Fundamentalvariabilität,
4. analytischer Unsicherheit, bestehend aus den beiden Komponenten
 - a. Systematische Abweichungen des Analysenverfahrens (systematische Abweichungen bei Gewinnung einer Analysenprobe aus der Laborprobe, bei Vorbereitung der Analysenprobe zur Messprobe und bei Bestimmung des Messwertes aus der Messprobe),
 - b. Zufällige Abweichungen des Analysenverfahrens (zufällige Abweichungen bei Gewinnung einer Analysenprobe aus der Laborprobe, bei Vorbereitung der Analysenprobe zur Messprobe und bei Bestimmung des Messwertes aus der Messprobe).

Diese sechs Ergebnisunsicherheitsbeiträge bzw. diese vier Bereiche erfassen die von der DAkkS geforderten Beiträge und berücksichtigen deren Gesamteffekt in der Ergebnisunsicherheit. Die Ergebnisunsicherheitskomponenten sind Tabelle 1 zu entnehmen, wobei die systematischen und zufälligen Abweichungen des Probennahmeverfahrens als Unsicherheit der Probennahme, und die systematischen und zufälligen Abweichungen des Analysenverfahrens als analytische Unsicherheit zusammengefasst sind.

Die in dieser Handlungsanleitung beschriebenen Ergebnisunsicherheitskomponenten sind nur summarisch in ihrer Summe identisch mit den DAkkS Ergebnisunsicherheitskomponenten. Die Abgrenzung der Einzelkomponenten ist unterschiedlich.

Die Unsicherheit, die sich z. B. daraus ergibt, dass die tatsächliche Position der Probennahme vom geplanten Probennahmeraster abweicht, oder dass das Probennahmeraster die tatsächlichen Verhältnisse auf der zu untersuchenden Fläche nur näherungsweise widerspiegeln und nicht repräsentativ sind, bleibt in der Analyse der Ergebnisunsicherheit unberücksichtigt.

Tabelle 1: Ergebnisunsicherheitskomponenten in dieser Handlungsanleitung.

Empfohlene Ergebnisunsicherheitskomponenten	Ergebnisunsicherheitskomponenten des DAkks-Leitfadens 71 SD 4 016			
	Probenahme bis zur Herstellung der Laborprobe	Probenvorbehandlung und Homogenisierung	Entnahme Analysenportion	Bestimmungsverfahren
Räumliche Heterogenität	X			
Unsicherheit der Probenahme (systematische und zufällige Abweichungen)	X			
Fundamentalvariabilität	X	X	X	
analytische Unsicherheit (systematische und zufällige Abweichungen)		X	X	X

3.4.4.1 Räumliche Heterogenität

Die räumliche Variabilität der Schadstoffbelastung und anderer Bodencharakteristika ist eine inhärente Eigenschaft der zu untersuchenden Fläche bzw. des Bodenvolumens.

Innerhalb der Bodenfläche (z.B. tiefenabhängig) gibt es Stellen mit höherer und niedriger Belastung. Die räumlich differenzierte Schadstoffbelastung kann die Folge z. B. unkontrollierter Ablagerungen, Umlagerungen und Aufschüttungen sowie physikochemischer Eigenschaften des Bodens sein.

Es hängt von der jeweiligen Fragestellung ab, ob und inwieweit die räumliche Heterogenität bei der Ergebnisunsicherheit zu berücksichtigen ist. Soll der Schadstoffgehalt lokal bestimmt werden, kann die räumliche Heterogenität außer Acht gelassen werden. Soll der mittlere Schadstoffgehalt in der Fläche bestimmt werden, muss die räumliche Heterogenität berücksichtigt werden.

3.4.4.2 Unsicherheit der Probennahme

Diese Unsicherheit berücksichtigt systematisch und zufällig bedingte Abweichungen, und umfasst Unsicherheitsquellen aufgrund der Probennahme, der Probenkonservierung, des Probenverkehrs und der Probenlagerung, die zu einer Abweichung zwischen dem wahren Gehalt der beprobten Fläche bzw. des beprobten Bodenvolumens und dem Analyseergebnis der entnommenen Proben führen können.

3.4.4.3 Fundamentalvariabilität

Bei wiederholter Durchführung der Probennahme an gleicher Stelle ergibt sich unvermeidlich ein anderer Wert, selbst dann, wenn die analytische Unsicherheit vernachlässigbar ist. Diese Unsicherheit wird als Fundamentalvariabilität bezeichnet. Selbst bei perfekter Durchmischung werden die Gehalte in den Proben nicht identisch sein, wenn die einzelnen Partikel in der Grundgesamtheit nicht völlig identische Konzentrationen bzw. Gehalte haben.

Die Fundamentalvariabilität beschreibt jene zusätzliche Variabilität der Analyseergebnisse, die daraus resultiert, dass der Analytgehalt von Partikel zu Partikel variieren kann. Würde man in einem Gedankenexperiment das gesamte Material der Grundgesamtheit perfekt durchmischen, nicht aber zerkleinern, und würden anschließend aus dieser Grundgesamtheit z.B. 1000 verschiedene Proben entnommen, so würden sich selbst bei exakter Bestimmung der Analytgehalte in den Proben die Werte von Probe zu Probe mehr oder weniger unterscheiden. Die zugehörige Varianz ist die Fundamentalvarianz. Diese Fundamentalvarianz ist in manchen Fällen völlig vernachlässigbar, etwa dann, wenn die Partikel sehr klein sind oder die Gehaltsunterschiede von Partikel zu Partikel sehr gering ausfallen. Sie

kann aber auch sehr groß sein, wenn sich z. B. der zu bestimmende Stoff in nur sehr wenigen Partikeln befindet.

Zu beachten gilt, dass die Fundamentalvariabilität an zwei Stellen berücksichtigt werden muss. Zum einen während der Probennahme bei der Entnahme der Einzelproben, und zum anderen bei der Gewinnung der Analysenproben aus der Laborprobe. Durch die Zerkleinerung des kompletten Materials der Laborprobe lässt sich die Fundamentalvarianz oft erheblich reduzieren.

Die Wirkung der Fundamentalvariabilität soll ein einfaches Beispiel demonstrieren. Eine perfekt durchmischte Feldprobe mit einem Volumen von insgesamt 1 m^3 enthält insgesamt 10^9 Partikel. Wenn jeder millionste Partikel ein Schadstoffpartikel ist, während die übrigen Partikel schadstofffrei sind, enthält die Feldprobe genau 10^3 Schadstoffpartikel. Aus der Feldprobe werden nun – theoretisch – mehrere Laborproben mit einem Volumen von jeweils 1 l entnommen, das sind jeweils 10^6 Partikel. Im Durchschnitt wird nun jede Laborprobe genau einen Schadstoffpartikel enthalten. Es ist jedoch vom Zufall abhängig, ob eine bestimmte zufällig ausgewählte Laborprobe keinen, einen oder mehrere Partikel enthalten wird. Man kann mathematisch zeigen, dass nur 36,8% aller zufällig gewählten Laborproben genau einen Schadstoffpartikel enthalten. Alle übrigen Laborproben enthalten entweder keinen oder mehrere Schadstoffpartikel. Dies ist die Wirkung der Fundamentalvariabilität.

3.4.4.4 Analytische Unsicherheit

Die Probenvorbehandlung, -vorbereitung und –aufarbeitung sowie die Extraktion des Untersuchungsmaterials erfolgt innerhalb des Labors und kann auch als Teil der analytischen Unsicherheit bestimmt werden.

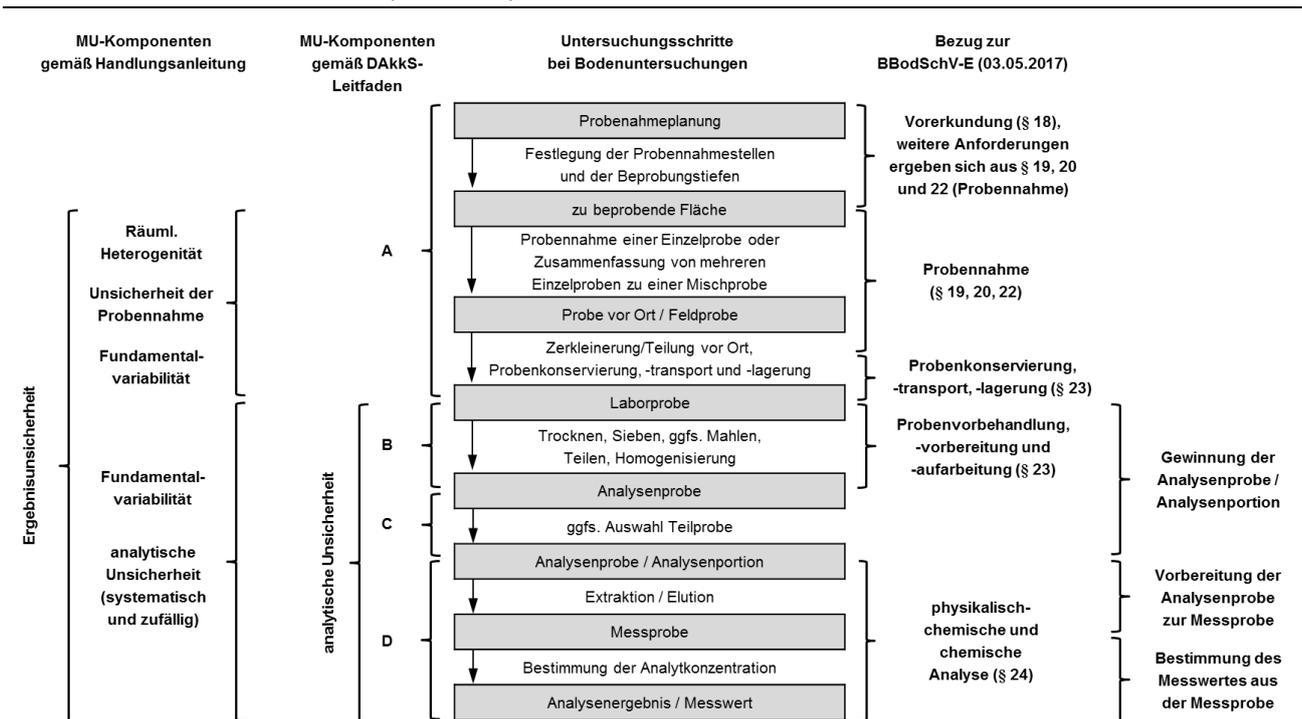
Als Stand der Technik wird von nach DIN EN ISO/IEC 17025: 2018-03 (Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien) akkreditierten Prüflaboratorien diese Unsicherheit über die Reproduzierbarkeit von der Probenvorbehandlung bis zur Detektion und Quantifizierung des Stoffes angegeben. Die Reproduzierbarkeit resultiert aus der Mehrfachbestimmung von Bodenproben, die den gesamten Prozess von der Probenvorbehandlung und -extraktion bis hin zur instrumentellen Analyse und der Quantifizierung der Stoffe durchlaufen. Das beinhaltet somit auch die Fundamentalvariabilität, die bei Gewinnung einer Analysenprobe aus der Laborprobe wirksam wird.

Für die analytische Unsicherheit werden zwei Komponenten berücksichtigt. Die Unsicherheit, die durch zufällige, nicht kontrollierbare Störfaktoren herrühren, und systematische Laboreffekte.

3.4.5 Zusammenfassung

Der Zusammenhang zwischen Untersuchungsschritten bei Bodenuntersuchungen und den von DAkKS-Leitfaden 71 SD 4 016 sowie in dieser Handlungsanleitung vorgeschlagenen Ergebnisunsicherheitskomponenten und der Bezug zur BBodSchV-E (Mai 2017) ist zusammenfassend in Abbildung 1 dargestellt.

Abbildung 1: Zusammenhang zwischen Untersuchungsschritten bei Bodenuntersuchungen und Ergebnisunsicherheitskomponenten, die einerseits von DAkKS-Leitfaden 71 SD 4 016 und andererseits in dieser Handlungsanleitung vorgeschlagen werden, sowie Bezug zur BBodSchV-E (Mai 2017).



3.5 Verfahren zur statistisch abgesicherten Ermittlung der Ergebnisunsicherheit

Zur Ermittlung der Ergebnisunsicherheit gibt es verschiedene Verfahren. Zum einen können alle Unsicherheitskomponenten einzeln ermittelt werden. Dies kann beispielsweise anhand experimenteller Verfahren erfolgen. Diese Herangehensweise wird auch „Bottom-up-Methode“ genannt.

Andererseits können mehrere Unsicherheitskomponenten mittels statistischer Verfahren gemeinsam bestimmt werden. Dieses Verfahren wird auch als „Top-Down-Methode“ bezeichnet. Da für Bodenuntersuchungen bei der Probennahme, Probenvorbereitung und Analytik für die entscheidenden Einflussgrößen Unsicherheiten nur mit hohem experimentellem und rechnerischem Aufwand ermittelt werden können, empfiehlt sich die Anwendung der „Top-down-Methode“. Bei der „Top-down-Methode“ können über Ringversuchsdaten, theoretischen Berechnungen und der Variabilität der Einzelanalysen auf systematische und zufällige Abweichungen geschlossen werden.

In diesem Kapitel werden zwei verschiedene Verfahren zur Ermittlung der Ergebnisunsicherheit vorgestellt. Zum einen anhand eines Berechnungsprogramms, das auf der „Top-Down-Methode“ basiert, und zum anderen anhand experimenteller Verfahren, die der „Bottom-Up-Methode“ zuzuordnen sind. Beide Herangehensweisen zur Ermittlung der Ergebnisunsicherheit können alternativ zueinander angewendet werden.

3.5.1 Zusammenhang zwischen Ergebnisunsicherheit und Standardabweichung

Alle Unsicherheitsbeiträge werden in der Regel als Standardabweichungen ausgedrückt. Ergebnisunsicherheit und Standardabweichung stehen in einem engen Zusammenhang, sind aber nicht identisch. Die Standardabweichung bezieht sich immer auf eine feste Konzentration bzw. einen festen Gehalt, die sogenannte „wahre Konzentration“ bzw. der „wahre Gehalt“. Die Ergebnisunsicherheit hingegen bezieht sich auf einen Messwert, der mehr oder weniger weit von der „wahren Konzentration“ bzw. dem „wahren Gehalt“ entfernt ist. Nur bei kleineren oder konstanten Ergebnisunsicherheiten ist dieser Unterschied irrelevant. Sofern die Untersuchungsmethode als unverzerrt (wiederfindungskorrigiert) angesehen werden kann, kann die Ergebnisunsicherheit aus der entsprechenden Standardabweichung mathematisch berechnet werden.

3.5.2 Ermittlung der Ergebnisunsicherheit mit einem Berechnungsprogramm

Für die Ermittlung der Ergebnisunsicherheit bietet sich der Einsatz entsprechender Software an. Hier wird als mögliche Option das Konzept eines Webservice zur Bestimmung der Ergebnisunsicherheit vorgestellt.

Dieser Webservice soll zur Ermittlung der statistisch abgesicherten Ergebnisunsicherheit am Ort der Beurteilung dienen. Das Programm ermittelt automatisch, ob das Analysenresultat zuzüglich Ergebnisunsicherheit die Prüf- bzw. Maßnahmenwerte gemäß BBodSchV-E (Mai 2017) einhält, bzw. wie hoch die Indizienkraft einer Überschreitung des Prüf- bzw. Maßnahmenwertes ist. Zudem prüft das Programm, ob die Ergebnisunsicherheit nicht zu hoch ist und das Untersuchungsergebnis folglich zu unsicher ist.

Zusätzlich zur Ergebnisunsicherheit erfolgt die Berechnung und Ausgabe der analytischen Unsicherheit inkl. der Fundamentalvariabilität.

