

Biologische Bodensanierung

48. Beschreiben sie den Funktionsbereich des ALSAG. Welches weitere Gesetz ist eine wichtige Grundlage für die Veranlassung von Sanierungsmaßnahmen? kurze Beschreibung.

Altlastensanierungsgesetz(ALSAG)

- Erfassung, Abschätzung und Bewertung von Altlasten (Verdachtsflächenkataster, Altlastenatlas):
 - Erfassung von Verdachtsflächen: Durch Landesregierungen, Meldung an BMLFUW; Erstabschätzung durch Umweltbundesamt; Registrierung im Verdachtsflächenkataster
 - Durchführung einer Gefährdungsabschätzung: bei erheblicher Umweltgefährdung → Eintrag in Altlastenatlas; Priorisierung; wenn keine Umweltgefährdung → Streichung aus Verdachtsflächenkataster, Ausweisung im Altlastenatlas als „saniert“ bzw. „gesichert“
- Regelung der Finanzierung der Sanierung von Altlasten: Rechtliche Grundlage/ Instrument für Finanzierung der Sanierung von Altlasten; Richtet sich nach bundesweit effizientem Mitteleinsatz unter Berücksichtigung von Handlungsprioritäten
- ABER: Durchführung der Sanierung in anderen Gesetzen
 - WRG (= Wasserrechtsgesetz) **wichtigste Grundlage für die Veranlassung von Sanierungs- und Sicherungsmaßnahmen von Altlasten.**
 - Gewerbeordnung – notwendige Maßnahmen bei Teilschließung/ Auflassung damit keine Gesundheitsgefahr
 - Abfallwirtschaftsgesetz

Abfallwirtschaftsgesetz(AWG)

- Maßnahmen zur Vermeidung, Reduzierung, Verwertung und Entsorgung von Abfällen
- Seit Novellierung Grundlage zur Kontrolle bzw. Sicherung und Sanierung von Altablagerungen
- Erlaubt nur Ablagerung von Abfällen ohne Gefährdungspotential für nächste Generationen
- Verweise auf Altölverordnung, Altölgesetz und Sonderabfallgesetz

Wasserrechtsgesetz(WRG)

- Reinhaltung der Gewässer + Grundwasser
- Vorsorgeprinzip: Grundwasser jederzeit als Trinkwasser nutzbar
- Keine Prioritätenreihung
- Grundwasserswellenwertverordnung:
 - Schwellenwerte für trinkwassergefährdende Stoffe
 - Bei Überschreitung: Sanierung nach §33f WRG
- Trinkwasserverordnung (TWV)
 - Anforderungen an Wasser für menschl. Gebrauch
 - Für Betreiber von Trinkwasserversorgungen
 - Bei Überschreitung von Schwellenwerten Behandlung oder Sanierung nach WRG

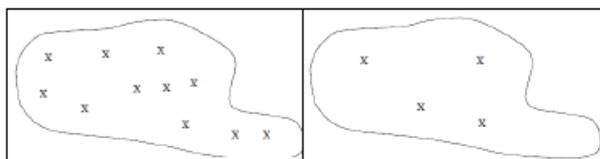
49. Was ist im Altlastenatlas, was im Verdachtsflächenkataster erfasst? Voraussetzungen für die Aufnahme?

- Im Verdachtsflächenkataster werden Altablagerungen und Altstandorte registriert, von denen aufgrund früherer Nutzungsformen erhebliche Gefahren für die Gesundheit von Mensch oder Umwelt ausgehen könnten. Aufnahme: Meldung der Verdachtsflächen von Ämtern der Landesregierungen an das BMLFUW → Erstabschätzung durch Umweltbundesamt → Registrierung
- Der Altlastenatlas umfasst Altablagerungen und Altstandorte von denen, nach Durchführung von Untersuchungen und einer Gefährdungsabschätzung, erhebliche Gefahren für die Gesundheit des Menschen oder für die Umwelt ausgehen. Aufnahme: Gefährdungsabschätzung, wenn erhebliche Umweltgefahr → Ausweisung als Altlast, Priorisierung für Sanierung; wenn keine erhebliche Umweltgefahr → Streichung aus Verdachtsflächenkataster, Ausweisung im Altlastenatlas als „saniert“ oder „gesichert“

50. Welche Probenahmestrategien (sampling approaches) gibt es? Für welche Anwendungsbereiche/Fragestellungen werden die einzelnen Strategien eingesetzt?

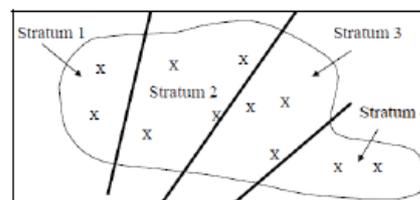
- judgmental sampling: non-probability sampling type, which does not rely on mathematical and statistical theories, useful to identify hazard and pollutant sources

- random sampling: samples are chosen using a random number table if site is heterogeneous, useful to verify cleanup



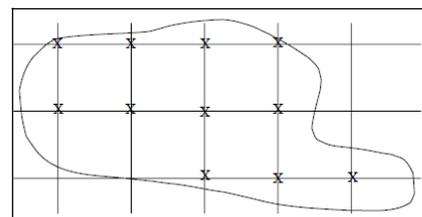
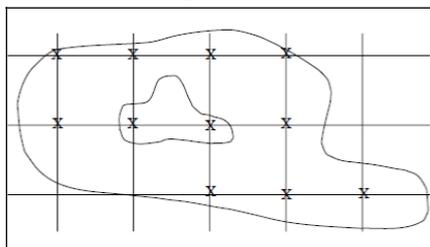
How many samples have to be taken? Sampling precision/ accuracy can be increased by taking an appropriate number of samples or maximize sample weight/volume

- stratified random sampling: if each stratum is more homogenous than the whole site, provides a more precise estimate of chemical properties than simple random sampling for identical sample size/ weight, useful to evaluate treatment options



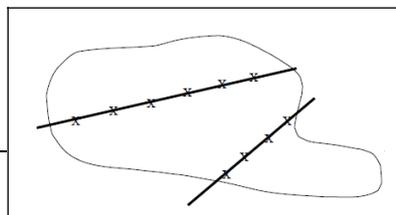
- systematic sampling → search sampling → to detect hot spots

Subdivisions may be squared or triangular, samples are taken from nodes, useful to identify extend of contamination and confirm cleanup



Search sampling to identify hotspots: number of samples and grid spacing is based on the acceptable level of error. The smaller a hotspot (or acceptable error) is, the smaller the grid must be.

