

500 Fassung und Entnahme von Bodenluft / Deponiegas und andere pneumatische Maßnahmen

In diesem Leistungsbereich werden passive und aktive pneumatische Maßnahmen zusammenfassend dargestellt, um die häufig enge Verflechtung von aktiven und passiven Maßnahmen sowie die Möglichkeit der Umwandlung von passiven in aktive Bodenluftsanierungen im Rahmen der Planung und Kostenschätzung ausreichend zu berücksichtigen.

500.1 Entgasungsgräben, -schächte und -flächenfilter

500.1.1 Leistungsbeschreibung (rechtliche / technische Grundlagen)

Der Einbau von Entgasungsflächenfiltern, Entgasungsschächten oder -gräben zählt zu den passiven pneumatischen Maßnahmen. Passive pneumatische Verfahren gehören zu den Sicherungsverfahren. Sie dienen der Fassung von Gasen und Dämpfen und der Verhinderung deren unkontrollierter Ausbreitung. Danach erfolgt in der Regel eine Gasbehandlung. Passive pneumatische Maßnahmen werden vor allem bei der Gasfassung aus Altablagerungen eingesetzt. Die dort entstehenden Gasmengen lassen sich nur grob abschätzen. Die Menge ist abhängig von der Zusammensetzung der Abfälle, dem Ablagerungsalter, dem Feuchtegehalt und der angewandten Einbautechnik.

500.1.2 Kostenermittlung

500.1.2.1 Abrechnungseinheiten, Kostenkalkulation

In der Kostenkalkulation sind die Abrechnungseinheiten wie folgt vorgesehen:

Leistung	Abrechnungseinheit	alternativ
Bodenluftrigole auskoffern und profilieren	m ³	m
Drän- und Filtermatte verlegen	m ²	m
Bodenluftdränageleitung liefern und verlegen	m	
Schottersäulen bohren und verfüllen	m	m ³
Gaswarngeräte liefern und vorhalten	Stck.	

500.1.2.2 Leistungsregister

weiterführende Leistungen:

LB 110	Geotechnische Felduntersuchung
LB 130	Chemisch-physikalische Analytik
LB 200	Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen
LB 210	Baustelleneinrichtung
LB 220	Arbeits-, Emission- und Immissionsschutz
LB 270	Direkt-, Indirekteinleitung, Versickerung
LB 300	Erdarbeiten
LB 340	Eigenkontrollmaßnahmen der Überwachung und Nachsorge
LB 510	Behandlung von Bodenluft, Deponiegas und Abluft

500.2 Bodenluftabsaugung

500.2.1 Leistungsbeschreibung (rechtliche / technische Grundlagen)

Der Leistungsbereich der aktiven pneumatischen Maßnahmen umfasst die Leistungen, die im Rahmen von Bodenluftsanierungen zur Absaugung der Bodenluft erforderlich sind. Die Bodenluftsanierung wird angewendet, um in der ungesättigten Bodenzone vorliegende Kontaminationen durch gasförmige oder in die Gasphase überführbare Kontaminanten zu entfernen bzw. zu minimieren. Durch dieses Sanierungsverfahren werden überwiegend leichtflüchtige halogenierte- (LHKW), leichtflüchtige aliphatische- (Pentan, Hexan) und aromatische Kohlenwasserstoffe (BTEX) sowie deren Gemische dem Boden entzogen.

Beim Einsatz von Bodenluftabsaugverfahren werden dem Boden die leichtflüchtigen Schadstoffe durch Anlegen eines Unterdruckes und Absaugung der Luft entzogen. Liegt der Schadstoff im Untergrund nicht nur in Gasphase sondern auch in flüssiger Phase vor, erfolgt durch das Absaugen eine Störung des Phasengleichgewichtes, die zur laufenden Neubildung der Gasphase aus der gesättigten Zone führt. Die belastete Bodenluft wird im Anschluss an die Absaugung gereinigt.

Die zur Abreinigung eingesetzten Verfahren werden im Leistungsbereich 510-000-000 des Leistungsbuches behandelt.

