

ITVA

Richtlinie - H 1 - 1

März 2002

Richtlinie
Bodenluftabsaugversuch



ITVA-Richtlinie Bodenluftabsaugversuch

Herausgeber:

Ingenieurtechnischer Verband Altlasten e.V. (ITVA)
Pestalozzistr. 5 - 8
D-13187 Berlin

Tel.: 030/48 63-82 80
Fax: 030/48 63-87 46
e-mail: info@itv-altlasten.de

Erarbeitet durch den Arbeitskreis "Grundwasser und Bodenluft" des Fachausschusses H 1 "Technologien und Verfahren" des ITVA (Obmann: Dr.-Ing. Peter Dreschmann):

Dipl.-Geol. Michael Altenbockum (Leitung), Dipl.-Ing. Jürgen Bauer, Dipl.-Chem. Dr. Rudolf Becker-Kaiser, Dipl.-Ing. Eberhard Beitinger, Dipl.-Ing. Martin Cornelsen, Dipl.-Geol. Dr. Christian C. Juckenack, Dipl.-Geol. Harald Kugler, Dipl.-Ing. Reiner Melzer, Dipl.-Ing. Holger Mergen, Dipl.-Geol. Dr. Manfred Nerger, Dipl.-Geol. Dr. Ingrid Obernosterer, Dipl.-Ing. Michael Odensaß, Dipl.-Chem. Dr. Heinrich Wächter

Dem für die Verabschiedung Endfassung der Richtlinie zuständigen Steuerungs- und Richtlinienverabschiedungsausschuss gehören an:

Dr. Thorsten Grothmann, München (Vorsitzender); Andreas Bieber, Bonn; Jürgen Bunk, Dresden; Helmut Gefken, Ganderkesee; Detlev Grimski, Berlin; Johannes Hoffmann, Frankfurt a.M.; Reiner Melzer, Hannover; Prof. Dr.-Ing. habil. Thomas Neeße, Erlangen; Michael Odensaß, Düsseldorf; Arnold Schulz, Berlin

Der Entwurf der Richtlinie wurde mit Ankündigung in den Fachzeitschriften „altlasten spektrum“ und „TerraTech“ einem öffentlichen Einspruchsverfahren unterworfen.

© 2002 Ingenieurtechnischer Verband Altlasten e.V.

Alle Rechte vorbehalten.

<u>Inhalt</u>	Seite
Vorbemerkungen.....	1
1 Kurzfassung.....	2
2 Verfahrensbeschreibung.....	2
3 Anwendungsbereich.....	3
3.1 Untergrundverhältnisse.....	3
3.2 Stoffeigenschaften.....	3
4 Durchführung eines Bodenluftabsaugversuches.....	6
4.1 Planungsgrundlagen.....	6
4.2 Technische Ausführung.....	9
4.2.1 Absaugbrunnen und Kontrollmessstellen.....	9
4.2.2 Verbindungsleitungen.....	12
4.2.3 Wasserabscheider.....	13
4.2.4 Absaugaggregat.....	13
4.2.5 Abluftreinigung.....	13
4.3 Auswirkungen auf die Umwelt.....	14
4.4 Versuchsbegleitende Messungen.....	14
4.4.1 Messplan.....	14
4.4.2 Mess- und Probenahmestellen.....	15
4.4.3 Probenahme für Laboranalytik.....	17
4.4.4 Online-Messtechnik.....	20
4.4.5 Reichweitenmessung.....	20
5 Auswertung und Dokumentation.....	21
6 Leistungsverzeichnis zur Kostenermittlung.....	26
7 Glossar.....	26
8 Quellenverzeichnis.....	27

ITVA-Richtlinie Bodenluftabsaugversuch

Abbildungsverzeichnis

	Seite
Abb. 2-1: Fließschema Bodenluftabsauganlage	3
Abb. 4.2.1-1: Anordnung von Absaugbrunnen und Kontrollmessstellen beim Bodenluftabsaugversuch	9
Abb. 4.4.2-1: Fließbild Bodenluftabsaugversuch	16
Abb. 4.4.2-2: Mobile Probenahmestelle	17

Tabellenverzeichnis

Tab. 3.2-1: Chemisch-physikalische Kenndaten ausgewählter Stoffe	5
Tab. 4.1.-1: Planungsgrundlagen	6
Tab. 4.2.1-1: Eignung gängiger Bohrverfahren für die Herstellung von Absaugbrunnen und Kontrollmessstellen für Bodenluftabsaugversuche	10
Tab. 4.4.1-1: Messplan	15
Tab. 4.4.3-1: Eignung der Probenahmemethoden für Laboranalytik	19
Tab. 5-1: Auswertung der Messergebnisse von Bodenluftabsaugversuchen	22

Anhänge

Anhang 1	Probenahmeprotokoll (Seite 1)
Anhang 2	Standardleistungsverzeichnis (Seite 1 - 5)

ITVA-Richtlinie H 1 - 1

März 2002

Bodenluftabsaugversuch

Vorbemerkungen

Satzungsgemäß gehört die Mitwirkung bei der Erarbeitung von Regelwerken, Normen und gemeinsamen Handlungsempfehlungen sowie deren Fortschreibung zur Qualitätssicherung im Fachgebiet Altlasten“ zu den Aufgaben des Ingenieurtechnischen Verbandes Altlasten e.V. (ITVA).

Folgende Themenschwerpunkte werden in den Fachausschüssen des Verbandes bearbeitet:

- Vergabewesen und Honorarfragen
- Rechtliche und finanzielle Probleme der Altlastensanierung
- Sachverständigenwesen
- Rüstungsaltposten
- Flächenrecycling
- Mindestanforderungen zur Durchführung einer Gefährdungsabschätzung von Verdachtsflächen und Sanierungsuntersuchung von Altlasten
- Maßstäbe, Richt- und Orientierungswerte
- Anforderungen an die Probenahme für Untersuchungen von Verdachtsflächen und Altlasten
- Technologien und Verfahren
- Qualitätsmanagement

Die Arbeitshilfen und Richtlinien werden zunächst als Entwurf veröffentlicht.

Durch Ankündigung in der Fachpresse erhalten alle interessierten Kreise die Möglichkeit, sich an einem öffentlichen Einspruchsverfahren zu beteiligen. Durch dieses Verfahren wird sichergestellt, dass unterschiedliche Meinungen vor Veröffentlichung der endgültigen Fassung berücksichtigt werden können.

Die vorliegende Richtlinie wurde durch den Arbeitskreis „Bodenluft und Grundwasser“ im ITVA-Fachausschuss H1 „Technologien und Verfahren“ entwickelt und inhaltlich im Verband sowie mit externen Fachleuten abgestimmt.

Die Richtlinie bezieht sich auf den bei der Bodenluftabsaugung bisher nicht standardisierten Bodenluftabsaugversuch als Eignungsversuch für die Bodenluftsanierung. Der Bodenluftabsaugversuch dient mittelbar dem Schutz des Bodens, der nachfolgend auch Ausgangslage der Betrachtungen ist. Sie ist nicht anzuwenden auf Absaugversuche zur Dimensionierung von Deponieentgasungsanlagen.

Die Richtlinie tritt mit ihrem Erscheinen in Kraft. Sie wird im ITVA-Fachorgan „altlasten spektrum“ Heft 03/2002 und in der Zeitschrift "TerraTech" veröffentlicht.

Spätestens im Jahr 2005 erfolgt die Überprüfung der Notwendigkeit einer Aktualisierung der Richtlinie. Bei Bedarf erfolgt eine Fortschreibung.

1 Kurzfassung

Die vorliegende Richtlinie bezieht sich auf den bei der Bodenluftabsaugung bisher nicht standardisierten Bodenluftabsaugversuch als Eignungsversuch für eine Bodenluftsanierung. Somit wird ein Bodenluftabsaugversuch in der Regel im Rahmen einer Sanierungsuntersuchung durchgeführt. Dabei wird unter definierten Randbedingungen geprüft, ob und in welchem Umfang verunreinigte Bodenluft aus der ungesättigten Bodenzone abgesaugt werden kann. Der Versuch wird in der Regel über 5 Tage gefahren.

Wie das Sanierungsverfahren selbst ist auch der Vorversuch nur anwendbar bei ausreichend gasdurchlässigem Untergrund, der mit leicht flüchtigen Stoffen verunreinigt ist. Eine ausreichende Gasdurchlässigkeit ist im Allgemeinen bei einem Durchlässigkeitsbeiwert k_f von mindestens 10^{-5} m/s (Feinsand) gegeben. Die Flüchtigkeit der Kontaminanten ist anhand des Eigendampfdruckes, der Sättigungskonzentration in Luft sowie der Henry-Konstante abzuschätzen.

Im Hinblick auf eine bessere Reproduzierbarkeit und Vergleichbarkeit der Versuchsergebnisse ist der Bodenluftabsaugversuch unter standardisierten Bedingungen durchzuführen. Hierzu sind ein Absaugbrunnen und mindestens zwei Bodenluftmessstellen zu errichten. Die Filterstrecken sollen

bei allen Brunnen in der Regel nicht mehr als 2 - 3 m betragen. Die Abstände der Messstellen zum Absaugbrunnen sollen 5 und 10 m betragen. Als Standardabsaugaggregat ist ein Seitenkanalverdichter einzusetzen.

Versuchsbegleitend sind nach vorgegebenem Messplan verschiedene qualitätssichernde bzw. für eine sachgerechte Beurteilung erforderliche Messungen durchzuführen. Für die Auswertung dieser Messungen werden Vorgaben formuliert. Zur Ermittlung der Kosten ist ein detailliertes Leistungsverzeichnis beigelegt.

2 Verfahrensbeschreibung

Bodenluftabsaugversuche sind Maßnahmen zur Ermittlung der Absaugbarkeit von Stoffen, die auch über die Gasphase Gefahren für Schutzgüter bewirken können. Dabei wird unter definierten Bedingungen überprüft, ob und in welchem Umfang in Voruntersuchungen (Erstbewertung, Gefährdungsabschätzung) nachgewiesene verunreinigte Bodenluft aus der ungesättigten Bodenzone abgesaugt werden kann.

Im Versuch soll die Bodenluft mit einem standardisierten Absaugaggregat über einen Pegel aus der ungesättigten Bodenzone abgesaugt und über einen vorgeschalteten Wasserabscheider sowie eine nachgeschaltete Abluftreinigung geführt werden (Abb. 2-1).

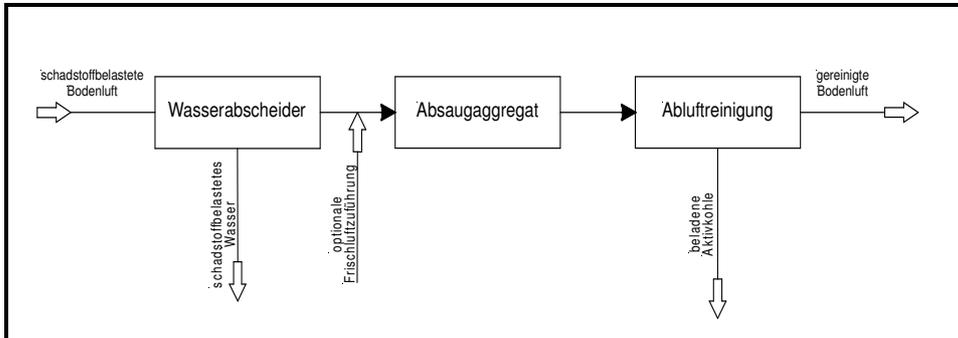


Abb. 2-1: Fließschema Bodenluftabsauganlage

Die Ziele des Absaugversuches sind:

- das vorhandene Stoffpotenzial und den möglichen Austrag (Frachtbeurteilung) zu ermitteln sowie die Beschaffenheit der abgesaugten Bodenluft zu bestimmen,
- den räumlichen Wirkungsbereich der Absaugung festzustellen,
- die optimale Absaugleistung bei den gegebenen Standortverhältnissen zu ermitteln,
- die Erfolgsaussichten der Sanierung des Untergrundes durch Bodenluftabsaugung abzuschätzen,
- die erforderliche Anzahl von Bodenluftabsaugbrunnen für einen gegebenenfalls nachfolgenden Sanierungsbetrieb festzulegen,
- wesentliche Grunddaten für eine Kostenabschätzung einer ggf. nachfolgenden Sanierung durch Bodenluftabsaugung zu liefern.

