

*Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz,
LABO*

**Hintergrundwerte
für anorganische und organische Stoffe in Böden**

4. überarbeitete und ergänzte Auflage, 2017

Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung	3
2	Begriffsbestimmungen	6
3	Erhebung von Hintergrundgehalten	7
3.1	Stoffauswahl	7
3.2	Standortauswahl und Probennahme	8
3.2.1	Standortauswahl.....	8
3.2.2	Standortbeschreibung	8
3.2.3	Probennahme	9
3.3	Analytik	9
3.3.1	Analytik anorganischer Stoffe	9
3.3.2	Analytik organischer Stoffe / Stoffgruppen	10
3.4	Bestimmung weiterer Bodenkenngrößen	11
4	Ableitung von Hintergrundwerten	13
4.1	Differenzierung nach Bezugsgrößen	13
4.1.1	Bodenausgangsgesteine	13
4.1.2	Humusgehalte	15
4.1.3	Nutzungsarten	15
4.1.4	Bodenhorizonte	16
4.1.5	Gebietstypen	19
4.2	Datenauswertung	23
4.2.1	Harmonisierung der Daten	23
4.2.2	Umgang mit Messwerten unterhalb der Bestimmungsgrenze	25
4.2.3	Berechnung von Hintergrundwerten	26
4.2.4	Ermittlung der Unsicherheit von Hintergrundwerten	26
5	Anwendung von Hintergrundwerten	28
6	Bundesweite und länderspezifische Hintergrundwerte	30
6.1	Bundesweite Hintergrundwerte für anorganische Schadstoffe	30
6.2	Bundesweite Hintergrundwerte für organische Schadstoffe	33
6.3	Länderspezifische Hintergrundwerte	34
7	Empfehlungen und Erfordernisse zur Fortschreibung	35
	Literatur	36
	Anhang: Tabellen der Hintergrundwerte für Böden	

1 Veranlassung

Die Notwendigkeit zur Aufstellung von Hintergrundwerten hat die Bund / Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) gemeinsam mit den für Abfall und Wasser zuständigen Länderarbeitsgemeinschaften (LAGA, LAWA) in den 1993 erarbeiteten „Einheitlichen Bewertungsgrundsätzen zu vorhandenen Bodenverunreinigungen / Altlasten“ (LABO / LAGA / LAWA, 1993) begründet.

Die LABO hat daraufhin am 25./26.02.1993 den Ständigen Ausschuss 4 „Bodenbelastung“ (StÄA 4) mit der Einrichtung einer Ad-hoc-AG „Referenz- bzw. Hintergrundwerte für Böden“ beauftragt, um

- eine eingehende Bestandsaufnahme der repräsentativen Untersuchungen von Stoffgehalten in Böden vorzunehmen,
- die Vergleichbarkeit und Aussagefähigkeit der Daten zu bewerten,
- Anforderungen an die Ermittlung von Hintergrundgehalten zu benennen,
- ein Konzept zur Aufstellung von Hintergrundwerten für Oberböden zu erarbeiten und
- bundesweite und länderspezifische Hintergrundwerte für Oberböden abzuleiten.

Im Ergebnis wurden 1995 erstmals bundesweite und länderspezifische Hintergrundwerte für Böden vorgelegt, die einen Überblick über ubiquitäre Gehalte an Schwermetallen und persistenten organischen Schadstoffen in Böden geben.

Mit LABO-Beschluss vom 28./29. März 1996 wurde das Umweltbundesamt (UBA) gebeten, eine Aktualisierung der Hintergrundwerte auf der Grundlage der von den Ländern sowie der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) und des Niedersächsischen Landesamtes für Bodenforschung / Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben ermittelten Hintergrundwerte vorzunehmen.

In den ersten beiden Auflagen (1995 und 1998) des Berichtes wurden Hintergrundwerte zunächst für den Oberboden und die Auflagehorizonte von Waldböden angegeben. Verschiedene Fragestellungen des Bodenschutzes, u.a. hinsichtlich des Einbaus von Materialien in den Boden, begründen die Notwendigkeit der Ableitung von Hintergrundwerten auch für Unterböden.

Die LABO hat auf ihrer 18. Sitzung diesen Fortschreibungsbedarf aufgegriffen und den StÄA 4 „Bodenbelastung“ federführend unter Beteiligung des StÄA 2 „Bodeninformationssysteme“ damit beauftragt, den LABO-Bericht „Hintergrundwerte für anorganische und organische Stoffe in Böden“ (2. Auflage, 1998) zu überarbeiten und erstmals Hintergrundwerte für Unterböden einzubeziehen. Die 3. Auflage (2003) des LABO-Berichtes zu Hintergrundwerten in Böden enthält folgende inhaltliche Schwerpunkte:

- Aktualisierung der Hintergrundwerte für Oberböden,
- Ableitung von Hintergrundwerten für Unterböden und Untergrund und
- Empfehlungen zur Harmonisierung der zukünftigen Datenerhebung, Analyse und Datenauswertung.

Vor dem Hintergrund einer gegenüber 2003 deutlich verbesserten Datenlage für anorganische und organische Schadstoffe in Böden hat die LABO auf ihrer 41. Sitzung erneut einen Aktualisierungs- und Fortschreibungsbedarf für den LABO-Bericht zu Hintergrundwerten gesehen und der Einrichtung einer Redaktionsgruppe

unter Federführung des Umweltbundesamtes zugestimmt. Die von der Redaktionsgruppe vorgelegte 4. Auflage des LABO-Berichtes zu Hintergrundwerten in Böden enthält gegenüber der 3. Auflage neben der deutlich verbesserten Datenlage folgende wesentliche Ergänzungen:

- Erweitertes Spektrum von anorganischen Schadstoffen; stärkere räumlich/inhaltliche Differenzierung bei der Auswertung,
- Länderübergreifende Hintergrundwerte für persistente organische Schadstoffe in Oberböden und
- Quantifizierung von Unsicherheiten (Konfidenzbänder) für die Hintergrundwerte für anorganische Schadstoffe (bundesweiter Datensatz).

Die LABO legt hiermit einen aktualisierten Bericht vor und bedankt sich bei allen, die durch Datenerhebung und Diskussion zum Gelingen der 4. Auflage des Berichts beigetragen haben.

An der Erstellung des LABO-Berichts „Hintergrundwerte für anorganische und organische Stoffe in Böden“ (1. bis 4. Auflage) wirkten maßgeblich mit:

Ursula Anacker, Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt (2017)

Prof. Dr. Günther Bachmann, Umweltbundesamt (1995, 1998)

Dr. Albrecht Bauriegel, Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg (2017)

Dr. Gerd Böttcher, Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern (2003)

Werner Borho, Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (2017)

Dr. Bernd Bussian, Umweltbundesamt (2017)

Dr. Wolfgang Dinkelberg, Umweltbundesamt (1995)

Prof. Dr. Wilhelmus H. M. Duijnsveld, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2017)

Dr. Olaf Düwel, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2003)

Dr. Karl-Heinz Emmerich, Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (2003)

Dr. Dieter Feldhaus, Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt (2003)

Matthias Gieske, Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein (2017)

Dr. Frank Glante, Umweltbundesamt (2003)

Dr. Birgit Gras, Institut für Hygiene und Umwelt, Hamburg (1995, 2017)

Meri Hanussek-Biermann, Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie (2017)

Dr. Klaus-Jörg Hartmann, Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt (2017)

Matthias Hauenstein, Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz (2003, 2017)

Kathrin Heidbrink, Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen (2003)

Dr. Roland Hindel, Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben (1995)

Lars Konen, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2017)

Friedrich Krone, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2017)

Dr. Uwe Langer, Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt (2017)
Wolfgang Kainz, Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt (2017)
Kati Kardel, Sächsisches. Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (2017)
Jörg Leisner, Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (2017)
Dr. Rudolf Lichtfuß, Umweltbehörde Hamburg (1995, 2003)
Katrin Lügger, Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (2017)
Dr. Walter Martin, Bayerisches Geologisches Landesamt (2003)
Dr. Detlef Merkel, LUFA Hameln (1995)
Dr. Ingo Müller, Sächsisches. Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (2017)
Dr. Heinz Neite, Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen (1995)
Dr. Thomas Nöltner, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (1995, 2003)
Dr. Werner Pälchen, Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie (1995)
Dr. Raimund Prinz, Bayerisches Landesamt für Umwelt (2017)
Dr. Bernd Raber, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2003)
Günter Rank, Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie (2003)
Prof. Dr. Friedrich Rück, Umweltbundesamt (2003)
Prof. Dr. Michael Schmidt, Landesumweltamt Brandenburg (1995)
Simone Schmidt, Umweltbundesamt (1995, 1998, 2003, 2017)
Dr. Jürgen Schneider, Landesamt Bergbau, Energie und Geologie, Niedersachsen (2003, 2017)
Dr. Herbert Schramm, Thüringer Landesanstalt für Geologie (1995)
Prof. Dr. Rüdiger Schultz-Sternberg, Landesumweltamt Brandenburg (2003)
Hans-Kurt Siem, Geologisches Landesamt Schleswig-Holstein (1995, 2003)
Dr. Florian Stange, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2017)
Dr. Peter Steinert, Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie (2003)
Dr. Thomas Suttner, Bayerisches Geologisches Landesamt (1995)
Prof. Dr. Jens Utermann, Umweltbundesamt (2003, 2017)

2 Begriffsbestimmungen

Geogener Grundgehalt

Der geogene Grundgehalt umfasst den Stoffbestand eines Bodens, der sich aus dem Ausgangsgestein (lithogener Anteil), ggf. Vererzungen (chalkogener Anteil) und der durch pedogenetische Prozesse beeinflussten Umverteilung (Anreicherung oder Verarmung) von Stoffen im Boden ergibt.

Chalkogene Anteile können punktuell oder flächenhaft zu einem deutlichen Anstieg der regionalen geogenen Grundgehalte führen. Sie liegen dann vor, wenn erzführende Gänge oder Gesteine, die nicht bergmännisch abgebaut werden oder wurden (= anthropogene Komponente), oberflächennah anstehen und durch Verwitterung (in situ) oder Erosion und Umlagerung (z.B. in Talauen) unmittelbar zur Pedogenese beitragen.

Hintergrundgehalt

Schadstoffgehalt eines Bodens, der sich aus dem geogenen (natürlichen) Grundgehalt eines Bodens und der ubiquitären Stoffverteilung als Folge diffuser Einträge in den Boden zusammensetzt (*BBodSchV, 1999*).

Schadstoffe sind Stoffe und Zubereitungen, die auf Grund ihrer Gesundheitsschädlichkeit, ihrer Langlebigkeit oder Bioverfügbarkeit im Boden oder auf Grund anderer Eigenschaften und ihrer Konzentrationen (Gehalte) geeignet sind, den Boden in seinen Funktionen zu schädigen oder sonstige Gefahren hervorzurufen (*BBodSchV, 1999*).

Die Formulierung „ubiquitär/diffus“ grenzt den Hintergrundgehalt von solchen Gehalten ab, die durch lokal erhöhte Stoffeinträge (Emittenteneinfluss, Altlasten) gegenüber den Hintergrundgehalten erhöht sind. Sie unterstellt damit, dass der bezeichnete Hintergrundgehalt typisch bzw. repräsentativ für bestimmte Böden, Gebiete oder auch Nutzungen ist und nicht durch lokal erhöhte (geogene, chalkogene und/oder anthropogene, z.B. bewirtschaftungsbedingte) Werte beeinflusst wird.

Für die meisten organischen Schadstoffe können lithogene oder chalkogene Komponenten ausgeschlossen werden, da diese Stoffe im Wesentlichen nicht als Ausgangsmaterialien der Bodenbildung vorkommen. Natürliche Ursachen (z.B. PAK-Entstehung bei Waldbränden, Dioxine in tertiären Lagerstätten) sind in der Regel vernachlässigbar. Der Hintergrundgehalt organischer Schadstoffe ist daher weitgehend identisch mit den ubiquitären Einträgen, die durch pedogenetische Prozesse und Nutzungseinflüsse im Boden umverteilt werden.

Hintergrundwert

Hintergrundwerte sind repräsentative, statistisch abgeleitete Werte für allgemein verbreitete Hintergrundgehalte eines Stoffes oder einer Stoffgruppe in Böden.

Hintergrundwerte für Böden beruhen auf den ermittelten Hintergrundgehalten und bezeichnen unter Angabe der statistischen Kenngrößen sowie der Bezugsgrößen wie Ausgangsgestein der Bodenbildung, Bodeneigenschaften, Bodenhorizont, Nutzung und Gebietsdifferenzierung die repräsentativen Stoffgehalte in Böden.

3 Erhebung von Hintergrundgehalten

Bei der Erhebung von Hintergrundgehalten für anorganische und organische Stoffe in Böden sind folgende Aspekte zu beachten:

Die Anforderungen gelten grundsätzlich für die Planung und Durchführung von Untersuchungsprogrammen, um Daten für die Ableitung von Hintergrundwerten zu erheben. Es können auch bereits vorliegende Datenbestände aus abgeschlossenen Untersuchungsprogrammen (Altdaten) verwendet werden, soweit die beschriebenen Anforderungen an die Erhebung von Hintergrundgehalten erfüllt sind.

3.1 Stoffauswahl

Die natürlichen Gehalte anorganischer Stoffe in Böden werden mehr oder weniger stark von anthropogenen Einträgen überprägt. Während z.B. die Gehalte von Ni und Cr in Böden stark vom geogenen Grundgehalt bestimmt werden, sind die natürlichen Gehalte u.a. von Zn, Pb, Cd und Cu insbesondere in Oberböden in stärkerem Maße von anthropogenen Einträgen überlagert.

Organische Schadstoffe kommen natürlicherweise in Böden außerhalb der Lagerstätten fossiler Brennstoffe so gut wie überhaupt nicht vor. Bei Vulkanausbrüchen und Waldbränden können einige dieser Verbindungen in geringen Konzentrationen entstehen. Der weitaus größte Teil der organischen Schadstoffe ist anthropogenen Ursprungs und in größerem Umfang erst im Zuge der weltweiten Industrialisierung zu Beginn des 20. Jahrhunderts in die Umwelt gelangt. Die Belastung der Umwelt mit organischen Schadstoffen wird hauptsächlich durch die chemischen und physikalischen Eigenschaften von emittierten Verbindungen bestimmt.