- Transect sampling: samples are collected at regular intervals along the transect lines, useful to identify extended of confirm cleanup

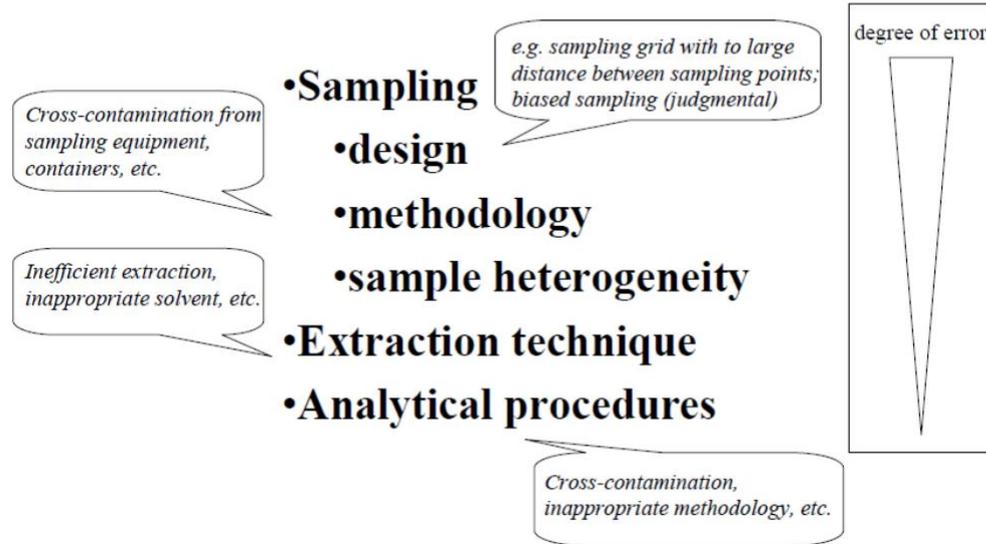


51. Schritte von einer kontaminierten Bodenprobe zu einem Analyseergebnis?

Probenahme → Mischen → Homogenisieren → Subsampling (mahlen um Partikelgröße und Fehler zu reduzieren) → Transport (Glas mit Teflon Dichtungen) → Lagerung (4°C/dunkel/1-4 Wochen) → Analyse

52. Geben Sie die möglichen Fehlerquellen bis zum Erhalt eines Analyseergebnisses für kontaminierten Boden an. Führen Sie eine Reihung nach der Größe des Fehlers durch.

Bei der Beprobung entsteht der größte statistische Fehler, kann durch Analytik nicht ausgeglichen werden



53. Was wird unter dem Begriff Mineralölkohlenwasserstoffe (MKWs) zusammengefasst?

- Verbindungen, die mit Aceton/n-Heptan Gemisch aus Originalprobe extrahierbar sind
- die bei der Extraktreinigung nicht an Florisil adsorbiert werden
- deren Retentionszeit im GC auf unpolaren Kapillarsäulen zwischen C10 und C40 liegen
- die mit GC-FID detektiert werden können

komplexe Gemische aus verschiedenen Komponenten: Unverzweigte n-Alkane (Paraffine), Verzweigte Iso-Alkane (Isoparaffine), Cyclische Alkane (Naphthene), Monoaromaten (BTEX), Alkylierte Aromaten, Polyzyklische Aromaten (PAK), Heterozyklische Verbindungen

54. Welche Methode zur analytischen Bestimmung von Kohlenwasserstoffen kennen Sie? Geben Sie eine kurze Beschreibung des Messprinzips.

ÖNORM L 1080 Chemische Bodenuntersuchungen – Bestimmung des organischen Kohlenstoffs durch trockene Verbrennung

ÖNORM L 1200 Bestimmung von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) in Böden, Klärschlämmen und Komposten

ISO 16703 Soil quality – Determination of mineral oil content by gas chromatography (in Vorbereitung)

ÖNORM S 2120 Bestimmung des Gesamtgehaltes an Kohlenwasserstoffen und des Gehaltes an Kohlenwasserstoffen im Eluat von Abfällen mit IR-Spektroskopie

PAKs (sehr unpolar) Detektion mit

- HPLC + 3D-Fluoreszenz + DAD (Diodenarray – eines fluoresziert nicht)
Die polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) im Boden werden nach Extraktion mit einem organischen Lösemittel mittels HPLC aufgetrennt, ggf. einer Reinigung unterzogen, durch Fluoreszenz(FLD)- bzw. Dioden-Array-Detektion (DAD) identifiziert und anschließend quantifiziert
- Purge & Trap + GC + MS
- GC + FID (nicht so gut)

MKWs (Summenparameter)

- GC + FID + ECD

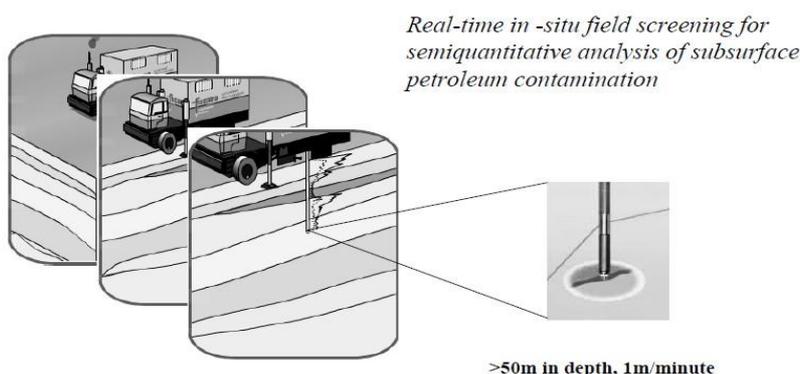
Als Mineralölkohlenwasserstoffe werden alle Verbindungen erfasst, die mit Aceton/n-Heptan aus der Probe extrahierbar sind, die nicht an Florisil adsorbiert werden, deren Retentionszeit im GC auf unpolaren Kapillarsäulen zwischen C10 (Dekan) und C40 (Tetrakontan) liegt und die mit GC-FID detektiert werden können.

~~Bestimmung von mineralischen Kohlenwasserstoffen mit dem **Infrarotspektrometer**. Durch Extraktion mit **1,1,2-Trichloräthylfluorethan (Ozonkiller! Verboten!)** werden die Kohlenwasserstoffe aus dem Boden gelöst. Die mitextrahierten Nicht-Kohlenwasserstoffe werden anschließend durch ein polares Absorbens entfernt.~~

~~Für die quantitative Bestimmung von Kohlenwasserstoffen wird die charakteristische Absorption der **CH₂**-Gruppe bei 3,42µm ($\nu = 2924 \text{ cm}^{-1}$) benutzt.~~

LASER INDUCED FLUORESCENCE

ROST (Rapid Optical Screening Tool)

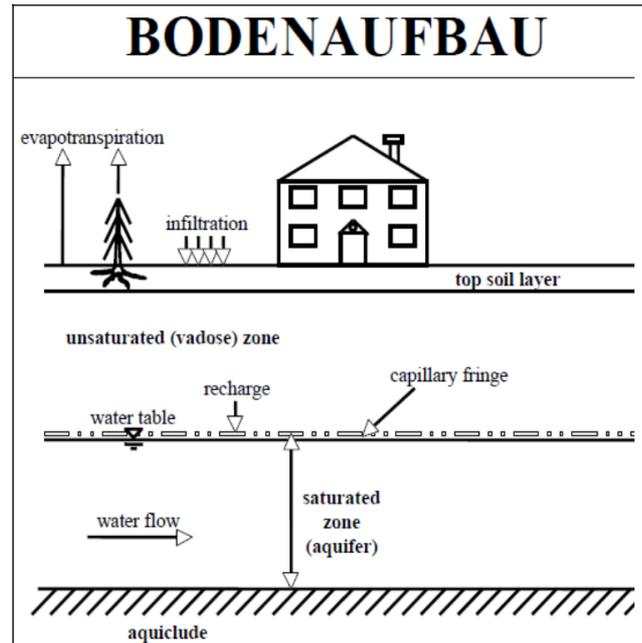


55. Woraus besteht Boden? Bodenbestandteile allgemein?

Boden besteht aus Mineralen und organischen Stoffen (Humus) in dreidimensionaler Anordnung (Bodengefüge)