Ein Bodenluftabsaugversuch wird in der Regel über 5 Tage gefahren. Die Anzahl der Absaugversuche richtet sich nach den jeweiligen Bodenverhältnissen (homogene/heterogene Schichtenfolge) sowie dem Schadensbild und ist einzelfallspezifisch festzulegen.

3 Anwendungsbereich

3.1 Untergrundverhältnisse

Ein Bodenluftabsaugversuch eignet sich grundsätzlich nur für die Bodenzone zwischen Geländeoberkante und Grundwasserspiegelfläche und setzt zudem einen ausreichend gasdurchlässigen Untergrund voraus, der eine konvektive Gasbewegung bei relativ geringem Unterdruck ermöglicht. Im allgemeinen ist eine ausreichende Gasdurchlässigkeit für die Bodenluftabsaugung bei einem Durchlässigkeitsbeiwert k_f von mindestens 10^{-5} m/s (Feinsand) gegeben. Auch ein klüftiger Untergrund ist einer Bodenluftabsaugung in den meisten Fällen zugänglich. Dies kann im Einzelfall auch für Ziegelmauerwerk, Bruchsteinwände und andere (luft- bzw. wasserwegsame) Bausubstanz wie z.B. Sand- und Schotteranlagen unter Hallenböden gelten.

3.2 Stoffeigenschaften

Hinreichende Verfügbarkeit des Stoffes/Stoffgemisches in der Bodenluft ist gleichbedeutend mit einer hinreichenden Verdunstungsrate unter den Bedingungen des Bodens (Temperatur, Feuchte, Adsorptionsvermögen des

ITVA-Richtlinie Bodenluftabsaugversuch

Bodens). Maßgeblich hierfür sind in erster Linie folgende physikalische Stoffeigenschaften, die beide temperaturabhängig sind:

- Eigendampfdruck bzw. Sättigungskonzentration des reinen Stoffes
- Löslichkeit in Wasser bzw. Verteilungsgleichgewicht zwischen Gas- und Wasserphase (Henry-Konstante).

In Tabelle 3.2-1 sind charakteristische Daten der Stoffe zusammengestellt, die aufgrund ihrer chemisch-physikalischen Eigenschaften prinzipiell absaugbar sind und vergleichsweise häufig bei Schadensfällen und Altlasten anzutreffen sind. Die untere und die obere Explosionsgrenze (UEG/OEG) in g/m^3 wurden unter Zugrundelegung des idealen Gasgesetzes aus den Volumen-%-Angaben berechnet. Für den Betrieb einer Absauganlage sind maximal 25 % der UEG zugelassen (TRbF 100, BGR 104). Somit kann diese Richtlinie bei Konzentrationen $> 25\%$ UEG soweit es den Versuchsaufbau betrifft nicht angewendet werden.

Für die Planung von Maßnahmen zum Arbeits- und Gesundheitsschutz sind weiterhin Kenntnisse der toxischen Eigenschaften sowie der möglichen Bildung explosiver Gasgemische mit Luftsauerstoff wichtig. Letzteres gilt vor allem für das Permanentgas Methan (CH_4), das beim biologischen Abbau organischer Stoffe (z. B. Hausmüll- oder Bioabfälle) als Hauptkomponente in hohen Konzentrationen auftreten kann.

Tab. 3.2-1: Chemisch-physikalische Kenndaten ausgewählter Stoffe

Stoffname	Formel	Molmasse [g/Mol]	Siedepunkt [°C]	Wasserlösl. [mg/l (20°C)]	Dampfdruck [mbar (20°C)]	Sättig.-Konz. [g/m³ (20°C)]	25 % UEG (20°C)		OEG (20°C)	
							[g/m³]	[Vol-%]	[g/m³]	[Vol-%]
Leichtflüchtige Chlorkohlenwasserstoffe (LCKW):										
Chlorethen (Vinylchlorid; VC)	C ₂ H ₃ Cl	62,5	- 14,3	1.100	Gas	Gas	25	0,9	800	31,0
Dichlormethan (Methylenchlorid)	CH ₂ Cl ₂	84,9	41,6	19.000	473	1.540	115	3,2	780	22,0
Trichlormethan (Chloroform)	CHCl ₃	119,4	62,7	8.200	211	1.040	nicht brennbar		-	-
Tetrachlormethan (Tetra)	CCl ₄	153,8	77,7	800	116	730	nicht brennbar		-	-
Dichlorethan [1,1,-]	C ₂ H ₄ Cl ₂	98,9	57,2	5.500	244	990	55	1,4	16,0	
Dichlorethan [1,2,-]	C ₂ H ₄ Cl ₂	98,9	84,1	8.700	87	350	65	1,5	> Sättig.-Konz.	
Dichlorethen [1,1,-]	C ₂ H ₂ Cl ₂	96,9	37,0	2.500	667	2.660	65	1,6	610	15,0
cis-Dichlorethen [1,2,-]	C ₂ H ₂ Cl ₂	96,9	60,2	800	215	850	55	1,5	610	15,0
Trichlorethan [1,1,1,-]	C ₂ H ₃ Cl ₃	133,4	74,1	1.300	133	730	110	2,0	> Sättig.-Konz.	
Trichlorethan [1,1,2,-]	C ₂ H ₃ Cl ₃	133,4	114	4.500	25,0	140	100	2,0	-	-
Tetrachlorethan [1,1,2,2,-]	C ₂ H ₂ Cl ₄	167,8	146	2.900	6,4	44	> Sättig.-Konz.		-	-
Trichlorethen (TRI)	C ₂ HCl ₃	131,4	86,9	1.100	77,3	420	100	2,0	> Sättig.-Konz.	
Tetrachlorethen (PER)	C ₂ Cl ₄	165,8	121	160	18,6	130	nicht brennbar		-	-
Dichlorpropan [1,2,-]	C ₃ H ₆ Cl ₂	112,9	97,8	3.000	56,0	260	40	0,8	> Sättig.-Konz.	
Chlorbenzol	C ₆ H ₅ Cl	112,5	133	490	11,7	54	> Sättig.-Konz.		-	-
Dichlorbenzole (3 Isomere)	C ₆ H ₄ Cl ₂	146,9	173 - 182	50 - 150	1,3 - 2,4	8,0	> Sättig.-Konz.		-	-
Dibrommethan [1,2,-]	C ₂ H ₄ Br ₂	185,8	131	4.000	15,0	115	> Sättig.-Konz.		-	-
Leichtflüchtige Aromatische Kohlenwasserstoffe (BTEX):										
Benzol	C ₆ H ₆	78,1	80,1	1.750	101	320	10	0,3	270	8,0
Toluol	C ₇ H ₈	92,1	110,8	510	29,0	110	11	0,3	> Sättig.-Konz.	
Ethylbenzol	C ₈ H ₁₀	106,2	136,2	140	9,5	42	10	0,2	> Sättig.-Konz.	
Xylole (3 Isomere)	C ₈ H ₁₀	106,2	138 - 144	200	6,7	30	10	0,2	-	-
Benzine (Vergaserkraftstoffe):										
Normalbenzin	Gemisch	~ 100	~ 30 - 220	~ 50 - 200	~ 400	~ 1.000	6	0,1	300	7,5
Superbenzin	Gemisch	~ 90	~ 25 - 200	~ 50 - 200	~ 600	~ 1.200	6	0,1	300	7,5
Permanente Gase:										
Methan	CH ₄	16,0	- 161	24	Gas	Gas	8	1,2	105	15,0
Propan	C ₃ H ₈	46,1	- 42	128	Gas	Gas	9	0,5	190	10,0
Schwefelwasserstoff	H ₂ S	34,1	- 60	~ 4.000	Gas	Gas	15	1,0	650	45,5
Ammoniak	NH ₃	17,0	- 33	~ 500.000	Gas	Gas	26	3,7	220	30,5

4 Durchführung eines Bodenluftabsaugversuches

4.1 Planungsgrundlagen

Die Planung der Durchführung eines Bodenluftabsaugversuches setzt einen Mindestumfang an Kenntnissen insbesondere zu den Untergrundverhältnissen, der Kontaminationsausbreitung und den Gegebenheiten des Standortes voraus.

Hierzu sind, falls erforderlich, entsprechende Voruntersuchungen durchzuführen. In der nachfolgenden Tabelle 4.1-1 sind die erforderlichen Planungsdaten benannt und die ableitbaren Erkenntnisse aufgeführt. Zusätzlich sind Untersuchungen aufgelistet, die zur Erfassung der Planungsdaten durchgeführt werden können, und Quellen genannt, aus denen entsprechende Hinweise entnommen werden können.

Tab. 4.1.-1: Planungsgrundlagen

Planungsgrundlagen		Ableitbare Erkenntnisse	Quelle bzw. Erkundungsmaßnahme
A	Geologie / Hydrogeologie		
1	Allgemeine geologische Verhältnisse	Schichtenaufbau, Regionale Bodenbildung	Literatur, geologische Karten Erkundungsbohrungen
2	Allgemeine hydrogeologische Verhältnisse	Grundwasserleiter (Anzahl, Mächtigkeit), Art der Grundwasserleiter	Literatur, hydrogeologische Karten
3	Grundwasserflurabstand	Mächtigkeit der ungesättigten Bodenzone	Einmalige Messung in Grundwassermessstellen
4	Grundwasserschwankungsbereich	Mächtigkeit der dauerhaft ungesättigten Bodenzone	Messreihen in Grundwassermessstellen
5	Bodenart (unges./ges. Bodenzone)	Korngrößenverteilung, Porenvolumen/nutzbare Porosität Durchlässigkeitsbeiwert	Erkundungsbohrungen nach DIN 4021, Kleinrammbohrungen oder Rotationskernbohrungen, Schürfe (gestörte, ungestörte Probennahme), Laborversuche
B	Ungesättigte Bodenzone		
6	Bodenprofil	Schichtenaufbau, Bodenfeuchte	Schichtenverzeichnis nach DIN 4022 aus Erkundungsbohrung
7	Wassergehalt (Bodenfeuchte)	Gasdurchlässigkeit	Wassergehaltsbestimmung nach DIN 18121
8	Organischer Gehalt	Retardationsvermögen (Adsorption), K_{oc} -Wert	Glühverlust oder aus Literatur
9	Korngrößenverteilung	k_f -Wert Abschätzung (Hazen), Porenvolumen	Sieb- und Schlämmanalyse, DIN 18123, DIN 18125
10	Durchlässigkeitsbeiwert Wasser (k_f -Wert)	Gasdurchlässigkeit, Eignung für Boden-luftabsaugverfahren	Für Wasser: Grundwassermessstelle, Pumpversuch o.a. bzw. an ungestörter Probe im Labor, DIN 18130
11	Porenvolumen	Gasdurchlässigkeit, Bodenluftvolumen	Literatur
12	Reichweitenabschätzung und/oder-berechnung	Notwendigkeit ggf. zusätzlicher Kontrollmessstellen auf Basis einer Abschätzung der Reichweite	Abschätzung bzw. Berechnung der anzunehmenden Reichweiten auf Basis der Kenntnisse über die ungesättigte Bodenzone
C	Belastungssituation		
13	Stoffgehalt im Boden [mg/kg TS]	Theoretische Beurteilung der Absaugbarkeit anhand von Stoffkennwerten	Gefährdungsabschätzung
14	Stoffgehalt in der Bodenluft [mg/m ³]		
15	Stoffgehalt im Grundwasser (gel.) [mg/l]	Ausgasungspotenzial in die Bodenluft	Probennahme / Labor
16	Vorhandensein von freier Phase	Ausgasungspotenzial in die Bodenluft	Gefährdungsabschätzung

