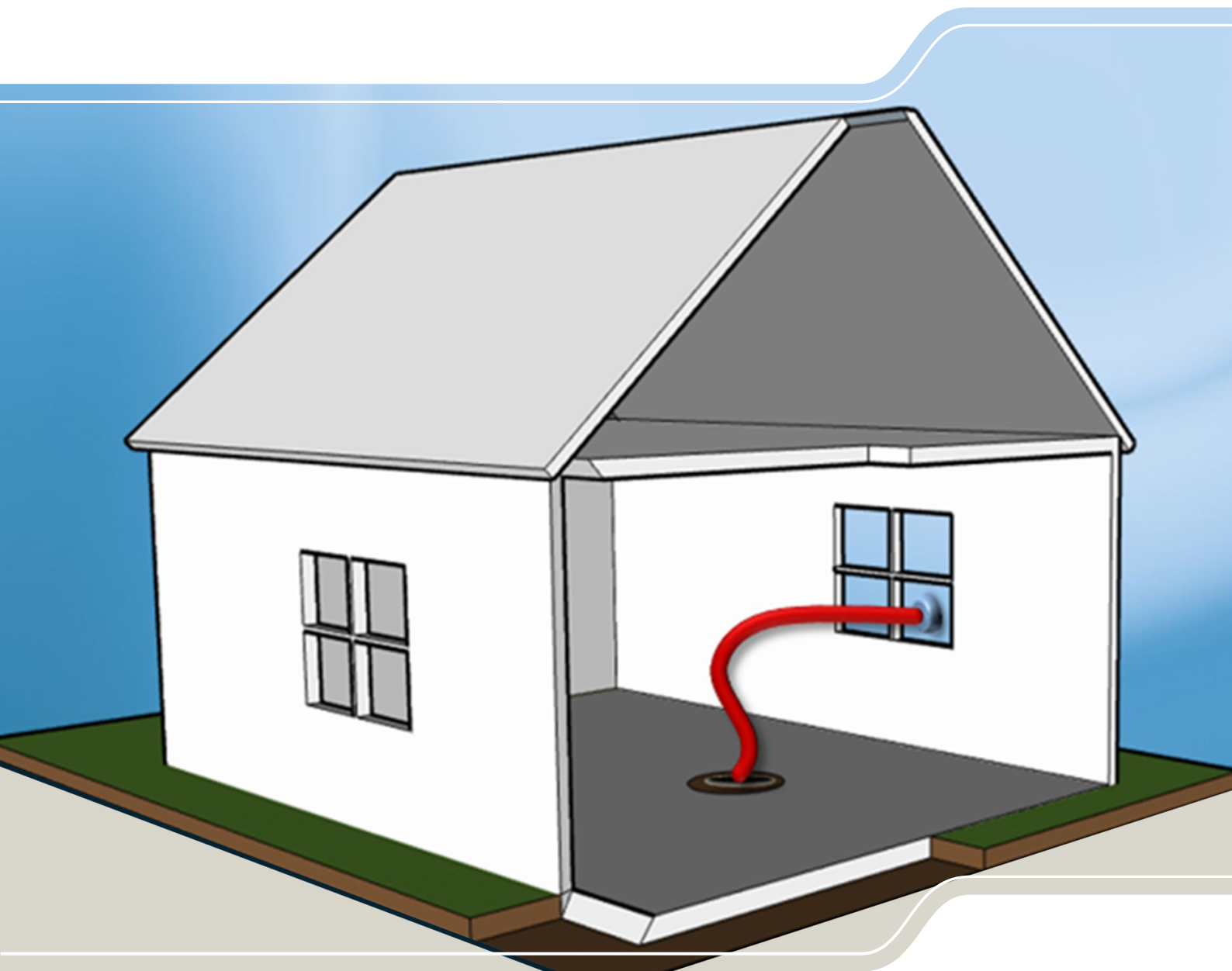


Handbuch zur Altlastenbehandlung

Teil 6 – Gefährdungsabschätzung Pfad Luft



Handbuch zur Altlastenbehandlung

Teil 6

Gefährdungsabschätzung Pfad Luft

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

Stand: November 2025

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung.....	8
2	Rechtlicher Rahmen	10
2.1	Bodenschutzrecht	10
2.2	Regelablauf nach Bodenschutzrecht.....	11
2.3	Weitere Rechtsbereiche zur Orientierung	15
2.4	Zuständigkeiten im Freistaat Sachsen	15
3	Werte und ihre Anwendung	17
3.1	Werte	17
3.2	Anwendung der Werte	17
4	Grundlagen	19
4.1	Leichtflüchtige Schadstoffe	19
4.2	Schadstoffverteilungsprozesse.....	20
4.3	Transferprozesse	26
5	Erfassung.....	28
5.1	Ablauf	28
5.2	Erhebung mit formaler Erstbewertung (FEB)	29
5.3	Historische Erkundung (HE)	29
5.4	Dokumentation der Ergebnisse	32
6	Orientierende Untersuchung (OU).....	33
6.1	Ablaufschema	33
6.2	Zielstellung	34
6.3	Untersuchungsvorbereitung, Untersuchungsplan	35
6.4	Untersuchung von Boden und Bodenluft.....	38
6.4.1	Planung der Beprobungspunkte.....	38
6.4.2	Auswahl von Probennahme- und Untersuchungsverfahren	40
6.4.3	Analytik	46
6.4.4	Qualitätssicherung	47
6.5	Bewertung.....	48
6.5.1	Transferfaktoren.....	48
6.5.2	Bewertungsgrundlagen für leichtflüchtige Schadstoffe im Boden	49
6.5.3	Bewertungsgrundlagen für leichtflüchtige Schadstoffe in der Bodenluft	50
6.6	Gefährdungsabschätzung und Handlungsbedarf	51
6.7	Dokumentation der Ergebnisse	53

7	Detailuntersuchung (DU)	54
7.1	Ablaufschema	54
7.2	Zielstellung	55
7.3	Untersuchungsvorbereitung, Untersuchungsplan	55
7.4	Untersuchung von Boden, Bodenluft und Innenraumluft	57
7.4.1	Planung der Beprobungspunkte	57
7.4.2	Auswahl von Probennahme- und Untersuchungsverfahren	59
7.4.3	Analytik	68
7.4.4	Qualitätssicherung	68
7.5	Prognose	68
7.6	Bewertung	69
7.6.1	Expositionsabschätzungen	69
7.6.2	Bewertung auf Basis von Boden- und Bodenluftkonzentrationen	72
7.6.3	Bewertung auf Basis von Innenraumluftkonzentrationen	73
7.6.4	Bewertung auf Basis von Außenluftkonzentrationen	74
7.6.5	Festlegung des weiteren Handlungsbedarfs	74
7.7	Festlegung vorläufiger Sanierungsziele	74
7.8	Dokumentation der Ergebnisse	75
8	Literaturverzeichnis	76
9	Anhänge	85

Anhangsverzeichnis

A 1	Probennahmeprotokoll für Bodenluftproben.....	85
A 2	Übersicht bundesweit anerkannter Arbeitshilfen (Teil A), landesspezifisch fachlicher Empfehlungen (Teil B und C) und technischer Regelwerke (Teil D)	87
A 3	Fallbeispiele aus der Praxis.....	96

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Siedebereich und C-Zahl ausgewählter Mineralölprodukte (UBA 2017)	19
Tabelle 2:	Überblick über mögliche Bezugsquellen von Informationen, Akten, Karten und Luftbildern	30
Tabelle 3:	MKW-Fraktionen (LABO 2017)	50
Tabelle 4:	Expositionsannahmen zur Quantifizierung der inhalativen Schadstoffaufnahme über die Innenraumluft (UBA 1999; AGLMB 1995)	71

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Altlastenbearbeitung nach Bundesbodenschutzrecht (Regelablauf)	12
Abbildung 2:	Prinzipieller Ablauf der Gefährdungsabschätzung Pfad Luft mit Kapitelangabe.....	13
Abbildung 3:	betrachtete Wirkungspfade im Handbuch Pfad Luft	14
Abbildung 4:	Untersuchungen und Maßnahmen bei Verdacht auf Ausbreitung flüchtiger Schadstoffe	16
Abbildung 5:	Dampfdruck ausgewählter flüchtiger Verbindungen nach Arcadis	20
Abbildung 6:	Schematische Darstellung der Verteilungsgleichgewichte eines Schadstoffes im Boden.....	22
Abbildung 7:	Schematische Darstellung der Lage der Überbauung in Relation zum Schadensherd sowie relativer Verlauf der Schadstoffkonzentrationen in der Bodenluft.....	25
Abbildung 8:	Ablaufplan für die Erfassung einer altlastverdächtigen Fläche für den Wirkungspfad Boden → Bodenluft → Innenraumluft.....	28
Abbildung 9:	Ablaufplan für die OU einer altlastverdächtigen Fläche für den Wirkungspfad Boden → Bodenluft → Innenraumluft	33
Abbildung 10:	Beispiele für Bodenluftentnahmesysteme: links: mit separatem Bohr- und Messvorgang (Bohrlochverfahren), rechts: mit kombiniertem Bohr- und Messvorgang (Verdrängersonde), (BUKEA 2023)	41
Abbildung 11:	Ablaufplan für die DU einer altlastverdächtigen Fläche für den Wirkungspfad Boden → Bodenluft → Innenraumluft	54
Abbildung 12:	Aufbau eines Diffusionssammlers (Quelle: Drägerwerk AG & Co. KGaA, Lübeck. Alle Rechte vorbehalten).....	63
Abbildung 13:	Übersicht der unterschiedlichen Messbedingungen in Abhängigkeit des Ziels der Innenraumluftmessung (IRK, ALOG 2014), verändert.....	64
Abbildung 14:	Emissionscharakteristika einiger Hintergrundquellen für Luftverunreinigungen in Innenräumen (IRK, ALOG 2014; Breuer, D. et al.)	66

Abkürzungsverzeichnis

AGW	Arbeitsplatzgrenzwerte
AIR	Ausschuss für Innenraumrichtwerte des Umweltbundesamtes
AKW	(monozyklische) aromatische Kohlenwasserstoffe
AL	Aliphatische MKW-Fraktion
AOLG	Arbeitsgemeinschaft der Obersten Landesgesundheitsbehörden
AR	Aromatische MKW-Fraktionen
BauGB	Baugesetzbuch
BBodSchG	Bundes-Bodenschutzgesetz
BBodSchV	Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung
BImSchV	Bunden-Immissionsschutzverordnung
BTEX	Benzol, Toluol, Ethylbenzol, Xylole
Ca	Schadstoffbezogene Innenraumluftkonzentration
CSM	Conceptual Site Model (Konzeptionelles Standortmodell)
DEBA	Digitales Erfassungs- und Bewertungsblatt für altlastverdächtige Flächen
DIN	Deutsches Institut für Normung
DU	Detailuntersuchung
DV	Datenverarbeitung
ERB	Expositions-Risiko-Beziehungen
FCKW	Fluorierte Chorkohlenwasserstoffe
GefStoffV	Gefahrstoffverordnung
HE	Historische Erkundung
ISO	International Organization for Standardization (Internat. Organisation für Normung)
KG	Körpergewicht
LABO	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz
LHKW	Leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe
LOAEL	Lowest Observed Adverse Effect Level (niedrigste Konzentration mit beobachteter unerwünschter Wirkung)
LUA	Landesuntersuchungsanstalt für Gesundheits- und Veterinärwesen in Sachsen
m u. GOK	Meter unter Geländeoberkante
MAK	Maximale Arbeitsplatzkonzentration
MKW	Mineralölkohlenwasserstoffe
MNA	Monitored Natural Attenuation (Überwachter natürlicher Schadstoffabbau)
OdB	Ort der Beurteilung nach BBodSchV
OdP	Ort der Probennahme nach BBodSchV
ÖGD	Öffentlicher Gesundheitsdienst
OU	Orientierende Untersuchung

PAK	Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe
RLT	Raumlufttechnik
RW	Richtwert
SächsChemRZuVO	Sächsische Chemikalienrecht-Zuständigkeitsverordnung vom 2. September 2024 (SächsGVBl. S. 831, 836)
SächsGDG	Sächsisches Gesundheitsdienstgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 11. September 2024 (SächsGVBl. S. 858)
SächsKrWBodSchG	Sächsisches Kreislaufwirtschafts- und Bodenschutzgesetz vom 22. Februar 2019 (SächsGVBl. S. 187)
SächsKrWBodSchZuVO	Verordnung des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft über Zuständigkeiten bei der Durchführung von Vorschriften des Kreislaufwirtschafts- und Bodenschutzrechts vom 25. Juni 2019 (SächsGVBl. S. 573)
SächsWG	Sächsisches Wassergesetz vom 12. Juli 2013 (SächsGVBl. S. 503), das zuletzt durch Artikel 3 des Gesetzes vom 19. Juni 2024 (SächsGVBl. S. 636) geändert worden ist
SALKA	Sächsisches Altlastenkataster
SMUL	Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft
SU	Sanierungsuntersuchung
TDI	Tolerable Daily Intake (tolerierbare tägliche Aufnahme)
TF	Transferfaktor
TRD	Tolerierbare resorbierte Dosis
TRGS	Technische Regeln für Gefahrstoffe
TRK	Technische Richtkonzentration (zurückgezogen)
TS	Trockensubstanz
TVOC	Total Volatile Organic Carbons (gesamte flüchtige organische Kohlenstoffverbindungen)
UBA	Umweltbundesamt
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VwVSächsAltK	Verwaltungsvorschrift des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft über das Sächsische Altlastenkataster vom 29. Juni 2007 (SächsABl. S. 1002), zuletzt enthalten in der Verwaltungsvorschrift vom 4. Dezember 2023 (SächsABl. SDr. S. S 315)
WHO	Weltgesundheitsorganisation

1 Einführung

Das „Handbuch zur Altlastenbehandlung“ des Freistaates Sachsen (<https://www.boden.sachsen.de/saechsische-handbuchreihe-der-altlastenbehandlung-25494.html>) besteht aus 10 Teilen und umfasst die Themen Grundsätze, Erfassung, stufenweise Gefährdungsabschätzung für Boden, Grundwasser, Oberflächenwasser und Luft, Detailuntersuchung, Sanierungsuntersuchung, Sanierung und Überwachung.

Der im Jahr 2001 veröffentlichte Handbuchteil 6 „Gefährdungsabschätzung Pfad Luft“ beschreibt bislang die Vorgehensweise in den Bearbeitungsstufen historische Erkundung und orientierende Untersuchung.

Aktualisierungsbedarf ergab sich insbesondere mit der Ablösung der bisherigen, auf Berechnung von sogenannten R-Werten basierenden sächsischen Methodik zur Gefährdungsabschätzung und Priorisierung von altlastverdächtigen Flächen in den o. g. Bearbeitungsstufen durch eine verbal-argumentativ ausgerichtete Bewertung ab 2017 und aufgrund der Veröffentlichung orientierender Hinweise für flüchtige Stoffe durch die Länderarbeitsgemeinschaft Boden (LABO) sowie aufgrund der bundesweiten Etablierung der Richtwerte des Ausschusses für Innenraumrichtwerte (AIR) als toxikologisch abgeleitete Werte für die Innenraumluft in den letzten Jahren. Außerdem wurde im vorliegenden Handbuchteil die Bearbeitungsstufe Detailuntersuchung ergänzt, so dass eine umfassende Gefährdungsabschätzung möglich ist.

In der vorliegenden Fassung des Handbuchteils sind die neueren rechtlichen und fachlichen Grundlagen sachgerecht zusammengestellt und aufbereitet. Damit trägt die Aktualisierung in übersichtlicher Form dem neuen Wissensstand zur Erkundung und Bewertung des Pfades Boden Luft Rechnung.

Das Handbuch Teil 6 betrachtet insbesondere Gefahren durch die Inhalation flüchtiger Schadstoffe und gibt dazu Hinweise für die Untersuchung von Bodenluft und die Bewertung der Ergebnisse. Diese Hinweise gelten gleichermaßen für die Bearbeitung von altlastverdächtigen Flächen (Altstandorten, Altablagerungen) sowie Flächen mit Verdacht auf schädliche Bodenveränderungen (im Folgenden wird vereinfacht nur von altlastverdächtigen Flächen gesprochen).

Nicht Gegenstand dieses Handbuches sind nachfolgende Themen:

- Gefahren durch die Inhalation partikelgebundener (staubförmiger) Schadstoffe (§ 22 (2) BBodSchV). Diese werden im Handbuch zur Altlastenbehandlung Teil 4, Boden, berücksichtigt.
- Ausbreitung von gasförmigen Schadstoffen innerhalb der Atmosphäre.
- Gefährdungen durch das Ausgasen von leichtflüchtigen Schadstoffen aus der Bausubstanz

- Gefahren für das Schutzgut Grundwasser selbst durch flüchtige Schadstoffe. Diese werden im Handbuch zur Altlastenbehandlung, Teil 3, Grundwasser, berücksichtigt.
- Bewertung der Gefahren durch Deponiegas (Hinweise dazu aber in Kapitel 4.2 und Kapitel 6).

Der Handbuchteil wurde auf Grundlage der durch das LfULG beauftragten Arbeiten der Arcadis Germany GmbH und unter Mitwirkung der sächsischen unteren Bodenschutzbehörden, die insbesondere für die Fallbeispiele praktische Erfahrungen einbrachten, erstellt. Außerdem erfolgten Abstimmungen mit der Landesuntersuchungsanstalt für Gesundheits- und Veterinärwesen (LUA) unter Einbeziehung der Gesundheitsämter. Das Handbuch ist als Arbeitshilfe konzipiert. Dazu dienen auch die in Anhang 3 (A 3) beigefügten Projektbeispiele.

Ausschließlich zum Zweck der besseren Lesbarkeit wird auf die geschlechtsspezifische Schreibweise verzichtet. Alle personenbezogenen Bezeichnungen in diesem Handbuchteil sind somit geschlechtsneutral zu verstehen.

2 Rechtlicher Rahmen

Ausgangspunkt der Bewertung von Belastungen auf dem Wirkungspfad Boden - Luft ist der Ausschluss von Gefahren, erheblichen Nachteilen oder erheblichen Belästigungen für den Menschen aufgrund von Altlasten oder schädlichen Bodenveränderungen nach Bodenschutzrecht. Dazu zählt die Gewährleistung gesunder Wohn- und Arbeitsverhältnisse in den Gebäuden der bodenschutzrechtlich definierten Nutzungen „Wohngebiete“ und „Industrie- und Gewerbegrundstücke“. Die Gewährleistung gesunder Wohn- und Arbeitsverhältnisse ist auch in anderen Rechtsbereichen (wie Baurecht, Arbeitsrecht) geregelt.

2.1 Bodenschutzrecht

Die Untersuchung von Verdachtsflächen oder altlastverdächtigen Flächen und der Umgang mit Altlasten (Altstandorte und Altablagerungen) bzw. schädlichen Bodenveränderungen sind im BBodSchG und der dazugehörigen BBodSchV geregelt. Bei Vorhandensein flüchtiger Schadstoffe ist dabei insbesondere zu prüfen, ob eine Gefährdung des Menschen bei Nutzung von Gebäuden in „Wohngebieten“ bzw. auf „Industrie- und Gewerbeflächen“ vorliegt. Neben der direkten Ausbreitung flüchtiger Schadstoffe aus der Bodenluft in die Innenraumluft, sind weitere Ausbreitungswege möglich, siehe Kapitel 2.2 Regelablauf. Spezielle Hinweise auf den Pfad Boden-Luft sind in den folgenden §§ der BBodSchV enthalten.

§ 10 Abs. 6 BBodSchV:

„Wenn auf Grund der örtlichen Umstände oder nach den Ergebnissen von Bodenluft- oder Deponiegasuntersuchungen Anhaltspunkte für die Ausbreitung von flüchtigen Schadstoffen aus einer Verdachtsfläche oder altlastverdächtigen Fläche in Gebäude bestehen, soll im Rahmen der Detailuntersuchung eine Untersuchung der Innenraumluft erfolgen; die Aufgaben und Befugnisse anderer Behörden bleiben unberührt.“

§ 12 Abs. 2 BBodSchV

„Bei altlastverdächtigen Altablagerungen sollen neben der Charakterisierung des Schadstoffpotentials des Ablagerungsmaterials insbesondere Untersuchungen der vom Abfallkörper ausgehenden Wirkungen durch Ausgasung leichtflüchtiger Stoffe und Deponiegas hinsichtlich des Übergangs von Schadstoffen in das Grundwasser durchgeführt werden.“

§ 22 Abs. 2 BBodSchV enthält zusätzliche Anforderungen zur Probennahme bei OU und DU.

„Beim Wirkungspfad Boden-Mensch...werden leichtflüchtige Schadstoffe untersucht, um gemäß § 10 Absatz 6 Anhaltspunkte für die Ausbreitung dieser Stoffe in Gebäude hinein zu ermitteln, richten sich die Beprobungstiefen nach dem dazu verwendeten Expositionsszenario (Boden-Bodenluft-Innenraumluft)...“

Weitere Regelungen bzw. eigene Prüfwerte zu diesem Pfad enthalten BBodSchG und BBodSchV nicht. Aber es gibt konkrete Ausführungen zur bodenschutzrechtlichen Bewertung. Diese finden sich als

schadstoffbezogene Innenraumluftkonzentration C_a in den ergänzenden Ableitungsmaßstäben für flüchtige Stoffe nach BBodSchV (UBA 1999).

Die aus dieser schadstoffbezogenen Innenraumluftkonzentration durch einen konservativ gesetzten pauschalen Transferfaktor von Bodenluft zu Innenraumluft von 1:1000 abgeleiteten Orientierenden Hinweise für Bodenluft sind im Informationsblatt der LABO (LABO 2008) enthalten.

Da die Freisetzung von flüchtigen Stoffen aus dem Boden und deren Messung von sehr vielen einzelfall-spezifischen Randbedingungen (wie z. B. Luftfeuchte, Luftdruck, Bodenschichtung, Messverfahren) abhängt, werden diese Konzentrationen für Bodenluft in ihrer rechtlichen Verbindlichkeit jedoch nicht den Prüfwerten der BBodSchV gleichgesetzt, siehe auch (SKOWRONEK 2020).

2.2 Regelablauf nach Bodenschutzrecht

Die folgende Abbildung 1 enthält den prinzipiellen Ablauf der Altlastenbehandlung. Die Gefährdungsabschätzung erfolgt in den Bearbeitungsstufen Erfassung, OU und DU. Die

Abbildung 2 zeigt die Kapitel mit den weiteren Ausführungen zum Pfad Luft an.

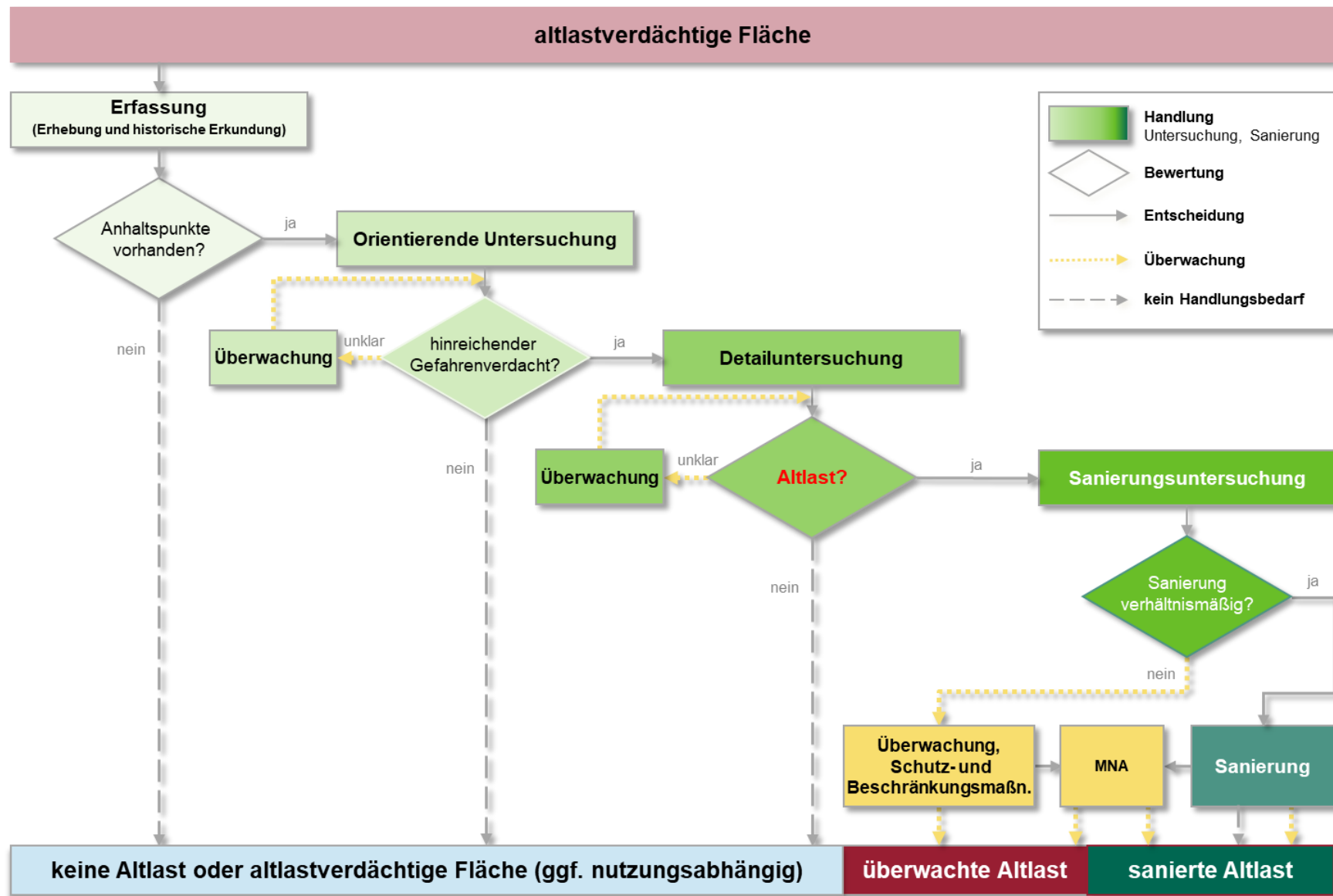


Abbildung 1: Altlastenbearbeitung nach Bundesbodenschutzrecht (Regelablauf)

Kapitel	Stufe der Bearbeitung
5 5.1 5.2 5.3 5.4	Erfassung <ul style="list-style-type: none"> ▪ Ablauf ▪ Erhebung mit formaler Erstbewertung (FEB) ▪ Historische Erkundung (HE) ▪ Dokumentation der Ergebnisse
6 6.1 6.2 6.3 6.4 6.5 6.6 6.7	Orientierende Untersuchung (OU) <ul style="list-style-type: none"> ▪ Ablaufschema ▪ Zielstellung ▪ Untersuchungsvorbereitung, Untersuchungsplan ▪ Untersuchung von Boden und Bodenluft ▪ Bewertung ▪ Gefährdungsabschätzung und Handlungsbedarf ▪ Dokumentation der Ergebnisse
7 7.1 7.2 7.3 7.4 7.5 7.6 7.7 7.8	Detailuntersuchung (DU) <ul style="list-style-type: none"> ▪ Ablaufschema ▪ Zielstellung ▪ Untersuchungsvorbereitung, Untersuchungsplan ▪ Untersuchung von Boden, Bodenluft und Innenraumluft ▪ Prognose ▪ Bewertung ▪ Festlegung vorläufiger Sanierungsziele ▪ Dokumentation der Ergebnisse

Abbildung 2: Prinzipieller Ablauf der Gefährdungsabschätzung Pfad Luft mit Kapitelangabe

Auf dem Pfad Luft sind verschiedene Wirkungspfade mit den entsprechenden Expositionsszenarien zu betrachten (LABO 2023).

Typische Wirkungspfade mit inhalativer Aufnahme flüchtiger Schadstoffe durch den Menschen sind:

- Boden-Bodenluft-Innenraumluft (Fall A, Fall B)
- Boden-Grundwasser-Bodenluft-Innenraumluft (Fall C)

Im Ausnahmefall kann die inhalative Aufnahme flüchtiger Schadstoffe über die Außenluft eine Rolle spielen. Das ist sehr selten, kann aber dann der Fall ein, wenn es durch die Kombination morphologischer Gegebenheiten und entsprechender Wetterlagen zu einer Anreicherung kommt und eine sensible Nutzung knapp über dem Boden stattfindet:

- Boden-Bodenluft-Außenluft (Fall D).

Bei der Abschätzung der Gefährdung über die Innenraumluft von Gebäuden kann die Lage des Schadherdes zum Gebäude unterschiedlich sein, siehe auch Abbildung 3.

Wenn keine Innenraumluftmessungen möglich sind, da das Gebäude erst geplant wird, ist die Gefährdungsabschätzung mittels Bodenluftmessungen sowie ggf. Grundwassermessungen vorzunehmen (LABO 2024).

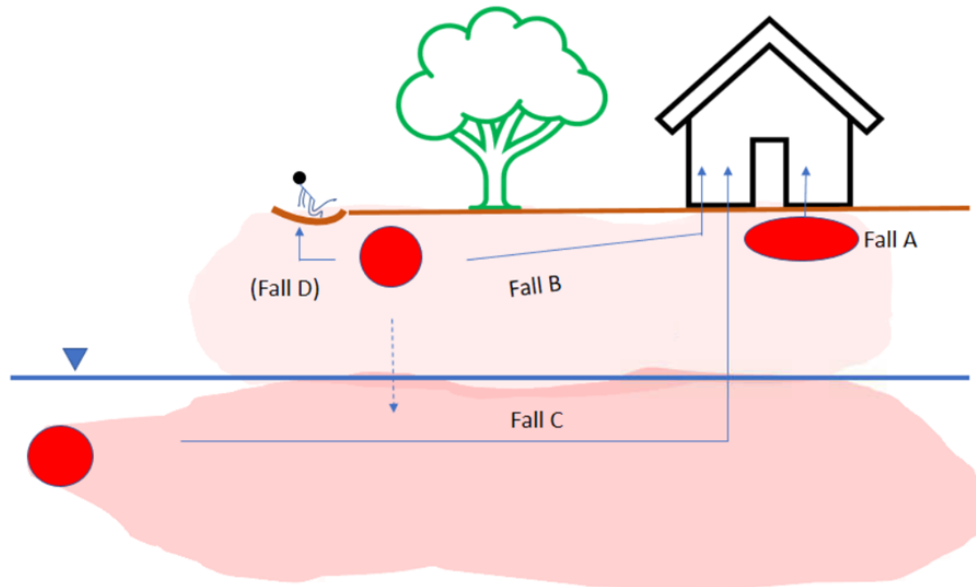


Abbildung 3: betrachtete Wirkungspfade im Handbuch Pfad Luft

- Fall A Das Gebäude befindet sich direkt oberhalb des Schadensherdes, Ausbreitung der Schadstoffe nach oben.
- Fall B Das Gebäude befindet sich in der Nachbarschaft zum Schadensherd, Ausbreitung der Schadstoffe seitlich und nach oben, hier spielen künstliche, aber auch natürliche Wegsamkeiten eine besondere Rolle.
- Fall C Das Gebäude befindet sich über einer Schadstofffahne (Grundwasser), aber außerhalb des eigentlichen Schadensherdes, Ausbreitung der Schadstoffe mit dem Grundwasser und nach oben.
- (Fall D) Es kommt durch entsprechend ungünstige Morphologie und Wetterlage zu einer Anreicherung der belasteten Außenluft in unmittelbarer Nähe des Schadensherdes bei sensibler Nutzung (sehr selten, Ausnahmefall), Ausbreitung der Schadstoffe nach oben.

2.3 Weitere Rechtsbereiche zur Orientierung

Zur Gewährleistung gesunder Wohn- und Arbeitsverhältnisse erarbeitete die Arbeitsgruppe für Innenraumluftwerte (AIR) des Umweltbundesamtes Bewertungsmaßstäbe für flüchtige Schadstoffe in Form von Richt- und Leitwertempfehlungen (AIR 2025). Auch diese gelten (wie die gefahrenbezogenen Innenraumluftkonzentrationen aus den Ableitungsmaßstäben der BBodSchV) für eine 24-Stunden Nutzung pro Tag durch Kleinkinder bzw. eine lebenslange Aufnahme. Dabei wird allerdings nicht unterschieden, ob es sich um Einträge aus der Bodenluft oder um Einträge aus Bauprodukten, Ausgasungen aus Möbeln, Reinigern, nutzungsbedingte Belastungen (z. B. Rauchen) oder um Einträge aus der Außenluft handelt. Die AIR-Werte sind damit aber auch für die Beurteilung von Innenraumluftmessungen in Gebäuden (§ 10 Abs. 6 BBodSchV) heranzuziehen, wenn diese durch Altlasten und schädliche Bodenveränderung und den Eintrag flüchtiger Schadstoffe über die Bodenluft beeinträchtigt werden.

Für Arbeitsplatzgrenzwerte bzw. stoffspezifische Toleranzkonzentrationen bei krebserzeugenden Stoffen an Arbeitsplätzen gelten andere Regeln. Sie können aber Anhaltspunkte sein (unter Beachtung der kürzeren Expositionsdauer), wenn für einen Parameter keine anderen Bewertungsmaßstäbe vorliegen.

2.4 Zuständigkeiten im Freistaat Sachsen

Im Freistaat Sachsen gibt es untere (die Landkreise und Kreisfreien Städte), obere (die Landesdirektion Sachsen) und oberste (Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft, SMUL) Abfall- und Bodenschutzbehörden (§ 19 SächsKrWBodSchG). Der Vollzug bodenschutzrechtlicher Vorschriften obliegt nach § 20 Abs. 1 SächsKrWBodSchG den unteren Abfall- und Bodenschutzbehörden, soweit nichts anderes bestimmt ist.

In Fällen, in denen die an sich zuständige Gebietskörperschaft Verfahrensbeteiligte bzw. Anteilseigner oder Mitglied eines Verfahrensbeteiligten ist, nimmt nach § 2 Abs. 1 Nr. 15 der SächsKrWBodSchZuVO die Landesdirektion Sachsen die Aufgaben der unteren Abfall- und Bodenschutzbehörde wahr. Zudem ist die Landesdirektion als obere Abfall- und Bodenschutzbehörde zuständig für Deponien.

Während die Erfassung (mit HE) und die OU der Amtsermittlungspflicht der zuständigen Abfall- und Bodenschutzbehörde unterliegen, ist ab Stufe DU der nach BBodSchG Verpflichtete verantwortlich. Der Ablauf der Altlastenbearbeitung zur Gefährdungsabschätzung auf dem Wirkungspfad Boden – Bodenluft – Innenraumluft ist in Abbildung 4 dargestellt.

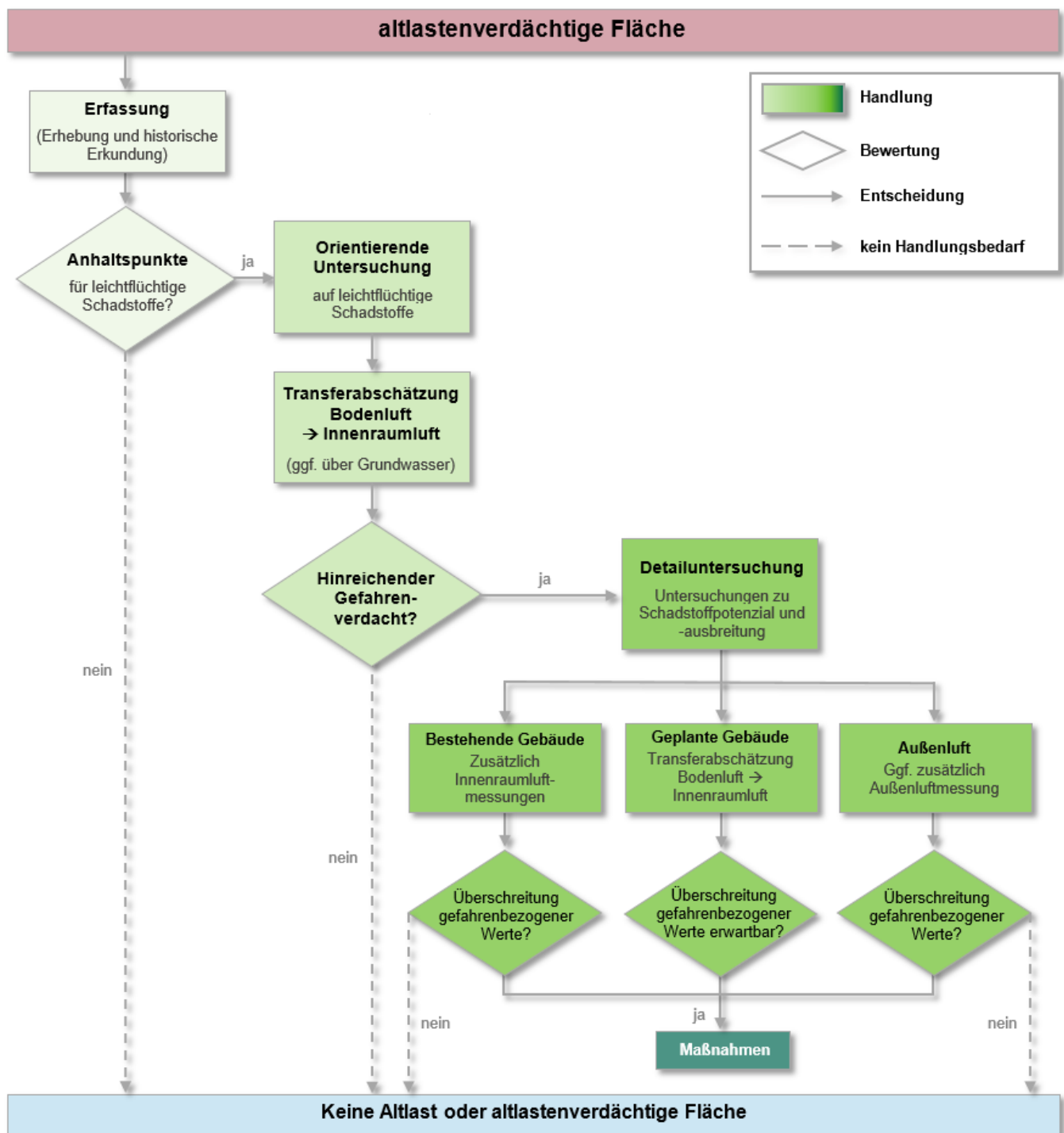


Abbildung 4: Untersuchungen und Maßnahmen bei Verdacht auf Ausbreitung flüchtiger Schadstoffe

Maßnahmen, die im Rahmen der Amtsermittlung durch die zuständigen Bodenschutzbehörden ergriffen werden müssen, sind in Abbildung 4 durch hellgrüne Kästchen, Maßnahmen, die durch den Verpflichteten erfolgen müssen, durch dunkelgrüne Kästchen gekennzeichnet.