Der Nutzer ist aufgefordert die Messwerte einzutragen und notwendige Informationen zur Ermittlung der Ergebnisunsicherheit einzugeben, wie z. B. Bodencharakteristika, Informationen zu Verfahren der Probennahme, Probenvorbehandlung und Analytik. Das Programm berechnet daraus automatisch für jeden Analyten die Ergebnisunsicherheit und daraus wiederum den Ergebnisunsicherheitsbereich und die Indizienkraft für das Untersuchungsergebnis. In Tabelle 2 ist kurz der grundlegende Ansatz zur Ermittlung der einzelnen Unsicherheitskomponenten beschrieben.

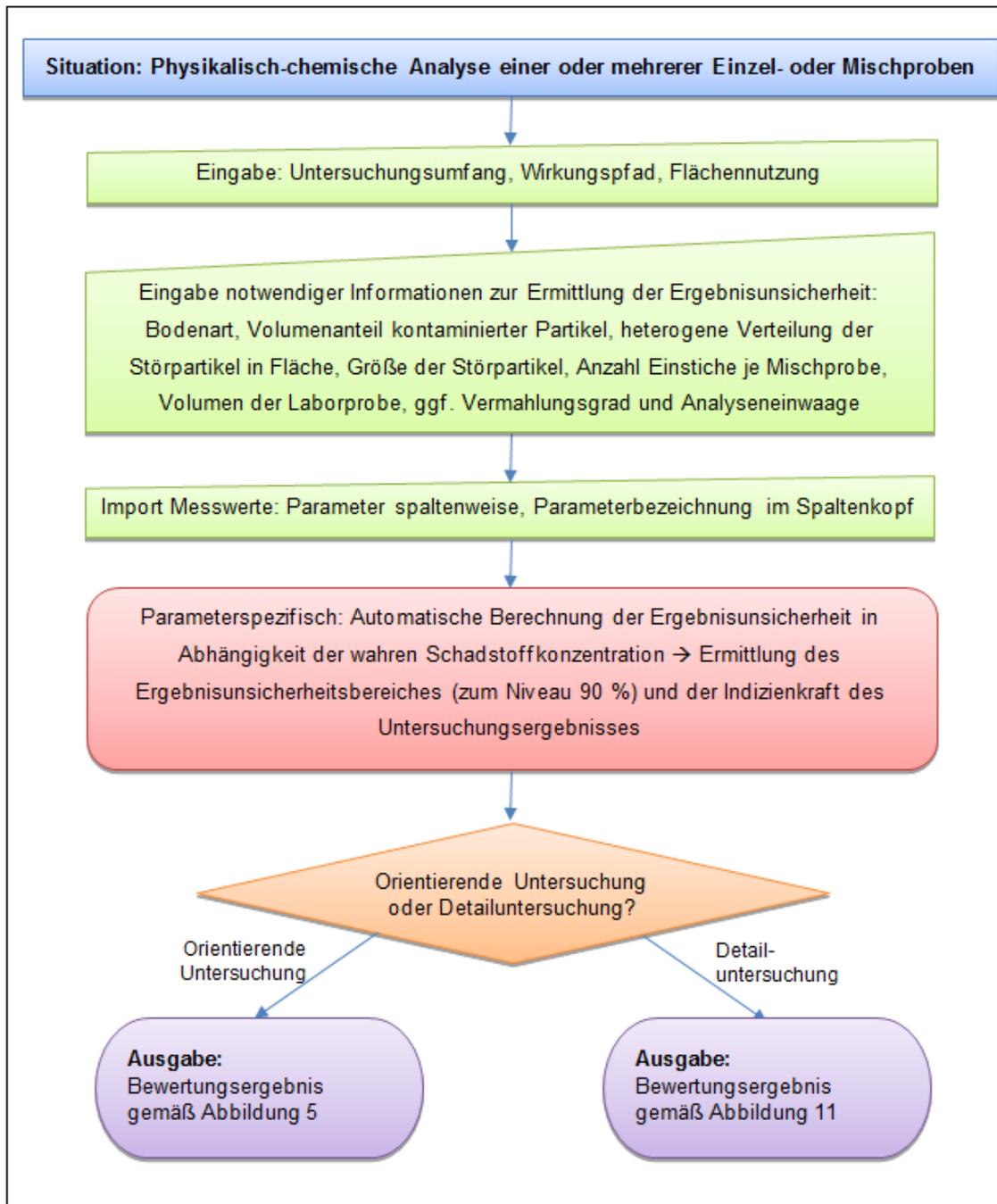
Tabelle 2: Im Konzept der Top-Down-Methode und für den Webservice zugrunde gelegter Ansatz zur Ermittlung der vier Hauptbeiträge der Ergebnisunsicherheit.

Unsicherheitskomponente	Ermittlungsansatz
Räumliche Heterogenität	resultiert aus der heterogenen Schadstoffverteilung in der Fläche
Unsicherheit der Probennahme	<u>systematische Abweichungen des Probennahmeverfahrens</u> Anwendung eines konzentrationsabhängigen Varianzmodells <u>zufällige Abweichungen des Probennahmeverfahrens</u> Anwendung eines konzentrationsabhängigen Varianzmodells
Fundamentalvariabilität	Simulationsberechnungen in Abhängigkeit von z. B. mittlerem Schadstoffgehalt in der Fläche, Größe der Boden- und Störpartikel, Volumina/Einwaage und Vermahlungsgrad
analytische Unsicherheit	<u>systematische Abweichungen des Analyseverfahrens</u> Ringversuchsdaten und Differenz aus Vergleich- und Wiederholvarianz, die beide konzentrationsabhängig modelliert sind oder im Fall nicht verfügbarer Ringversuchsdaten Verwendung der Horwitz-Standardabweichung <u>zufällige Abweichungen des Analyseverfahrens</u> Ringversuchsdaten (Wiederholstandardabweichung aus Laborvergleichsuntersuchungen) und Anwendung eines konzentrationsabhängigen Varianzmodells oder im Fall nicht verfügbarer Ringversuchsdaten Verwendung der Horwitz-Standardabweichung

Auf Basis des ermittelten Ergebnisunsicherheitsbereiches bzw. der ermittelten Indizienkraft gibt das Programm das Bewertungsergebnis entsprechend der Bewertungsregeln in den Abschnitten 4.5 und 4.6 aus.

Einen generellen Überblick über die Abläufe innerhalb des Berechnungsprogramms gibt das Flussdiagramm in Abbildung 2. Auf der Basis verschiedener Eingaben zur untersuchten Fläche, zu Bodencharakteristika, zum Untersuchungsverfahren und der Untersuchungsergebnisse (grüne Boxen) ermittelt das Berechnungsprogramm automatisch für jeden Parameter die Ergebnisunsicherheit und gibt die Bewertungsergebnisse entsprechend Abbildung 5 und 11 aus.

Abbildung 2: Flussdiagramm zur Ein- und Ausgabe des Berechnungsprogramms.



3.5.3 Experimentelle Verfahren zur Ermittlung der Ergebnisunsicherheitskomponenten

3.5.3.1 Übersicht der Verfahren

Eine Voraussetzung für die Anwendung experimenteller Verfahren zur Ermittlung der Ergebnisunsicherheitskomponenten ist eine ausreichende Anzahl von Laborproben. Dies ist üblicherweise gegeben, wenn Flächen > 10 Hektar untersucht werden. Hinsichtlich der Laborproben wird angenommen, dass es sich um jeweils unabhängig voneinander genommene Einzel- oder Mischproben handelt; nicht zulässig ist dabei ein Verfahren, bei dem mehrere Laborproben auf der gleichen Mischprobe basieren.

Das hier vorgeschlagene Verfahren ermöglicht einerseits eine präzisere und in vielen Fällen auch weniger konservative Bestimmung der Unsicherheitskomponenten. Andererseits können die Ergebnisse auch genutzt werden, um den Gesamtmittelwert aller Laborproben genauer zu bestimmen, so dass sich die Ergebnisunsicherheit reduziert.

3.5.3.2 Experimentelles Design

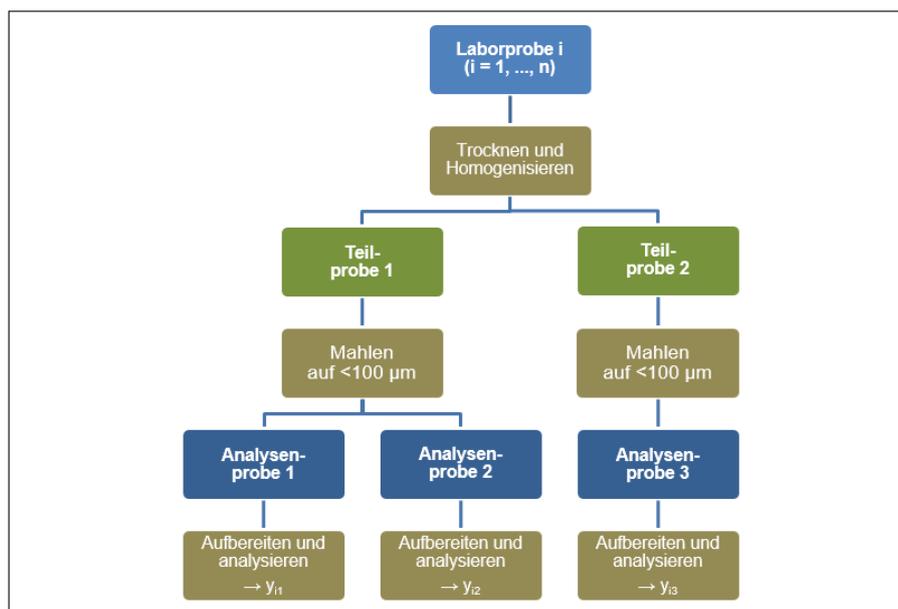
Ausgangspunkt ist die Analyse von n Laborproben. Die Analyse der n Laborproben erfolgt parallel, aber separat, wobei die Verfahren der Probenvorbehandlung, Probenaufbereitung und Bestimmung die gleichen sein müssen.

Es empfiehlt sich folgendes Vorgehen:

- Die Laborprobe wird getrocknet.
- Die Laborprobe wird homogenisiert.
- Die getrocknete und homogenisierte Probe wird in zwei Teilproben geteilt.
- Beide Teilproben werden getrennt voneinander komplett auf kleiner 100 μm vermahlen.
- Aus einer vermahlenden Teilprobe werden zwei Analysenproben entnommen.
- Aus der zweiten vermahlenden Teilprobe wird eine Analysenprobe entnommen.
- Die stofflichen Eigenschaften der insgesamt drei Analysenproben werden bestimmt.

Das Vorgehen ist in Abbildung 3 ergänzend in einem Ablaufplan veranschaulicht.

Abbildung 3: Versuchsplan zur Ermittlung der zufälligen Abweichungen des Analysenverfahrens, der Fundamentalvariabilität und der räumlichen Heterogenität.



3.5.3.3 Ermittlung der zufälligen Abweichungen des Analysenverfahrens, der Fundamentalvariabilität und der räumlichen Heterogenität

Dieses Vorgehen führt – für einen Stoff – zu insgesamt $(3 \cdot n)$ Untersuchungsergebnissen. Aus diesen Ergebnissen lassen sich die zufälligen Abweichungen des Analysenverfahrens, die Fundamentalvariabilität und die räumliche Heterogenität berechnen. Die Anzahl n untersuchter Laborproben sollte mindestens 6 sein.

Die Standardabweichung zur Beschreibung der zufälligen Abweichungen des Analysenverfahrens (s_r) ergibt sich aus den Abweichungen der Doppelbestimmung der doppelt analysierten Teilprobe (Formel 1):

$$s_r = \sqrt{\left(\frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n (y_{i1} - y_{i2})^2\right)} \quad \text{(Formel 1)}$$

Die Fundamentalvariabilität (s_f) resultiert aus den Abweichungen zwischen dem Mittelwert der Analysenprobe 1 und 2 und dem Bestimmungsergebnis der Analysenprobe abzüglich der zufälligen Abweichungen des Analysenverfahrens (s_r) (Formel 2):

$$s_f = \sqrt{\left(\frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{y_{i1} + y_{i2}}{2} - y_{i3}\right)^2\right) - \frac{3}{4} \cdot s_r^2} \quad \text{(Formel 2)}$$

Wenn s_f^2 negativ sein sollte, wird s_f^2 auf 0 gesetzt.

Die räumliche Heterogenität (s_h) resultiert aus den Gesamtmittelwerten der Laborprobe (\bar{y}_i) abzüglich der Fundamentalvariabilität (s_f) und den zufälligen Abweichungen des Analysenverfahrens (s_r) (Formel 3):

$$s_h = \sqrt{\frac{1}{n-1} \left(\sum_{i=1}^n (\bar{y}_i)^2\right) - \frac{n}{n-1} (\bar{y})^2 - \frac{5}{9} \cdot s_f^2 - \frac{1}{3} \cdot s_r^2} \quad \text{(Formel 3)}$$

mit $\bar{y}_i = \frac{y_{i1} + y_{i2} + y_{i3}}{3}$ und $\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \bar{y}_i$

Wenn s_h^2 negativ sein sollte, wird s_h^2 auf 0 gesetzt.

3.5.3.4 Informationen über die Unsicherheit des Probennahmeverfahrens und die systematischen Abweichungen des Analysenverfahrens

Die Unsicherheit des Probennahmeverfahrens und die systematischen Abweichungen des Analysenverfahrens können mittels Ringversuchen bestimmt werden. Jedoch sind Informationen hierzu erfahrungsgemäß nur sehr spärlich vorhanden. Die systematischen Abweichungen des Analysenverfahrens lassen sich letztendlich nur durch Vergleich mit Referenzproben ermitteln, die in der Regel jedoch kaum verfügbar sind. Näherungsweise kann auch auf Basis der Horwitzfunktion eine Abschätzung der systematischen Abweichungen des Analysenverfahrens (Labor-Bias) erfolgen. Unter Anwendung der Horwitzfunktion lässt sich der Labor-Bias durch 0,866 x Horwitzstandardabweichung abschätzen.

An dieser Stelle wird vereinfachend angenommen, dass Informationen zu zufälligen und systematischen Abweichungen des Probennahmeverfahrens sowie zu systematischen Abweichungen des Analysenverfahrens aus Ringversuchen verfügbar sind.

Der Fachbeirat für Bodenuntersuchungen stellt Informationen zu zufälligen und systematischen Abweichungen des Probennahmeverfahrens und des Analysenverfahrens bereit.

3.5.3.5 Ermittlung des Ergebnisunsicherheitsbereiches

Mit den Standardabweichungen s_{pz} und s_{ps} für die durch die Probennahme induzierten zufälligen und systematischen Abweichungen und s_L für die systematischen Abweichungen des Analysenverfahrens berechnet sich der Ergebnisunsicherheitsbereich (U) zu (Formel 4):

$$U = \bar{y} \pm t_{n-1;1-\frac{\alpha}{2}} \cdot \sqrt{\frac{s_h^2 + \frac{1}{2} s_f^2 + \frac{1}{4} s_r^2 + s_{pz}^2}{n} + s_{ps}^2 + s_L^2} \quad (\text{Formel 4})$$

Die Werte für die Standardabweichungen s_{pz} , s_{ps} und s_L können im Rahmen von Ringversuchen ermittelt werden und werden in der Regel vom FBU bereitgestellt.

Für Zahlenwerte von $t_{n-1;1-\alpha/2}$ siehe Tabelle 3.

Tabelle 3: Quantile $t_{n-1;1-\alpha/2}$ der t-Verteilung.