	Planungsgrundlagen	Ableitbare Erkenntnisse	Quelle bzw. Erkundungsmaßnahme
17	O ₂ -, CO ₂ -, Methangehalt der Bodenluft, Konzentrationsverhältnis zur UEG	Notwendigkeit von Ex-Schutz	Messung bzw. Bestimmung in den Bodenluftproben
18	Verteilung der Stoffe (lateral/vertikal)	Konzentrationsprofile, „hot spots“, Auffälligkeiten, Lage und Ausbau des Absaugbrunnens	Gefährdungsabschätzung
19	Eigenschaften der Stoffe (insbesondere Dichte, Dampfdruck, Siedepunkt, Wasserlöslichkeit, Henry-Konstante)	Theoretische Beurteilung der Absaugbarkeit der vorhandenen Schadstoffe	Angaben aus einschlägiger Literatur
D	Sonstige Informationen		
20	Geländebeschaffenheit/Zugänglichkeit	Aufstellungsort für gerätetechnische Installationen, Notwendigkeit einer Oberflächenabdeckung	Ortsbesichtigung/Karten
21	Logistik (230/400 V-Stromanschluss, Wasseranschluss, Abwasserleitungen)	Aufwand bei Aufstellung der Anlage	Ortsbesichtigung/Interview/Lagepläne
22	Umfeld (laufender Betrieb, Wohngebiet, Verkehrsflächen etc.)	Arbeits- und Umgebungsschutzmaßnahmen	Abhängig von Stoffarten – evtl. Sicherheitsplan erstellen, Literatur
23	Kontaktadressen	Grundlagen für evtl. Genehmigungen / sonstige Behördenkontakte, Feuerwehr- etc., Erste Hilfe	Ermittlung über Grundstückseigner

4.2 Technische Ausführung

4.2.1 Absaugbrunnen und Kontrollmessstellen

- Anzahl und Anordnung

Für einen Absaugversuch sind ein Absaugbrunnen und mindestens zwei Kontrollmessstellen zur Bestimmung der Reichweite zu errichten. Vorlie-

gende Erfahrungswerte lassen erkennen, dass eine effektive Reichweite im Radius von mehr als 10 m um den Absaugbrunnen in der Regel nicht erreichbar ist. Die Abstände der Kontrollmessstellen zum Absaugbrunnen sollten beim Absaugversuch daher in der Regel 5 und 10 m betragen (Abb. 4.2.1-1).

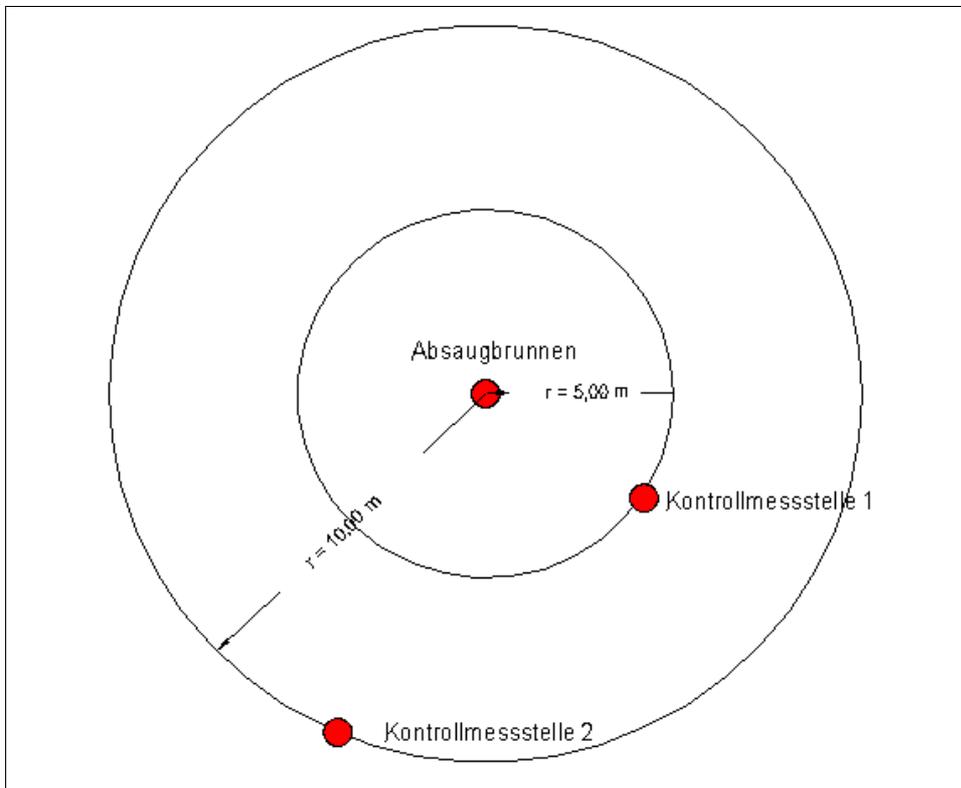


Abb. 4.2.1-1: Anordnung von Absaugbrunnen und Kontrollmessstellen beim Bodenluftabsaugversuch

ITVA-Richtlinie Bodenluftabsaugversuch

Um einen Kurzschluss zwischen Bodenluft und atmosphärischer Luft zu vermeiden oder die Reichweite zu erhöhen, kann es im Einzelfall sinnvoll sein, eine Abdichtung der Oberfläche (z. B. mit Kunststoffdichtungsfolien) vorzunehmen. Die Qualität der Oberflächenabdichtung wirkt sich unmittelbar auf den Einflussradius der Absaugung aus, was bei der Prüfung zu berücksichtigen ist.

- Bohrverfahren und Ausbau

Das Bohrverfahren und der Ausbau sind so zu wählen, dass ein ungehin-

derter Übertritt der Bodenluft in das Fassungs-system ermöglicht wird.

Die Absaugbrunnen und Kontrollmessstellen sind mit einem Mindestbohrdurchmesser von 100 mm und einem Mindestausbaudurchmesser von 2" zu errichten. Eine Reduktion der natürlich vorliegenden Gasdurchlässigkeit des Bodens z. B. durch Verschmieren, Verdichten oder Ausbildung eines Filterkuchens auf der Bohrlochwandung ist zu vermeiden. Hinweise zur Eignung gängiger Bohrverfahren liefert Tabelle 4.2.1-1.

Tab. 4.2.1-1: Eignung gängiger Bohrverfahren für die Herstellung von Absaugbrunnen und Kontrollmessstellen für Bodenluftabsaugversuche

Verfahren	Eignung		
	Lockergestein		Festgestein
	ohne bindige Anteile	mit bindigen Anteilen	
Rammkernbohrungen mit außen liegender Schnittkante	+	o	-
Rammkernbohrungen mit innen liegender Schnittkante	-	-	-
Rotarybohrungen mit Verrohrung	+	+	+
Rotarybohrungen ohne Verrohrung	o	o	+
Hohlbohrschneckenbohrung	+	o	-
Imlochhammer mit Lufthebeverfahren	-	-	+
Spülbohrungen ohne Spülungszusatz oder mit Luftunterstützung	-	o	o
Spülbohrungen mit Spülungszusatz	-	-	-

(+ geeignet, o bedingt geeignet, - ungeeignet)

Bei der Anlage von Bodenluftmessstellen in der ungesättigten Bodenzone ist darauf zu achten, dass keine neuen Wegsamkeiten geschaffen werden, die eine erhöhte Grundwassergefährdung bewirken können. Ebenso sind Verschleppungen von Bohrgut oder der Eintrag von Schadstoffen (Kraft-, Schmierstoffen) in das Bohrloch zu unterbinden.

Die Tiefenlage der Filterstrecke richtet sich nach den Bodenverhältnissen, dem Schadensbild und dem Grundwasserstand. Sie sollte die maximal kontaminierte Bodenzone, jedoch nur die mittels Bodenluftabsaugung dekontaminierbaren Bodenarten erfassen (s. Abb. 4.2.1-2). Diese ist nach den Ergebnissen der Vorerkundung und den Befunden beim Abteufen der Absaugbrunnen und Kontrollmessstellen festzulegen. Unter Umständen reicht ein einzelner Absaugversuch nicht aus. Soweit es der Grundwasserflurabstand zulässt, sollte die Filterstrecke 2 - 3 m (VDI 3897) betragen.

Der Ringraum zwischen Bohrlochwandung und Filterstrecke ist mit Filterkies zu verfüllen. Dessen Körnung ist zur Minimierung von Feinkornumlagerungen auf die Kornverteilung des umgebenden Bodenmaterials abzustimmen. Die Schlitzweite des Filters ist an die Körnung des Filterkieses anzupassen. DIN 40 95 und 49 24 sind zu beachten. Oberhalb der Filterstrecke ist im Ringraum eine ausreichend mächtige Dichtung (z.B. Suspension aus Bentonit (15%), Zement (70%) und Sand (15%), im Regelfall > 1 m) einzubringen. Der verbleibende Ringraum soll mit nicht kontaminiertem Bohrgut oder Füllsand aufgefüllt werden. Zur Oberfläche hin muss eine weitere Abdichtung gegen den Zutritt von Tagwasser und zur Vermeidung von Kurzschlusseffekten eingebracht werden.

Geeignete Ausbaumaterialien sind die aus dem Grundwassermessstellenbau bekannten Materialien (PE, HDPE, PP oder Stahl). Bei Einsatz von PVC sind Materialunverträglichkeiten mit Lösungsmitteln zu bedenken.

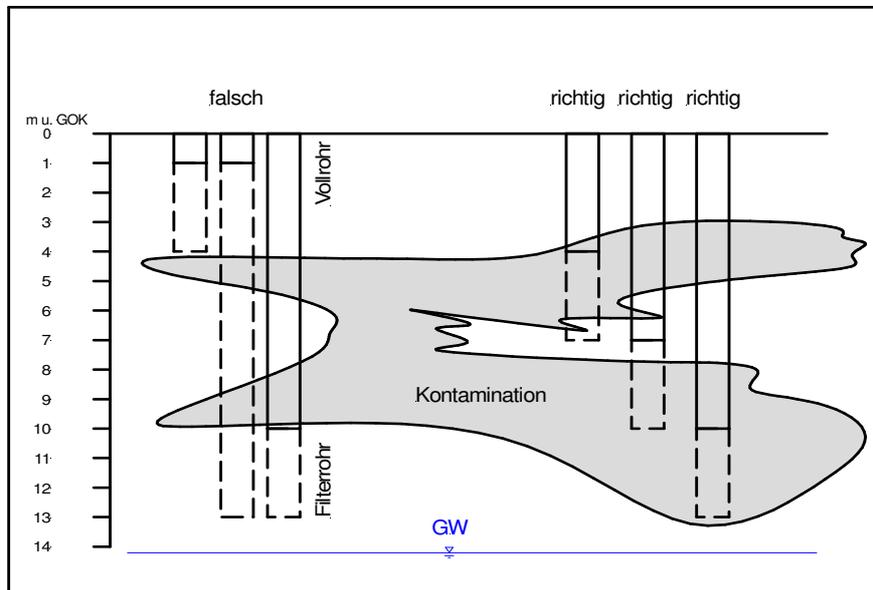


Abb. 4.2.1-2: Ausbauvarianten für Absaugbrunnen und Kontrollmessstellen

4.2.2 Verbindungsleitungen

Die Verbindung des Absaugbrunnens mit der Bodenluftabsauganlage sowie die Verbindung der einzelnen, nachfolgend näher beschriebenen Komponenten der Absauganlage untereinander, erfolgt mit flexiblen Schläuchen.