Die Bewertung der Ergebnisse von Innenraumluftuntersuchungen und ggf. erforderliche Maßnahmen sind mit der Gesundheitsbehörde (ggf. unter Einbeziehung der LUA) abzustimmen.

3 Werte und ihre Anwendung

3.1 Werte

Für die Bewertung von flüchtigen Stoffen auf dem Wirkungspfad Boden-Bodenluft-Innenraumluft stehen sowohl Bodenfeststoffwerte, als auch Bodenluftwerte und Innenraumluftwerte zur Verfügung. Diese sind in den Sächsischen Bewertungshilfen (LFULG 2025A) zusammengestellt. Im Einzelnen sind folgende Wertemaßstäbe berücksichtigt:

- Orientierende Hinweise für flüchtige Schadstoffe am Bodenfeststoff, (LABO 2008, 2017)
- Orientierende Hinweise für Bodenluft, (LABO 2008)
- Gefahrenbezogene Innenraumluftkonzentrationen nach den ergänzenden Ableitungsmaßstäben der BBodSchV (UBA 1999)
- Richtwerte RW I und RW II bzw. bei kanzerogenen Stoffen risikobezogene Leitwerte (AIR 2025)
- Grenzwert Innenraumluft für Tetrachlorethen, (BMUV 1990)
- Grenzwert Außenluft für Benzol (BMUV 2010)
- Immissionswerte für Tetrachlorethen (BMI 2021)
- Orientierungswerte Außenluft (WHO 2000)

Dabei basieren sowohl die Werte nach UBA (UBA 1999) als auch die Werte nach AIR (AIR 2025) auf toxikologischen Daten und einem vergleichbaren Vorgehen.

Für die Bewertung von flüchtigen Stoffen auf dem Wirkungspfad Boden-Bodenluft-Außenluft stehen Einzelwerte zur Verfügung. In der Regel sind aber durch die hohen Verdünnungseffekte schon wenige Dezimeter über dem Boden keine Gefahren aus Belastungen der Außenluft durch Altlasten bzw. schädliche Bodenveränderungen ableitbar (Ausnahmen können z. B. Senken mit sensibler Nutzung sein).

3.2 Anwendung der Werte

Nach Feststellung konkreter Anhaltspunkte für den hinreichenden Verdacht einer Altlast bzw. schädlichen Bodenveränderung durch erhöhte Schadstoffkonzentrationen flüchtiger Stoffe im Bodenfeststoff oder in der Bodenluft sind i. d. R. Innenraumluftmessungen zu veranlassen.

Die Messung von Innenraumkonzentrationen erfolgt i. d. R. in der DU. Die Analysenergebnisse werden mit den gefahrenbezogenen Innenraumluftkonzentrationen C_a (UBA 1999) oder den Richtwerten RW II (AIR 2025) bzw. risikobasierten Leitwerten (AIR 2015) verglichen. Liegen für einen Parameter beide Werte vor, ist der geringere von beiden heranzuziehen und darauf der Handlungsbedarf zu begründen.

Liegt eine Überschreitung von C_a oder von RW II bzw. risikobasiertem Leitwert vor, besteht weiterer (dringender) Handlungsbedarf. In der Regel erfolgt eine Sanierungsuntersuchung bzw. ggf. Sofortmaß-

nahmen. Ein Handeln nach Maßgabe des Bodenschutzrechts setzt voraus, dass die Belastung der Innenraumluft maßgeblich von der Altlast bzw. schädlichen Bodenveränderung herrührt und andere Ursachen (s. Kap. 2.3) weitgehend ausgeschlossen werden können.

Liegt eine Unterschreitung von C_a und RW II bzw. risikobasiertem Leitwert vor, ist der dringende Gefahrenverdacht insoweit ausgeschlossen. Bei Konzentrationen über dem RW I-Wert ist zu prüfen, ob zunächst einfache Maßnahmen eine Verbesserung ermöglichen. Dazu sollten zunächst intensive Lüftungen vorgenommen werden. Wenn jedoch trotz nachweisbar intensiveren Lüftens eine Kontrollmessung nach einer gewissen Zeit (in der Regel nach einem Monat) keine Verbesserung der Luftqualität ergibt und der Richtwert I nach wie vor überschritten wird, sind bauliche Maßnahmen zur Verbesserung der Situation zu prüfen, da eine über einen längeren Zeitraum (> 12 Monate) erhöhte Belastung nicht akzeptabel ist (IRK, ALOG 2007). Wird auch der RW I unterschritten, ist der Gefahrenverdacht ausgeschlossen. Auch hier gilt für das Handeln der vorgenannte Ursachenbezug.

Die Anwendung der Werte ist in den Sächsischen Bewertungshilfen (LFULG 2025A) detailliert erläutert.

4 Grundlagen

4.1 Leichtflüchtige Schadstoffe

Schadstoffe, die das Potential haben, in Innenräume einzudringen, umfassen in erster Linie leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe (LHKW), (monozyklische) aromatische Kohlenwasserstoffe (AKW), aber auch Fraktionen der Mineralölkohlenwasserstoffe (MKW) mit geringem Molekulargewicht und einige andere Schadstoffe wie beispielsweise Naphthalin als einzige flüchtige Substanz aus der Gruppe der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) oder Dimethylquecksilber sowie Methan, welches durch den anaeroben Abbau von organischen Schadstoffen im Boden entstehen kann (GILLBRICHT 2019).

Im Allgemeinen nimmt der Dampfdruck mit steigender Anzahl an Kohlenstoffatomen im Molekül bei den Mineralölkohlenwasserstoffen (MKW) stark ab (Tabelle 1). Zu den sehr leichtflüchtigen Stoffen zählen organische Verbindungen mit einem Siedebereich bis 100 °C und zu den leichtflüchtigen solche mit einem Siedebereich bis ca. 250 °C. Einige MKW-Fractionen weisen daher nur Anteile leichtflüchtiger Verbindungen auf.

Tabelle 1: Siedebereich und C-Zahl ausgewählter Mineralölprodukte (UBA 2017)

Schadstoff	Siedebereich [°C]	C-Atome (ca.-Angabe)
Leichtbenzin	30 – 90	4 – 7
Mittel-/ Motorenbenzin	90 – 180	7 – 10
Schwer-/ Testbenzin	150 – 215	9 – 11
Kerosin	150 – 280	8 – 17
Heizöl, extraleicht, Diesel	160 – 390	9 – 24
Schmieröl, Hydrauliköl	300 – 525	17 – 39
Heizöl, schwer	300 – ca. 700	20 – 70

Der Dampfdruck ausgewählter flüchtiger organischer Verbindungen ist in Abbildung 5 gezeigt. Der Dampfdruck selbst ist eine stoffspezifische Konstante und hängt nicht von der Schadstoffmenge ab. Schadstoffe mit einem relativ hohen Dampfdruck wie bspw. Benzol verdampfen (verflüchtigen) sehr schnell. Um jedoch eine substanzielle Verfrachtung in Innenräume zu erzielen, muss auch die Konzentration des Schadstoffs hoch sein (mit entsprechender Nachlieferung aus dem Gesamtvorrat), je geringer der Dampfdruck ist, desto höher muss die Konzentration sein um die Innenraumluft relevant zu beeinflussen.

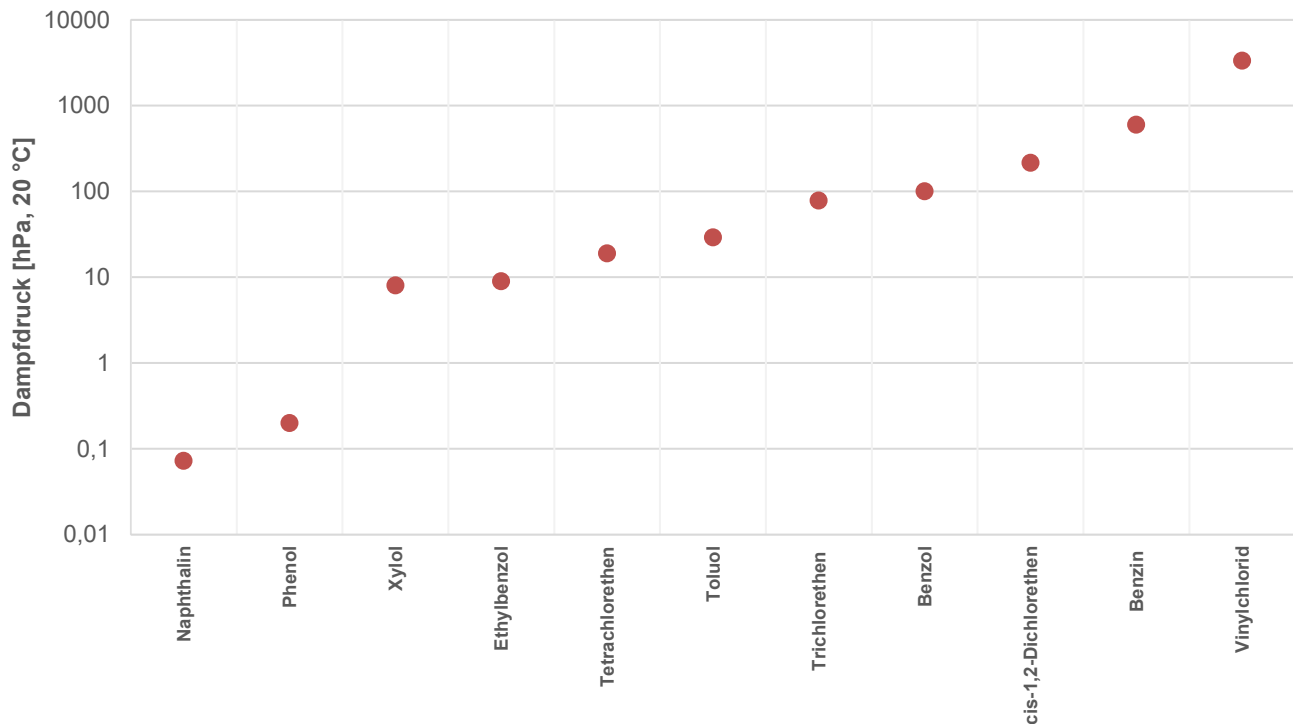


Abbildung 5: Dampfdruck ausgewählter flüchtiger Verbindungen nach Arcadis

Unter den anorganischen Schadstoffen sind hinsichtlich flüchtiger Stoffe und Verbindungen u. a. das elementare Quecksilber (Hg), Schwefelwasserstoff (H_2S), Phosphorwasserstoff (PH_3), Arsenwasserstoff (AsH_3) und Ammoniak (NH_3) von Bedeutung. Bei Deponien kommen noch die Hauptkomponenten des Deponiegases¹ (CH_4 , CO_2) sowie gegebenenfalls Spurenstoffe² (H_2S , LHKW, AKW, FCKW) hinzu (LABO 2023; BUKEA 2023).

4.2 Schadstoffverteilungsprozesse

Für den Pfad Luft relevante Schadstoffe gelangen in der Regel als Produktphasen in den Untergrund und hinterlassen in der ungesättigten Bodenzone, der Grundwasserwechselzone und bei Schwerphasen im Grundwasserleiter eine residuale Sättigung. Davon ausgehend lösen sich die Schadstoffe in der

¹ Als Deponiegas werden die im Deponiekörper durch mikrobiellen Abbau organischer Abfälle entstandenen und in die Gasphase übergegangenen Stoffwechselprodukte bezeichnet. Dabei handelt es sich vor allem um Methan (CH_4) und Kohlendioxid (CO_2) sowie untergeordnet Schwefelwasserstoff (H_2S) LUBW 2001a. Bei einer Ausgasung spielt Methan eine besondere Rolle, da es in bestimmten Verhältnissen mit Luft (Methan-Volumenanteil zwischen 4,4 % und 16,5 %) explosive Mischungen bilden kann. Der Anteil des Methans verändert sich im Deponiegas über die Zeit sehr stark.

² Deponiegasspurenstoffe bezeichnen geringe konzentrierte Bestandteile des Deponiegases (oft nur 0,1 - 0,5 Vol.-%) wie beispielsweise H_2S , LHKW, BTEX und FCKW. Im Einzelfall sind weitere Spurenstoffe wie Phenole, aliphatische Mineralölkohlenwasserstoffe, Schwefelkohlenstoff (CS_2), Methanthiol, Ethanthiol, 2-Propanthiol, 2-Butanthiol, Dimethylsulfid und weitere Mercaptane, Ammoniak und hochtoxische Spurenkomponenten wie Phosphorwasserstoff (Phosphin, Phosphan) oder Arsenwasserstoff (Arsin, Arsan) in Betracht zu ziehen.

ungesättigten Zone im Haftwasser, sorbieren am Bodenfeststoff und verdampfen in die Bodenluft. Aufgrund des hohen Dampfdrucks der leichtflüchtigen Schadstoffe liegen die höchsten Konzentrationen gasförmiger Stoffe in der unmittelbaren Nähe zu den residualen Schadstoffphasen in der ungesättigten Zone vor. Die Schadstoffe breiten sich vom Eintragsherd in alle Richtungen aus und bilden eine Wolke gasförmiger Stoffe um den Schadensherd. Wie weit die gasförmige Belastung reicht, hängt davon ab, wie permeabel der Untergrund ist und ob zusätzlich ein aktiver Transport und Durchmischungen durch Luftströmungen im Untergrund auftreten. Toniger Boden ist (mit Ausnahme von Schrumpfrissen und Störungszonen, welche eine Wegsamkeit der flüchtigen Schadstoffe ermöglichen) auch in der ungesättigten Zone stets zu einem großen Teil mit Wasser gefüllt, was Luftströmungen behindert. Wasser stellt eine fast vollständige Barriere auch für den diffusiven Transport dar, da der Diffusionskoeffizient im Wasser nur etwa 1/10.000 des Wertes in der Luft beträgt (LUBW 2001A).

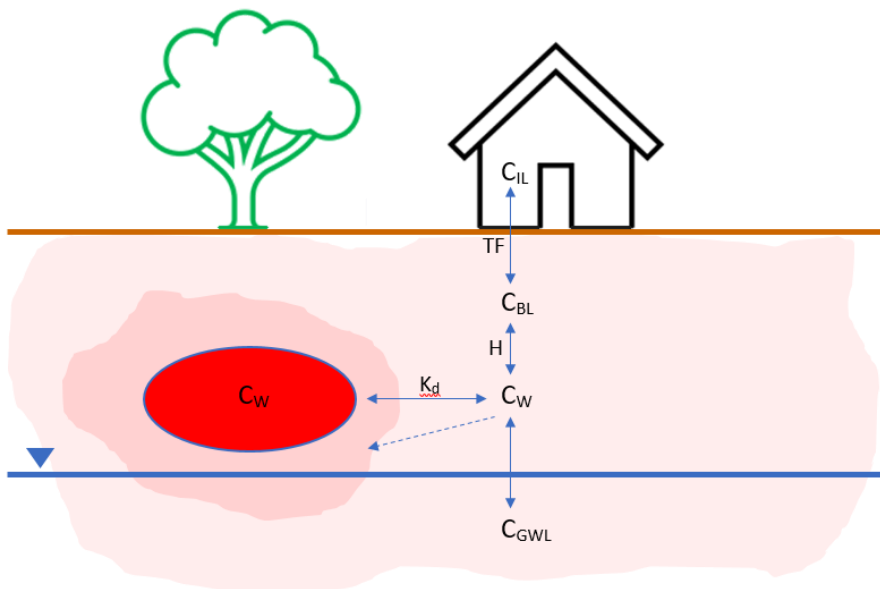
Auch der Grad der Bodenversiegelung spielt eine Rolle. Bei versiegelten Flächen können die leichtflüchtigen Stoffe nicht in die Atmosphäre entweichen und breiten sich entsprechend stärker unterhalb der Versiegelung lateral aus. Für die Ausbreitung der gasförmigen Schadstoffe sind vor allem zwei Parameter verantwortlich:

- Konzentrationsdifferenz (Diffusion)
- Druckdifferenz (Konvektion)

Die gasförmigen Schadstoffe diffundieren entlang eines Gefälles vom Punkt hoher Konzentrationen zum Punkt geringerer Konzentrationen.

Bedeutender, auch hinsichtlich einer substanziell höheren Geschwindigkeit, ist die Ausbreitung entlang von Gefällen im Druckgradienten, wenn sich das Gas aus Bereichen mit hohem Druck in Bereiche mit geringem Druck bewegt, was durch meteorologische Bedingungen (barometrische Druckänderungen oder Temperaturveränderungen) verursacht werden kann (s. u.). Bei Deponien kommt hinzu, dass die Gasbildung selbst einen Druckgradienten verursacht.

Die Verteilung der Schadstoffe zwischen den einzelnen Kompartimenten wird durch die jeweiligen stoffspezifischen Verteilungskoeffizienten bestimmt (Abbildung 6). Die gasförmigen Schadstoffe stehen mit den im Haftwasser gelösten Schadstoffen über die Henry-Konstante (H) im Gleichgewicht, die gelösten Schadstoffe ihrerseits über den K_d-Wert mit den an die Bodenmatrix sorbierten Schadstoffen. Der Übergang in das Grundwasser wird dadurch bestimmt, in welchen Konzentrationen sich die Schadstoffe im Sickerwasser lösen. Aus dem Grundwasser können die Schadstoffe aber auch wieder in die Gasphase übergehen, dies wird als Ausgasung bezeichnet.



CB, CW, CGWL, CBL CIL = Schadstoffkonzentrationen im Boden, Haftwasser, Grundwasser, Bodenluft und in der Innenraumluft, K_d = Verteilungskoeffizient Boden-Wasser, H = Henry-Konstante, TF = Transferfaktor

Abbildung 6: Schematische Darstellung der Verteilungsgleichgewichte eines Schadstoffes im Boden

Das Gleichgewicht sämtlicher Prozesse ist durch viele Parameter stark beeinflusst, so dass die Verteilungskoeffizienten unter realistischen Umweltverhältnissen nicht zur Berechnung der Schadstoffkonzentration in einem Medium aus der Konzentration in einem anderen Medium verwendet werden können.

Den größten Einfluss auf die Gleichgewichtseinstellung in dem Drei-Phasen-System aus Feststoff (Boden), Wasser und Bodenluft haben folgende Faktoren:

■ Geschwindigkeit der Schadstoffverteilung

Rasche diffuse und konvektive Verteilung der Schadstoffe in der wasserungesättigten Bodenzone, so dass, zusätzlich verschärft durch Inhomogenitäten des Bodens und der Schadstoffverteilung, die Konzentration in der Bodenluft nicht mit der Konzentration im Feststoff korreliert.

■ Wassergehalt des Bodens

Der Bodenwassergehalt kann sich mit versickernden Niederschlägen rasch ändern. Das Sickerwasser beeinflusst auch das Volumen des luftgefüllten Porenraums. In feuchten Böden kann sowohl eine Erhöhung als auch eine Erniedrigung der Konzentrationen der Schadstoffe in der Bodenluft auftreten. Die Schwankungen können einen Faktor bis zu 5 erreichen (BAFU 2015).

■ Luftdruck

Bei fallendem Luftdruck entsteht ein Druckgefälle zwischen Bodenluft und Atmosphäre, so dass die Bodenluft verstärkt aus der ungesättigten Bodenzone herausströmt. Die Geschwindigkeit des Druckausgleichs wird zwar durch die poröse Struktur des Untergrundes verzögert, ist aber schneller als die Verdampfung der Schadstoffe, so dass deren Konzentration in der Bodenluft vorübergehend sinkt.

Bei steigendem Luftdruck stellen sich umgekehrte Verhältnisse ein. Unbelastete atmosphärische Luft dringt in den Untergrund ein und führt ebenfalls zu einer Verdünnung der Schadstoffkonzentrationen in der Bodenluft. Erst bei einem über eine gewisse Zeit unveränderten atmosphärischen Luftdruck steigen diese wieder.

■ Versiegelungen

Versiegelungen der Oberfläche führen dazu, dass sich in der darunter befindlichen Bodenluft höhere Schadstoffkonzentrationen einstellen, da der Austausch mit der Atmosphäre behindert ist.

■ Deponiegase

Bei Deponien kommt hinzu, dass die Deponiegase durch mikrobiellen Abbau unter anaeroben Bedingungen rasch neu gebildet werden, wodurch ein zusätzlicher Gasdruck entsteht, der die konvektive Verteilung der Schadstoffe beschleunigt (BUKEA 2023).

■ Bodendurchlässigkeit

Die Geschwindigkeit der Ausbreitung der Gasphase wird wesentlich durch die pneumatische Durchlässigkeit des Bodens bestimmt. In erster Näherung ist diese dem k_f -Wert für die hydraulische Durchlässigkeit proportional.

Auch können unterirdische Bauwerke und Leitungen die Durchlässigkeit beeinflussen. Abwasserkanäle, Rohrleitungen und Leitungstrassen (und bei Altablagerungen oft auch Fehlstellen infolge von Setzungen (BARKOWSKI ET AL. 2002)) stellen Wegsamkeiten mit in der Regel größeren Durchlässigkeiten dar und können einen sehr raschen Transport der leichtflüchtigen Schadstoffe über größere Entfernungen ermöglichen. Auch Drainagen unterhalb von Gebäuden lassen eine rasche Migration von leichtflüchtigen Schadstoffen zu. In Festgesteinen vorhandene Klüfte haben eine ähnliche Funktion. Diese Möglichkeiten der Gasmigration sind bei der Aufstellung eines Überwachungsprogrammes zu berücksichtigen.

Zusammengefasst führen somit alle Prozesse, welche die Konzentration in der Bodenluft verändern, dazu, dass die Gleichgewichtseinstellung der Schadstoffkonzentrationen zwischen den einzelnen Medien stets und in variablem Ausmaß beeinflusst wird. Das hat zur Folge, dass die Schadstoffkonzentrationen in der Bodenluft bei Altlasten bzw. altlastenverdächtigen Flächen rasch und kaum prognostizier-

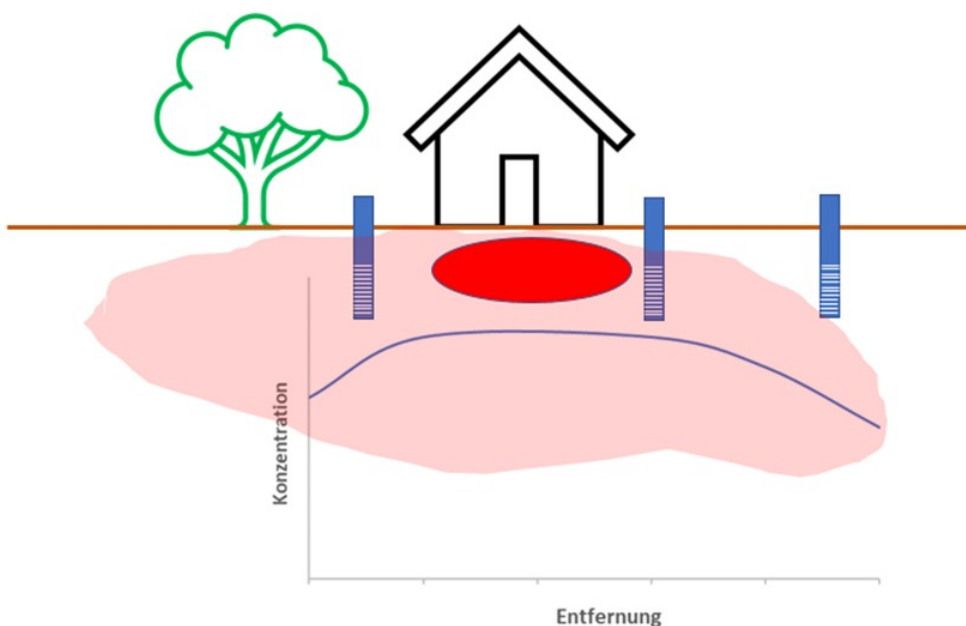
bar schwanken. Untersuchungen zur Variabilität haben gezeigt, dass die Schadstoffgehalte in der Bodenluft zudem einem ausgeprägten Jahresgang (zeitverzögert zur Änderung der Außenlufttemperatur) folgen (LFULG 2007).

Es wird folglich kaum gelingen, die Beprobung der Bodenluft bei gleichen Probennahmebedingungen zu wiederholen. Die als Momentaufnahme ermittelten Schadstoffkonzentrationen in der Bodenluft haben in vielen Fällen daher nur einen orientierenden Charakter. Beim Übergang leichtflüchtiger Schadstoffe aus der Bodenluft in Innenräume sind drei grundlegende Szenarien hinsichtlich der Lage des Schadensherdes zu unterscheiden (Abbildung 7):

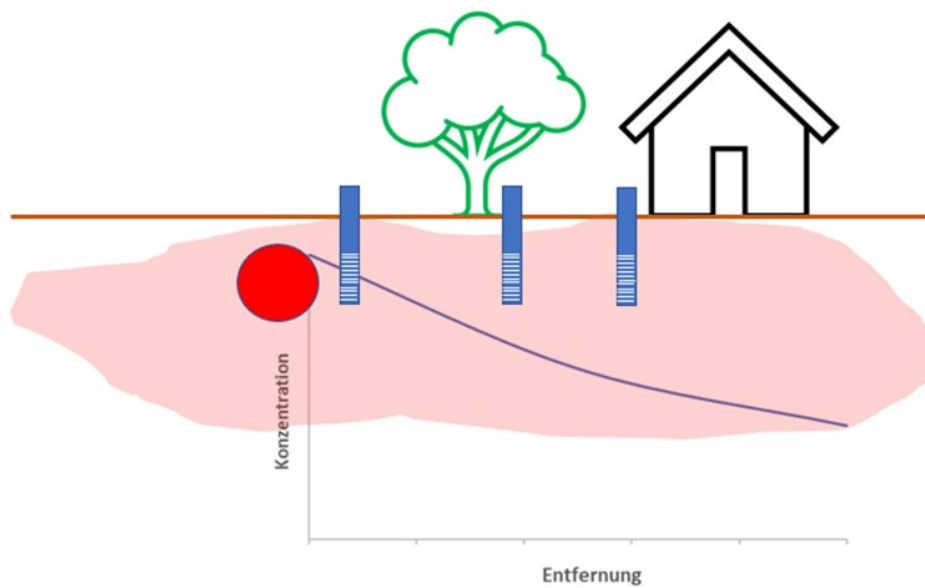
- Fall A: das Gebäude befindet sich direkt oberhalb des Schadensherdes, Ausbreitung der Schadstoffe nach oben
- Fall B: das Gebäude befindet sich in der Nachbarschaft zum Schadensherd, Ausbreitung der Schadstoffe nach oben und seitlich, hier spielen künstliche, aber auch natürliche Wegsamkeiten eine besondere Rolle
- Fall C: das Gebäude befindet sich über einer Schadstofffahne (Grundwasser), aber außerhalb des eigentlichen Schadensherdes, Ausbreitung der Schadstoffe mit dem Grundwasser und nach oben.

Die jeweiligen Verhältnisse sind bei der Planung der Untersuchungen (Kapitel 6.3 und 7.3) zu berücksichtigen. Sämtliche standortkonkreten Daten sind in ein *Konzeptionelles Standortmodell* zu übernehmen.

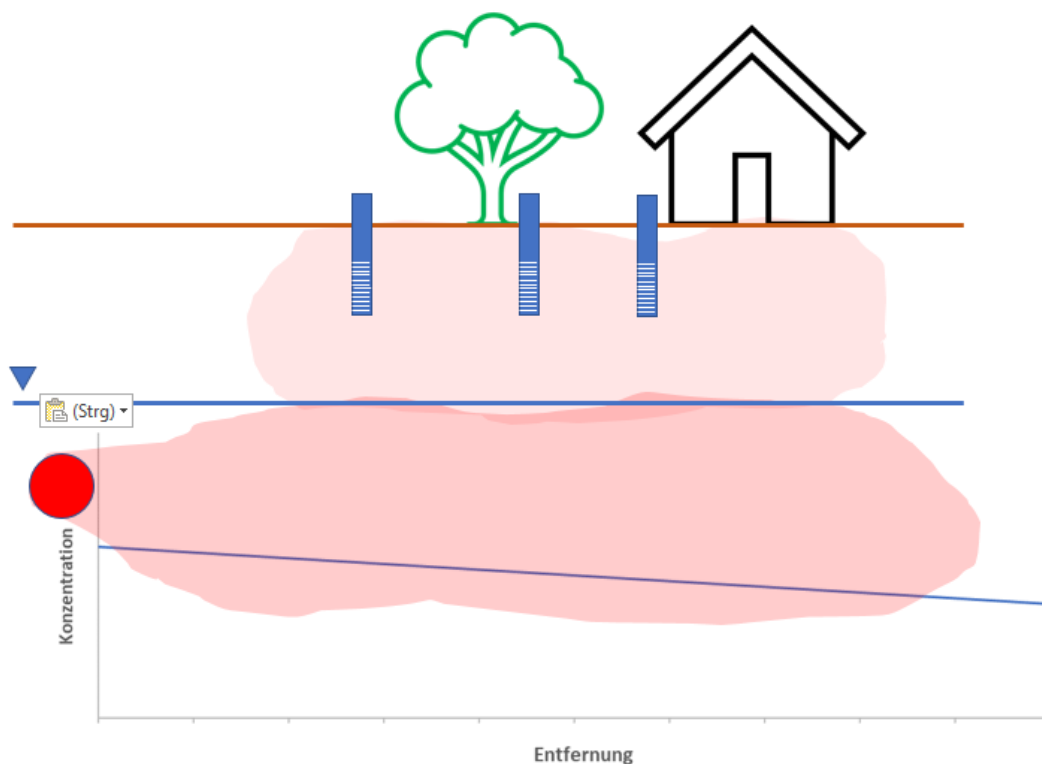
Fall A



Fall B



Fall C



roter Schadensherd in der ungesättigten bzw. gesättigten Zone; hellrosa/rosa Belastung der Bodenluft bzw. Schadstofffahne im Grundwasser; blaue Bodenluftmessstellen

Abbildung 7: Schematische Darstellung der Lage der Überbauung in Relation zum Schadensherd sowie relativer Verlauf der Schadstoffkonzentrationen in der Bodenluft

4.3 Transferprozesse

Für das Eindringen (kontaminierter) Bodenluft in die Innenraumluft sind grundsätzlich zwei Prozesse verantwortlich (BIASE ET AL. 2014):

- Gasströmung
- Diffusion, abhängig von
 - den Schadstoffeigenschaften wie Molekularstruktur, Molekülgröße, Dampfdruck und
 - den Matriceigenschaften der Gebäudehülle wie Porosität, Tortuosität, Luft- und Wassergehalt, Temperatur, Feuchtigkeit und Druck.

Mit Gasströmungen ist zu rechnen, wenn die Bodenplatte oder die Kellerwände gaswegige Fugen oder Risse aufweisen oder Undichtigkeiten im Bereich von Leitungsdurchführungen bestehen (GILLBRICHT 2019) und zusätzlich ein Druckunterschied zwischen Bodenluft und Innenraumluft besteht. Eine Diffusion kann auch durch eine intakte Bodenplatte hindurch erfolgen, hierzu ist kein Druckunterschied erforderlich. Für die Verdünnung der Schadstoffkonzentrationen beim Übergang von der Bodenluft in die Raumluft wird ein dimensionsloser Verdünnungsfaktor (Transferfaktor, TF) definiert:

$$TF = \frac{C_{IL}}{C_{BL}} \quad (1)$$

C_{BL}: Schadstoffkonzentration in Bodenluft

C_{IL}: Schadstoffkonzentration in Innenraumluft

TF: Transferfaktor

Die Schwankungen und Abhängigkeiten der Schadstoffkonzentrationen in der Bodenluft sind in Kapitel 4.2 dargestellt.

Aber auch in der Innenraumluft können die Schadstoffkonzentrationen starken Schwankungen unterliegen. Wesentlichen Einfluss auf den Transferfaktor können nachfolgende Faktoren haben:

- Luftaustauschrate

Die wichtigste Rolle spielt die Luftaustauschrate (Lüftung). Diese dürfte in Erdgeschossen höher liegen als im Keller und im Sommer höher als im Winter.

Zudem ist das Lüftungsverhalten sehr individuell. Auch Schwachstellen in der Dichtigkeit von Gebäuden können die Luftaustauschrate beeinflussen. Unterschiede zwischen Kellerräumen und anderen Räumen werden bei der Gefährdungsabschätzung jedoch nicht getroffen (SKOWRONEK 2020).
- Meteorologische Einflussfaktoren

Einen Einfluss auf die Schwankungen von Schadstoffkonzentrationen können beispielsweise die Windverhältnisse haben. Auf der Luvseite, d. h. der luftzugewandten Seite des Gebäudes könnte ein

Überdruck innerhalb des Gebäudes den Übergang aus der Bodenluft in die Innenraumluft vermindern, auf der Leeseite (luftabgewandte Seite) dagegen fördern.

Auch der Temperaturunterschied zwischen Innenräumen und der Bodenluft beeinflusst die Druckverhältnisse und damit den Bodenluftübergang (SKOWRONEK 2020).

■ Kontakt mit kontaminiertem Grundwasser

Ein Spezialfall ist gegeben, wenn das Gebäude direkten Kontakt mit dem kontaminierten Grundwasser hat. Der Keller sollte dann als „weiße Wanne“ ausgebildet sein, die in der Regel offene Fugen und Rissen ausschließt bzw. minimiert.

Das Eindringen von Schadstoffen in das Kellergeschoss wäre damit im Wesentlichen auf den Effekt der Diffusion aus dem Wasser durch den Beton hindurch zurückzuführen. Nach aktuellem Kenntnisstand wird davon ausgegangen, dass damit keine relevanten Schadstoffkonzentrationen in Innenräumen verursacht werden können (GILLBRICHT 2019). Die frühere Vermutung, dass bei Kontakt von belastetem Grund- oder Kapillarwasser mit Gebäudefundamenten über eine Verdunstung belasteten Wasser (feuchten Wänden) erhebliche Schadstoffmengen in den Innenraum gelangen können, wurden durch neuere Berechnungen (GILLBRICHT 2019) widerlegt.

Zusammenfassend ist auch der Transferfaktor niemals zeitlich konstant und Situationen, die den ungünstigsten Fall beschreiben, sind nicht über längere Zeiträume anzunehmen. Es wird davon ausgegangen, dass mit der Festsetzung eines hinreichend konservativen Transferfaktors diese Probleme umgangen werden.

5 Erfassung

5.1 Ablauf

In der Regel enthält die Erfassung die in Abbildung 8 dargestellten Arbeitsschritte. Die Altlastenverdachtsfallerfassung im Freistaat Sachsen beinhaltet die Erhebung mit einer Formalen Erstbewertung (FEB) und die nachfolgende Historische Erkundung (HE).