500.2.1.1 Komponenten der Bodenluftabsaugung

Die Komponenten der Bodenluftabsaugung und ihre jeweilige Funktion werden im Folgenden beschrieben:

- *Bodenluftabsaugpegel*,
diese werden in der Regel als Rammpegel bzw. als Brunnen mit und ohne Kiesschüttung hergestellt. Ist auf Grund einer heterogenen Bodenhorizontierung die Absaugung aus mehreren Teufen erforderlich, werden Multilevelpegel eingesetzt. Die Filterstrecken sind dann entsprechend der Bodenschichtung anzuordnen. Geringmächtige Bodenhorizonte können effektiv mittels Horizontaldrainagen erschlossen werden. Zur Minimierung von Strömungseintrittswiderständen an den Pegeln sollte deren Durchmesser möglichst groß gewählt werden. Oberhalb der Filterstrecke, welche minimal 1,0 m unter der Geländeoberkante beginnen sollte, ist zur Vermeidung pneumatischer Kurzschlüsse eine Abdichtung (Bentonit o.ä.) einzubauen.
-
- *Verbindungsleitungen*
Die Verbindungsleitungen dienen dem Anschluss der Bodenluftpegel an den Wasserabscheider. Die Ausführung erfolgt überwiegend in flexiblen und vakuumfesten HDPE-Schläuchen bzw. Rohren. Die Durchmesser der Leitungen sind den Bodenluftpegeln anzupassen.
-
- *Wasserabscheider*
Wasserabscheider werden zwischen den Pegeln und den Luftförderern positioniert. Sie dienen dem Schutz der nachgeschalteten Anlagenteile vor mitgefördertem Wasser. Zum Schutz vor Beschädigungen durch den anliegenden Unterdruck sind vakuumfeste Wasserabscheider zu wählen. Entsprechend dem Wasseranfall sind die Abscheider regelmäßig zu entleeren bzw. als selbsttätig entleerende Abscheider auszuführen.
-
- *Luftförderer*
Zur Absaugung der Bodenluft werden Luftförderer eingesetzt, welche in ihrer Leistungscharakteristik der Durchlässigkeit des Bodens angepasst sind. Ventilatoren kommen bei gut durchlässigen Böden ($k_f > 10^{-3}$ m/s) zur Anwendung. Die Absaugung von wenig durchlässigen Böden ($k_f 10^{-3}$ bis $k_f 10^{-6}$ m/s) erfolgt durch Seitenkanalverdichter. Die Bodenluft aus schlecht durchlässigen Böden mit einem k_f -Wert von $< 10^{-6}$ m/s kann nur mittels Vakuumpumpen abgesaugt werden.

500.2.1.2 Verfahren zur Steigerung des Schadstoffaustrages

Die in Kapitel 500.1.1 dargestellte Verfahrenstechnik der Bodenluftabsaugung kann zur Steigerung der Austrageffizienz durch den Einsatz verschiedener Maßnahmen optimiert werden. Der Einsatz dieser Maßnahmen ist jeweils standort- und fallbezogen hinsichtlich des finanziellen Aufwandes und der Wirksamkeit zu überprüfen.

Optimierungsmaßnahmen und ihre möglichen Anwendungsbereiche zeigt die nachfolgende Zusammenstellung.

Verfahren	Verfahrensbeschreibung	Anwendungsbereich
Oberflächenabdeckung	Versiegelung der Geländeoberfläche durch Folie / Asphaltbelag	bei unversiegelten Sanierungsbereichen zur Optimierung des pneumatischen Systems
aktive Belüftung	Zufuhr von Frischluft	Verstärkte Schadstoffmobilisierung, Erhöhung des Schadstoffaustrags
Erwärmung des Untergrundes	Heizelemente / feste Wärmequellen	Erhöhung des Schadstoffaustrags, schluffige, tonige Bodenarten in der ungesättigten Bodenzone, organische mittel- bis schwerflüchtige LNAPL und DNAPL
	Heißdampf-Luft-Injektion	Erhöhung des Schadstoffaustrags, Kiese und Feinsand – sandige Schluffe in der gesättigten / ungesättigten Bodenzone, organische leicht- bis mittelflüchtige LNAPL und DNAPL

Bei der Erwärmung des Untergrundes über feste Wärmequellen (Heizelemente) wird auch in komplexen geologischen Strukturen (z.B. bindige Bodenarten) der Austrag von Schadstoffen unterschiedlicher Flüchtigkeit beschleunigt. Die erwärmte schadstoffbelastete Bodenluft wird abgesaugt und in konventionellen Reinigungsanlagen behandelt.