Die Schläuche sind als unter- und überdruckbeständige Kunststoffschläuche auszuführen. Besonders geeignet sind transparente Kunststoffschläuche mit glatter Innenwandung und eingebetteter Stahldrahtspirale. Dabei sind folgende Produkteigenschaften einzuhalten:

- Durchmesser: DN 50 (2"-Schlauch)
- Unterdruckbeständigkeit: bis 8 mWS
- Temperaturbeständigkeit: von -15° bis +60°C

Um ein Abscheiden von kontaminiertem Kondenswasser in den Schläuchen zur Absauganlage weitestgehend auszuschließen, sind die Leitungslängen zu minimieren und Tiefpunkte in der Leitungsführung zu vermeiden oder Entleerungsmöglichkeiten vorzusehen.

Ferner ist darauf zu achten, dass unter- und überdruckbeständige Verbindungskupplungen verwendet werden, um einen Verlust von kontaminierter Luft und/oder ein Hinzutreten von Umgebungsluft auszuschließen.

4.2.3 Wasserabscheider

Dem Bodenluft-Absaugaggregat ist ein Wasserabscheider vorzuschalten. Für einen Absaugversuch genügt in der Regel ein 200 l-Behälter mit einer integrierten Prallplatte/Strömungsleitblech sowie Zu- und Abluftstutzen im Deckelbereich des zylindrischen Gefäßes. Geeignet sind verzinkte Blechfässer und PE-Gefäße.

Der Füllstand im Wasserabscheider ist zu kontrollieren (s. Tab. 4.4.1-1). Nach Ende des Absaugversuches ist zwecks Bilanzierung die Menge im Wasserabscheider zu erfassen, das Wasser auf Schadstoffgehalt zu analysieren und nachfolgend ordnungsgemäß zu entsorgen.

4.2.4 Absaugaggregat

Der Versuchszweck erfordert ein standardisiertes Absaugaggregat mit folgenden technischen Daten:

- Aggregatetyp: Seitenkanalverdichter
- Volumenstrom: $250 \pm 50 \text{ m}^3/\text{h}$
- Druckdifferenz: $240 \pm 30 \text{ mbar}$
- Motorleistung: ca. $2,4 \pm 0,4 \text{ kW}$

Das Absaugaggregat wird zwischen dem Wasserabscheider und der Abluftreinigung angeordnet (s. Abb. 2-1) und ist mit Motorschutzschalter, Energieverbrauchs- und Betriebsstundenzähler auszustatten.

Seitenkanalverdichter sind auch bei einer Ausführung mit „ex-geschütztem Motor“ nicht als explosionsgeschützte Aggregate einzustufen. Auch die Verbindungsleitungen können durch statische Aufladung Zündquellen darstellen. Brennbar oder explosionsfähige Gas-

gemische dürfen daher mit diesem Aggregatetyp und elektrisch leitenden, nicht geerdeten Verbindungsleitungen grundsätzlich nicht gefördert werden. Solche Gasgemische können an hochbelasteten Standorten auftreten (z. B. bei Ottokraftstoff, BTEX). 25 % der UEG dürfen nicht überschritten werden (s. Tab. 3.2-1). An Standorten, auf denen Methan in der Bodenluft auftreten kann, ist durch permanente Messung der Gehalte von Methan und Sauerstoff zu prüfen, ob explosionsfähige Gemische vorliegen.

Auf die Einhaltung folgender Richtlinien und Sicherheitsregeln wird hingewiesen:

- TRbF 100 Technische Regeln für brennbare Flüssigkeiten - Allgemeine Anforderungen
- BGR Richtlinien für die Vermeidung der Gefahren durch explosionsfähige Atmosphäre - Explosionsschutz-Regeln (EX-RL)
- VDMA 24169 Teil 1: Ventilatoren

4.2.5 Abluftreinigung

Zur Reinigung der mit organischen Stoffen belasteten Bodenluft ist in der Regel eine einstufige Festbett-Adsorptionsanlage auf Aktivkohlebasis ausreichend. Wenn die vorliegenden Schadstoffe sich nicht ausreichend an A-Kohle adsorbieren lassen, ist im Einzelfall zu überlegen, ob weitere Maßnahmen erforderlich sind.

Standardmäßig sollen Stahlblechfässer mit einem Siebboden als Auflager für die Aktivkohleschüttung eingesetzt werden. Je nach Dichte der verwendeten Gasadsorptionskohle werden 70 - 80 kg eingebaut, sofern der Nachweis erbracht werden kann, dass 80 kg zur Schadstoffreinigung ausreichen.

Sehr hohe Stoffkonzentrationen können durch Freisetzung von Adsorptionswärme zur Überhitzung, in seltenen Fällen auch zur Selbstentzündung der Aktivkohle führen. Bisher sind derartige Fälle jedoch bei Absaugversuchen nicht bekannt geworden.

Die Aktivkohle ist nach Abschluss des Absaugversuches ordnungsgemäß zu entsorgen bzw. in einer autorisierten Anlage zu regenerieren.

4.3 Auswirkungen auf die Umwelt

Beim Bodenluftabsaugversuch muss mit folgenden Auswirkungen gerechnet werden:

- Lärmemissionen
- Gasförmige Emissionen
- Entstehung belasteter Kondensate
- Gefahr der Verschleppung von Kontaminationen durch Bohrvorgänge (s. Kap. 4.2.1)
- ggf. Gefahr der Entstehung explosionsfähiger Gemische (s. Kap. 4.4.2).

Insgesamt sind jedoch die entstehenden Belastungen bzw. Gefahren aufgrund des Umfangs und der Dauer der Maßnahmen in der Regel gering. Eine Reduzierung der Lärmemissionen entsprechend dem Stand der Schallschutztechnik kann durch schalldämmende Einhausung der Geräte und/oder den Einsatz von Schalldämpfern erreicht werden. Gasförmige Emissionen werden durch den einzubauenden Aktivkohlefilter weitgehend unterbunden. Die gereinigte Abluft ist in die freie Atmosphäre abzuleiten. Eventuell anfallendes belastetes Kondensat ist geordnet zu entsorgen.

4.4 Versuchsbegleitende Messungen

4.4.1 Messplan

Während des Betriebs der Bodenluftabsauganlage sind die Daten zu erheben, die für die Auswertung des Bodenluftabsaugversuchs und zur Funktionskontrolle der Anlagentechnik dienen. Die Messungen müssen mindestens folgenden Umfang haben:

- Eindeutige Identifizierung der abgasaugten Stoffe durch Anwendung von hinreichend selektiven Messverfahren für die auftretenden Stoffe bzw. Stoffgruppen,
- Mehrmalige Messung von Druck-, Volumenstrom- und Konzentrationsgrößen als Voraussetzung für Mengen- und Frachtenberechnung,
- Überwachung der physikalischen Eigenschaften der abgasaugten Bodenluft (Messung von relativer Feuchte und Temperatur, Berechnung von absolutem Wassergehalt und Taupunkt),
- Überwachung der Abluftreinigung,
- Unterdruckmessung in den Kontrollmessstellen,
- Ermittlung des Energieverbrauches,
- Aufzeichnung von Witterungsbedingungen, insbesondere Temperatur, Niederschlag und Luftdruck (ggf. Rückgriff auf Aufzeichnungen von Wetterstationen) für die spätere Interpretation der Volumenstrom- und Konzentrationsentwicklung im Rohgas).

Bei jedem Absaugversuch sind mindestens die in Tabelle 4.4.1-1 genannten Messungen und Aufzeichnungen durchzuführen, wobei für die Versuchsdauer 5 Arbeitstage als Regelfall

zugrundegelegt werden. In diesem Zeitraum ergibt sich erfahrungsgemäß eine ausreichende Datengrundlage für die Auswertung des Absaugversuchs. Bei längerer Versuchsdauer ist der Messzyklus entsprechend den Vorgaben in Tabelle 4.4.1-1 sinngemäß fortzusetzen.

Die Stoffgehalte in der Abluft sind einmalig am Ende des Absaugversuchs zu kontrollieren. Die jeweiligen Messergebnisse der Vorortmessung bei der Probenahme sind in einem Probenahmeprotokoll (Anlage 1) zu dokumentieren.

Tab. 4.4.1-1: Messplan

Zeit [h]	Einzelstoffe/ Stoffgruppen im Rohgas *	Vol.-Strom Rohgas	Druck, rel. Feuchte, Temperatur im Rohgas	Unterdruck Kontrollmessstelle	Füllstand Wasserabscheider	Witterungsbedingungen	rel. Feuchte im Reingas	Temperatur im Reingas
0,1	x	x	x		x	x	x	x
3	x	x	x	x				
6	x	x	x	x				
24	x	x	x	x	x	x		
96	x	x	x	x	x	x	x	x

*) entsprechend vorhandenem Stoffinventar

4.4.2 Mess- und Probenahmestellen

Jede Mess- und Probenahmestelle an der Absauganlage muss eine hinreichend genaue und reproduzierbare Erfassung der unter 4.4.1 genannten Bodenluft- und Anlagenparameter ermöglichen. Sie ist entsprechend den verschiedenen Messaufgaben an der Absauganlage multifunktional auszustatten als:

- Messstelle für den Volumenstrom,
- Messstelle für Feuchte, Druck und Temperatur,
- Messstelle für Gassensoren (CH₄, CO₂, O₂, H₂S u. a.),
- Entnahmestelle für Gasproben zur Laboruntersuchung.

ITVA-Richtlinie Bodenluftabsaugversuch

Diese Mess- und Probenahmestellen für Roh- und Reinfluft (siehe Abb. 4.4.2-1) müssen leicht erreichbar und eindeutig gekennzeichnet sein. Bei der Ausgestaltung ist vor allem darauf zu achten, dass Messungen und Probenahmen nicht durch Ansaugen von Umgebungsluft oder durch Unterdruck in der Anlage verfälscht werden können. Für eine einwandfreie und repro-

duzierbare Volumenstrombestimmung ist weiterhin eine ausreichende Dimensionierung und eine definierte Geometrie des Messbereichs erforderlich.