Bestandteile:

1. Anorganische Komponenten: mineralische Substanz (primäre Silikate, Tonminerale, Oxide und Hydroxide, auch: Carbonate, Sulfate, Sulfide, Phosphate)
2. Organische Komponenten:
 - a) Tote organische Substanz (particulate organic matter, humified organic matter, black carbon), abgestorbene Biomasse und deren Abbauprodukte.
 - b) Lebende organische Substanzen (Bodenorganismen und Pflanzen)



56. Was versteht man unter Boden-Textur, Unterteilung?

- Böden sind die belebte oberste Erdkruste des Festlandes
- Darüber befindet sich die Atmosphäre, tlw. Vegetation, darunter Fest- (Locker-) Gestein
- Böden haben Poren unterschiedlicher Größe, gefüllt mit Bodenlösung oder Bodenluft

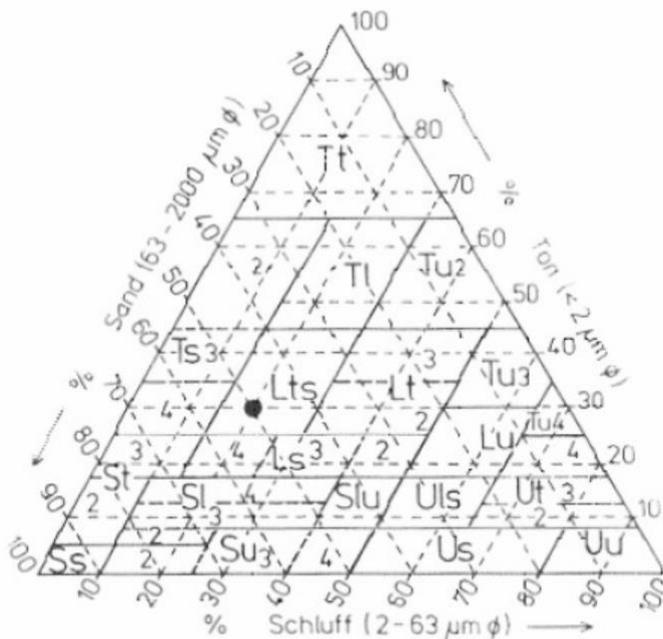


Abb. 5.1-3 Bodenarten des Feinbodens im Dreieckskoordinatensystem. S,s = Sand, sandig; U, u = Schluff, schluffig; T, t = Ton, tonig; L, l = Lehm, lehmig. Die Ziffern 2, 3, 4 geben innerhalb des betreffenden Feldes den Anteil der durch das Adjektiv gekennzeichneten Nebenfraktion an. Der markierte Punkt ● entspricht Anteilen von 50 % Sand, 20 % Schluff und 30 % Ton.

Korngrößenfraktionen

- Grobboden > 2 mm (Bodenskelett)
- Feinboden < 2 mm
 - Sand 63-2000 µm
 - Schluff 2-63 µm
 - Ton < 2 µm

Oberfläche

bis zu 1000 m² pro Gramm Ton

Bodenart/Textur

Ton (T), tonig (t)
Schluff (U), schluffig (u)
Sand (S), sandig (s)
Lehm (L), lehmig (l)
Kombinationen: Ls, Ut

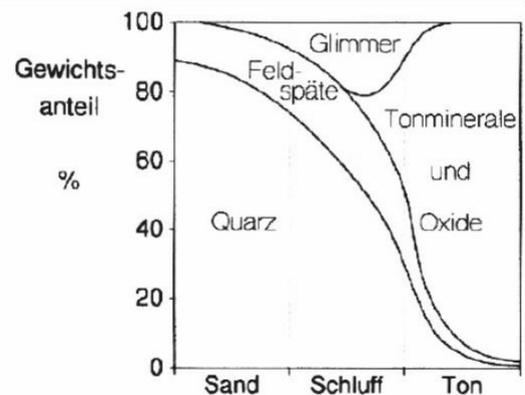


Abb. 2.5-1 Mineralbestand in den Kornfraktionen Sand, Schluff und Ton.

57. Einfluss von organischer Substanz (Humus) im Boden auf das Schadstoffverhalten.

Humus ist die Gesamtheit der abgestorbenen organischen Substanz in und auf dem Boden. Humus ist auf Grund der verschiedenen Ausgangsprodukte und der unterschiedlichen Stadien der Umwandlung sehr heterogen. Humus besteht (im Modell) aus amorphen, flexiblen und kondensierten aromatischen Bereichen. Diese weisen eine geringeren Polarität und eine stärkere Bindung von aromatischen Schadstoffen auf (HOC = hydrophobic organic contaminant). Black carbon: dunkle, stark sorbierende hoch kondensierte aromatische Bereiche; schichtförmiger Aufbau (Bindung aromatischer Verbindungen über pi-Elektronenwolke); sehr starke Bindung von PAK.

58. Bedeutung der Bioverfügbarkeit von organischen Schadstoffen im Boden, Beschreibung der Einflussgrößen auf die Bioverfügbarkeit.

Nur ein Teil der insgesamt im Boden vorhandenen Schadstoffmenge ist verfügbar (kann abgebaut werden).

Bioavailability:

- Bioaccessibility (Remediation)
- Chemical Activity (Toxicity)

Verringerung der Bioverfügbarkeit ist Summe der Effekte von unterschiedl. Mechanismen:

Mechanismen:

Involvierte Prozesse

- Partitioning: Verteilung zwischen Gas- oder Flüssigphasen (organische Phase / Wasser / Luft)
- Sorption: Verteilung zw. Gas-/Flüssigphase und Festphase Ad(Ab)sorption an/in feste Phase
- Diffusion: Penetration in Bodenmikro(nano)poren

(Bio) Verfügbarkeit von Bodenschadstoffen abhängig von:

- **Schadstoffeigenschaften** (Polarität, Struktur, Konzentration)
- **Bodeneigenschaften** (SOM–soilorganicmatter, 3D-Struktur,...)
- Co-Schadstoffe (Konkurrenz um Sorptionsplätze; solubilisierend)
- Umweltfaktoren (pH, Temperatur, Salinität, ...)
- Aufenthaltszeit im Boden (biotische/abiotische Alterung)
- Rezeptor-Organismus (Aufnahme, Metabolisierung)

Einfluss von **Bodeneigenschaften**:

- Organische Substanz (OS) bindet Schadstoffe (HOC): Gesamtgehalt bedeutend (K_{oc} – Verteilungskoeffizient zwischen Boden und Wasser)
- Zusammensetzung der OS bestimmt Schadstoffbindung (Konformation, Komposition)
- Mineralischer Boden: Ton, Oxide >>große Oberfläche
- 3D-Struktur: Größe und „Tortuosität“ (=“gewundenheit“) der Poren

Einfluss von **Schadstoffeigenschaften**:

- Hydrophobizität: hoher $\log K_{ow}$ → verstärkte Sorption
- Reaktivität: Interaktion funktioneller Gruppen
- Struktur: kleine flache Moleküle penetrieren Poren leichter

Bedingungen für erfolgreichen Schadstoffabbau

- Biologische Abbaubarkeit des Schadstoffes, abhängig von:
 - Chemischer Struktur
 - Konzentration
- Bioverfügbarkeit des Schadstoffes, abhängig von:
 - Bodenzusammensetzung (organische Substanz)
 - Alter der Kontamination
- Hemmende Umstände dürfen nicht gegeben sein:
 - Schwermetalle
 - hohe Salzkonzentrationen
 - Umweltfaktoren siehe vorher, insb. Elektronenakzeptoren / -donatoren

59. Erklären sie die Begriffe K_d und K_{OC} hinsichtlich ihrer Bedeutung für die Sorption von Schadstoffen im Boden.

Sorption: Chemikalien (Gase oder gelöste Moleküle) assoziieren mit fester Phase
Adsorption: Anlagerung an 2-dimensionalen Flächen
Absorption: Penetration 3-dimensionaler Matrices

$K_d = C_s / C_w$ Solid-Water distribution coefficient

beschreibt Verteilung einer Substanz im Gleichgewicht zwischen Fest- (Boden) und Flüssigphase (Wasser).

$K_{oc} = K_d / f_{oc} = C_{oc} / C_w$ organic carbon normalized Solid-Water distribution coefficient

beschreibt Verteilung einer Substanz im Gleichgewicht zwischen (vgl. Englisch **O**rganic **C**arbon) des Bodens oder Untergrundmaterial und der umliegenden Wasserphase.

Je grösser der K_{OC} desto stärker adsorbiert der Stoff am organischen Kohlenstoff bzw. am Untergrundmaterial.

60. Beschreiben Sie den mikrobiellen Schadstoffabbau unter aeroben Bedingungen

Aerober Metabolismus: Sauerstoff ist vorhanden

Energie wird durch den Elektronentransport vom Substrat zum Sauerstoff produziert.

Schadstoffe werden zu CO_2 oxidiert, Sauerstoff zu H_2O reduziert.

Viele Schadstoffe sind aerob abbaubar (schnell und effektiv für MKW, PAK).

Geht nicht für viele voll- und hochchlorierte KW (oxidierte KW)

O_2 - Löslichkeit in Wasser: ca. 10mg/L (10°C)

O_2 - Bedarf für KW-Abbau: ca. 3,5 g O_2 / g KW

Sauerstoff im Untergrund meist limitierender Faktor → Bioventing, Biosparging

61. Mikrobieller Schadstoffabbau unter anaeroben Bedingungen. Welche Elektronenakzeptoren?

Findet in der gesättigten Zone statt (Aquifer). Anaerober Metabolismus (kein Sauerstoff)

- für oxidativen anaeroben Abbau: andere Elektronenakzeptoren als Sauerstoff (z.B. Nitrat, Sulfat, Kohlendioxid, usw.) verschiedenste Redoxpotentiale sind möglich
- für reduktiven anaeroben Abbau Elektronendonatoren (Wasserstoff)

MKW, PAK (Oxidation): Abbau u.U. langsamer als aerob (geringerer Energiegewinn); u.U. nur partieller Abbau von Schadstoffen

LCKW -leichtflüchtige chlorierte KW (Reduktion/Oxidation) z.B. Chlorierte C_2 -Aliphate:

- 3-6 Chloratome: Reduktion; Bevorzugt unter anaeroben Bedingungen abgebaut → Zugabe von Wasserstoff
- 1-2 Chloratome: eher Oxidation, aber auch Reduktion → Zugabe von Sauerstoff??

Elektronenakzeptoren

- Aerob: Oxidation – Elektron vom Schadstoff zum Akzeptor Sauerstoff (O_2)
- Anaerob:
 - Oxidation – Elektron vom Schadstoff zum Akzeptor Nitrat (NO_3^-), Sulfat (SO_4^{2-}), Kohlendioxid (CO_2)
 - Reduktion: Elektron vom Donator zum Schadstoff (Elektronenakzeptor) z.B. halogenierte Schadstoffe (reduktive Dechlorierung von LCKW)

62. Was sind die Voraussetzungen für mikrobielles Wachstum im Hinblick auf die biologische Bodensanierung?

- Nährstoffverhältnis
 - aerob: C:N:P:K = 100:10:1:1
 - anaerob: C:N:P:K = 150-300:5:1:1
- Umweltbedingungen
 - Wassergehalt 50-80 (90)% max. Wasserhaltekapazität (aerob)
 - Wassersättigung unter anaeroben Bedingungen
 - pH 4-9
 - Temperatur >10°C (5°C)
- Elektronenakzeptoren (oxidativer Abbau)
 - Sauerstoff (aerob)
 - alternative Akzeptoren (anaerob)
- Elektronendonatoren (reduktiver Abbau)
 - Wasserstoff, Acetat (aus Zuckern, Alkoholen, Fettsäuren)

63. Unter welchen Bedingungen können Mikroorganismen Schadstoffe im Boden abbauen?

- Biologische Abbaubarkeit des Schadstoffes abhängig von:
 - Chemischer Struktur
 - Konzentration
- Bioverfügbarkeit abhängig von:
 - Bodenzusammensetzung (organische Substanz)
 - Alter der Kontamination
- Hemmende Umstände dürfen nicht gegeben sein:
 - Schwermetalle
 - hohe Salzkonz
 - Umweltfaktoren (Wassergehalt, Temperatur, pH) und insb. Elektronenakzeptoren/-donatoren müssen passen

64. Welche Voruntersuchungen ermöglichen einen Rückschluss auf die biologische Abbaubarkeit von organischen Schadstoffen in Böden? Warum?

Mindestumfang

- Bestimmung des **Schadstoffgehaltes** (bevorzugte genormte Methoden z.B. PAK nach ÖNORM L 1200)
- Bestimmung des Wassergehaltes
- Bestimmung des **pH-Wertes** aus der Bodensuspension
- Beschreibung der Textur und Abschätzung der maximalen Wasserhaltekapazität
- **Nährstoffgehalt** (N, P, (K))

Zusatzbestimmungen

- Humusgehalt, TOC
- **mikrobielle Aktivität** (z.B. aktuelle und potenzielle Atmung gemäß ISO 17155)
- **Bioverfügbarkeit** (keine Standardmethode vorhanden)

Untersuchung des ROI – um festzustellen wie viele Bohrungen nötig wären

Schüttelkolben Nicht der zeitliche Ablauf wird nachgestellt sondern man kommt auf die erzielbare Endkonzentration (liegt diese höher als der vorgeschriebene Grenzwert hat das ganze wenig Sinn)

65. Warum und wann werden Vorversuche im Hinblick auf die biologische Behandlung kontaminierter Böden durchgeführt?

Vorversuche sind notwendig, wenn die Voruntersuchungen keine eindeutige Aussage über die Abbaubarkeit der Schadstoffe im Boden zulassen und daher der Behandlungserfolg unsicher ist, z.B. Eigenschaften des Materials nicht optimal (pH, Feuchte, Textur, ...), biologische Abbaubarkeit nicht erwiesen, Gefahr einer Beeinträchtigung des biologischen Abbaus durch toxische Substanzen.