Anzahl Laborproben n	Signifikanzniveau α		
	10 %	5 %	1 %
4	2,353	3,182	5,841
5	2,132	2,776	4,604
6	2,015	2,571	4,032
7	1,943	2,447	3,707
8	1,895	2,365	3,499
9	1,860	2,306	3,355
10	1,833	2,262	3,250
11	1,812	2,228	3,169
12	1,796	2,201	3,106
13	1,782	2,179	3,055
14	1,771	2,160	3,012
15	1,761	2,145	2,977
16	1,753	2,131	2,947
17	1,746	2,120	2,921
18	1,740	2,110	2,898
19	1,734	2,101	2,878
20	1,729	2,093	2,861
21	1,725	2,086	2,845
22	1,721	2,080	2,831
23	1,717	2,074	2,819
24	1,714	2,069	2,807
25	1,711	2,064	2,797
26	1,708	2,060	2,787
27	1,706	2,056	2,779
28	1,703	2,052	2,771

Anzahl Laborproben n	Signifikanzniveau α		
	10 %	5 %	1 %
29	1,701	2,048	2,763
30	1,699	2,045	2,756
40	1,685	2,023	2,708
50	1,677	2,010	2,680
60	1,671	2,001	2,662
> 60	1,671	2,000	2,660

Ein Zahlenbeispiel soll die Berechnungsgrundlagen der Ergebnisunsicherheit anschaulicher machen. Von einer Verdachtsfläche wurden 12 Einzelproben entnommen und zur Untersuchung dem Analysenlabor übergeben. Dem oberen Vorgehen folgend ergaben sich 36 Analysenergebnisse (Tabelle 4).

Tabelle 4: Analysenergebnisse.

Laborprobe	Analysenergebnis [in mg/kg]		
	Analysenprobe 1: y_{i1}	Analysenprobe 2: y_{i2}	Analysenprobe 3: y_{i3}
1	4,06	4,04	4,67
2	4,11	4,76	5,88
3	2,64	4,89	2,80
4	3,83	2,99	3,87
5	4,83	3,66	5,39
6	4,86	3,90	3,29
7	4,92	5,47	3,32
8	4,13	3,24	3,91
9	4,45	2,98	3,98
10	4,60	5,08	3,36
11	2,11	2,93	3,31
12	4,50	3,72	2,87

Zunächst wird der Gesamtmittelwert jeder Laborprobe (\bar{y}_i) und der Gesamtmittelwert über alle Laborproben \bar{y} ermittelt. Anschließend werden folgende Hilfsgrößen ermittelt, welche zur Berechnung der Unsicherheitskomponenten benötigt werden:

Quadrat des Gesamtmittelwertes jeder Laborprobe: $(\bar{y}_i)^2$

quadratische Abweichung der Doppelbestimmung der Teilprobe 1 $(y_{i1} - y_{i2})^2$,

Mittelwert der Doppelbestimmung der Teilprobe 1 $\left(\frac{y_{i1}+y_{i2}}{2}\right)$ und

quadratische Abweichung zwischen dem Mittelwert der Doppelbestimmung der Teilprobe 1 und der Einzelbestimmung der Teilprobe 2: $\left(\frac{y_{i1}+y_{i2}}{2} - y_{i3}\right)^2$.

Für jede Hilfsgröße wird zudem die Summe über alle Laborproben berechnet. Die Ergebnisse sind Tabelle 5 zu entnehmen.

Tabelle 5: Zwischenergebnisse der Berechnungen.

Laborprobe	y_{i1}	y_{i2}	y_{i3}	Mittelwert \bar{y}_i	$(\bar{y}_i)^2$	$(y_{i1} - y_{i2})^2$	$\left(\frac{y_{i1} + y_{i2}}{2}\right)$	$\left(\frac{y_{i1} + y_{i2}}{2} - y_{i3}\right)^2$
1	4,06	4,04	4,67	4,257	18,119	0,000	4,050	0,384
2	4,11	4,76	5,88	4,917	24,174	0,422	4,435	2,088
3	2,64	4,89	2,80	3,443	11,857	5,063	3,765	0,931
4	3,83	2,99	3,87	3,563	12,697	0,706	3,410	0,212
5	4,83	3,66	5,39	4,627	21,406	1,369	4,245	1,311
6	4,86	3,90	3,29	4,017	16,134	0,922	4,380	1,188
7	4,92	5,47	3,32	4,570	20,885	0,303	5,195	3,516
8	4,13	3,24	3,91	3,760	14,138	0,792	3,685	0,051
9	4,45	2,98	3,98	3,803	14,465	2,161	3,715	0,070
10	4,60	5,08	3,36	4,347	18,894	0,230	4,840	2,190
11	2,11	2,93	3,31	2,783	7,747	0,672	2,520	0,624
Gesamtmittelwert \bar{y}				3,982				
Summe:					194,180	13,248	48,350	14,103

Der Übersichtlichkeit wegen ist auf die Einheit mg/kg verzichtet worden.

Aus den berechneten Hilfsgrößen ergeben sich nach Einsetzen in die Berechnungsformeln folgende Ergebnisse:

$$s_r = \sqrt{\left(\frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n (y_{i1} - y_{i2})^2\right)} = \sqrt{\frac{1}{24} \cdot 13,248} = \sqrt{0,552} = 0,743$$

$$s_f = \sqrt{\left(\frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{y_{i1} + y_{i2}}{2} - y_{i3}\right)^2\right) - \frac{3}{4} \cdot s_r^2} = \sqrt{\frac{1}{24} \cdot 14,103 - \frac{3}{4} \cdot 0,743^2} = \sqrt{0,174} = 0,417,$$

$$s_h = \sqrt{\frac{1}{n-1} \left(\sum_{i=1}^n (\bar{y}_i)^2\right) - \frac{n}{n-1} (\bar{y})^2 - \frac{5}{9} \cdot s_f^2 - \frac{1}{3} \cdot s_r^2} = \sqrt{\frac{1}{11} \cdot 194,18 - \frac{12}{11} \cdot 3,982^2 - \frac{5}{9} \cdot 0,417^2 - \frac{1}{3} \cdot 0,743^2} = \sqrt{0,075} = 0,274$$

Angenommen der FBU gibt folgende Werte an:

- ▶ zufällige Abweichungen des verwendeten Probennahmeverfahrens: 6 %,
- ▶ systematische Abweichungen des verwendeten Probennahmeverfahrens: 8 %
- ▶ systematische Abweichungen des verwendeten Analysenverfahrens: 5 %.

Dann folgt daraus, dass

$$s_{pz} = 0,06 \cdot \bar{y} = 0,06 \cdot 3,982 = 0,199,$$

$$s_{ps} = 0,08 \cdot \bar{y} = 0,08 \cdot 3,982 = 0,319,$$

$$s_L = 0.15 \cdot \bar{y} = 0.15 \cdot 3,982 = 0,597.$$

Entsprechend der Formel für den Ergebnisunsicherheitsbereich U resultiert

$$\begin{aligned} U &= \bar{y} \pm t_{n-1; 1-\frac{\alpha}{2}} \cdot \sqrt{\frac{s_h^2 + \frac{1}{2} \cdot s_f^2 + \frac{1}{4} \cdot s_r^2 + s_{pz}^2}{n} + s_{ps}^2 + s_L^2} \\ &= 3,982 \pm 2,201 \cdot \sqrt{\frac{0,274^2 + \frac{1}{2} \cdot 0,417^2 + \frac{1}{4} \cdot 0,743^2 + 0,199^2}{n} + 0,319^2 + 0,597^2} \\ &= 3,982 \pm 2,201 \cdot \sqrt{0,488} = 3,982 \pm 1,537 = [2,444; 5,519] \end{aligned}$$

Der t-Wert von 2,201 resultiert aus Tabelle 3 für 12 Laborproben und einem angenommenen Signifikanzniveau von 5 %.

Es ist darauf hinzuweisen, dass die angegebene Formel für den Ergebnisunsicherheitsbereich nur Näherungscharakter hat; der tatsächliche Ergebnisunsicherheitsbereich ist insbesondere bei hohen relativen Unsicherheiten asymmetrisch. Vernachlässigbar ist die Asymmetrie nur dann, wenn die Unsicherheit (hier 1,537) relativ zum Mittelwert $\bar{y} = 3,982$ unter 40 % liegt. In diesem Beispiel gilt $1,537/3,982 = 0,386 < 0,4$, d.h. die Asymmetrie braucht in diesem Falle noch nicht berücksichtigt werden. Hierzu wäre ein entsprechendes Computerprogramm oder Webservice erforderlich.

4 Umgang mit der Ergebnisunsicherheit bei der Bewertung von Messwerten im Rahmen der Untersuchung (§ 12, § 13 BBodSchV)

4.1 Wann gelten Prüf- oder Maßnahmenwerte als überschritten?

Die Bewertung einer Verdachtsfläche hat nach BBodSchV unter Beachtung der Gegebenheiten des Einzelfalls zu erfolgen. Prüf- und Maßnahmenwerte sind dabei wichtige Indizien, die zur Entscheidung beitragen, ob weitere Untersuchungen oder ggf. Gefahrenabwehrmaßnahmen erforderlich sind. Werden vom Pflichtigen (z. B. Verursacher oder Eigentümer) wegen der Überschreitung von Prüf- oder Maßnahmenwerten weitere Untersuchungen oder Sanierungsmaßnahmen verlangt, so muss diese Überschreitung sicher sein (s. o., 2.4 bis 2.6). Das Ziel besteht darin, diesen Nachweis statistisch abgesichert vorzunehmen. Ein Untersuchungsergebnis gilt als positiv, wenn der Ergebnisunsicherheitsbereich den Prüf-/Maßnahmenwert vollständig überschreitet. Auch wenn dies nicht der Fall ist, kann die Obergrenze des Ergebnisunsicherheitsbereiches den Prüf-/Maßnahmenwert erheblich überschreiten. Entschieden werden kann die Erheblichkeit nur im Einzelfall. Wenn sie jedoch gegeben ist, können weitere Untersuchungen oder Sanierungs-, Schutz- oder Beschränkungsmaßnahmen erforderlich sein.

4.2 Wann sollten Einzelwerte und wann sollten Mittelwerte für die Bewertung herangezogen werden?

Ob Mittelwerte oder Einzelwerte betrachtet werden, oder ob beide Größen zur Bewertung herangezogen werden, ist vom Einzelfall abhängig.

Grundsätzlich können jedoch folgende Empfehlungen gegeben werden:

Jegliche Bewertung bezieht sich immer auf eine Teilfläche, die entsprechend den Anforderungen (s. o. 2.2.1 und 2.5) gebildet worden ist. Ob die Messwerte überhaupt etwas aussagen, hängt ganz entscheidend von einem sachgerechten Flächenzuschnitt ab.

Mittelwerte sollten betrachtet werden,

- ▶ wenn die gesamte Schadstoffmenge abgeschätzt werden soll (unter der Voraussetzung homogener Einzelwerte) oder
- ▶ wenn deutliche Unterschiede zwischen den Einzelwerten bestehen und die Unsicherheit durch Mittelwertbildung reduziert werden soll.

Die Abschätzung der Schadstoffmenge ist insbesondere für die Detailuntersuchung von Relevanz. Die Reduzierung der Unsicherheit durch Mittelwertbildung ist sowohl für die orientierende als auch die Detailuntersuchung von Bedeutung.

Eine Mittelwertbildung ist nicht zu empfehlen:

- ▶ wenn innerhalb der Teilfläche ein Hotspot vorliegt oder
- ▶ wenn innerhalb der Teilfläche Bereiche mit deutlich unterschiedlichen Gehalten identifiziert werden können.

In solchen Fällen sind Mittelwerte für diese Bereiche oder Hotspots jeweils separat zu betrachten.

Statistische Ausreißer dürfen nur in Ausnahmefällen aus dem Datensatz entfernt werden und auch nur dann, wenn ein begründeter Verdacht besteht, dass während der Messung Unregelmäßigkeiten aufgetreten sind, die das Ergebnis verfälscht haben können. Messwerte dürfen jedoch nicht in die Bewertung oder die Mittelwertbildung eingehen, wenn offensichtliche Fehler gemacht wurden (z. B. während der Probennahme).

4.3 Anwendungsbereich in Bezug auf das Bodenmaterial

Nach BBodSchV-E (Mai 2017, § 19 Abs. 8) erfolgt, falls nach Expositionsszenario erforderlich, eine Auftrennung des Bodenmaterials in einen Grob- und Feinanteil (Feinanteil: ≤ 2 mm Korndurchmesser; Grobanteil > 2 mm Korndurchmesser) oder eine weitere Abtrennung der Staubfraktion ($\leq 0,063$ mm). Der Feinanteil wird üblicherweise der Laboruntersuchung zugeführt. Besteht jedoch der Anhaltspunkt, dass im Grobanteil oder ggfs. im Fremdmaterial (> 2 mm) ein erhöhter Schadstoffgehalt vorliegt, dann ist dieser Anteil gesondert der Laboruntersuchung zuzuführen, sofern dies für die Gefährdungsabschätzung erforderlich ist.

Das in Kapitel 3.5.2 beschriebene Konzept eines Webservice (Berechnungsprogramm) zur Ermittlung der Ergebnisunsicherheit berücksichtigt zum jetzigen Zeitpunkt nur den Fall, dass der Feinanteil der Laboruntersuchung zugeführt wird.

Weiterhin sei an dieser Stelle nochmals angemerkt, dass sich das hier vorgestellte Vorgehen zum Umgang mit der Ergebnisunsicherheit bei der Bewertung von Bodenanalysen nur auf die Wirkungspfade Boden-Mensch und Boden-Pflanze bezieht.

4.4 Zugrundeliegende Modellvorstellung

Die statistische Betrachtung der in Abschnitt 3.4.4 vorgestellten Ergebnisunsicherheitskomponenten verlangt eine räumliche Diskretisierung. Dazu werden als einfachstes Modell körnige Merkmalsträger angenommen, die die zu bestimmenden Merkmale, also etwa einen bestimmten Stoff beinhalten und damit das Messergebnis der Probe prägen. Neben den Bedingungen, ob die Merkmalsträger gleiche oder unterschiedlich Merkmalswerte aufweisen, ob alle oder nur einige der Partikel die Merkmale tragen, oder ob die zu bestimmenden Stoffe gar an Fremdpartikel gebunden sind, die in eine Bodenmatrix eingestreut vorkommen, spielt für die statistische Betrachtung vor allem die Größe der Partikel eine entscheidende Rolle (siehe auch Abschnitt Fundamentalvariabilität).

Allerdings ist es für die statistische Berechnung im Prinzip gleichgültig, ob die Merkmale an Partikel gebunden sind oder beispielsweise als Flüssigkeit in Porenräumen zwischen den Partikeln liegen. Entscheidend ist die Dimension der räumlichen Elemente (Partikel oder Zwischenräume oder Abschnitte davon), die in sich eine einheitliche quantifizierbare Merkmalsausprägung (z. B. Stoffgehalt) aufweisen und sich dadurch möglicherweise von ihren Nachbarn unterscheiden.

Das erweiterte statistische Modell vereinfacht die Realität also dahingehend, dass sie sich durch diese Raum- oder Volumenelemente einer bestimmten Dimension (in Würfelform abstrahiert) abbilden lässt.

4.5 Orientierende Untersuchung

4.5.1 Überschreitung von Prüfwerten und Maßnahmenwerten

4.5.1.1 Ergebnisunsicherheitsbereich

Damit die Überschreitung eines Prüfwertes / Maßnahmenwertes als hinreichend nachgewiesen gelten kann, muss der Ergebnisunsicherheitsbereich für das Untersuchungsergebnis vollständig oberhalb des Prüfwertes / Maßnahmenwertes liegen. Die Ergebnisunsicherheit muss bei jeder Untersuchung dokumentiert werden. Wenn der Ergebnisunsicherheitsbereich für das Untersuchungsergebnis unterhalb des Prüfwertes / Maßnahmenwertes liegt, gilt der Prüfwert / Maßnahmenwert als unterschritten. Wenn jedoch der Prüfwert / Maßnahmenwert innerhalb des Ergebnisunsicherheitsbereichs liegt, erlaubt das Untersuchungsergebnis keine abgesicherte Bewertung.

Verschiedene Optionen zum weiteren Vorgehen werden in Kapitel 4.5.2 aufgezeigt.