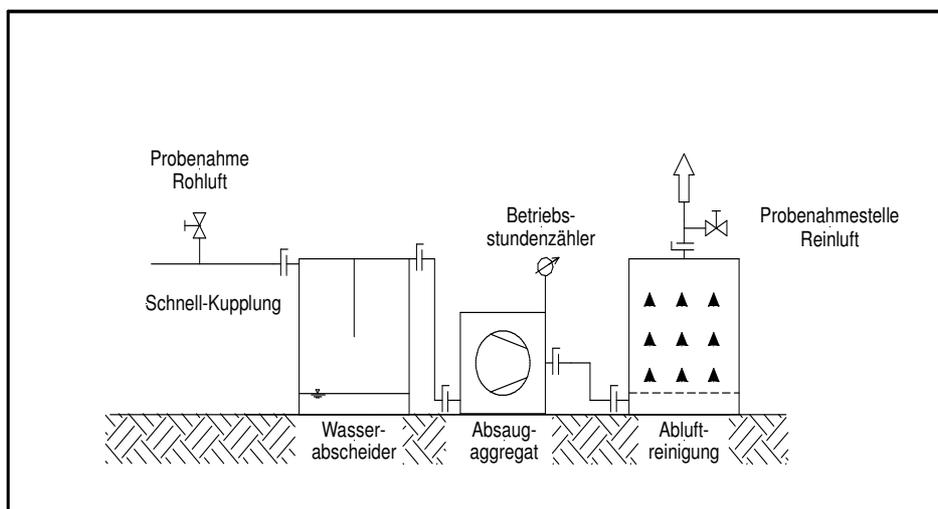


Abb. 4.4.2-1: Fließbild Bodenluftabsaugversuch

Diese Bedingungen werden z. B. durch eine mobile Mess- und Probenahmestelle wie in Abbildung 4.4.2-2 erfüllt. Diese kann entweder stationär oder vorübergehend an der Absauganlage installiert werden.

Die mobile Probenahmestelle besteht aus einem Edelstahlrohr mit einem Durchmesser von 2", an dem über die Länge 5 gasdichte Aufnahmemöglich-

keiten für Messsonden bzw. zur Bodenluftprobenahme angebracht sind. An den Enden befinden sich Schlauchkupplungen, über die das Messrohr zweckmäßigerweise kurz nach dem Brunnen in das System der Bodenluftabsauganlage eingebaut werden kann (ALTENBOCKUM et al., 1999). Mit dieser Vorrichtung wird eine zuverlässige Reproduzierbarkeit der Probenahme erreicht.

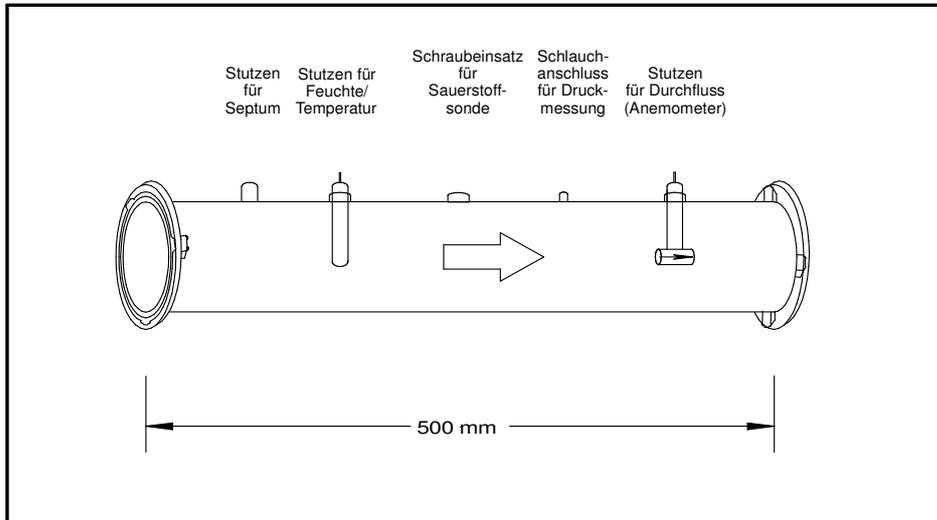


Abb. 4.4.2-2: Mobile Probenahmestelle

4.4.3 Probenahme für Laboranalytik

Als Voraussetzung einer genauen Messung von Stoffkonzentrationen in der Bodenluft ist eine definierte und reproduzierbare Probenahme erforderlich. Hierbei sind grundsätzlich 2 Varianten möglich:

- Überführen der Bodenluft in Gassammelbehälter (ohne Anreicherung),
- Anreicherung der zu untersuchenden Stoffe auf Adsorptionsmitteln.

Als Gassammelbehälter sind entweder fabrikneue Rollrandgläser mit Septumverschluss oder Glaspipetten zu verwenden, die dem Analysengerät im Labor (Gaschromatograf) ohne erneute Umfüllvorgänge direkt zugeführt werden können. Die Probenahme erfolgt nach VDI 3865 Blatt 2 (Variante 4: „Kleinmengenentnahme“). Bei Über-

druck wird die Luft mittels Kanülen durch den Gassammelbehälter hindurchgeleitet. Alternativ kann die Probe bei Unterdruck mittels Einwegspritze in den Gassammelbehälter überführt werden (5-maliges Austauschen).

Als vielseitig verwendbares Adsorbens eignet sich Aktivkohle, die von mehreren Herstellern in Adsorptionsröhrchen konfektioniert angeboten wird. Der Röhrchentyp bestimmt u. a. die verfügbare Menge des Adsorbens und damit die maximal adsorbierbare Stoffmenge. Sie ist ggf. anhand der Herstellerangaben vor dem Einsatz der Röhrchen zu prüfen. Für einige in der Bodenluft seltener auftretende organische Stoffe wie z. B. Phenole, Alkohole, Aldehyde und Ketone sollte als Adsorptionsmittel Silicagel oder Absorberharz (XAD-Harz) eingesetzt werden, das ebenfalls in konfektionierten Adsorptionsröhrchen erhältlich ist.

ITVA-Richtlinie Bodenluftabsaugversuch

Im Unterschied zur Probenahme in Gassammelbehältern ist bei einer Probenahme mittels Adsorption zusätzlich die genaue Ermittlung und Dokumentierung des erfassten Luftvolumens erforderlich (siehe Anhang 1: Probenahmeprotokoll). Die zum Ansaugen der Luft verwendeten Pumpen müssen in der Lage sein, auch bei Unterdruck in der Absauganlage ein definiertes Luftvolumen zu fördern.

Je nach den vorliegenden Stoffen, Messproblemen und Randbedingungen des Bodenluftabsaugversuchs können

beide Varianten oder auch nur eine Variante geeignet sein. In Tabelle 4.4.3-1 sind Möglichkeiten und Grenzen dieser beiden Probenahmemethoden einander gegenübergestellt.

Bei Septembeprobung ist sicherzustellen, dass zwischen Probenahme und Laboranalytik die Taupunkt-Temperatur des Rohgases in der Umgebungsluft nicht unterschritten wird (ggf. Erwärmung oder Thermobehälter).

Tab. 4.4.3-1: Eignung der Probenahmemethoden für Laboranalytik

Randbedingungen	ohne Anreicherung		mit Anreicherung
	Rollrandglas mit Septum	Glas-pipetten	Adsorptions-röhrchen
Probenahme bei Unterdruck	+	+	o ¹⁾
LCKW und BTEX in einer Probe	+	+	o ²⁾
Vinylchlorid, cis-Dichlorethen	+	+	o ³⁾
Höher siedende Stoffe	-	-	+
Bestimmungsgrenze > 0,1 mg/m ³	+	+	+
Bestimmungsgrenze < 0,1 mg/m ³	-	-	o ⁴⁾
Sehr hohe Konzentrationen	o ⁵⁾	o ⁵⁾	o ⁶⁾
Probenlagerung bis 3 d	+	+	+
Probenlagerung über 3 d	- ⁷⁾	+	+
Nachuntersuchung auf andere Stoffe	- ⁸⁾	- ⁸⁾	o ⁹⁾

(+ geeignet, o bedingt geeignet, - ungeeignet)

- 1) Das Anreicherungs-volumen ist grundsätzlich nicht genau messbar, wenn eine schwache Probenahmepumpe gegen Unterdruck in der Absauganlage arbeiten muss. In diesem Fall entspricht der auf der Pumpe eingestellte bzw. abgelesene Wert nicht dem tatsächlichen Volumen.
- 2) LCKW und BTEX sollten auf separaten Adsorptionsröhrchen angereichert werden, da für eine vollständige Desorption der beiden Stoffgruppen von der Aktivkohle (Extraktionsschritt vor der Messung) verschiedene Lösungsmittel erforderlich sind.
- 3) Begleitstoffe in der Bodenluft (vor allem Wasser) können zu unvollständiger Adsorption auf der Aktivkohle führen. Dies gilt vor allem für vergleichsweise stark flüchtige Stoffe wie Vinylchlorid und cis-Dichlorethen. Fehlmessungen können durch Hintereinanderschalten und Analyse mehrerer A-Kohle-Röhrchen vermieden werden.
- 4) Es sind entsprechend hohe Anreicherungs-volumina (> 5 - 10 l) erforderlich.
- 5) Für hohe Konzentrationen (oberhalb ca. 500 mg/m³) sind mehrere Teilproben erforderlich, um Verdünnungsreihen bei der Messung bilden zu können.
- 6) Bei hohen Stoffkonzentrationen können Adsorptionsröhrchen überladen werden (Stoffdurchbruch). In solchen Fällen sind zusätzliche Probenahmen mit reduziertem Anreicherungs-volumen (Faktor 0,1 - 0,01) notwendig. Hierbei ist auch der Volumenstrom zur Anreicherung von üblicherweise 1 l/min auf ca. 0,5 - 0,2 l/min zu reduzieren.
- 7) Durch kleine Undichtigkeiten im Septumverschluss können Stoffverluste auftreten.
- 8) Es sind zusätzliche Teilproben erforderlich, bei Gläsern mit Septumverschluss ist auch die Lagerzeit zu beachten.
- 9) Die Extrakte der Adsorptionsröhrchen können zur Nachuntersuchung auf weitere Einzelstoffe benutzt werden, soweit für diese eine vollständige Desorption gegeben ist - siehe Anmerkung 2)

4.4.4 Online-Messtechnik

Als Alternative zu manueller Probenahme und externer Messung im Labor kann für die Bestimmung der Stoffkonzentrationen sowie der übrigen Daten des Absaugversuchs auch eine automatisch arbeitende Online-Messtechnik in Frage kommen, wie sie bei der Überwachung von Bodenluftsanierungsanlagen eingesetzt wird. Dabei werden die vorhandenen Mess- und Probenahmestellen über eine EDV-gesteuerte Messstellenumschaltung mit den vor Ort installierten Mess- bzw. Analysengeräten verbunden und in einem vorgewählten Zeittakt beprobt.

Durch den Einsatz einer solchen quasi kontinuierlichen Messtechnik lassen alle Anforderungen an den Beprobungs- und Messplan (Tab. 4.4.1-1) vollständig erfüllen. Dabei wird über die Gesamtdauer des Absaugversuchs eine reproduzierbare Probenahme sowie eine hohe zeitliche Dichte und EDV-gerechte Speicherung der Messdaten mit der Option einer Datenfernübertragung sichergestellt. Mit zusätzlicher Steuer- und Regeltechnik sind auch Eingriffe in den Anlagenbetrieb möglich, z. B. Fortsetzen bzw. Beenden des Absaugversuchs in Abhängigkeit von den Messergebnissen, Sicherheitsabschaltung bei Anlagenstörungen u.a.m.

Aufgrund des vergleichsweise hohen Installations- und Kostenaufwands ist der Einsatz einer derartigen automatischen Messtechnik jedoch nur bei länger andauernden und/oder mehrere Absaugbrunnen umfassenden Bodenluftabsaugversuchen sinnvoll.