Bei der Bodenluftabsaugung mit Injektion von Dampf oder eines Dampf-Luft-Gemisches bewirkt der Sattdampfanteil eine Erwärmung des Bodens und eine erhöhte Verdampfung der Schadstoffe, die injizierte Luft verhindert eine Flüssigmobilisierung des kondensierenden Schadstoffes durch beständigen gasförmigen Austrag. Die zusätzliche Luftinjektion sollte bei DNAPL-Schäden grundsätzlich angewendet werden, um das Absinken der Schadstoffe auf die Sohle des Aquifer zu vermeiden. Bei der Sanierung von LNAPL-Verunreinigungen ist die Luftinjektion nicht unbedingt erforderlich. Die schadstoffbelasteten Gase und Flüssigkeiten werden über Extraktionsbrunnen gefördert und oberirdisch in konventionellen Aufbereitungsanlagen gereinigt.

Das Einbringen von thermischer Energie in den Untergrund führt zu erhöhten Schadstoffaustragsraten. Damit können die Sanierungsdauer verkürzt und Betriebskosten gesenkt werden.

500.2.1.3 Bodenluftabsaugversuch

Die Absaugreichweite der Bodenluftpegel ist abhängig vom Durchlässigkeitsbeiwert k_f , dem Wassergehalt, dem Porenvolumen sowie der Korngrößenverteilung im Boden. Die Ermittlung der zur vollständigen Erfassung eines vorgegebenen Bodenkörpers notwendigen Pegelanzahl erfolgt somit in Korrelation mit der Absaugreichweite der einzelnen Pegel.

Der Bodenluftabsaugversuch (gem. ITVA Richtlinie H 1 – 1, März 2002) wird durchgeführt, um unter definierten Randbedingungen zu ermitteln, ob und in welchem Umfang verunreinigte Bodenluft aus der ungesättigten Bodenzone abgesaugt werden kann. Die im Versuch mittels eines Absaugaggregates geförderte Luft wird über einen vorgeschalteten Wasserabscheider sowie eine nachgeschaltete Abluftreinigung geführt.

Die Ziele des Absaugversuches sind

- das vorhandene Stoffpotenzial und den möglichen Austrag (Frachtbetrachtung) 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 eine Bodenluftabsaugung abzuschätzen,
- die erforderliche Anzahl von Bodenluftabsaugbrunnen für einen nachfolgenden Sanierungsbetrieb festzulegen,
- wesentliche Grunddaten für eine Kostenschätzung einer ggf. nachfolgenden Sanierung durch Bodenluftabsaugung zu liefern.

Zur Durchführung des Absaugversuches werden ein Absaugbrunnen sowie zwei Kontrollmesspegel im Abstand von 5 m bzw. 10 m zur Bestimmung der Reichweite errichtet.

Während der Versuchsdurchführung sind zur Funktionskontrolle und zur Gewinnung der für die Auswertung erforderlichen Daten die im folgenden Messplan dargestellten Messungen durchzuführen. Die Gesamtdauer des Bodenluftabsaugversuches kann mit 5 Tagen angenommen werden.

Messplan zum Bodenluftabsaugversuch

Zeit [h]	Rohgas Schadstoff	Rohgas Vol.-Strom	Rohgas Druck, rel. Feuchte, Temp.	Unterdruck Kontrollmessstellen I + II	Füllstand Wasserabscheider	Witterungsbedingungen	Reingas rel. Feuchte	Reingas Temp.
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

Die jeweiligen Messergebnisse der Vorortmessungen sind in einem Probenahmeprotokoll zu dokumentieren.

Die Messung des Unterdrucks in den Kontrollmessstellen wird zur Bestimmung der Absaugreichweite durchgeführt. An Hand der gemessenen Unterdrücke lässt sich der Bereich der effektiven Absaugung (Normalbereich: -1 bis -5 mbar) feststellen. Dies ermöglicht im weiteren Planungsverlauf die genaue Positionierung weiterer zur pneumatischen Sanierung erforderlichen Absaugpegel.

500.2.2 Kostenermittlung

500.2.2.1 Abrechnungseinheiten, Kostenkalkulation

In der Kostenkalkulation sind die Abrechnungseinheiten wie folgt vorgesehen:

Leistung	Abrechnungseinheit	alternativ
Oberflächenabdichtung (HDPE-Folie) liefern und verlegen	m ²	
Bodenluftabsaugbrunnen installieren	m	Stck.
Absauganlage		
liefern und installieren	Stck.	
vorhalten	Mt	Wo
warten und betreiben	Mt	Wo
Bodenluftabsaugversuch nach ITVA H1-1	Wo	
Schlauchleitungen		
liefern und verlegen	m	Stck.
vorhalten	Mt	Wo

Die Kernleistung umfasst die Lieferung und Einrichtung einer geeigneten Bodenluftabsauganlage mit Pegelerstellung und Absauganlage. Die Investitionskosten umfassen u.a. einen üblichen Seitenkanalverdichter mit Wasserabscheider. Die Betriebskosten beinhalten Energie- und Betriebsmittel, Wartung und Reparaturen. Die Kosten sind abhängig vom Durchlässigkeitsbeiwert des Bodens und der Schadstoffflüchtigkeit, die Aufwand und Dauer der Bodenluftabsaugung bestimmen.