Die LABO empfiehlt, für die Ermittlung von Hintergrundgehalten und die Ableitung von Hintergrundwerten für Böden folgende Stoffe prioritär zu berücksichtigen:

anorganische Stoffe: As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Tl, V, Zn

organische Stoffe: PAK₁₆, B(a)P, DDx, HCB, γ -HCH, PCB₆, dl-PCB, PCDD/F

Dabei werden solche Stoffe bzw. Stoffgruppen berücksichtigt, die (a) ubiquitär-diffus in Böden verbreitet sind, (b) eine wirkungspfadbezogene Relevanz aufweisen (Boden-Grundwasser; Boden-Mensch; Boden-Nahrungskette) und (c) bei bestimmten Gehalten toxisch sind. Darüber hinaus müssen die ausgewählten Stoffe analytisch-chemisch und mit allgemein eingeführten Verfahren eindeutig und hinreichend präzise erfasst werden können. Bei den organischen Stoffen spielt ihre Persistenz in Böden eine wesentliche Rolle. Die *Verordnung (EG) Nr. 1907/2006, Anhang XIII* legt für die verschiedenen Umweltmedien Kriterien für die Persistenz fest: Hiernach beträgt die Abbau-Halbwertszeit im Boden mehr als 120 Tage. Für die Auswahl von organischen Stoffen / Stoffgruppen zur Ableitung von Hintergrundwerten sollte folglich eine Halbwertszeit größer 120 Tage zugrunde gelegt werden.

Die Empfehlung prioritär zu untersuchender Schadstoffe umfasst alle Schadstoffe mit Vorsorgewerten nach BBodSchV, anorganische Schadstoffe für die mit Novellierung der BBodSchV Vorsorgewerte geregelt werden sollen, persistente organische

Schadstoffe mit Prüf- und Maßnahmenwerten nach BBodSchV (DDx, HCB, γ -HCH, PCDD/F) und mit lebens- und futtermittelrechtlicher Relevanz (dl-PCB).

Darüber hinaus können für weitere Schadstoffe Hintergrundgehalte erhoben und Hintergrundwerte abgeleitet werden. Bei der Festlegung von Stoffen sind die o.g. Auswahlkriterien heranzuziehen. In Frage kommen insbesondere weitere Schadstoffe, für die Prüf- und Maßnahmenwerte in der BBodSchV geregelt werden (z.B. Zinn, Aldrin) oder zukünftig geregelt werden sollen (Barium, Bor) und Schadstoffe mit regionaler Relevanz (z.B. Uran).

Radioaktive Isotope werden im Rahmen der Programme zur Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz untersucht und sind nicht Gegenstand des Berichtes.

3.2 Standortauswahl und Probennahme

3.2.1 Standortauswahl

Die Standortauswahl sollte auf Grundlage einer Probennahmestrategie erfolgen, die eine repräsentative Erfassung von Hintergrundgehalten für die stoffspezifisch relevanten Bezugsgrößen (u.a. Bodenausgangsgesteine, Bodenhorizonte, Nutzungen, Gebietsdifferenzierungen) zum Ziel hat. Mit möglichst geringem Aufwand soll ein hoher Grad der Übertragbarkeit auf gleichartige, jedoch nicht untersuchte Flächen erreicht werden.

Die Wahl der Probennahmestrategie hängt entscheidend von Art und Umfang der flächen- und punktbezogenen Vorinformationen ab. Hierzu zählen z.B. Informationen über die räumliche Verbreitung der Böden einschließlich ihrer Ausgangsgesteine, die Landnutzung, der Gebietstyp sowie bereits vorhandene Daten zu Hintergrundgehalten. Liegen ausreichende Vorinformationen der Flächen vor, lässt sich eine Probennahmestrategie entwickeln, die für alle im Hinblick auf die stoffspezifischen Bezugsgrößen „homogenen“ Teilflächen zufällig oder systematisch repräsentative Standorte auswählt. Je weniger Vorinformationen bekannt sind, desto eher empfiehlt sich eine flächendeckend systematische, vorzugsweise rasterorientierte Beprobung. Die Probennahmeverfahren sowohl zur Aufstellung von systematischen als auch von unregelmäßigen (nichtsystematischen) Probennahmemustern legt die DIN ISO 10381-1 fest.

Alternative Repräsentanzkriterien lassen sich über die räumliche Variabilität der den jeweiligen Stoffgehalt bestimmenden Zustandsgrößen (z.B. Verteilung der Bodenarten) definieren. Ein exemplarisches Vorgehen ist bei *Utermann et al. (2000)* dokumentiert.

3.2.2 Standortbeschreibung

Die Auswertung von Daten zu Hintergrundgehalten in Böden setzt grundsätzlich eine einheitliche und hinreichende Standort- und Bodenansprache voraus. Ausführliche Hinweise hierzu finden sich in der „Bodenkundlichen Kartieranleitung – KA5“ (*Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden, 2005*) und der „Arbeitshilfe für die Bodenansprache im vor- und nachsorgenden Bodenschutz – Auszug aus der Bodenkundlichen Kartieranleitung KA5“ (*Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden, 2009*).

Folgende Mindestinformationen zur Standort- und Profilkennzeichnung sollten erhoben und vorgehalten werden:

- Koordinaten,
- pedologische Kennzeichnung gemäß KA 5, 2005,
- lithologische Kennzeichnung gemäß KA 5, 2005 und
- Nutzungsart.

3.2.3 Probennahme

Die Probennahmeverfahren, die Anwendung unterschiedlicher Probennahmegeräte sowie der Umgang mit Bodenproben haben maßgebenden Einfluss auf das Ergebnis von Untersuchungen und somit auf die Vergleichbarkeit der Ergebnisse. Detaillierte Hinweise hierzu finden sich u.a. in der „Bodenkundlichen Kartieranleitung-KA5“ (*Ad-hoc-AG Boden, 2005*) und in der DIN-ISO 10381-2 sowie DIN-ISO 10381-4.

Bei der Entnahme von Bodenproben für die Erhebung von Hintergrundgehalten sind zusätzlich folgende Aspekte zu beachten:

- Entnahme auch von volumenbezogenen Proben insbesondere bei Substraten mit variierenden und/oder im Vergleich zu Mineralböden stark abweichenden Lagerungsdichten (z.B. bei Moorböden und organischen Auflagehorizonten).
- Berücksichtigung des Skelettanteils insbesondere bei stärker skeletthaltigen Böden.
- Kühlung der Proben zur Untersuchung auf organische Verbindungen bei Transport und Lagerung (*Wellbrock et al., 2006*).

Die Bodenprobennahme sollte grundsätzlich horizontbezogen erfolgen. Metrische Entnahmetiefen sind darüber hinaus zur Unterteilung mächtigerer Bodenhorizonte, bei unscharfen / geringmächtigen Horizonten in Oberböden unter Wald und bei gestörten Profilen (zum Beispiel in Verdichtungsräumen) möglich. Tiefenstufen bezogene Proben sollten nur dann für die Ableitung von Hintergrundwerten verwendet werden, wenn diese sich eindeutig einem Horizont oder einer Horizontgruppe (z.B. Unterböden) zuordnen lassen.

3.3 Analytik

3.3.1 Analytik anorganischer Stoffe

Hintergrundgehalte für anorganische Stoffe in Böden können als (a) königswasser-extrahierbare Fraktion (KW-Extraktion) oder (b) Totalgehalte in flusssäure-haltigen Aufschlüssen (HF-Aufschluss) (z.B. HF-HCl-HClO₄-Druckaufschluss) bzw. mittels Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) bestimmt werden. Die KW-Extraktion (stellt derzeit das bodenschutzrechtlich anerkannte Referenzverfahren dar und wird von der LABO für die Ableitung von Hintergrundwerten empfohlen. Zur Ermittlung der königswasser-extrahierbaren Fraktion steht DIN ISO 11466, alternativ steht auch DIN EN 13657 (01.2003) zur Verfügung.

Wichtig für die Auswertung und Vergleichbarkeit von Daten ist die hinreichende Dokumentation der angewandten Methode. Insbesondere im Hinblick auf die Vergleichbarkeit von Hintergrundwerten mit den in der BBodSchV geregelten Bodenwerten und ihren zugrunde liegenden Analysemethoden wird für die Erhebung

von Hintergrundgehalten eine einheitliche Vorgehensweise entsprechend der oben aufgeführten Aufschlussverfahren bzw. der in der BBodSchV genannten Messverfahren empfohlen. Werden andere Verfahren angewendet, sollte sichergestellt werden, dass deren Ergebnisse mit den Ergebnissen der angegebenen Verfahren vergleichbar sind. Informationen hierzu stellt der Fachbeirat Bodenuntersuchung auf seiner Homepage bereit (FBU, 2014).

Zur Ermittlung der Nachweis-, Erfassungs- und Bestimmungsgrenzen der chemischen Analytik sind die Anforderungen der DIN 32645 maßgebend.

Die Angabe der Stoffgehalte soll als Konzentrationswert bezogen auf die Trockenmasse Feinboden (z.B. mg/kg TM) erfolgen.

Wenn erforderlich, z.B. bei unzureichender Datenlage mittels Königswasser extrahierter Gehalte, kann die Ableitung von Hintergrundwerten auch unter Nutzung von Datensätzen erfolgen, die aus anderen Aufschluss- und Analysenverfahren (Totalaufschlüsse) resultieren. Hierbei muss statistisch abgesichert sein, dass die Totalgehalte und die KW-extrahierbaren Stoffgehalte in signifikant enger Beziehung zueinander stehen.

Umfangreiche Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen den Stoffgehalten der KW-Extraktion und Totalgehalten führten *Utermann et al. (2000)* und *Hornburg (2002)* durch. Als Ergebnis dieser Arbeiten liegen für Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, V und Zn sowohl substratübergreifend als auch nach Ausgangsgesteinsgruppen getrennt abgeleitete Regressionsfunktionen vor. Mit diesen Gleichungen ist es möglich, Totalgehalte in Gehalte der KW-Extraktion zu transformieren. Die Gültigkeit der Gleichungen ist grundsätzlich auf den Konzentrationsbereich begrenzt, der sich aus der Spanne der den Regressionsfunktionen zugrunde liegenden Messwerte ergibt.

3.3.2 Analytik organischer Stoffe / Stoffgruppen

Organische Stoffe liegen häufig im Ultraspurenbereich vor und Messergebnisse können leicht durch Verunreinigungen und Querkontaminationen im Labor verfälscht werden oder Minderbefunde sind aufgrund von Probenaufbereitungsverfahren möglich. Deshalb bedarf die quantitative Bestimmung von organischen Spurenstoffen besonderer analytischer Genauigkeit und es sind geeignete interne und externe Maßnahmen zur Qualitätssicherung durchzuführen.

Bei der Analytik von organischen Stoffen / Stoffgruppen kommen unterschiedliche Methoden zur Anwendung. Die BBodSchV nennt eine Reihe von Verfahren, die grundsätzlich zur Bestimmung organischer Stoffe angewendet werden können. Zu beachten ist allerdings, dass die Hintergrundgehalte von Böden in der Regel deutlich unter denen der Prüfwerte nach BBodSchV liegen. Da die Verfahren der BBodSchV auf die dort vorkommenden Wertebereiche validiert sind, ist bei der Auswahl von Analyseverfahren sicherzustellen, dass

- die Gehalte mit hinreichender Genauigkeit (Richtigkeit und Präzision) erfasst werden und
- die Bestimmungsgrenzen angemessen für die Ermittlung von Hintergrundgehalten sind.

Informationen zu geeigneten Verfahren und unteren Anwendungsgrenzen stellt der Fachbeirat Bodenuntersuchung auf seiner Homepage bereit (FBU, 2014).

Die Ermittlung der Nachweis- und Bestimmungsgrenze erfolgt nach ISO/TS 13530 oder DIN 32645.

Die Angabe der Stoffgehalte soll als Konzentrationswert bezogen auf die Trockenmasse Feinboden (z.B. µg/kg TM) erfolgen.

Im Einzelnen ist je nach Fragestellung auf folgendes zu achten:

- Die Wiederfindungsraten unterscheiden sich signifikant je nach Elutionsverfahren der Bodenproben. Die geringsten Wiederfindungsraten werden in der Regel bei dem Verfahren der Soxhlet-Extraktion beobachtet, im Gegensatz hierzu die höchsten Wiederfindungsraten bei Verfahren der beschleunigten Lösungsmittel-Extraktion (*Lehnik-Habrink et al., 2010*).
- Es sollten feuchte Proben untersucht werden, wenn zu erwarten ist, dass es durch Trocknung der Proben zu Verlusten von leichtflüchtigen Verbindungen mit niedrigem Molekulargewicht kommt, welche wesentlichen Einfluss auf den Summenwert haben können (insb. bei Naphthalin). Die Vorgaben der DIN 19747 (07.2009) sind zu berücksichtigen.
- Aufgrund der Flüchtigkeit von Verbindungen mit geringem Molekulargewicht und des möglichen biotischen Abbaus dieser Verbindung insbesondere bei Anwesenheit von organischer Substanz müssen derartige Proben unter gekühlten Bedingungen gelagert und aufbereitet werden (*Wellbrock et al., 2006*).
- Zur Qualitätssicherung der Untersuchungsergebnisse sollten regelmäßig Blindwertkontrollen durchgeführt und Laborvergleichs- oder zertifizierte Referenzmaterialien eingesetzt werden.
- Die Gehalte derjenigen dl-PCB- und PCDD/F-Kongenere, welche wesentlich zum Gesamt-TEQ-Wert beitragen, sind mit hinreichender Genauigkeit zu bestimmen.
- Bei der Zusammenführung von Analyseergebnissen verschiedener Untersuchungen muss sichergestellt werden, dass die angewendeten Verfahren gleichwertig sind. Dies geschieht am einfachsten über den Vergleich der Ergebnisse von geeigneten laborinternen Vergleichsproben oder zertifizierten Referenzmaterialien.

3.4 Bestimmung weiterer Bodenkenngrößen

Zur Interpretation von Hintergrundgehalten, für die Ableitung flächen- bzw. volumenbezogener Angaben (Frachten, Flächenbelegung, Gesamtvorräte und Bilanzierung von Stoffen im Boden) sowie hinsichtlich der Vergleichbarkeit von Hintergrundgehalten / -werten mit den Bodenwerten der BBodSchV (insb. den Vorsorgewerten) ist die Erfassung der wesentlichen Bodenkenngrößen und eine einheitliche bzw. vergleichbare Methodik ihrer Bestimmung erforderlich. Die Bestimmung der in Tabelle 1 aufgeführten Bodenkenngrößen wird entsprechend der zugeordneten Methoden empfohlen. Die aufgeführten Kenngrößen sind gleichermaßen bedeutsam für die Interpretation von Hintergrundgehalten für anorganische Stoffe und persistente organische Stoffe / Stoffgruppen in Böden.