4.4.5 Reichweitenmessung

Bei einer Bodenluftabsaugung ist grundsätzlich der Nachweis zu erbrin-

gen, dass der kontaminierte Bereich während der Absaugung auch tatsächlich erfasst wird. Dazu sind Reichweitenmessungen im Rahmen des Bodenluftabsaugversuches (s. Tab. 4.4.4-1) im Kontrollmessstellennetz (s. Kap. 4.2.1) notwendig.

Für Reichweitenmessungen stehen sowohl qualitative als auch quantitative Verfahren zur Verfügung. Eine Möglichkeit der qualitativen Messungen besteht in der Nutzung sogenannter Rauchkerzen und Strömungsröhrchen. Bei entsprechender Witterung (trocken, windstill) wird Rauch in die von der Absaugung beeinflussten Kontrollmessstelle hineingesogen und damit von der normalen Aufstiegsrichtung abgelenkt. Aus der Beobachtung kann nur eine subjektive Bewertung abgeleitet werden.

Bei quantitativen Messverfahren wird mittels Schlauchwaage oder elektronischer Differenzdruckmessung (Messbereich 0,5 bis ca. 40 mbar) der infolge der Absaugung am jeweiligen Brunnen anliegende Unterdruck indirekt (Umrechnung von mm Wassersäule in Pascal) oder direkt ($1 \text{ mbar} = 100 \text{ Pa}$) gemessen.

5 Auswertung und Dokumentation

Die in Kapitel 4.4.1 benannten, während eines Bodenluftabsaugversuches zu erfassenden Messgrößen dienen einerseits der Qualitätssicherung und andererseits der Beurteilung der Eignung einer Bodenluftabsaugung als Sanierungsmaßnahme im Einzelfall. Zu den qualitätssichernden Messungen gehören die Kontrolle

- des absoluten Wassergehaltes in Roh- und Reinluft, der Hinweise auf Wasserverluste durch Kondensation und/oder Adsorption auf der Aktivkohle liefert und so der Bilanzierung der zurückgehaltenen Schadstoffe dient,
- der Temperatur der abgesaugten Bodenluft, die zur Berechnung des absoluten Wassergehaltes und des Taupunktes bzw. zur Plausibilitätsprüfung der temperaturabhängigen Messgrößen (z. B. Volumenstrom) dient,
- des Sauerstoffgehaltes der abgesaugten Bodenluft, der Hinweise auf Kurzschlusseffekte zur Atmosphäre geben kann.

Kriterien zur Beurteilung der Eignung einer Bodenluftabsaugung als Sanierungsmaßnahme sind:

- die Feuchte der abgesaugten Bodenluft,
- der Taupunkt der abgesaugten Bodenluft,
- der erreichbare Volumenstrom,
- der erreichte Unterdruck in den Kontrollmessstellen,

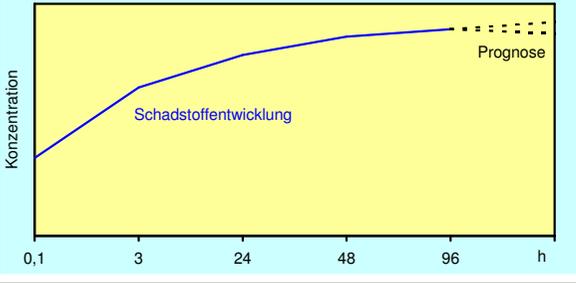
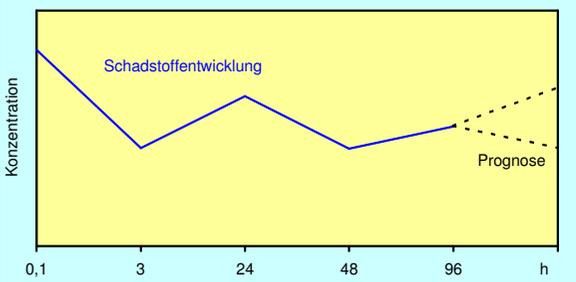
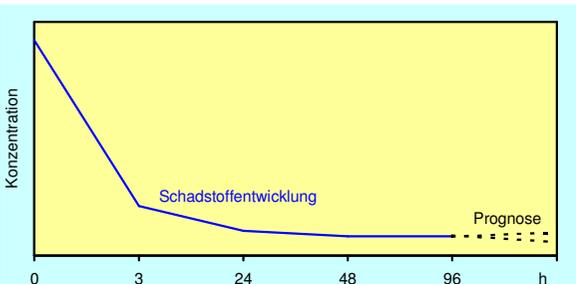
- die Konzentrationsentwicklung der relevanten Schadstoffe in der abgesaugten Bodenluft bzw. die darauf aufbauende Frachtenprognose,
- der Energieverbrauch bzw. der spezifische sEnergieverbrauch (kWh/kg).

Die aus den Einzelmessungen abgeleiteten Schlussfolgerungen sind in Tabelle 5-1 zusammengestellt.

Tab. 5-1: Auswertung der Messergebnisse von Bodenluftabsaugversuchen

Parameter	Ermittelte Werte	Eignung	Erläuterungen
Qualitätssichernde Messgrößen			
Temperatur der Rohluft 0 - 30 °C	< 8 °C		Temperaturen unterhalb von ca. 8°C sind nur im Winter bei oberflächennaher Beprobung zu erwarten. Permanent niedrige Temperaturen bedürfen der Überprüfung.
	8 - 15 °C		Temperaturen zwischen 8°C und 15°C sind ab einer Tiefe von ca. 2 - 3 m unter GOK normal und zeigen bei zunehmender Tiefe immer weniger jahreszeitliche Schwankungen.
	> 15 °C		Temperaturen oberhalb von 15°C sind ein Hinweis auf anthropogene Beeinflussung der Bodenluft (z. B. Gebäude, Falschluff, Deponien mit organischem Abbau) und bedürfen der Klärung.
Absoluter Wassergehalt in Roh- und Reinluft	Rohluft = Reinluft		In der Anlage treten keine Wasserverluste durch Kondensation und/oder Adsorption auf der Aktivkohle auf.
	Reinluft < Rohluft		In der Anlage treten Wasserverluste durch Kondensation und/oder Adsorption auf der Aktivkohle auf. Die Ermittlung des absoluten Wassergehaltes in Roh- und Reinluft soll für die Bilanzierung der im Wasserabscheider und in der A-Kohle zurückgehaltenen Stoffe herangezogen werden.
O₂-Gehalt der Rohluft 0 - 21,6 Vol.-%	< 15 %		Permanente Sauerstoffgehalte unter 15 % deuten auf ein sauerstoffzehrendes Regime hin.
	15 - 19 %		Normalbereich. Bei zunehmender Tendenz ist zu prüfen, ob Umgebungsluft angesaugt wird.
	> 19 %		Derart hohe Sauerstoffgehalte können ein Hinweis auf das Ansaugen von atmosphärischer Luft (Kurzschluss) sein. Durch technische Maßnahmen ist dieser Effekt zu verhindern.
Eignungsrelevante Messgrößen			
Feuchte der Rohluft 0 - 100 %	< 60 %	+	Werte unterhalb von 60 % relativer Feuchte sind in der abgesaugten Bodenluft eher selten. Sie sind möglich in seit vielen Jahren großflächig und vollständig versiegelten innerstädtischen Bereichen.
	60 - 95 %	+	Feuchtegehalte der Bodenluft im angegebenen Bereich sind normal. Gegebenenfalls können Konzentrationen mit abnehmender Tendenz über den Betriebszeitraum beobachtet werden.
	> 95 %	O	Permanent hohe Wassergehalte deuten auf einen entsprechenden Wassernachschub, der durch einen niedrigen Flurabstand (prüfen !) oder durch z.B. undichte Kanalisation erklärt werden kann. Tritt eine gleichbleibend hohe Feuchte gleichzeitig mit einer Wasserförderung auf (im Wasserabscheider/Rohrleitung > ca. 5 l innerhalb 96 h – jahreszeitabhängig!), ist ein effizienter Einsatz der Technik fraglich.
Taupunkt der Rohluft 2 - 15 °C	< Umgebungstemperatur	+	Normalerweise liegt der Taupunkt unterhalb der Außentemperatur (Ausnahme tiefe Außentemperaturen).
	> Umgebungstemperatur	-	Liegt der Taupunkt der abgesaugten Bodenluft oberhalb der Außentemperatur der Anlage, sind Kondensationseffekte zu erwarten. Das entstehende Kondensat kann dann je nach Menge und Schadstoffkonzentration zu erheblichen anlagentechnischen sowie die Analytik betreffenden Problemen führen. Derartige Effekte sind jedoch nur vor dem die Rohluft erwärmenden Verdichter möglich. Gleichbleibend hohe Taupunkte sind ein Hinweis auf ein hohes Wasserangebot im Untergrund (s. Parameter Feuchte).

Parameter	Ermittelte Werte	Eignung	Erläuterungen
Volumenstrom 0 - 250 m³/h	< 40 m³/h	-	Niedrige Volumenströme sind ein Hinweis auf eine zu geringe Gasdurchlässigkeit des Untergrundes. Ursache kann der Untergundaufbau oder ein zu hoher Wassergehalt des Untergrundes sein. Generell ist bei derart niedrigen Absaugpotenzialen die Eignung der Technik fragwürdig. Ggf. ist zu prüfen, ob durch den Einsatz anderer Techniken (z. B. Vakuum-Pumpe) eine ausreichende Verbesserung zu erreichen ist. Bei fortlaufendem Betrieb ist bei derart niedrigen Volumenströmen mit einer unzulässigen Erwärmung des Verdichters zu rechnen.
	40 – 150 m³/h	+	Im Rahmen der angegebenen erzielten Fördermengen ist der Untergrund ausreichend gasdurchlässig, weshalb grundsätzlich von einer Eignung der Technik ausgegangen werden kann.
	> 150 m³/h	○	Zu hohe Fördermengen erfordern im Bodenluftabsaugversuch eine Überprüfung auf Undichtigkeiten oder Kurzschlüsse im System. Durch visuelle Prüfung im Umfeld, Kontrolle von Sauerstoffgehalt (s.u.) und des Unterdruckes in 5 m Entfernung (s. Reichweitenmessung) ist die tatsächliche Absaugleistung zu kontrollieren. Generell ist bei Bestätigung derart hoher Absaugraten ein zusätzlicher Aufwand nötig, um einen wirkungsvollen Sanierungsbetrieb mit entsprechenden Reichweiten zu erreichen. Die Wirtschaftlichkeit ist zu prüfen.
Unterdruck in der Anlage Druckbereich 0 bis -240 mbar	ca. -145 bis -240 mbar	-	Bei hohen Unterdrücken ist nur noch eine geringe Förderleistung möglich, weshalb die Eignung der Bodenluftabsaugung fraglich ist.
	ca. -40 bis -145 mbar	+	Normalbereich
	0 bis ca. -40 mbar	○	Bei niedrigem Unterdruck und entsprechend hoher Fördermengen ist die Eignung der Technik fraglich.
Unterdruck in 10 m Entfernung Druckbereich 0 bis -5 mbar	>-1 mbar	○	Die Reichweite der Bodenluftabsaugung liegt unter 10 m. Für die weitere Beurteilung ist der Unterdruckmesswert an der Kontrollmessstelle in 5 m Entfernung heranzuziehen.
	-1 bis -5 mbar	+	Normalbereich
	< -5 mbar	+	Derartige Werte wurden bisher in 10 m Entfernung nicht gemessen.
Unterdruck in 5 m Entfernung Druckbereich 0 bis -10 mbar	0 bis -1 mbar	-	In diesem Druckbereich ist erfahrungsgemäß keine effiziente Bodenluftabsaugung im Untergrund zu erwarten. Im Sanierungsfall ist das Pegelnetz entsprechend auszulegen. Die Eignung der Bodenluftabsaugung ist in Frage zu stellen.
	< -1 mbar	+	In diesem Druckbereich ist erfahrungsgemäß eine effiziente Bodenluftabsaugung zu erwarten.