66. Welche Labortests (Vorversuche) zur Beurteilung der biologischen Sanierbarkeit von kontaminierten Böden kennen Sie? Geben Sie eine kurze Beschreibung.

Mikrobielle Abbaubarkeit

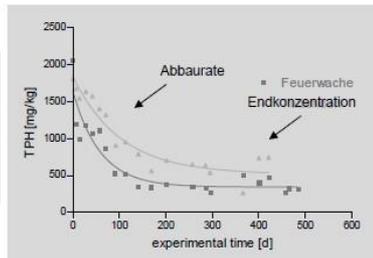
- Laborexperimente
 - Suspensionskolben (10 g)
 - Bodensäulen (100 kg)
 - Lysimeter (1500 kg)
- *In-situ* Respirationstest



Vorversuche

- **Schüttelkolben**
 - ca. 10g Boden in Nährlösung (Suspension)
 - optimale Bedingungen, großer Massentransfer
 - viele Varianten können getestet werden
 - rasches Ergebnis (~3 Wochen)
- **Bodensäulen**
 - 10-100 kg Boden, gesättigt oder ungesättigt
 - Fließverhalten wird erfasst (*in situ* Simulation)
 - längere Versuchszeiten (>3 Monate)

Generell: je kleiner der Versuchsmaßstab, desto eher werden die im Feld erreichbaren Abbauraten überschätzt. Allerdings kann die erzielbare Endkonzentration in kurzer Zeit ermittelt werden.



Kerstin Scherr

In situ Respirationstest

Grundlagen

- Sauerstoffkonsum im kontaminierten Bereich
- Sauerstoffkonsum im nicht kontaminierten Bereich (Hintergrundatmung)
 - ➔ Korrektur des Sauerstoffverbrauchs
 - ➔ Berechnung des Schadstoffabbaus

Durchführung

- Sättigung der Umgebungsluft (Tracer- Zusatz)
- Messung der Sauerstoff- und CO₂- Konzentration
- Messung des Tracers: Überprüfung auf Dichtheit und Diffusion
- Dauer 1 Woche (Messung initial alle 2h, danach alle 4-8h)

Laborversuche

Abbauraten, Endkonzentration und Limitierungen
feststellbar

Abbauraten können überschätzt werden

durch optimierte Bedingungen

sinken jedoch mit steigender Versuchsgröße (Volumen)

Relativ lange Versuchsdauer (Wochen)

steigt mit Volumen

***In situ* Respirationstests**

reflektieren tatsächliche Bedingungen

schnell, jedoch keine Endkonzentration

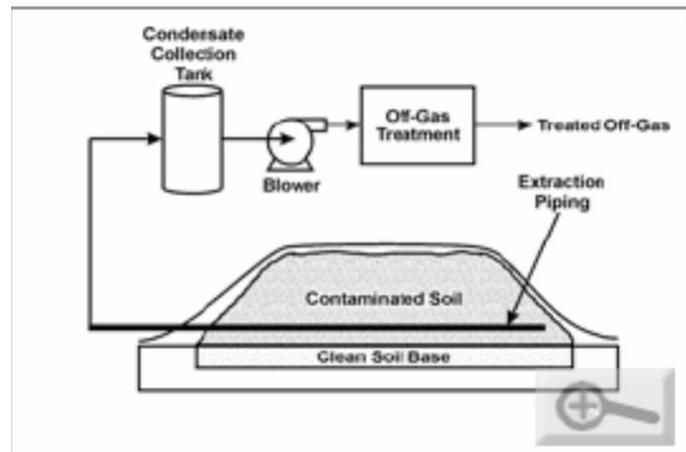
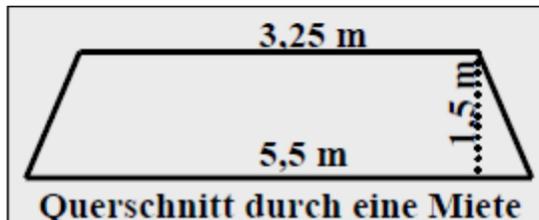
potentielle Limitierungen nicht erkannt

67. Unterschied zwischen Sicherungs- und Dekontaminationsverfahren? Nennen sie einige.

- Sicherungsverfahren: Schadstoffe bleiben am Standort, Ausbreitungspfade werden unterbrochen (Trennung vom Grundwasserstrom; Einkapselung, Stabilisierung oder Verfestigung durch Kalk-, Zement oder Tonzusatz; Umlagerung in Deponien)
- Dekontaminationsverfahren: Entfernung der Schadstoffe (physikalisch, chemisch und/oder biologisch): Thermische Behandlung, Bodenluftabsaugung, Bodenwaschverfahren, Elektrokinetische Verfahren, Chemische Oxidation, Mikrobiologische Verfahren,..

68. Beschreiben Sie das Mieten-Verfahren. Anwendungsbereich sowie Vor- und Nachteile.

Ex-situ Verfahren; kontaminierter Boden wird ausgebaggert und in Mieten gelagert (- Kosten).
Zugabe von grobkörnigem Material für bessere Durchlässigkeit (+),
Addition von Kompost als Inokulum (+);
Sauerstoffversorgung entweder durch aktive Luftzufuhr oder durch semi-kontinuierliche Mischung (+); Dauer: 3-6 Monate



69. Ex-situ vs. In-situ Verfahren: Grundprinzip, Vor- und Nachteile. Wann wird man welches Verfahren einsetzen?

Ex-Situ: Aushub des kontaminierten Bodens, on-site und off-site Verfahren, (Addition von Zuschlagstoffen, Mikrobielle Inokulierung, Homogenisierung durch Mischen ist möglich).
Verfahren: Mietenverfahren, Bioreaktoren, Landfarming
Einsatzbereiche: undurchlässiger Boden, punktuelle Verunreinigung, nicht sehr tiefgehend, Grundwasser nicht mitbetroffen

In-Situ: kein Bodenaushub, umfangreiche Standortcharakterisierung erforderlich, Untergrund muss durchlässig sein (kf-Wert), Addition von Zuschlagstoffen komplexe Aufgabe (Verteilung/Konz., Steuerung von in-situ Prozessen)
Einsatzbereiche: Großvolumige Kontaminationen, Bebaute Standorte, Boden und Grundwasser kontaminiert

70. Welche Kenngröße beschreibt die Wasserdurchlässigkeit des Bodens? Wovon hängt sie ab?

Die Wasserbewegung in der **gesättigten Zone** ist abhängig von den Eigenschaften des durchströmten Materials. Für die mathematische Beschreibung der Strömung ist die Wasserleitfähigkeit oder **Durchlässigkeit** des Bodens wichtig. Diese wird angegeben durch einen substratspezifischen Proportionalitätsfaktor, die hydraulische Leitfähigkeit bzw. den Durchlässigkeitskoeffizienten k_f .