Tabelle 1: Bestimmung weiterer Bodenkenngrößen

Bodenkenngröße	Methode	Verfahrenshinweise
Kohlenstoffgehalt	nach BBodSchV: DIN EN 15936 (11.2012)	Im Boden vorhandener Kohlenstoff wird durch Aufheizen im O ₂ -haltigen, CO ₂ -freien Gasstrom bei mindestens 900°C oxidiert. Die Bestimmung von organischem Kohlenstoff erfolgt nach Entfernen des Karbonates durch HCl oder durch Abzug des getrennt ermittelten Karbonat-Kohlenstoffes
Karbonatgehalt	DIN EN ISO 10 693: 06.2014	
Humusgehalt	Bodenkundliche Kartieranleitung (KA 5, 2005)	Der Humusgehalt kann aus dem Gehalt an organisch gebundenen Kohlenstoff (TOC ₄₀₀ nach DIN 19539: 12.2016) berechnet werden. Bei Mineralbodenproben wird der Faktor 1,72 (58% C im Humus), bei Torfen und Auflagehumus der Faktor 2 (50% C im Humus) verwendet.
pH-Wert	DIN ISO 10390:12.2005	Suspension der feldfrischen oder luftgetrockneten Bodenprobe in CaCl ₂ -Lösung; CaCl ₂ : (0,01 mol/ l)
Korngrößenverteilung	DIN ISO 11277: 08.2002	Siebung, Dispergierung, Pipett-Analyse*
	DIN 18123: 04.2011/ DIN ISO 11277: 08.2002	Siebung, Dispergierung, Aräometermethode
Rohdichte (trocken)	nach BBodSchV: DIN EN ISO 11272: 06.2014	Trocknung einer volumengerecht entnommenen Bodenprobe bei 105 °C, rückwiegen
Amorphe Sesquioxide (Fe, Mn, Al)	DIN 19684-6: 12.97	Extraktion der amorphen Sesquioxide mit NH ₄ -Oxalat und Oxalsäure

*empfohlene Methode

4 Ableitung von Hintergrundwerten

4.1 Differenzierung nach Bezugsgrößen

Für die Aufstellung aussagefähiger bundesweiter und länderspezifischer Hintergrundwerte wird eine Differenzierung nach den in Tabelle 2 beschriebenen Bezugsgrößen empfohlen.

Tabelle 2: Bezugsgrößen für anorganische und organische Stoffe in Böden

	Bodenhorizonte		
	Auflagehorizont	Oberboden	Unterboden / -grund
Anorganische Stoffe			
Ausgangsgestein	ooo	xxx	xxx
Humusgehalt	----	ooo	----
Nutzungsart	xxx	xxx	ooo
Gebietstyp	xxx	xxx	xxx
Organische Stoffe			
Ausgangsgestein	----	----	----
Humusgehalt	----	xxx	----
Nutzungsart	xxx	xxx	----
Gebietstyp	xxx	xxx	xxx

xxx Differenzierung empfohlen / **ooo** Differenzierung prüfen/ **---** Differenzierung nicht empfohlen

4.1.1 Bodenausgangsgesteine

Die Gehalte anorganischer Stoffe in Böden werden wesentlich durch die Art und Zusammensetzung des bodenbildenden Ausgangsgesteins (Fest- oder Lockergesteinszersatz) sowie durch eingemischte oder überlagerte Fremdkomponenten (z.B. Löss, periglaziale Umlagerungen) geprägt.

Eine Differenzierung der Hintergrundwerte anorganischer Stoffe sollte daher nach den jeweils überwiegenden bzw. prägenden bodenbildenden Ausgangsgesteinen erfolgen. Hierfür sind insbesondere die in Tabelle 3 aufgeführten prioritären Ausgangsgesteine der Bodenbildung zu beachten. Dabei erfolgte die Aggregation einzelner Gesteine zu Gruppen von Bodenausgangsgesteinen neben ihren geologischen Eigenschaften insbesondere unter Berücksichtigung ihrer Stoffgehalte.

Tabelle 3: Prioritäre Gruppen der Bodenausgangsgesteine

Gruppen der Bodenausgangsgesteine	Gesteine und Gesteinsgruppen
Festgesteine	
Karbonatgesteine ¹ - Kalkstein - Mergelstein	Dolomitstein, Kalkdolomitstein Tonmergel(-Stein), Schluffmergel(-Stein), Dolomitmergel(-Stein), Kalkmergel(-Stein)
Tonsteine ² - Tonstein - Tonschiefer - Schluffstein	präquartäre Tone, Tonsteine mit Karbonatgehalt ≤10% Flaser-, Platten-, Alaun-, Kieselschiefer, quarzitische Schiefer präquartäre Schluffe
Sandstein	Breccie, Konglomerat, Arkose, Grauwacke, Quarzit, Quarzsandstein
Ultrabasische Magmatite / Metamorphite	Pikrit, Serpentin, Peridotit
Basische Magmatite / Metamorphite	Basalt und Meta-Basalte, Diabas (=Grünstein), Basanit, Nephelinit, Tephrit, Hornblendit, Norit, Gabbro
Intermediäre Magmatite / Metamorphite ³	Latit, Trachyt, Monzonit, Phonolith, Andesit, Keratophyr, Diorit, Syenit, Kuselit
Bimstuff	
Saure Magmatite / Metamorphite - Granit - Gneis - Glimmerschiefer	Granodiorit, Metagranitoid, Rhyolith (=Quarzporphyr), Metarhyolithoid Granulit, Paragneis, Orthogneis Tonstein-Metamorphite
Lockergesteine	
Küstensedimente	
Terrassenablagerungen	pleistozäne fluviatile oder fluvilimnogene Ablagerungen
Sande	äolische, fluviatile oder glazigene Sande (Bodenart Ss, Su2 oder Sl2), präquartäre Sande
Geschiebelehme/-mergel	glazigene oder fluviglazigene Ablagerungen
Löss	Lösslehme und Lössderivate, Kolluvien mit dominierendem Substrat = Löss
Sandlöss	Lösssand, äolische Ablagerungen mit für Sandlöss charakteristischer Bodenart
Torfe (Moore)	

¹ Böden mit intensiver Anreicherung von Residual-Ton (Bodentyp Terra fusca) sind gesondert zu prüfen und ggf. als eigenes Datenkollektiv auszuweisen.

² Böden mit ferrallitischer oder fersiallitischer Bodenbildung sind gesondert zu prüfen und ggf. als eigenes Datenkollektiv auszuweisen.

³ Intermediäre Magmatite und Metamorphite treten teilweise in kleinräumiger Vergesellschaftung mit basischen Gesteinen auf. Allerdings können ihre Stoffgehalte, insbesondere bei den geogen beeinflussten Stoffen Cr und Ni, deutliche Unterschiede aufweisen. Auch ist nicht immer eine deutliche Abgrenzung zu Sauren Magmatiten und Metamorphiten möglich. Deshalb ist anhand der vorhandenen Datengrundlage zu prüfen, ob diese Gruppe als eigenes Kollektiv zu behandeln ist oder (teilweise) gemeinsam mit anderen Gesteinsgruppen ausgewiesen werden kann.

Diese Liste kann durch weitere regional vorherrschende Bodenausgangsgesteine oder solche Gesteine, die aufgrund ihrer Mineralzusammensetzung besondere Stoffgehalte aufweisen (z.B. Tongesteine des Lias) ergänzt werden. Das Ausmaß

der Differenzierung zwischen Gruppen verschiedener Bodenausgangsgesteine muss sich dabei am zur Verfügung stehenden Datenumfang und den Unterschieden zwischen den Stoffgehalten orientieren. Im Falle der fluviatilen Lockergesteine der Flussauen ist ggf. eine Differenzierung nach Flussläufen und / oder Flussabschnitten erforderlich (Kastler 2017).

Bei den Böden aus präquartären Gesteinen (i.d.R. **Festgesteine**) wird die stoffliche Zusammensetzung der periglazialen Lagen entscheidend durch das Mischungsverhältnis von Löss zu Festgesteinszersatz geprägt. Anhand der Datenlage und der Stoffgehalte ist zu prüfen, ob eine Differenzierung der periglazialen Lagen in Klassen unterschiedlichen Lössanteils vorgenommen werden kann bzw. sollte. Mögliche Verfahren zur Differenzierung nach Lössgehaltsklassen sind bei *Hindal et al. (1995, 2004)* oder bei *Utermann et al. (2003)* beschrieben.

Bei den Böden aus **quartären Lockergesteinen** sind teilweise Überlagerungen mehrerer Gesteinsschichten anzutreffen (z.B. Geschiebedecksand über Geschiebelehm, Sand(löss)ablagerungen über Terrassenablagerungen). Hierbei sollte eine tiefenbezogene Auswertung der Stoffgehalte für den gesamten Boden nur innerhalb von Gruppen gleicher Bodenausgangsgesteine erfolgen.

Als weitere, nachgeordnete Bezugsgrößen zur Differenzierung der Hintergrundwerte können die Bodenart(engruppe), eine horizontbezogene Aggregation in Ab- (z.B. Ae und Al) und Anreicherungshorizonte (z.B. Bs, Bh und Bt) oder anderer Bezugsgrößen, die sich zur Darstellung relevanter Unterschiede der Stoffgehalte von Datenkollektiven eignen, verwendet werden.

4.1.2 Humusgehalte

Die starke Bindung von organischen Stoffen/Stoffgruppen an die organische Bodensubstanz und die mit steigendem Humusgehalt in der Regel abnehmende Lagerungsdichte erfordert eine Differenzierung der Hintergrundwerte für organische Stoffe/Stoffgruppen nach Humusgehalten. Auch für anorganische Schadstoffe (z.B. Pb, Cu) kann eine Differenzierung nach Humusgehalten sinnvoll sein.

Empfohlen wird eine Differenzierung entsprechend den Humusklassen für Acker- und Grünlandböden nach KA5 für alle Nutzungen. Damit kann ein nutzungsübergreifender Vergleich der Hintergrundwerte sichergestellt werden.

4.1.3 Nutzungsarten

Der nutzungsbedingte Bearbeitungszustand von Böden und deren unmittelbarer Einfluss auf die Stoffverteilung sowie nutzungsspezifische Stoffeinträge erfordern eine Differenzierung der Hintergrundwerte für **Oberböden** nach Nutzungsarten.

So weisen Ackerböden durch regelmäßige Bodenbearbeitung (Verdünnung durch Vermischung) häufig die geringsten Schadstoffgehalte auf. In Grünlandböden werden Schadstoffe im oberen Bodenhorizont (A-Horizont) angereichert, so dass sich im Vergleich zu Ackerböden höhere Stoffgehalte ergeben. Spezifische Stoffeinträge in Waldböden sind durch den Auskämmeffekt der Vegetation für luftgetragene Immissionen (Interzeption) bedingt. Ebenso lassen sich auch andere

Nutzungsarten, wie beispielsweise Sonderkulturflächen, durch nutzungsspezifische Stoffgehalte kennzeichnen.

Empfohlen wird die Ableitung von Hintergrundwerten für die Hauptnutzungsarten Acker, Grünland und Wald. Die Hauptnutzungsart Grünland ist im Sinne von Dauergrünland aufzufassen. Temporäre Grünlandnutzung mit zwischenzeitlichem Umbruch sollte der Hauptnutzungsart Acker zugewiesen werden.

Regionale Hintergrundwerte können auch für weitere Nutzungen, (z. B. Haus- und Kleingärten, Weinbau, Obstanbau) abgeleitet werden.

Für **Unterböden / Untergrund** wird von der Empfehlung einer Differenzierung nach Nutzungsart abgesehen, da die Gehalte anorganischer Stoffgehalte hier im Wesentlichen vom Ausgangsgestein der Bodenbildung bestimmt werden. Liegen jedoch Anhaltspunkte für den Einfluss der Nutzungsart auf die Gehalte in Unterböden vor, sollte auch hier eine entsprechende Differenzierung vorgenommen werden.

4.1.4 **Bodenhorizonte**

Für die Ableitung der Hintergrundwerte in Böden müssen die Horizonte in Gruppen zusammengefasst werden. Dabei sind die Kriterien zu berücksichtigen, welche den Stoffgehalt der Böden beeinflussen. Diese sind

- die Nähe zur Bodenoberfläche und damit zum Eintrag über den Luft- oder Düngepfad,
- die Humosität und damit die Bindung an reaktive organische Gruppen,
- der Verwitterungsgrad und damit die Bindung an Oxide bzw. Tonminerale oder
- der Einfluss von reduzierenden Bedingungen, in denen Oxide nicht stabil sind und unter denen dem Milieu entsprechende Bodenminerale vorherrschen.

Bei der Zusammenfassung von Horizonten zu Horizontgruppen sind organische (> 30 Gew.% organische Substanz) und mineralische Horizonte zu unterscheiden. Diese Trennung ergibt sich auch durch die Unterscheidung der Ausgangsgesteine. Organische Horizonte gliedern sich in Auflage-, Moor- und Muddehorizonte. Organomineralische Mudden (\leq 30 Gew.% organische Substanz) und Anmoorhorizonte zählen zu den Mineralbodenhorizonten. Bei den organischen Horizonten wird eine Trennung zwischen Hochmoor-, Niedermoor- und Muddehorizonten empfohlen. Die Auflagehorizonte sind immer als eigenes Datenkollektiv zu behandeln.

Empfohlen wird eine Differenzierung (siehe auch Abbildung 1) nach folgenden Horizontgruppen:

- Oberbodenhorizonte,
- Unterbodenhorizonte und
- Untergrundhorizonte,

wobei weitere Horizontgruppen unterschieden werden können.

Bei der Zusammenfassung von Proben zu den o.g. drei Horizontgruppen wird nicht allein die Zugehörigkeit der Horizonte zu den in der KA 5 definierten Horizontgruppen berücksichtigt, sondern zusätzlich auch die Anforderungen bezüglich der Tiefenstufen, wie sie die BBodSchV vorgibt. Dadurch können die Gruppen von der streng pedogenetischen Definition der KA 5 abweichen. Übergangs- oder

Verzahnungshorizonte zwischen Oberboden- und Untergrundhorizonten (z.B. Ah-iCv) sind möglichst getrennt auszuwerten. Übergangshorizonte zwischen angrenzenden Horizontgruppen (z.B. Ah-Bv, Al+Bt, Cv-Bv) werden gemäß den Regeln, die für das Hauptmerkmal (letzter Symbolteil) gelten, zugeordnet. Im Folgenden werden die Unterscheidungskriterien dargestellt.