Parameter	Ermittelte Werte	Eignung	Erläuterungen
Konzentration mg/m ³		Tendenz steigend	 <p>Bei steigender Tendenz ist eine zuverlässige Prognose der weiteren Konzentrationsentwicklung nicht möglich. Sicher ist, dass der Absaugpegel nicht im tatsächlichen Kontaminationszentrum steht.</p>
		Tendenz uneinheitlich	 <p>Uneinheitliche Tendenzen können z. B. durch Witterungseinflüsse, schichtigen Bodenaufbau oder sehr heterogene Schadstoffverteilung bedingt sein. Die Prognose der Konzentrationsentwicklung ist mit Unsicherheiten behaftet, sie lässt nur die Angabe von Bandbreiten zu. Es ist zu prüfen, ob eine Verlängerung der Versuchsdauer sinnvoll ist.</p>
		Tendenz fallend	 <p>Eine abnehmende Tendenz zeigt, dass der Absaugpegel sich in einem Schadenszentrum befindet. Die kontinuierliche Abnahme der Konzentration lässt eine zuverlässige Prognose zu.</p>

Parameter	Ermittelte Werte	Eignung	Erläuterungen
Fracht g/h			Aus der prognostizierten Konzentration [mg/m ³] und dem Volumenstrom [m ³ /h] ist unmittelbar die Fracht [g/h] abzuleiten. Diese Frachtprognose stellt die Grundlage dar für <ul style="list-style-type: none"> • die Kalkulation der einzusetzenden Anlagentechnik, • die Prognose eines zu erwartenden Aktivkohleverbrauches (bei Wahl der entsprechenden Technik), • die Abschätzung der Effizienz der Sanierungsmaßnahme.
Energieverbrauch in 96h	< 100 kWh	-	Der Energieverbrauch stellt eine wesentliche Grundlage zur Abschätzung der zu erwartenden Betriebskosten im Sanierungsbetrieb dar. Bei einem Energieverbrauch außerhalb des Normalbereiches ist ein wirtschaftlicher Sanierungsbetrieb mit dem gewählten Verdichtertyp nicht zu erwarten.
	100 - 200 kWh	+	
	> 200 kWh	-	
spezifischer Energieverbrauch * kWh / kg LCKW	< 1.000	+	Es kann von einer effizienten Bodenluftsanierung ausgegangen werden.
	1.000 - 2.000	0	Es ist zu prüfen, ob der Einsatz der Bodenluftsanierung optimiert werden kann. Ggf. sind Kombinationen oder andere Techniken sinnvoller einsetzbar.
	> 2.000	-	In der Regel ist keine effiziente Bodenluftsanierung zu erwarten.

(+ geeignet, 0 bedingt geeignet, - nicht geeignet)

*) Bedingungen wurden für LCKW ermittelt (LUA 2000)

6 Leistungsverzeichnis zur Kostenermittlung

Die für die Durchführung eines Bodenluftabsaugversuches erforderlichen technischen Maßnahmen und Ingenieurleistungen sind in einem Leistungsverzeichnis in Anlage 2 zusammengestellt. Dieses Leistungsverzeichnis zur Ausschreibung nach VOL bezieht sich auf die in der Richtlinie vorgeschlagenen Verfahrensweise und Handlungsempfehlungen. Es zeigt dem

Anwender detailliert die verschiedenen Teilleistungen bei den einzelnen für die Durchführung des Bodenluftabsaugversuches erforderlichen Arbeitsschritten und die damit verbundenen Kosten. Im Einzelfall empfiehlt sich eine Zusammenfassung zu Pauschalpositionen.

Nach bisher vorliegenden Erfahrungen belaufen sich die Kosten für einen Bodenluftabsaugversuch je nach örtlichen Gegebenheiten ohne Bohrleistungen auf ca. 5.000 €.

7 Glossar

Absaugaggregat

wird auch als Luftförderer bezeichnet; es erzeugt einen Unterdruck in der ungesättigten Bodenzone und fördert so die Bodenluft aus dem Untergrund im Umfeld des Absaugpegels bis zur nachgeschalteten Reinigungsanlage für die Bodenluft. Als Absaugaggregate werden für den Bodenluftabsaugversuch ausschließlich Seitenkanalverdichter oder Vakuumpumpen eingesetzt.

Absaugpegel

Der Absaugpegel auch als der Sanierungspegel verwendet, d.h. die Bohrung, die sich im Idealfall im Schadenszentrum befindet und an der die Bodenluftabsauganlage angeschlossen wird. Oft werden zur Bodenluftabsaugung mehrere Absaugpegel genutzt.

Bodenluft

Gasgemisch, das die flüssigkeitsfreien Hohlräume (Poren, Klüfte) im Untergrund erfüllt. Bodenluft unterscheidet sich von atmosphärischer Luft vor allem durch den geringeren Sauerstoffgehalt und den erhöhten Kohlendioxidgehalt. Der mittlere CO₂-Gehalt in der freien Atmosphäre beträgt ca. 0,03 Vol.-%, in der Bodenluft ist er meist 10 bis 100 mal höher. Kontaminierte Bodenluft ist mit gasförmigen Schadstoffen belastet.

Bodenluftabsaugung:

Ein häufig praktiziertes Verfahren der Sanierung von Bodenverunreinigungen mit leichtflüchtigen Schadstoffen in der ungesättigten Bodenzone. Das Verfahren basiert auf der Erzeugung eines Unterdrucks, der eine Bodenluftströmung in Richtung auf die Absaugstelle erzeugt. Die kontaminierte Bodenluft wird über eine Reinigungsanlage zur Entfernung der Schadstoffe geführt.

Durchlässigkeitsbeiwert	Der Durchlässigkeitsbeiwert (K_f -Wert nach DIN 4049-3) ist ein Maß für die Durchlässigkeit des Untergrundes für Wasser und hängt von den physikalischen Eigenschaften des Grundwassers (z.B. Viskosität, Dichte) sowie der Ausbildung des Grundwasserleiters (Poren, Trennfugen) ab.
Gasdurchlässigkeit	Die Gasdurchlässigkeit ist ein Maß für die spezifische Eigenschaft des Untergrundes, ein Gas durchströmen zu lassen. Sie folgt ähnlichen Gesetzen wie die Wasserdurchlässigkeit. Als Maß für die Gasdurchlässigkeit kann somit der Durchlässigkeitsbeiwert für Grundwasser (K_f -Wert nach DIN 4049-3) herangezogen werden.
Kontrollpegel	Die Kontrollpegel (mindestens zwei) dienen zur qualitativen und quantitativen Bestimmung der Reichweite des am Sanierungspegels angelegten Unterdrucks.
Unterdruck	Als Unterdruck wird der relative Druck zum atmosphärischen Druck bezeichnet. Seine Größe bestimmt sich aus der Differenz des absoluten Druckes zum atmosphärischen Druck. Die Druckangabe erfolgt mit negativem Vorzeichen.

8 Quellenverzeichnis

- ALTENBOCKUM, M., LOHAN, N., LIESER, U., KRAFT, O. (1999):** Neue Ansätze bei der Durchführung von Bodenluftabsaugversuchen.- Flächenrecycling.- 3/99: 48-56; Essen.
- ALTENBOCKUM, M., SCHROERS, S. (1999):** Erfahrungen und Konsequenzen aus der Durchführung von Bodenluftsanierungen.- In: Jessberger Dr.-Ing. & Partner & RUBITEC Gesellschaft für Innovation und Technologie der Ruhr-Universität Bochum mbH (Hrsg.): Flächenrecycling und Grundwassersanierung.- Berichte vom 15. Bochumer Altlasten-Seminar und vom 10. Leipziger Altlasten-Seminar, 119-135; Bochum, Schürmann + Klages.
- Auergesellschaft GmbH (Hrsg.) (1998):** AUER-Technikum, 14. Auflage; Berlin.
- BGR 104 (1998):** Regeln für die Vermeidung der Gefahren durch explosionsfähige Atmosphäre mit Beispielsammlung (EX-RL)- Fachausschuss Chemie bei der Berufsgenossenschaftlichen Zentrale für Sicherheit und Gesundheit des Hauptverbandes der gewerblichen Berufsgenossenschaften BGZ, St. Augustin.
- DIN 4095, (1990):** Baugrund; Dränung zum Schutz baulicher Anlagen; Planung, Bemessung und Ausführung.- Beuth-Verlag, Köln.
- DIN 4924 (1998):** Sande und Kiese für den Brunnenbau – Anforderungen und Prüfungen.- Beuth-Verlag, Köln.
- FALBE, J., REGWITZ, M. (HRSG.) (1996-1999):** Römpp Lexikon Chemie, 10. Auflage, Georg Thieme Verlag; New York.
- HEBRÜGGE, F. W., SCHOLL, E. (1995):** Explosionsschutz bei Entgasungsanlagen, in: Franzius, Wolf, Brandt (Hrsg.): Handbuch der Altlastensanierung, Nr. 7233, C.F. Müller Verlag.
- ITVA (1997):** Arbeitshilfe Bodenluftsanierung.- Fachausschuss H1 "Technologien und Verfahren", Ingenieurtechnischer Verband Altlasten e. V. Berlin.

ITVA-Richtlinie Bodenluftabsaugversuch

LUA LANDESUMWELTAMT NRW (2001): Arbeitshilfe Bodenluftsanierung.- Materialien zur Altlastensanierung und zum Bodenschutz, Band 13; Essen.

TRbF 100 (1997): Technische Regeln für brennbare Flüssigkeiten - Allgemeine Anforderungen.- Deutscher Ausschuss für brennbare Flüssigkeiten (DAbF), Köln.

VDI (Hrsg.) (1997): Emissionsminderung, Anlagen zur Bodenluftabsaugung und zum Grundwasserstrippen. - VDI-Richtlinie 3897, Düsseldorf.

VDI (Hrsg.) (1998): Emissionsminderung, Messen organischer Bodenverunreinigungen - VDI-Richtlinie 3896 / Blatt 1 - 4, Düsseldorf.

VDMA 24169-1 (1983): Lufttechnische Anlagen; Bauliche Explosionsschutzmaßnahmen an Ventilatoren zur Förderung von brennbaren Gasen, Dämpfen oder Nebel enthaltender Atmosphäre.- Beuth-Verlag, Köln.

ZH 1/183 (1998): Regeln für Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Arbeit in kontaminierten Bereichen. - Fachausschuss Tiefbau bei der Berufsgenossenschaftlichen Zentrale für Sicherheit und Gesundheit des Hauptverbandes der gewerblichen Berufsgenossenschaften BGZ, St. Augustin.