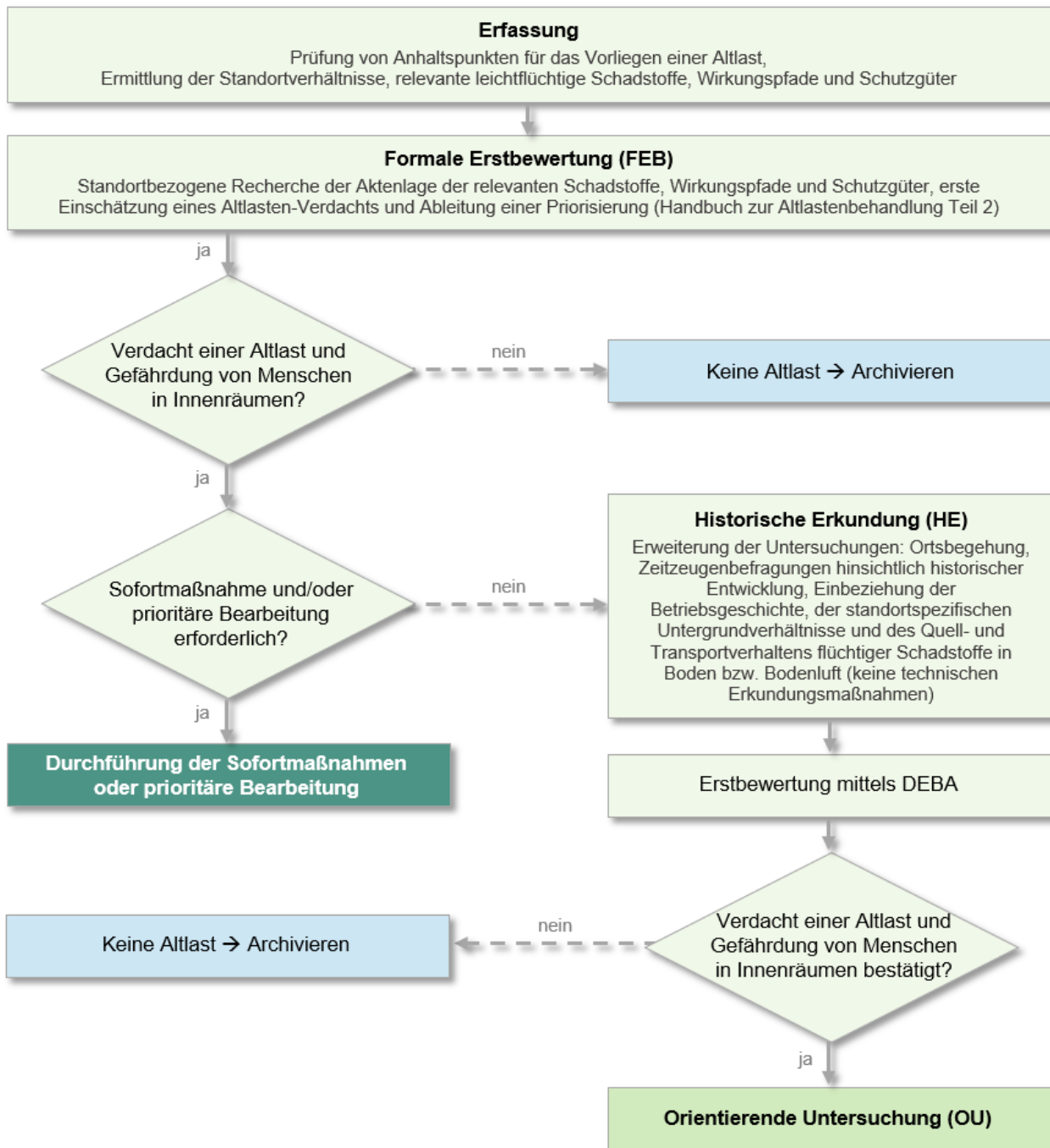


Abbildung 8: Ablaufplan für die Erfassung einer altlastverdächtigen Fläche für den Wirkungspfad Boden → Bodenluft → Innenraumluft

Es wird geprüft, ob Anhaltspunkte für das Vorliegen einer Altlast gemäß BBodSchG bestehen. Die relevanten Wirkungspfade und Schutzgüter sind zu ermitteln und Entscheidungen über Notwendigkeit und Dringlichkeit weiterer Untersuchungen (OU) zu treffen.

Dazu sind wichtige standortbezogene Informationen durch Einsichtnahme und Auswertung von Akten, Karten und Luftbildern sowie einer Standortbegehung zu ermitteln. In der Regel ist davon auszugehen, dass auf der Stufe der Erfassung noch keine Daten zu Schadstoffkonzentrationen in verschiedenen Umweltmedien vorliegen. Zudem werden noch keine technischen Erkundungsmaßnahmen im Rahmen einer Erfassung durchgeführt.

5.2 Erhebung mit formaler Erstbewertung (FEB)

Im ersten Schritt führt die Behörde im Rahmen der Amtsermittlung eine Erhebung der Verdachtsflächen und die Aufnahme im Sächsischen Altlastenkataster (SALKA) durch (SMEKUL 2007). Ziel ist dabei, sämtliche Altlastenverdachtsflächen mit den potentiellen Schadstoffeintragsbereichen zu erfassen und einer schutzgutbezogenen Erstbewertung mit einer Gefahrenverdachtsabschätzung ohne Erhebung von Messdaten zu unterziehen (Anm.: Es kann sich auch eine Gefährdungslage bei der Betrachtung anderer Wirkungspfade ergeben, die einen weiteren Untersuchungsbedarf an dem betreffenden Standort zusätzlich zum Wirkungspfad Luft begründet.) Dabei werden Informationen aus Aktenbeständen, allgemeinen Karten und Archiven (zum Beispiel Gewerbeverzeichnisse der Gemeinden) gesammelt und auch unter Anwendung von Analogieschlüssen vergleichbarer Standorte (Branche) nach Anhaltspunkten für ein Vorliegen von Altlasten ausgewertet. Im Unterschied zur nachfolgenden HE erfolgt bei der formalen Erstbewertung noch keine Auswertung aller, den Behörden vorliegenden Akten sowie den Akten aus der Betriebsgeschichte.

Im Ergebnis soll aus der Kombination gefahrbegünstigender Umstände (Verwendung leichtflüchtiger Schadstoffe, potentielle Ausbreitungspfade und mögliche Schutzgüter) eine Priorisierung des Verdachtsfalls zur Weiterbehandlung abgeleitet werden. Die Erstbewertung kann unter Umständen zu einer Entlassung der Fläche aus dem (Altlast-)Verdacht führen. Gesetzliche Grundlage dafür ist die VwV-SächsAltK (SMEKUL 2007). Die Prioritätsliste der Verdachtsfälle aus der FEB ist wesentliche Handlungsgrundlage im Umweltvollzug für die Festlegung eines weiteren Handlungsbedarfs (Erfordernis zur Durchführung einer HE).

5.3 Historische Erkundung (HE)

Wurde im Rahmen der FEB der Anfangsverdacht einer Gefährdung für den Wirkungspfad Luft formal begründet, so ist es erforderlich, eine HE durchzuführen. Das Ziel der HE ist es, festzustellen, ob der in der FEB formulierte Verdacht einer Gefährdung für den Wirkungspfad Luft bestätigt werden kann.

Im Rahmen der HE werden weitere Unterlagen zur historischen Nutzung der Fläche mit den relevanten Schadstoffen und möglichen Eintragsbereichen recherchiert und ausgewertet. Bei der HE werden für die Bewertung standortspezifische Daten recherchiert.

Mögliche Quellen für Informationen, Akten, Karten und Luftbildern sind in Tabelle 2 zusammengestellt.

Tabelle 2: Überblick über mögliche Bezugsquellen von Informationen, Akten, Karten und Luftbildern

Bezugsquelle	Zuständigkeiten und Quelleninhalt
Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie	Genehmigungs- und Fachbehörde mit Koordinierungs-, Kontroll-, Informations- und Beratungsaufgaben. Thematische Karten, z. B. zu Messnetzen, interaktiven Karten, Geodatendienste. Archiv der geologischen Bohrungen, Karten und sonstigen Untersuchungen des Untergrundes.
Landesvermessungsamt	Kartenmaterial, Pläne, Luftbilder
Sächsisches Oberbergamt	Genehmigung und Aufsicht im Bergbau, Akten von Altlastenverdachtsflächen
untere Abfall- und Bodenschutzbehörden der Landkreise und kreisfreien Städte	Bodenschutz/Altlasten, Akten, Gutachten, Pläne von Altlastenverdachtsflächen
untere Wasserbehörde, Landkreise und kreisfreie Städte	Genehmigungsbehörden für die Wasserwirtschaft; Akten, Gutachten, Pläne
Kataster-, Vermessungsämter, Landkreise und kreisfreie Städte, Gemeinden	Kartenmaterial, z. B. Topographische Karten, Flurstückkarten, historische und aktuelle Eigentumsverhältnisse
Kampfmittelbeseitigungsdienst der Polizei Sachsen	Suche nach Kampfmitteln, Auskünfte zur Kampfmittelsituation, Unterhaltung eines Kampfmittelkatasters, Amtshilfe, Beratung und Sachverständigentätigkeit
Regionale Planungsverbände in Sachsen	Verwaltung und Betrieb wasserwirtschaftlicher Einrichtungen; Kanalisation, Vorfluter, Brunnen
Landesbauämter für Hoch- und Tiefbau	Koordinierung und Aufsicht von Bauarbeiten des Bundes und des Landes; Kartenmaterial, Kanalisation
Ämter für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik	Aufsicht über Arbeitsschutz in Betrieben; Kenntnis von Gefahrenpotentialen in Betrieben
Gesundheits-, Hygieneämter, Landkreise und kreisfreie Städte	Beurteilung möglicherweise gesundheitsschädigender Sachverhalte
Ämter für Immissionsschutz	Genehmigungen von Anlagen nach BImSchG, Kenntnis von Gefahrenpotentialen in Industrie und Gewerbe
Grundbuchämter, Landkreise und kreisfreie Städte	historische und aktuelle Eigentumsverhältnisse
Gewerbeämter, Ordnungsämter, Landkreise und kreisfreie Städte	Gewerbeakten, Verfahrens- und Anlagenbeschreibung, Gewerbeakten

Neben vertieften Datenbankrecherchen werden oft, sofern noch verfügbar, Zeitzeugen befragt und eine Ortsbegehung zur Aufnahme der örtlichen Verhältnisse durchgeführt. Dabei ist auch zu ermitteln, ob es während des Betriebs zu Havarien, Unfällen mit Schadstoffen oder ähnlichem gekommen ist. Die Daten sind so zu erfassen und auszuwerten, dass in Bezug auf den Wirkungspfad Luft erste verbal-argumentative Bewertungen für folgende Kriterien möglich sind:

■ Ausgangsrisiko:

Gefährdungspotential der jeweiligen Branche(n), Stoffgefährlichkeit, Möglichkeit der Ausbreitung gasförmiger Stoffe. Aus der früheren und derzeitigen Nutzung können Hinweise auf zu erwartende Schadstoffe und gegebenenfalls Kontaminationsschwerpunkte abgeleitet werden.

■ Schadstoffaustrag:

Art der Bebauung, Größe der Kontaminationsfläche, Größe der Austragsfläche, Kontaminationstiefe, Dampfdruck, Oberflächenversiegelung

Unter einer Bodenplatte eines Gebäudes oder in der Schottertragschicht einer Oberflächenversiegelung können sich Schadstoffe in der Bodenluft anreichern.

■ Schadstofftransport im Boden bzw. Abdeckmaterial:

Länge des Transportweges, Möglichkeit des Transports über bevorzugte Ausbreitungswege, hydraulische Durchlässigkeit des Bodens.

■ Schadstoffeintrag in die atmosphärische Luft: (Innenraum → Außenluft)

Hindernis beim Eintrag in die Luft, Verdünnungseffekte, Abbaueffekte.

Erkennbare Schäden an Gebäuden wie Setzungsschäden (Risse in Wänden, Fußböden oder Fundamenten) können Hinweise auf mögliche Wegsamkeiten für Schadstoffe im Untergrund liefern.

■ Nutzung

Ermittlung derzeitiger und planungsrechtlich zulässiger Nutzungen. Hier geht es insbesondere um bestehende oder geplante Gebäude und ggf. bereits bestehende Beeinträchtigungen (Geruch,...).

Ggf. sind auch sensible Bereiche in der Außenluft, außerhalb eines Gebäudes (Kinderspielflächen in Senken) durch Ausgasungen betroffen und sollten dann als Schutzobjekt geprüft werden.

Diese Daten werden in DEBA (Kapitel 5.4) erfasst. Gleichzeitig wird mit der Datenerfassung eine Priorisierung hinsichtlich des Bedarfs und der Eile der Weiterbearbeitung vorgenommen.

Ferner sollten im Rahmen der HE folgende standortspezifische Kriterien geprüft werden:

- **Bewuchs**

Der Bewuchs (unterschiedliche Bewuchsdichte, geschädigte Pflanzen) kann Hinweise auf Schadstoffgehalte im Boden liefern.

- **Geländeform**

Die Geländeform kann Hinweise auf im Untergrund vorhandene Altablagerungen geben.

- **Informationen über abgelagerte Abfälle**

Bei Altablagerungen erfolgt zusätzlich eine Typisierung. Mit den aus der HE gewonnenen Daten soll eine Zuordnung zu den Phasen der Deponiealterung vorgenommen werden. Dazu sind folgende Merkmale zu erheben: Alter, Größe, Höhe, Zusammensetzung und Einbau (LUBW 2001a).

Zum Teil werden auf der Stufe der HE keine (quantitativen) Angaben zu den einzelnen Punkten möglich sein.

5.4 Dokumentation der Ergebnisse

Alle Ergebnisse der HE sind in einem Bericht zu dokumentieren. Wesentliche Schwerpunkte sind dabei:

- Allgemeine Standortangaben,
- Umfang der Recherche,
- Geologie und Hydrogeologie,
- Historische und aktuelle Nutzung,
- Schadstoffspektrum,
- Schadstoffeintragsbereiche,
- Relevante Schutzgüter und Wirkungspfade,
- Handlungsempfehlungen.

Die Dokumentation der Ergebnisse der HE kann in Anlehnung an die „Mustergliederung Erfassung“ des Projekthandbuches zur Altlastenfreistellung im Freistaat Sachsen (LfULG 2025b) erfolgen. Weiterführende fachliche Hinweise enthält auch das Handbuch zur Altlastenbehandlung des Freistaates Sachsen, Teil 2.

Im Rahmen der Dokumentation erfolgt auch eine Erfassung der Daten des Altlastenverdachtsfalles im Sächsischen Altlastenkataster (SALKA). Darüber hinaus ist es erforderlich, die erhaltenen Ergebnisse sowie den gutachterlichen Bewertungsprozess mit der Software DEBA (Digitales Erfassungs- und Bewertungsblatt für altlastverdächtige Flächen zu dokumentieren. Die Bewertungsergebnisse können als PDF-Datei gespeichert und in das SALKA als Dokumentation zur Bearbeitungsstufe importiert werden.

Mit den Auswertungen im Rahmen der HE und der Erfassung und Bewertung in DEBA liegen die fachlichen Grundlagen vor, auf deren Basis die zuständige Behörde über das Vorliegen von Anhaltspunkten für eine Gefährdung entscheiden kann. Bei Verdachtsbestätigung besteht unter Berücksichtigung der im Rahmen der Erfassung in DEBA erarbeiteten Priorisierung Handlungsbedarf für eine OU (Kapitel 6).

6 Orientierende Untersuchung (OU)

6.1 Ablaufschema

Liegen aus der Erfassung Anhaltspunkte für mögliche Schutzgutgefährdungen durch leichtflüchtige Schadstoffe oder Deponiegas vor, ist eine orientierende Untersuchung (OU) durchzuführen (Abbildung 9).

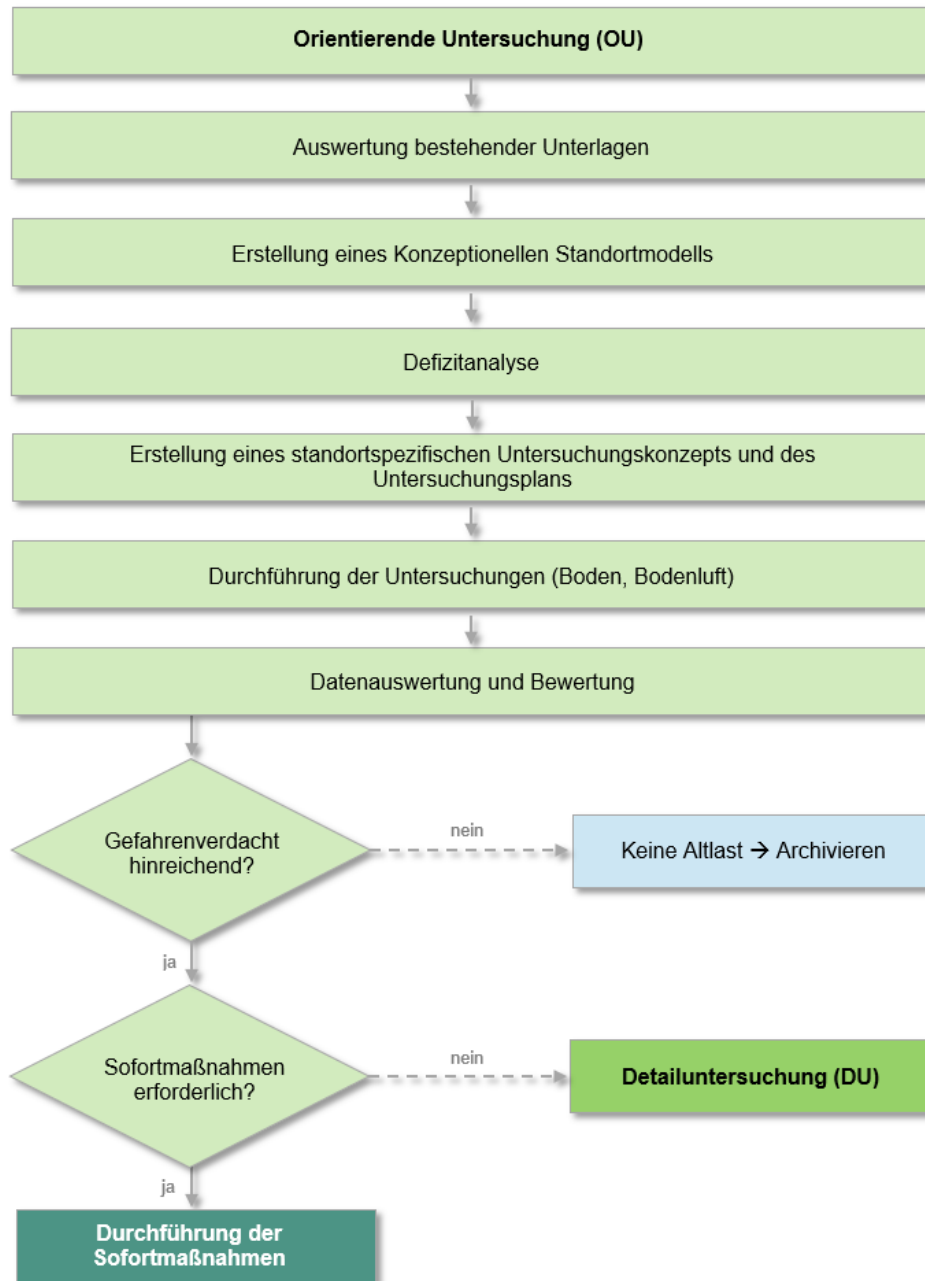


Abbildung 9: Ablaufplan für die OU einer altlastverdächtigen Fläche für den Wirkungspfad Boden → Bodenluft → Innenraumluft

Im Rahmen der OU erfolgt auf der Grundlage der Ergebnisse der Erstbewertung und HE in einem ersten Arbeitsschritt die Erstellung eines vorläufigen Konzeptionellen Standortmodells (u. a. Schadstoffspektrum, Bebauung, Geologie, Hydrogeologie, Schutzgüter). Dieses ermöglicht die Ableitung einer standortspezifischen Kontaminationshypothese zu möglichen Schadstoffmigrationspfaden und den daraus

resultierenden Gefährdungen. Basierend auf der Kontaminationshypothese erfolgt eine Defizitanalyse (Ausweisung von Kenntnisdefiziten bezüglich der Gefahrenabschätzung). Das Konzeptionelle Standortmodell und die Defizitanalyse sind Grundlage für die Erstellung eines standortspezifischen Untersuchungskonzepts und des Untersuchungsplans. Darin werden schutzgut- und wirkungspfadbezogene Untersuchungsmethoden abgeleitet und zu beprobende Medien, Beprobungspunkte, Probengewinnung und Laboruntersuchungen festgelegt.

Nach der Durchführung der Untersuchungen wird mit den erhaltenen Gehalts- und Konzentrationsdaten (Boden, Bodenluft) eine Transferabschätzung bezüglich der Innenraumlufth durchgeführt. Ist damit eine Belastung der Innenraumlufth wahrscheinlich (d. h. der Gefahrenverdacht ist hinreichend bestätigt) erfolgt eine DU. Ergibt die Transferabschätzung hohe Innenraumlufthbelastungen, können abweichend davon Sofortmaßnahmen erforderlich werden (SKOWRONEK 2020).

Ergibt sich aus der Transferabschätzung keine Bestätigung des Anfangsverdachts, wird der Standort bezüglich des Wirkungspfades Boden → Bodenluft → Innenraumlufth aus der weiteren Bearbeitung entlassen.

6.2 Zielstellung

Ziel der OU ist es, auf der Grundlage der Ergebnisse der Erfassung mit Hilfe örtlicher Untersuchungen, insbesondere Messungen, festzustellen, ob ein hinreichender Verdacht für das Vorliegen einer Altlast oder einer schädlichen Bodenveränderung besteht (§ 12 Abs. 1 BBodSchV). In § 10 Abs. 1 BBodSchV sind Anhaltspunkte für das Vorliegen eines Anfangsverdachts einer schädlichen Bodenveränderung aufgeführt:

Anhaltspunkte im Sinne des § 9 Absatz 1 Satz 1 des Bundes-Bodenschutzgesetzes für das Vorliegen einer Altlast bestehen bei einem Altstandort insbesondere, wenn auf Grundstücken über einen längeren Zeitraum oder in erheblicher Menge mit [leichtflüchtigen] Schadstoffen umgegangen wurde und die jeweilige Betriebs-, Bewirtschaftungs- oder Verfahrensweise oder Störungen des bestimmungsgemäßen Betriebs nicht unerhebliche Einträge solcher Stoffe in den Boden vermuten lassen. Die jeweilige Betriebsweise lässt einen solchen Eintrag insbesondere vermuten, wenn die angewendeten Sicherheitsmaßnahmen erheblich vom heutigen Stand der Technik abweichen. Bei Altablagerungen sind diese Anhaltspunkte insbesondere dann gegeben, wenn die Art des Betriebs oder der Zeitpunkt der Stilllegung den Verdacht nahelegen, dass Abfälle nicht sachgerecht behandelt, gelagert oder abgelagert wurden.

Spezielle Regelungen für den Wirkungspfad Luft enthält die BBodSchV nicht. Voraussetzung für die Durchführung einer OU ist, dass auf der Stufe Erfassung Anhaltspunkte für das Vorliegen einer Altlast oder einer schädlichen Bodenveränderung (hier: Wirkungspfad Luft) bestehen (§ 10 Abs. 3 BBodSchV).

Liegen der zuständigen Behörde solche Anhaltspunkte vor, so soll sie gemäß § 9 Abs. 1 BBodSchG zur Ermittlung des Sachverhalts die geeigneten Maßnahmen ergreifen. Nicht erforderlich ist, dass eine Besorgnis oder eine Gefahr vorliegt; es genügt das Bekanntwerden von Indizien für das Vorliegen einer Altlast oder schädlichen Bodenveränderung, ohne dass eine Prognose abgegeben werden muss.

Grundsätzlich gilt, dass bei der stufenweisen Altlastenbearbeitung alle Schritte bis zur OU unter die Zuständigkeit der Behörde fallen (behördliche Amtsermittlungspflicht).

Im Ergebnis der mit angemessenem Aufwand durchgeführten Untersuchungen ist eine rechtssichere Entscheidung zu treffen, ob weiterführende Maßnahmen, in der Regel auf der Stufe der DU, erforderlich sind (Bestätigung des Anfangsverdacht) oder ob der Standort unter der aktuellen Nutzung keine weitere Altlastenbearbeitung erfordert (Ausschluss des Anfangsverdachts bzw. Belassen – hier ggf. Änderung bei Nutzungsänderung).

6.3 Untersuchungsvorbereitung, Untersuchungsplan

Im Rahmen der Untersuchungsvorbereitung sind die allgemeinen Anforderungen an die Probennahme nach § 19 BBodSchV zu beachten. Dabei ist die Probenahme nach § 19 (1) durch Sachverständige im Sinne des § 18 BBodSchG oder von Personen mit vergleichbarer Sachkunde zu entwickeln und zu begründen, siehe auch Kapitel 6.4.

Im Untersuchungskonzept wird die generelle Vorgehensweise festgelegt. Danach soll die Planung der Untersuchungen auf der Grundlage aller aus bisherigen Untersuchungen vorliegenden Informationen basieren und ist sorgfältig auf die gegebene Fragestellung im Zusammenhang mit der Überprüfung des Anfangsverdachts auszurichten (Abbildung 9). Generell ist vor der Ausführung der Untersuchungen ein standortspezifischer Untersuchungsplan zu erstellen. Darin sind sämtliche mögliche Bodenluftmigrationswege zu berücksichtigen.

In einem ersten Schritt erfolgt nach der Auswertung bestehender Unterlagen die Aktualisierung des bereits auf der Stufe der OU erstellten Konzeptionellen Standortmodells mit den im Rahmen der OU erhobenen Daten (Abbildung 9). Ein Konzeptionelles Standortmodell (im Englischen: *Conceptual Site Model*, CSM) ist eine Synthese aller relevanten Informationen (Schadstoffeintragscharakteristik, Konzentrationsminderungsprozesse, Geologie, Hydrogeologie, Transportpfade und Schutzgüter) zu einer altlastverdächtigen Fläche unter Berücksichtigung von Unsicherheiten. Die Beschreibung im CSM beruht auf dem Konzept „Quelle → Transportpfad → Schutzgut“. Damit entsteht ein informationsbasiertes Gesamtbild (Arbeitshypothese), dass ein umfassendes Verständnis von optionalen altlastenspezifischen Gefährdungen von Schutzgütern auf dem zu beurteilenden Standort ermöglicht. Das CSM ermöglicht im Rahmen einer Defizitanalyse dann die Identifizierung von Datenlücken und führt zu einer effizienten Planung von notwendigen Untersuchungen. Für Teilbereiche, in denen Informationen fehlen,

wird auf interdisziplinäres Expertenwissen (Analogiebetrachtungen, Literaturwerte) zurückgegriffen. Die hieraus resultierenden Annahmen sind nachvollziehbar zu begründen. Das CSM wird stetig, wenn neue Standortdaten verfügbar werden, fortgeschrieben und dadurch in seiner Aussagekraft detaillierter und zuverlässiger. Die jeweiligen Informationsniveaus müssen mit dem CSM angegeben werden. Durch seine kontinuierliche Anpassung und Konkretisierung verbessert sich das Systemverständnis zum Standort. Das CSM ist somit der Standardprozess zur Integration von Standortdaten. Näheres findet sich in der DIN EN ISO 21356.

Der anschließend erstellte Untersuchungsplan im Rahmen der OU enthält neben den allgemeinen Standortangaben (jeweils mit Begründungen) Angaben zu folgenden Punkten:

- relevante Umweltmedien,
- erforderliche Aufschlüsse (Bohrungen, Sondierungen, Bodenluftpegel),
- Probennahmepunkten,
- chemischen Analysen
- Qualitätssicherung (Kapitel 6.4.4).

Im Rahmen der OU liegt der Schwerpunkt in den aus der HE ausgewiesenen Schadstoffeintragsbereichen.

Es ist zu beachten, dass mitunter trotz sorgfältiger HE auf Grund außergewöhnlicher Vorkommnisse (Störfälle, Brände, Kriegseinwirkungen) oder der nur schwer nachvollziehbaren Handhabung von Produktionsrückständen oder Abfällen auch außerhalb der vermuteten Kontaminationsschwerpunkte Verunreinigungen des Untergrundes vorliegen können, die sich der rein urteilsbegründeten Vorgehensweise der Erfassung entziehen (TLUBN 2009). Leitlinien für die Erstellung des Untersuchungsplans sind folgende für den Einzelfall angepasste Fragestellungen (LFU 2023):

- Was soll untersucht werden (Stoff, Stoffgruppe)?
- Wann soll untersucht werden (Zeitpunkt)?
- Wo soll untersucht werden (Messorte)?
- Wie soll untersucht werden (Ziel der Probennahme, Messverfahren)?

Im Detail ist bei der Erstellung des Untersuchungsplanes Folgendes zu beachten (LABO 2002; SKOWRONEK 2020):

- Anhand der in der HE gewonnenen Informationen ist zu überprüfen, ob eine Unterteilung des Standortes in mehrere Teilflächen (hier: Gebäude oder Ansammlung von Gebäuden, Freiflächen) erforderlich ist.
- Es werden Boden- und Bodenluftproben in unmittelbarer Nähe oder innerhalb der Bebauung entnommen. So kann es vorkommen, dass eine mit Schadstoffen stark angereicherte Bodenluft unter-

halb eines Gebäudes aufgrund von Gebäudefundamenten nicht mit einer flachen Bodenluftmessstelle am Rand des Gebäudes erfasst wird. Liegt ausschließlich gering durchlässiger Boden vor, beschränken sich die Maßnahmen auf Bodenuntersuchungen. Bei der OU kommen i. d. R. temporäre Bodenluftmessstellen zum Einsatz.

- In Festgesteinen haben Klüfte die Funktion von bevorzugten Wegsamkeiten. Dies erschwert die Erkundung.
- Auch wenn Schadstoffgehalte in der Bodenluft starken Schwankungen unterliegen (Kapitel 4.2), erfolgt im Rahmen der OU in der Regel eine einmalige Beprobung der Bodenluft. Sind jedoch die Schadstoffkonzentrationen in der Bodenluft in Anbetracht der parallel ermittelten Konzentrationen am Boden (und optional im Grundwasser) nicht plausibel, müssen die Bodenluftbeprobungen wiederholt werden.
- Das zukünftige Risikopotential der Altlastenverdachtsfläche (Prognose) wird auf der Stufe der OU noch nicht bewertet.
- Im Rahmen der OU werden noch keine Beprobungen der Innenraumluft durchgeführt, es sei denn, es deutet sich an, dass Sofortmaßnahmen ergriffen werden müssen.
- Analysiert werden die (branchentypischen) leichtflüchtigen Schadstoffe, die im Rahmen der HE identifiziert wurden. Anzustreben ist eine Analytik auf die Leitparameter, bei denen die Wahrscheinlichkeit des Nachweises relevanter Schadstoffkonzentrationen hoch ist.
- Liegen keine konkreten Informationen, jedoch nutzungs- oder standortbezogen ein Verdacht auf leichtflüchtige Schadstoffe vor, sind grundsätzlich LHKW und BTEX zu untersuchen. Diese Beschränkung ist insofern fachlich gerechtfertigt, als damit wichtige Vertreter der kanzerogenen Stoffpalette erfasst werden und es sich um Stoffe handelt, die in relevanten Konzentrationen vorkommen können.
- Bei Verdacht auf hohe Schadstoffgehalte im Untergrund und/oder organische oder hausmüllähnliche Ablagerungen sind die typischen Deponiegashauptkomponenten CH₄, CO₂, O₂ und gegebenenfalls auch H₂S im Deponiekörper bzw. Boden zu ermitteln.
- Ergeben sich bei den Untersuchungen Methangehalte von mehr als 1 Vol.-% in der Bodenluft nahe an den Gebäuden oder die Werte indizieren eine sehr hohe Überschreitung der maximal zulässigen Schadstoffkonzentrationen in der Innenraumluft, sollte sich unverzüglich eine Überprüfung der Innenraumluft und gegebenenfalls eine dauerhafte Überwachung anschließen. Es muss zu jeder Zeit sichergestellt werden, dass Methangehalte in Innenräumen die untere Explosionsgrenze von

4,4 Vol.-% nicht überschreiten. Die Anwesenheit von weiteren Spurenstoffen sollte bei hohen Methangehalten ebenfalls geprüft werden (→ Sofortmaßnahme).

- Zur Abschätzung der Expositionsbedingungen hinsichtlich einer inhalativen Aufnahme flüchtiger Schadstoffe sind die betroffenen Räume bereits auf der Stufe der OU zu beschreiben und bezüglich ihrer Nutzung und baulichen Zustands zu charakterisieren. Dies erfolgt üblicherweise im Rahmen einer Ortsbesichtigung, die mit Hilfe von Fotos und Begehungsprotokollen dokumentiert wird.
- Des Weiteren enthält der Untersuchungsplan Vorgaben zur Zeitplanung und für Qualitätssicherungsmaßnahmen sowie (im Einzelfall) für die Entnahme von Referenzproben zur Beurteilung der Umgebungsbelastung, (Kapitel 6.4.4).

Bei der Interpretation von Boden- und Bodenluftuntersuchungen ist zu berücksichtigen, dass diese immer unterschiedlichen Bereiche des Untergrundes repräsentieren, also an einer Sondierung parallel bestimmte Feststoffgehalte bzw. Bodenluftkonzentrationen eines Schadstoffes meist Unterschiede aufweisen.

Sämtliche im Rahmen der OU generierten standortkonkreten Daten werden in das Konzeptionelle Standortmodell übernommen (Fortschreibung).

6.4 Untersuchung von Boden und Bodenluft

Allgemeine Anforderungen an die Probenahme (und damit Untersuchung) sind in § 19 BBodSchV geregelt. Dabei ist die Probenahme nach § 19 (1) durch Sachverständige im Sinne des § 18 BBodSchG oder von Personen mit vergleichbarer Sachkunde zu entwickeln und zu begründen, zu begleiten und zu dokumentieren. Die Übergangsregelung ist zu beachten.

Besondere Anforderungen an die Probenahme sind in § 20 BBodSchV geregelt.

Zusätzliche wirkungspfadbezogene Anforderungen sind in § 22 BBodSchV enthalten. Insbesondere für den Pfad Boden-Luft wird in § 22 (2) auf die Beprobungstiefe hingewiesen.

6.4.1 Planung der Beprobungspunkte

Die Vorgehensweise bei der Messplanung für die Untersuchung der Bodenluft auf leichtflüchtige organische Verbindungen hat gemäß Anlage 3, Tabelle 8 der BBodSchV nach der VDI-Richtlinie 3865 Blatt 1 zu erfolgen (bzw. bei der Planung von Deponiegasuntersuchungen nach der VDI-Richtlinie 3860 Blatt 4).

Beprobung des Bodens

Die Entnahme von Bodenproben ist gemäß Abbildung 7 nur im Fall A (das Gebäude befindet sich direkt oberhalb des Schadensherdes; Kapitel 4.2) sinnvoll. Befindet sich das Gebäude neben Schadensherd

(Fall B) oder im Bereich einer Schadstofffahne im Grundwasser (Fall C) können mit Bodenproben keine Aussagen gewonnen werden.

Oberflächennahe Bodenproben aus der gemäß BBodSchV (Anlage 3, Tabelle 3) üblichen Beprobungstiefe bzw. aus dem oberen Bodenmeter sind für den Wirkungspfad Luft ungeeignet, da flüchtige Verbindungen in dieser Bodentiefe durch Ausgasungen zum überwiegenden Teil abgereichert sind (LABO 2023). Daraus folgt, dass die Probennahmetiefe für den Wirkungspfad Luft notwendigerweise von den in der BBodSchV aufgeführten Tiefen abweicht.

Bei flüchtigen Stoffen muss das entnommene Probenmaterial möglichst repräsentativ für den zu bewertenden Bodenbereich sein. Im Zusammenhang mit dem Expositionspfad *Anreicherung in Innenräumen* ergibt sich als Ort der Boden-Probennahme der Nahbereich zum betrachteten Gebäude, aus dem der Übertritt von Bodenluft in Innenraumluft wahrscheinlich ist. Bei unterkellerten Gebäuden entspricht die Probennahmetiefe etwa dem Niveau der Kellersohle (i. d. R. ca. 2,5 m u. GOK), bei nicht unterkellerten Gebäuden ist die Probe mindestens 1,5 m u. GOK zu entnehmen. Dies ist ausreichend tief, so dass eine Entfrachtung durch Ausgasung minimiert ist (LABO 2008). Liegt in Ausnahmefällen der Schadensherd tiefer unterhalb der Bebauung, sind die Bodenproben aus größerer Tiefe (der Oberkante des Schadensherdes) zu entnehmen. Der Aufschluss erfolgt nach der DIN ISO 18400-102 und DIN EN ISO 22475-1.

Zur Abschätzung des Gesamtpotentials auch in Hinblick auf die planungsrechtlich zulässige Nutzung ist der Boden im Kontaminationsschwerpunkt gegebenenfalls gesondert zu beproben (LABO 2023).

Beprobung der Bodenluft

Die Entnahme von Bodenluftproben wird gemäß Abbildung 7 (Kapitel 4.2) je nach Fall durchgeführt. Die Beprobung der Bodenluft erfolgt über (temporäre) Messstellen. Bei der Festlegung der Lage der Messstellen und deren Filterstrecken sind (soweit bei der OU schon bekannt) standortspezifische Gegebenheiten zu berücksichtigen (LFU 2011) wie beispielsweise:

- geologischer Bodenaufbau (Lage bindiger, gering durchlässiger Schichten),
- Vorhandene bzw. planungsrechtlich zulässige Nutzung,
- Flächengröße,
- Versiegelung der Oberfläche und
- Lage des Grundwasserspiegels (relevant sind insbesondere oberflächennahe Grundwasserspiegel).