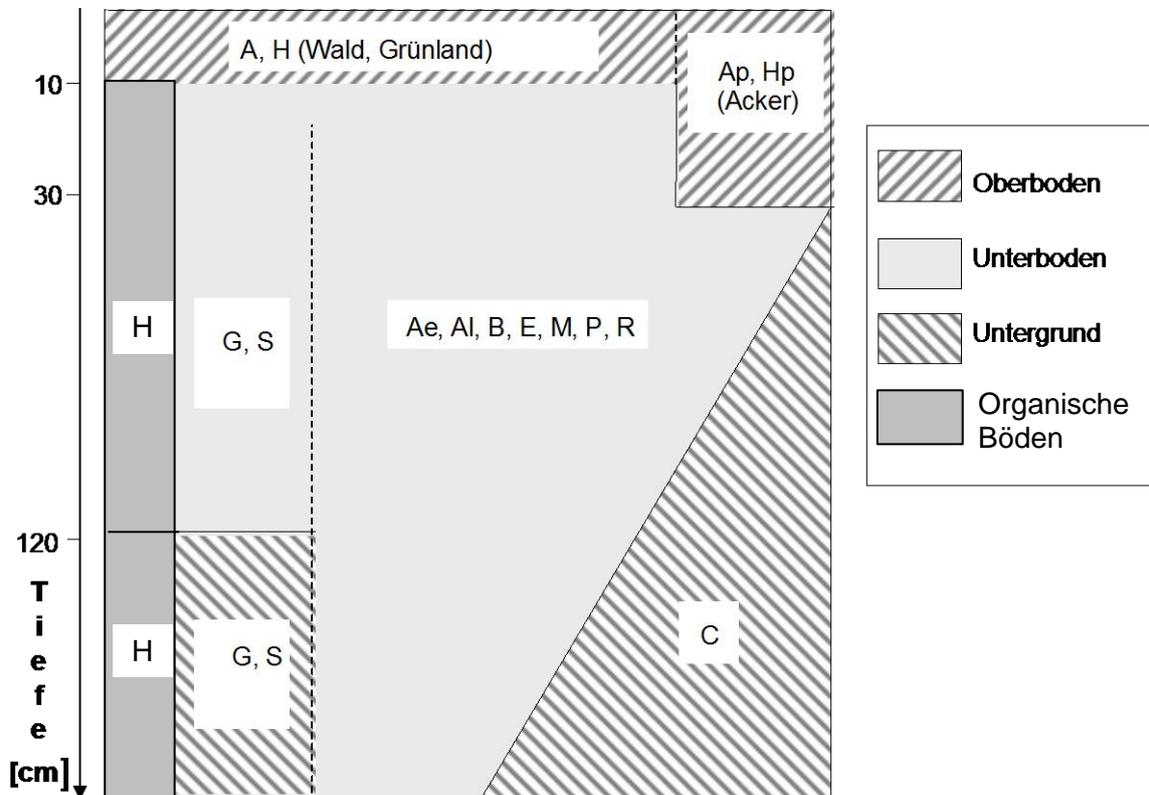


Abbildung 1: Einteilung nach Oberboden, Unterboden und Untergrund auf Grundlage der Horizontensymbole und Tiefe

Oberbodenhorizonte

Zu den Oberbodenhorizonten zählen **alle** obersten Mineralbodenhorizonte und Moorhorizonte. Alle folgenden Horizonte, die als Hauptsymbol ein A, H, R oder M besitzen, gehören ebenfalls in die Gruppe der Oberböden, sofern deren Untergrenze bei Ackernutzung, Gartennutzung oder Sonderkulturen ≤ 30 cm und bei Grünland- oder Forstnutzung ≤ 10 cm ist. Liegen diese Horizonte zu 50% oder mehr ihrer Mächtigkeit innerhalb der genannten Spannen, werden sie zu den Oberbodenhorizonten gezählt, anderenfalls zu den Unterböden.

Die Verarmungshorizonte Ae und Al werden den Unterböden zugeschlagen, sobald sie tiefer reichen als die oben genannten nutzungsspezifischen Untergrenzen für Oberböden.

Die Zuordnung tieferreichender Aa-, Ah- oder A_h-Horizonte zu Ober- bzw. Unterboden oder einer getrennten Ausweisung sollte bei genügend großem Stichprobenumfang nach Prüfung der Stoffgehalte entschieden werden.

Unterbodenhorizonte

Zu den Unterbodenhorizonten zählen Horizonte, die nicht unter den Gruppen

- Oberbodenhorizonte
- Untergrundhorizonte
- „weitere Horizonte“

geregelt sind.

Dies sind alle B-, P-, E-, R- und M-Horizonte für den gesamten Tiefenbereich unterhalb des Oberbodens sowie alle H-, G- oder S-Horizonte, soweit sie nicht zu den Untergrundhorizonten oder den „Weiteren Horizonten“ gerechnet werden (siehe unten).

Untergrundhorizonte

Zu den Untergrundhorizonten zählen alle Horizonte aus dem mineralischen Untergrund nach KA 5, also alle Horizonte, deren Hauptsymbol ein „C“ ist. Soweit bei Stau-, Grundwasserböden und Mooren keine C-Horizonte ausgewiesen sind, werden H-, Go- und S-Horizonte dem Untergrund zugewiesen, sofern mehr als die Hälfte der Horizontmächtigkeit unterhalb 120 cm liegt.

Weitere Horizonte

Folgende Horizonte sind getrennt von den vorgenommenen Gruppierungen auszuwerten und können bei genügend großem Stichprobenumfang als gesonderte Hintergrundwerte ausgewiesen werden:

- der Mineralbodenoberfläche aufliegende Auflagehorizonte. Dies sind L-, Of- und Oh-Horizonte ohne mögliche Übergänge oder Verzahnungen.
- Übergangs- oder Verzahnungshorizonte zwischen Oberboden- und Untergrundhorizonten.
- Rezente Horizonte, in denen durch langandauernde Vernässung anaerobe und reduzierende Verhältnisse herrschen (z.B. Gr, Srw, Hr, Hw), da diese eine andere Stoffdynamik aufweisen. Einen Hinweis kann der Vernässungsgrad des Profils geben ($V_n \geq 4$).
- Y-Horizonte, da diese durch Reduktgas gebildeten Horizonte eine besondere Stoffdynamik aufweisen können.
- Fossile Horizonte sind getrennt auszuwerten, falls überdeckte Horizonte unterhalb der nutzungs- bzw. horizontgruppen-spezifischen Untergrenze liegen und nur ein einziges Hauptsymbol vergeben wurde (z.B. fAh >30 cm bzw. >10 cm Obergrenze). Bei Übergangs- oder Verzahnungshorizonten wird sinngemäß nach den obengenannten Regeln verfahren.
- Wegen der Stoffanreicherung in den Residualtonen der T-Horizonte wird bei ausreichendem Stichprobenumfang eine gesonderte Auswertung der Bodenprofile mit T-Horizonten empfohlen (vgl. Fußnote 1 zu Tabelle 3: prioritäre Bodenausgangsgesteine). Diese Empfehlung gilt ebenfalls für Horizonte fersiallitischer und ferrallitischer Paläoböden (Bu(k)-, Bj-, Cj-Horizonte).

Abweichende Vorgehensweisen sind besonders zu kennzeichnen und zu begründen.

Für organische Schadstoffe sollten Hintergrundwerte nur für Oberböden und ggf. für Auflagehorizonte abgeleitet werden. Persistente organische Schadstoffe werden in hohem Umfang an die organische Substanz des Oberbodens gebunden und sind somit dem Transport über die Bodenlösung in den Unterboden entzogen. Die Erhebung von Hintergrundgehalten organischer Schadstoffe in Unterböden ist daher nur in Ausnahmefällen sinnvoll, und zwar dort, wo die Schadstoffe durch Sedimentation oder anthropogene Umlagerung in den Unterboden gelangen.

Ausnahmen, bei denen auch in Unterböden nennenswerte Gehalte an organischen Schadstoffen auftreten könnten, sind:

- Rigosole,
- Auenböden (je nach Einzugsgebiet),
- Kolluvien und
- Böden mit besonderen Vorbelastungen.

4.1.5 Gebietstypen

Die gebietsspezifische Immissionssituation (diffuse atmogene Einträge) wirkt sich unmittelbar auf die Hintergrundgehalten in **Oberböden** aus (z.B. Ballungsraum versus ländlicher Raum). Daher sollten Hintergrundgehalten gebietsdifferenziert erhoben werden.

Die Gebietsdifferenzierung zur Berechnung von Hintergrundwerten, die nach der bisherigen Empfehlung anhand der siedlungsstrukturellen Gebietstypisierung der Bundesforschungsanstalt für Landeskunde und Raumordnung (*BfLR*, 1992; jetzt Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung BBSR im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung BBR) auf Kreisebene erfolgen sollte, bildet aus heutiger Sicht die zu erwartenden Belastungsmuster nicht hinreichend ab. Empfohlen wird daher, diese Differenzierung auf Gemeindeebene durchzuführen. Als Gebietstypen sind dabei vorwiegend ländlich geprägte Räume (Typ A) und Verdichtungsräume (Typ B) entsprechend Tabelle 4 zu unterscheiden. Wenn die landesweite Datenlage eine Differenzierung als nicht sinnvoll ausweist, kann hierauf verzichtet werden (Typ 0).

Tabelle 4: Gebietstypen zur Hintergrundwerteberechnung

Typ	Bezeichnung	Hintergrundwerte-Berechnung	Flächenzuweisung
A	vorwiegend ländlich geprägte Räume	bundesweit/ landesweit	Gemeinden, die nicht in der Liste der Verdichtungsraumkarte der BBSR von 2013 (BBSR, 2013) aufgeführt sind.
B	Verdichtungsräume	je Verdichtungsraum (Werte-Ermittlung durch die Länder)	Gemeinden entsprechend der Liste zur Verdichtungsraumkarte BBSR 2013 (siehe Tabelle 5 und BBSR, 2013))
0	keine Differenzierung	landesweit möglich	keine

Die Gemeinden werden entsprechend der bundesweiten Flächenzuweisung der BBSR siedlungsstrukturellen Gebietstypen zugeordnet. Die auf der Basis von Siedlungsstrukturkriterien definierte Gebietskategorie der *Verdichtungsräume* wurde bereits 1968 von der Ministerkonferenz für Raumordnung (MKRO) eingeführt und

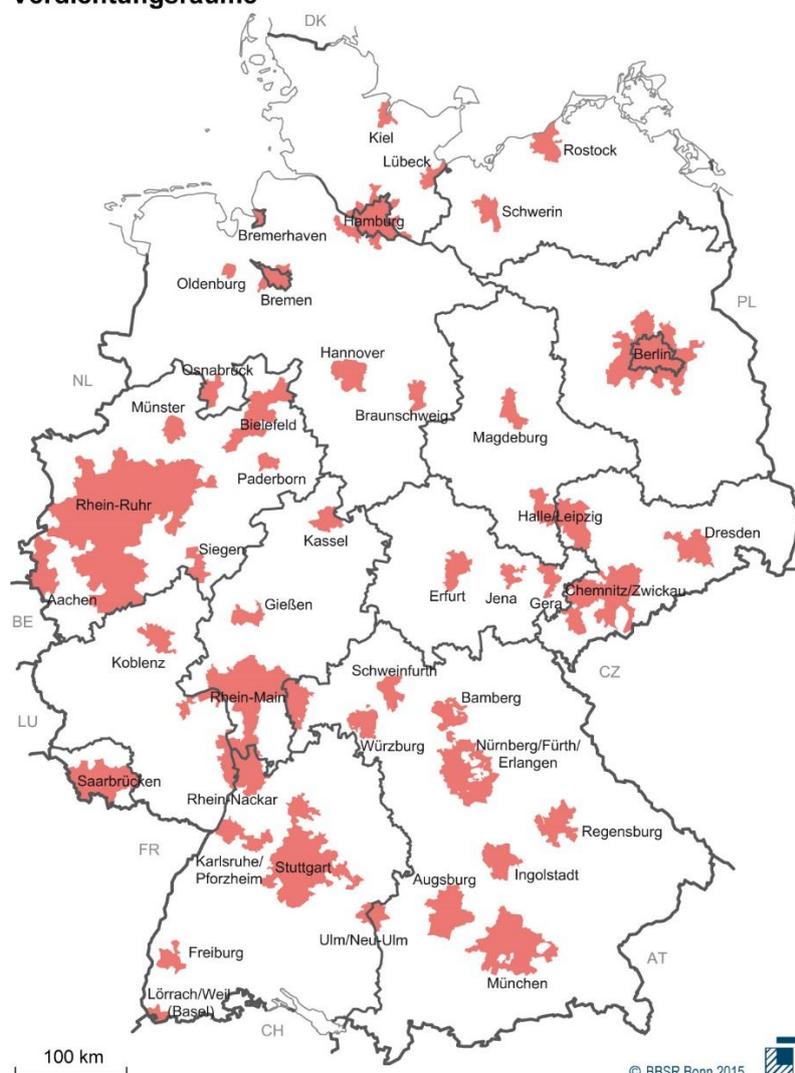
dann auch in das Raumordnungsgesetz aufgenommen. Die letzte Abgrenzung wurde 1993 verabschiedet und 2013 an den Stand der aktuellen Verwaltungsgrenzen angeglichen.

Zu den Verdichtungsräumen (siehe Tabelle 5) gehören Gemeinden, deren Fläche im Vergleich zum Bundeswert überdurchschnittlich als Siedlungs- und Verkehrsfläche genutzt wird und die gleichzeitig eine über dem Bundeswert liegende Siedlungsdichte aufweisen (siehe Abbildung 2).

Die Abgrenzung dieser Verdichtungsräume basiert auf den Merkmalen

- Siedlungsdichte der Gemeinde (Einwohner je km² Siedlungsfläche),
- Anteil der Siedlungs- und Verkehrsfläche an der Gesamtfläche der Gemeinde und
- Mindestgesamtzahl der Einwohner, im Verdichtungsraum > 150.000.

Verdichtungsräume



Verdichtungsraum gemäß Beschluss des Hauptausschusses der Ministerkonferenz für Raumordnung (MKRO) vom 7.9.1993*

* angepasst an den aktuellen Gemeindegebietsstand zum 31.12.2013

Datenbasis: Laufende Raumbewertung des BBSR
Geometrische Grundlage: BKG, Gemeinden, 31.12.2013
Bearbeitung: A. Milbert

Abbildung 2: Verdichtungsräume

Die Zuordnung von Gemeinden zu den Verdichtungsräumen in Tabelle 5 kann auf der Homepage des BBSR (Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung BBSR im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung BBR (www.bbsr.bund.de)) eingesehen werden.