- ist Parameter für Durchlässigkeit des Untergrundes
- Angabe in m/s
- Kies $k_f = 10^{-1} - 10^{-2}$ m/s
- Ton $k_f = 10^{-9}$ m/s = technisch dicht (Deponieabdichtung)
- meist im Untergrund: $10^{-2} - 10^{-4}$

$$k_f = K \cdot \rho \cdot g / \eta$$

k_f	hydraulische Leitfähigkeit [m/s]
K	Permeabilität [m ²]
ρ	Dichte [kg/m ³]
g	Erdbeschleunigung [m/s ²]
η	dynamische Viskosität [kg/m s]

k_f ist von der Viskosität des Fluids abhängig!

Der k_f -Wert ist der Durchlässigkeitsbeiwert, der eigentlich einen viskositätsabhängigen Term ($\rho g \eta^{-1}$) enthält.

Da der k_f -Wert meist für Grundwasser verwendet wird, kann dieser Term als quasi-Konstante (etwa $7.5 \cdot 10^6$ bei $\text{temp} = 10^\circ\text{C}$ und Dichte 1000 kg m^{-3}) angesehen, und in den k_f -Wert mit eingerechnet werden.

Für geothermische Berechnungen oder für Berechnungen in Mehrphasensystemen (d.h. bei abweichenden Temperaturen oder Viskositäten) muss aber die Permeabilität verwendet werden.

$K_f < 10^{-6}$ m/s schwach und sehr schwach durchlässiger Boden (nicht für in situ Sanierung geeignet)

$K_f 10^{-6} - 10^{-4}$ m/s durchlässiger Boden (bedingt für in situ Sanierung geeignet)

$K_f > 10^{-4}$ m/s stark und sehr stark durchlässiger Boden (geeignet für in situ Sanierung)

71. Welche Durchlässigkeiten sind für die Anwendung einer in-situ Sanierung erforderlich? Geben sie die entsprechenden K_f -Werte und die dazugehörige Gesteins-/Bodenart an.

K_f -Wert ist Parameter fuer die Durchlässigkeit des Untergrundes (in m/s)

- $10^{-1} - 10^{-4}$; Kies: $k_f = 10^{-1} - 10^{-2}$ m/s
-
- $10^{-5} - 10^{-6}$ bedingt geeignet;
- $> 10^{-6}$ nicht geeignet

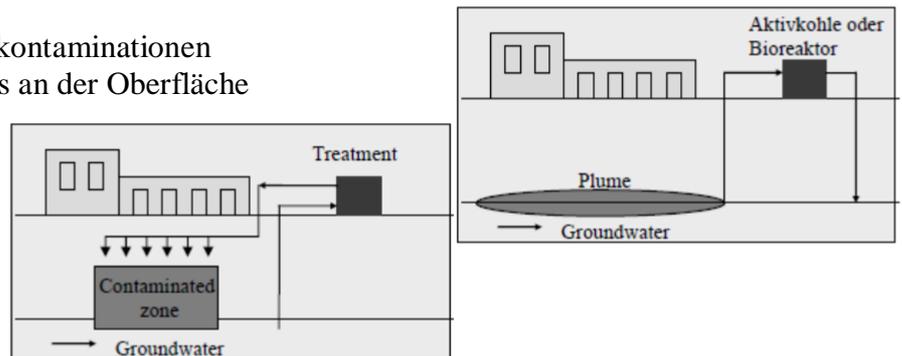
Ton: $k_f = 10^{-9}$ m/s = technisch dicht

Meist im Untergrund: $10^{-2} - 10^{-4}$

72. Aufbau und Funktionsweise sowie Vor- und Nachteile eines Pump & Treat Systems.

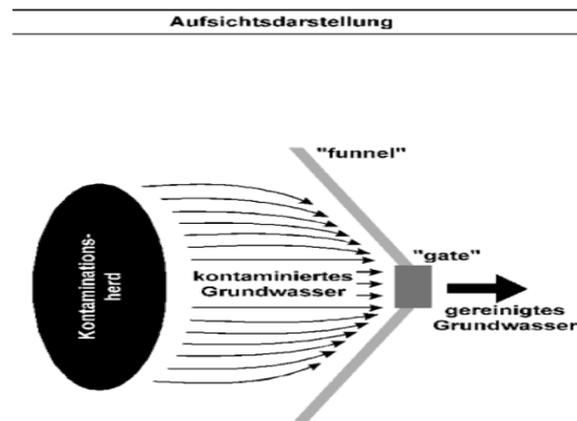
In-situ System

Für Grundwasser- und Bodenkontaminationen
Behandlung des Grundwassers an der Oberfläche
Hoher Energiebedarf
Sanierungsdauer: mehrere Jahre



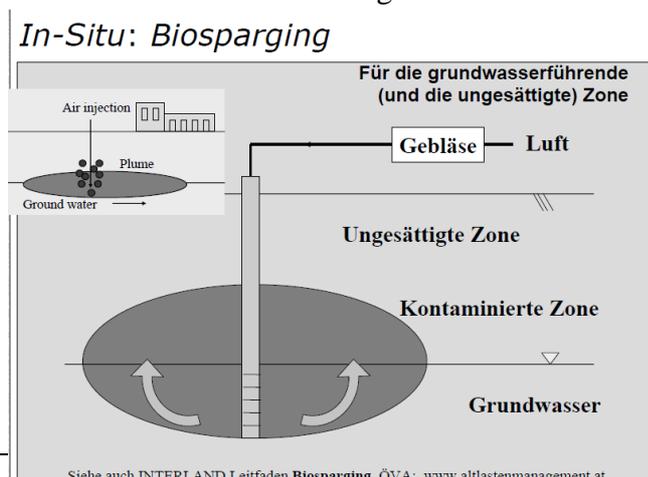
73. Beschreiben sie Aufbau und Funktionsweise eine Funnel & Gate Systems sowie das Einsatzgebiet.

Der Grundwasserstrom wird mittels zweier Dichtwände (Funnel) wie bei einem Trichter in Richtung eines Durchlasses (Gate) gelenkt. Das Grundwasser durchfließt das Gate (ein massives, in den Boden eingelassenes Bauwerk) und wird dabei mittels Aktivkohle gereinigt, die in regelmäßigen aber größeren zeitlichen Abständen ausgewechselt werden muss. Die Reinigung des Grundwasserstroms erfolgt also durch Adsorption. Eignet sich für CKW, MKW und PAK.



74. Was verstehen Sie unter Biosparging, welche kontaminierten Bereiche können damit saniert werden?

Als Biosparging wird die Injektion von Umgebungsluft in den Aquifer bezeichnet. Durch diese Belüftungsmaßnahme wird zum einen eine Desorption der Schadstoffe sowie eine **In-situ-Strippung** flüchtiger Kontaminanten erreicht und zum anderen der mikrobielle Schadstoffabbau durch Anreicherung des Grundwassers mit Sauerstoff gestartet bzw. beschleunigt.