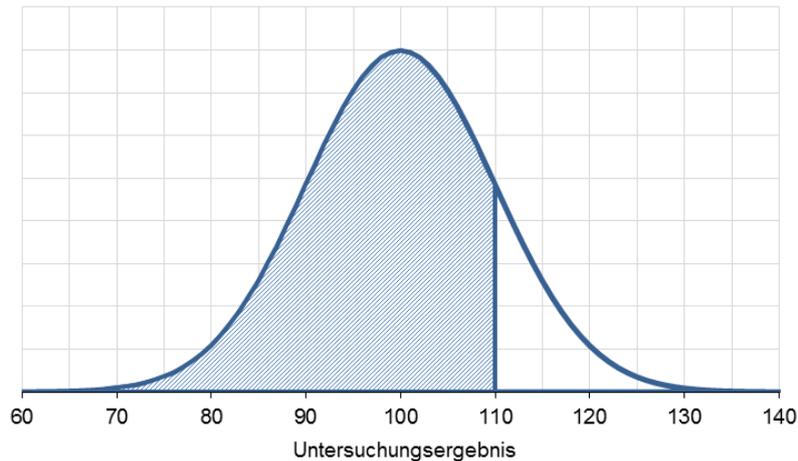
4.5.1.2 Indizienkraft

Weil jede Bewertung im Hinblick auf eine Prüfwert- bzw. Maßnahmenwertüberschreitung einer Unsicherheit unterliegt, bietet es sich an, diese Unsicherheit ergänzend anhand der sogenannten „Indizienkraft“ für eine Überschreitung des Prüfwertes / Maßnahmenwertes zu beschreiben. Diese Indizienkraft ergibt sich daraus, wie plausibel das Untersuchungsergebnis unter der Annahme ist, dass der wahre Gehalt des Bodens einer Verdachtsfläche unter dem Prüfwert / Maßnahmenwert liegt:

- ▶ Ist das Untersuchungsergebnis weit unterhalb des Prüfwertes / Maßnahmenwertes, besteht kein Grund für die Annahme, dass der Prüfwert / Maßnahmenwert überschritten ist. In diesem Falle liegt die Indizienkraft bei 0.
- ▶ Ist das Untersuchungsergebnis weit oberhalb des Prüfwertes / Maßnahmenwertes, spricht alles dafür, dass der Prüfwert / Maßnahmenwert überschritten ist. Nach menschlichem Ermessen ist es in einem solchen Fall ausgeschlossen, dass der Prüfwert / Maßnahmenwert nicht überschritten ist. In diesem Falle liegt die Indizienkraft bei 1.
- ▶ Berührt die Untergrenze des Ergebnisunsicherheitsbereiches den Prüfwert / Maßnahmenwert, liegt die Indizienkraft bei 0,95.

Bestimmen lässt sich die Indizienkraft wie folgt: Sie entspricht der Wahrscheinlichkeit für das tatsächlich gemessene Untersuchungsergebnis unter der hypothetischen Annahme, dass der Prüfwert / Maßnahmenwert im zu untersuchenden Boden einer Verdachtsfläche in Wirklichkeit nicht überschritten wurde. Grafisch darstellen lässt sich diese Wahrscheinlichkeit wie in Abbildung 4 gezeigt. In der Abbildung wird unterstellt, dass der Prüfwert / Maßnahmenwert mit einer rel. Standardabweichung von 10% schwankt.

Abbildung 4: Statistische Verteilung hypothetischer Untersuchungsergebnisse unter der Annahme, dass der wahre Gehalt der Verdachtsfläche beim Prüfwert 100 liegt und die relative Standardabweichung 10% beträgt. Das tatsächliche Untersuchungsergebnis liegt bei 110, und der schraffierte Bereich entspricht der Indizienkraft, d.h. der Wahrscheinlichkeit, dass das Untersuchungsergebnis nicht überschritten wird. In diesem Beispiel liegt diese Wahrscheinlichkeit bei 0,84.



Eine Indizienkraft in Höhe von 0,84 kann - für sich genommen - noch nicht als zwingend angesehen werden, d. h. bei diesem Wert kann noch nicht gefolgert werden, dass der Prüfwert / Maßnahmenwert überschritten ist. Hierzu wäre eine Indizienkraft von 0,95 erforderlich. Eine Indizienkraft von 0,95 bedeutet, dass der Ergebnisunsicherheitsbereich für das Untersuchungsergebnis vollständig oberhalb des Prüfwertes / Maßnahmenwertes liegt.

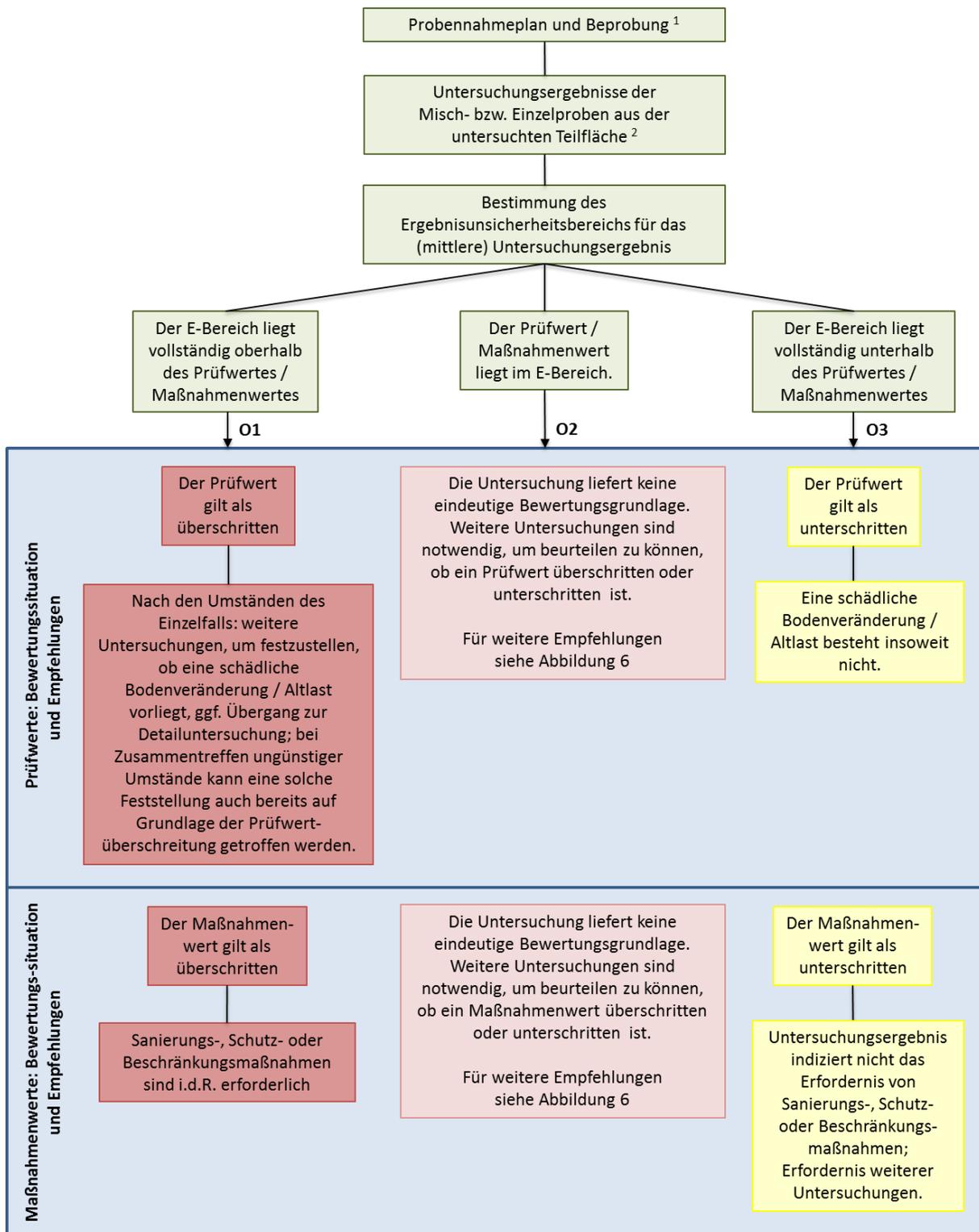
4.5.2 Ablauf bei orientierenden Untersuchungen

Der Ablauf bei der Bewertung des Untersuchungsergebnisses bzgl. einer Prüfwert- oder Maßnahmenwertüberschreitung oder -unterschreitung – auf Basis des Ergebnisunsicherheitsbereiches – ist in Abbildung 5 dargestellt.

Liegt der Ergebnisunsicherheitsbereich vollständig oberhalb des Prüfwertes / Maßnahmenwertes, dann gilt der Prüfwert / Maßnahmenwert als überschritten.

Im Fall einer Prüfwertüberschreitung sind nach den Umständen des Einzelfalls weitere Untersuchungen durchzuführen, um festzustellen, ob eine schädliche Bodenveränderung / Altlast vorliegt. Dies kann gegebenenfalls im Rahmen der Detailuntersuchung erfolgen. Jedoch kann im Einzelfall beim Zusammentreffen ungünstiger Umstände auch bereits auf der Grundlage der Prüfwertüberschreitung die Feststellung einer schädlichen Bodenveränderung getroffen werden. Im Fall einer Maßnahmenwertüberschreitung sind Sanierungs-, Schutz- oder Beschränkungsmaßnahmen erforderlich, denen zuvor noch eine Detailuntersuchung vorangehen kann.

Abbildung 5: Ablaufdiagramm bei orientierenden Untersuchungen.



1 Für die Probennahmeplanung und die Beprobung gelten die Anforderungen aus der BBodSchV bzw. der BBodSchV-E (Mai 2017) nebst zugehörigen technischen Regeln.

2 Es ist anhand der Fragestellung des Einzelfalls zu entscheiden, welche Untersuchungsergebnisse für die Bewertung einer Prüfwert- bzw. Maßnahmenwertüberschreitung herangezogen werden. Es sind die Anforderungen der BBodSchV bzw. der BBodSchV-E (Mai 2017) zu beachten.

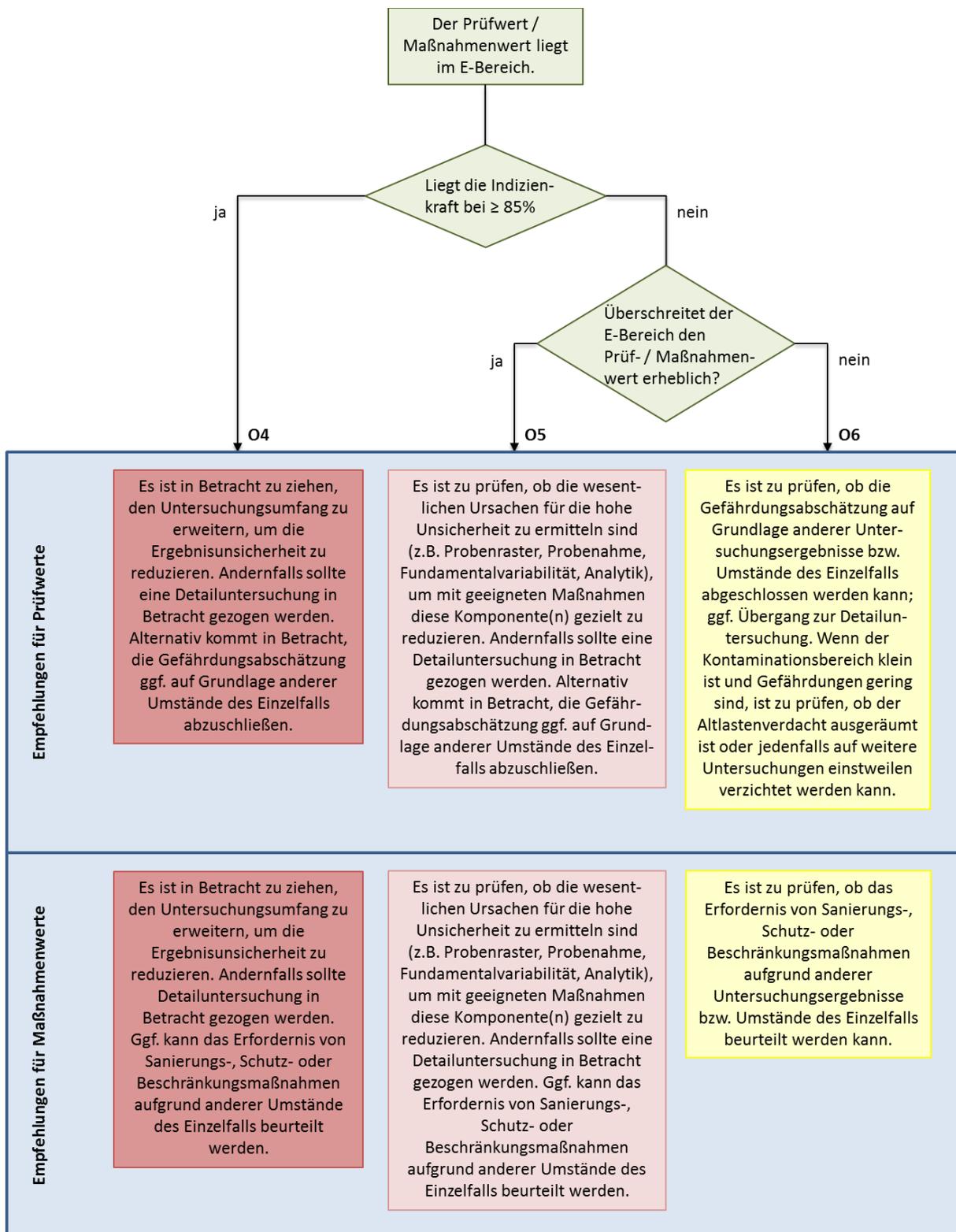
Wenn der Ergebnisunsicherheitsbereich vollständig unterhalb des Prüfwertes / Maßnahmenwertes liegt, dann ist der Prüfwert / Maßnahmenwert unterschritten. Im Fall von Prüfwerten spricht dies in der Regel gegen das Vorliegen einer schädlichen Bodenveränderung / Altlast, und im Fall von Maßnahmenwerten ist dies eine Hinweis, dass in der Regel keine Sanierungs-, Schutz- oder Beschränkungsmaßnahmen erforderlich sind.

Sofern der Prüfwert / Maßnahmenwert im Ergebnisunsicherheitsbereich liegt, erlaubt das Untersuchungsergebnis keine eindeutigen Schlussfolgerungen. Für diesen Fall bieten sich verschiedene Optionen zum weiteren Vorgehen an (Abbildung 6). Es ist festzuhalten, dass diese Optionen nur empfehlenden Charakter haben und im Einzelfall zu entscheiden ist, ob und in welchem Umfang weitere Untersuchungen durchgeführt werden oder ob Entscheidungen auf anderer Grundlage getroffen werden müssen.

Sowohl für Prüf- als auch Maßnahmenwerte empfehlen sich zusätzliche, ergänzende Untersuchungen, wenn die Indizienkraft bereits sehr hoch ist, also bei mindestens ca. 85 % liegt. In diesem Fall kann bei Einzelwerten eine Zweitbeprobung (eine weitere Mischprobe) mehr Klarheit bringen. Um bei Mittelwerten aus mehreren Analysenergebnissen die Ergebnisunsicherheit spürbar zu reduzieren, empfiehlt sich die Durchführung einer weiteren Bodenuntersuchung mit vergleichbarem Untersuchungsumfang. Diese weiterführenden Untersuchungen könnten beispielweise im Rahmen einer Detailuntersuchung durchgeführt werden.