Tabelle 5: Verdichtungsräume gemäß der Ministerkonferenz für Raumordnung (MKRO) vom 07.09.1993

Nr.	Name	Bundesland
1	Rhein-Ruhr	Nordrhein-Westfalen
2	Berlin	Berlin, Brandenburg
3	Rhein-Main	Hessen, Rheinland-Pfalz
4	Stuttgart	Baden-Württemberg
5	Hamburg	Hamburg, Niedersachsen, Schleswig-Holstein
6	München	Bayern
7	Rhein-Neckar	Baden-Württemberg, Hessen, Rheinland-Pfalz
8	Nürnberg / Fürth / Erlangen	Bayern
9	Chemnitz / Zwickau	Sachsen
10	Halle / Leipzig	Sachsen, Sachsen-Anhalt
11	Bielefeld	Nordrhein-Westfalen
12	Saar	Saarland
13	Hannover	Niedersachsen
14	Dresden	Sachsen
15	Bremen	Bremen
16	Aachen	Nordrhein-Westfalen
17	Karlsruhe / Pforzheim	Baden-Württemberg
18	Augsburg	Bayern
19	Magdeburg	Sachsen-Anhalt
20	Kassel	Hessen
21	Braunschweig	Niedersachsen
22	Kiel	Schleswig-Holstein
23	Koblenz	Rheinland-Pfalz
24	Freiburg	Baden-Württemberg
25	Münster	Nordrhein-Westfalen
26	Rostock	Mecklenburg-Vorpommern
27	Aschaffenburg	Bayern
28	Erfurt	Thüringen
29	Osnabrück	Niedersachsen
30	Lübeck	Schleswig-Holstein
31	Ulm / Neu-Ulm	Baden-Württemberg, Bayern
32	Regensburg	Bayern
33	Würzburg	Bayern
34	Gießen	Hessen
35	Siegen	Nordrhein-Westfalen
36	Ingolstadt	Bayern
37	Gera	Thüringen
38	Bamberg	Bayern
39	Oldenburg	Niedersachsen
40	Schwerin	Mecklenburg-Vorpommern
41	Bremerhaven	Bremen
42	Paderborn	Nordrhein-Westfalen
43	Jena	Thüringen
44	Lörrach / Weil	Baden-Württemberg
45	Schweinfurt	Bayern

4.2 Datenauswertung

4.2.1 Harmonisierung der Daten

Unter Harmonisierung ist die Schaffung eines einheitlichen Datensatzes zu verstehen, der den Anforderungen an die Ableitung von Hintergrundwerten genügt. In der Regel führt eine Harmonisierung von Daten zu einer mehr oder weniger starken Reduktion des Stichprobenumfangs, die jedoch zwingend erforderlich ist, um belastbare Auswertungen zu erzielen.

Eine sachgerechte Harmonisierungsstrategie sollte dabei folgende Aspekte beinhalten:

- Überprüfung der Vollständigkeit der Datenfeldinhalte bezogen auf problembezogene Mindestanforderungen,
- Vergleichbarkeit unterschiedlicher Probennahmestrategien, Bezugsgrößen, Nomenklaturen,
- Sicherstellung der Anwendung gleichwertiger Analysenverfahren, die zu vergleichbaren Ergebnissen führen,
- Gewährleistung hinreichender räumlicher Verteilung der Probennahmepunkte und
- Identifikation und Eliminierung untypisch belasteter Proben (Ausreißer- und Extremwerttests).

Grundlage für die Prüfung auf Vollständigkeit der Datenfeldinhalte ist die Definition von Mindestdatensätzen, die u.a. vom jeweiligen Stoff, dem betrachteten Gebiet und der verfügbaren Flächeninformation sowie dem maßstabsabhängigen Ansatz zur Sicherstellung einer adäquaten Flächenrepräsentanz der Punktdaten abhängen.

Unterschiedliche Probennahmestrategien haben erheblichen Einfluss auf die Vergleichbarkeit von Datensätzen. Problematisch sind in diesem Zusammenhang insbesondere der Vergleich von (a) horizont- und tiefenstufenbezogener Probennahme, (b) Misch- und Einzelproben sowie (c) die Frage der Repräsentanz der Einzelproben für die untersuchte Fläche. In der Auswertung ist sorgsam abzuwägen zwischen der Zusammenführung von Daten aus unterschiedlichen Probennahmestrategien zum Zwecke der Erhöhung von Stichprobenumfängen und einer zunehmenden Unschärfe in der Auswertungszielgröße. So sollten tiefenstufenbezogene Proben nur dann für die Ableitung von Hintergrundwerten verwendet werden, wenn diese sich eindeutig einem Horizont oder einer Horizontgruppe (z. B. Unterböden) zuordnen lassen.

Inwiefern unterschiedliche Probenvorbehandlungen und Extraktions- / Analysenverfahren vergleichbar sind, kann nur im Einzelfall bewertet werden. Für die Frage der Vergleichbarkeit von Schwermetallgehalten im HF-Aufschluss (bzw. RFA) und in Königswasser extrahierbaren Gehalten liegen auf der Grundlage umfangreicher Untersuchungen Umrechnungsgleichungen vor (siehe Kap. 3.3.1).

Insbesondere bei der Auswertung von Datensätzen aus unterschiedlichen Quellen bzw. Untersuchungsprogrammen stellt sich häufiger das Problem der ungleichmäßigen räumlichen Verteilung der Punktinformationen. Im Zuge von Repräsentanzbetrachtungen (siehe Kap. 3.2.1) ist ein Mindestmaß an räumlicher Gleichverteilung der Messpunkte sicherzustellen. Bei räumlich sehr ungleichmäßig verteilten Punkten besteht die Gefahr, dass der abzuleitende Hintergrundwert als Zielgröße der Auswertung für eine Legendeneinheit von regionalen Werten dominiert

wird. In diesen Fällen empfiehlt sich eine expertengestützte und / oder geostatistisch basierte Ausdünnung des Stichprobenkollektivs (*Utermann et al., 2000, Duijnsveld et al., 2017*).

Mit Bezug auf die Definition von Hintergrundwerten als typische Gehalte in diffus / ubiquitär belasteten Böden müssen im Zuge der weiteren (statistischen) Auswertungen untypisch belastete Bodenproben in der jeweiligen Stichprobe identifiziert werden, da sie erheblichen Einfluss auf die statistischen Kennwerte zur Charakterisierung von Hintergrundwerten haben können. Im Falle von Stoffgruppen (z.B. PAK) kann auch das Verhältnis der Einzelstoffe zueinander Hinweise auf untypisch belastete Proben geben. Grundlage hierfür ist die Bildung möglichst homogener Stichproben um einer Normalverteilung nahe zu kommen und somit die Grundgesamtheit adäquat zu repräsentieren. Stichproben für Schadstoffgehalte in Böden sind häufig nicht normal, sondern logarithmisch normal verteilt und sollten dann im logarithmischen Zahlenraum ausgewertet werden.

Zur Identifizierung und ggf. nachfolgenden Eliminierung von untypisch belasteten Bodenproben stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung. Allen Verfahren liegt definitionsgemäß eine Annahme zur Verteilung der Stichprobe zugrunde, da ein Ausreißer sich darüber definiert, dass der Messwert außerhalb der erwarteten Spannweite der Verteilung liegt.

Ein einfaches und robustes Verfahren zur Identifizierung von Ausreißern und Extremwerten wird im Folgenden dargestellt (siehe auch DIN EN ISO 19258).

Ausreißer sind Werte, die das 75. Perzentil bzw. das 25. Perzentil um mehr als das 1,5-fache des Interquartilabstandes (Interquartilabstand = 75. Perzentil-25. Perzentil) über- bzw. unterschreiten.

Extremwerte sind Werte, die das 75. Perzentil bzw. das 25. Perzentil um mehr als das 3-fache des Interquartilabstandes über- bzw. unterschreiten.

Insbesondere der Faktor 1,5 zur Abgrenzung von Ausreißern basiert auf der Annahme einer Normalverteilung der zugrunde liegenden Messwerte. Alternativ zur o.g. Methode lassen sich Ausreißer auch direkt durch die Visualisierung im Wahrscheinlichkeitsdichtenetz oder mittels spezifischer statistischer Tests identifizieren. Letztere sind aufwändiger in der Interpretation und an strikte Annahmen als Randbedingung gebunden, deren Nichtzutreffen zu einer fehlerhaften Ausreißeridentifikation führen kann.

Die visuelle und / oder statistische Identifizierung von Ausreißern oder Extremwerten einer Stichprobe sollte nicht automatisch eine Eliminierung dieser Werte aus der Stichprobe nach sich ziehen. Zunächst sollte den Ursachen nachgegangen werden (Einzelfallprüfung).

Berücksichtigung des Messzeitraums der Gehalte organischer Stoffe

Organische Stoffe unterliegen in Böden Abbau- und Alterungsprozessen. Im Weiteren kommt es zu Gehaltsänderungen durch Auswaschung, Ausgasung, Ernteverluste etc. Insbesondere bei jenen organischen Schadstoffen, für die langjährige Anwendungsverbote bestehen, sind sinkende Gesamtgehalte und eine relative Verschiebung zu Gunsten von Abbauprodukten zu beobachten. Werden bei der Ermittlung von Hintergrundwerten Daten verwendet, die älter als ein Jahrzehnt

sind, sollte der Erhebungszeitraum angegeben werden. Dies gilt sinngemäß auch für Datenkollektive, in denen sowohl Werte aus älteren als auch aus aktuellen Untersuchungsprogrammen enthalten sind.

4.2.2 Umgang mit Messwerten unterhalb der Bestimmungsgrenze

Die Bestimmung von Hintergrundgehalten im Spuren- und Ultraspurenbereich wird nach unten durch die Bestimmungs- und die Nachweisgrenze der Messverfahren begrenzt. Die Bestimmungsgrenze ist die Konzentration unterhalb der keine gesicherten Angaben über die Konzentration eines Stoffes gemacht werden können (limit of quantification). Die Nachweisgrenze ist die Konzentration unterhalb der keine gesicherten Angaben über das Vorhandensein eines Stoffes (limit of detection) getroffen werden können. Liegen sowohl Bestimmungs- als auch Nachweisgrenze vor, ist als Messgrenze die Bestimmungsgrenze vorzuziehen.

Für die Bestimmung von Hintergrundwerten ist es optimal, wenn diese nicht von Gehalten unterhalb der Bestimmungsgrenze bestimmt werden. In Datenkollektiven mit nur gering variierenden Bestimmungs- oder Nachweisgrenzen kann es in Ausnahmefällen toleriert werden, dass ein Perzentilwert von Gehalten unterhalb der Bestimmungs- oder Nachweisgrenzen beeinflusst oder bestimmt wird. "Bestimmt" wird der Perzentilwert dann, wenn er einer Messgrenze entspricht. "Beeinflusst" werden kann er im Zuge der Identifikation/Elimination von Ausreißern, wenn die Stichprobe einen hohen Anteil von Messwerten kleiner Bestimmungsgrenze aufweist.

Enthält ein Datenkollektiv Messreihen mit deutlich variierenden Bestimmungsgrenzen, sollten die Messreihen zunächst getrennt geprüft werden. Ist der Median der empfindlichsten Methode kleiner als die Bestimmungsgrenze einer unempfindlicheren Methode, sollten die Daten der unempfindlicheren Methode zur Berechnung der Hintergrundwerte nicht herangezogen werden.

Ergibt auch die Messreihe mit der niedrigsten Bestimmungs- oder Nachweisgrenze keine Perzentilwerte oberhalb der Messgrenze, können bei ausreichendem Stichprobenumfang diese Messgrenze behelfsweise als Hintergrundwert genutzt werden.

Bei der Berechnung organischer Summenparameter kann für Einzelwerte unterhalb der Bestimmungsgrenze entweder die volle Bestimmungsgrenze (upper bound), die halbe Bestimmungsgrenze oder der Wert „Null“ (lower bound) verwendet werden. Bei den aktuell erreichbaren Bestimmungsgrenzen liegen die Ergebnisse der drei Varianten im Bereich der Hintergrundgehalte eng beieinander, während bei „Altdaten“ z.T. deutliche Unterschiede möglich sind. Alternativ kann der Gehalt von nicht quantifizierbaren Einzelstoffen bei Summenparametern auch als relativer Anteil aus vollständig erfassten Kongeneren-Profilen abgeschätzt werden,

Wichtig ist, dass den Angaben zu den Hintergrundwerten entnommen werden kann, wie mit den Bestimmungsgrenzen umgegangen wurde.

4.2.3 Berechnung von Hintergrundwerten

Für die Auswahl der statistischen Methode zur Auswertung von Messdaten ist der Umfang des Datenmaterials (Probenanzahl = n) und das Vorliegen bzw. Nicht-Vorliegen eines normalverteilten Datenmaterials von grundlegender Bedeutung. Da die Hintergrundgehalte i.d.R. nicht normalverteilt sind, sollen grundsätzlich Perzentile errechnet werden.

Die LABO schlägt die Angabe des 50. Perzentilwertes (Median) und des 90. Perzentilwertes vor. Die Angabe von Perzentilen setzt eine Mindestprobenzahl von $n=20$ voraus. Werte aus kleineren Datensätzen sind zu kennzeichnen.

Die aus einer Stichprobe ermittelten Perzentile können erheblich von den Perzentilen der Grundgesamtheit abweichen. Die Abweichung hängt wesentlich vom Verteilungstyp und vom Stichprobenumfang ab. Daher ist der Stichprobenumfang anzugeben. Auch die Anwendung verschiedener Programme und darin enthaltener Verfahren (z.B. EXCEL und SPSS) kann insbesondere beim 90. Perzentil zu unterschiedlichen Ergebnissen führen.

Die Berechnung der Perzentile kann grundsätzlich auf zwei Arten erfolgen:

- Die Messwerte der Stichproben werden nach der Größe geordnet und der erste Messwert, der größer ist als $xx\%$ der so geordneten Probenreihe gewählt. Es ist evident, dass der so ermittelte Wert insbesondere bei kleinen Stichprobenumfängen und hohen Prozentzahlen nicht unkritisch von der Stichprobe auf die Gesamtpopulation übertragen werden darf.
- Die Stichprobenwerte werden an eine Verteilung bekannten Typs angepasst und aus Tabellen die gewünschten Perzentile abgelesen. Diese Anpassung, die entweder grafisch im Wahrscheinlichkeitsnetz oder über die Berechnung von Mittelwert und Standardabweichung erfolgt, ist zwar in der Regel besser auf die Gesamtpopulation übertragbar, setzt aber die genaue Kenntnis des Verteilungstyps voraus.

Das xx . Perzentil kann so interpretiert werden, dass eine beliebige Probe aus der Gesamtpopulation mit einer Wahrscheinlichkeit von $xx\%$ einen kleineren Wert aufweist. Nimmt man beispielsweise das 90er-Perzentil als Kriterium für die Entscheidung, ob ein Analysenwert als normal oder anomal für die Gesamtpopulation anzusehen ist, wird der Fehler eine normale Probe als anomal anzusehen, kleiner als 10% sein (Fehler erster Art). Der Fehler, eine anomale Probe fälschlicherweise als normal anzusehen (Fehler zweiter Art) kann dadurch nicht kontrolliert werden.