Zur Planung der Lage und Anzahl der Messstellen müssen die drei Fälle nach Kapitel 4.2 berücksichtigt werden:

- *Beindet sich das (Wohn-)Gebäude direkt oberhalb des Schadensherdes (Fall A)*
und die Messstelle nahe am Gebäude, so sind mindestens 2 Messstellen je relevanter Gebäudeseite erforderlich. Bevorzugt (soweit dies ohne große Schäden der Versiegelung möglich ist) sollten die

Messstellen in Auffahrten, Terrassen oder anderen versiegelten Freiflächen positioniert werden, um Anreicherungseffekte zu nutzen. Sind zur Atmosphäre offene Drainagen oder Ausgleichsschichten unter Bodenplatten vorhanden, sollten die Messstellen möglichst außerhalb dieser Bereiche positioniert werden, da aufgrund derer hohen Durchlässigkeit Verdünnungseffekte auftreten können. Zudem ist eine Zuordnung der Analysenergebnisse zu einem definierten Untergrundbereich nicht möglich (UBA 2017; BARKOWSKI ET AL. 2002). Die Oberkante der Filterstrecke sollte mindestens 1 m u. GOK liegen, um einen Einfluss atmosphärischer Luft weitgehend auszuschließen und etwa 1 m Länge betragen. Sind Keller vorhanden, sollte die Oberkante der Filterstrecke auf dem Niveau der Kellersohle liegen. Damit liegt die Filterstrecke am nächsten zu dem Übergangspunkt zur Innenraumluft (Ort der Beurteilung). Ferner ist sicherzustellen, dass der die Messstelle umgebende Untergrund ausreichend gasdurchlässig ist. Bodenluftkonzentrationen aus bindigen Schichten (Böden mit einem hohen Anteil an Ton, Schluff und anderen feinen Bestandteilen) können nicht interpretiert werden (BARKOWSKI ET AL. 2002).

- Für den Fall B (*das Gebäude befindet sich in der Nachbarschaft zum Schadensherd*) sind mindestens 3 Messstellen erforderlich: am vermuteten Rand des Schadensherdes in Richtung Bebauung, nahe dem Gebäude (dem Schadensherd zugewandt) und eine zwischen den beiden Punkten.
- Für den Fall C (*das Gebäude befindet sich über einer Schadstofffahne außerhalb des Schadensherdes*) gelten die gleichen Anforderungen wie für Fall A.
- Für alle 3 Fälle ist zu prüfen, ob besondere Wegsamkeiten (wie Leitungen, Schächte, Risse) vorhanden sind. Dort kann es erforderlich sein, zusätzliche Messstellen zu errichten. Die Tiefe der Filterstrecke orientiert sich am Ort der Beurteilung (d. h. Niveau der Kellersohle bzw. der Bodenplatte). Ist kein Keller vorhanden, wird eine oberflächennahe Filterstrecke gewählt (mindestens 1 m u. GOK, s. o.).

Eine industrielle Nutzung geht in der Regel mit größeren überbauten Flächen einher. Im ungünstigsten Fall (sehr große zusammenhängende Bebauung) wird es unerlässlich sein, innerhalb der Gebäude die Bodenplatte zu durchbohren und Bodenluftmessstellen zu errichten.

6.4.2 Auswahl von Probennahme- und Untersuchungsverfahren

Beprobung des Bodens

Die Entnahme von Bodenproben erfolgt in der Regel aus Sondierungen oder Bohrungen. Es wird darauf hingewiesen, dass für eine Bestimmung von BTEX und/oder LHKW in Feststoffen das Extraktionsmittel

(Methanol) bereits vor der Probennahme in den Probengefäßen vorzulegen ist, sodass eine Übersichtung der einzelnen Bodenproben im Feld erfolgen kann. Eine Mischprobenbildung führt regelmäßig zu Verlusten an leichtflüchtigen Substanzen.

Beprobung der Bodenluft

Anforderungen an die Probenahme von Bodenluft (und Deponiegas) enthält BBodSchV § 19 (9) mit Hinweis auf die Anlage 3, Tabelle 8.

Für Bodenluftuntersuchungen werden im Rahmen der OU in der Regel temporäre Messstellen verwendet. Aufschlussverfahren zur Herstellung der temporären Messstellen sind in der Regel Rammkernsondierungen oder (Klein-)Bohrungen. Beispiele sind in Abbildung 10 zu sehen.

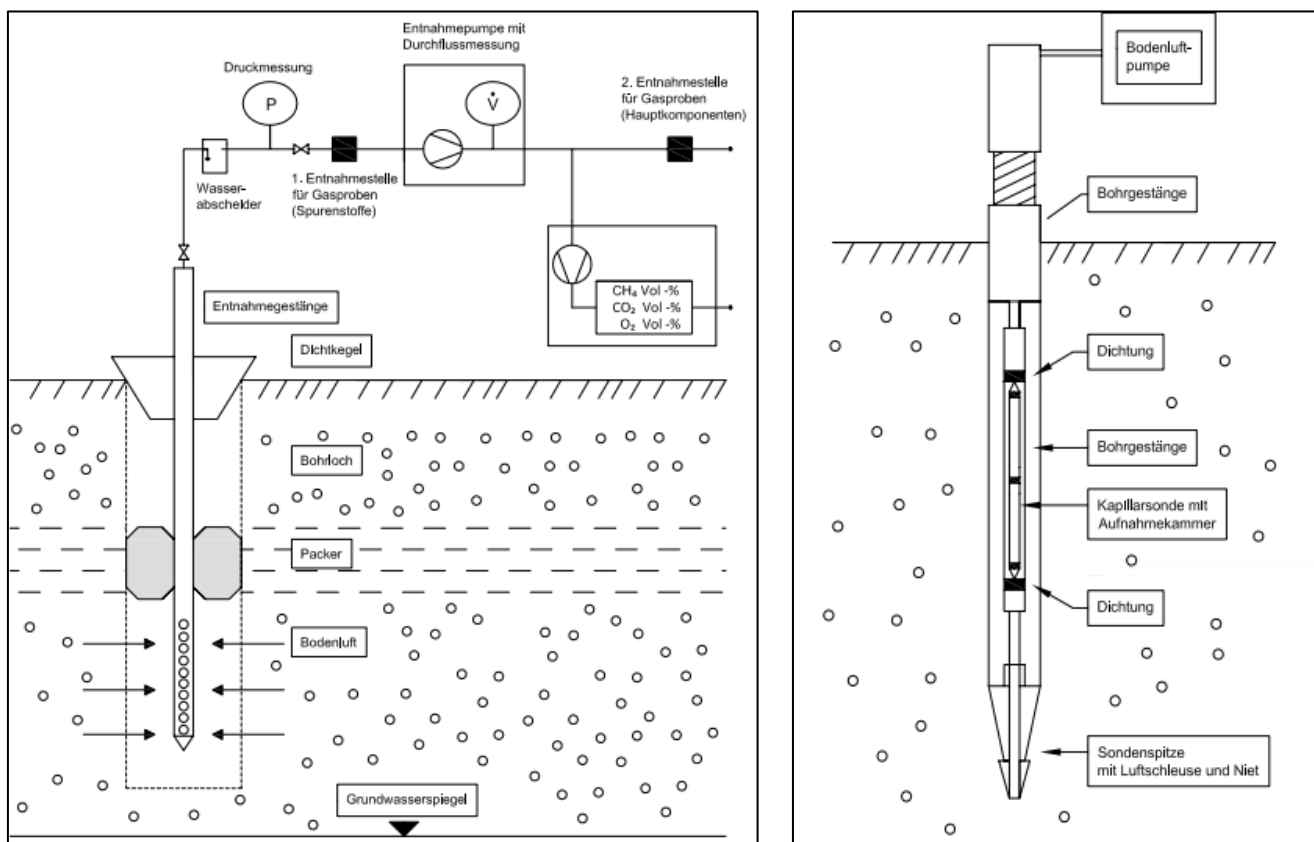


Abbildung 10: Beispiele für Bodenluftentnahmesysteme: links: mit separatem Bohr- und Messvorgang (Bohrlochverfahren), rechts: mit kombiniertem Bohr- und Messvorgang (Verdrängersonde), (BUKEA 2023)

Temporäre Bodenluftmessstellen können auch direkt mit Rammsonden (Verdrängersonden) in den Untergrund eingebracht werden. Dabei wird die Bodenluft über ein Kapillarrohr, welches in das Gestänge eingebaut wird, entnommen. Es ist auch möglich, am unteren Ende des Kapillarrohres ein Adsorptionsröhrchen zu installieren. Da vor dem Einbau der Kapillarsonde Atmosphärenluft im Hohlrohr der Sonde vorhanden ist, muss diese Fremdluft vor der Probennahme durch Bodenluft aus dem Entnahmehorizont ausreichend ausgetauscht werden (LUBW 2001B).

Alternativ kann ein Bohrloch hergestellt werden, aus dem die Bodenluft nach Einbau eines mit einem Packer ausgerüsteten Entnahmegestänges, entnommen wird. Das Gestänge wird in die gewünschte Tiefe eingebaut und durch Aufblasen des Packers eine Abdichtung des Bohrloches gegen Atmosphärenluft hergestellt (BUKEA 2023). Nach der Probennahme wird der Sondierpunkt wieder verschlossen. Eine Wiederholung der Probennahme ist daher aufwändig.

Folgende Bedingungen sind generell bei der Auswahl der Lage sowie der Herstellung von Probennahmestellen zu berücksichtigen (BUKEA 2023):

- Der Bodenaufbau der ungesättigten Bodenzone sollte bekannt sein (Erfassung bindiger bzw. besonders luftdurchlässiger Schichten hinsichtlich Lage und Mächtigkeit)
- Für vergleichende Bodenluft-Messungen sollten Bohrlöcher mit gleicher Dimensionierung erstellt werden (gleiches Totvolumen) und die Entnahmetiefe möglichst gleich sein.
- Um keine Wassertröpfchen anzuziehen, sollte die Filterstrecke mindestens 1 m über dem Grundwasserspiegel enden.
- Die Entnahmetiefe sollte mindestens 1 m unter der Geländeoberkante (GOK) liegen, um keine atmosphärische Luft zu beproben. Im Ausnahmefall (mit Asphalt oder Beton versiegelte Oberflächen) können auch geringere Entnahmetiefen festgelegt werden.
- Eine sorgfältige Abdichtung des Bohrlochs gegen das Ansaugen von atmosphärischer Luft ist unerlässlich. Dafür eignen sich beispielsweise Packer, Dichtkegel oder Quellton.
- Es ist darauf zu achten, dass Untergrundstrukturen (z. B. Fundamente) die Verbindung zwischen Schadensherd und Filterstrecke der Bodenluftmessstelle nicht beeinflussen.

Für die Details der Beprobung der Bodenluftproben liegt eine Vielzahl von entsprechenden Arbeitshilfen, wie u. a. die LABO-Arbeitshilfe Qualitätssicherung (LABO 2002) vor. Gemäß Anlage 3, Tabelle 8 der BBodSchV erfolgt die aktive Entnahme von Bodenluftprobe nach VDI 3865, Blatt 2 1998 und VDI 3865, Blatt 3 1998. Auf diese Richtlinien ist im vorliegenden Fall zurückzugreifen.

Mit dem Verweis auf diese Richtlinien ist keine Festlegung auf eine Entnahmemethode verbunden, vielmehr werden in der Richtlinie verschiedene Konventionsverfahren beschrieben, die in unterschiedlicher Art und Qualität die Konzentration von Schadstoffen in der Bodenluft darstellen können (BARKOWSKI ET AL. 2002). Die Planung der Probennahme, die Probennahme selbst sowie die Untersuchung von Deponiegas sind gemäß Anlage 3, Tabelle 8 der BBodSchV in den VDI-Richtlinien 3860 und 3865 geregelt.

Generell ist bei der Probennahme auf folgendes zu achten (BUKEA 2023):

- Die Außentemperatur muss oberhalb von 5 °C liegen und größer sein als die Bodenlufttemperatur, da es ansonsten bei der Entnahme zu Minderbefunden der Schadstoffgehalte durch Kondensierungseffekte kommen kann.
- Es ist darauf zu achten, dass die Funktionstüchtigkeit mobiler Multigasmessgeräte bei der jeweiligen Außentemperatur gegeben ist.
- Während der Probennahme ist die hinreichende Abdichtung des Bohrloches zu überprüfen (kontinuierliche Messung des Unterdrucks und der CH₄-, CO₂- und O₂-Konzentrationen der geförderten Bodenluft).
- Die Probennahme sollte nicht im Regen stattfinden, da es dabei zu höheren Streuungen der Messwerte kommen kann.
- Bei bindigen Böden sind möglicherweise nur kleine Probenvolumina zu gewinnen oder sogar gar keine qualifizierten Probennahmen möglich.
- Nach der Probennahme ist die Bodenluft-Sonde bei erhöhtem Durchfluss mit Frischluft zu reinigen, um mögliche Verschleppungseffekte von Messpunkt zu Messpunkt auszuschließen.
- Hinsichtlich der Geschwindigkeit der Probennahme (schnell, langsam) gibt es keine Präferenzen. In beiden Fällen wird die vorhandene Bodenluft entnommen und eine Beeinflussung der Schadstoffgehalte in der Bodenluft durch Phasenübergänge spielt angesichts des geringen erforderlichen Probenvolumens keine Rolle.

Generell ist festzustellen, dass Bodenluftuntersuchungen, auch bei Nennung spezieller technischer Randbedingungen der Probennahme nur orientierenden Charakter haben (BARKOWSKI ET AL. 2002).

Art der Bodenluft-Probennahme

Aus einer (temporären oder gegebenenfalls stationären) Messstelle wird Bodenluft bis zur Konstanz des Permanentgases CO₂ (unter Umständen auch O₂ und CH₄) unter Einsatz kalibrierbarer mobiler Multigas-messgeräte abgesaugt. Die Probennahme erfolgt dann anschließend durch eine Vakuumpumpe mit Durchflussmessgerät oder eine Hand-Balgenpumpe mit vorgegebener Hubzahl (BUKEA 2023).

Als Probennahmeverfahren ist dasjenige zu wählen, bei welchem am ehesten eine Beeinflussung der entnommenen Bodenluft mit Umgebungsluft ausgeschlossen werden kann und im Vergleich am ehesten als robust zu bezeichnen ist (BARKOWSKI ET AL. 2002). Es wird unterschieden in:

- Anreicherungsverfahren
- Direktverfahren
- Sonderverfahren

Anreicherungsverfahren. Beim anreichernden Verfahren wird ein definiertes Volumen der Bodenluft durch eine von zu untersuchendem Stoff abhängigen Sammelphase (Aktivkohle, Tenax® oder XAD-Harz) gesaugt und die Analyten werden adsorbiert (Adsorptionsröhrchen). Die Selektivität (Art der sorbierten Schadstoffe) und die Beladungskapazität (Menge der Stoffe, die ohne Verluste adsorbiert werden) hängen in erster Linie von der Art und der Menge des Adsorbens, aber auch von den Eigenschaften der Bodenluft (z. B. Temperatur, Feuchte) bzw. deren Zusammensetzung ab. Ein wesentlicher Vorteil der Anreicherungsverfahren ist die Möglichkeit, größere Bodenluftvolumina (i. d. R. 0,5 - 2 Liter) über das Adsorbens zu leiten und so geringere Bestimmungsgrenzen für die Schadstoffe zu erzielen (UBA 2017). Es ist andererseits darauf zu achten, dass keine Überladung des Adsorbens (Sammelschicht) durch die relevanten Schadstoffe stattfindet. Optional können mehrere Proben mit unterschiedlichen Bodenluftvolumina entnommen werden. Es sollten generell nur Adsorberröhrchen mit getrennter Sicherheitszone verwendet werden, über die ein Durchschlagen der Schadstoffe bei hohen Gehalten überprüft werden kann. Mit Schadstoffen beladene Adsorptionsröhrchen werden nach der Beladung mit Schutzkappen aus Kunststoff verschlossen. Die Proben sollten bruch sicher verpackt und transportiert werden, wobei sich eine Lagerung und ein Transport in geschlossenen Braunglasflaschen bewährt hat (BUKEA 2023).

Direktverfahren. Dabei erfolgt ein Abfüllen von Bodenluftproben in Sammelgefäßen (Headspace-Gläschen, Gasbeutel, Gasmaus, Alucans etc.). Die Verwendung von beispielsweise Gasbeuteln ist erfahrungsgemäß aufgrund beschränkter Lagerzeit und möglicher Adsorptions- und Kondensationseffekte nicht empfehlenswert. Vorteile der Direktverfahren gegenüber den Anreicherungsverfahren ist die Vermeidung von Minderbefunden aufgrund unvollständiger Adsorption (z. B. von Vinylchlorid) und unvollständiger Desorption im Labor (UBA 2017). Für die Untersuchung von Permanentgasen (CH_4 , CO_2 , O_2 und N_2) sind ausschließlich Direktverfahren oder Messungen vor Ort möglich (BUKEA 2023).

Sonderverfahren. Sonderverfahren kommen kaum noch zum Einsatz. Hierzu zählt beispielsweise die Entnahme von Bodenluft in der Zieltiefe des niedergebrachten Bohrlochs in abschmelzbare Glasröhrchen (Neumayr-Methode) (LABO 2002; LUGV 2010).

Das optimale Verfahren muss im Einzelfall unter Berücksichtigung der Untersuchungsziele, der relevanten Schadstoffe, der Probenaufbereitungs- und Messmethode sowie der verfahrensspezifischen Vor- und Nachteile ausgewählt werden. Generell sind jedes Probennahmeverfahren sowie die nachgeschaltete Analytik frei kombinierbar. Bei der Probennahme ist das zu entnehmende Volumen auf die Empfindlichkeit der nachfolgenden Analytik abzustimmen, Überladungen der Anreicherungsmedien sind zu vermeiden.

Von entscheidender Bedeutung für die Interpretation der Ergebnisse der Bodenluft- oder Deponiegasuntersuchungen ist eine umfassende Protokollierung der die Untersuchung beeinflussenden Parameter (UBA 2017). Hierzu zählen u. a.:

- Versiegelung der Oberfläche
- Angaben zur Bohrlochabdichtung
- Aufnahme des Schichtenprofils nach der Bodenkundlichen Kartieranleitung KA 6 (HARTMANN ET AL. 2024)
- Angaben zum Entnahmebereich und zum Totvolumen
- Angabe oder Abschätzung des Grundwasserstandes
- Meteorologische Angaben (Niederschlag (auch an Vortagen), Witterung, Jahreszeit, Außentemperatur, Luftdruck (fallend/ steigend: bei Online-Wetterdiensten abfragbar oder Messung zu Beginn und Ende der Probennahme-Kampagne)
- Geologisches Profil der Sondierung (nur bei temporären Messstellen)
- Konzentrationen der Permanentgase (CO₂, O₂, CH₄, gegebenenfalls H₂S)
- Angelegter Unterdruck, relative Feuchte und Temperatur der Bodenluft
- Dokumentation einer durchgeführten Dichtigkeitsprüfung des SONDENSYSTEMS vor jeder Probenahme (beispielsweise via CO₂- oder Radon-Messungen oder auch Druckmessung (BAFU 2016))
- Messstellenevakuierung (Dauer, Absaugrate)
- Angaben zu den verwendeten Anreicherungsmaterialien oder Direktsammelgefäßen
- Probennahme (Dauer, Absaugrate)
- Verwendete Methode der Probennahme
- Angaben zur (gekühlten) Transportkette.

Im Anhang 1 (A 1) ist beispielhaft ein Protokoll zur Entnahme von Bodenluft beigelegt.

Im ungünstigsten Fall ist die Methankonzentration in der Bodenluft (untere Explosionsgrenze: 4,4 Vol. % bei gleichzeitigem Vorliegen von Sauerstoff) bereits so hoch, dass explosionsfähige Gemische vorliegen. Bei der Probennahme müssen dann entsprechende Vorsichtsmaßnahmen getroffen werden.

Um während der Bodenluftprobennahme bereits eine orientierende Information zu den Schadstoffkonzentrationen zu erhalten, können halbquantitative, direktanzeigende Prüfröhrchen, die es für eine Reihe von Schadstoffen (nicht aber Schadstoffgruppen wie beispielsweise Summe LHKW) gibt, als Vor-Ort-Methode eingesetzt werden (BUKEA 2023). Die Prüfröhrchen werden mit definierten Mengen an Bodenluft beschickt und der Messwert ist in der Regel durch eine Farbreaktion direkt ablesbar. Mit einem Photoionisationsdetektor (PID) kann die Summe der jeweils ionisierbaren Schadstoffe gemessen werden. Sowohl Prüfröhrchen als auch PID können jedoch in keinem Fall Laboranalysen ersetzen.

6.4.3 Analytik

In der Regel beruhen die Analyseverfahren auf VDI- und DIN-Vorschriften und dem dort angegebenen Parameterumfang. Die Analyseverfahren zum Boden unterscheiden sich nicht grundlegend von den bei anderen Wirkungspfaden angewandten Verfahren. Die Analytik der Bodenluft und der Innenraumluft erfolgt in der Regel über gaschromatographische Verfahren nach vorheriger Anreicherung auf einem Sorptionsmedium und thermischer Desorption oder Lösemittlextraktion. Hierfür stehen folgende Vorschriften für die OU und die DU zur Verfügung:

- VDI 3865, Blatt 3 1998,
- DIN ISO 16000-6 für flüchtige organische Substanzen (VOC),
- VDI 2100 Blatt 2, 2010 und VDI 2100 Blatt 3, 2011
- VDI 2464-Reihe.

Künftiger analytisch-methodischer Fortschritt in Form gleichwertiger (oder besserer) Analyseverfahren wird gemäß BBodSchV vom Fachbeirat Bodenuntersuchungen (FBU) dokumentiert (Methodensammlung Feststoffuntersuchung) und die Gleichwertigkeit über die Veröffentlichung im Bundesanzeiger festgestellt.

Grundsätzlich sollten Gasproben kurzfristig analysiert werden (Adsorptionsröhrchen innerhalb von drei Tagen (BUKEA 2023)), um Minderbefunde aufgrund von Diffusionsverlusten sowie Abbau- und Kondensationsprozessen zu vermeiden (TLUBN 2009). Die Proben sind gekühlt zu transportieren und bei ca. 4 °C dunkel zu lagern. Alternativ kann das zur Anreicherung verwendete Adsorptionsröhrchen mit dem vorgesehenen Lösungsmittel eluiert werden, das Eluat ist dann bis zu vier Wochen haltbar (BUKEA 2023). Bei Direktproben ist eine Lagerung unter Verwendung geeigneter Septen bei Umgebungstemperatur und Dunkelheit in Abhängigkeit von der Substanz und der Konzentration von bis zu acht Tagen möglich.

Sorptionsröhrchen besitzen in der Regel eine Sammelschicht und eine Kontrollschicht. Wenn die Analyse der Sammelschicht eine Überladung durch die relevanten Schadstoffe anzeigt, wird durch die kommerziellen Labore auch die Kontrollschicht des Adsorbens analysiert und beide Werte addiert. Das Ergebnis ist jedoch mit Unsicherheiten behaftet (unklar, ob die Kontrollschicht nicht auch durchgebrochen ist).

Eine Umrechnung der gemessenen Konzentrationen auf eine Normtemperatur (20 °C) und einen Normdruck (101,3 kPa) erfolgt in Deutschland nicht.

6.4.4 Qualitätssicherung

Mit der Qualitätssicherung soll sichergestellt werden, dass repräsentative, plausible und nachvollziehbare Untersuchungsergebnisse erhalten werden. Es wird darauf hingewiesen, dass die Qualitätssicherung gesetzlich gefordert ist (§ 8 BBodSchG). Bodenluftuntersuchungen sind dabei hinsichtlich der Qualitätssicherung besonders anspruchsvoll.

Die Qualitätssicherung muss daher bei allen Bearbeitungsschritten im Rahmen der Überprüfung des Wirkungspfades Luft berücksichtigt werden. Sie betrifft somit sämtliche Arbeitsschritte von der Datenerfassung (Grundlagenermittlung), Planung, Ausführung der Untersuchungen bis zur Dokumentation und Gutachtenerstellung.

Aus Sicht der Behörde besteht der erste Schritt der Qualitätssicherung in der Auswahl eines fachlich geeigneten Gutachters. Eignungskriterien für die gutachterliche Begleitung umfassen u. a. Vorbildung, allgemeine und besondere fachliche sowie rechtliche Kenntnisse und Erfahrungen und die Eigenschaft, ein Gutachten verständlich, strukturiert und nachvollziehbar zu verfassen. Gutachter müssen die entsprechende Sachkunde und Zuverlässigkeit haben und sollten nach DIN EN ISO 9001 zertifiziert sein. Bei komplexen Fällen sollten Sachverständige für Altlasten nach § 18 BBodSchG oder § 36 Gewerbeordnung zum Einsatz kommen.

Der zweite Schritt der Qualitätssicherung betrifft die Generierung von standortspezifischen Daten. Die mit der Probennahme und chemischen Analytik verbundene Qualitätssicherung sollten bei der Untersuchungsplanung berücksichtigt werden. Dabei muss geprüft werden, ob ein separater Qualitätssicherungsplan benötigt wird; dies dürfte nur in seltenen, sehr komplexen Fällen notwendig sein.

Voraussetzung für das Erzielen einer hohen Qualität im Zusammenhang mit der Generierung von Daten ist das Einhalten der technischen Vorschriften (einschließlich der Vorschriften zur Probenkühlung und Lagerung) und gegebenenfalls von landesspezifischen Vorgaben.

Die Qualitätssicherung umfasst darüber hinaus die Prüfung der erhobenen Daten im Hinblick darauf, ob:

- beim Abweichen von den Vorschriften dies detailliert begründet und beschrieben wurde,
- die Daten (auch die Innenraumluftprobennahme) durch akkreditierte Unternehmen gewonnen wurden,
- die zu Vor-Ort-Messungen eingesetzten Messgeräte regelmäßig gewartet und kalibriert sind,
- die Dokumentation der Datengewinnung (u. a. standardisierte Probennahmeprotokolle, Skizzen, Fotodokumentationen) umfassend ist,

- Angaben in Probennahmeprotokollen (Probennahmeparameter, Messdaten), Schichtenverzeichnissen etc. plausibel sind und ob klar nachvollziehbar ist, wie, wo und wann Proben oder Messdaten gewonnen wurden,
- für die angewendeten Untersuchungsverfahren die Bestimmungsgrenzen nach DIN 32645:2008-11 angegeben sind und ob das Analyseverfahren so ausgewählt wurde, dass anhand der Bestimmungsgrenze Über- und Unterschreitungen der entsprechenden Werte sicher erkannt werden können,
- die erhobenen Daten unter Berücksichtigung früher gewonnener Daten (sofern solche vorliegen) plausibel sind und ob
- eine fehlerfreie Übertragung der Daten von der Ersterfassung (z. B. bei der Probennahme oder im Labor) bis zum Bericht gewährleistet ist.

Ferner gehört zur Qualitätssicherung, dass Doppelbestimmung (bei leichtflüchtigen Schadstoffen sind stattdessen zwei vergleichbare Proben zu entnehmen) und Blindwertbestimmung (Feldequipment) vorgenommen werden (BUKEA 2023).

Der dritte Schritt der Qualitätssicherung ist die Prüfung der Berichterstattung (Gutachten) durch den Gutachter selbst (Vier-Augen-Prinzip) und durch die Behörde im Hinblick darauf, ob beispielsweise:

- die verwendeten Unterlagen (Vorschriften, Gesetzte, etc.) noch aktuell und gültig sind,
- die Darstellung umfassend, korrekt und verständlich ist (BAFU 2015).

Art und Umfang sowie die Wirksamkeit dieser Qualitätssicherungsmaßnahmen sind auf jeden Fall zu dokumentieren und zu bewerten.

6.5 Bewertung

6.5.1 Transferfaktoren

Beim Übertritt gasförmiger Schadstoffe aus der Bodenluft in die Innenraumluft wird im Rahmen der Bewertung mit durchschnittlichen Verdünnungsfaktoren gearbeitet, die konservativ genug sind. Es gibt insbesondere im englischsprachigen Raum Rechenprogramme, die einzelfallspezifisch Transferfaktoren berechnen. Da jedoch die Eingangsparameter in der Regel kaum bekannt sind und abgeschätzt werden müssten, sollten diese, wenn überhaupt ergänzend und mit entsprechender Vorsicht gehandhabt werden.

Gerade wegen den vielen Einflussfaktoren können Transferraten erheblich schwanken (25 – 5.000, (SMS 2024)). Die Festlegung eines pauschalen Transferfaktors Bodenluft:Innenraumluft von 1:1000 wird, basierend auf empirischen Untersuchungen, als hinreichend konservativ angenommen (LFULG 2025A).

Dieser Transferfaktor sollte, sofern keine Messungen in der Innenraumluft vorliegen, angewendet werden, auch wenn bei einer intakten und gegenüber dem Bodenbereich nach heutigen Maßstäben korrekt abgedichteten Gebäudesubstanz Transferfaktoren von $> 1:10.000$ zu erwarten sind.

Bei sehr ungünstigen Bedingungen (keine Betonbodenplatte im Keller oder erkennbaren Rissen in der Bodenplatte) kann im Einzelfall der Transferfaktor niedriger liegen, was dann zu einer Risikounter-schätzung führen würde. In diesem Fall sollte ein Transferfaktor von $1:100$ angewendet werden. Eine Verdünnung von Bodenluft in den Innenraum von weniger als $1:100$ ist in höchstem Maße unwahr-scheinlich (LABO 2008). Die Auswahl des Transferfaktors bedarf somit einer Einzelfallprüfung (VDI 2100 BLATT 2).

6.5.2 Bewertungsgrundlagen für leichtflüchtige Schadstoffe im Boden

Auf der Stufe der OU liegen Schadstoffgehalte von einzelnen Boden- und Bodenluftproben vor. Aus die-sen kann abgeschätzt werden, welche Konzentrationen der leichtflüchtigen Schadstoffkonzentratio-nen in Innenräumen erreicht werden können. Alle verfügbaren Orientierenden Hinweise für flüchtige Schadstoffe am Bodenfeststoff finden sich unter (LABO 2008).

Für den Übergang von flüchtigen Stoffen aus dem Boden in die Bodenluft und dann in die Innenraum-luft wurden wegen der vielfältigen Einflussfaktoren und der Unsicherheiten bei den tatsächlichen Transferfaktoren nur „Orientierende Hinweise“ auf Prüfwertkonzentrationen im Boden berechnet (LABO 2008; UBA 1999). Diese basieren auf der Worst-Case-Annahme, dass sich ein Gleichgewicht zwis-chen der Konzentration des flüchtigen Stoffes in der festen, flüssigen und gasförmigen Bodenphase einstellt. Als Endpunkt des Wirkungspfades Boden-Innenraumluft-Mensch wurde eine tolerierbare ge-fahrenbezogene Konzentration für die Innenraumluft (C_a) definiert (UBA 1999). Sie wurde aus der tole-rierbaren resorbierten Dosis (TRD-Wert) für die inhalative Exposition ermittelt bzw. bei Stoffen, die eine lokale Wirkung auf den Atemtrakt besitzen, aus der abgeleiteten Referenzkonzentration (RK) (SKOWRONEK 2020). Mit einem Transferfaktor von $1:1.000$ und den stoffspezifischen Verteilungskoeffi-zienten (Abbildung 6) wurden unter Berücksichtigung spezifischer Expositionsannahmen bodenbezo-gene *Orientierende Hinweise auf Prüfwertkonzentrationen* für Szenarien „Wohngebiete“ und „Industrie- und Gewerbeflächen“ berechnet. Diese Werte finden sich in den Sächsischen Bewertungshilfen (LFULG 2025A) sowie den Bewertungsgrundlagen für Schadstoffe in Altlasten (LABO 2008).

Für Benzin kann eine Anreicherung in geschlossenen Räumen von Bedeutung sein. Eine quantitative Abschätzung für das komplexe Stoffgemisch Benzin ist allerdings methodisch nicht möglich. Zur Be-wertung wird empfohlen, die toxikologisch relevanten Inhaltsstoffe Benzol und Toluol zu bestimmen und ggf. auch Geruchsbelastungen zu berücksichtigen (LABO 2008).

Im Rahmen eines vom LABO initiierten Forschungsvorhabens wurden Prüfwerte für inhalativ wirksame Fraktionen von Mineralölkohlenwasserstoffen (MKW) ausgewiesen (Tabelle 3). Dabei erfolgte eine Unterteilung der toxikologisch relevanten MKW in 4 aliphatische (AL) und 3 aromatische (AR) Fraktionen, denen (orientierende) Prüfwerte zugeordnet wurden (HLUG 2014; LFULG 2025A). Für die Fraktion AR 0 (Siedebereich 36 – 69 °C) werden die orientierenden Prüfwerte der AKW-Einzelstoffe herangezogen (LABO 2017, 2023).

Tabelle 3: MKW-Fraktionen (LABO 2017)

MKW-Fraktion	Siedebereich [°C]	Äquivalenz-Kohlenstoffzahl
AL 1	> 69 - 128	> 6 – 8
AL 2	> 128 – 175	> 6 – 10
AL 3	> 175 – 216	> 10 – 12
AL 4	> 216 – 287	> 12 – 16
AR 1	> 151 – 177	> 9 – 10
AR 2	> 175 - 216	> 10 – 12
AR 3	> 216 - 271	> 12 – 15

Die Fraktionen AL 4 und AR 3 gelten als schwerer flüchtige MKW und haben geringe Relevanz hinsichtlich des Wirkungspfades Luft. Das analytische Verfahren zur Bestimmung der 5 Fraktionen der flüchtigen MKW orientiert sich an der DIN EN ISO 16558-1.

6.5.3 Bewertungsgrundlagen für leichtflüchtige Schadstoffe in der Bodenluft

Da auf der Stufe der OU in der Regel noch keine Beprobung der Innenraumluft stattfindet, können Bodenluftwerte als Hinweis für eine mögliche Belastung herangezogen werden.

Bei den stoffbezogenen Berechnungen der Orientierenden Hinweise für flüchtige Stoffe im Feststoff wurde von einem Gleichgewicht zwischen den Schadstoffen am Feststoff und in der Bodenluft ausgegangen. Unter Verwendung der gleichen toxikologischen Daten und des gleichen Expositionsszenarios (Transferfaktor von 1:1000 zwischen Bodenluft und Innenraumluft) wurden von der LABO Orientierende Hinweise für die Konzentrationen leichtflüchtiger Schadstoffe in der Bodenluft berechnet (LABO 2008). Generell gilt, dass theoretische Ableitungen von Beurteilungsgrößen, die auf toxikologischen Basisdaten aufbauen, nur bedingt einen Bezug zu den messtechnisch vor Ort erfassten Konzentrationen und Gehalten aufweisen. Gleichgewichts-Schadstoffverteilungen zwischen den einzelnen Matrices können dann allenfalls als Worst-Case-Abschätzung betrachtet werden. Auf dieser Grundlage haben bei flüchtigen Stoffen die Werte für Orientierende Hinweise Feststoffe eine vergleichbare Qualität wie die Werte für Orientierende Hinweise Bodenluft (s. u.) (BARKOWSKI ET AL. 2002). Diese Problematik ist durch Nennung spezieller technischer Randbedingungen der Bodenluftprobennahme nicht aufzuheben.

Für die Bodenluft selbst, wurde eine Obergrenze von 1.000 mg/m^3 als sogenannte *Kappungsgrenze*³ festgelegt. Dies bedeutet, dass für den Fall, dass sich rechnerisch ein höherer Wert als 1.000 mg/m^3 ergibt, der Beurteilungswert auf 1.000 mg/m^3 festgesetzt wurde. Zudem wurden auch Geruchsschwellen für einzelne Stoffe berücksichtigt.

Aufgrund der Unsicherheiten bei den Messungen (Kapitel 4.2) ist eine absolute Aussage über eine Gefährdung auch allein anhand der Bodenluftwerte nicht möglich. Die genannten Orientierenden Hinweise sind daher nicht gesetzlich geregelt.

Aufgrund der starken Verdünnung beim Übergang der Bodenluft in die Außenluft ist eine Gefährdung von Kindern im Außenbereich (Nutzungskategorien Kinderspielflächen, Wohngebiete, Park- und Freizeitanlagen) erst bei sehr hohen Konzentrationen möglich. In der Regel ist dieses Szenario nicht bewertungsrelevant. Wenn aber Kinderspielflächen an Wohngebäude angrenzen, sind diese Flächen bezüglich einer möglichen Innenraumbelastung als Wohngebiete zu untersuchen und zu bewerten. Auch die Möglichkeit der Ansammlung von flüchtigen Schadstoffen in Bodensenken bei sensibler Nutzung dieser Flächen ist zu bedenken.

6.6 Gefährdungsabschätzung und Handlungsbedarf

Zielstellung der Gefährdungsabschätzung auf der Stufe der OU ist, anhand der vorliegenden Unterlagen und Dokumente zu prüfen und zu entscheiden, ob sich der aus der Erfassung abgeleitete Anfangsverdacht einer Altlast oder schädlichen Bodenveränderung bestätigt hat und damit weitere Maßnahmen erfordert oder ob dieser ausgeräumt wurde und damit die Altlastenbearbeitung beendet werden kann.