Wenn die Indizienkraft geringer als 85 % ausfällt und wenn der Ergebnisunsicherheitsbereich den Prüfwert / Maßnahmenwert erheblich überschreitet, besteht ein beträchtliches Risiko einer starken Prüfwert- bzw. Maßnahmenwertüberschreitung. In diesen Fall wird eine einfache Erweiterung des Untersuchungsumfangs in vielen Fällen nicht genügen, um den Ergebnisunsicherheitsbereich spürbar zu verkleinern. Daher sollten gegebenenfalls die wesentlichen Ursachen für die hohe Unsicherheit ermittelt werden (z. B. Probenraster, Probenahme, Fundamentalvariabilität, Analytik), um mit geeigneten Maßnahmen diese Komponente(n) gegebenenfalls gezielt zu reduzieren. So könnte beispielsweise bei Vorhandensein einer großen räumlichen Heterogenität eine gegebenenfalls geeignetere Aufteilung in Teilflächen erfolgen, bevor weitere Proben genommen werden. Alternativ könnte die Probennahme insofern angepasst werden, dass die Anzahl der Einstiche beispielweise erhöht wird oder das Volumen der Laborprobe vergrößert wird. Falls die analytische Unsicherheit verhältnismäßig groß ausfällt, dann könnten Anpassungen des Analysenverfahrens in Betracht gezogen werden. Bei besonders großer Fundamentalvariabilität bietet sich eine Vergrößerung der Probenvolumina, das Vermahlen der Probe oder die Optimierung der Einwaage an. Alternativ sollte eine Detailuntersuchung in Betracht gezogen werden.

Abbildung 6: Empfehlungen für weitere Untersuchungsmaßnahmen im Rahmen der orientierenden Untersuchung. Gezeigt ist der Fall, dass der Prüfwert bzw. Maßnahmenwert im Ergebnisunsicherheitsbereich liegt.



Die Erheblichkeit sollte anhand der Gegebenheiten des Einzelfalls bestimmt werden. Eine Möglichkeit besteht z. B. darin den k-fachen Prüfwert bzw. den k-fachen Maßnahmenwert heranzuziehen. Sofern der Ergebnisunsicherheitsbereich nicht vollständig unterhalb des k-fachen Prüfwertes / k-fachen Maßnahmenwertes liegt, besteht ein erhebliches Risiko einer starken Prüfwert- bzw. Maßnahmenwertüberschreitung. k beschreibt somit die Erheblichkeitsschwelle für eine Prüfwert- oder Maßnahmenwertüberschreitung. Typische k-Werte liegen im Bereich zwischen 2 und 5 und werden im Einzelfall festgelegt.

Wenn die Indizienkraft geringer als 85 % ausfällt und der Ergebnisunsicherheitsbereich den Prüfwert nicht erheblich überschreitet, dann könnte auch in Betracht gezogen werden, ob die Gefährdungsabschätzung gegebenenfalls auf Grundlage anderer Umstände des Einzelfalls abzuschließen ist. Andernfalls sollte eine Detailuntersuchung in Betracht gezogen werden. Für den Fall, dass der Kontaminationsbereich klein ist und Gefährdungen gering sind, wäre zu prüfen, ob der Altlastenverdacht ausgeräumt ist oder ob auf weitere Untersuchungen einstweilen verzichtet werden kann.

Wenn die Indizienkraft geringer als 85 % ausfällt und der Ergebnisunsicherheitsbereich den Maßnahmenwert nicht erheblich überschreitet, dann kann geprüft werden, ob das Erfordernis von Sanierungs-, Schutz- oder Beschränkungsmaßnahmen aufgrund anderer Untersuchungsergebnisse bzw. Gegebenheiten des Einzelfalls beurteilt werden kann.

Abbildung 7 bis Abbildung 9 sollen die drei Situationen bei der Bewertung eines Untersuchungsergebnisses bezüglich einer Prüfwert- bzw. Maßnahmenwertüberschreitung auf Basis des Ergebnisunsicherheitsbereiches ergänzend veranschaulichen.

Abbildung 7: Ergebnisunsicherheitsbereich des Untersuchungsergebnisses für den Fall, dass der Prüfwert bzw. der Maßnahmenwert unterschritten oder überschritten ist (orientierende Untersuchung). Die blauen Kurven markieren die untere und obere Grenze des Ergebnisunsicherheitsbereiches zum Niveau 90 % für ein Untersuchungsergebnis und die schwarze Kurve markiert den wahren Wert. PW – Prüfwert, MW – Maßnahmenwert.

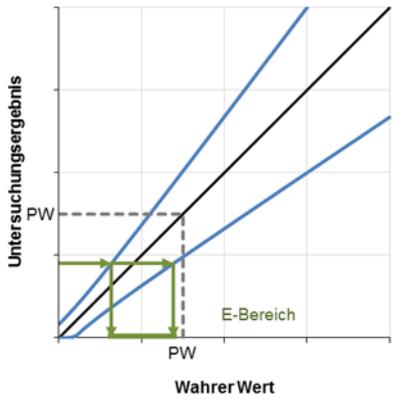
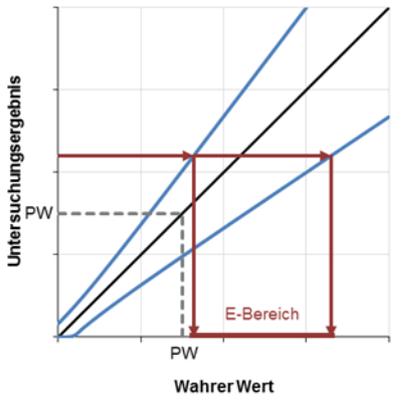
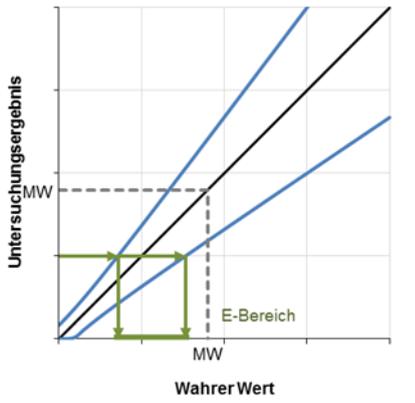
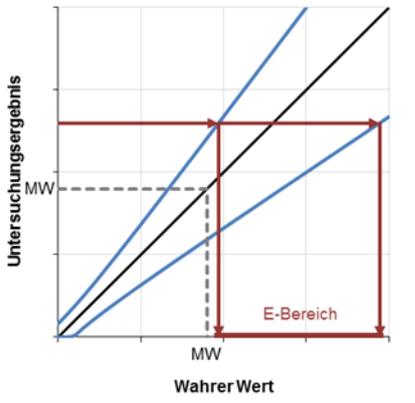
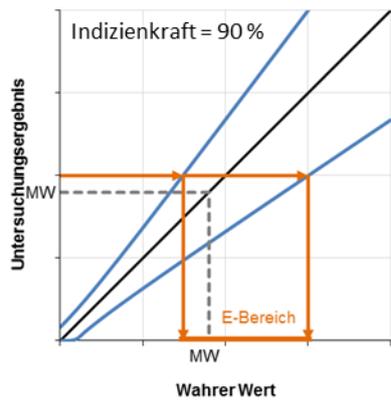
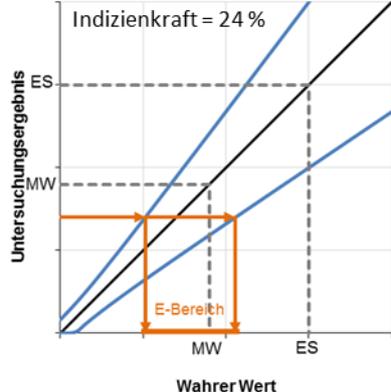
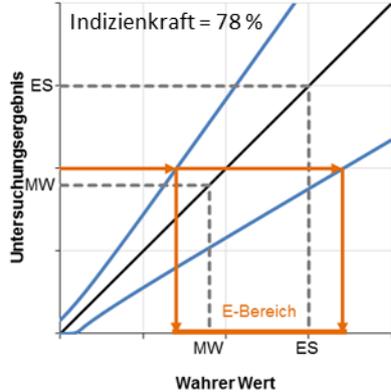
<p>Der Prüfwert gilt als unterschritten, da der Ergebnisunsicherheitsbereich des Untersuchungsergebnisses den Prüfwert vollständig unterschreitet.</p> <p>Eine schädliche Bodenveränderung / Altlast besteht insoweit nicht.</p>	<p>Der Prüfwert gilt als überschritten, da der Ergebnisunsicherheitsbereich des Untersuchungsergebnisses den Prüfwert vollständig überschreitet.</p> <p>Nach den Umständen des Einzelfalls: weitere Untersuchungen, um festzustellen, ob eine schädliche Bodenveränderung / Altlast vorliegt, ggf. Übergang zur Detailuntersuchung; bei Zusammentreffen ungünstiger Umstände kann eine solche Feststellung auch bereits auf Grundlage der Prüfwertüberschreitung getroffen werden.</p>
	
<p>Der Maßnahmenwert gilt als unterschritten, da der Ergebnisunsicherheitsbereich des Untersuchungsergebnisses den Maßnahmenwert vollständig unterschreitet.</p> <p>Untersuchungsergebnis indiziert nicht das Erfordernis von Sanierungs-, Schutz- oder Beschränkungsmaßnahmen; Erfordernis weiterer Untersuchungen.</p>	<p>Der Maßnahmenwert gilt als überschritten, da der Ergebnisunsicherheitsbereich des Untersuchungsergebnisses den Maßnahmenwert vollständig überschreitet.</p> <p>Sanierungs-, Schutz- oder Beschränkungsmaßnahmen sind i.d.R. erforderlich.</p>
	

Abbildung 8: Ergebnisunsicherheitsbereich des Untersuchungsergebnisses für den Fall, dass der Prüfwert im E-Bereich liegt und keine eindeutige Bewertung möglich ist (orientierende Untersuchung). Die blauen Kurven markieren die untere und obere Grenze des Ergebnisunsicherheitsbereiches zum Niveau 90 % für ein Untersuchungsergebnis und die schwarze Kurve markiert den wahren Wert. PW – Prüfwert, ES - Erheblichkeitsschwelle.

<p>Der Prüfwert liegt im E-Bereich. Die Untersuchung liefert keine eindeutige Bewertungsgrundlage. Weitere Untersuchungen sind notwendig, um beurteilen zu können, ob ein Prüfwert überschritten oder unterschritten ist.</p>	
<p>Die Indizienkraft liegt bei $\geq 85\%$.</p> <p>Es ist in Betracht zu ziehen, den Untersuchungsumfang zu erweitern, um die Ergebnisunsicherheit zu reduzieren. Andernfalls sollte Detailuntersuchung in Betracht gezogen werden. Alternativ kommt in Betracht, die Gefährdungsabschätzung ggf. auf Grundlage anderer Umstände des Einzelfalls abzuschließen.</p>	<p>Das Diagramm zeigt ein Koordinatensystem mit 'Untersuchungsergebnis' auf der y-Achse und 'Wahrer Wert' auf der x-Achse. Eine diagonale schwarze Linie stellt den wahren Wert dar. Zwei parallele blaue Linien markieren den Ergebnisunsicherheitsbereich. Ein horizontaler orangefarbener Balken bei der Höhe 'PW' (Prüfwert) schneidet diese Linien. Ein vertikaler orangefarbener Balken markiert den Bereich zwischen den Schnittpunkten, beschriftet als 'E-Bereich'. Die Indizienkraft ist mit 93 % angegeben.</p>
<p>Die Indizienkraft liegt bei $< 85\%$. Der E-Bereich überschreitet den Prüfwert nicht erheblich.</p> <p>Es ist zu prüfen, ob die Gefährdungsabschätzung auf Grundlage anderer Untersuchungsergebnisse bzw. Umstände des Einzelfalls abgeschlossen werden kann; ggf. Übergang zur Detailuntersuchung. Wenn der Kontaminationsbereich klein ist und Gefährdungen gering sind, ist zu prüfen, ob der Altlastenverdacht ausgeräumt ist oder jedenfalls auf weitere Untersuchungen einstweilen verzichtet werden kann.</p>	<p>Das Diagramm zeigt ein Koordinatensystem mit 'Untersuchungsergebnis' auf der y-Achse und 'Wahrer Wert' auf der x-Achse. Eine diagonale schwarze Linie stellt den wahren Wert dar. Zwei parallele blaue Linien markieren den Ergebnisunsicherheitsbereich. Ein horizontaler orangefarbener Balken bei der Höhe 'PW' (Prüfwert) schneidet diese Linien. Ein vertikaler orangefarbener Balken markiert den Bereich zwischen den Schnittpunkten, beschriftet als 'E-Bereich'. Die Indizienkraft ist mit 42 % angegeben. Eine gestrichelte vertikale Linie markiert die Erheblichkeitsschwelle 'ES'.</p>
<p>Die Indizienkraft liegt bei $< 85\%$. Der E-Bereich überschreitet den Prüfwert erheblich.</p> <p>Eine einfache Erweiterung des Untersuchungsumfangs wird in vielen Fällen nicht genügen, um den E-Bereich spürbar zu verkleinern. Daher sollten ggf. die wesentlichen Ursachen für die hohe Unsicherheit ermittelt werden (z.B. Probenraster, Probenahme, Fundamentalvariabilität, Analytik), um mit geeigneten Maßnahmen diese Komponente(n) ggf. gezielt zu reduzieren. Alternativ sollte eine Detailuntersuchung in Betracht gezogen werden.</p>	<p>Das Diagramm zeigt ein Koordinatensystem mit 'Untersuchungsergebnis' auf der y-Achse und 'Wahrer Wert' auf der x-Achse. Eine diagonale schwarze Linie stellt den wahren Wert dar. Zwei parallele blaue Linien markieren den Ergebnisunsicherheitsbereich. Ein horizontaler orangefarbener Balken bei der Höhe 'PW' (Prüfwert) schneidet diese Linien. Ein vertikaler orangefarbener Balken markiert den Bereich zwischen den Schnittpunkten, beschriftet als 'E-Bereich'. Die Indizienkraft ist mit 65 % angegeben. Eine gestrichelte vertikale Linie markiert die Erheblichkeitsschwelle 'ES'.</p>

Abbildung 9: Ergebnisunsicherheitsbereich des Untersuchungsergebnisses für den Fall, dass der Maßnahmenwert im E-Bereich liegt und keine eindeutige Bewertung möglich ist (orientierende Untersuchung). Die blauen Kurven markieren die untere und obere Grenze des Ergebnisunsicherheitsbereiches zum Niveau 90 % für ein Untersuchungsergebnis und die schwarze Kurve markiert den wahren Wert. MW – Maßnahmenwert, ES - Erheblichkeitschwelle.

<p>Der Maßnahmenwert liegt im E-Bereich. Die Untersuchung liefert keine eindeutige Bewertungsgrundlage. Weitere Untersuchungen sind notwendig, um beurteilen zu können, ob ein Maßnahmenwert überschritten oder unterschritten ist.</p>	<p>Die Indizienkraft liegt bei $\geq 85\%$.</p> <p>Es ist in Betracht zu ziehen, den Untersuchungsumfang zu erweitern, um die Ergebnisunsicherheit zu reduzieren. Andernfalls sollte Detailuntersuchung in Betracht gezogen werden. Ggf. kann das Erfordernis von Sanierungs-, Schutz- oder Beschränkungsmaßnahmen aufgrund anderer Umstände des Einzelfalls beurteilt werden.</p> 
<p>Die Indizienkraft liegt bei $< 85\%$. Der E-Bereich überschreitet den Maßnahmenwert nicht erheblich.</p> <p>Es ist zu prüfen, ob das Erfordernis von Sanierungs-, Schutz- oder Beschränkungsmaßnahmen aufgrund anderer Untersuchungsergebnisse bzw. Umstände des Einzelfalls beurteilt werden kann.</p>	<p>Die Indizienkraft liegt bei 24%.</p> 
<p>Die Indizienkraft liegt bei $< 85\%$. Der E-Bereich überschreitet den Maßnahmenwert erheblich.</p> <p>Eine einfache Erweiterung des Untersuchungsumfanges wird in vielen Fällen nicht genügen, um den E-Bereich spürbar zu verkleinern. Daher sollten ggf. die wesentlichen Ursachen für die hohe Unsicherheit ermittelt werden (z.B. Probenraster, Probenahme, Fundamentalvariabilität, Analytik), um mit geeigneten Maßnahmen diese Komponente(n) ggf. gezielt zu reduzieren. Alternativ sollte eine Detailuntersuchung in Betracht gezogen werden.</p>	<p>Die Indizienkraft liegt bei 78%.</p> 

4.6 Detailuntersuchung

Die Feststellung einer Prüfwert- bzw. Maßnahmenwertüberschreitung erfolgt nach den gleichen Prinzipien wie in Kapitel 4.5.1.

