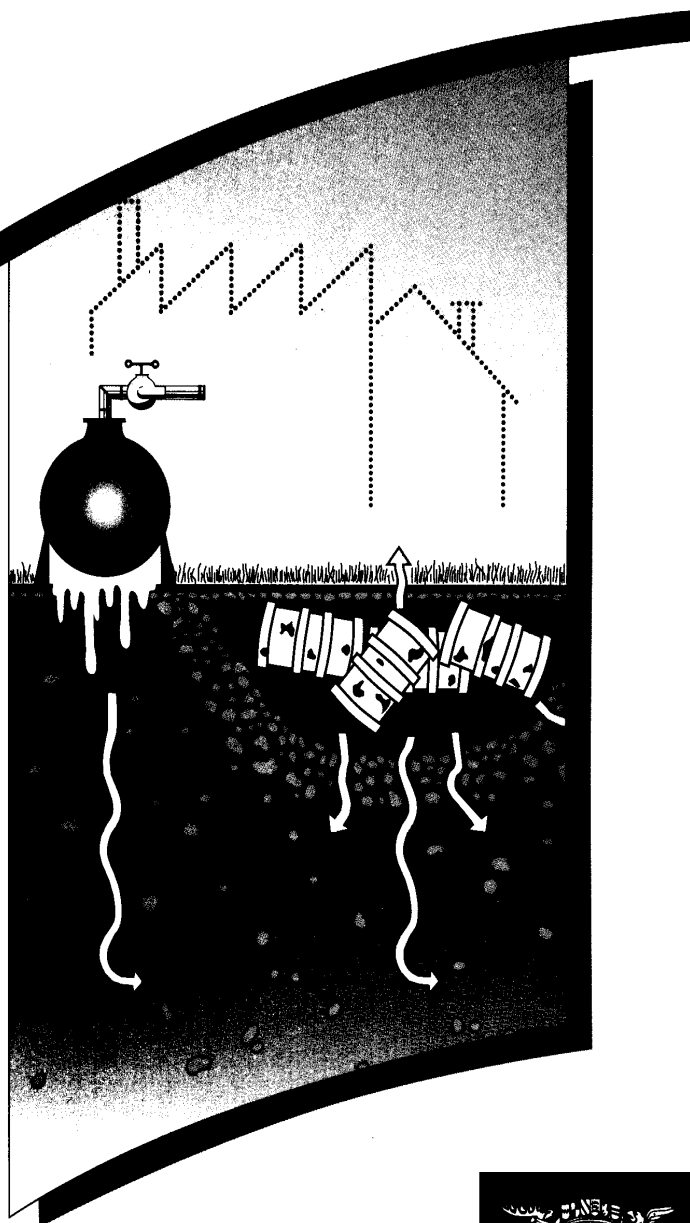


Zentraler Fachdienst Wasser - Boden - Abfall - Altlasten bei
der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg

**Handbuch Altlasten
und Grundwasserschadensfälle**

Mikrobiologische Verfahren bei der Altlastensanierung

Texte und Berichte zur Altlastenbearbeitung

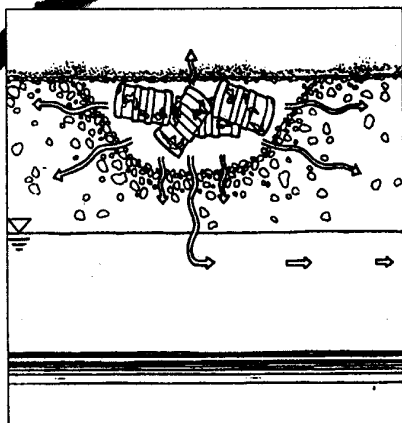


**BODEN
ABFALL
ALTlastEN**



**MINISTERIUM
FÜR UMWELT
UND VERKEHR**

Mikrobiologische Verfahren bei der Altlastensanierung



Herausgegeben von der
Landesanstalt für Umweltschutz
Baden-Württemberg
1. Auflage

Karlsruhe 1996



Altlastenfachinformation im WWW

Impressum

Herausgeber: Landesanstalt für Umweltschutz
Baden-Württemberg
Griesbachstr. 1
76185 Karlsruhe