Mit den im Rahmen der OU erhaltenen Daten zu Schadstoffgehalten im Boden und Schadstoffkonzentrationen in der Bodenluft ist für den Wirkungspfad Luft abzuschätzen, ob damit gefährdende Schadstoffkonzentrationen in der Innenraumluft möglich sind.

Dazu werden die ermittelten Schadstoffgehalte und -konzentrationen mit den jeweiligen Orientierungswerten (Kapitel 6.5.2 und Kapitel 6.5.3) für den Wirkungspfad Luft verglichen.

Wenn die im Rahmen einer Ortsbegehung festgestellte Gebäudesubstanz einen erleichterten Übergang der Bodenluft in die Innenraumluft nahelegt (beispielsweise, weil ein Betonboden fehlt oder die Betonbodenplatte erhebliche Fehlstellen aufweist), ist ein Transferfaktor von 1:100 zu verwenden.

³ In „Bewertungsgrundlagen für Schadstoffe in Altlasten, Informationsblatt für den Vollzug“ (LABO 2008) finden sich Bemerkungen zur Berechnung der Orientierenden Hinweise unter Berücksichtigung von Kappungsgrenzen und Geruchsschwellen sowie zur Bestimmung der Schadstoffe im Bodenmaterial.

Ferner ist folgendes zu berücksichtigen:

- Liegen nur Daten zu den Schadstoffgehalten im Boden vor, so werden die Orientierenden Hinweise für flüchtige Schadstoffe an Bodenfeststoff (LFULG 2025A) verwendet. Werden diese Werte überschritten, sind weitere Untersuchungen erforderlich.
- Liegen zusätzlich Schadstoffkonzentrationen in der Bodenluft vor, so werden die Orientierenden Hinweise für Bodenluft (LFULG 2025A) verwendet.
- Liegen in Ausnahmefällen Daten zu den Konzentrationen der leichtflüchtigen Schadstoffe in Innenräumen vor, so sind die Werte für Innenraumluft (LFULG 2025A) zu verwenden.

Im Ergebnis der Gefährdungsabschätzung ist der weitere Handlungsbedarf festzulegen.

Zu unterscheiden sind dabei folgende Kategorien:

- Kein Handlungsbedarf bei Nichtbestätigung des Anfangsverdachts
- Durchführung einer DU bei Bestätigung des Anfangsverdacht
- Sofortmaßnahmen zur Abwehr bestehender Gefahren.

Ergeben sich im Zuge der OU nach Abschätzung des möglichen Stofftransfers in die Raumluft Hinweise auf eine konkrete Gefährdung (d. h. die Orientierungswerte zur Gefährdungsabschätzung nach Kapitel 6.5 sind überschritten), besteht unter Berücksichtigung der Priorisierung in DEBA Handlungsbedarf für eine DU (Kapitel 7).

Dies ist in § 10 Abs. 5 BBodSchV geregelt: „Besteht der hinreichende Verdacht einer schädlichen Bodenveränderung oder Altlast, soll eine Detailuntersuchung nach § 13 durchgeführt werden. Von einer Detailuntersuchung kann abgesehen werden, wenn Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen nach Feststellung der zuständigen Behörde mit einfachen Mitteln abgewehrt oder auf andere Weise beseitigt werden können.“

Konkret im Hinblick auf den Wirkungspfad Luft gilt § 10 Abs. 6 BBodSchV, wonach zur Ermittlung der gesundheitlichen Risiken der leichtflüchtigen Schadstoffe dann Innenraumluftmessungen erforderlich sind. Innenraumluftuntersuchungen sollten auch durchgeführt werden, wenn aufgrund von geruchlichen Hinweisen der begründete Verdacht auf Immissionen von leichtflüchtigen Schadstoffen aus dem Untergrund besteht (SEIFERT 1999).

Unabhängig von der Notwendigkeit zur Durchführung einer DU kann sich im Rahmen der Orientierenden Untersuchung die Notwendigkeit zu Sofortmaßnahmen ergeben. Dies ist dann der Fall, wenn

- die Methankonzentrationen in der Bodenluft einen Gehalt von 1 Vol.-% überschreiten (untere Explosionsgrenze von Methan: 4,4 Vol.-% bei gleichzeitigem Vorliegen von Sauerstoff, Gefahr der Anreicherung von explosionsfähigen Gemischen insbesondere in Kellerräumen) oder
- die Orientierungswerte (Kapitel 6.5) eine sehr hohe Überschreitung der maximal zulässigen Schadstoffkonzentrationen in der Innenraumluf (\geq Faktor 5) indizieren.
- In diesem Fall sind die Schadstoffkonzentrationen in der Innenraumluf unverzüglich zu überprüfen. Gegebenenfalls sind Maßnahmen zu deren raschen temporären Verminderung (beispielsweise häufiges intensives Lüften) oder Unterbrechung bzw. Verminderung der Gefährdung (Nutzungseinschränkungen) erforderlich.
- Eine dauerhafte Verminderung erfolgt auf späteren Stufen der Altlastenbearbeitung.

Das festgestellte Ausmaß der Beeinträchtigungen entscheidet über die Dringlichkeit weiterer Maßnahmen.

In Abhängigkeit vom Handlungsbedarf sind konkrete Maßnahmen vorzuschlagen. Es kann sich auch der Umstand ergeben, dass im Rahmen der OU keine konkreten Anhaltspunkte für eine Gefährdung bei dem Wirkungspfad Luft festgestellt werden können, für den Standort jedoch aufgrund der Relevanz anderer Wirkungspfade die Notwendigkeit einer DU besteht.

6.7 Dokumentation der Ergebnisse

Die Ergebnisse der durchgeführten Untersuchungen sind im Bericht zur OU zu dokumentieren. Die Dokumentation kann in Anlehnung an die „Mustergliederung Gutachten OU“ des Projekthandbuches zur Altlastenfreistellung in Sachsen (LFULG 2025B) erfolgen.

Die Ergebnisse der OU werden in SALKA und DEBA übernommen. Mit den Auswertungen im Rahmen der OU und der Erfassung und Bewertung in DEBA liegen die fachlichen Grundlagen vor, auf deren Basis die zuständige Behörde über die Notwendigkeit weiterer Maßnahmen entscheiden kann.

7 Detailuntersuchung (DU)

7.1 Ablaufschema

Die Grundlagen der DU sind im Handbuch zur Altlastenbearbeitung, Teil 7: Detailuntersuchung (LFULG 2003) zusammengestellt. Das Ablaufschema (Abbildung 11) zeigt die Vorgehensweise im Rahmen der DU für den Wirkungspfad Boden → Bodenluft → Innenraumluft.

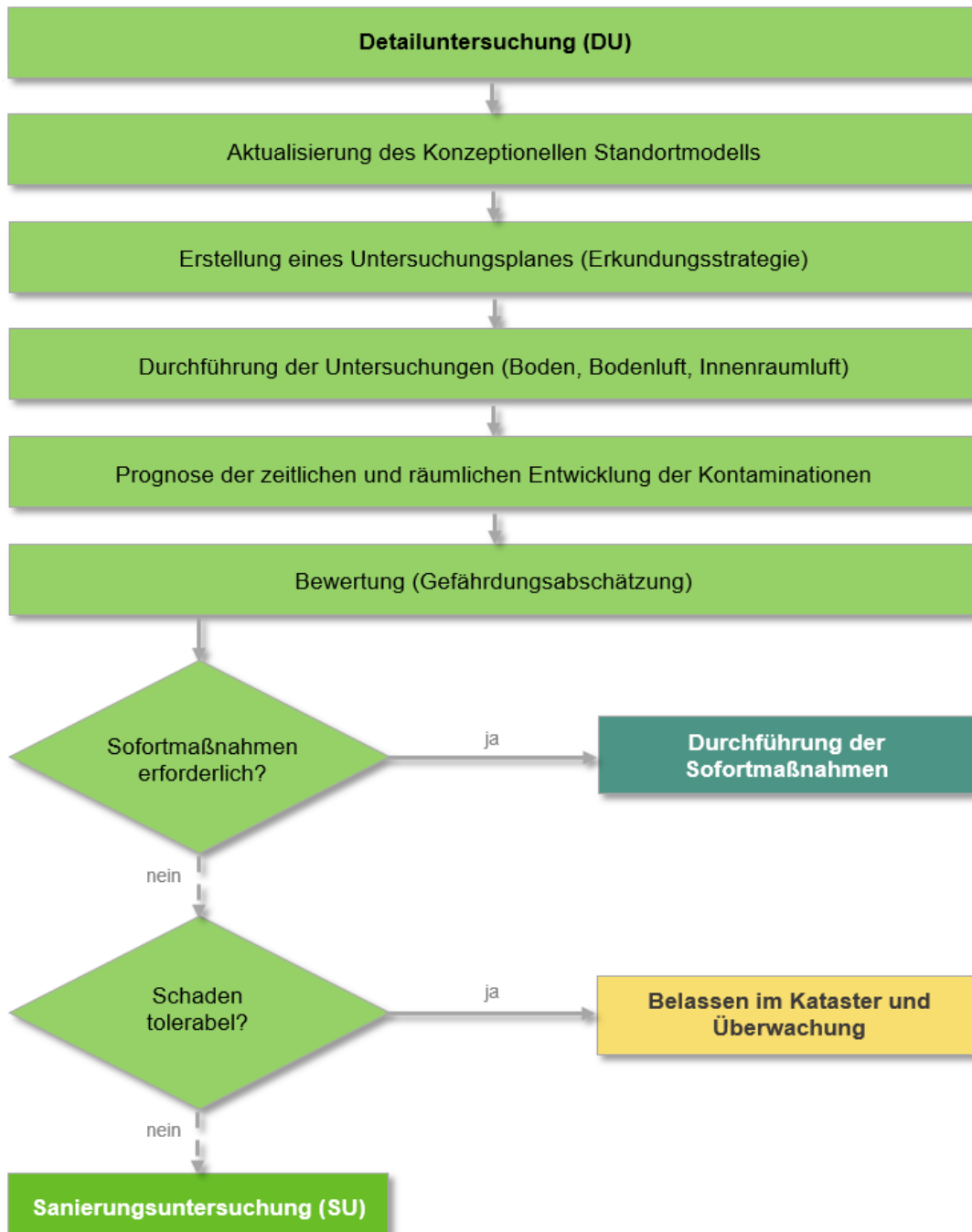


Abbildung 11: Ablaufplan für die DU einer altlastverdächtigen Fläche für den Wirkungspfad Boden → Bodenluft → Innenraumluft

7.2 Zielstellung

Nach § 13 (1) BBodSchV ist das Ziel der Detailuntersuchung, mit Hilfe vertiefender und weitergehender Untersuchungen eine abschließende Gefährdungsabschätzung zu ermöglichen. Sie dient insbesondere der Feststellung von Menge und räumlicher Verteilung von Schadstoffen, ihrer mobilen oder mobilisierbaren Anteile, ihrer Ausbreitungsmöglichkeiten im Boden, in Gewässern und in der Luft sowie der Möglichkeit ihrer Aufnahme durch Menschen, Tiere und Pflanzen.

Nach Abschluss der DU sollten (für alle Wirkungspfade) für das Untersuchungsgebiet umfassende Kenntnisse vorliegen zu folgenden Punkten:

- Belastungssituation am Standort (relevante Schadstoffe, horizontale und vertikale Schadstoffverteilung in verschiedenen Medien, Konzentrationen und Frachten, Schadstoffverfügbarkeit, Schadstoffmobilität und geogene/anthropogene Hintergrundkonzentrationen)
- Geologische und hydrogeologische Situation (Schichtenfolge und Mächtigkeiten in der ungesättigten Bodenzone, Tiefenlage und Mächtigkeit von Grundwasserleitern sowie hydraulische/pneumatische Parameter)
- Standortnutzung, Standorthistorie, zum Umfeld und zu relevanten Schutzgütern, relevante Wirkungspfade und betroffene Schutzgüter.

Aus diesen Kenntnissen sollten verlässliche Prognosen zur Entwicklung des Kontaminationsgeschehens am Standort und in dessen Umfeld für unterschiedliche Szenarien abzuleiten sein (TLUBN 2009). Auf der Basis der Erkenntnisse der DU soll eine Entscheidung ermöglicht werden, ob und mit welcher Dringlichkeit weitere Maßnahmen zur Gefahrenabwehr notwendig sind.

7.3 Untersuchungsvorbereitung, Untersuchungsplan

Im Rahmen der Untersuchungsvorbereitung sind die allgemeinen Anforderungen an die Probennahme nach § 19 BBodSchV zu beachten. Dabei ist die Probenahme nach § 19 (1) durch Sachverständige im Sinne des § 18 BBodSchG oder von Personen mit vergleichbarer Sachkunde zu entwickeln und zu begründen, siehe auch Kapitel 7.4.

Generell gelten für die Untersuchungsvorbereitung und die Erstellung des CSM und des Untersuchungsplanes die gleichen Grundlagen wie bei der OU (Kapitel 6.3). Hinzu kommt bei der DU, dass die altlastverdächtigen Flächen hinsichtlich ihrer vollständigen horizontalen und vertikalen Ausbreitung zu untersuchen sind. Auf der Stufe der DU kommen zur Beurteilung des Wirkungspfad Luft Untersuchungen des Bodens, der Bodenluft und in der Regel erstmals Beprobungen und Analysen der Innenraumluft in Betracht.

Basierend auf dem CSM wird der Untersuchungsplan unter Berücksichtigung der Zielstellung und den konkreten Standortgegebenheiten einzelfallspezifisch erstellt. Bei der Untersuchungsplanung sind verschiedene Szenarien zu betrachten:

- Generell ist es notwendig, die Verteilung der Schadstoffe im Boden und in der Bodenluft umfassend zu ermitteln. Darüber hinaus ist die Beprobung der Innenraumluft erforderlich.
- Für einfache Wohngebäude sollte die Bodenluft, sofern sich das Gebäude über dem Schadensherd befindet, an mindestens zwei weiteren Punkten (zu den im Rahmen der OU realisierten zwei Beprobungspunkten) ermittelt werden. Für größere Gebäudekomplexe ist die Bodenluft an entsprechend mehr Punkten zu untersuchen.
- Liegt der Schadensherd randlich der Bebauung sind über die im Rahmen der OU realisierten drei Probennahmepunkte hinaus weitere Probennahmepunkte vom Rand des Schadensherdes bis zur Mitte der geplanten Bebauung erforderlich. Die exakte Anzahl der erforderlichen Probennahmepunkte ist anhand der Ergebnisse der OU festzulegen.
- Darüber hinaus besteht anhand der im Rahmen der orientierenden Untersuchung bekannten punktuellen Schadstoffverteilung die Notwendigkeit, die Konzentration der leichtflüchtigen Schadstoffe an weiteren Punkten zu untersuchen, um die flächenhafte Verteilung abschließend zu ermitteln. Eine tiefendifferenzierte Beprobung der Bodenluft (in Anlehnung an VDI 3865, Blatt 2 1998) unter Berücksichtigung der geologischen Schichtenfolge kann im Hinblick auf die später durchzuführende Sanierungsuntersuchung ebenfalls erforderlich werden.
- Bei der Probennahme, bevorzugt mittels temporären Messstellen, sind die pneumatische Durchlässigkeit des Untergrundes und bevorzugte Gasmigrationswege zu bewerten.
- Die Untersuchung der Innenraumluft auf flüchtige Schadstoffe einschließlich der Art der Probenahme richtet sich danach, wie diese Räume genutzt werden. Der Raum mit der sensibelsten Nutzung ist für die Untersuchung heranzuziehen. Die Probennahme orientiert sich an den allgemeinen Richtlinien für flüchtige Stoffe (Kapitel 7.4.2).
- Die Untersuchung von Innenraumluft sollte generell in zwei Phasen erfolgen. Die erste Phase beinhaltet die visuelle Inspektion der Bausubstanz und des unmittelbar angrenzenden Geländes. Je nach Gebäudezustand sowie in Abhängigkeit von der Nutzung sind dann entsprechende Probennahmen in der zweiten Phase durchzuführen und auszuwerten (HLUG 2014). Bei geplanter oder bestehender Nutzung der Gebäude durch besonders sensible Personengruppen (z. B. Kindereinrichtungen) ergeben sich erhöhte Sorgfaltspflichten.

- Verunreinigungen von Boden und Bodenluft können je nach Eintragscharakteristik auch die Bausubstanz kontaminieren. Dann ist es schwierig, zu unterscheiden, ob die Belastung der Innenraumluft allein aus der Bausubstanz oder zusätzlich infolge des Eindringens von Bodenluft kommt. Wegen der Flüchtigkeit der Schadstoffe dürfte die Ausgasung aus der Bausubstanz zu einem raschen Abklingen dieses Beitrags führen. Nur wenn erhebliche Massen sehr tief in die Bausubstanz eingedrungen sind, können sie ein Langzeitreservoir für Ausgasungen darstellen. Zur Unterscheidung der beiden Prozesse sind entsprechende Untersuchungen durchzuführen.

7.4 Untersuchung von Boden, Bodenluft und Innenraumluft

Allgemeine Anforderungen an die Probenahme (und damit Untersuchung) sind in § 19 BBodSchV geregelt. Dabei ist die Probenahme nach § 19 (1) durch Sachverständige im Sinne des § 18 BBodSchG oder von Personen mit vergleichbarer Sachkunde zu entwickeln und zu begründen, zu begleiten und zu dokumentieren. Die Übergangsregelung ist zu beachten.

Besondere Anforderungen an die Probenahme sind in § 20 BBodSchV geregelt.

Zusätzliche wirkungspfadbezogene Anforderungen sind in § 22 BBodSchV enthalten. Insbesondere für den Pfad Boden-Luft wird in § 22 (2) auf die Beprobungstiefe hingewiesen.

7.4.1 Planung der Beprobungspunkte

Boden und Bodenluft

Basierend auf den Ergebnissen der orientierenden Untersuchung sowie dem bisher entwickelten Konzeptionellen Standortmodell (CSM) mit Vorstellung zur Schadstoffverteilung und Schadstoffmigration werden die Ansatzpunkte für die DU mit dem Ziel der Ermittlung der Konzentrationshöhen, der räumlichen Verteilung der Schadstoffe und der Abgrenzung gegenüber unbelasteten Bereichen festgelegt. Ferner sind die geologischen Untergrundverhältnisse zu quantifizieren (vgl. Kapitel 6.4.1). Die notwendige Anzahl der Sondierungen hängt von der Größe und Heterogenität der Fläche und des Untergrundes sowie den Ergebnissen der Vorerkundung (OU) ab. Es ist dabei die Anwendung von Rasteruntersuchungen zu prüfen (z. B. polares, rechteckiges oder linienartiges Raster). Sämtliche Erkundungsdaten aus der OU werden in das Konzeptionelle Standortmodell übernommen und auf Plausibilität geprüft. Gegebenenfalls können mit Hilfe des Konzeptionellen Standortmodells Kenntnisdefizite ermittelt, ergänzende Untersuchungen geplant und bestehende Kenntnislücken geschlossen werden.

Bei der Planung der Probennahmepunkte zum Boden und zur Bodenluft im Rahmen der DU sind weiterhin die Ausführungen unter Kapitel 6.4.1 zu beachten.

Innenraumluft

Für die Festlegung der Punkte zur Beprobung der Innenraumluft ist zunächst zwingend eine Ortsbegehung der zu untersuchenden Gebäude erforderlich. Bei der Ortsbegehung sollten die zu untersuchenden Räume vor allem auch auf Gaswegsamkeiten durch Gebäudeschäden (Risse, Setzungen, Zustand von Rohrdurchführungen der Hausinstallationen, Sammel- und Abwasserschächte) inspiziert werden. Grundsätzlich gilt die Raummitte in einer Höhe von 1-1,5 m (Atemhöhe) als günstigste Probennahmestelle. In jedem Fall ist ein Mindestabstand von 1 m zur Wand einzuhalten.

Zusätzlich sind im Ergebnis der Ortsbegehung in der Planung folgende fachliche Aspekte und Einschränkungen zu berücksichtigen, die u. a. auch eine Probennahme außerhalb der Raummitte rechtfertigen können (DIN EN ISO 16000-1):

- Im Rahmen einer Worst-Case-Betrachtung kann es sinnvoll sein, die Probennahmepunkte in unmittelbarer Nähe zu den Gaswegsamkeiten einzurichten.
- In privaten Räumen sollte durch die Messungen keine Beeinflussung der normalen Raumnutzung auftreten.
- Die Schadstoffbelastungen der Innenräume können auch auf einem Geschoss von Raum zu Raum variieren.
- Bei Messungen in großen Räumen (Hallen, Großraumbüros usw.) muss bei der Auswahl des Probenahmeortes eine Unterteilung des Raumes in Einzelbereiche erfolgen.
- Probennahmeorte mit hoher Sonneneinstrahlung, in der Nähe von Heizsystemen, bei feststellbarer Zugluft oder in der Nähe von Lüftungskanälen sollten vermieden werden.
- Die Schadstoffgehalte in der Innenraumluft sind meist so gering, dass keine absinkbaren Gasgemische schwerer als reine Luft entstehen können. Methan, welche in größerer Konzentration vorhanden sein kann, ist leichter als Luft.
- Aufgrund des Migrationsweges Bodenluft → Innenraumluft sind immer die Räume direkt über der Bodenplatte (d. h. Keller) als Beprobungsort zu bevorzugen (Anm.: zur Ableitung der gefahrenbezogenen Raumluftkonzentration wird nicht zwischen Kellerräumen und anderen Räumen eines Wohnhauses unterschieden). Sind keine Keller vorhanden, sollten bevorzugt Räume beprobt werden, in denen meist ein längerer Aufenthalt stattfindet (Wohn- und Schlafräume, Schul- und Kindergartenräume sowie Büroräume) (LFU 2011).
- Wenn zwischen mehreren zu messenden Räumen ausgewählt werden kann und keine sonstigen Erwägungen (bekannte Lage einer Kontaminationsquelle im Untergrund, bekannte Eindringstellen in

das Gebäude) dagegensprechen, werden bevorzugt diejenigen Räume beprobt, die am häufigsten genutzt werden und der sensibelsten Nutzung unterliegen.

- Sind raumlufttechnische Anlagen (RLT-Anlagen) vorhanden, so können diese selbst unerwünschte Emissionen (z. B. aus Dichtungsmaterialien, dem Befeuchterwasser oder aus Staubablagerungen) abgeben. Ferner werden Luftverunreinigungen über das gesamte klimatisierte Gebäude verteilt. Von der RLT-Anlage angesaugte Außenluft kann zu einer Verdünnung der Luftverunreinigungen führen. Die Betriebsparameter und der Wartungszustand der RLT-Anlage müssen vor einer Raumlufbmessung ermittelt werden (DIN EN ISO 16000-1). Probennahmepunkte sind möglichst weit von RLT-Anlagen entfernt einzurichten.
- Hinsichtlich der Frage zur Anzahl der zu untersuchenden Räume und der Messpunkte in einem Gebäude gibt es lediglich für Innenraumarbeitsplätze die Empfehlung, je 50 m² Grundfläche einen Messpunkt vorzusehen (IRK, ALOG 2014). Dies sollte jedoch auch für die Bestimmung des Übertritts von Bodenluft in die Innenraumlufb angesetzt werden.
- Wenn es im Rahmen einer Ortsbegehung Hinweise auf ein lokales Eindringen der leichtflüchtigen Schadstoffe gibt, sollte jede lufttechnisch getrennte Raumeinheit in einem Gebäude untersucht werden, da sonst die Gefahr besteht, lokale Immissionen aus dem Untergrund zu übersehen. Hierbei können auch Konformitätsbereiche definiert werden. Das sind einer oder mehrere angrenzende Räume innerhalb eines Gebäudes mit identischen oder sehr ähnlichen Eigenschaften (Stockwerk, Wandtyp, Böden, Fundamente, Lüftung, Öffnungen, Temperatur usw.) (LFULG 2025A). Wenn jedoch bekannt ist, dass in bestimmten Räumen Schwachstellen in der Bodenplatte auftreten, sollten bevorzugt diese beprobt werden.
- Ergeben sich im Rahmen der Ortsbegehung Hinweise, dass abgesehen von dem Eindringen von Schadstoffen über die Bodenluft im Gebäude weitere Schadstoffquellen (z. B. Bodenbeläge, Möbel) vermutet werden, sind diese zu erfassen und bei der Interpretation zu berücksichtigen.

7.4.2 Auswahl von Probennahme- und Untersuchungsverfahren

Boden und Bodenluft

Die Auswahl der Probennahme- und Untersuchungsverfahren ist bereits detailliert in Kapitel 6.4.2 beschrieben. Ergänzend zu den Anreicherungs-, Direkt- und Sonderverfahren kommt bei der DU unter Umständen noch die passive Sorption zur Beprobung der Bodenluft in Frage:

- Passive Sorption: Bei diesem Verfahren wird der Passiv- bzw. Diffussionssammler (GoreSorber®) mit adsorbierender Füllung im Boden vergraben, über eine gewisse Zeit dort belassen und danach geborgen und analysiert. Die passive Sorption hat sich bisher nicht durchgesetzt, auch wenn dadurch zeitintegrierte Proben gewonnen werden können. Die Analyse von Diffusionssammlern

ergibt nur eine Schadstoff-Gesamtmasse in mg/Sammler. Dieser Wert ist in Abhängigkeit der stoffspezifischen Diffusionsrate und Sammelrate in eine Konzentration umzurechnen. Aufgrund vielfältiger Einflüsse ist eine Umrechnung der sorbierten Schadstoffmasse auf Konzentrationen mit Unsicherheiten behaftet.

Auf der Stufe der DU werden im Gegensatz zur OU, bei welcher vorrangig temporäre Messstellen verwendet werden, stationäre Bodenluftmessstellen errichtet. Zudem besteht die Möglichkeit, die Bodenluft mit Hilfe von Direct-Push-Sondierungen zu untersuchen (LFU 2023; BUKEA 2023). Aufgrund des erhöhten Aufwandes für die Direct-Push-Probennahmen werden diese allenfalls im Rahmen der DU für besondere Fragestellungen zur Anwendung kommen, beispielsweise, wenn aufgrund einer heterogenen Geologie sehr komplexe dreidimensionale Schadstoffverteilungen erwartet werden.

■ stationäre Bodenluftmessstellen

sind fest eingebaut und sind meist, um ein Eindringen atmosphärischer Luft zu vermeiden, zur Atmosphäre hin mit einem gasdichten Kugelhahn abgeschlossen, so dass eine Probennahme direkt am Kugelhahn erfolgen kann (BUKEA 2023). Damit erlauben sie auf einfache Weise mehrere Wiederholungen der Probennahme. Aufgrund der Schwankungsbreite einzelner Messungen (Kapitel 4.2) wird empfohlen, im Rahmen der DU zur Bewertung des Wirkungspfades Luft stationäre Bodenluftmessstellen zu errichten.

■ Direct-Push

Die Bodenluftprobennahme unter Verwendung von Direct-Push-Sonden erlaubt die Erfassung der Schadstoffverteilung über die gesamte Vertikale der ungesättigten Bodenzone, was jedoch für den Wirkungspfad Luft von untergeordneter Bedeutung ist. Je nach Sondentyp erfolgt die Sondierung mit kontinuierlicher Probennahme und kontinuierlicher Messung oder eine Probennahme in festgelegten Tiefen. Die kontinuierliche Messung, bei der die Detektion der Schadstoffe (Summenparameter) vor Ort über spezielle Detektoren erfolgt, ist im vorliegenden Fall kaum geeignet. Nur eine Probennahme in festgelegten Tiefen und die Analyse der Schadstoffe im Labor ergibt ausreichend genaue Daten zur Bewertung des Wirkungspfades Luft. Auf eine ausreichende Spülung des Probennahmegestänges vor der Probennahme ist zu achten (LUGV 2010).

Tiefendifferenzierte Probennahmen können auch mit temporären Sonden unter Verwendung von Packern realisiert werden (TLUBN 2009).

Wegen den natürlichen jahreszeitlich bedingten Konzentrationsschwankungen ist es erforderlich, im Rahmen der DU zumindest zwei Messungen (Sommer, Winter) durchzuführen. Empfohlen werden jedoch drei Messungen (BARKOWSKI ET AL. 2002; SKOWRONEK 2020). Die möglichen Schwankungen und das

Risiko falsch negativer Befunde sollen abgeschätzt und entlastende Aussagen gut begründet werden, in der Regel unter Berücksichtigung von Untersuchungen anderer Umweltmedien.

Bei der Bewertung der Ergebnisse sind sowohl der Mittelwert als auch das Konzentrationsmaximum (und die Zeitdauer, über die das Maximum vorherrscht) entsprechend zu berücksichtigen.

Innenraumluft

Die Innenraumluftmessungen werden in der VDI-Richtlinie 4300, Blatt 1 (die Folgeblätter dieser VDI-Richtlinie enthalten Vorgaben und Informationen für einzelne schadstoffspezifische Messstrategien) sowie in den DIN-Normen DIN EN ISO 16000-1 und DIN ISO 16000-5 beschrieben. Messverfahren für unterschiedliche Innenraumluftschadstoffe sind in der Richtlinienreihe VDI 4301 aufgeführt.

Die Beprobung der Innenraumluft kann mit einer Pumpe (DIN EN ISO 16017-1) oder mit Passivsammlern (DIN EN ISO 16017-2) erfolgen.

Auch in der Innenraumluft können die Schadstoffkonzentrationen über die Zeit infolge jahreszeitlicher Schwankungen, insbesondere durch Luftdruck- oder Temperaturveränderungen, stark schwanken (Kapitel 4.2). Um repräsentative Messwerte für die Innenraumluft zu erhalten, sind daher (wie bei der Bodenluftmessung) mindestens zwei, besser jedoch mehr Messungen durchzuführen.

Da die Schadstoffkonzentrationen in Innenräumen üblicherweise geringer sind als in der Bodenluft und niedrigere Bestimmungsgrenzen realisiert werden müssen, wird die Innenraumluft in der Regel über das Anreicherungsverfahren beprobt.

Die zu bestimmenden Schadstoffe werden nach den Ergebnissen der jeweils vorhergehenden Altlastenbearbeitungsstufe (i. d. R. der OU) ausgewählt.

Probennahmedauer

Hinsichtlich der Dauer der Beprobung der Innenraumluft wird unterschieden zwischen:

- Kurzzeitprobennahmen und
- Langzeitprobennahmen.

Für eine umfassende Beurteilung müssen sowohl Kurzzeitproben als auch eine Langzeitprobe genommen werden (DIN EN ISO 16000-1).

Kurzzeitprobennahmen. Generell gilt, dass mit Kurzzeitmessungen die zum Teil stark schwankenden Konzentrationen zu bestimmten Zeiten nur mit zahlreichen Messungen erfasst werden können. Andererseits ist zu berücksichtigen, dass Kurzzeitmessungen nur selten einen Rückschluss auf eine für längere Zeiträume gültige mittlere Schadstoffkonzentration ermöglichen.

Bei Kurzzeitprobennahmen wird Innenraumluft mittels einer Pumpe über ein Adsorptionsmedium geleitet (aktive Probennahme), welches dann im Labor analysiert wird. Als Kurzzeitmessung wird eine Probennahmedauer von weniger als eine Stunde bis hin zu einigen wenigen Stunden verstanden. Die Dauer der Probennahme ist im Wesentlichen anhängig von der jeweiligen Bestimmungsgrenze der Analytik, auch in Verbindung mit der Sorptionskapazität des gewählten Sorbens (DIN EN ISO 16000-5). Sollten nur gasförmige Stoffe erfasst werden, ist dem Adsorptionsmedium ein Staubpartikelfilter vorzuschalten.

Die Kurzzeitprobennahme ist stark abhängig von den Lüftungsbedingungen sowie den natürlichen und anthropogen bedingten Schwankungen (s. u.) der leichtflüchtigen Schadstoffe. Daher sind für die Kurzzeitprobennahmen definierte Lüftungsbedingungen und danach eine mehrstündige Gleichgewichtseinstellung ohne Lüftung erforderlich. Es wird dann die sogenannte *Ausgleichskonzentration* ermittelt.

Für Schadstoffe mit akut reizenden Eigenschaften sollte die Maximaexposition bei kurzen Probennahmezeiten bestimmt werden.

Langzeitprobennahmen. Im Gegensatz zur Kurzzeitprobennahme führt die Langzeitprobennahme zu einem Verlust an Informationen über die zeitliche Varianz der Konzentrationen der leichtflüchtigen Schadstoffe und besonders über die Häufigkeit des Auftretens und die Höhe von Spitzenkonzentrationen (DIN EN ISO 16000-5).

Für Langzeitprobennahmen werden in der Regel Passivsammler (Diffusionssammler) in Innenräumen aufgestellt. Die Passivsammler werden entsprechend den Empfehlungen der Hersteller ausgewählt und angewendet. Diese sammeln über einen definierten Zeitraum (beispielsweise 7 Tage) passiv luftgebundene Schadstoffe. Passivsammler arbeiten überwiegend nach dem Diffusionsprinzip und liefern einen integralen Messwert als Mittel über den gewählten Expositionszeitraum. Konzentrationsspitzen gehen dabei in den Mittelwert ein (DIN EN ISO 16000-5; DIN EN ISO 16017-2). Die maximale Sammelzeit wird durch die Eigenschaften des Sammlers begrenzt. Die Diffusionssammler enthalten eine Diffusionsbarriere (beispielsweise aus Acetatcellulose), die Stäube ausschließen. Das Adsorptionsmedium ist meist Aktivkohle (Abbildung 12). Für eine Reihe von Stoffen (beispielsweise Vinylchlorid) sind Diffusionssammler nicht geeignet.

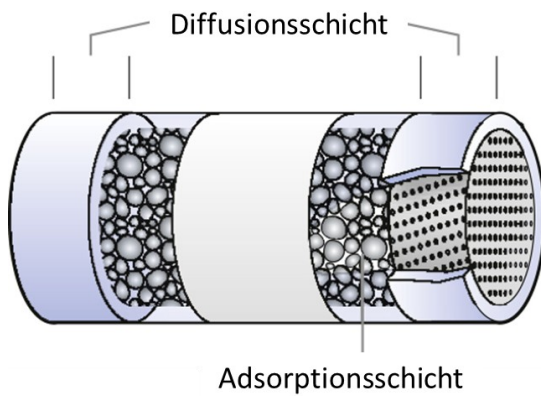


Abbildung 12: Aufbau eines Diffusionssammlers (Quelle: Drägerwerk AG & Co. KGaA, Lübeck. Alle Rechte vorbehalten)

Die aufgenommene Stoffmasse (m) ist proportional der Expositionszeit (t), der Konzentration (c) und dem stoffspezifischen Diffusionskoeffizienten (D). Die Querschnittsfläche (A) und Länge (L) des Passivsammlers sind materialspezifische Eigenschaften (PANNWITZ 2001):

$$m = D \cdot \frac{A}{L} \cdot c \cdot t$$

(2)

A : Querschnittsfläche des Passivsammlers

c : Konzentration

D : stoffspezifischer Diffusionskoeffizient

L : Länge des Passivsammlers

m : aufgenommene Stoffmasse

t : Expositionszeit

Für eine Langzeitprobennahme von Tetrachlorethen (PER) in betriebsfremden Räumen ist die Dauer von 7 Tagen vorgegeben, da dessen Richtwert an diese Vorgabe gekoppelt ist (VDI 4300 BLATT 1).

Generell wird für Schadstoffe mit systemischer und chronischer (beispielsweise LHKW) oder einer kanzerogenen Wirkung (beispielsweise Benzol) eine Langzeitprobennahme empfohlen (LLUR 2009). Das gilt insbesondere auch für den Nachweis von Schadstoffen, die aus der Bodenluft in Innenräume eindringen.

Lüftungsbedingungen bei der Beprobung der Innenraumluft

Lüftungsbedingungen können die Schadstoffkonzentrationen in Innenräumen in erheblichem Maße beeinflussen. Je nach Ziel der Messungen müssen vor und während der Messung unterschiedliche

Randbedingungen eingehalten oder registriert werden (DIN EN ISO 16000-5). Die Lüftungsbedingungen sollten sich nach den Vorgaben für Innenraumarbeitsplätze (IRK, ALOG 2014) richten (Abbildung 13).