4.6.1 Überschreitung von Prüfwerten und Maßnahmenwerten

4.6.1.1 Ergebnisunsicherheitsbereich

Damit die Überschreitung eines Prüfwertes / Maßnahmenwertes als hinreichend nachgewiesen gelten kann, muss der Ergebnisunsicherheitsbereich für das Untersuchungsergebnis vollständig oberhalb des Prüfwertes / Maßnahmenwertes liegen. Wenn der Ergebnisunsicherheitsbereich für das Untersuchungsergebnis unterhalb des Prüfwertes / Maßnahmenwertes liegt, gilt der Prüfwert / Maßnahmenwert als unterschritten. Wenn der Prüfwert / Maßnahmenwert innerhalb des Ergebnisunsicherheitsbereichs liegt, erlaubt das Untersuchungsergebnis keine abgesicherte Bewertung.

Verschiedene Optionen zum weiteren Vorgehen werden in Kapitel 4.6.2 aufgezeigt.

4.6.1.2 Indizienkraft

Die Bewertung einer Prüfwert- bzw. Maßnahmenwertüberschreitung kann auch anhand der „Indizienkraft“ erfolgen. Diese Indizienkraft drückt dann aus, wie plausibel das Untersuchungsergebnis unter der Annahme ist, dass der wahre Kontaminationswert der Verdachtsfläche unter dem Prüfwert/ Maßnahmenwert liegt. Sie entspricht der Wahrscheinlichkeit für das tatsächlich gemessene Untersuchungsergebnis unter der hypothetischen Annahme, dass der Prüfwert / Maßnahmenwert auf der Verdachtsfläche in Wirklichkeit nicht überschritten wurde. Eine Indizienkraft von 0,95 bedeutet, dass der Ergebnisunsicherheitsbereich für das Untersuchungsergebnis vollständig oberhalb des Prüfwertes/ Maßnahmenwertes liegt: der Prüfwert / Maßnahmenwert gilt als überschritten.

4.6.2 Ablauf bei Detailuntersuchungen

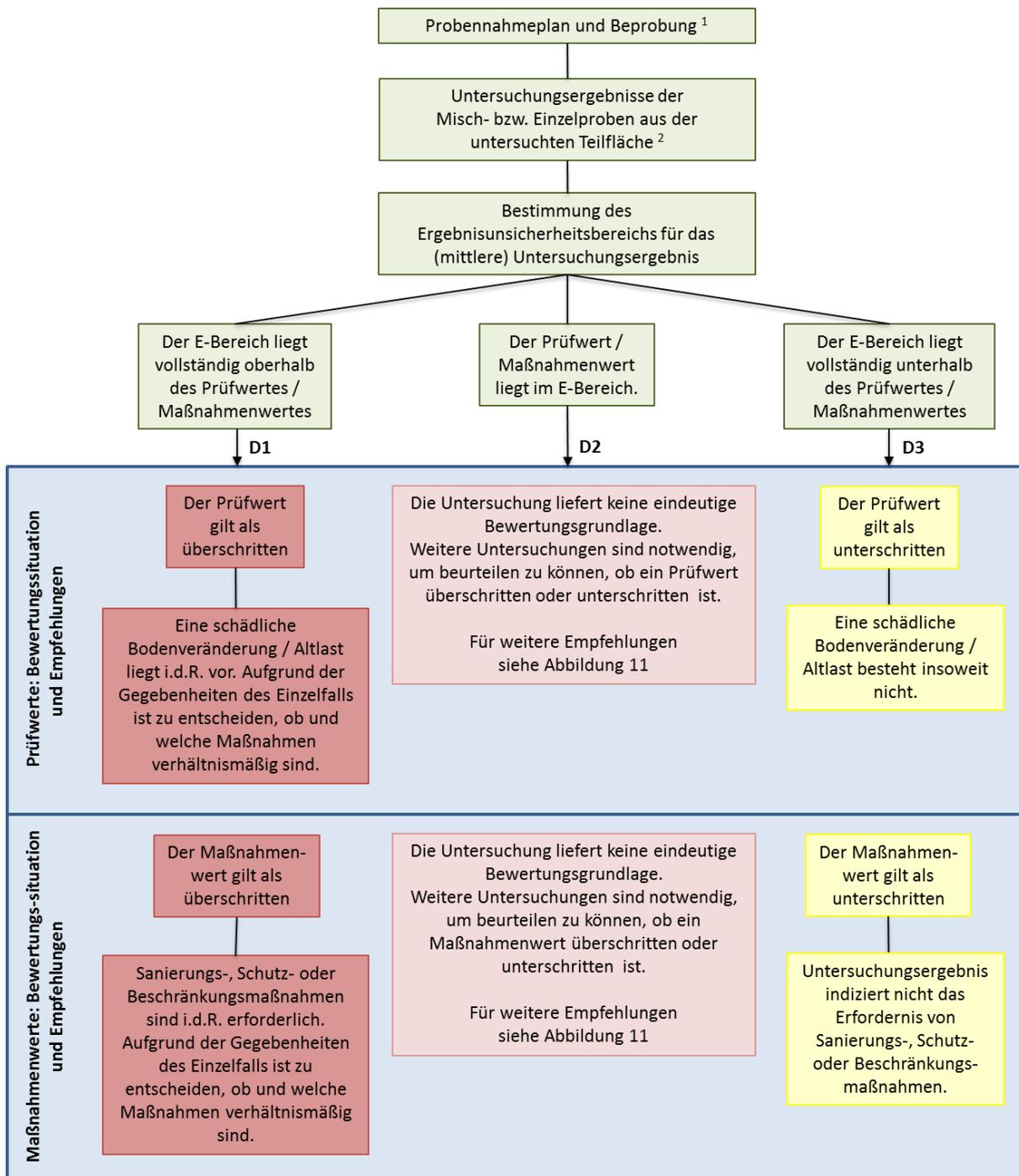
Der Ablauf bei der Bewertung des Untersuchungsergebnisses bzgl. einer Prüfwert- oder Maßnahmenwertüberschreitung oder -unterschreitung – auf Basis des Ergebnisunsicherheitsbereiches – ist in Abbildung 10 dargestellt.

Welche Untersuchungsergebnisse für die Bewertung herangezogen werden ist anhand der Fragestellungen des Einzelfalls zu entscheiden. Falls Messwerte auffällig heterogen sind, dann sollte in Betracht gezogen werden, ob das Untersuchungsgebiet in homogenere Teilbereiche gegliedert werden und für die Berechnung des Ergebnisunsicherheitsbereiches herangezogen werden kann. Es sind dabei die Anforderungen der BBodSchV zu beachten.

Der Prüfwert / Maßnahmenwert gilt als überschritten, wenn der Ergebnisunsicherheitsbereich vollständig oberhalb des Prüfwertes / Maßnahmenwertes liegt. Eine Prüfwertüberschreitung stellt in der Regel den Nachweis einer schädlichen Bodenveränderung / Altlast dar. Aufgrund der Gegebenheiten des Einzelfalls ist zu entscheiden, ob und welche Maßnahmen verhältnismäßig sind. Bei einer Überschreitung von Maßnahmenwerten sind in der Regel Sanierungs-, Schutz- oder Beschränkungsmaßnahmen erforderlich. Es ist anhand der Gegebenheiten des Einzelfalls zu entscheiden, ob und welche Maßnahmen verhältnismäßig sind.

Wenn der Ergebnisunsicherheitsbereich vollständig unterhalb des Prüfwertes / Maßnahmenwertes liegt, dann ist der Prüfwert / Maßnahmenwert unterschritten. Im Fall von Prüfwerten spricht dies in der Regel gegen das Vorliegen einer schädlichen Bodenveränderung / Altlast, und im Fall von Maßnahmenwerten sind in der Regel keine Sanierungs-, Schutz- oder Beschränkungsmaßnahmen erforderlich.

Abbildung 10: Ablaufdiagramm bei Detailuntersuchungen.



1 Für die Probennahmeplanung und die Beprobung gelten die Anforderungen aus der BBodSchV bzw. der BBodSchV-E (Mai 2017) nebst zugehörigen technischen Regeln.

2 Es ist anhand der Fragestellung des Einzelfalls zu entscheiden, welche Untersuchungsergebnisse für die Bewertung einer Prüfwert- bzw. Maßnahmenwertüberschreitung herangezogen werden. Es sind die Anforderungen der BBodSchV bzw. der BBodSchV-E (Mai 2017) zu beachten.

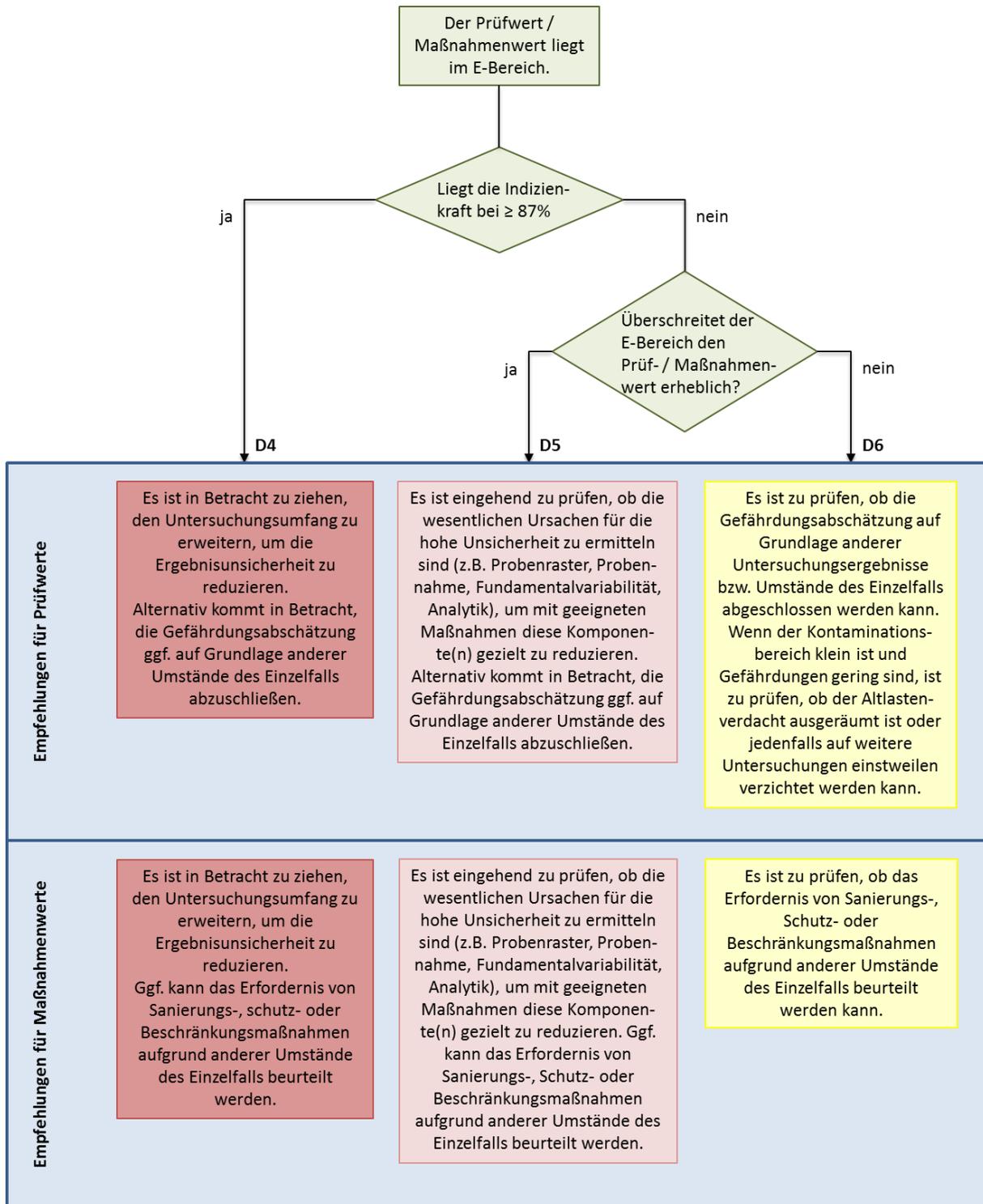
Sofern der Prüfwert / Maßnahmenwert im Ergebnisunsicherheitsbereich liegt, erlaubt das Untersuchungsergebnis keine eindeutigen Schlussfolgerungen. Es bieten sich verschiedene Optionen zum weiteren Vorgehen an (Abbildung 11).

Sowohl für Prüfwerte als auch für Maßnahmenwerte empfehlen sich zusätzliche, ergänzende Untersuchungen, wenn die Indizienkraft bereits sehr hoch ist, also bei mindestens ca. 87 % liegt. Unterhalb dieses Wertes ermöglicht selbst ein Zusatzaufwand in der Größenordnung des ursprünglichen Untersuchungsaufwandes keine signifikante Reduzierung des Ergebnisunsicherheitsbereiches. Ab einer Indizienkraft von 87 % kann bei Einzelwerten eine Zweitbeprobung (eine weitere Mischprobe) mehr Klarheit bringen. Um bei Mittelwerten aus mehreren Analysenergebnissen die Ergebnisunsicherheit spürbar zu reduzieren, empfiehlt sich die Durchführung einer weiteren Bodenuntersuchung mit vergleichbarem Untersuchungsumfang. Alternativ kommt für Prüfwerte auch in Betracht, die Gefährdungsabschätzung ggf. auf Grundlage anderer Umstände des Einzelfalls abzuschließen. Bezüglich Maßnahmenwerten kann auch hier das Erfordernis von Sanierungs-, Schutz- oder Beschränkungsmaßnahmen aufgrund anderer Umstände des Einzelfalls beurteilt werden.

Wenn die Indizienkraft geringer als 87 % ausfällt und der E-Bereich den Prüfwert / Maßnahmenwert erheblich überschreitet, besteht ein beträchtliches Risiko einer starken Prüfwert- bzw. Maßnahmenwertüberschreitung. In diesen Fall wird eine einfache Erweiterung des Untersuchungsumfangs in vielen Fällen nicht genügen, um den Ergebnisunsicherheitsbereich spürbar zu verkleinern. Daher sollten eingehend die wesentlichen Ursachen für die hohe Unsicherheit ermittelt werden (z. B. Probenraster, Probenahme, Fundamentalvariabilität, Analytik), um mit geeigneten Maßnahmen diese Komponente(n) gezielt zu reduzieren. So könnte beispielsweise bei Vorhandensein einer großen räumlichen Heterogenität eine gegebenenfalls geeignetere Aufteilung in Teilflächen erfolgen, bevor weitere Proben genommen werden. Alternativ könnte die Probennahme insofern angepasst werden, dass die Anzahl der Einstiche beispielweise erhöht wird oder das Volumen der Laborprobe vergrößert wird. Falls die analytische Unsicherheit verhältnismäßig groß ausfällt, dann könnten Anpassungen des Analyseverfahrens in Betracht gezogen werden. Bei besonders großer Fundamentalvariabilität bietet sich eine Vergrößerung der Probenvolumina, das Vermahlen der Probe oder die Optimierung der Einwaage an.