4.2.4 Ermittlung der Unsicherheit von Hintergrundwerten

Hintergrundwerte sind statistische Kenngrößen (z.B. 50. oder 90. Perzentil) einer Stichprobe, die eine zugrunde liegende Grundgesamtheit (z.B. Verteilung des Schwermetallgehaltes in einem Boden eines definierten Ausgangsgesteins) charakterisiert. Jeder statistische Kennwert einer Stichprobe ist mit einer Unsicherheit behaftet, da die Stichprobe selbst immer nur eine Schätzung der wahren Verteilung der Grundgesamtheit darstellt. Die Unsicherheit der abgeleiteten Perzentilwerte lässt sich als Konfidenzintervall bzw. Vertrauensbereich um den Perzentilwert darstellen. Häufig wird der Vertrauensbereich um einen statistischen Kennwert als 95%-Konfidenzintervall berechnet. Der Kennwert bzw. das Perzentil

selbst stellt dabei den besten Schätzer dar, er liegt mit 95 % Wahrscheinlichkeit innerhalb des Konfidenzintervalls. Die Wahrscheinlichkeit, dass der wahre Perzentilwert vom berechneten Perzentilwert nach oben und unten abweicht, nimmt mit zunehmender Abweichung ab. Je größer das Konfidenzintervall ist, desto unsicherer ist der berechnete Perzentilwert. Die Unsicherheit des Perzentilwertes wird dabei wesentlich vom Stichprobenumfang bestimmt. Je geringer der Stichprobenumfang, desto größer ist das Konfidenzintervall bzw. desto unsicherer ist der Perzentilwert.

Zur Ermittlung der Vertrauensbereiche der berechneten Perzentilwerte bietet sich das Bootstrapping-Verfahren¹ (*Davidson and Hinkley, 1997*) an, da dieses verteilungsunabhängig ist. *Duijnsveld et al. (2017)* haben mithilfe des Bootstrapping-Verfahrens die 95%-Konfidenzintervalle der bundesweit abgeleiteten Hintergrundwerte für anorganische Schadstoffe berechnet. In den Wertetabellen werden für das 90 % Perzentil jeweils die Unter- und Obergrenze des 95%-Konfidenzintervalls angegeben.

Die Konfidenzintervalle quantifizieren die Unsicherheit der Hintergrundwerte und stellen somit eine wichtige Zusatzinformation bei ihrer Anwendung dar. Sie können auch herangezogen werden, um Unterschiede zwischen Hintergrundwerten für verschiedene Bezugseinheiten (z.B. Bodenausgangsgesteine) einzuschätzen oder die Notwendigkeit einer weiterführenden Differenzierung der Hintergrundwerte z.B. nach Regionen zu belegen.

Für die Anwendung der Hintergrundwerte ist aber in jedem Fall auf die ausgewiesenen Perzentilwerte zurückzugreifen, da diese stets den besten Schätzer für den wahren Hintergrundwert darstellen.

¹ Bootstrapping ist ein Nicht-Parametrisches Verfahren. Bootstrapping ist das mehrfache Generieren (z.B. 1000-mal) einer Stichprobe aus der Population. Die Stichproben werden erzeugt, indem aus der Population mit n Werten n-mal ein Wert mit Zurücklegen gezogen wird. Bei jeder neuen Ziehung gilt für jeden Fall aus der Population die gleiche Wahrscheinlichkeit gezogen zu werden. Von jeder erzeugten Stichprobe werden die Hintergrundwerte z.B. das 50.- und 90. Perzentil berechnet. So erhält man eine Metastichprobe der 50. und 90. Perzentile aus der Population mit 1000 Fällen.

5 Anwendung von Hintergrundwerten

Hintergrundwerte können zur Beurteilung eines Stoffgehaltes im Boden bzw. einer Bodenbelastung unter Berücksichtigung der entsprechenden Bezugsgrößen genutzt und im Einzelnen u.a. bei folgenden Fragestellungen des Bodenschutzes herangezogen werden.

(1) Beschreibung des stoffbezogenen Bodenzustands

Anhand von Hintergrundwerten soll möglichst flächendeckend der stoffliche Bodenzustand substrat-, nutzungs- sowie ggf. gebietsbezogen beschrieben werden (Bodenzustandsbeschreibung). Hintergrundwerte können als Bezugsgröße einen Beitrag im Rahmen des Umweltmonitorings (z.B. Boden-Dauerbeobachtung) und der umweltstatistischen Berichterstattung leisten.

(2) Bewertung von Bodenbelastungen

Hintergrundwerte können bei der ursachenbezogenen Einzelfall-Beurteilung nach § 4 BBodSchV (1999) einbezogen werden, d.h. bei der Frage, ob die ermittelte Konzentration der zu beurteilenden Fläche sich aus dem Belastungsniveau ihrer Umgebung hervorhebt. Für Stoffe, für die (noch) keine wirkungsbezogenen Bodenwerte nach BBodSchV vorliegen, können Hintergrundwerte bei der Einstufung einer Bodenbelastung herangezogen werden.

(3) Richtlinie 2010/75/EU über Industrieemissionen (IED)

Die Richtlinie 2010/75/EU über Industrieemissionen fordert nach Einstellung des Betriebs von ihr erfasster Anlagen unter bestimmten Voraussetzungen die Beseitigung von Boden- und Grundwasserverschmutzungen und die Rückführung in den Ausgangszustand. Hintergrundgehalte können hier im Einzelfall zur Beschreibung des Ausgangszustands genutzt und auch bei der Festlegung von Rückführungsmaßnahmen berücksichtigt werden.

(4) Boden-Nachsorge

Hintergrundwerte dienen als eine Grundlage zur Ableitung/Plausibilisierung von Prüf- und Maßnahmenwerten für die Wirkungspfade Boden-Mensch und Boden-Pflanze.

(5) Boden-Vorsorge

Hintergrundwerte spielen neben wirkungsbezogenen Maßstäben eine wichtige Rolle bei der fachlichen Ableitung von Vorsorgewerten nach den Maßstäben des Bundes-Bodenschutzgesetzes. Nach *Bachmann et al. (1997)* sollen ökotoxikologische Wirkungsschwellen mit Daten über tatsächlich vorkommende Bodengehalte abgeglichen werden, die in etwa die Schwankungsbreite und Häufigkeitsverteilung der in den Oberböden vorkommenden Schadstoffgehalte widerspiegeln.

Nach § 10 BBodSchV (1999) i.V.m. § 9 Abs. 1 Nr. 2 sind Vorkehrungen zur Vorsorge auch bei Schadstoffen zu treffen, für die (noch) keine Vorsorgewerte vorliegen. Zur Beurteilung der Schadstoffgehalte in Böden können die Hintergrundwerte herangezogen werden.

Im Weiteren stellen Hintergrundwerte von Stoffen in Böden eine Grundlage zur Bewertung der voraussichtlichen Umweltauswirkungen eines Vorhabens im Rahmen des vorsorgenden Schutzes des Bodens nach § 12 UVPG dar.

(6) Naturbedingt oder großflächig siedlungsbedingt erhöhte Schadstoffgehalte

Für die Ausweisung von Gebieten mit naturbedingt oder großflächig siedlungsbedingt erhöhten Schadstoffgehalten stellen Hintergrundwerte einen wichtigen Bezugsmaßstab dar. Hinsichtlich der Sonderregelung für siedlungsbedingt erhöhte Gehalte sind die Merkmale „großflächig“ und „siedlungsbedingt“ durch den Vollzug auszulegen. Eine methodische Vorgehensweise ist in der „Anleitung zur Kennzeichnung von Gebieten mit großflächig erhöhten Schadstoffgehalten“ (Prüeß, 2003) beschrieben.

(7) Beurteilung von Bodenbelastungen für den gebietsbezogenen Bodenschutz

Hintergrundwerte können bei der Abgrenzung von Gebieten im Sinne § 21 BBodSchG, in denen flächenhaft schädliche Bodenveränderungen auftreten oder zu erwarten sind, herangezogen / berücksichtigt werden.

In Bauleitplänen sind Flächen zu kennzeichnen, deren Böden erheblich mit umweltgefährdenden Stoffen belastet sind (BauGB § 5 Abs. 3 und § 9 Abs. 5). Im Rahmen der Kennzeichnungspflicht eignen sich regionale Hintergrundwerte zur Beurteilung, ob die ermittelten Schadstoffgehalte der untersuchten Fläche die Gehalte der insoweit unbeeinflussten Umgebungssituation signifikant überschreiten.

Nach § 12 Abs.10 BBodSchV (1999) ist eine Verlagerung von Bodenmaterialien innerhalb eines Gebiets mit erhöhten Schadstoffgehalten zulässig. Regionale Hintergrundwerte können bei der Abgrenzung eines solchen Gebietes herangezogen werden.

(8) Verwertung mineralischer Ersatzbaustoffe

Für eine ordnungsgemäße und schadlose Verwertung mineralischer Ersatzbaustoffe in bodenähnlichen Anwendungen und in technischen Bauwerken ist unter Bodenschutzaspekten sicherzustellen, dass es nicht zu einer Stoffanreicherung kommt. Bei der Erarbeitung von entsprechenden Regelungen sind die Hintergrundwerte (50. Perzentil) zu berücksichtigen.

(9) Ableitung von Immissionswerten für Schadstoffdeposition und Depositionswerten für Sonderfallprüfungen nach TA Luft

Als Qualitätsziel für die Luftreinhaltung werden Immissionswerte für Schadstoffdepositionen (maximal tolerierbare Stoffeinträge über atmosphärische Deposition) sowie Depositionswerte für Sonderfallprüfungen in der TA Luft auf der Grundlage von Hintergrundwerten abgeleitet.

6 Bundesweite und länderspezifische Hintergrundwerte

Nach Erscheinen des LABO-Berichts (2003) sind in den Ländern und beim Bund erhebliche Anstrengungen zur Verbesserung der Flächenrepräsentanz der Hintergrundwerte unternommen worden. Somit war weitestgehend eine Fortschreibung der Hintergrundwerte für Oberböden (anorganische/organische Schadstoffe) sowie für Unterböden/Untergrund (anorganische Schadstoffe) möglich (Tabellen siehe Anhang).

6.1 Bundesweite Hintergrundwerte für anorganische Schadstoffe

Mit diesem Bericht werden bundesweite Hintergrundwerte für anorganische Stoffe in Böden des ländlichen Raums vorgelegt. Auf der Grundlage eines gegenüber der ersten bis dritten Auflage dieses Berichtes deutlich erweiterten Datenbestandes werden aktualisierte Werte für Oberböden, Unterböden und Untergrund angegeben.

Die Werte basieren auf

- A) Daten der Institutionen der Länder (Staatliche Geologische Dienste, und / oder Landesumweltämter und / oder Landesforstämter) in Baden-Württemberg, Bayern, Brandenburg, Hessen, Niedersachsen, Mecklenburg-Vorpommern, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz, Saarland, Sachsen, Sachsen-Anhalt, Schleswig-Holstein und Thüringen sowie
- B) Länderübergreifenden Datensätzen u.a. der Bodendauerbeobachtung, der Bodenzustandserhebung im Wald und der Labor- und Profildatenbank der BGR.

Ziel der Aktualisierung der bundesweiten Hintergrundwerte für Oberböden, Unterböden und Untergrund war es, nur Werte anzugeben, die die in Kap. 4.1.1 dieses Berichtes beschriebenen Gruppen der Bodenausgangsgesteine (BAG) hinreichend flächenhaft repräsentieren. Zu diesem Zweck wurden Daten von Profilen genutzt, für die eine eindeutige Zuordnung zu einer BAG möglich ist und die die Anforderungen an einen Mindestdatensatzes erfüllen.

Zur Schaffung eines Datensatzes mit entsprechenden Punkt- (Profil-)informationen wurden die unterschiedlichen Datenbestände aus den o. g. Ländern und vom Bund nach inhaltlicher Harmonisierung zusammengeführt. Für die Ableitung von Hintergrundwerten wurden nur königswasser-extrahierte Stoffgehalte benutzt.

Mit Bezug auf die Weiterentwicklung der BBodSchV wurden flächenrepräsentative Hintergrundwerte für 16 anorganische Spurenstoffe (Arsen (As), Antimon (Sb), Beryllium (Be), Blei (Pb), Cadmium (Cd), Chrom (Cr), Kobalt (Co), Kupfer (Cu), Molybdän (Mo), Nickel (Ni), Quecksilber (Hg), Selen (Se), Thallium (Tl), Uran (U), Vanadium (V), Zink (Zn)) für die Nutzungsarten Acker, Grünland und Wald abgeleitet.

Um der unterschiedlichen Herkunft und Ausprägungen der Ausgangsmaterialien Terrassenablagerungen, Sande, Geschiebemergel/-lehme, Löss und den Mooren sowie dem Einfluss der verschiedenen Eiszeiten Rechnung zu tragen, wurden die Hintergrundwerte für die genannten Ausgangsmaterialien den Bodenprovinzen Nordost-Deutschland, Nordwest-Deutschland und Mittelgebirge/Süd-Deutschland differenziert (siehe Abbildung 3). Die Grundlage für die Regionalisierung bilden die

Europäischen Klimagebiete (BR-EU 5000) verknüpft mit Legendeneinheiten der Bodenregionen aus der Bodenübersichtskarte 1:1.000.000 (BÜK1000).



Abbildung 3: Bodenprovinzen Deutschlands als Grundlage der Regionalisierung

Bundesweite Hintergrundwerte anorganischer Stoffe für Oberböden

Insgesamt standen bundesweit Informationen und Daten, abhängig vom betrachteten Element, von 6.000 bis 21.000 Bodenprofilen zur Verfügung, die den Mindestanforderungen hinsichtlich geographischer Lagebeschreibung (Koordinaten), pedologischer und lithologischer Kennzeichnung sowie Nutzungsangaben (vgl. Kap. 3.2.2) genügten.

Als Flächeninformation für die Ableitung von bundesweiten, flächenhaft repräsentativen und nach Nutzung differenzierten Hintergrundwerten für Oberböden diente neben einer Karte der BAG im Maßstab 1:1.000.000 (BAGK 1000) eine Karte der Hauptlandnutzung (1:1.000.000) basierend auf den Kategorien aus CORINE Landcover.