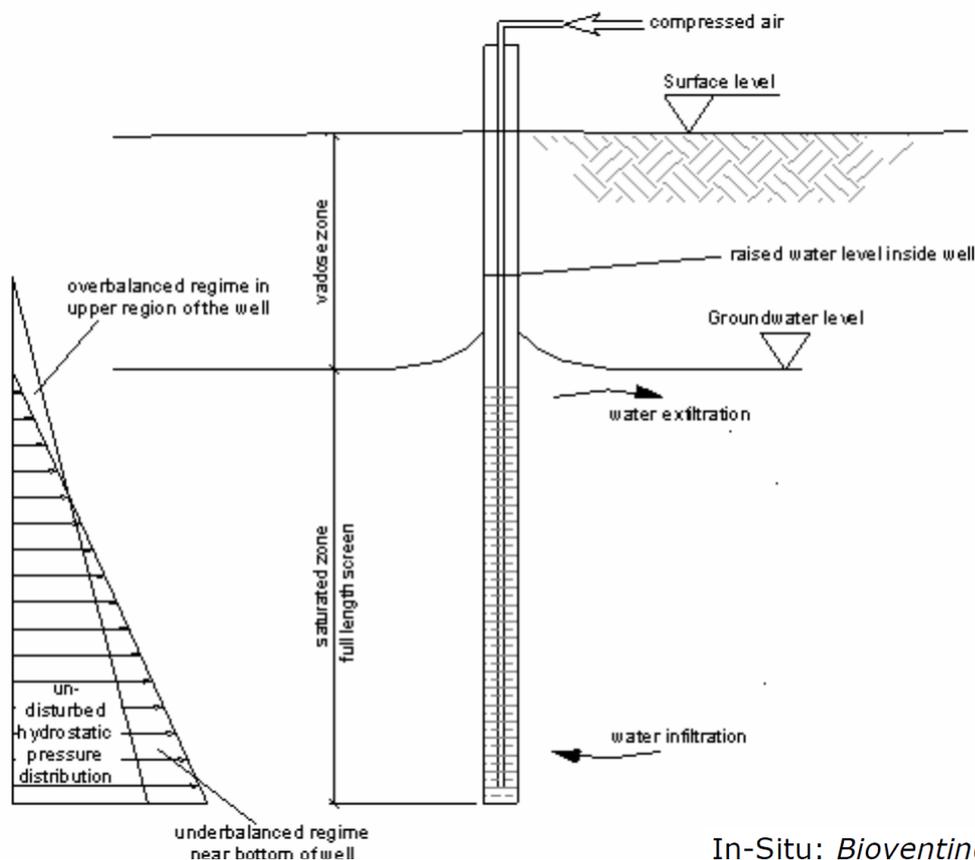


75. Aufbau, Funktionsweise und Einsatzgebiet eines Grundwasserzirkulationsbrunnens sowie das Einsatzgebiet

Dient der Sanierung der gesättigten Zone durch Einbringung von Sauerstoff ins Grundwasser. Durch die Einbringung von Sauerstoff wird der Abbau von Schadstoffen (zB. Diesel, Benzin) durch vorhandene Mikroorganismen gestartet bzw. beschleunigt.

Im Brunnen enge Verbindung von Wasser und Luft; dadurch reger Gasaustausch. Es ist somit der Zweiphasenfluss im Inneren des Brunnens als Gleichstromstrippkolonne zu qualifizieren. Dadurch werden zum einen Schadstoffe, welche im Wasser gelöst sind an die Luft abgegeben („Strippeffekt“), zum anderen wird Sauerstoff aus der Luft in das Wasser abgegeben.

Durch die Einbringung von Luft nahe der Sohle verändern sich die Druckverhältnisse im Brunnen („Mammutpumpeneffekt“). Die Dichte des Wasser-Luft Gemisches ist kleiner als die des reinen Wassers, wodurch an der Brunnensohle ein geringerer Druck im Brunnen herrscht als außerhalb („underbalanced regime“). Andererseits wird durch die Einblasung der Wasserspiegel im Brunnengehoben, wodurch die Nulllinie des Wasserdrucks im Brunnen nach oben geschoben wird und im oberen Brunnenbereich ein relativer Überdruck im Brunnen gegenüber außen herrscht („overbalanced regime“). Durch diesen Effekt fließt im oberen Bereich des Brunnens Wasser aus dem Brunnen in die Umgebung ab und im unteren Bereich aus der Umgebung in den Brunnen zu. Hierdurch wird im Untergrund um den Brunnen eine dreidimensionale Walzenbewegung in Gang gesetzt, aus welcher der Brunnen seinen Namen bezieht und welche die kennzeichnende Eigenschaft des Verfahrens ist.



76. Bioventing: Funktionsweise, Vor- und Nachteile

In situ Sanierung der ungesättigten Bodenzone, aerober Schadstoffabbau, Sauerstoffversorgung durch Luftzufuhr; für gering durchlässige Böden geeignet

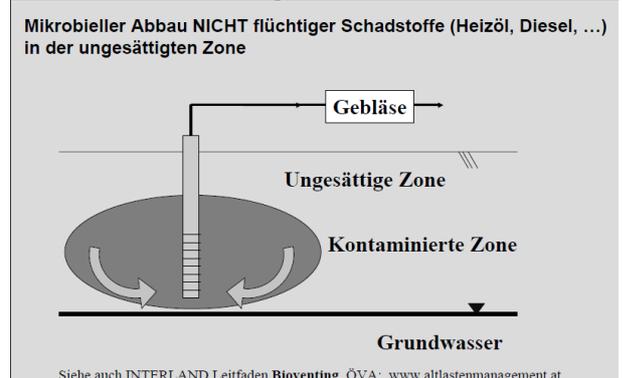
Prinzip

Bioventing-Verfahren sollen einen geringen Luftstrom im kontaminierten, ungesättigten Bodenbereich erzeugen und dort durch verbesserte Sauerstoffversorgung den mikrobiellen Abbau von organischen Schadstoffen anregen.

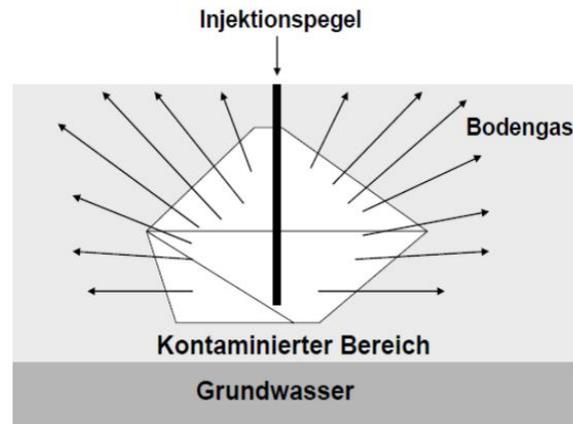
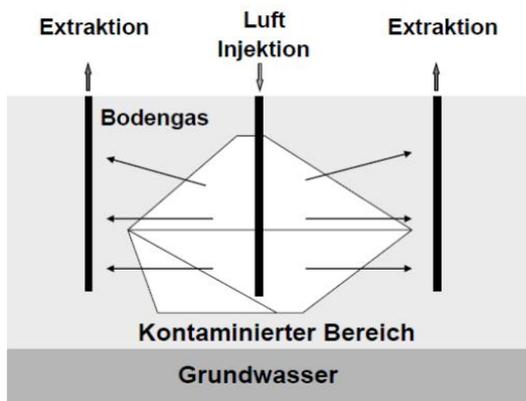
Wirkungsweise

Die Bioventing-Verfahren stehen an der Grenze zu den pneumatischen in situ-Behandlungsverfahren. Beim Bioventing-Verfahren wird Druckluft in den Untergrund injiziert, um die mikrobiellen Schadstoffumsetzungsprozesse im Untergrund zu optimieren. Die Verfahren werden angewandt, um Sanierungen zu beschleunigen und die Bodenluftströmung gezielter zu beeinflussen als es durch alleinige Absaugung möglich ist. Dabei erhöht sich der durchschnittliche Luftdruck im Sanierungsbereich, was zu geringem Wassergehalt und erhöhter Luftdurchlässigkeit führt.