Die Erheblichkeit sollte anhand der Gegebenheiten des Einzelfalls bestimmt werden. Eine Möglichkeit besteht z. B. darin den k-fachen Prüfwert bzw. den k-fachen Maßnahmenwert heranzuziehen. Sofern der Ergebnisunsicherheitsbereich nicht vollständig unterhalb des k-fachen Prüfwertes / k-fachen Maßnahmenwertes liegt, besteht ein erhebliches Risiko einer starken Prüfwert- bzw. Maßnahmenwertüberschreitung. k beschreibt somit die Erheblichkeitsschwelle für eine Prüfwert- oder Maßnahmenwertüberschreitung. Typische k-Werte liegen im Bereich zwischen 2 und 5 und werden im Einzelfall festgelegt.

Abbildung 11: Empfehlungen für weitere Untersuchungsmaßnahmen im Rahmen der Detailuntersuchung. Gezeigt ist der Fall, dass der Prüfwert bzw. Maßnahmenwerte im E-Bereich liegt.



Wenn die Indizienkraft geringer als 87 % ausfällt und der Ergebnisunsicherheitsbereich den Prüfwert nicht erheblich überschreitet, dann ist gegebenenfalls zu prüfen, ob die Gefährdungsabschätzung auf Grundlage anderer Untersuchungsergebnisse bzw. Umstände des Einzelfalls abgeschlossen werden kann. Für den Fall, dass der Kontaminationsbereich klein ist und Gefährdungen gering sind, wäre zu prüfen, ob der Altlastenverdacht ausgeräumt ist oder ob auf weitere Untersuchungen einstweilen verzichtet werden kann.

Wenn die Indizienkraft geringer als 87 % ausfällt und der Ergebnisunsicherheitsbereich den Maßnahmenwert nicht erheblich überschreitet, dann kann geprüft werden, ob das Erfordernis von Sanierungs-, Schutz- oder Beschränkungsmaßnahmen aufgrund anderer Untersuchungsergebnisse bzw. Umstände des Einzelfalls beurteilt werden kann.

Abbildung 12 bis Abbildung 14 sollen die drei Situationen bei der Bewertung eines Untersuchungsergebnisses bezüglich einer Prüfwert- bzw. Maßnahmenwertüberschreitung auf Basis des Ergebnisunsicherheitsbereiches ergänzend veranschaulichen.

Abbildung 12: Ergebnisunsicherheitsbereich des Untersuchungsergebnisses für den Fall, dass der Prüfwert bzw. Maßnahmenwert unterschritten oder überschritten ist (Detailuntersuchung). Die blauen Kurven markieren die untere und obere Grenze des Ergebnisunsicherheitsbereiches zum Niveau 90 % für ein Untersuchungsergebnis und die schwarze Kurve markiert den wahren Wert. PW – Prüfwert, MW - Maßnahmenwert.

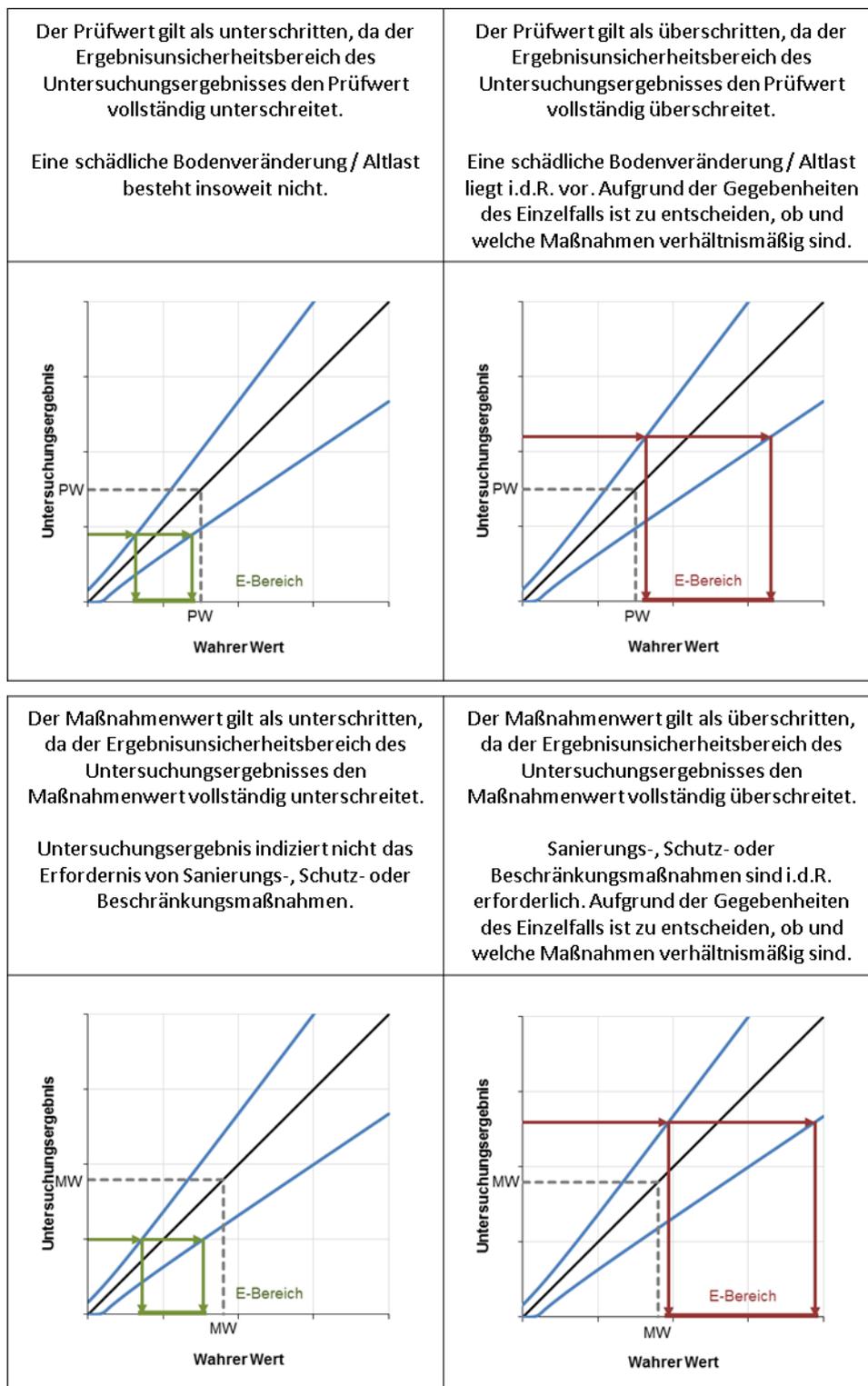


Abbildung 13: Ergebnisunsicherheitsbereich des Untersuchungsergebnisses für den Fall, dass der Prüfwert im E-Bereich liegt und keine eindeutige Bewertung möglich ist (Detailuntersuchung). Die blauen Kurven markieren die untere und obere Grenze des Ergebnisunsicherheitsbereiches zum Niveau 90 % für ein Untersuchungsergebnis und die schwarze Kurve markiert den wahren Wert. PW – Prüfwert, ES - Erheblichkeitsschwelle.

<p>Der Prüfwert liegt im E-Bereich. Die Untersuchung liefert keine eindeutige Bewertungsgrundlage. Weitere Untersuchungen sind notwendig, um beurteilen zu können, ob ein Prüfwert überschritten oder unterschritten ist.</p>	
<p>Die Indizienkraft liegt bei $\geq 87\%$.</p> <p>Es ist in Betracht zu ziehen, den Untersuchungsumfang zu erweitern, um die Ergebnisunsicherheit zu reduzieren. Alternativ kommt in Betracht, die Gefährdungsabschätzung ggf. auf Grundlage anderer Umstände des Einzelfalls abzuschließen.</p>	<p>Das Diagramm zeigt ein Koordinatensystem mit der vertikalen Achse 'Untersuchungsergebnis' und der horizontalen Achse 'Wahrer Wert'. Eine diagonale schwarze Linie stellt den wahren Wert dar. Zwei parallele blaue Linien markieren die untere und obere Grenze des Ergebnisunsicherheitsbereiches. Ein horizontaler orangefarbener Balken bei der Höhe 'MW' (Maßnahmenwert) schneidet die blaue Kurven. Ein vertikaler orangefarbener Balken markiert den 'E-Bereich' auf der horizontalen Achse. Die Indizienkraft ist mit 93 % angegeben.</p>
<p>Die Indizienkraft liegt bei $< 87\%$. Der E-Bereich überschreitet den Prüfwert nicht erheblich.</p> <p>Es ist zu prüfen, ob die Gefährdungsabschätzung auf Grundlage anderer Untersuchungsergebnisse bzw. Umstände des Einzelfalls abgeschlossen werden kann. Wenn der Kontaminationsbereich klein ist und Gefährdungen gering sind, ist zu prüfen, ob der Altlastenverdacht ausgeräumt ist oder jedenfalls auf weitere Untersuchungen einstweilen verzichtet werden kann.</p>	<p>Das Diagramm zeigt ein Koordinatensystem mit der vertikalen Achse 'Untersuchungsergebnis' und der horizontalen Achse 'Wahrer Wert'. Eine diagonale schwarze Linie stellt den wahren Wert dar. Zwei parallele blaue Linien markieren die untere und obere Grenze des Ergebnisunsicherheitsbereiches. Ein horizontaler orangefarbener Balken bei der Höhe 'MW' schneidet die blaue Kurven. Ein vertikaler orangefarbener Balken markiert den 'E-Bereich' auf der horizontalen Achse. Die Indizienkraft ist mit 42 % angegeben. Die Erheblichkeitsschwelle 'ES' ist ebenfalls auf der horizontalen Achse markiert.</p>
<p>Die Indizienkraft liegt bei $< 87\%$. Der E-Bereich überschreitet den Prüfwert erheblich.</p> <p>Es sollte eingehend untersucht werden, welche Unsicherheitskomponenten die Ergebnisunsicherheit dominieren. Diese sollten gezielt reduziert werden, um die Ergebnisunsicherheit zu reduzieren. Alternativ können andere Untersuchungsverfahren in Betracht gezogen werden.</p>	<p>Das Diagramm zeigt ein Koordinatensystem mit der vertikalen Achse 'Untersuchungsergebnis' und der horizontalen Achse 'Wahrer Wert'. Eine diagonale schwarze Linie stellt den wahren Wert dar. Zwei parallele blaue Linien markieren die untere und obere Grenze des Ergebnisunsicherheitsbereiches. Ein horizontaler orangefarbener Balken bei der Höhe 'MW' schneidet die blaue Kurven. Ein vertikaler orangefarbener Balken markiert den 'E-Bereich' auf der horizontalen Achse. Die Indizienkraft ist mit 65 % angegeben. Die Erheblichkeitsschwelle 'ES' ist ebenfalls auf der horizontalen Achse markiert.</p>

Abbildung 14: Ergebnisunsicherheitsbereich des Untersuchungsergebnisses für den Fall, dass der Maßnahmenwert im E-Bereich liegt und keine eindeutige Bewertung möglich ist (Detailuntersuchung). Die blauen Kurven markieren die untere und obere Grenze des Ergebnisunsicherheitsbereiches zum Niveau 90 % für ein Untersuchungsergebnis und die schwarze Kurve markiert den wahren Wert. MW – Maßnahmenwert, ES - Erheblichkeitsschwelle.

<p>Der Maßnahmenwert liegt im E-Bereich. Die Untersuchung liefert keine eindeutige Bewertungsgrundlage. Weitere Untersuchungen sind notwendig, um beurteilen zu können, ob ein Maßnahmenwert überschritten oder unterschritten ist.</p>	
<p>Die Indizienkraft liegt bei $\geq 87\%$.</p> <p>Es ist in Betracht zu ziehen, den Untersuchungsumfang zu erweitern, um die Ergebnisunsicherheit zu reduzieren. Ggf. kann das Erfordernis von Sanierungs-, Schutz- oder Beschränkungsmaßnahmen aufgrund anderer Umstände des Einzelfalls beurteilt werden.</p>	
<p>Die Indizienkraft liegt bei $< 87\%$. Der E-Bereich überschreitet den Maßnahmenwert nicht erheblich.</p> <p>Es ist zu prüfen, ob das Erfordernis von Sanierungs-, Schutz- oder Beschränkungsmaßnahmen aufgrund anderer Umstände des Einzelfalls beurteilt werden kann.</p>	
<p>Die Indizienkraft liegt bei $< 87\%$. Der E-Bereich überschreitet den Maßnahmenwert erheblich.</p> <p>Es sollte eingehend untersucht werden, welche Unsicherheitskomponenten die Ergebnisunsicherheit dominieren. Diese sollten gezielt reduziert werden, um die Ergebnisunsicherheit zu reduzieren. Alternativ können andere Untersuchungsverfahren in Betracht gezogen werden.</p>	

5 Quellenverzeichnis

DAkKS-Leitfaden 71 SD 4 016 / Revision 1.0 / 19. Januar 2017 (2017): Leitfaden zur Schätzung der Messunsicherheit gemäß Anforderungen der DIN EN ISO/IEC 17025 für Prüflaboratorien auf dem Gebiet der chemischen Analytik in den Bereichen Gesundheitlicher Verbraucherschutz, Agrarsektor, Chemie und Umwelt. Deutsche Akkreditierungsstelle

DIN EN ISO/IEC 17025 (2018-03): Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien, Beuth Verlag

DIN ISO 5725-1 (1997-11). Genauigkeit (Richtigkeit und Präzision) von Meßverfahren und Meßergebnissen - Teil 1: Allgemeine Grundlagen und Begriffe (inkl. Berichtigung 1:1998-09). Beuth Verlag

BBodSchV (1999): BBodSchV – Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung. Vom 12. Juli 1999

BMUB (2017): Verordnung zur Einführung einer Ersatzbaustoffverordnung, zur Neufassung der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung und zur Änderung der Deponieverordnung und der Gewerbeabfallverordnung, Stand 03.05.2017. Bundesrats-Drucksache (BR-Drs.) 566/17 vom 17.07.2017, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) <http://www.bmub.bund.de/themen/wasser-abfall-boden/bodenschutz-und-altlasten/wasser-bodenschutz-und-altlasten-download/artikel/mantelverordnung-ersatzbaustoffebodenschutz/>

FBU (2008): Fachbeirat für Bodenuntersuchungen, Vorsitzender: Konstantin Terytze: Angabe der Ergebnisunsicherheit bei chemischen Bodenuntersuchungen für den Vollzug der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung. Dessau, Umweltbundesamt. <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3511.pdf>

FBU (2015): Fachbeirat für Bodenuntersuchungen, Vorsitzender: Konstantin Terytze: Messunsicherheit für Verfahren zum Vollzug und zur Weiterentwicklung der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung, Dessau, Umweltbundesamt

Werner Funk, Vera Dammann, Gerhild Donnevert, (2005): Qualitätssicherung in der Analytische Chemie, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2. Auflage 2005.

HORWITZ, W. (1982): Evaluation of analytical methods used for regulation of foods and drugs. Anal Chem 54 (1): 67A-76A

6 Anhang

6.1 Messungen im Zuge der Untersuchung (§ 10 BBodSchV-E (Mai 2017)) bei der Anwendung der Prüf- und Maßnahmenwerte – mögliche Ursachen für Ergebnisunsicherheit

E-BBodSchV	Anh. 1 BBodSchV	Untersuchungsschritte	Mögliche Ursachen für Ergebnisunsicherheiten
§ 18, 19, 20, 22	2.1	Probenahmenplanung ⁶⁰ für Bodenuntersuchungen	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Fehler bei Kontaminationshypothese, Nicht-Beachtung von <ul style="list-style-type: none"> • Standortgenese • Überlagerungen • Ungeordneten räumlichen Verteilungen • Gradientenverteilung • Hotspots ▶ Planung einer unrepräsentativen Beprobung <ul style="list-style-type: none"> • zu geringe Probenzahl • falsches Probennahmemuster • zu geringes Probenvolumen • falsche Beprobungstiefe • Misch- statt Einzelproben ▶ Mangelnde Koordination <ul style="list-style-type: none"> • mit dem Labor • mit dem Bohrunternehmen
§ 19, 20, 22	2.4	Probengewinnung	<ul style="list-style-type: none"> ▶ falsche Bodenansprache ▶ fehlerhafte Ermittlung der Lage relevanter Bodenhorizonte und Probenahmebereiche ▶ Veränderung der Probe durch Konservierungs-/ Stabilisierungsfehler, Querkontamination ▶ Kernverluste, Verschleppungen, Stauungen und Nachfall ▶ Gerätemängel <ul style="list-style-type: none"> • stumpfe oder beschädigte Sonden • Verschmutzungen • Abgasbelastung

⁶⁰ Manche Begriffe, die in Anh. 1 BBodSchV Untersuchungsabschnitte bündeln, sind im E-BBodSchV aufgegeben, allerdings nicht ersetzt. Daher werden hier die Begriffe Probenahmenplanung und Probengewinnung so weiter verwendet, wie sie durch die Normen in der ganz linken Spalte ausgefüllt werden.