Redaktion: Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg
Abteilung Boden, Abfall, Altlasten
Referat 54 – Altlastensanierung
Dr.-Ing. Wolfgang Kohler

Verfasser: Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg
Referat 54 - Udo Sutter

Karlsruhe, Oktober 1996

**Bei diesem Ausdruck handelt es sich um eine Adobe Acrobat Druckvorlage.
Abweichungen im Layout vom Original sind rein technisch bedingt.
Der Ausdruck sowie Veröffentlichungen sind -auch auszugsweise- nur für
eigene Zwecke und unter Quellenangabe des Herausgebers gestattet.**

Inhaltsverzeichnis

EINLEITUNG.....	1
DATENMATERIAL UND METHODIK.....	1
1. GRUNDLAGEN DER MIKROBIOLOGISCHEN BODENREINIGUNG	3
1.1 MIKROORGANISMEN.....	5
1.2 NÄHRSTOFFE UND STRUKTURBILDNER	5
1.3 SAUERSTOFFTRÄGER	5
1.4 AUFSCHLIEßENDE SUBSTANZEN.....	5
1.5 SONSTIGE VERFAHREN	5
2. VERFAHRENSARTEN.....	6
2.1 IN-SITU VERFAHREN.....	6
2.2 EX-SITU VERFAHREN.....	7
3. VERFAHRENSBESCHREIBUNGEN	8
BICOTERRA.....	9
BIOCRACK®	11
BIODETOX-BIOBEET-VERFAHREN.....	13
BIOLOGISCHES VERFAHREN (DEUTSCHE PERLITE GMBH).....	15
BIOLOGISCHES VERFAHREN (SAX + KLEE).....	17
HOLZMANN-SYSTEM	19
AGRO/BODEN REGENERATIONS-VERFAHREN	21
TERRAFERM® BIOSYSTEM ERDE.....	23
TERRANOX®	25
AEROB UND ANAEROB BETRIEBENE WIRBELSCHICHTREAKTOREN.....	27
XENEX® - SYSTEM.....	29
IBL-BIOBEET-VERFAHREN.....	31
IBL-IN-SITU-VERFAHREN	33
4. ZUSAMMENFASSUNG	35
4.1 AUSWAHLKRITERIEN FÜR MIKROBIOLOGISCHE VERFAHREN	35
4.2 EX-SITU VERFAHREN	35
4.3 IN-SITU VERFAHREN.....	36
4.4 BIOREAKTOREN	36
5. LITERATURVERZEICHNIS.....	37
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	38
INDEXVERZEICHNIS.....	39

Einleitung

Eine große Anzahl der durch Unfälle oder Altlasten bedingten Bodenverunreinigungen durch organische Schadstoffe läßt sich mittlerweile auf der Grundlage mikrobiologischer Abbauprozesse eliminieren.

Dafür stehen je nach Art und Ausmaß der Kontamination verschiedene Verfahren zur Verfügung. Die Grundlagen der mikrobiologischen Bodensanierung und der Verfahrenstechnik sind im „Handbuch Mikrobiologische Bodenreinigung“, Band 7 der Materialien zur Altlastenbearbeitung der Landesanstalt für Umweltschutz zusammenfassend erläutert.

Seit Erscheinen des Handbuchs 1991 wurden einige der dort nur theoretisch behandelten Verfahren in die Praxis umgesetzt und am Markt etabliert. Dieser Bericht stellt einige Verfahren aus den in der einschlägigen Literatur erschienenen Veröffentlichungen der letzten fünf Jahre zusammen. Aufbau und Verwendung der Fachterminologie orientieren sich am „Handbuch Mikrobiologische Bodenreinigung“.

Datenmaterial und Methodik

Eine Quelle für diese Zusammenstellung war die von der Landesanstalt für Umweltschutz bei der Firma Trischler und Partner in Karlsruhe in Auftrag gegebene Literaturrecherche des Referenzkataloges Altlasten-/Schadensfallsanierung vom Oktober 1995. Zusätzlich wurden Neuerscheinungen auf dem Buchmarkt und Publikationen in Fachzeitschriften gesichtet.

Die Sammlung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit, alle **publizierten** Beiträge, die sich mit mikrobiologischen Sanierungsverfahren befassen, wurden jedoch erfasst. Die herangezogenen Daten beziehen sich auf den Zeitraum Januar 1991 bis März 1996.