Als Ergebnis bleibt festzuhalten, dass sich mit den derzeit länderübergreifend verfügbaren Datensätzen und der Nutzung für über 95 % der bundesweit zu belegenden Fläche Hintergrundwerte für anorganische Stoffe in Oberböden ausweisen lassen (Duijnisveld et al. 2017). Lediglich für einige wenige der neu aufgenommenen Stoffe, wie beispielweise Beryllium, Thallium und Uran, stehen für

bestimmte Nutzungen, BAG und Profiltiefen zu geringe Fallzahlen ($n < 20$) zur Verfügung, um Hintergrundwerte ableiten zu können.

Bundesweite Hintergrundwerte für Unterböden und Untergrund

Für die Auswertungen standen, je nach Element, bundesweit Daten von ca. 3.000 bis 9.000 Bodenprofilen zur Verfügung, die neben den o. g. Mindestanforderungen auch Stoffgehalte für hinreichend erfasste Tiefenbereiche enthielten.

Da insbesondere bei Unterböden die Stoffgehalte durch die Zusammensetzung der Ausgangsgesteine und pedogene Prozesse bestimmt werden, wurde bei den Böden aus Festgesteinen eine Tiefendifferenzierung in Klassen unterschiedlichen Lössgehaltes vorgenommen (siehe Kap. 4.1.1). Anhand eines entwickelten Zuweisungsschlüssels konnte diese i. d. R. nicht vorliegende Information aus pedologischen Informationen abgeleitet werden. Aufgrund der Unterschiede der Stoffgehalte war eine Differenzierung in zwei Klassen (lössarm $\leq 25\%$ Anteil, lössreich $> 25\%$ Anteil) sinnvoll (*Utermann et al. 2003*). Bei Lockergesteinen wurden die auf pedogenetischen Transformationsprozessen in Unterböden basierenden Unterschiede zwischen Zonen der Stoffverarmung und Stoffanreicherung zusätzlich als maximale Spannen der Perzentile der Stoffgehalte ermittelt (siehe Kap. 4.1.1).

Eine räumliche Differenzierung innerhalb der einzelnen Legendeneinheiten erfolgte durch die Erfassung regionaler Unterschiede der Stoffgehalte auf bundesweitem Maßstab. Relevante Unterschiede der Stoffgehalte ließen sich mit dem vorliegenden Datenbestand für Lockergesteinsböden-BAG (Terrassen und Schotterablagerungen, Sande, Geschiebelehm/-mergel, Löss, Sandlöss, Moore) nachweisen, deren Hintergrundwerte teilweise regionalisiert für Nordwest-, Nordost- und Süddeutschland abgeleitet wurden.

Die ausgewiesenen Einheiten der Bodenausgangsgesteine konnten nahezu alle mit einer hinreichenden Fallzahl ($n \geq 20$) belegt werden.

6.2 Bundesweite Hintergrundwerte für organische Schadstoffe

Mit diesem Bericht werden erstmalig bundesweite Hintergrundwerte für organische Schadstoffe in Böden des ländlichen Raums vorgelegt. Untersucht und ausgewertet wurden die Schadstoffe/-gruppen DDX, PAK₁₆, PCB₆, HCB, HCH, PCDD/F und dl-PCB. Auf Grundlage von Datenerhebungen in drei Forschungsprojekten des Umweltbundesamts wurden Hintergrundwerte für die Oberböden der Nutzungsarten Acker, Grünland und Wald ermittelt. Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die Anzahl der beprobten Standorte (ohne Standorte in Verdichtungsgebieten).

UBA-Forschungsprojekt	Nutzung	Standort-/ Probenzahl
FKZ 206 74 200: Gehalte anorganischer Schadstoffe in Böden und Pflanzen ***	Acker	382
FKZ 3709 71 222: Flächenrepräsentative Erhebung der Gehalte organischer Stoffe in Böden und Ableitung bundesweiter Hintergrundwerte für organische Stoffe in Böden	Grünland	182
FKZ 3707 71 201: Ermittlung der Gehalte organischer Spurenstoffe in Waldböden (Teil der Bodenzustandserhebung Wald– BZE II)	Laub-/Mischwald	189
	Nadelwald	236

*** einschließlich Bestimmung von Gehalten organischer Schadstoffe in Böden

Der starken Bindung von organischen Schadstoffe/Schadstoffgruppen an die organische Bodensubstanz und den mit steigendem Humusgehalt in der Regel abnehmenden Lagerungsdichten kann durch eine Differenzierung der Hintergrundwerte für organische Schadstoffe/Schadstoffgruppen nach Humusgehalten Rechnung getragen werden. Im Weiteren haben die Auswertungen gezeigt, dass die Stoffgehalte in Waldböden nach Laub-/Mischwald und Nadelwald differenziert werden sollten.

Die Gehalte für die meisten Schadstoffe/-gruppen variieren im Raum lokal, regional und überregional. Eine eigentlich erforderliche stoffspezifisch regionalisierte Auswertung der Hintergrundwerte konnte im bundesweiten Maßstab mangels geeigneter Regionalisierungsmethoden für PAK₁₆, PCB₆, HCB, HCH, PDCC/F und dioxinähnliche PCB noch nicht realisiert werden. Hier besteht weiterführender Forschungsbedarf.

Lediglich im Falle der DDX zeigt sich ein deutlich zweigeteiltes Raummuster, das auf die unterschiedliche Anwendungsdauer von DDX als Pflanzenschutzmittel zurückzuführen ist. Die DDX-Gehalte in den „Neuen Bundesländern“ liegen für diese Stoffgruppe deutlich oberhalb derjenigen in den „Alten Bundesländern“, so dass die Hintergrundwerte entsprechend differenziert wurden.

6.3 Länderspezifische Hintergrundwerte

Die von den Ländern abgeleiteten **Hintergrundwerte** basieren auf landesspezifischen Untersuchungen und ermöglichen eine bessere Berücksichtigung der regionalen Variabilität von Hintergrundgehalten. Größtenteils kennzeichnen die Hintergrundwerte allgemein verbreitete Hintergrundgehalte ländlicher Räume.

Durch die von einigen Ländern vorgenommene räumliche Differenzierung – u. a. in ländlicher Raum und Verdichtungsraum – können Räume mit regionalspezifischen Immissionsverhältnissen (unterschiedliche Industriegeschichte, Ausmaß der früheren und aktuellen Immissionen) unterschieden werden.

Länderspezifische Hintergrundwerte können aufgrund ihres regionalen Bezugs nur innerhalb des jeweiligen Landes angewendet werden. Unter Berücksichtigung der Erhebungsmethodik und naturräumlicher Gegebenheiten lassen sich Hintergrundwerte für Räume ohne immissionsspezifische Besonderheiten ggf. länderübergreifend miteinander vergleichen.

Hintergrundwerte für Oberböden liegen für alle Bundesländer vor. Eine Reihe von Bundesländern geben Hintergrundwerte für die **Auflage-Horizonte** von Waldböden an.

Hintergrundwerte für Unterböden (anorganische Stoffe) wurden von Baden-Württemberg, Bayern, Brandenburg, Bremen, Hessen, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Rheinland-Pfalz, Sachsen und Sachsen-Anhalt), **Hintergrundwerte für Untergrundhorizonte** von Baden-Württemberg, Bayern, Brandenburg, Hessen, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Rheinland-Pfalz, Sachsen und Sachsen-Anhalt abgeleitet. Da diese Hintergrundgehalte wesentlich durch geogene und / oder pedogen bedingte Stoffgehalte geprägt werden, ist eine Übertragbarkeit auf andere Regionen unter Berücksichtigung der Bodenausgangsgesteine und vergleichbarer naturräumlicher Gegebenheiten möglich.

Einige Bundesländer (Hessen, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz, Schleswig-Holstein, Bayern, Brandenburg, Sachsen-Anhalt) haben detaillierte Berichte zu Hintergrundwerten von Böden veröffentlicht. Der Verweis auf diese Berichte kann den jeweiligen Datenblättern der Bundesländer im Tabellen-Anhang entnommen werden.

7 Empfehlungen und Erfordernisse zur Fortschreibung

Zur Aktualisierung und Ergänzung des Kenntnisstandes zu Hintergrundwerten und damit zur Konkretisierung der Aussagen ist eine regelmäßige Fortschreibung des vorliegenden Berichtes „Hintergrundwerte für anorganische und organische Stoffe in Böden“ erforderlich. Die Fortschreibung sollte sowohl inhaltliche Aspekte als auch eine quantitative Ergänzung der aufgestellten Werte einbeziehen. Im Hinblick auf die Vergleichbarkeit von Hintergrundwerten sollten zukünftige Erhebungen von Hintergrundgehalten und die Ableitung von Hintergrundwerten auf Grundlage der in diesem Bericht beschriebenen Anforderungen erfolgen.

Es werden weitere Erhebungen als erforderlich angesehen, um insbesondere sicherzustellen, dass

- teilweise immer noch vorhandene räumliche Ungleichgewichte (Daten-Dichte) der Erhebungen von Hintergrundgehalten anorganischer Stoffe ausgeräumt werden,
- dem Defizit an Daten über Hintergrundgehalte organischer Stoffe in Oberböden entgegengewirkt wird und
- ggf. notwendige weitere Differenzierungen der Bezugsgrößen (z.B. Ausgangsgestein, Humusgehalt, Korngröße, Waldtyp (Nadel-, Misch- Laubwald), Gebietsdifferenzierungen, Überschwemmungsflächen) vorgenommen werden können.

In Hinblick auf Wirkungspfad bezogene Fragestellungen (Boden-Nutzpflanze; Boden-Grundwasser resp. Bodensickerwasser) und mit Bezug auf die BBodSchV wird die Erhebung von Hintergrundgehalten und eine Ableitung von Hintergrundwerten für die mobile bzw. mobilisierbare Fraktion z.B. mittels Ammoniumnitrat-Extraktion (DIN ISO 19730: 07.2009) empfohlen. Hierzu sind die Anforderungen an die Ableitung von Hintergrundwerten zu modifizieren (u.a. weiterführende Differenzierung nach pH-Werten).

Auf Grund der erheblich gestiegenen Umfänge der Länder- und Bundesdatensätze ergibt sich eine zunehmend stärkere Differenzierung bei Ableitung von Hintergrundwerten. Für die Bereitstellung und Anwendung der Hintergrundwerte wird daher die Entwicklung einer WebGIS-Anwendung empfohlen.

Für den anwendungsorientierten und qualitätsgerechten Zugriff auf die Datenbestände des Bundes und der Länder wird es als erforderlich angesehen, dass Datenbestände zu Hintergrundgehalten und -werten aufgebaut bzw. weiterentwickelt werden.

Literatur

- Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden (2005):* Bodenkundliche Kartieranleitung. 5. verbesserte und erweiterte Auflage. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und Staatliche Geologische Dienste (Hrsg.), Hannover
- Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden (2009):* Arbeitshilfe für die Bodenansprache im vor- und nachsorgenden Bodenschutz – Auszug aus der Bodenkundlichen Kartieranleitung KA5. Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden der Staatlichen Geologischen Dienste und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (Hrsg.), Hannover
- Aichner, B., Bussian, B.M., Lehnik-Habrink, P., Hein, S. (2013):* Levels and spatial distribution of persistent organic pollutants in the environment: a case study of German forest soils. *Environ. Sci. Technol.* 47, 12703-12714.
- Aichner, B., Bussian, B.M., Lehnik-Habrink, P., Hein, S. (2015):* Regionalized contents and fingerprints of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in German forest soils. *Environ. Poll.* 203, 31-39.
- Akaike, H. (1974):* A new look at the statistical model identification, *IEEE Transactions on Automatic Control* 19 (6): 716–723
- Bachmann, G., Bannick, C. G., Giese, E., Glante, F., Kiene, A., Konietzka, R., Rück, F., Schmidt, S., Terytze, K., von Borries, D. (1997):* Fachliche Eckpunkte zur Ableitung von Bodenwerten im Rahmen des Bundes-Bodenschutzgesetzes. In: BACHMANN, KÖNIG, UTERMANN (Hrsg.): *Handbuch Bodenschutz*, Kennziffer 3500, E. Schmidt-Verlag, Berlin.
- Bayerisches Landesamt für Umwelt (2011):* Hintergrundwerte von anorganischen und organischen Schadstoffen in Böden Bayerns. Online-Publikation, 58 S. http://www.lfu.bayern.de/boden/hintergrundwerte/doc/hintergrundwert_umweltspezial.pdf
- Bayerisches Landesamt für Umwelt (2016):* Hintergrundbelastung bayerischer Oberböden und Humusaufgaben mit PCDD, PCDF und dPCB. Online-Publikation, 31 S. <http://www.lfu.bayern.de/boden/hintergrundwerte/index.htm>
- BBodSchV (1999):* Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Bodenschutzgesetzes vom 16.06.1999. BGBl I S 1554
- BBSR - Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung BBSR im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung BBR (2013):* Verdichtungsraum gemäß Beschluss des Hauptausschusses der Ministerkonferenz für Raumordnung (MKRO vom 7.9.1993; angepasst an den aktuellen Gemeindegebietsstand vom 31.12.2013. <http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Raumbearbeitung/Raumabgrenzungen/Verdichtungsraeume/downloadangebot.html?nn=443270>
- BfLR, Bundesforschungsanstalt für Landeskunde und Raumordnung (1992),* Materialien zur Raumentwicklung, Heft 47, Bonn.
- BMELV – Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2006):* Arbeitsanleitung für die zweite bundesweite Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II). 2. Aufl., November 2006, Bonn
- Bund-Länder-Arbeitsgruppe DIOXINE (2002):* Dioxin-Referenzmessprogramm – 4. Bericht der Bund / Länder-Arbeitsgruppe Dioxine. In: *Dioxine – Daten aus Deutschland*. Umweltbundesamt, Berlin.
- Davidson, A., Hinkley, D. (1997):* Bootstrap methods and their application. Cambridge University Press, Cambridge, New York.