E-BBodSchV	Anh. 1 BBodSchV	Untersuchungsschritte	Mögliche Ursachen für Ergebnisunsicherheiten
			<ul style="list-style-type: none"> • unvollständige Ausrüstung • ungeeignetes Reinigungsgerät ▶ Ungeeignete Probennahmemethoden oder -technik ▶ Witterungsbedingungen ▶ Einfluss des Probenehmers <ul style="list-style-type: none"> • individuelle Fähigkeiten und Fertigkeiten
§ 23	2.5	Probenkonservierung, -transport und -lagerung	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Probenverwechslungen ▶ Verwendung ungereinigter Probengefäße ▶ Nicht vollständig gefüllte Probengefäße ▶ Undichte oder geplatzte Probengefäße ▶ Falsche Konservierung ▶ Querkontaminationen durch Konservierungsmittel ▶ Ungekühlte Proben ▶ UV-Strahlung (kein Braunglas, nicht abgedunkelt verpackt) ▶ Zeitraum bis zur Analyse zu lang ▶ Ungeeignete Lagerbedingungen
§ 23	3.1.1	Probenvorbehandlung, -vorbereitung und -aufarbeitung ⁶¹	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Veränderung der Probe z. B. durch Verunreinigung ▶ Veränderung der Probe durch unsaubere/unzureichende Vorbehandlung ▶ Korngrößenverteilung nach Mischung und Teilung und ggf. Vermahlung ▶ Trocknung <ul style="list-style-type: none"> • Kontamination, • Zeiteffekte, • Temperatureffekte, • Art der Trocknung, • Luftfeuchte, • Trockenschrank: Einfluss der Aufheizkurve ▶ Siebung <ul style="list-style-type: none"> • Zustand des Siebs,

⁶¹ Im Gegensatz zu § 23 Abs. 2 E-BBodSchV nennt Anh. 1 Ziff. 3.1.1 BBodSchV nur die Probenvorbehandlung und verweist auf andere DIN-Normen.

E-BBodSchV	Anh. 1 BBodSchV	Untersuchungsschritte	Mögliche Ursachen für Ergebnisunsicherheiten
			<ul style="list-style-type: none"> • Siebgröße/ -art, • Stochastische Störeinflüsse, • Absaugtechnik der Siebmaschine • Siebrückstand ▶ Teilung <ul style="list-style-type: none"> • Entmischung • Gerätereinigung: Querkontamination ▶ Zerkleinerung <ul style="list-style-type: none"> • Ungeeignete Geräte • Gerätereinigung: Querkontamination • Temperatur des Gerätes • Stochastische Störeinflüsse ▶ Homogenisierung <ul style="list-style-type: none"> • Zu kurze Mischzeit • Gerätereinigung: Querkontamination • Ungeeignete Methode ▶ Wägung <ul style="list-style-type: none"> • Kalibration • Geräteeinfluss • Stochastische Störeinflüsse
§ 24	3.1	Physikalische und chemische Analyse	
§ 24	3.1.2	Extraktion, Elution	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Extraktions- / Elutionsverfahren <ul style="list-style-type: none"> • Extraktionsmittel • Probeneinwaage • Korngröße und Porosität des Extraktguts • Konzentrationsunterschied zwischen Extrakt und Extraktionsmittel • pH-Wert, Löslichkeit, Temperatur, Eindringverhalten des Extraktionsmittels • Extraktionszyklen • Ausgasung bei Mikrowellenausschluss • Einwirkzeit ▶ Laborgeräte ▶ Reinheit der Hilfsmittel (Chemikalien, Gefäße, Filter)

E-BBodSchV	Anh. 1 BBodSchV	Untersuchungsschritte	Mögliche Ursachen für Ergebnisunsicherheiten
§ 24	3.1.3	Untersuchungsverfahren ⁶²	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Kontamination und Dekontamination ▶ Umwelteinflüsse (Temperatur) während der Analyse ▶ Verfahrensbedingte Unsicherheiten <ul style="list-style-type: none"> • Empfindlichkeit • Präzision, Wiederholbarkeit • Richtigkeit, Methodenwiederfindung • Abnutzung ▶ Gerätedrifts ▶ Reinheit der Hilfsmittel (Chemikalien, Gefäße) ▶ Unterschiedliche Reaktion des Analyseverfahrens auf Probe und Referenz (Matrixeinflüsse) ▶ Kalibration <ul style="list-style-type: none"> • Unsicherheit der Werte verwendeter Referenzmaterialien • Reinheit der Standards, • Reinheit der Referenzmaterialien ▶ Aufschlusslösung <ul style="list-style-type: none"> • Veränderung, Stabilität • Konzentration ▶ „Faktor Mensch“

⁶² Anh. 1 Ziff. 3.1.3 BBodSchV spricht von Analyseverfahren während Anh. 3 mit Untersuchungsverfahren überschrieben ist. Beide Begriffe bezeichnen Verfahren, mit denen die Zusammensetzung des Probenmaterials untersucht wird. So verweist § 24 Abs. 8 auf die in Anh. 3 Tab. 8 angegebenen „Analyseverfahren“ und greift damit die noch geltende Terminologie auf.

6.2 Messungen im Zuge der Untersuchung (§ 10 BBodSchV-E (Mai 2017)) bei der Anwendung der Prüf- und Maßnahmenwerte – Beispiele

In diesem Kapitel wird anhand eines Beispiels gezeigt, wie Untersuchungsergebnisse bestehend aus dem mittleren Schadstoffgehalt und dem zugehörigen Ergebnisunsicherheitsbereich hinsichtlich einer Über- oder Unterschreitung von Prüf- oder Maßnahmenwerten interpretiert werden.

Ausgangspunkt sei eine Verdachtsfläche, bei der im Boden PAK-Verunreinigungen vermutet werden. Für die Analysen ist der Wirkungspfad Boden-Mensch mit der Nutzungsart Industrie und Gewerbe und als Indikator der Stoff Benzo(a)pyren relevant. Die Verdachtsfläche wird in verschiedene Teilflächen eingeteilt, die jeweils gesondert untersucht werden.

In Tabelle 6 sind die Untersuchungsergebnisse der orientierenden Untersuchung für Benzo(a)pyren zusammengefasst.

Der Prüfwert für Benzo(a)pyren liegt bei 5 mg/kg. Aufgrund der vorgesehenen Nutzungsart wurden nur die Flächen im Bereich der Abfallstation, des Fasslagers und im Umfeld der Tanks untersucht. Für alle Flächen liegt der Prüfwert im Ergebnisunsicherheitsbereich des Untersuchungsergebnisses, so dass keine eindeutige Bewertung möglich ist (O2). Zudem überschreitet der Ergebnisunsicherheitsbereich des Untersuchungsergebnisses für die Fläche im Bereich des Fasslagers und die Fläche im Umfeld der Tanks die Erheblichkeitsschwelle, die hier beim 4-fachen Prüfwert liegt, d.h. bei 20 mg/kg.

Tabelle 6: Interpretation von Untersuchungsergebnissen mit zugehörigem Ergebnisunsicherheitsbereich, Indizienkraft und ggfs. einer Erheblichkeitsschwelle im Fall der orientierenden Untersuchung. PW – Prüfwert.

Teilfläche	Analyt	Prüfwert ⁽¹⁾	Untersuchungsergebnis	Ergebnisunsicherheitsbereich	Indizienkraft	ES ⁽¹⁾	Interpretation	Fallkürzel ⁽²⁾
Bereich der Abfallstation	Benzo(a)pyren	5 mg/kg	5,4	4,8 – 6,9	72%	20	PW im E-Bereich	O2, O6
Bereich des Fasslagers	Benzo(a)pyren	5 mg/kg	4,8	3,8 – 21,3	65%	20	PW im E-Bereich	O2, O5
Umfeld der Tanks	Benzo(a)pyren	5 mg/kg	11,4	3,5 – 20,7	90%	20	PW im E-Bereich	O2, O4

(1) Nutzungsart Industrie und Gewerbe

(2) O1, ..., O6 (orientierende Untersuchung); D1, ..., D6 (Detailuntersuchung)

Da bei der Fläche im Umfeld der Tanks das Untersuchungsergebnis eine sehr hohe Indizienkraft von 90% aufweist, könnte durch eine Erweiterung des Untersuchungsumfangs die Ergebnisunsicherheit reduziert werden (O4).

Für das Untersuchungsergebnis für die Fläche im Bereich des Fasslagers bestehen verschiedene Optionen zum weiteren Vorgehen. Es könnte geprüft werden, ob die wesentlichen Ursachen für die hohe Unsicherheit ermittelt und reduziert werden können. Alternativ kann eine Detailuntersuchung in Betracht gezogen werden, oder die Gefährdungsabschätzung auf der Grundlage anderer Umstände abzuschließen.

In diesem Beispiel wird angenommen, dass im Rahmen einer Detailuntersuchung die Flächen im Bereich des Fasslagers und im Umfeld der Tanks weiter untersucht werden, um mehr Klarheit zu bekommen.

Die Ergebnisse sind in Tabelle 7 zusammengefasst. Im Bereich des Fasslagers wurde für Benzo(a)pyren eine Prüfwertunterschreitung festgestellt (D3), wohingegen im Umfeld der Tanks eine Überschreitung vorliegt (D1).

Tabelle 7: Interpretation von Untersuchungsergebnissen mit zugehörigem Ergebnisunsicherheitsbereich, Indizienkraft und ggfs. einer Erheblichkeitsschwelle im Fall der Detailuntersuchung. PW – Prüfwert.

Teilfläche	Analyt	Prüfwert	Untersuchungsergebnis	Ergebnisunsicherheitsbereich	Indizienkraft	ES ⁽¹⁾	Interpretation	Fall-Kürzel ⁽²⁾
Bereich des Fasslagers	Benzo(a) - pyren	5 mg/kg	4,2	3,4 – 4,9	5%	--	PW unterschritten	D3
Umfeld der Tanks	Benzo(a) - pyren	5 mg/kg	10,2	7,0 – 15,3	100%	--	PW überschritten	D1

(1) Nutzungsart Industrie und Gewerbe

(2) O1, ..., O6 (orientierende Untersuchung); D1, ..., D6 (Detailuntersuchung)

6.3 Untersuchungs-schritte bei Bodenuntersuchungen: Begrifflichkeiten der gültigen BBodSchV (1999) und der Fassung vom 3. Mai 2017 (BBodSchV-E)

Entsprechend der gültigen BBodSchV (1999, Anh. 1) beinhaltet der Untersuchungsvorgang Tätigkeiten zu folgenden Schritten:

- ▶ zur Probennahme (BBodSchV (1999), Anh. 1 Nr. 2), d.h. im Einzelnen
 - zur Probennahmeplanung (Nr. 2.1),
 - zur Probengewinnung (Nr. 2.4),
 - zum Probentransport, die -konservierung und -lagerung (Nr. 2.5),
- ▶ zum Untersuchungsverfahren (BBodSchV (1999), Anh. 1 Nr. 3), d.h. im Einzelnen
 - zur Probenvorbehandlung (Nr. 3.1.1),
 - zur Extraktion / Elution (Nr. 3.1.2) sowie
 - zur analytischen Messung (Analyseverfahren) (Nr. 3.1.3).

Im Vergleich dazu werden im Entwurf der neuen Fassung (BBodSchV-E (Mai 2017)) teilweise andere Begrifflichkeiten verwendet, bzw. werden Begriffe anders zusammengefasst. In der BBodSchV-E (Mai 2017) werden folgende Schritte genannt:

- ▶ Vorerkundung (BBodSchV-E (Mai 2017) § 18) (u.a. als Grundlage für die Entwicklung einer geeigneten Probennahmestrategie)
- ▶ Probennahme (BBodSchV-E (Mai 2017) § 19) (inkl. der Probennahmeplanung (Abs. 1))
- ▶ Probengewinnung (BBodSchV-E (Mai 2017) § 20 Abs. 2) als Teil der Probennahme bei Böden
- ▶ Konservierung, Transport und Aufbewahrung von Proben (BBodSchV-E (Mai 2017) § 23)
- ▶ Probenvorbehandlung, -vorbereitung und -aufarbeitung (BBodSchV-E (Mai 2017) § 23)
- ▶ Physikalisch-chemische und chemische Analyse (BBodSchV-E (Mai 2017) § 24)
 - Extraktion / Elution (Abs. 3)
 - Bestimmung der Gehalte und Konzentrationen (Abs. 4 bis 10)

Stellt man die Begrifflichkeiten gegenüber so kann festgehalten werden, dass die Hierarchie verändert wurde. In der gültigen Fassung der BBodSchV umfasst die Probennahme (Anh. 1 Nr. 2) die Planung (Nr. 2.1), die Probengewinnung (Nr. 2.4) sowie Probentransport, -konservierung und -lagerung (Nr. 2.5). In der neuen Fassung erfolgte eine inhaltliche Umstrukturierung. So gibt es in der Neufassung die eigenständigen Paragraphen Vorerkundung (§ 18), allgemeine Anforderungen an die Probennahme (§ 19) und Besondere Anforderungen an die Probennahme aus Böden in situ (§ 20). Die Allgemeinen Anforderungen an die Probennahme (§ 19) umfassen auch Vorgaben zur Probennahmeplanung (Abs. 1). Außerdem wird im Paragraphen 20 (Besonderen Anforderungen an die Probennahme aus Böden in situ) die Probengewinnung (Abs. 2) festgelegt. Konservierung, Transport und Aufbewahrung von Proben wird als eigenständiger Paragraph (§ 23) aufgeführt.

Auch hinsichtlich des Untersuchungsverfahrens (BBodSchV (1999), Anh. 1 Nr. 3) wurde die Hierarchie sowie die Begrifflichkeit verändert. In der gültigen BBodSchV werden die Probenvorbehandlung (Nr. 3.1.1), Extraktion/ Elution (Nr. 3.1.2) und das Analyseverfahren (Nr. 3.1.3) dem Untersuchungsverfahren zugeordnet. Im neuen Entwurf der BBodSchV wird die Probenvorbehandlung zum einen in einem separaten Paragraphen (§ 23) behandelt und zum anderen werden die Begriffe Probenvorbereitung und -aufarbeitung ergänzt.

Der Zusammenhang zwischen Schritten der Bodenuntersuchung und den Begrifflichkeiten der gültigen BBodSchV (1999) und der Fassung vom Mai 2017 (BBodSchV-E) ist in Abbildung 15 überblicksartig zusammengestellt. Auf einen detaillierteren Vergleich wird an dieser Stelle verzichtet. Die Zusammenstellung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Abbildung 15: Zusammenhang zwischen Begrifflichkeiten der gültigen BBodSchV (1999) und der Fassung vom 3. Mai 2017 (BBodSchV-E) in Verbindung mit Untersuchungsschritten bei Bodenuntersuchungen und Ergebnisunsicherheitskomponenten gemäß DAkS-Leitfaden 71 SD 4 016 und dieser Handlungsanleitung.