Die Kostenermittlung beruht auf folgenden Annahmen: Der Sanierungsstandort befindet sich auf homogenem Untergrund. Die Oberfläche in der direkten Umgebung der Pegel wird abgedichtet (z.B. durch Folien) um pneumatische Kurzschlüsse zu vermeiden. Die Reichweite der Absaugpegel wird in Abhängigkeit von der Durchlässigkeit bestimmt. Es wird eine Überschneidung der wirksamen Einflussradien von 20 % angenommen, um über den effektiven Einflussradius die erforderliche Pegelzahl zu ermitteln.

Der Einfluss des Durchlässigkeitsbeiwertes bezogen auf Wasser und der Schadstoffemission auf den Energieaufwand und die Betriebsdauer wird anhand von Zu- und Abschlägen berücksichtigt. Für k_f -Werte von $< 10^{-4}$ m/s wird mit einer Verlängerung der Sanierungsdauer gerechnet. Bei $k_f > 10^{-4}$ m/s wird der verminderte Energiebedarf aufgrund des Einsatzes von Radialventilatoren berücksichtigt. Die Schadstoffflüchtigkeit wird als konstant vorausgesetzt.

500.2.2.2 Leistungsregister

weiterführende Leistungen:

LB 110	Geotechnische Felduntersuchung
LB 130	Chemisch-physikalische Analytik
LB 200	Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen
LB 210	Baustelleneinrichtung
LB 220	Arbeits-, Emission- und Immissionsschutz
LB 270	Direkt-, Indirekteinleitung, VersickerungLB 300-000-000 Erdarbeiten
LB 340	Eigenkontrollmaßnahmen der Überwachung und Nachsorge
LB 510	Behandlung von Bodenluft, Deponiegas und Abluft

500.3 Literatur

- Betz, C.: Wasserdampfdestillation von Schadstoffen in porösen Medien: Entwicklung einer thermischen in-situ Sanierungstechnologie, Mitteilungen, Heft 97, Institut für Wasserbau, Universität Stuttgart, 1998.
- Helmig, R.: Gekoppelte Strömungs- und Transportprozesse im Untergrund – Ein Beitrag zur Hydrosystemmodellierung, Mitteilungen, I Heft 91, Institut für Wasserbau, Universität Stuttgart, 1998.
- ITVA-Richtlinie H 1 – 1: Richtlinie Bodenluftabsaugversuch, Hrsg. Ingenieurtechnischer Verband Altlasten e.V. (ITVA), Berlin, 2002.
- Landesumweltamt NRW: Arbeitshilfe Bodenluftsanierung, Ergebnisse einer Recherche zum Stand der Bodenluftsanierungspraxis mit Handlungsempfehlungen für die Planung und Durchführung von Bodenluftsanierungsmaßnahmen., in der Reihe: Materialien zur Altlastensanierung und zum Bodenschutz, MALBO Band 13, 2001.
- Schmidt, R.: Prozesse des Wärme- und Stofftransportes bei der In-situ-Sanierung mit festen Wärmequellen, Mitteilungen, Heft 115, Institut für Wasserbau, Universität Stuttgart, 2003.
- Theurer, T.; Hiester, U.; Koschitzky, H.-P.; Winkler, A.: Technologieentwicklung zur thermischen In-Situ-Sanierung gering durchlässiger Böden, Diskussionskreis Abfall und Altlasten beim Statusseminar BW PLUS 2003, 11.03.2003.
- Winkler, A.; Koschitzky, H.-P.; Weiske, A.; Gropper, H.: Thermische In-situ-Sanierungstechnologien, Arbeitskreis „Innovative Erkundungs-, Sanierungs- und Überwachungsmethoden“, Schriftenreihe des *altlastenforums* Baden-Württemberg e.V. Heft 4, Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 2001.

500.4 Information über Leistungsanbieter

Kompetente Fachfirmen sind anhand aussagefähiger Referenzen auszuwählen.