- Duijnsveld, W. H. M., Konen, L., Krone, F., Stange, F. (2017):* Bundesweite Hintergrundwerte für anorganische Stoffe in Böden. UBA-Forschungsbericht 3712 71 224
- FBU - Fachbeirat Bodenuntersuchung im Umweltbundesamt (2014):* Methodensammlung Boden-/Altlastenuntersuchung in der jeweiligen aktuellen Fassung; <https://www.umweltbundesamt.de/themen/boden-landwirtschaft/kommissionen-beiraete/fachbeirat-bodenuntersuchungen-fbu>
- Hartmann, Klaus-Jörg, Kainz, Wolfgang, Jahn, Reinhold, Langer, Uwe (2014):* Anorganische Hintergrundwerte für Böden des Landes Sachsen-Anhalt. – In: Wansa, St. & K.-J. Hartmann (Red.): Bodenbericht Sachsen-Anhalt 2014 – Grundlagen, Parameter und Hintergrundwerte. – Mitt. Geol. Bergw. Sachsen-Anhalt, 18: 21–28
- Ministerium für Wirtschaft, Klimaschutz, Energie und Landesplanung (2013):* Hintergrundwerte der Böden von Rheinland-Pfalz, 247 S. <https://mueef.rlp.de/de/themen/klima-und-ressourcenschutz/bodenschutz/bodeninformation/hintergrundwerte-der-boeden/>
- Hindell, R., Fleige, H., Becker-Gretenkord, W., Bombien, H., Gehrt, E., Heisler, J., Moldenhauer, K. M., Schön, J., Weidner, E. (1995):* Kartiertechnisches Konzept zur flächenhaften Erfassung von Schwermetallgehalten in Böden. UBA-Forschungsbericht 107 01 001/02; TEXTE 56/96, Umweltbundesamt, Berlin.
- Hindell, R., Gehrt, E., Kantor, W., Weidner, E. (2004):* Spurenelementgehalte in Böden Deutschlands: Geowissenschaftliche Grundlagen und Daten. In: BACHMANN, KÖNIG, UTERMANN (Hrsg.): Handbuch Bodenschutz, Kennziffer 1520, E. Schmidt Verlag, Berlin.
- HLUG (2011):* Hintergrundwerte von Spurenstoffen in hessischen Böden – 1. Aufl.: 141 S.; Wiesbaden
- Hornburg, V. (2002):* Vergleich von Methoden zur Bestimmung der Gesamtgehalte von Haupt- und Spurenelementen in Böden. - Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen: 113 S., 48 Tab., 43 Abb., 1 Karte; Krefeld.
- Horwitz, W., Lamps, L. R., Boyer, K. W. (1980):* The empirical relationship between standard deviation and concentration. J. Ass. Off. Anal. Chem. 63: 1344-1347.
- Joneck, M., Prinz, R. (1994):* Hintergrundbelastung bayerischer Böden mit organischen Problemstoffen. GLA Fachberichte 12, München.
- Kardel, K.; Rank, G.; Pälchen, W. (1996):* Geochemischer Atlas des Freistaates Sachsen, Teil 1: Spurenelementgehalte in Gesteinen. – Materialien zum Bodenschutz, Sächs. Landesamt f. Umwelt u. Geologie, Radebeul.
- Kastler, M., Marx, M., Schilli, C., Kaufmann-Boll, C., Lischeid, G., Lazar, S., Rinklebe, J. (2017):* Bundesweite Kennzeichnung der Schadstoffbelastung von Überschwemmungsböden. UBA-Forschungsbericht 3711 71 214; Umweltbundesamt, Desau-Roßlau (Veröffentlichung in Vorbereitung)
- Kühn, D., Bauriegel, A., Müller, H., Roszkopf, N. (2015):* Charakterisierung der Böden Brandenburgs hinsichtlich ihrer Verbreitung, Eigenschaften und Potenziale mit einer Präsentation gemittelter analytischer Untersuchungsergebnisse einschließlich von Hintergrundwerten (Korngrößenzusammensetzung, Bodenphysik, Bodenchemie).- Brandenburg. geowiss. Beitr. 22, 1, S.5 -135, Cottbus

- LABO/LAGA/LAWA (1993):* Einheitliche Bewertungsgrundsätze zu vorhandenen Bodenverunreinigungen/Altlasten. Bund-Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO), Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) und Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA)
- Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein (2011):* Hintergrundwerte stofflich gering beeinflusster Böden Schleswig-Holsteins. Online-Publikation, 79 S. http://www.schleswig-holstein.de/DE/Fachinhalte/B/boden/Downloads/Hintergrundwerte.pdf?__blob=publicationFile&v=2
- Landesentwicklungsplan „Siedlung“ vom 9. Oktober 1997. In: Amtsblatt des Saarlandes vom 29. Dezember 1997, Nr. 57
- Landesentwicklungsprogramm Saar, Teil Raumordnung vom 17. Juni 1991
- LANUV (2015):* Hintergrundwerte für Schadstoffgehalte in Böden - Aktualisierung der Werte und Karten für Nordrhein-Westfalen. LANUV Fachbericht 66. https://www.lanuv.nrw.de/uploads/tx_commercedownloads/fabe66.pdf
- Lehnik-Habrink, P., Hein, S., Win, T., Bremser, W., Nehls, I. (2010):* Multi-residue analysis of PAH, PCB and OCP optimized for organic matter of forest soil. *J Soils Sediments* 10: 1487–1498
- LEP (2003/2013):* Landesentwicklungsplan des Freistaates Sachsen; Verordnung der Sächsischen Staatsregierung über den Landesentwicklungsplan Sachsen; SächsGVBl. S. 915 / 16.12.2003 und SächsGVBl 11/2013, 14.08.2016.
- LUBW (2008):* 20 Jahre Bodendauerbeobachtung in Baden-Württemberg - von klassischen Bodenuntersuchungen zu medienübergreifenden Umweltbilanzen. LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz. http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/91065/20_jahre_bodendauerbeobachtung.pdf?command=downloadContent&filename=20_jahre_bodendauerbeobachtung.pdf
- LUBW (2015):* Umweltdaten 2015 Baden-Württemberg. Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg. Kapitel Boden. http://www4.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/255315/umweltdaten_2015.pdf?command=downloadContent&filename=umweltdaten_2015.pdf
- NATO/CCMS (1988):* International Toxicity Equivalency Factors (I-TEF) - Method of Risk Assessment for Complex Mixtures of Dioxins and Related Compounds - Pilot Study on International Information Exchange on Dioxins and Related Compounds.– North Atlantic Treaty Organization, Committee on Challenges of Modern Society, Report No. 176, August 1988.
- Prüß, A. (2003):* Kennzeichnung von Gebieten mit großflächig siedlungsbedingt erhöhten Schadstoffgehalten in Böden. UBA-Forschungsbericht 200 71 238; UBA-TEXTE 10/05, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau
- Rank, G.; Pälchen, W.; Kardel, K. (2009):* Geochemisches Naturraumpotential. In: Pälchen, W. (Hrsg.) *Geologie von Sachsen II – Georessourcen, Geopotentiale, Georisiken*; E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, S. 233-249.
- Richtlinie 2010/75/EU* des europäischen Parlaments und des Rates vom 24. November 2010 über Industrieemissionen (integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung) (Neufassung).

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:334:0017:0119:de:PDF>

- Ruppert, H. (1991): Natürliche Spurenelementgehalte im Boden und ihre anthropogene Überprägung. - Mitt. österr. geol. Ges., Themenband Umweltgeologie, 83
- Schmitz, M., Scheeder, G., Bernau, S., Dohrmann, R., Germann, K. (2011): Dioxins in Primary Kaolin and Secondary Kaolinitic Clays. Environmental Science & Technology, 45, 461–467.
- Schneider, J. (1999): Schwermetalle in Böden Niedersachsens, Arbeitshefte Boden , 1999/2, S. 3-25, 3 Abb., 4 Tab., 3 Karten
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz Berlin (1994): Schwermetallprogramm Berlin – Ergebnisse, Bewertungsmethoden, Ursachen der Belastung und verwaltungsmäßige Konsequenzen. IN: Umwelt und Naturschutz für Berliner Gewässer, Heft 14
- Suttner, T., Außendorf, M., Martin, W. (1998): Hintergrundbelastung anorganischer Problemstoffe in Böden Bayerns. GLA Fachberichte 16, München.
- Schweder, P.; Kape, E.; Kilimann, R.; Backhaus, E. (1996): Hintergrundwerte für anorganische Schadstoffe in Böden des Landes Mecklenburg-Vorpommern. Fortschreibung des Berichts. -LUFA Rostock 1996, unveröffentlicht
- TLU – Thüringer Landesanstalt für Umwelt (1997): Chloraromaten-Dioxin-Messprogramm des Freistaates Thüringen 1993-1995.-Schriftenreihe der Thüringer Landesanstalt für Umwelt (TLU), Nr. 22; 115 S.; Jena.
- TLU – Thüringer Landesanstalt für Umwelt (2001): Untersuchung zu organischen Schadstoffen in Böden.- Schriftenreihe der Thüringer Landesanstalt für Umwelt Nr. 41, 94 S.; Jena.
- TLUG – Thüringer Landesanstalt für Geologie (1997): Atlas der Schwermetallgehalte Thüringer Böden 1:400 000; Hintergrundwerte für Schwermetalle und Arsen in Oberböden und bodenbildenden Substraten typischer Bodengesellschaften; 58 Seiten [Thüringer Landesanstalt für Geologie]; Weimar.
- Utermann, J., Düwel, O., Fuchs, M., Gäbler, H.-E., Gehrt, E., Hindel, R., Schneider, J. (1999): Methodische Anforderungen an die Flächenrepräsentanz von Hintergrundwerten in Oberböden. UBA-Forschungsbericht 297 71 010. TEXTE 95/99, Umweltbundesamt, Berlin.
- Utermann, J., Düwel, O., Gäbler, H.-E. Hindel, R. (2000): Beziehung zwischen Totalgehalten und Königswasser extrahierbaren Gehalten von Schwermetallen in Böden. In: BACHMANN, KÖNIG, UTERMANN (Hrsg.): Handbuch Bodenschutz, Kennziffer 1600, E. Schmidt-Verlag, Berlin.
- Utermann, J., Raber, B., Düwel, O., Möller, A. Siebner, C. (2003): Ableitung flächenrepräsentativer Hintergrundwerte für anorganische Stoffe in Böden. UBA-Forschungsbericht 201 71 242 / 1
- Van den Berg, M., Birnbaum, L., Bosveld, B.T.C., Brunström, B., Cook, P., Feeley, M., Giesy, J. P., Hanberg, A., Hasegawa, R., Kennedy, S. W., Kubiak, T., Larsen, J. C., Van Leeuwen, F.X.R., Liem, A.K.D., Nolt, C., Peterson, R. E., Poellinger, L., Safe, S., Schrenk, D., Tillitt, D., Tysklind, M., Younes, M., Waern, F., Zacharewski, T. (1998): Toxic Equivalency Factors (TEFs) for PCBs, PCDDs, PCDFs for humans and wildlife. – Environmental Health Perspective **106** (12): 775–792

Van den Berg, M., Birnbaum, L. S., Denison, M., De Vito, M., Farland, W., Feeley, M., Fiedler, H., Hakansson, H., Hanberg, A., Haws, L., Rose, M., Safe, S., Schrenk, D., Tohyama, C., Tritscher, A., Tuomisto, J., Tysklind, M., Walker, N., Peterson, R. E. (2006): The 2005 World Health Organization Re-evaluation of Human and Mammalian Toxic Equivalency Factors for Dioxins and Dioxin-like Compounds. – Toxicological Sciences **93** (2): 223–241.

Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 18. Dezember 2006 zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH mit nachfolgenden Änderungsverordnungen. Verordnung der EU Nr. 253/2011 zur Änderung des Anhang XIII (16. März 2011)

Wellbrock, N., Aydin, C.-T., Block, J., Bussian, B., Deckert, M., Diekmann, O., Evers, J., Gauer J., Gehrman, J., Kölling, C., König, N., Liesebach, M., Martin, J., Meiwes, K.-J., Milbert, G., Raben, G., Riek, W., Schäffer, W., Schwerhoff, J., Ullrich, T., Utermann, J., Volz, H.-A., Weigel, A. Wolff, B. (2006): Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II) Arbeitsanleitung für die Außenaufnahmen. Hrsg. BMELV. Berlin. pp. 413

Normen

DIN 18123 (04.2011): Baugrund – Untersuchung von Bodenproben – Bestimmung der Korngrößenverteilung

DIN 19539 (12.2016): Untersuchung von Feststoffen - Temperaturabhängige Differenzierung des Gesamtkohlenstoffs (TOC₄₀₀, ROC, TIC₉₀₀)

DIN 19684-6 (12.1997): Bodenuntersuchungsverfahren im Landwirtschaftlichen Wasserbau - Chemische Laboruntersuchungen - Teil 6: Bestimmung des Gehaltes an oxalatlöslichem Eisen

DIN 19747 (07.2009): Untersuchung von Feststoffen - Probenvorbehandlung, -vorbereitung und -aufarbeitung für chemische, biologische und physikalische Untersuchungen

DIN 32645 (11.2008): Chemische Analytik: Nachweis-, Erfassungs- und Bestimmungsgrenze unter Wiederholbedingungen - Begriffe, Verfahren, Auswertung

DIN EN ISO 10693 (06.2014): Bodenbeschaffenheit - Bestimmung des Carbonatgehaltes - Volumetrisches Verfahren

DIN EN ISO 11272 (06.2014): Bodenbeschaffenheit - Bestimmung der Trockenrohddichte

DIN EN 13657 (01.2003): Charakterisierung von Abfällen - Aufschluss zur anschließenden Bestimmung des in Königswasser löslichen Anteils an Elementen in Abfällen

DIN EN 15936 (11.2012): Schlamm, behandelter Bioabfall, Boden und Abfall - Bestimmung des gesamten organischen Kohlenstoffs (TOC) mittels trockener Verbrennung

DIN EN 16174 (11.2012): Schlamm, behandelter Bioabfall und Boden - Aufschluss von mit Königswasser löslichen Anteilen von Elementen

DIN EN ISO 19258 (09.2011): Bodenbeschaffenheit - Leitfaden zur Bestimmung von Hintergrundwerten

- DIN ISO 10381-1 (08.2003): Bodenbeschaffenheit – Probenahme – Teil 1: Anleitung zur Aufstellung von Probenahmeprogrammen
- DIN ISO 10381-2 (08.2003): Bodenbeschaffenheit – Probenahme – Teil 2: Anleitung für Probenahmeverfahren
- DIN ISO 10381-4 (04.2004): Bodenbeschaffenheit – Probenahme – Teil 4: Anleitung für das Vorgehen bei der Untersuchung von natürlichen, naturnahen und Kulturstandorten
- DIN ISO 10390 (12.2005): Bodenbeschaffenheit – Bestimmung des pH-Wertes
- DIN ISO 11 277 (08.2002): Bodenbeschaffenheit – Bestimmung der Partikelgrößenverteilung in Mineralböden – Verfahren durch Sieben und Sedimentation
- DIN ISO 19730 (07.2009): Bodenbeschaffenheit – Extraktion von Spurenelementen aus Böden mit Ammoniumnitratlösung
- ISO/TS 13530 (03.2009): Wasserbeschaffenheit - Richtlinie zur analytischen Qualitätssicherung für die chemische und physikalisch-chemische Wasseruntersuchung

Anhang

Tabellen der Hintergrundwerte für Böden