In-Situ: Bioventing

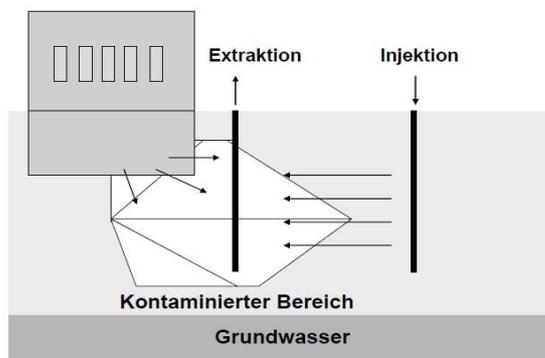
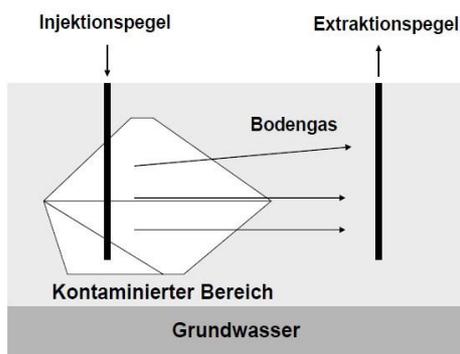


BIOVENTING mit Luftinjektion BIOVENTING ohne Luftabsaugung



BIOVENTING in nicht-kontaminierter Zone

BIOVENTING auf verbauten Standorten



Vorteile

- In situ Verfahren
- Keine/minimale Abgasreinigung nötig
- Mineralisierung der Kontaminanten
- Entfernung nicht flüchtiger Schadstoffe
- Sanierung gering durchlässiger (schluffiger) Böden
- Geringer Kostenaufwand
- Minimale Störung von Untergrund und Oberfläche
- Kombination mit anderen Verfahren

Anwendungsgrenzen des BIOVENTINGS

- Gaspermeabilität über 0,1 Darcy
- Sauerstoffgehalt über 3 %
- Wassergehalt 50 - 70% der WK_{max} .
- Bodentemperatur über 10°C
- C:N:P:K=100:10:1:1
- Schadstoffart: biologisch abbaubar und verfügbar, Dampfdruck unter 760 mm Hg
- KW-Gehalt: maximal 30.000-50.000 mg/kg
- Abwesenheit von Hemmstoffen

Einschränkungen

- Längere Sanierungszeiten
- Nur für biologisch abbaubare Schadstoffe
- Nicht für undurchlässige Böden geeignet
- Erhöhter Monitoring Aufwand

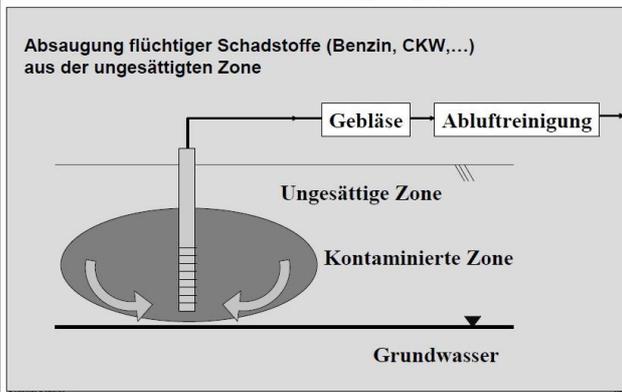
77. Bioventing: Wie kann man die Anwendbarkeit im Voraus abschätzen?

Voruntersuchungen: Durchlässigkeit des Bodens, Wasserhaltekapazität, pH
 Abbauversuche im Labor (Suspensionskolben, Bodensäulen, Lysimeter), in-situ
 Respirationstest

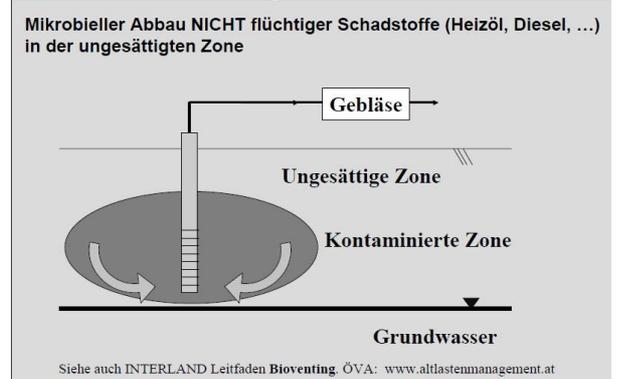
78. Beschreiben Sie den Unterschied zwischen Bodenluftabsaugung und Bioventing. Geben Sie die bevorzugten Anwendungsbereiche an.

- Bodenluftabsaugung ist ein pneumatisches Verfahren, Bioventing ein biologisches

In-Situ: *Bodenluftabsaugung / SVE*



In-Situ: *Bioventing*



Bei der Bodenluftabsaugung werden flüchtige Schadstoffe aus der ungesättigten Bodenzone entfernt, indem das Verteilungsgleichgewicht der Schadstoffe zwischen Boden und Bodenluft gestört wird.

Da die Bodenluft laufend abgesaugt wird, wird ständig Schadstoff aus dem Boden nachgeliefert.

Einsatzmöglichkeiten

Medium	Ungesättigte Bodenzone, oberhalb des Grundwassers
Schadstoffe	Leichtflüchtige und schwerer flüchtige, aber biologisch abbaubare Schadstoffe (z. B. LCKW, BTEX, Benzin, Diesel, z.T. PAK, etc.)
Geologie/Hydrogeologie	Ungesättigte Bodenzone, sandig-kiesiger oder siltig-sandiger Untergrund
Sonstige Bedingungen	Freier Zugang

Beim Bioventing wird Luft (Sauerstoff) in den Boden eingebracht, um den aeroben mikrobiellen Abbau zu forcieren.

Einsatzmöglichkeiten

Medium	Luft
Schadstoffe	<ul style="list-style-type: none"> • Biologisch abbaubare Schadstoffe • Benzin • Kerosen • Phenole • Mineralölkohlenwasserstoffe • BTEX
Geologie/Hydrogeologie	Ungesättigte Bodenzone, sandig-kiesige Böden; bei bindigen Böden oder unterschiedlich durchlässigen Böden bedingt

79. Was verstehen sie unter Natural Attenuation, welche Prozesse sind involviert?

alle physikalischen, chemischen und biologischen Prozesse, die ohne menschlichen Eingriff wirken und unter bestimmten Bedingungen zur Reduktion von Masse, Toxizität, Mobilität, Volumen oder Konzentration von Schadstoffen im Boden und Grundwasser führen. Dauer: Jahrzehnte

Involvierte Prozesse:

Destruktive Mechanismen: biologischer Abbau

Nichtdestruktive Mechanismen: Dispersion, Verdünnung (?), Sorption, Immobilisierung

Chemische und biologische Stabilisierung

Verflüchtigung (?)