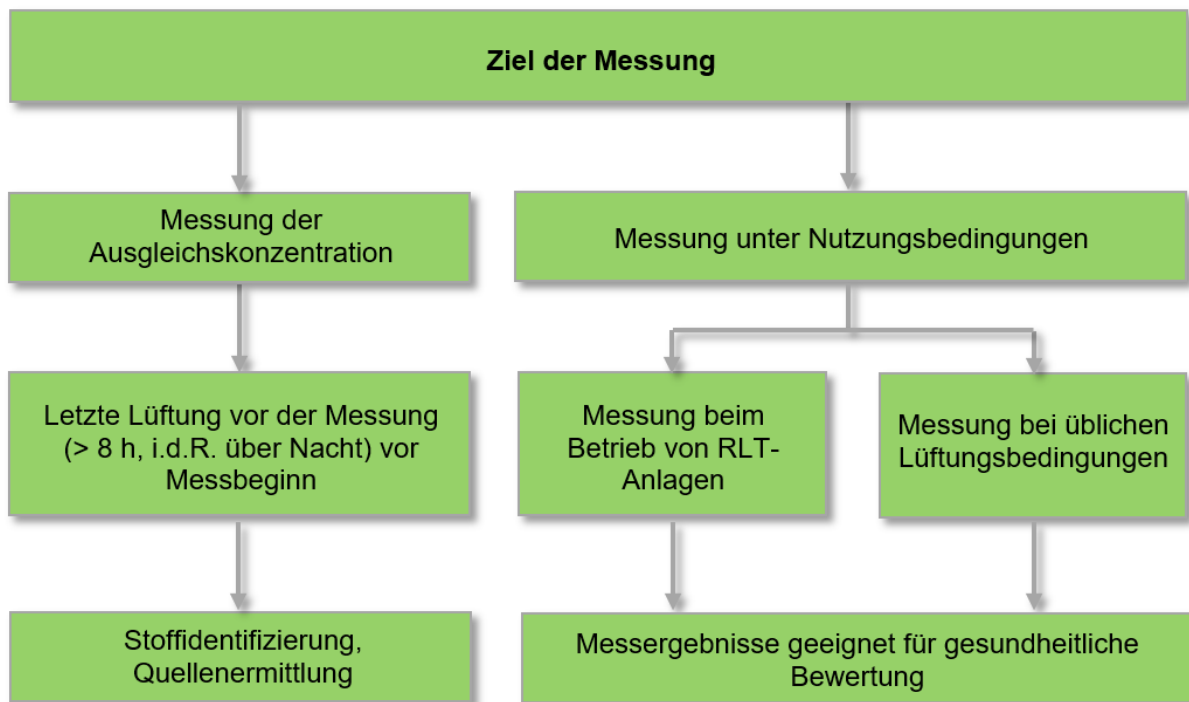


Abbildung 13: Übersicht der unterschiedlichen Messbedingungen in Abhängigkeit des Ziels der Innenraumluftmessung (IRK, ALOG 2014), verändert

Bei **Kurzzeitprobennahmen** ist der Raum zunächst gründlich zu lüften (≥ 15 Min) und anschließend mindestens 8 h lang (in der Regel über Nacht) verschlossen zu halten (Messung unter Ausgleichsbedingungen). Die Probennahme erfolgt im Anschluss im ungelüfteten Raum. Gegebenenfalls sind die Lüftungsvorgaben durch den Probennehmer selbst zu realisieren. Mit dieser Art der Probennahme werden in der Innenraumlufthöhere Konzentrationen der leichtflüchtigen Schadstoffe erhalten. So kann festgestellt werden, ob sich in dem zu untersuchenden Raum Schadstoffquellen (im Vergleich zur Außenluft) befinden.

Bei **Langzeitmessungen** sollten laut DIN EN ISO 16000-5 die Raumnutzer ihre Lüftungs- und sonstigen Lebensgewohnheiten beibehalten, so dass die Probennahme dann einem realistischen Expositionsszenario entspricht. Die üblichen Tätigkeiten müssen vor Beginn der Untersuchung abgefragt und dokumentiert werden. Dabei ist von besonderer Bedeutung, Kenntnis über die Aktivität intermittierender Quellen (s. u.) zu erhalten. Treten während der Probennahmezeit hiervon Abweichungen auf, so müssen diese ebenfalls dokumentiert werden (DIN EN ISO 16000-5).

Da das Lüftungsverhalten im Sommer ein anderes ist als im Winter, sollte die Probennahme zu beiden Jahreszeiten erfolgen.

Dokumentation und Protokollierung der Probennahme und Randbedingungen

Ist der zu messende Innenraum mit einer raumluftechnischen Anlage (RLT) ausgestattet, sind im Messprotokoll sowohl der Betriebszustand bei der Messung als auch der aktuelle Wartungszustand der Anlage zu vermerken und bei der Interpretation der Messergebnisse zu berücksichtigen. Hierfür sind die Bewertungskriterien zur Hygiene an Raumluftechnische Anlagen und Geräte der VDI-Richtlinie 6022, Blatt 1 eine gute Basis. Bei einem intermittierenden oder eingeschränkten Betrieb der RLT-Anlage muss diese mindestens 3 h unter normalen Bedingungen betrieben werden, bevor mit der Probenahme begonnen werden kann (DIN EN ISO 16000-1).

Aufgrund der Tatsache, dass zahlreiche Parameter die Untersuchungsergebnisse beeinflussen können, ist es erforderlich die Probennahmebedingungen gewissenhaft zu dokumentieren, um eine Bewertbarkeit der Messergebnisse nachvollziehbar sicherzustellen. Vorgaben zur Protokollierung bei der Probenahme von Boden und Bodenluft finden sich in den einschlägigen Regelwerken. Vorgaben zur Protokollierung der Probennahmen von Innenraumluft finden sich beispielsweise in DIN EN ISO 16000-1.

Einige der wichtigsten Angaben in einem Probennahmeprotokoll sind (SKOWRONEK 2020):

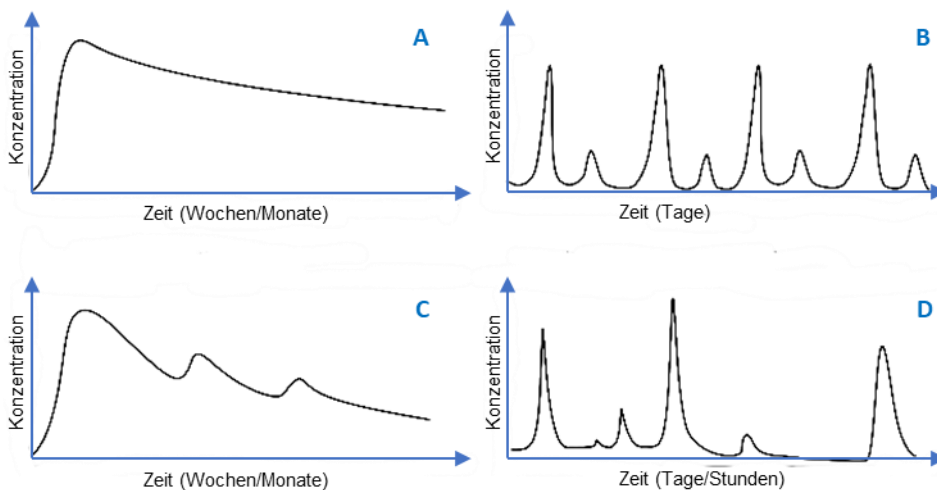
- Ort der Probennahme (Messort) und Art der Probennahme
- Probennahmeparameter
- Gebäudetyp, -nutzung, -alter, Umgebung des Gebäudes
- Außenluftklima, Raumklima (Temperatur, relative Feuchte, Luftdruck, Windrichtung und Windstärke)
- Luftwechselraten (Sollwerte)
- Nutzung, Lage, Größe, Volumen, Ausstattung des untersuchten Raumes (Decken, Wände, Böden)
- Zustand des Bodens (Risse, Fugen)
- Anzahl und Ausrichtung der Außenwände und Fenster, Fensterart, Dichtwirkung
- Lüftung vor und während der Probennahme
- Nutzung von Raumlufverbesserern oder raumluftechnischen Anlagen
- Bei Lüftung mit raumluftechnischen Anlagen: Angaben zur letzten Wartung, Umluftanteil, Zu-/Ab-lufträume, Zusätze, Befeuchtungswasser
- Letzte Renovierung (Art und Umfang), neue Möbel, ggf. welche
- Übliche/maximale Anzahl der Raumnutzer, Raucher/Nichtraucher (durchschnittlicher Konsum)
- Verwendung von Produkten zur Fußbodenreinigung, Möbelpflege, Fensterreinigung
- Verwendung von Mitteln zum Holzschutz, zur Insektenvernichtung und Hobbyarbeiten

Hintergrundbelastungen in der Innenraumluft

Neben den Lüftungsbedingungen können auch zeitlich variierende Hintergrundbelastungen die Messergebnisse stark beeinflussen. Hintergrundbelastungen können entstehen durch:

- Schadstoffquellen in den Innenräumen (Abbildung 14)
- Eindringen von Schadstoffen aus der Außenluft
- Ausgasungen der gleichen Schadstoffe aus dem Mauerwerk des Gebäudes wie aus dem Boden.

Hintergrundbelastungen können durch die Freisetzung von leichtflüchtigen Schadstoffen aus einer Reihe von Bauprodukten und Haushaltsmitteln verursacht werden. Eine Übersicht dazu gibt die VDI-Richtlinie 4300 (VDI 4300 BLATT 1). Die Freisetzung kann die gleichen leichtflüchtigen Schadstoffe betreffen, die auch bei Boden- und Bodenluftbelastungen gefunden werden. Die Freisetzung ist, abhängig von der Art der Vorgänge, zeitlich kontinuierlich bis stark variabel (Abbildung 14).



- A: Kontinuierliche regelmäßige Emission (beispielsweise Baumaterialien, Einrichtungsgegenstände),
 B: Intermittierende regelmäßige Emission (beispielsweise Tabakrauch),
 C: Kontinuierliche unregelmäßige Emission (beispielsweise Farben, Lacke, Kleber bei Renovierungsarbeiten),
 D: Intermittierende unregelmäßige Emission (beispielsweise Schädlingsbekämpfung, Hobbyprodukte)

Abbildung 14: Emissionscharakteristika einiger Hintergrundquellen für Luftverunreinigungen in Innenräumen (IRK, ALOG 2014; Breuer, D. et al.)

So können beispielsweise Lösemittel in Farben, Lacken und anderen Beschichtungen aufgrund der zeitverzögerten Freisetzung dauerhaft zu Belastungen der Innenraumluft führen. Im Zweifelsfall wird die Analyse der Bausubstanz empfohlen. Bedeutender für Belastungen der Innenraumluft ist jedoch die Verwendung von lösemittelhaltigen Produkten im Wohnbereich als auch im Industrie- und Gewerbebereich. Liegen solche gebäudeinternen Quellen vor (was bei der Probennahme durch Inaugenscheinnahme der zu untersuchenden Räume zu prüfen ist), fällt die Trennung zwischen boden- und gebäudebürtigen Stoffen oftmals schwer.

Daneben enthält bereits die Außenluft aufgrund von industriellen und/oder verkehrsbedingten Emissionen leichtflüchtige Schadstoffe im $\mu\text{g}/\text{m}^3$ -Bereich, wobei städtische deutlich höher belastet sind als

ländliche Gebiete. Konzentrationsangaben finden sich in dem Sächsischen Handbuch zur Altlastenbehandlung, Teil 7 - Detailuntersuchung (LFULG 2003). So kann z. B. in der Nähe von Tankstellen oder Autobahnen der Benzolgehalt in der Außenluft deutlich höher sein als in der Innenraumluft.

Daher kann es sinnvoll sein, zusätzlich die Außenluft in der Nachbarschaft des untersuchten Gebäudes in vergleichbarer Höhenlage und auf der Anströmseite des Windes zu beproben. Die Windrichtung und Windgeschwindigkeit sind über die gesamte Dauer der Probennahmen zu messen und zu protokollieren. Aufgrund von Sorptionen im Innenraum sind dort (ohne weitere Einflüsse) die Schadstoffgehalte in der Luft geringer als im Außenbereich.

Problematisch bei Raumluftuntersuchungen ist, dass die Kontaminationen mit flüchtigen Schadstoffen nicht nur aus dem Boden, sondern auch aus der Gebäudesubstanz selbst stammen können, wenn bei der Entstehung der Untergrundkontamination die Bausubstanz ebenfalls kontaminiert wurde. Eine Verdampfung von leichtflüchtigen Stoffen aus der Bausubstanz ist vermutlich nur dann von Bedeutung, wenn der Eintritt der Kontamination nicht allzu weit zurückliegt und erhebliche Schadstoffmassen in die Bausubstanz eingetragen wurden.

Die Quantifizierung des Beitrags der einzelnen Prozesse, welche die Konzentrationen der leichtflüchtigen Schadstoffe in Innenräumen beeinflussen, erfordert umfangreiche Messungen. Der Beitrag aus der Außenluft lässt sich noch leicht durch die Beprobung der Außenluft klären. Die Unterscheidung zwischen der Freisetzung aus Bau- und Hausprodukten und dem Eindringen über die Bodenplatte aus der Bodenluft ist deutlich schwieriger. Nur dann, wenn sich das Eindringen auf reine Diffusion über die Bodenplatte beschränkt, lassen sich Messungen mit Hilfe von Gasboxen (sogenannte Lemberger Boxen) durchführen. Dabei wird eine Box auf die Bodenplatte aufgesetzt und gasdicht abgedichtet. Die Innenluft der Box wird kontinuierlich mit geringer Rate über ein Sorptionsmedium im Kreislauf geführt. Die Analyse des Sorptionsmediums ergibt eine Schadstoffgesamtmasse. Über die Messdauer und die Grundfläche der Box lässt sich die Emission in $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ berechnen. Unter der Voraussetzung, dass Lüftungen gemäß den Vorgaben für die Kurzzeitmessungen (Intensivlüftung, gefolgt von > 8 ohne Lüftung) durchgeführt und die Ausgasungen über die Bodenplatte während der 8 h ohne Lüftung bestimmt werden sowie am Ende noch eine Kurzzeitbeprobung erfolgt, lässt sich der Beitrag der Immission über die Bodenplatte abschätzen. Über die Grundfläche des Raumes, die Dauer der Ausgleichszeit (hier: 8 h) lässt sich die Gesamtmasse, die in den Innenraum eindringt, abschätzen. Dividiert durch das Raumvolumen ergibt sich eine berechnete Konzentration. Ist die gemessene Konzentration der leichtflüchtigen Schadstoffe deutlich höher als die berechnete, liegen Hinweise dafür vor, dass zusätzlich Schadstoffe aus Quellen in den Innenräumen freigesetzt werden. Bestimmte, seltener vorkommende Freisetzungen (Abbildung 14) lassen sich damit jedoch nicht erfassen.

Dringen die Schadstoffe über Fehlstellen in der Bodenplatte oder im Mauerwerk ein, besteht dagegen keine Möglichkeit des Vergleichs dieses Beitrags in Relation zur Freisetzung aus Bau- und Haushaltsprodukten.

In der Regel ist bei Belastungen der Raumluft eine Entfernung der gebäudeinternen Quellen und eine Wiederholung der Probennahme nach ausreichender Lüftung erforderlich.

Messunsicherheiten treten zwangsläufig auf. Ihr Ausmaß wird bestimmt durch die stets begrenzte Anzahl der Messungen und durch die einzelnen Unsicherheiten der angewendeten Probennahmeart und analytischen Bestimmung. Die Repräsentativität des Ergebnisses einer Einzelmessung wird ferner durch zeitliche und räumliche Konzentrationsänderungen beeinflusst (DIN EN ISO 16000-5).

7.4.3 Analytik

Die Analytik richtet sich nach den im Kapitel 6.4.3 dargelegten Grundsätzen. Auf der Stufe der DU ist die Analyse von Summenparametern nicht mehr ausreichend. Es sind alle relevanten Einzelstoffe zu analysieren.

7.4.4 Qualitätssicherung

Die Qualitätssicherung richtet sich nach den im Kapitel 6.4.4 dargelegten Grundsätzen.

7.5 Prognose

Die Abschätzung der von einer altlastverdächtigen Fläche ausgehenden Gefährdung sollte auch eine mögliche zukünftige Belastung der Schutzgüter und damit die zeitliche und räumliche Entwicklung der Kontamination berücksichtigen. Die DU auf der Basis von Messwerten aus einem kurzen Zeitraum liefert nur Aussagen über den momentanen Zustand des Schadherdes und der Schadstoffausbreitung in den untersuchten Umweltmedien. Aufgrund anhaltender Schadstofftransportprozesse kann sich die Ausbreitung der Schadstoffe und die Höhe der Belastung über die Zeit ändern. Es ist jedoch anzumerken, dass sich ein Schaden die überwiegende Zeit seiner Lebensdauer in einem quasi-stationären und damit ortsstabilen Zustand befindet. Hierbei ist die Nachlieferung aus der Quelle genauso groß wie die konzentrationsmindernden Prozesse. Die Nachlieferung führt in einer überschaubaren Zeit nicht zu einer merklichen Abnahme der Höhe der Belastung im Schadensherd. Dennoch bleibt es Aufgabe der DU, diese Ortsstabilität zu ermitteln. Die Erhebung von Messreihen zum Nachweis dieser in sehr großen Zeiträumen ablaufende Prozesse sind nicht zu realisieren.

Für eine Abschätzung bzw. Prognose, ob der aktuell nachgewiesene Schaden ortsstabil ist oder sich in Zukunft hinsichtlich seiner räumlichen Ausdehnung verändern wird, verwendet man im Rahmen der DU Hilfsmittel.

Die für das Schutzgut Grundwasser (LFULG 2003) festgelegten Methoden:

- Abschätzung der zeitlichen qualitativen und quantitativen Veränderung des Schadstoffpotentials im Schadherd über die Bestimmung des Austrags in die Umweltmedien (Bilanzen) und den Abbau organischer Stoffe sowie
- Abschätzung der Geschwindigkeit der Ausbreitung der Schadstoffe in Richtung relevanter Schutzgüter

lassen sich für den Wirkungspfad Luft bei Altstandorten kaum anwenden, da die zur Abschätzung erforderlichen standortspezifischen Parameter nicht mit einem verhältnismäßigen Aufwand ermittelt werden können. Es besteht lediglich die Möglichkeit, die bis zum Ende der DU vorliegenden, zu unterschiedlichen Zeitpunkten gewonnenen Erkundungsdaten zu (oft nur kurzen) Zeitreihen zusammenzufügen und auf Trends zu untersuchen. Erschwert wird dies durch die Tatsache, dass die Konzentrationen leichtflüchtiger Stoffe in der Bodenluft und auch der Innenraumluft in Abhängigkeit einer Vielzahl von Parametern substanziell schwanken können (Kapitel 4.2). Vor diesem Hintergrund sind einzelne Messungen kurzer Zeitreihen nur bedingt geeignet. Hilfsweise kann auch postuliert werden, dass die Schadstoffverteilung in der Bodenluft dem gleichen Trend folgt, der für das Grundwasser ermittelt wurde.

Bei Deponien oder Altablagerungen ändern sich die Verhältnisse in sehr viel kürzeren Zeiträumen. Dies bedeutet, dass sich ungünstige Eigenschaften (im Wesentlichen die Höhe der Methankonzentration) in naher Zukunft auch verschärfen könnten. Basierend auf der Masse und Art der eingelagerten Stoffe sowie dem aktuellen Alter und der aktuellen Verteilung der Permanentgase in der Deponieluft muss daher eine Gasprognose zur Beurteilung künftiger Verhältnisse erstellt werden (TLUBN 2009).

7.6 Bewertung

7.6.1 Expositionsabschätzungen

Beim Eindringen von Bodenluft in Gebäude durch Fugen oder Risse kann eine Gefahr für die Gesundheit oder die Sicherheit von Bewohnern resultieren. Die wesentliche Exposition beim Wirkungspfad Boden → Bodenluft → Innenraumluft besteht in der inhalativen Aufnahme von gasförmigen Schadstoffen aus der Innenraumluft (Stäube werden hier nicht berücksichtigt). Diese Aufnahme wird entscheidend durch die Intensität der Nutzung des betrachteten Raumes beeinflusst. So ist beispielsweise die durchschnittliche Aufenthaltszeit in Kellerräumen in der Regel weitaus kürzer als in Schlafräumen und in Schulen geringer als in Wohnhäusern. Hier werden die zwei grundlegend unterschiedlichen Szenarien betrachtet (LABO 2023):

- **Wohngebäude.** Hierbei wird angenommen, dass die sensibelste Nutzergruppe, Kleinkinder im Alter von 1 - 3 Jahren, mit einem Atemvolumen von $7 \text{ m}^3/\text{d}$ und einem Körpergewicht (KG) von 10 kg im ungünstigen Fall ganztägig (24 h/d) der Innenraumluft ausgesetzt ist.

Bei kanzerogenen Stoffen wird eine lebenslange Exposition von 70 Jahren und eine Atemrate von $0,39 \text{ m}^3/\cdot \text{kg KG} \cdot \text{d}$ unterstellt. Eine Unterscheidung zwischen Kellerräumen (bzw. wenig genutzten Räumen) und häufig genutzten Räumen erfolgt nicht.

- **Industrie- und Gewerbegebäude.** Für diese wird davon ausgegangen, dass nur Erwachsene als Nutzergruppe in Betracht zu ziehen sind. Hierbei wird von einer Atemrate von $20 \text{ m}^3/\text{d}$ und einer 40-Stunden-Woche an 45 Wochen im Jahr ausgegangen. Abweichende Arbeitszeiten können über einen Korrekturfaktor angepasst werden. Für kanzerogene Stoffe wird unterschieden in eine Arbeitszeit von 20 und 40 Jahren.

Tabelle 4: Expositionsannahmen zur Quantifizierung der inhalativen Schadstoffaufnahme über die Innenraumluft (UBA 1999; AGLMB 1995)

Parameter	Faktor/ Annahme	Einheit
Wohngebiete (inhalative Aufnahme von Gasen)		
Körpergewicht (Kleinkinder 1-3 Jahre)	10	kg KG
Nutzungsfrequenz		
- Wohnräume (dauerhafte Nutzung)	24	h/d
Expositionsdauer (Kanzerogene)		
- Wohnräume (dauerhafte Nutzung)	70	a
Atemrate (ungünstiger Fall)		
- für ganztägige chronische Exposition (1-3 Jahre)	7	m ³ /d
Atemrate		
- berechnet auf Lebenszeit (nach UBA 1999)	0,39	m ³ /kg KG*d
Industrie und Gewerbegrundstücke (inhalative Aufnahme von Gasen)		
Körpergewicht (KG) (Erwachsener)	70	kg
Nutzungsfrequenz		
Industrie und Gewerbe (dauerhafte Nutzung)	8	h/d
	5	d/w
	45	w/a
Expositionsdauer (Kanzerogene)		
- Industrie und Gewerbe (Arbeitszeit)	40 (20)	a
Atemrate (ungünstiger Fall)	20	m ³ /d
Gewichtungsfaktor Z ¹⁾		
- toxisch	4,85	dimensionslos
- kanzerogen ²⁾	8,5 (17)	dimensionslos

¹⁾ zur Berücksichtigung der intermittierenden Exposition (Betrachtung nur der inhalativen Exposition gasförmiger Stoffe in der Raumluft: $24/8 * 7/5 * 52/45 = 4,85$)

²⁾ bei kanzerogenen Stoffen Unterscheidung zwischen Arbeitszeit von 40 Jahren ($4,85 * 70/40 = 8,5$) und 20 Jahren ($4,85 * 70/20 = 17$)

Basierend auf diesen beiden Szenarien wurden Beurteilungswerte für die eingeatmete Luft festgelegt (Kapitel 7.6.3). Die inhalative Schadstoffaufnahme von schadstoffbelastetem Bodengrausch, welcher nur zum Teil in die Lunge gelangt, bleibt dabei unberücksichtigt. Beurteilungswerte sind in den Bewertungshilfen des LfULG, Tabelle 12 als Werte definiert, die auf Grundlage von Standard-Expositionsszenarien abgeleitet werden. Für besondere Fälle, bei denen die Nutzung deutlich von den beiden Standardszenarien (Wohngebiete, Industrie- und Gewerbegrundstücke) abweicht, können die Beurteilungswerte entsprechend umgerechnet werden. Grundlage dafür ist die Nutzungsdauer oder auch die Atmungsrate. So ist

beispielsweise die Aufenthaltszeit in Sporthallen deutlich geringer, die Atmungsrate beim Sport jedoch höher. Gut trainierte Sportler können eine Atemrate von ca. 120 m³/d haben. Beispiele für Räume mit verkürzter Nutzung sind neben Schulen auch Kindergärten, Büros, Läden und Lager.

Für Schadstoffe, für die keine Beurteilungswerte vorliegen, kann die Aufnahme von flüchtigen Schadstoffen ($E_{\text{Luft-Inhalativ}}$ in mg/(kg·d)) wie folgt berechnet werden:

$$E_{\text{Luft-Inhalativ}} = \frac{tAR \cdot C_L \cdot \frac{t_{\text{exp}}}{24} \cdot \frac{ET}{365}}{KG} \quad (3)$$

C_L	Schadstoffkonzentration in der Luft (mg/m ³)
$E_{\text{Luft-inhalativ}}$	Exposition durch Einatmen von flüchtigen Bodenschadstoffen
ET	Expositionstage pro Jahr (-)
KG	Körpergewicht (kg).
tAR	tägliche Atemrate (m ³ /d)
t_{exp}	Expositionsstunden pro Tag (-)

Werte für Atemraten finden sich in Tabelle 4 und (UBA 2011). Die Aufnahme kann mit einer tolerierbaren täglichen Aufnahme (TDI, *Tolerable Daily Intake*) unter Berücksichtigung zusätzlicher Aufnahmewege in Beziehung gesetzt werden.

Sofern Schadstoffkonzentrationen für Innenräume vorliegen, müssen die Transferfaktoren (Verdünnungsfaktor beim Übertritt gasförmiger Schadstoffe aus der Bodenluft in die Innenraumluft) nicht mehr beachtet werden. Sollen jedoch Abschätzungen allein aufgrund der Schadstoffkonzentrationen in der Bodenluft vorgenommen werden, so sind die Überlegungen in Kapitel 6.5.1 zu den Transferfaktoren zu berücksichtigen. Im Hinblick auf eine spätere Sanierungsplanung kann es sinnvoll sein, für den betrachteten Standort aus den Schadstoffkonzentrationen in der Bodenluft und der Innenraumluft den standortspezifischen Transferfaktor zu berechnen.

7.6.2 Bewertung auf Basis von Boden- und Bodenluftkonzentrationen

Boden- und Bodenluftkonzentrationen können als Hinweis für eine mögliche Belastung herangezogen werden. Bei einer ausreichend pneumatischen Durchlässigkeit des Untergrundes werden die Orientierenden Hinweise für flüchtige Stoffe in Boden bzw. in Bodenluft dazu verwendet (LABO 2008; LFULG 2025A). Diese beinhalten bereits einen Transferfaktor von 1.000 (zwischen Bodenluft und Innenraumluft). Bei Überschreitungen kann es zu einer Gefährdung des Menschen durch Nutzung der Innenraumluft angrenzender (vorhandener oder geplanter) Gebäude bzw. ggf. auch durch Nutzung der angrenzenden Außenluft sensibler Bereiche kommen (konkrete Anhaltspunkte).

Eine Bewertung setzt ausreichende Wiederholungsmessungen voraus. Bei Überschreitungen sollte eine DU (wenn möglich mit Innenraumluftmessungen) vorgenommen werden.

7.6.3 Bewertung auf Basis von Innenraumluftkonzentrationen

Zur Bewertung der in der Innenraumluft gemessenen Konzentrationen leichtflüchtiger Schadstoffe sind die in Kapitel 3 genannten Bewertungsmaßstäbe für Innenraumluft heranzuziehen. Diese sind auch in den Sächsischen Bewertungshilfen (LFULG 2025A) enthalten.

Überschreiten die in der Innenraumluft gemessenen Konzentrationen die Werte nach Tabelle 12 der Sächsischen Bewertungshilfen (LFULG 2025A), sind entsprechende gemäß der bodenschutzrechtlichen Regelungen Maßnahmen zur Gefahrenabwehr (Kapitel 7.6.5) erforderlich, sofern diese maßgeblich auf Belastungen aus der Bodenluft zurückzuführen sind.

Wenn die Konzentrationen der leichtflüchtigen Schadstoffe zwischen RW II und RW I liegen, sollten zunächst intensive Lüftungen erfolgen. Wenn jedoch trotzdem Kontrollmessungen nach einer gewissen Zeit (in der Regel nach einem Monat) keine Verbesserung der Luftqualität ergeben und der Richtwert I nach wie vor überschritten wird, sind bauliche Maßnahmen zur Verbesserung der Situation zu prüfen, siehe auch (IRK, ALOG 2007).

Befindet sich die Bebauung auf oder in der Nähe von Deponien oder Altablagerungen ist neben den Messungen der leichtflüchtigen Schadstoffe sowie von Methan in der Innenraumluft auch eine Gasprognose zu erstellen (Kapitel 7.5). Ergibt diese in der Zukunft eine höhere Gasbildungsrate (verstärkte Ausbreitung der gasförmigen Stoffe) oder höhere Methankonzentrationen, so sind mit jedem jeweiligen Maximalwert und einem von der Bausubstanz abhängig zu wählenden Transferfaktor (Kapitel 6.5.1) mögliche Schadstoffkonzentrationen in der Innenraumluft abzuschätzen. Diese sind dann, sofern sie die entsprechenden Beurteilungswerte überschreiten, handlungsbestimmend (Kapitel 7.6.5).

Für sensible Nutzungen, wie beispielsweise Kindertagesstätten, sowie für sportliche Aktivitäten genutzte Räume sind, anders als bei Wohnungen, abweichende körperlsgewichts- und aktivitätsbezogene Atemraten und Expositionszeiten anzunehmen. Die Beurteilungswerte sind unter Berücksichtigung der Expositionsbedingungen (Kapitel 7.6.1) entsprechend umzurechnen (LUA 2002).

Eine abschließende Bewertung ist erst dann möglich, wenn für die Innenraumluft ausreichende Wiederholungen der Messungen vorliegen.

Für Nutzungen an Arbeitsplätzen ist zu unterscheiden, ob es sich um Arbeitsräume handelt, bei denen (planmäßig) Tätigkeiten mit Gefahrstoffen ausgeführt werden oder ob es sich um Arbeitsräume handelt, bei denen nicht mit Gefahrstoffen umgegangen wird. Der Handlungsbedarf richtet sich nach den

entsprechenden Vorschriften und Zuständigkeiten (siehe Arbeitsplatzgrenzwerte nach der Gefahrstoffverordnung (BmUV 2010) bzw. Richtwerte für Innenraumluft (IRK, ALOG 2012; IRK, ALOG 2014)).

7.6.4 Bewertung auf Basis von Außenluftkonzentrationen

Im Ausnahmefall ist die Messung und Bewertung von Außenluft sinnvoll. Das betrifft Standorte sensibler Nutzungen (bspw. Kinderspielflächen in Senken in der Nähe des Schadherdes, Kinderspielflächen angrenzend an belastete Gebäude). Für eine Bewertung sind die in den Sächsischen Bewertungshilfen (LFULG 2025A) zusammengestellten Werte für Außenluft heranzuziehen.

7.6.5 Festlegung des weiteren Handlungsbedarfs

Hat sich der Verdacht eines Schadstoffeintrages aus der Bodenluft in Innenräume durch Innenraumluftmessungen bestätigt, gilt die Gefahr durch eine Altlast oder eine schädliche Bodenveränderung als festgestellt, und es werden weitere Maßnahmen (in der Regel eine Sanierungsuntersuchung) notwendig.

Erhärtet sich der Verdacht eines Schadstoffeintrages in Innenräume aufgrund des baulichen Zustands (z. B. Risse in der Bodenplatte), wird empfohlen, den Gebäudezustand durch Bausachverständige überprüfen zu lassen. Hierbei sollen bauliche und technische Mängel geprüft werden, die den Schadstoffeintrag aus der Bodenluft in die Innenraumluft ermöglichen (LABO 2023). Bestätigt dies die Bewertung durch den Bausachverständigen, werden in der Regel bauliche Maßnahmen ergriffen, um dem entgegenzuwirken.

Das festgestellte Ausmaß der Beeinträchtigungen (Kapitel 7.6) entscheidet über die Dringlichkeit weiterer Maßnahmen. Unabhängig von der Notwendigkeit zur Durchführung einer Sanierungsuntersuchung kann sich im Rahmen der DU die Notwendigkeit von Sofortmaßnahmen (z. B. Nutzungsbeschränkungen) ergeben.

7.7 Festlegung vorläufiger Sanierungsziele

Als integraler Bestandteil der DU sind durch die unteren Bodenschutzbehörden vorläufige Sanierungsziele festzulegen, anhand derer die Machbarkeit einzelner in Frage kommender Sanierungsverfahren innerhalb einer Sanierungsuntersuchung geprüft werden kann. Das Ziel einer Sanierung ist es, entweder die Quelle zu beseitigen (Dekontamination), den Wirkungspfad zu unterbrechen (Sicherung) oder den Rezeptor (hier: Mensch in der Innenraumluft) zu schützen (Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen). Im Ergebnis der Sanierungsmaßnahmen müssen die Konzentrationen der leichtflüchtigen Schadstoffe in der Innenraumluft so absinken, dass eine Gefahr für den Menschen abgewendet ist.

Nach (LABO 2023) kann der RW I als Sanierungszielwert verwendet werden, da dann nach gegenwärtigem Erkenntnisstand auch bei lebenslanger Exposition keine gesundheitlichen Beeinträchtigungen zu

erwarten sind. Für Schadstoffe, für die kein RW I vorliegt, ist ein Wert deutlich unterhalb der gefahrenbezogenen Innenraumluft festzulegen. Gegebenenfalls sind bei der Festlegung der Sanierungszielwerte Hintergrundbelastungen zu berücksichtigen.

Ferner ist zu berücksichtigen, ob die gleichen relevanten leichtflüchtigen Schadstoffe auch aus der Bausubstanz ausgasen. Ungeachtet des (unter einem anderen Rechtsrahmen) möglichen Sanierungserfordernisses für diesen Prozess, sind Sanierungsmaßnahmen zur Minderung des Übergangs leichtflüchtiger Schadstoffe aus der Bodenluft in die Innenraumluft durchzuführen. Die Ausgasung aus der Bodenluft in die Innenraumluft darf in diesem Fall höchstens 50 % zur maximal tolerablen Restschadstoffbelastung nach der Sanierung beitragen.

Bei Arbeitsplätzen mit Gefahrstoffüberwachung besteht zunächst die Herausforderung zu bestimmen, welchen Beitrag die aus der Bodenluft ausgetragenen leichtflüchtigen Schadstoffe zur Schadstoffkonzentration in der Innenraumluft leisten. Hierzu können ähnliche Untersuchungen durchgeführt werden wie zur Ermittlung des Beitrags der Ausgasung aus der Bausubstanz (Kapitel 7.4.2). Optional besteht auch die Möglichkeit, zur Ermittlung einer Basiskonzentration, Räume zu untersuchen, in denen kein Austrag aus der Bodenluft erfolgt. Können Basiskonzentrationen ermittelt werden, sind diese als Sanierungszielwerte anzustreben, was gleichbedeutend wäre mit einer vollständigen Eliminierung des Schadstofftransfers in die Innenraumluft. Ein realistischer Sanierungszielwert ist eine Konzentration zwischen dem Basiswert und den AGW. Kann keine Basiskonzentration ermittelt werden, muss der Schadstofftransfer in die Innenraumluft so weit vermindert werden, dass die AGW deutlich (um 30 %) unterschritten sind. Gegebenenfalls ist dies im Einzelfall nicht erreichbar.

7.8 Dokumentation der Ergebnisse

Die Ergebnisse der durchgeführten Untersuchungen sind im Bericht zur DU zu dokumentieren. Die Dokumentation kann in Anlehnung an die „Mustergliederung Gutachten DU“ des Projekthandbuches zur Altlastenfreistellung in Sachsen (LFULG 2025B) erfolgen. Die Ergebnisse der DU werden in das SALKA übernommen. Mit den Auswertungen im Rahmen der DU liegen die fachlichen Grundlagen vor, auf deren Basis die zuständige Behörde über die Notwendigkeit weiterer Maßnahmen, in der Regel Durchführung einer Sanierungsuntersuchung, entscheiden kann. Optional kann sich auch die Notwendigkeit zu Sofortmaßnahmen ergeben.

8 Literaturverzeichnis

- AGLMB (Hg.) (1995): Standards zur Expositionsabschätzung. Bericht des Ausschusses für Umwelthygiene, Arbeitsgemeinschaft der Leitenden Medizinalbeamtinnen- und -beamten der Länder. Arbeitsgemeinschaft der Leitenden Medizinalbeamten der Länder. Hamburg.
- AIR (2015): Gesundheitliche Bewertung krebserzeugender Verunreinigungen der Innenraumluft - erste Ergänzung zum Basisschema: Mitteilung des Ausschusses für Innenraumrichtwerte. In: *Bundesgesundheitsblatt, Gesundheitsforschung, Gesundheitsschutz* 58 (7), S. 769–773. DOI: 10.1007/s00103-015-2175-9.
- AIR (2025): Ausschuss für Innenraumrichtwerte (AIR). Hg. v. Umweltbundesamt. Ausschuss für Innenraumrichtwerte. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/kommissionen-arbeitsgruppen/ausschuss-fuer-innenraumrichtwerte>, zuletzt geprüft am 25.11.2025.
- BAFU (Hg.) (2015): Probenahme und Analyse von Porenluft. Ein Modul der Vollzugshilfe <<Untersuchungen von belasteten Standorten>>. Bundesamt für Umwelt. Bern. Online verfügbar unter <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/altlasten/recht/vollzugshilfen-altlasten.html>, zuletzt geprüft am 25.11.2025.
- BAFU (Hg.) (2016): Untersuchung von CKW-Belastungen. Expertenbericht. Bundesamt für Umwelt. Online verfügbar unter <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/altlasten/altlastenbearbeitung/chloronet/umgang-mit-ckw-belastungen.html>, zuletzt geprüft am 25.11.2025.
- BARKOWSKI, DIETMAR; MACHTOLF, MONIKA; SOHR, ANTJE; ZEDDEL, ANDREAS (2002): Leichtflüchtige Schadstoffe im Boden - orientierende Hinweise zur Bewertung von Stoffkonzentrationen in der Bodenluft beim Wirkungspfad Boden-InnenraumluftMensch für Wohngebiete. Online verfügbar unter https://nanopdf.com/download/bewertung-von-flchtigen-schadstoffen-im-boden_pdf, zuletzt geprüft am 25.11.2025.
- BIASE, C. DE; LOECHEL, S.; PUTZMANN, T.; BITTENS, M.; WEISS, H.; DAUS, B. (2014): Volatile organic compounds effective diffusion coefficients and fluxes estimation through two types of construction material. In: *Indoor air* 24 (3), S. 272–282. DOI: 10.1111/ina.12077.
- BMI (2021): Neufassung der Ersten Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luf - TA Luft). TA Luft. 18.08.2021. Online verfügbar unter https://www.verwaltungsvorschriften-im-internet.de/bsvwvbund_18082021_IGI25025005.htm, zuletzt geprüft am 25.11.2025.