Probenahmeprotokoll für Bodenluftabsaugversuch			
Projekt, Ort: _____			
Probenbezeichnung: _____			
Probenahmedatum: _____	Uhrzeit: _____	Wetter: _____	
Außenlufttemperatur: _____ °C	Luftdruck: _____ mbar		
Sanierungsanlage:			
<input type="checkbox"/> Anlage in Betrieb	<input type="checkbox"/> Anlage außer Betrieb		
<input type="checkbox"/> Rohluft vor Wasserabscheider	<input type="checkbox"/> Reinluft nach Abluftreinigung		
Vorortuntersuchung:			
	Probe Rohluft		Probe Reinluft
Leitungsdurchmesser	_____ mm		_____ mm
Fließgeschwindigkeit	_____ m/s		_____ m/s
Durchfluss	_____ m ³ /h		_____ m ³ /h
Druck	_____ mbar		_____ mbar
Feuchte	_____ % rel. Feuchte		_____ % rel. Feuchte
Mischungsverhältnis	_____ g/kg		_____ g/kg
Temperatur	_____ °C		_____ °C
Taupunkt	_____ °C		_____ °C
Sauerstoffgehalt	_____ %		_____ %
Probenahmegerät:			
Probengefäß:	<input type="checkbox"/> Septumglas	<input type="checkbox"/> Anreicherungsröhrchen mit AK	
Bei Anreicherung zusätzliche Informationen			
Volumenstrom Probenahme:	_____ l/min		
Anreicherungszeit:	_____ Sekunden		
Anreicherungs volumen:	_____ in Liter		
Bemerkungen: _____			

Probenehmer: _____			

Durchführen eines Bodenluftabsaugversuches gemäß ITVA-Richtlinie

Bieter:.....

Pos.	Bezeichnung	Anz.	Einh.	E.-Preis	Summe (EUR) netto
1	Bohrarbeiten				
1.1	Baustelleneinrichtung				
1.1.1	Einrichten und Räumen der Baustelle einschl. An- und Abtransport, Verladearbeiten aller für die Durchführung der in Pos. 1.2 beschriebenen Leistungen notwendigen Gerätschaften	1	p.		
1.1.2	Vorhalten der Baustelleneinrichtung incl. aller Einrichtungen gem. Pos. 1.1.1 und z.B. Handy für die Dauer der Bohrarbeiten	1	Tag		
1.1.3	Auf- und Abbau des Bohrgerätes auf dem Bohrpunkt gem. Lageplan		Stück		
1.1.4	Umsetzen des Bohrgerätes				
1.1.4.1	bis 50 m		Stück		
1.1.4.2	bis 100 m		Stück		
1.2	Durchführung der Bohrungen Bohrarbeiten gem. Kap. 4.2. Angaben zum Grundwasserstand: m u.GOK Bohrverfahren vgl. Kap. 4.2.1				
1.2.1-Bohrung , □ ca. 100 mm, incl. erforderlichen Hilfsverrohrungen				
1.2.1.1	Bohrtiefe 0 - 5 m		lfm.		
1.2.1.2	Bohrtiefe 5 - 10 m		lfm.		
1.2.1.3	Bohrtiefe 10 - 15 m		lfm.		
1.2.2	Meißelarbeiten zur Beseitigung von Bohrhindernissen		h		
1.2.3	Durchbohren von Oberflächenbefestigung (Beton- bzw. Asphaltdecke)		lfm.		E.P.
1.2.4	Zuschlag für Kellerbohrgerät				
1.2.4.1	zu Pos. 1.2.1.1		lfm.		E.P.
1.2.4.2	zu Pos. 1.2.1.2		lfm.		E.P.
1.2.4.3	zu Pos. 1.2.1.3		lfm.		E.P.
1.2.5	Entnahme, Sichern, Beschriften von gestörten Bodenproben einschl. Lieferung von Probenahmegefäßen		Stck.		
1.2.6	Entnahme, Sichern, Beschriften von Bohrkernen einschl. Vorhalten der Bohrkernbehälter aus Holz		lfm.		E.P.
1.2.7	Entsorgung von (kontaminiertem) Bohrgut		p.		E.P.
1.2.8	Zeichnerische Darstellung von Bohrprofil und Meßstellenausbau gem. DIN 4023		Stück		
1.2.9	Lieferung von Schichtenverzeichnissen gem. DIN 4022/Blatt 1		Stück		
Übertrag:					

Bieter:.....

Pos.	Bezeichnung	Anz.	Einh.	E.-Preis	Summe (EUR) netto
Übertrag:					
1.3	Messstellenausbau 2" Materialwahl gem. Kap. 4.2 Rohr- und Filtermaterial aus:				
1.3.1	Filterrohr Schlitzweite gem. Kap. 4.2.1 (DIN 4095 und 4924) max. je 2 - 3 m pro Bohrung (VDI 3897)		lfm.		
1.3.2	Vollrohr		lfm.		
1.3.3	Filterkies		lfm.		
1.3.4	Tonsperre mind. 1 m pro Meßstelle		lfm.		
1.3.5	Einbau von unbelastetem Bohrgut oder Füllsand		lfm.		
1.3.6	Anschlussstück für Absaugleitung C-Kupplung mit Blindverschluss		Stück		
1.3.7	Liefern und Einbau einer tagwasserdichten, verschleißbaren Straßenkappe für Überflurausbau Typ:..... Abmessung:..... Belastungsklasse:.....		Stück		E. P.
1.3.8	Überflurausbau incl. Stahlrohr, Betonsockel und zusätzlichem Anfahrerschutz		Stück		E. P.
Summe Pos. 1					
2	Einrichtung des Versuchsaufbaus				
2.1	Baustelleneinrichtung				
2.1.1	Einrichten und Räumen der Baustelle einschl. An- und Abtransport, Verladearbeiten aller für die Durchführung der in Pos. 2.2 beschriebenen Leistungen	1	p.		
2.1.2	Vorhalten der Baustelleneinrichtung incl. aller Einrichtungen gem. Pos. 2.1.1 und z.B. Handy für die Dauer der Arbeiten	1	Tag		
2.1.3	Abdecken der Untersuchungsfläche mit Folie gem. Lageplan	1	p.		
2.1.4	Herstellen und Betreiben einer Stromversorgung	1	p.		
2.2	Aufbau der Versuchseinrichtung				
2.2.1	Gestellung, Anschluss, Vorhalten und Umsetzen für die Durchführung der gesamten Absaugversuche an Bodenluftabsaugpegeln: *) - eines Wasserabscheiders 200 l in Stahl bzw. PE mit einer integrierten Prallplatte/ Strömungsleitblech und Zu - u. Abluftstutzen im Deckelbereich, Wasserstandsmessrohr, Probenahmehahn				
Übertrag:					

Bieter:.....

Pos.	Bezeichnung	Anz.	Einh.	E.-Preis	Summe (EUR) netto
Übertrag:					
*)	eines Seitenkanalverdichters Volumenstrom [m³/h]: 250 ± 50 Druckdifferenz [mbar]: 240 ± 30 Motorleistung [kW]: ca. 2,4 ± 0,4				
*)	eines Aktivkohlefilters mit Siebboden incl. ca. 70 - 80 kg Aktivkohle				
	von 3 ausreichend langen Schläuchen 2" unterdruckbeständig bis 8 m WS incl. je 2 C-Kupplungen zur Verbindung von: - Absaugpegel mit Wasserabscheider - Wasserabscheider mit Seitenkanalverdichter - Seitenkanalverdichter und Aktivkohlefilter aller für die Messung der gem. Kap. 4.4 zu ermittelnden Parameter erforderlichen Messgeräte	1	p.		
2.2.3	Gestellung, Anschluss, Vorhalten und Umsetzen für die Durchführung der gesamten Absaugversuche an Bodenluftabsaugpegel(n) eines ausreichend dimensionierten Stromaggregates	1	p.		E.P.
2.2.2	Austausch und fachgerechte Entsorgung von beladener Aktivkohle	80	kg		
Summe Pos. 2					
3	Versuchsdurchführung				
3.1	Durchführung des Bodenluftabsaugversuches incl. Aufnahme aller Parameter gem. Tab. 4.4.1-1 und Probenahme	1	p.		
3.2	Alternativposition: Abrechnung nach Aufwand:				
3.2.1	Projektleiter Annahme ca.	1	h		E.P.
3.2.2	Projektbearbeiter Annahme ca.	1	h		E.P.
3.2.3	Fahrtkosten Annahme ca.	1	km		E.P.
3.3	Probenahme				
3.3.1	Luft-Probenahme in Septumgläser gem. VDI 3865 Blatt 2		Stück		
3.3.2	Luft-Probenahme in Adsorptionsröhrchen Typ:.....gem. Kap. 4.4.4	1	Stück		E.P.
3.3.3	Wasserstandsmessung im und Entnahme einer Wasserprobe aus dem Wasserabscheider in Braunglasflaschen ohne Gasraum		Stück		
Übertrag:					

Bieter:.....

Pos.	Bezeichnung	Anz.	Einh.	E.-Preis	Summe (EUR) netto
Übertrag:					
3.4	Online-Mess- und Analysengerät				
3.4.1	Vorhalten und Betreiben für die Dauer der gesamten Versuche	1	p.		E.P.
3.4.2	Alternativpos.: Vorhalten und Betreiben für die Dauer der gesamten Versuche	1	Tag		E.P.
3.5	Reichweitenmessung gem Kap. 4.4.5				
3.5.1	Durchführung von Rauchkerzen- bzw. Strömungsröhrchenversuchen an den Kontrollpegeln		Stück		
3.5.2	Alternativpos.: Differenzdruckmessung mittels Schlauchwaage / elektronisch	1	Stück		E.P.
Summe Pos. 3					
4	Arbeitsicherheitsmaßnahmen Zu erwartende Stoffe in der Bodenluft, die besondere Arbeitsschutzmaßnahmen erforderlich machen (vgl. Tab. 3.2-1): Es sind u.a. zu berücksichtigen (s. Kap. 4.2.4): - TRbF 100 - ZH 1/10 - VDMA 24169 Teil 1 - VDI 2263 Blatt 2				
4.1	Mehraufwand durch Arbeitssicherheitsmaßnahmen	1	p.		E.P.
Summe Pos. 4					
5	Analytik				
5.1	Bodenluft-Analytik Schadstoffe gem. Tab. 4.2-1		St.		
5.1.1	Analytik auf		St.		
5.1.2	Analytik auf		St.		
5.2	Wasseranalytik auf		St.		
Summe Pos. 5					
Übertrag:					

Formatiert

Bieter:.....

Pos.	Bezeichnung	Anz.	Einh.	E.-Preis	Summe (EUR) netto
Übertrag:					
6	Ingenieurleistungen				
6.1	Koordination der Außendienstleistungen	1	p.		
6.2	Auswertung und Dokumentation der Versuche gem. Kap. 5	1	p.		
Summe Pos. 6					
7	Stunden- und Verrechnungssätze				
7.1	Projektleiter	1	h		EP
7.2	Projektbearbeiter	1	h		EP
7.3	Außendiensttechniker	1	h		EP
7.4	Fahrtkosten (PKW)	1	km		EP
Summe Pos. 7					
8	Nebenkosten				
	Telefon, Telefax, etc.				
% der Rechnungssumme	1	p.		
Summe Pos. 8					
Zusammenstellung der Leistungen					
1	Bohrarbeiten				
2	Einrichtung des Versuchsaufbaus				
3	Versuchsdurchführung				
4	Arbeitssicherheitsmaßnahmen				
5	Analytik				
6	Ingenieurleistungen				
7	Stunden- und Verrechnungssätze				
8	Nebenkosten				
Nettosumme:					
zzgl. gesetzl. Mehrwertsteuer					
Bruttosumme					
Ort, Datum					
Unterschrift Bieter					

***) Hinweis:**

Bei den mit *) gekennzeichneten Positionen kann es im Einzelfall sinnvoll sein, die Versuchsbedingungen zu ändern. Dies hat der Gutachter im Einzelfall zu prüfen und darzulegen.