- BMUV (1990): Zweite Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes. 2. BImSchV. 10.12.1990. Online verfügbar unter https://www.gesetze-im-internet.de/bimschv_2_1990/BJNR026940990.html, zuletzt geprüft am 25.11.2025.
- BMUV (2010): Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes. 39. BImSchV. 02.08.2010. Online verfügbar unter https://www.gesetze-im-internet.de/bimschv_39/BJNR106510010.html, zuletzt geprüft am 25.11.2025.
- BMUV (2010): Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen. GefStoffV. 26.11.2010. Online verfügbar unter https://www.gesetze-im-internet.de/gefstoffv_2010/GefStoffV.pdf, zuletzt geprüft am 25.11.2025.
- BUKEA (Hg.) (2023): Merkblatt Nr. 9. Entnahme von Bodenluft- und Deponiegasproben. Brunnen-Messstellen-, Bohr- und Sondierarbeiten Merkblätter zur Qualitätssicherung. Freie und Hansestadt Hamburg Behörde für Umwelt, Klima, Energie und Agrarwirtschaft. Hamburg. Online verfügbar unter <https://www.hamburg.de/resource/blob/176136/1a8083cb756d6304d6fd0b98ca4686fa/d-merkblatt-09-data.pdf>, zuletzt geprüft am 25.11.2025.
- D. BREUER, H. SAGUNSKI, M. BALL, R. HEBISCH, N. VON HAHN, T. LAHRZ, G. NITZ, K.-H. PANNWITZ, W. ROSENBERGER, R. SCHWABE (2014): Empfehlungen zur Ermittlung und Beurteilung chemischer Verunreinigungen der Luft von Innenraumarbeitsplätzen. Ergebnisse einer gemeinsamen Erarbeitung der Arbeitsgruppe Luftanalysen der Ständigen Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der Deutschen Forschungsgemeinschaft und der Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der Kommission Innenraumlufthygiene und der Obersten Landesgesundheitsbehörden. In: *Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft*, 2014 (Volume 74 Nr. 9), S. 354–360. Online verfügbar unter https://www.dguv.de/medien/ifa/de/pub/grl/pdf/2014_135.pdf, zuletzt geprüft am 25.11.2025.
- DIN EN ISO 16000-1, 2006-06: Innenraumluftverunreinigungen - Teil 1: Allgemeine Aspekte der Probenahmestrategie (ISO 16000-1:2004).
- DIN EN ISO 16000-5, 2007-05: Innenraumluftverunreinigungen - Teil 5: Probenahmestrategie für flüchtige organische Verbindungen (VOC) (ISO 16000-5:2007).
- DIN ISO 16000-6, 2022-03: Innenraumluftverunreinigungen - Teil 6: Bestimmung organischer Verbindungen (VOC, VOC, SVOC) in Innenraum- und Prüfkammerluft durch aktive Probenahme auf Adsorptionsröhrchen, thermischer Desorption und Gaschromatographie mit MS oder MS-FID (ISO 16000-6:2021).

- DIN EN ISO 16017-1, 2001-10: Innenraumluft, Außenluft und Luft am Arbeitsplatz - Probenahme und Analyse flüchtiger organischer Verbindungen durch Sorptionsröhrchen/thermische Desorption/Kapillar-Gaschromatographie - Teil 1: Probenahme mit einer Pumpe (ISO 16017-1:2000).
- DIN EN ISO 16017-2, 2003-09: Innenraumluft, Außenluft und Luft am Arbeitsplatz - Probenahme und Analyse flüchtiger organischer Verbindungen durch Sorptionsröhrchen/thermische Desorption/Kapillar-Gaschromatographie - Teil 2: Probenahme mit Passivsammlern (ISO 16017-2:2003).
- DIN EN ISO 16558-1:2020-11, 2020-11: Bodenbeschaffenheit - Mineralölkohlenwasserstoffe für die Risikobeurteilung - Teil 1: Bestimmung aliphatischer und aromatischer Fraktionen leicht flüchtiger Mineralölkohlenwasserstoffe mittels Gaschromatographie (statisches Headspace-Verfahren) (ISO 16558-1:2015 + Amd 1:2020); Deutsche Fassung EN ISO 16558-1:2015 + A1:2020.
- DIN ISO 18400-102, 2020-11: Bodenbeschaffenheit - Probenahme - Teil 102: Auswahl und Anwendung von Probenahmetechniken (ISO 18400-102:2017).
- DIN EN ISO 21365, 2021-02: Bodenbeschaffenheit – Leitfaden zur Erstellung konzeptioneller Standortmodelle für kontaminationsverdächtige Flächen (ISO 21365:2019).
- DIN EN ISO 22475-1, 2022-02: Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Probenentnahmeverfahren und Grundwassermessungen – Teil 1: Technische Grundlagen für die Probenentnahme von Boden, Fels und Grundwasser (ISO 22475-1:2021).
- DÜNNEBIER, JENS; JARONI, HANSWERNER (2005): Berechnung orientierender Hinweise auf Prüfwerte für flüchtige Stoffe in der Bodenluft. Hg. v. LUBW. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg. Online verfügbar unter <https://pd.lubw.de/11061>, zuletzt geprüft am 25.11.2025.
- GILLBRICHT, CHRISTIAN A. (2019): Anmerkungen zur Berücksichtigung von Belastungen der Bodenluft im Baurechtsverfahren. In: *Altlasten-Spektrum* (1), S. 5–9. DOI: 10.37307/j.1864-8371.2019.01.03.
- HARTMANN, KLAUS-JÖRG; BAURIEGEL, ALBRECHT; DEHNER, ULRICH; EBERHARDT, EINAR; HESSE, SUSANNE; KÜHN, DIETER ET AL. (Hg.) (2024): Bodenkundliche Kartieranleitung. In zwei Bänden. Arbeitsgruppe Boden des Direktorenkreises der Staatlichen Geologischen Dienste und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe; Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe; Staatliche Geologische Dienste Deutschlands. 6. komplett überarbeitete und erweiterte Auflage. Stuttgart, Hannover: in Kommission bei der E. Schweizerbart'schen Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller); Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe.
- HLUG (2014): Untersuchung von altlastverdächtigen Flächen und Schadensfällen. 2., überarb. Aufl. Wiesbaden: Hess. Landesamt für Umwelt und Geologie (Handbuch Altlasten / Hessische

Landesanstalt für Umwelt, Bd. 3, Teil 2). Online verfügbar unter https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/altlasten/handbuch/Handbuch_Bd3_Teil2_2te_Auflage_2014_.pdf, zuletzt geprüft am 25.11.2025.

IRK, ALOG (2007): Beurteilung von Innenraumluftkontaminationen mittels Referenz- und Richtwerten. Handreichung der Ad-hoc-Arbeitsgruppe der Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden. In: *Bundesgesundheitsblatt, Gesundheitsforschung, Gesundheitsschutz* 50 (7), S. 990–1005. DOI: 10.1007/s00103-007-0290-y.

IRK, ALOG (2012): Richtwerte für die Innenraumluft: erste Fortschreibung des Basisschemas. Mitteilung der Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der Kommission Innenraumlufthygiene und der Obersten Landesgesundheitsbehörden. In: *Bundesgesundheitsblatt, Gesundheitsforschung, Gesundheitsschutz* 55 (2), S. 279–290. DOI: 10.1007/s00103-011-1420-0.

IRK, ALOG (2014): Ermittlung und Beurteilung chemischer Verunreinigungen der Luft von Innenraumarbeitsplätzen (ohne Tätigkeit mit Gefahrstoffen). Gemeinsame Mitteilung der Arbeitsgruppe Luftanalysen der Ständigen Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der Deutschen Forschungsgemeinschaft und der Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der Kommission Innenraumlufthygiene und der Obersten Landesgesundheitsbehörden. In: *Bundesgesundheitsblatt, Gesundheitsforschung, Gesundheitsschutz* 57 (8), S. 1002–1018. DOI: 10.1007/s00103-014-2004-6.

LABO (Hg.) (2002): Arbeitshilfe Qualitätssicherung. Unter Mitarbeit von Altlastenausschuss (ALA), Unterausschuss „Arbeitshilfe für Qualitätsfragen bei der Altlastenbearbeitung“. Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz. Online verfügbar unter https://www.labo-deutschland.de/documents/labo-arbeitshilfe-qualitaetssicherung-12-12-2002_d4c.pdf, zuletzt geprüft am 25.11.2025.

LABO (Hg.) (2008): Bewertungsgrundlagen für Schadstoffe in Altlasten. Informationsblatt für den Vollzug. Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz. Online verfügbar unter https://www.labo-deutschland.de/documents/34_Infoblatt_Altlasten_01092008_e69_34f.pdf, zuletzt geprüft am 25.11.2025.

LABO (Hg.) (2017): Bewertung von Mineralölkohlenwasserstoffen (MKW) bezüglich des Wirkungspfades Boden-Mensch bei einer potentiellen Belastung für Boden, Bodenluft und Innenraumluft. Eine LABO-Hilfestellung für den Vollzug. Unter Mitarbeit von Altlastenausschuss (ALA). Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz. Kiel. Online verfügbar unter

https://www.labo-deutschland.de/documents/LABO_MKW-Bewertung_2017_12.pdf, zuletzt geprüft am 25.11.2025.

LABO (Hg.) (2023): Arbeitshilfe zur Expositionsabschätzung in der Detailuntersuchung für den Wirkungspfad Boden-Mensch. Boden-Mensch/Direktkontakt, Boden-Bodenluft-Mensch, Boden-Nutzpflanze-Mensch, Boden-(Futterpflanze-)Nutztier-Mensch. Arbeitshilfe Expositionsabschätzung; Arbeitshilfe in der Detailuntersuchung. Unter Mitarbeit von Altlastenausschuss (ALA). Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz. Online verfügbar unter https://www.labo-deutschland.de/documents/2023-12-29_AH_Exposabsch_Aufl_2-0.pdf, zuletzt geprüft am 25.11.2025.

LABO (Hg.) (2024): Arbeitshilfe zur Bewertung von leichtflüchtigen Schadstoffen im Grundwasser hinsichtlich einer möglichen Belastung der Innenraumlufte von geplanten Gebäuden. Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz. Potsdam. Online verfügbar unter https://www.labo-deutschland.de/documents/LABO-03-AH_Leichtfluechter.pdf, zuletzt geprüft am 25.11.2025.

LFU (Hg.) (2011): Bodenschutz. ALEX-Informationsblatt 15. Erkundung von Altablagerungen, Hinweise zur Untersuchungsstrategie. Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz. Mainz. Online verfügbar unter https://mkuem.rlp.de/fileadmin/14/Themen/Abfall_und_Boden/Bodenschutz/ALEX_Arbeitshilfen/ALEX_Informationsblatt_15_1998_Stand_05.2011.pdf, zuletzt geprüft am 25.11.2025.

LFU (Hg.) (2023): Merkblatt Nr. 3.8/4. Probenahme von Boden und Bodenluft bei Altlasten und schädlichen Bodenveränderungen. Wirkungspfade Boden-Mensch und Boden-Grundwasser. Bayerisches Landesamt für Umwelt. Augsburg. Online verfügbar unter https://www.stmuv.bayern.de/themen/boden/vollzug/doc/lfu_merkblatt_3.8_4.pdf, zuletzt geprüft am 25.11.2025.

LFULG (Hg.) (2003): Handbuch zur Altlastenbehandlung. Teil 7 - Detailuntersuchung. Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. Online verfügbar unter https://www.boden.sachsen.de/download/Handbuch_ges_Internet_Januar2014.pdf, zuletzt geprüft am 25.11.2025.

LFULG (Hg.) (2007): Grundwasser Altlasten Aktuell. Materialien zur Altlastenbehandlung. Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie. Dresden. Online verfügbar unter <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/13644/documents/15668>, zuletzt geprüft am 25.11.2025.

LFULG (Hg.) (2025a): Bewertungshilfen. Zur Gefahrenbewertung bei Verdacht einer Altlast oder schädlichen Bodenveränderung. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. Dresden. Online verfügbar unter

https://www.boden.sachsen.de/download/Endversion_Bewertungshilfen_120625.pdf, zuletzt geprüft am 25.11.2025.

LFULG (Hg.) (2025b): Projekthandbuch zur Altlastenfreistellung in Sachsen. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. Dresden. Online verfügbar unter https://www.boden.sachsen.de/download/250423_PHB.pdf, zuletzt geprüft am 25.11.2025.

LLUR (Hg.) (2009): Hinweise zur Bearbeitung von Standorten ehemaliger Chemischer Reinigungen. Erstbewertung, Historische Erkundung, Orientierende Untersuchung. Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein. Flintbek. Online verfügbar unter https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/B/boden/Downloads/Arbeitshilfe_CR.pdf?__blob=publicationFile&v=1, zuletzt geprüft am 25.11.2025.

LUA (Hg.) (2002): Materialien Nr. 62. Toxikologische Bewertung polychlorierter Biphenyle (PCB) bei inhalativer Aufnahme. Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen. Essen. Online verfügbar unter https://www.lanuk.nrw.de/fileadmin/lanuvpubl/0_lua/lua/mat62.pdf, zuletzt geprüft am 25.11.2025.

LUBW (Hg.) (2001a): Handlungsempfehlung Durchführung von Deponiegasmessungen bei Altablagerungen. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg. Karlsruhe. Online verfügbar unter <https://pudi.lubw.de/detailseite/-/publication/32484>, zuletzt geprüft am 25.11.2025.

LUBW (Hg.) (2001b): Handlungsempfehlung Entnahme von Bodenluftproben. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg. Karlsruhe. Online verfügbar unter <https://pudi.lubw.de/detailseite/-/publication/26324>, zuletzt geprüft am 25.11.2025.

LUGV (Hg.) (2010): Fachinformation des Landesamtes für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz - Altlastenbearbeitung im Land Brandenburg Nr. 18. Qualitätssicherungsmaßnahmen bei innovativen direkten/ indirekten Probennahmeverfahren für Boden, Grund-, Sickerwasser, Schadstoffphase und Bodenluft im Rahmen der Altlastenbearbeitung. Fachinformation des Landesamtes für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz. Landesamtes für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg. Potsdam. Online verfügbar unter https://lfu.brandenburg.de/cms/media.php/lbm1.a.3310.de/labo_nr18.pdf, zuletzt geprüft am 25.11.2025.

PANNWITZ, K.-H. (2001): Stellenwert des Passivsammlers bei der Innenraumluftuntersuchung. In: *Drägerheft*, 2001 (6/01), S. 14–19. Online verfügbar unter <https://www.draeger.com/Content/Documents/Products/analytical-services-stellenwert-des-passivsammlers-pr-de.pdf>, zuletzt geprüft am 25.11.2025.

- SEIFERT, B. (1999): Richtwerte für die Innenraumluft. Die Beurteilung der Innenraumluftqualität mit Hilfe der Summe der flüchtigen organischen Verbindungen (TVOC-Wert). In: *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz* 42 (3), S. 270–278. DOI: 10.1007/s001030050091.
- SKOWRONEK, JENS (2020): Schnittstelle Bodenluft – Raumluft. Herangehensweise und Bewertung. In: *Altlasten-Spektrum* (3). DOI: 10.37307/j.1864-8371.2020.03.03.
- SMEKUL (2007): Verwaltungsvorschrift des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft über das Sächsische Altlastenkataster. VwVSächsAltK. 29.06.2007. Online verfügbar unter <https://www.revosax.sachsen.de/vorschrift/9546-VwVSaechsAltK>, zuletzt geprüft am 25.11.2025.
- SMEKUL (2019): Sächsisches Kreislaufwirtschafts- und Bodenschutzgesetz. SächsKrWBodSchG. 22.02.2019. Online verfügbar unter <https://www.revosax.sachsen.de/vorschrift/18058-Saechsisches-Kreislaufwirtschafts-und-Bodenschutzgesetz>, zuletzt geprüft am 25.11.2025.
- SMS (2024): Sächsisches Gesundheitsdienstgesetz. SächsGVBl. Fundstelle: Sächsisches Staatsministerium für Soziales, Gesundheit und Gesellschaftlichen Zusammenhalt. 11.09.2024. Online verfügbar unter <https://www.revosax.sachsen.de/vorschrift/3348-SaechsGDG>, zuletzt geprüft am 25.11.2025.
- TLUBN (Hg.) (2009): Altlastenleitfaden, Teil II. Erkundung und Untersuchung von altlastenverdächtigen Flächen. 2. Aufl. Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie. Online verfügbar unter https://umwelt.thueringen.de/fileadmin/001_TMUEN/Unsere_Themen/Boden_Wasser_Luft_Laerm/Bodenschutz/altlastenleitfaden_ii_oktober_2009.pdf, zuletzt geprüft am 25.11.2025.
- UBA (1999): Berechnung von Prüfwerten zur Bewertung von Altlasten. Ableitung und Berechnung von Prüfwerten der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung für den Wirkungspfad Boden - Mensch aufgrund der Bekanntmachung der Ableitungsmethoden und -maßstäbe im Bundesanzeiger Nr. 161 a vom 28. August 1999. Berlin: Erich Schmitt Verlag GmbH Co. (Bodenschutz).
- UBA (Hg.) (2011): Arbeitshilfe zur Expositionsabschätzung und Risikoanalyse an kontaminierten Standorten. Endbericht zum Arbeitspaket 2 des Projektes "Altlastenmanagement 2010" (Neuausrichtung der Beurteilung und Sanierung von kontaminierten Standorten). Umweltbundesamt. Wien (Perspektiven für Umwelt & Gesellschaft, REP-0351). Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/REP0351.pdf>, zuletzt geprüft am 25.11.2025.

UBA (2017): MKW-kontaminierte Standorte. Erkundung, Beurteilung und Sanierung: technische Arbeitshilfe. Wien: Umweltbundesamt (Report / Umweltbundesamt, 0594). Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/rep0594.pdf>, zuletzt geprüft am 25.11.2025.

VDI 2100 BLATT 2, 2010-11: Messen gasförmiger Verbindungen in der Außenluft - Messen von Innenraumlufthverunreinigungen - Gaschromatografische Bestimmung organischer Verbindungen - Aktive Probenahme durch Anreicherung auf Aktivkohle - Lösemittlextraktion.

VDI 2100 BLATT 3, 2011-10: Messen gasförmiger Verbindungen in der Außenluft - Messen von Innenraumlufthverunreinigungen - Gaschromatografische Bestimmung organischer Verbindungen - Aktive Probenahme durch Anreicherung auf Adsorbenzien - Thermodesorption.

VDI 2464 BLATT 1, 2009-09: Messen von Immissionen - Messen von Innenraumlufth - Messen von polychlorierten Biphenylen (PCB) - GC/MS-Verfahren für PCB 28, 52, 101,138, 153, 180.

VDI 2464 BLATT 2, 2009-09: Messen von Immissionen - Messen von Innenraumlufth - Messen von polychlorierten Biphenylen (PCB) - HR-GC/HR-MS-Verfahren für coplanare PCB.

VDI 2464 BLATT 3, 2012-07: Messen von Immissionen - Messen von Innenraumlufth - Messen von polybromierten Diphenylethern, Hexabromcyclododecan und Hexabrombenzol mit GC/MS.

VDI 2464 BLATT 4, 2019-07: Messen von Immissionen - Messen von Außen- und Innenraumlufth - Messen von schwerflüchtigen und persistenten halogenorganischen Verbindungen (POP) mit GC-HRMS.

VDI 2464 BLATT 4 BERICHTIGUNG, 2020-03: Messen von Immissionen - Messen von Außen- und Innenraumlufth - Messen von schwerflüchtigen und persistenten halogenorganischen Verbindungen (POP) mit GC-HRMS - Berichtigung zur Richtlinie VDI 2464 Blatt 4:2019-07.

VDI 3860 BLATT 4, 2012-06: Messen von Deponiegasen - Messungen im Untergrund.

VDI 3865 BLATT 1, 2005-06: Messen organischer Bodenverunreinigungen - Messplanung für die Untersuchung der Bodenluft auf leichtflüchtige organische Verbindungen.

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

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

VDI 4300 BLATT 1, 2024-01: Messen von Innenraumlufthverunreinigungen - Allgemeine Aspekte der Messstrategie.

- VDI 4301 BLATT 1, 1997-12: Messen von Innenraumlufthverunreinigungen - Messen der Stickstoffdioxidkonzentration - Manuelles photometrisches Verfahren (Saltzman).
- VDI 4301 BLATT 2, 2022-03: Messen von Innenraumlufthverunreinigungen - Messen von Pentachlorphenol (PCP) und γ -Hexachlorcyclohexan (γ -HCH) - GC/MS- und GC/ECD-Verfahren Stickstoffdioxidkonzentration - Manuelles photometrisches Verfahren (Saltzman).
- VDI 4301 BLATT 4, 2016-05: Messen von Innenraumlufthverunreinigungen - Messen von Pyrethroiden und Piperonylbutoxid in Luft.
- VDI 4301 BLATT 5, 2009-04: Messen von Innenraumlufthverunreinigungen - Messen von Flammenschutzmitteln und Weichmachern auf Basis phosphororganischer Verbindungen - Phosphorsäureester.
- VDI 4301 BLATT 6, 2012-09: Messen von Innenraumlufthverunreinigungen - Messen von Phthalaten mit GC/MS.
- VDI 4301 BLATT 7, 2018-10: Messen von Innenraumlufthverunreinigungen - Messen von Carbonsäuren.
- WHO (2000): Air quality guidelines for Europe. 2nd ed. Copenhagen: World Health Organization Regional Office for Europe (WHO regional publications. European series, no. 91). Online verfügbar unter <https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/7107999d-7e53-47aa-90e8-bb1d162ff46e/content>, zuletzt geprüft am 25.11.2025.

9 Anhänge

A 1 Probennahmeprotokoll für Bodenluftproben

Projekt (Auftraggeber)

Projektname: Projektnummer:
Standortadresse (PLZ, Ort) Standortadresse (Straße, Nr.)
Projektleiter: Telefon:

Probennahmedatum, Probennahmestelle

Probennahmedatum Uhrzeit:
Gemeinde: Bezeichnung Messstelle:
Lagekoordinaten (Rechts/Hoch) (vom AG auszufüllen): Rechts: Hoch:
Lage-Koordinatensystem (vom AG auszufüllen):

Ausbau von stationären Messstellen (von AG auszufüllen):

☐ überflur ☐ unterflur

Bohrloch (Probennahmestelle nach Probennahme

☐ Oberfläche wiederhergestellt

☐ verschlossen

☐ verfüllt

Oberflächenversiegelung: ☐ ohne

☐ Asphalt

☐ Beton

☐

Art der Probennahmestelle

☐ Gasbrunnen

☐ Temporäre MS

☐ Stationäre MS

Ausbau mit Filterrohr:

☐ Gasbrunnen

☐ Ja

☐ Nein

Durchmesser Filterrohr: mm

Bohrlochdurchmesser: mm

Bohrlochdurchtiefe: m

Art der Bohrlochabdichtung:

Entnahmetiefe (von - bis): m

Dichtigkeitsprüfung der Entnahmesonde

☐ Ja

☐ Nein

Grundwasser in der Messstelle festgestellt

☐ Ja

Wenn ja, m u. GOK:

☐ Nein

Meteorologische Daten

Witterung:
Temperatur Außenluft: °C Relative Luftfeuchte (außen) %
Luftdruck (Start Kampagne) hPa Luftdruck (Ende Kampagne) hPa

Probennahme

Kennzeichnung der Probe: Unterdruck Vorabsaugung mbar
Temperatur Bodenluft: °C Relative Feuchte Bodenluft %
Dauer der Vorabsaugung: min Absaugrate (Vorabsaugung): L/min
Probennahmenvolumen: Ltr Absaugrate (Probennahme): L/min
Vor-Ort-Messung: siehe Rückseite Unterdruck Probennahme mbar

Probenart: ☐ Aktivkohle ☐ Tenax ☐ Headspace ☐

Bemerkungen:
.....

Probennehmer (Name) Probennehmer (Firma)

Probennehmer (Unterschrift)

Analyselabor

Art des Transports ins Labor: ☐ gekühlt ☐ ungekühlt ☐ dunkel

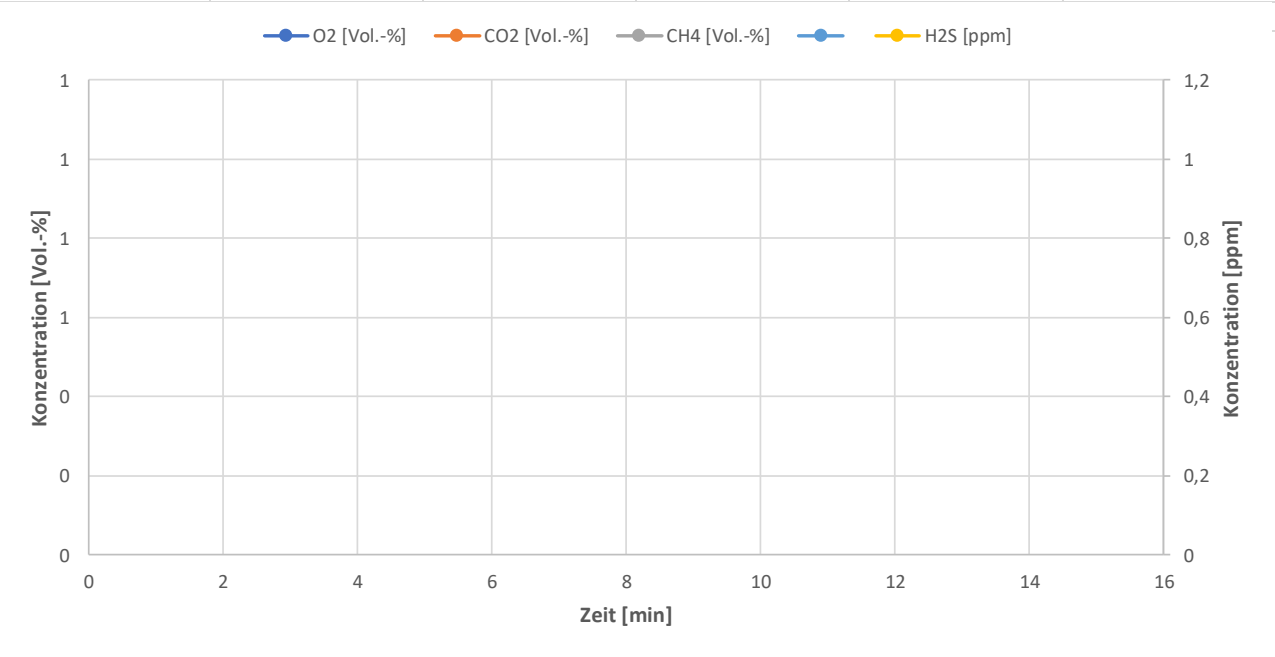
Probenankunft (Datum) Probenankunft (Uhrzeit)

Labor (Name): Unterschrift (Labor):

Bemerkungen zur Probennahme:

Vor-Ort-Messungen (Verlauf der Gaskonzentrationen) (Aufzeichnung: minütlich)

Zeit [min]	O ₂ [Vol.-%]	CO ₂ [Vol.-%]	CH ₄ [Vol.-%]	H ₂ S [ppm]	
0					
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					



A 2 Übersicht bundesweit anerkannter Arbeitshilfen (Teil A), landesspezifisch fachlicher Empfehlungen (Teil B und C) und technischer Regelwerke (Teil D)

Als Hilfestellung für die praktische Umsetzung der gesetzlichen Bestimmungen zur Altlastenbearbeitung (Kapitel 2) haben Bund und Länder eine Vielzahl von Richtlinien, Arbeitsmaterialien und u. ä. veröffentlicht. Die folgenden Tabellen geben einen Überblick über wichtige fachliche Empfehlungen und technische Regelwerke zum Schutzgut Luft in der Altlastenbearbeitung ohne Anspruch auf Vollständigkeit.

Teil A: Länderübergreifende Regelwerke

Quelle	Bezugsmöglichkeiten (Stand 11/2025)	Inhalt
IRK/AOLG 2012: Richtwerte für die Innenraumluft: erste Fortschreibung des Basisschemas, Mitteilung der Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der Kommission Innenraumlufthygiene und der Obersten Landesgesundheitsbehörden, Bekanntmachung des Umweltbundesamtes, In: Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz 55, 279 - 290.	https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/377/dokumente/basisschema_2012.pdf	Fortschreibung des Basisschemas für RW I und II, Datengrundlagen und Auswahl der Extrapolationsfaktoren
IRK/AOLG 2014: Ermittlung und Beurteilung chemischer Verunreinigungen der Luft von Innenraumarbeitsplätzen (ohne Tätigkeit mit Gefahrstoffen), Gemeinsame Mitteilung der Arbeitsgruppe Luftanalysen der Ständigen Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der Deutschen Forschungsgemeinschaft und der Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der Kommission Innenraumlufthygiene und der Obersten Landesgesundheitsbehörden, Bundesgesundheitsblatt, 57, 1002 - 1018.	https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/dokumente/2014-08_innenraumarbeitspl.pdf	Detaillierte Angaben zu Methoden, Definitionen, Messstrategie, Messverfahren, Beurteilungswerte und Checkliste zur Vorermittlung einer Messung an Innenraumarbeitsplätzen
AIR 2015: Gesundheitliche Bewertung krebserzeugender Verunreinigungen der Innenraumluft – erste Ergänzung zum Basisschema, Mitteilung des Ausschusses für Innenraumrichtwerte, Bekanntmachung des Umweltbundesamtes, In: Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz 58, 769 - 773.:	https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s00103-015-2175-9.pdf	Ergänzung zum Basisschema mit Stoffauswahl, Anforderungen an Daten zur Risikobewertung und gesundheitliche Bewertung des Risikos durch krebserzeugende Stoffe der Innenraumluft

Quelle	Bezugsmöglichkeiten (Stand 11/2025)	Inhalt
LABO 2002: Arbeitshilfe für die Qualitätssicherung bei der Altlastenbearbeitung; Kapitel 2: Gewinnung von Boden-, Bodenluft- und Grundwasserproben. Bund-/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz.	https://www.labo-deutschland.de/documents/labo-arbeitshilfe-qualitaetssicherung-12-12-2002_d4c.pdf	Empfehlung zur fachtechnisch richtigen Entnahme von Boden- und Bodenluftproben, chemische Analytik
LABO 2017: Bewertung von Mineralölkohlenwasserstoffen (MKW) bezüglich des Wirkungspfad des Boden-Mensch bei einer potentiellen Belastung für Boden, Bodenluft und Innenraumluft. Eine LABO-Hilfestellung für den Vollzug. Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz. Kiel.	https://www.labo-deutschland.de/documents/LABO_MKW-Bewertung_2017_12.pdf	Ableitung von Boden-Prüfwerten (Wohngebiete, Industrie) für versch. MKW-Siedefraktionen, Prüfwertüberschreitungen indizieren Notwendigkeit für Innenraumluftmessungen, methodische Vorgaben zur Bestimmung der versch. MKW-Siedefraktionen
LABO 2012: Notifizierung und Kompetenznachweis von Untersuchungsstellen im bodenschutzrechtlich geregelten Umweltbereich. Fachmodul Boden und Altlasten. Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz.	https://www.labo-deutschland.de/documents/2_Anlage_Fachmodul__Boden-Altlasten_f06.pdf	Mindestanforderungen an die Untersuchungsstellen bei der Boden- und Bodenluft-Probennahme, Qualitätssicherung
IRK, ALOG 2007: Beurteilung von Innenraumluftkontaminationen mittels Referenz- und Richtwerten. Handreichung der Ad-hoc-Arbeitsgruppe der Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden. Bundesgesundheitsblatt, Gesundheitsforschung, Gesundheitsschutz. 7. 990–1005.	http://www.innenraumanalytik.at/pdfs/handreichung.pdf	Werte zur Beurteilung der Innenraumluftqualität (RW I; RW II), Basisschema zur Ableitung von Richtwerten für die Innenraumluft, Hygienische Bewertung anhand des TVOC-Konzeptes
LABO 2023: Arbeitshilfe zur Expositionsabschätzung in der Detailuntersuchung - Wirkungspfad Boden-Mensch, Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze-Mensch. Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz.	https://www.labo-deutschland.de/documents/2023-12-29_AH_Exposabsch_Aufl_2-0.pdf	Detaillierte Angaben zur Expositionsabschätzung in der DU, u. a. Wirkungspfad Luft mit Vorgehensweise, Standortcharakterisierung, Ermittlung der Wirkungspfade, Expositionsbedingungen und Gebäudezustand

Quelle	Bezugsmöglichkeiten (Stand 11/2025)	Inhalt
LABO 2008: Bewertungsgrundlagen für Schadstoffe in Altlasten, Informationsblatt für den Vollzug. Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz.	https://www.labo-deutschland.de/documents/34_Infoblatt_Altlasten_01092008_e69_34f.pdf	Orientierende Hinweise für flüchtige Stoffe, Bodenfeststoffwerte, Orientierende Hinweise für flüchtige Stoffe, Bewertungshinweise für Schadstoffkonzentrationen in der Bodenluft bezüglich einer Anreicherung in der Innenraumluft (Szenario „Wohngebiete“)
UBA 1999: Berechnung von Prüfwerten zur Bewertung von Altlasten. Ableitung und Berechnung von Prüfwerten der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung für den Wirkungspfad Boden - Mensch aufgrund der Bekanntmachung der Ableitungsmethoden und -maßstäbe im Bundesanzeiger Nr. 161 a vom 28. August 1999. Umweltbundesamt.	Erich Schmidt Verlag, Berlin	Ableitung und Berechnung von Prüfwerten der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung für den Wirkungspfad Boden-Mensch aufgrund der Bekanntmachung der Ableitungsmethoden und -maßstäbe im Bundesanzeiger Nr. 161a vom 28. August 1999
LABO 2023: Arbeitshilfe zur Expositionsabschätzung in der Detailuntersuchung für den Wirkungspfad Boden-Mensch. Boden-Mensch/Direktkontakt, Boden-Bodenluft-Mensch, Boden-Nutzpflanze-Mensch, Boden-(Futterpflanze-)Nutztier-Mensch. Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz.	https://www.labo-deutschland.de/documents/2023-12-29_AH_Exposabsch_Aufl_2-0.pdf	Detaillierte Darstellung der Methoden zur Expositionsabschätzung in der DU, Ermittlung von Mobilität und Verfügbarkeit von Schadstoffen im Boden sowie standortspezifischen Nutzungsbedingungen.

Teil B: Fachliche Empfehlungen des Freistaates Sachsen

Quelle	Bezugsmöglichkeiten (Stand 11/2025)	Inhalt
LfULG 2003: Handbuch zur Altlastenbehandlung. Teil 7 - Detailuntersuchung. Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie.	https://www.boden.sachsen.de/download/Handbuch_ges_Internet_Januar2014.pdf	Methodischer Leitfaden für die Durchführung der Detailuntersuchung
LfULG 2025a: Bewertungshilfen. Zur Gefahrenbewertung bei Verdacht einer Altlast oder schädlichen Bodenveränderung. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. Dresden.	https://www.boden.sachsen.de/download/Endversion_Bewertungshilfen_120625.pdf	Verbindlich geregelte Prüf- oder Maßnahmenwerten sowie Orientierungswerte mit empfehlendem Charakter für verschiedene Wirkungspfade, auch Boden – Mensch für die Untersuchungsstufen OU und DU

Teil C: Fachliche Empfehlungen anderer Bundesländer

Quelle	Bezugsmöglichkeiten (Stand 11/2025)	Inhalt
Baden-Württemberg		
LUBW 2001a: Handlungsempfehlung Durchführung von Deponiegasmessungen bei Altablagerungen. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg. Karlsruhe.	https://pudi.lubw.de/detailseite/-/publication/32484	Deponiegashaushalt, Typisierung von Deponien, Gasproduktion, Gasprognose, Gefährdungsabschätzung, Raumlufmessungen, Gasanalytik, Methan, Explosionsgefahr
LUBW 2001b: Handlungsempfehlung Entnahme von Bodenluftproben. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg. Karlsruhe.	https://pudi.lubw.de/detailseite/-/publication/26324	Empfehlung zur fachtechnisch richtigen Entnahme von Bodenluftproben
Bayern		
LfU 2023: Merkblatt Nr. 3.8/4. Probenahme von Boden und Bodenluft bei Altlasten und schädlichen Bodenveränderungen. Bayerisches Landesamt für Umwelt. Augsburg.	https://www.stmuv.bayern.de/themen/boden/vollzug/doc/lfu_merkblatt_3.8_4.pdf	Empfehlung zur fachtechnisch richtigen Entnahme von Boden- und Bodenluftproben

Quelle	Bezugsmöglichkeiten (Stand 11/2025)	Inhalt
Brandenburg		
LUGV 2010: Fachinformation des Landesamtes für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz - Altlastenbearbeitung im Land Brandenburg Nr. 18. Qualitätssicherungsmaßnahmen bei innovativen direkten/ indirekten Probennahmeverfahren für Boden, Grund-, Sickerwasser, Schadstoffphase und Bodenluft im Rahmen der Altlastenbearbeitung. Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg. Potsdam.	https://mleuv.brandenburg.de/cms/media.php/lbm1.a.2334.de/labno_nr18.pdf	Literaturübersicht zur Innovative Beprobung der Bodenluft mittels (1) chemischer in-situ-Analytik (z. B. Meta-Methode), (2) Passivsammlern, (3) Neumayer-Methode, (4) Multilevel-Beprobung und (5) Direct-Push
Hamburg		
BUKEA 2023: Merkblatt Nr. 9. Entnahme von Bodenluft- und Deponiegasproben. Freie und Hansestadt Hamburg Behörde für Umwelt, Klima, Energie und Agrarwirtschaft. Hamburg.	https://www.hamburg.de/resource/blob/176136/1a8083cb756d6304d6fd0b98ca4686fa/d-merkblatt-09-data.pdf	Empfehlung zur fachtechnisch richtigen Entnahme von Bodenluft- und Deponiegasproben
Hessen		
HLUG 2014: Untersuchung von altlastverdächtigen Flächen und Schadensfällen. Bd. 3, Teil 2. 2., überarb. Aufl. ARCADIS Consult GmbH; Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie. Hess. Landesamt für Umwelt und Geologie. Wiesbaden.	https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/altlasten/handbuch/Handbuch_Bd3_Teil2_2te_Auflage_2014_.pdf	Detaillierte Darstellung von Untersuchungsmethoden, u. a. zur Erkundung von Boden-, Bodenluft und Innenraumluft
Nordrhein-Westfalen		
LUA 2002: Materialien Nr. 62. Toxikologische Bewertung polychlorierter Biphenyle (PCB) bei inhalativer Aufnahme. Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen. Essen.	https://www.lanuk.nrw.de/fileadmin/lanuvpubl/0_lua/lua/mat62.pdf	Detaillierten Betrachtung unterschiedlicher Expositionsszenarien in Innenräumen in verschiedenen Gebäudetypen (nur PCB-spezifisch), Beurteilung von inhalativ aufgenommenen PCB, TRD-Wert, Toxizität von Kongenerenmischungen, Hintergrundwerte

Quelle	Bezugsmöglichkeiten (Stand 11/2025)	Inhalt
Rheinland-Pfalz		
LfU 2011: Bodenschutz. ALEX-Informationsblatt 15. Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz. Mainz.	https://mkuem.rlp.de/fileadmin/14/Themen/Abfall_und_Boden/Bodenschutz/ALEX_Arbeitshilfen/ALEX_Merkblatt_15_2010_Stand_01.2016.pdf	Untersuchungsstrategie zur Erkundung von Altablagerungen, u. a. Wirkungspfad Bodenluft, Deponiegas - Mensch
Schleswig-Holstein		
LLUR 2009: Hinweise zur Bearbeitung von Standorten ehemaliger Chemischer Reinigungen. Erstbewertung, Historische Erkundung, Orientierende Untersuchung. Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein. Flintbek.	https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/B/boden/Downloads/Arbeitshilfe_CR.pdf?__blob=publicationFile&v=1	Wirkungspfade, Hinweise zur Untersuchung der Bodenluft, Gleichgewichtsbetrachtung von Schadstoffen in der Bodenluft und in der Bodenlösung
Thüringen		
TLUBN 2009: Altlastenleitfaden, Teil II. Erkundung und Untersuchung von altlastenverdächtigen Flächen. 2. Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie.	https://tlubn.thueringen.de/fileadmin/000_TLUBN/Service/download/Geologie_Boden_Altlasten/altlastenleitfaden_ii_oktober_2009.pdf	Probennahmestrategie Deponiegas und Bodenluft, Orientierungshilfe für die Anzahl der Beprobungspunkte für Bodenluft/Deponiegasuntersuchungen, Besonderheiten bei der Probennahme, Direktverfahren vs. Anreicherungsverfahren, Beprobung von Staub

Teil D: Technische Regelwerke

Quelle	Bezugsmöglichkeiten (Stand 11/2025)	Inhalt
DIN EN ISO 16000-1:2006-06: Innenraumluftverunreinigungen - Teil 1: Allgemeine Aspekte der Probenahmestrategie (ISO 16000-1:2004). 13.040.20. Deutsches Institut für Normung e.V.	Beuth-Verlag, Berlin	Probennahmestrategie Innenraumluft- und Außenluftmessungen

Quelle	Bezugsmöglichkeiten (Stand 11/2025)	Inhalt
DIN EN ISO 16000-5:2007-05: Innenraumluftverunreinigungen - Teil 5: Probenahme-strategie für flüchtige organische Verbindungen (VOC) (ISO 16000-5:2007). 13.040.20. Deutsches Institut für Normung e.V.	Beuth-Verlag, Berlin	Probennahmestrategie für flüchtige organische Verbindungen in Innenräumen
DIN ISO 16000-6:2022-03: Innenraumluftverunreinigungen - Teil 6: Bestimmung organischer Verbindungen (VVOC, VOC, SVOC) in Innenraum- und Prüfkammerluft durch aktive Probenahme auf Adsorptionsröhrchen, thermischer Desorption und Gaschromatographie mit MS oder MS-FID (ISO 16000-6:2021). 13.040.20. Deutsches Institut für Normung e.V.	Beuth-Verlag, Berlin	Allgemeine und stoffspezifische Aspekte für die Messplanung, Messverfahren für einzelne Stoffe bzw. Stoffgruppen im Innenraumluftbereich
DIN EN ISO 16017-1:2001-10: Innenraumluft, Außenluft und Luft am Arbeitsplatz – Probenahme und Analyse flüchtiger organischer Verbindungen durch Sorptionsröhrchen/thermische Desorption/Kapillar-Gaschromatographie - Teil 1: Probenahme mit einer Pumpe (ISO 16017-1:2000). 13.040.01. Deutsches Institut für Normung e.V.	Beuth-Verlag, Berlin	Allgemeine Hinweise für die Probenahme und Analyse flüchtiger organischer Verbindungen (VOC) in der Luft
DIN EN ISO 16017-2:2003-09: Innenraumluft, Außenluft und Luft am Arbeitsplatz - Probenahme und Analyse flüchtiger organischer Verbindungen durch Sorptionsröhrchen/thermische Desorption/Kapillar-Gaschromatographie - Teil 2: Probenahme mit Passivsammlern (ISO 16017-2:2003). 13.040.01. DIN Deutsches Institut für Normung e.V.	Beuth-Verlag, Berlin	Allgemeine Hinweise für die Probenahme und Analyse von VOC in der Innenraumluft und Luft am Arbeitsplatz, Diskussion unterschiedlicher Sorbentien
DIN ISO 18400-102:2020-11: Bodenbeschaffenheit - Probenahme - Teil 102: Auswahl und Anwendung von Probenahmetechniken (ISO 18400-102:2017). 13.080.05. DIN Deutsches Institut für Normung e.V.	Beuth-Verlag, Berlin	Anleitungen für Techniken, die zur Entnahme von Bodenproben eingesetzt werden

Quelle	Bezugsmöglichkeiten (Stand 11/2025)	Inhalt
DIN EN ISO 22475-1: 2022-02: Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Probenentnahmeverfahren und Grundwassermessungen – Teil 1: Technische Grundlagen für die Probenentnahme von Boden, Fels und Grundwasser (ISO 22475-1:2021). 93.020. DIN Deutsches Institut für Normung e.V.	Beuth-Verlag, Berlin	Grundlagen für die Entnahme von u. a. Bodenproben
TRGS 2024: Ermitteln und Beurteilen der Gefährdungen bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen: Inhalative Exposition TRGS 402. Technische Regeln für Gefahrstoffe. Ausschuss für Gefahrstoffe. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, BAUA.	https://www.baua.de/DE/Angebote/Regelwerk/TRGS/TRGS-402	Technische Regeln zum Arbeitsschutz
TRGS 2025: Arbeitsplatzgrenzwerte. TRGS 900. Technische Regeln für Gefahrstoffe. Ausschuss für Gefahrstoffe. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, BAUA.	https://www.baua.de/DE/Angebote/Regelwerk/TRGS/TRGS-900	Technische Regel für Gefahrstoffe mit Arbeitsplatzgrenzwerten zur Gefahrstoffverordnung (GefStoffV)
TRGS 2025: Risikobezogenes Maßnahmenkonzept für Tätigkeiten mit krebserzeugenden Gefahrstoffen. TRGS 910. Technische Regeln für Gefahrstoffe. Ausschuss für Gefahrstoffe. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, BAUA.	https://www.baua.de/DE/Angebote/Regelwerk/TRGS/TRGS-910	Maßnahmen zum Gesundheits- und Arbeitsschutz von Beschäftigten, die mit krebserzeugenden Gefahrstoffen arbeiten
VDI 2100 Blatt 2: 2010-11: Messen gasförmiger Verbindungen in der Außenluft - Messen von Innenraumluftverunreinigungen - Gaschromatografische Bestimmung organischer Verbindungen - Aktive Probenahme durch Anreicherung auf Aktivkohle - Lösemittelextraktion. 13.040.20. Verein Deutscher Ingenieure e.V.	Beuth-Verlag, Berlin	Messverfahren zur Bestimmung von halogenierten und nicht halogenierten Kohlenwasserstoffen in Luft

Quelle	Bezugsmöglichkeiten (Stand 11/2025)	Inhalt
VDI 2100 Blatt 3: 2011-10: Messen gasförmiger Verbindungen in der Außenluft - Messen von Innenraumluftverunreinigungen - Gaschromatografische Bestimmung organischer Verbindungen - Aktive Probenahme durch Anreicherung auf Adsorbentien - Thermodesorption. 13.040.20. Verein Deutscher Ingenieure e.V.	Beuth-Verlag, Berlin	Beschreibungen der selektiven Messung von Immissionen organischer Verbindungen mit gaschromatografischen Methoden, anreichernde Probennahme auf polymeren organischen Sorbentien oder Molekularsieben, Vorgehen bei der Probennahme, der Probenaufgabe und chromatografischen Trennung
VDI 3865 Blatt 1: 2005-06: Messen organischer Bodenverunreinigungen - Messplanung für die Untersuchung der Bodenluft auf leichtflüchtige organische Verbindungen. 13.080.10. Verein Deutscher Ingenieure e.V.	Beuth-Verlag, Berlin	Hinweise zur Messplanung und -strategie bei Bodenluftuntersuchungen
VDI 3865 Blatt 2: 1998-01: Messen organischer Bodenverunreinigungen - Techniken für die aktive Entnahme von Bodenluftproben. 13.080. Verein Deutscher Ingenieure e.V.	Beuth-Verlag, Berlin	Beschreibung für unterschiedliche Messaufgaben angepasste Bodenluftprobennahmeverfahren (aktive Entnahme von Bodenluftproben)
VDI 3865 Blatt 3: 1998-06: Messen organischer Bodenverunreinigungen - Gaschromatographische Bestimmung von niedrigsiedenden organischen Verbindungen in Bodenluft nach Anreicherung an Aktivkohle oder XAD-4 und Desorption mit organischem Lösungsmittel. 13.080. Verein Deutscher Ingenieure e.V.	Beuth-Verlag, Berlin	Detaillierte Angaben zur Durchführung von Bodenluftuntersuchungen
VDI 4300 Blatt 1: 2024-01: Messen von Innenraumluftverunreinigungen - Allgemeine Aspekte der Messstrategie. 13.040.01. Verein Deutscher Ingenieure e.V.	Beuth-Verlag, Berlin	Hilfestellung zur Planung und Durchführung von Innenraummessungen, Erfassung der Immissionssituation

A 3 Fallbeispiele aus der Praxis

Projektbeispiel 1: Standort zur Oberflächenveredlung

An dem industriellen Standort wurden früher Mittel zur Oberflächenveredlung von Metallen hergestellt. Derzeit wird das Grundstück nur lokal begrenzt genutzt und liegt mehr oder weniger brach. Aufgrund des hohen Gefährdungspotentials dieser Industriebranche wurde eine HE durchgeführt

Im Rahmen einer HE für die ca. 7.500 m² große Fläche wurden 6 Altlasten-Verdachtsflächen (AVF) ermittelt, in denen mit Schadstoffen (Tetrachlormethan, Trichlorethen, Mineralölkohlenwasserstoffe (MKW)) in größeren Mengen und über längere Zeit umgegangen wurde. Zu den AVF zählten u. a. Betriebswassersickergruben, ein Freilager, Lager für gebrauchte und regenerierte Entfettungsmittel und ein Standort für Mineralöltanks. Aufgrund des Umgangs mit größeren Mengen leichtflüchtiger chlorierter Kohlenwasserstoffe (LHKW) bestand ein Anfangsverdacht für das Eindringen von LHKW in die zwischenzeitlich neu errichtete Wohnbebauung.

Diese 6 AVF wurden im Rahmen einer orientierenden Untersuchung mittels Boden- und Bodenluftuntersuchungen überprüft. An 3 von 9 Aufschlusspunkten wurden signifikante LHKW-Konzentrationen im Boden gemessen (7 - 101 mg/kg). Dies betraf die beiden Altlastenverdachtsflächen Freilager (Fläche: 500 m²) und Lager für gebrauchte und regenerierte Entfettungsmittel (Fläche: 320 m²). Vermutlich basierend auf Umfüllverlusten und dokumentierten Leckagen an defekten Fässern, wurden erhebliche Belastungen im Boden und in der Bodenluft auf beiden Flächen mit leichtflüchtigen chlorierten Kohlenwasserstoffen (LHKW) verursacht. MKW und auch BTEX spielen an diesen Standorten eine untergeordnete Rolle.

Hauptkomponente der LHKW war Tetrachlormethan, insbesondere in der Bodenluft machte Tetrachlormethan mehr als 90 % der LHKW aus. Darüber hinaus waren im Boden und Grundwasser Trichlormethan und Trichlorethen in höheren Anteilen nachweisbar. Tetrachlorethen war nur untergeordnet nachweisbar, die Abbauprodukte der Chlorethene spielten keine Rolle.

Aufgrund der Höhe der LHKW-Belastungen (Boden: max. 101 mg/kg, Bodenluft: max. 7.400 mg/m³) konnte eine Gefahr für die öffentliche Ordnung und Sicherheit nicht ausgeschlossen werden. Es wurde auf dieser Grundlage das Erfordernis von Sanierungsmaßnahmen abgeleitet. Zudem wurde angenommen, dass von einer grundstücksübergreifenden Belastung auszugehen sei und der Verdacht bestehe, dass sich die LHKW in der Bodenluft bis zu dem direkt angrenzenden Wohngebiet (ca. 30 m Entfernung) ausgebreitet haben. Ein Eindringen in Innenräume könnte Gefahren für die Gesundheit der Anwohner verursachen. Damit bestand die Notwendigkeit, die Kellerräume der angrenzenden Wohnbebauung zu untersuchen, um den Pfad Bodenluft → Innenraumluft bewerten zu können. Damit sollte festgestellt werden, ob eine akute Gefahrensituation besteht.

Während der folgenden DU wurde die Schadstoffbelastung im Boden, der Bodenluft und dem Grundwasser abgegrenzt sowie eine Auswahl von möglicherweise betroffenen Wohngebäuden untersucht. Die gering bis gut durchlässige, aus schluffigen Sanden mit eingelagerten Tonlinsen bestehende ungesättigte Bodenzone wies eine große Mächtigkeit (ca. 10 m) auf, so dass das vorhandene Schadstoffpotential als hoch zu bewerten war. Bestätigt wurde dieser Sachverhalt durch später durchgeführte Direct-Push- (MIP) Untersuchungen.

Ausgehend vom Eintragsgrundstück hat sich eine LHKW-Fahne im oberflächennahen Grundwasser mit bis zu 6.000 µg/L LHKW in Richtung der Wohnbebauung entwickelt. Diese könnte wiederum als Schadstoffquelle für die Verfrachtung der LHKW über die Bodenluft in die Innenraumluft dienen. Die LHKW-Konzentrationen in der Bodenluft unterlagen im Bereich der Schadstofffahne jedoch starken Schwankungen.

Innenraumluftuntersuchungen wurden u. a. in einem Vorratsraum im Keller durchgeführt (aktive Probenahme: 100 min, 1 L/min, Sorption auf Aktivkohle). Dieser Raum lag in der Gebäudemitte und hatte weder Außenwände noch eine natürliche Belüftung. Die Gründungssohle befand sich ca. 3 m unter Geländeniveau. Auf Grund der fehlenden Außenwände ist nur ein Eintrag über die Bodenplatte möglich.

Zur Bewertung der Ergebnisse der Innenraumluftuntersuchungen wurde ein Bausachverständiger hinzugezogen. Unter der Bodenplatte war eine Noppenfolie ausgelegt und die Bodenplatte wurde als wasserundurchlässiger Beton (sogenannter WU-Beton) ausgeführt. Beim WU-Beton wird die Dichtigkeit gegenüber Wasser durch einen hohen Wassereindringwiderstand erzielt. Der WU-Beton weist somit keinen vom üblichen Beton abweichenden Dampfdiffusionswiderstand auf.

In diesem Vorratsraum wurden zuletzt 73 µg/m³ Tetrachlormethan, 21 µg/m³ Trichlorethen und 2 µg/m³ Tetrachlorethen gemessen. Tetrachlormethan überschreitet damit deutlich und Trichlorethen geringfügig den gefahrenbezogenen Innenraumluftwert (C_a), die Konzentration von Tetrachlorethen ist vernachlässigbar. Damit ergibt sich die Notwendigkeit von weiteren Maßnahmen (Sanierungsuntersuchung, Sanierung).

Auf der Stufe der OU wurde eine Bewertung nach DEBA vorgenommen.

Wirkungspfad Luft (DEBA-Bewertung): Stufe OU

I. Ausgangsrisiko	
Gefährdungspotential der Branche(n) in der Regel: Stoffgefährlichkeit in der Regel: Bewertung des Ausgangsrisikos: Begründung: Möglichkeiten der Ausbreitung gasförmiger Schadstoffe:	<p>mittel (Oberflächenveredlung, Härtung) Gutachterliche Bewertung des Gefährdungspotentials der Branche(n): mittel</p> <p>gering (Trichlorethen), mittel (Tetrachlormethan) Gutachterliche Bewertung der Stoffgefährlichkeit (gesamt): mittel</p> <p>hoch</p> <p>Im Rahmen der OU wurden bereits LHKW-Konzentrationen im Boden und Bodenluft deutlich oberhalb der orientierenden Hinweise nach [LfULG 2025a] nachgewiesen.</p> <p>Fall 2: Entscheidend ist die seitliche Ausbreitung und danach die nach oben, das Schutzobjekt befindet sich neben der altlastverdächtigen Fläche.</p> <p>2 a) Innenraumluft: Als Schutzobjekt wird ein geschlossener Raum definiert, in dem sich der Mensch aufhält (z. B. Keller)</p>
II. Schadstoffaustrag	
Kontaminationsfläche: Austragsfläche⁴: Tiefe Dampfdruck: Oberflächenversiegelung/Sperrschicht oberhalb des Schadherdes Bewertung Schadstoffaustrag:	<p>➡ > 500 - 1.000 m²</p> <p>➡ > 500 - 1.000 m²</p> <p>➡ 5 - 10 m</p> <p>↗ hoch, Dampfdruck bei 25 °C > 1.000 Pa</p> <p>⬇ keine wirksame Oberflächenversiegelung über der altlastverdächtigen Fläche</p> <p>Bemerkung: Es kann angenommen werden, dass die vorhandene Bebauung nicht diffusionshemmend für leichtflüchtige Schadstoffe ist.</p> <p>hoch</p>
Begründung:	<p>Im Rahmen der OU wurden bereits LHKW-Konzentrationen im Boden und Bodenluft deutlich oberhalb der orientierenden Hinweise nachgewiesen. Eine Verfrachtung in Innenräume der benachbarten Bebauung war damit wahrscheinlich.</p>

⁴ Die Austragsfläche ist beim Wirkungspfad Luft die Teilfläche der Kontamination, die überbaut ist oder für eine Überbauung vorgesehen ist. Dabei spielt nicht die Ausdehnung des Schadensherdes, sondern Bereich der Belastung der Bodenluft die entscheidende Rolle.

III. Schadstofftransport im Boden bzw. Abdeckmaterial	
Transportweg: Transport über bevorzugte Ausbreitungswege: Durchlässigkeit: Sonstige Hinweise auf Schadstoffverhalten während der horizontalen oder vertikalen Ausbreitung im Boden bzw. in sonstigen Abdeckmaterial: Bewertung Schadstofftransport: Begründung:	<p>➔ 2 - 100 m</p> <p>➔ nicht auszuschließen, möglich</p> <p>➔ $10^{-8} \leq k_f \leq 10^{-4}$ m/s - durchlässig</p> <p>keine</p> <p>➔ hoch</p> <p>Die LHKW-Belastungen in der Bodenluft sind im Schadensherd sehr hoch, so dass eine weite laterale Ausbreitung bis in den Bereich der Wohnbebauung wahrscheinlich ist.</p>
IV. Schadstoffeintrag in die atmosphärische Luft (Innenraum bzw. Außenluft)	
Hindernisse beim Eintrag in die Luft: Verdünnungseffekte in der Luft: Bewertung Schadstoffeintrag in die Luft: Begründung:	<p>➔ wirksam - dichte Betonplatte</p> <p>➔ gering - Innenraumluft</p> <p>mittel</p> <p>Aufgrund der an den Schadensherdes vorliegenden Wohnbebauung ist ein Eindringen der leichtflüchtigen Schadstoffe in die Innenraumluft nicht auszuschließen.</p>
V. Nutzung und Bedeutung	
Vergl. Analysewerte: Vergl. Analysewerte OW BL: Nutzung Innenraumluft: Nutzung Außenluft: Geruch: Bewertung der Beeinträchtigungen von Nutzungen: Begründung:	<p>-</p> <p>➔ Überschreitung von orientierenden Hinweisen für die Bodenluft</p> <p>➔ täglich</p> <p>-</p> <p>-</p> <p>hoch</p> <p>Aufgrund der Überschreitung der orientierenden Hinweise besteht eine mögliche Gefährdung der menschlichen Gesundheit und es sind weitere Maßnahmen erforderlich</p>

VI. Gutachterliche Beurteilung Wirkungspfad Luft	
Gefährdungsverdacht:	hoch
Weiterbearbeitung erforderlich:	kurzfristig (< 4 Jahre)
Maßgeblicher Sachverhalt für das Erfordernis der Weiterbearbeitung:	Aufgrund der prognostizierten Überschreitung der Orientierungswerte für Innenraumluft besteht ein hinreichender Gefahrenverdacht bzgl. der menschlichen Gesundheit
Handlungsempfehlung:	E: Weitere Erkundung mit Detailuntersuchung
Begründung:	Der Altlastenverdacht hat sich in der OU bestätigt. Es liegen deutliche Überschreitungen der orientierenden Hinweise vor.
Priorität:	1 in der Regel, wenn: Gefahrenverdacht hoch; Weiterbearbeitung kurzfristig erforderlich; Handlungsempfehlung E
Begründung:	s. o.

Projektbeispiel 2: Ehemalige chemische Reinigung

Historische Erkundung (HE). Der Standort einer ehemaligen chemischen Reinigung (Betriebszeit: 1975 – 1990, Gesamtfläche: 12.400 m²) wurde im Rahmen einer HE aufgrund des Umgangs mit leichtflüchtigen chlorierten Kohlenwasserstoffen (LHKW) in größeren Mengen und über längere Zeit als ein Altstandort mit einem hohen Gefährdungspotential bewertet. Der Anfangsverdacht einer Altlast und die Notwendigkeit einer orientierenden Untersuchung waren damit gegeben. Als Altlastenverdachtsflächen (AVF) hinsichtlich des Schadstoffeintrags wurden die chemische Reinigung selbst sowie ein Fasslager identifiziert. Aufgrund der noch vorhandenen Bebauung und der Intension, das Gebäude durch einen anderen Handwerksbetrieb weiter zu nutzen und weitere Teilflächen einer Wohnbebauung zuzuführen, bestand zudem der Verdacht, dass sich die LHKW in den Innenräumen angereichert haben. Im weiteren Umfeld liegen zudem Schul-, Sport- und Freizeiteinrichtungen.

Orientierende Untersuchung (OU). Bei der OU wurden im Bereich der beiden AVF jeweils 3 Kleinrammbohrungen (KRB) bis max. 6,00 m u. GOK niedergebracht und ausschließlich auf LHKW analysiert. Es wurden lokal im Boden und der Bodenluft hohe Konzentrationen der Einzelverbindungen cis-1,2-Dichlorethen, Trichlorethen und Tetrachlorethen über die gesamte Vertikale vorgefunden.

Der Bereich des ehem. Fassfreilagers war überwiegend mit Asphalt versiegelt, nur ein schmaler Randstreifen war als Grünstreifen gestaltet. Der Bereich der ehem. chemischen Reinigung war überbaut. Es lag die Nutzung „Industrie- und Gewerbegrundstück“ vor.

Im Bereich des ehem. Fassfreilagers war eine Belastung der Außenluft aufgrund der großen Verdünnung sowie der Nutzung als Parkfläche und Grünstreifen nicht relevant. Das Konzentrationsniveau im Boden und der Bodenluft lag jedoch deutlich über den Orientierungswerten für den Wirkungspfad Boden → Bodenluft → Innenraumluft.

Der Grundwasserflurabstand lag bei etwa 5,0 m u. GOK. Das Grundwasser strömt nach Westen zu dem in etwa 100 m Entfernung gelegenen Vorfluter.

Der Bodenaufbau wies unter einer ca. 3,0 m mächtigen sandigen Auffüllung eine etwa 1,6 m mächtige Auelehmschicht auf. Darunter steht bis in den Grundwasserleiter hinein ein Flusskies an.

Mit den Ergebnissen der orientierenden Untersuchung wurde das Vorliegen einer Altlast bestätigt und eine DU angeordnet.

Detailuntersuchung (DU). Bei der anschließenden, in 2 Stufen durchgeführten DU wurde das Grundwasser untersucht, 8 KRB bis 5 m u. GOK in den beiden AVF durchgeführt und Boden sowie Bodenluft (temporäre Messstellen) auf LHKW analysiert. Zudem wurden an 2 Stellen Raumluftproben entnommen. Zwei der Sondierungen wurden als stationäre Bodenluftmessstellen ausgebaut.

Im Bereich des ehem. Fasslagers wurden im Boden mit max. 3.650 mg LHKW/kg signifikante Überschreitungen der Orientierenden Hinweise für Bodenfeststoff festgestellt. Als Einzelkomponente dominiert Tetrachlorethen. Im Bereich der ehem. chemischen Reinigung wurden im Boden max. 765 mg LHKW/kg detektiert. Im Auelehm dominierte cis-1,2-Dichlorethen, im Auffüllungsbereich dagegen Tetrachlorethen und Trichlorethen. Durch die DU konnte die Belastung weitgehend auf ca. 150 m² (ehem. chemische Reinigung) und ca. 300 m² (ehem. Fasslager) eingegrenzt werden.

In der Innenraumluft konnte mit max. 440 µg/m³ Tetrachlorethen eine deutliche Überschreitung des für die Bewertung heranzuziehenden gefahrenbezogenen Innenraumluftwertes (C_a) festgestellt werden. Durch die Überschreitung des gefahrenbezogenen Innenraumluftwertes wird der dringende Gefahrenverdacht bestätigt, so dass weitere Maßnahmen erforderlich werden. Weitere LHKW-Einzelverbindungen lagen unterhalb der Bestimmungsgrenze. Damit bestand bei Nutzung der Gebäude der ehemaligen chemischen Reinigung zunächst eine konkrete Gefährdung der menschlichen Gesundheit. In diesem Fall wurde als erstes ein Lüftungsmanagement eingeführt.

Für das Grundwasser erfolgte eine Trendanalyse. Danach lagen Daten aus der OU und der DU in 2 Phasen (in Summe 11 Jahre) vor. Mit Ausnahme der am höchsten belasteten Grundwassermessstelle war für alle anderen Messstellen zwar ein rückläufiger Trend festzustellen, aber insgesamt noch sehr hohe LHKW-Konzentrationen nachweisbar.

Als vorläufige Sanierungszielwerte wurden für den Boden 25 mg LHKW/kg (Maßnahmenwert LAWA 10/93, Pfad Boden-Grundwasser) und für die Bodenluft 50 mg/m³ (Grundlage: Orientierende Hinweise nach den Bewertungsgrundlagen für Schadstoffe in Altlasten (LABO 2008) Transferfaktor: 1.000) vorgeschlagen.

Nach Anwendung der Bewertungskriterien der „Ermessensleitenden Regeln Altlasten - Grundwasser“ ist festzustellen, dass der vom dem Altstandort ausgehende Grundwasserschaden als nicht tolerierbar einzuschätzen ist. Sofortmaßnahmen zur akuten Gefahrenabwehr waren entsprechend dem aktuellen Kenntnisstand nicht erforderlich. Insgesamt ergab sich ein grundsätzlicher Handlungsbedarf für das Grundwasser (Sanierungsuntersuchung, Gefahrenabwehr).

Auf der Stufe der OU wurde eine Bewertung nach DEBA vorgenommen.

Wirkungspfad Luft (DEBA-Bewertung): Stufe orientierende Untersuchung

I. Ausgangsrisiko	
Gefährdungspotential der Branche(n) in der Regel:	mittel (Chemische Reinigungen) Gutachterliche Bewertung des Gefährdungspotentials der Branche(n): hoch
Stoffgefährlichkeit in der Regel:	gering (Tetrachlorethen), mittel (1,1-Dichlorethen) Gutachterliche Bewertung der Stoffgefährlichkeit (gesamt): hoch
Bewertung des Ausgangsrisikos:	hoch
Begründung:	Im Rahmen der OU wurden bereits LHKW-Konzentrationen im Boden und Bodenluft deutlich oberhalb der orientierenden Hinweise nachgewiesen
Möglichkeiten der Ausbreitung gasförmiger Schadstoffe:	Fall 1: Entscheidend ist die Ausbreitungsrichtung nach oben, das Schutzobjekt befindet sich über der altlastverdächtigen Fläche. 1 a) Innenraumluft: Als Schutzobjekt wird ein geschlossener Raum definiert, in dem sich der Mensch aufhält (z. B. Keller).
II. Schadstoffaustrag	
Kontaminationsfläche:	➡ > 100 - 500 m ²
Austragsfläche:	➡ > 100 - 500 m ²
Dampfdruck:	➡ hoch, Dampfdruck bei 25 °C > 1.000 Pa
Oberflächenversiegelung/Sperrschicht oberhalb des Schadherdes	➡ keine wirksame Oberflächenversiegelung über der altlastverdächtigen Fläche Bemerkung: Es kann angenommen werden, dass die vorhandene, aus den 1970er Jahren (oder früher) stammende Bebauung nicht diffusionshemmend für leichtflüchtige Schadstoffe ist
Bewertung Schadstoffaustrag:	hoch
Begründung:	Im Rahmen der OU wurden bereits LHKW-Konzentrationen im Boden und Bodenluft deutlich oberhalb der orientierenden Prüfwerte nachgewiesen. Eine Verfrachtung in Innenräume ist damit sehr wahrscheinlich
III. Schadstofftransport im Boden bzw. Abdeckmaterial	
Transportweg:	➡ 2 - 100 m
Transport über bevorzugte Ausbreitungswege:	➡ nicht auszuschließen, möglich
Durchlässigkeit:	➡ $k_f > 10^{-4}$ m/s – stark durchlässig

Sonstige Hinweise auf Schadstoffverhalten während der horizontalen oder vertikalen Ausbreitung im Boden bzw. in sonstigen Abdeckmaterial:	keine
Bewertung Schadstofftransport:	hoch
Begründung:	LHKW wurden im Rahmen der OU über die gesamte Vertikale der ungesättigten Bodenzone detektiert. Ein Eindringen der Schwerphase LHKW in das Grundwasser und die Ausbildung einer Schadstofffahne, aus welcher die LHKW wieder ausgasen können, ist wahrscheinlich
IV. Schadstoffeintrag in die atmosphärische Luft (Innenraum bzw. Außenluft)	
Hindernisse beim Eintrag in die Luft:	👉 wirksam - dichte Betonplatte
Verdünnungseffekte in der Luft:	🔴 gering - Innenraumluft
Bewertung Schadstoffeintrag in die Luft:	mittel
Begründung:	Aufgrund der direkten Überbauung des Schadensherdes ist ein Eindringen der leichtflüchtigen Schadstoffe in die Innenraumluft wahrscheinlich
V. Nutzung und Bedeutung	
Vergl. Analysewerte:	Bemerkung: Es lagen auf der Stufe der OU noch keine Analysendaten aus Innenräumen vor. Nach Annahme einer Verdünnung von 1:1.000 beim Transfer Bodenluft → Innenraumluft wäre der Richtwert II und der gefahrenbezogene Innenraumluftwert C_a für Trichlorethen überschritten
Vergl. Analysewerte OW BL:	🔴 Überschreitung von orientierenden Hinweisen für die Bodenluft
Nutzung Innenraumluft:	🔴 täglich
Nutzung Außenluft:	➡ Gewerbe-/Industriegebiet Bemerkung: Aktuelle Nutzung, später auch Wohngebiet
Geruch:	➡ keine relevante Belästigung vorhanden oder zu erwarten
Bewertung der Beeinträchtigungen von Nutzungen:	hoch
Begründung:	Aufgrund der Überschreitung von Richtwert II und gefahrenbezogenem Innenraumluftwert C_a besteht eine Gefährdung der menschlichen Gesundheit

VI. Gutachterliche Beurteilung Wirkungspfad Luft	
Gefährdungsverdacht:	hoch
Weiterbearbeitung erforderlich:	kurzfristig (< 4 Jahre)
Maßgeblicher Sachverhalt für das Erfordernis der Weiterbearbeitung:	Aufgrund der Überschreitung der orientierenden Hinweise besteht eine mögliche Gefährdung der menschlichen Gesundheit
Handlungsempfehlung:	E: Weitere Erkundung mit Detailuntersuchung
Begründung:	Der Altlastenverdacht hat sich in der OU bestätigt. Es liegen deutliche Überschreitungen der orientierenden Hinweise vor.
Priorität:	1 in der Regel, wenn: Gefahrenverdacht hoch; Weiterbearbeitung kurzfristig erforderlich; Handlungsempfehlung E
Begründung:	Der Altlastenverdacht hat sich in der OU bestätigt. Es liegen deutliche Überschreitungen der Orientierenden Hinweise vor. Zudem ist geplant, den Standort in Kürze um zu nutzen (Gewerbe, Wohngebiet)

Herausgeber:

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG)
Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden
Telefon: + 49 351 2612-0; Telefax: + 49 351 2612-1099
E-Mail: Poststelle@lfulg.sachsen.de
www.lfulg.sachsen.de

Autoren:

Arcadis Germany GmbH
Könneritzstraße 29, 01067 Dresden
Telefon: +49 351 263588-0
E-Mail: dresden@arcadis.de

Redaktion:

Referat Boden, Altlasten
Abteilung Wasser, Boden, Kreislaufwirtschaft
Telefon: +49 351 8928 4001
E-Mail: antje.sohr@lfulg.sachsen.de
ulrike.menzel@lfulg.sachsen.de

Bildnachweis:

Entsprechend Einzelangaben;
Titelbild Foto: Außenluft, Autor: Herr Dr. Thomas Held (Arcadis)

Redaktionsschluss:

25. November 2025

Bestellservice:

Die Broschüre steht nicht als Printmedium zur Verfügung, kann aber als PDF-Datei aus der Publikationsdatenbank des Freistaates Sachsen (<https://publikationen.sachsen.de>) heruntergeladen werden.

Hinweis:

Diese Publikation wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit vom LfULG (Geschäftsbereich des SMUL) kostenlos herausgegeben. Sie ist nicht zum Verkauf bestimmt und darf nicht zur Wahlwerbung politischer Parteien oder Gruppen eingesetzt werden.

Diese Maßnahme wird mitfinanziert durch Steuermittel auf der Grundlage des vom Sächsischen Landtag beschlossenen Haushaltes.

*Täglich für
ein gutes Leben.*

www.lfulg.sachsen.de