Aus der Fülle der Informationen konnten 67 Berichte über mikrobiologische Sanierungsverfahren entnommen werden. Dabei wurden Mehrfachnennungen zusammengefaßt. Gekoppelte Verfahren wie beispielsweise in-situ Sanierungen mit Bodenluftabsaugung und nachgeschaltete Abluftreinigung über Biofilter wurden getrennt gewertet (Abbildung 1).

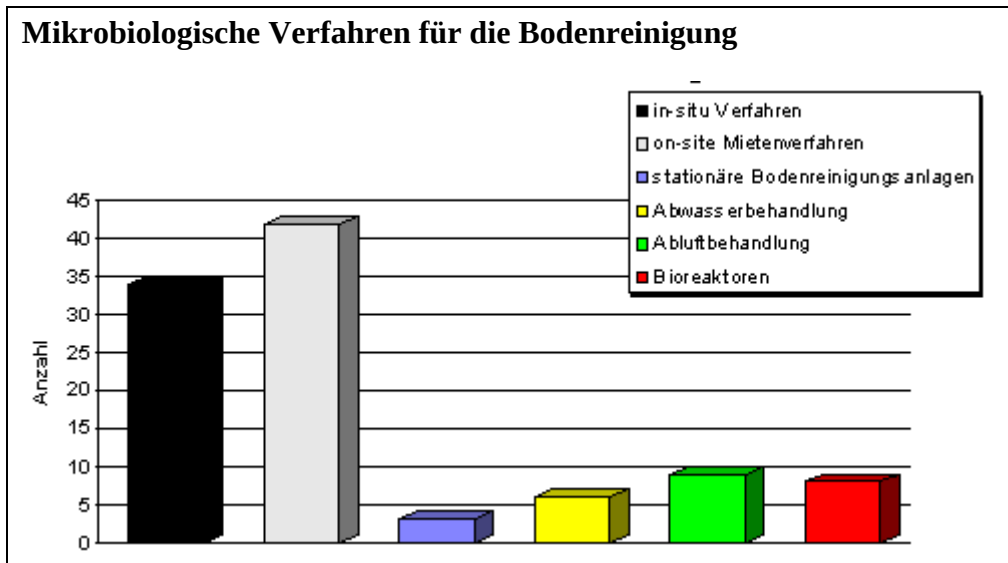


Abbildung1: Unterteilung der genannten Verfahren

In der Mehrzahl der Fälle handelt es sich um on-site Sanierungen im Mietenverfahren, zum großen Teil gekoppelt mit biologischen Abluftfiltern. Dabei wurde das Vorhandensein von biologischen Abluftfiltern zur Abreinigung der Mietenabluft vermutlich nicht immer erwähnt, daher die niedrige Zahl in der Abbildung.

An zweiter Stelle rangieren in-situ Sanierungen, bei denen in den meisten Fällen abgepumptes Grundwasser über Biofilter on-site gereinigt und dem System, angereichert mit Sauerstoff und Nährstoffen wieder zugegeben wird.

Einen weiteren Beitrag zur Zahl der biologischen Luftfilter stellen die Luftabsaugungen bei in-situ Maßnahmen dar, da der aufwendige Transport zu einer zentralen Bodenreinigungsanlage entfällt.

1. Grundlagen der mikrobiologischen Bodenreinigung

Viele Mikroorganismen sind in der Lage, umweltschädliche Stoffe zu metabolisieren. Die meisten Bestandteile der Kraftstoffe beispielsweise werden vollständig mineralisiert. Dabei entstehen als Hauptprodukte dieser aeroben Mineralisierung Wasser und Kohlendioxid.

Für die meisten Umweltgifte ist der biologische Abbau im Labor nachgewiesen. Allerdings lassen sich Verfahrenstechniken zum Abbau von Chloraromaten, Polychlorierten Biphenylen oder Dioxinen und Furanen nicht ohne weiteres vom Labor in die Praxis übertragen.

Ein Vorteil der mikrobiologischen Verfahren im Vergleich zur thermischen Behandlung besteht in dem nach der Behandlung weitgehend unzerstörten Bodengefüge und der intakten Flora und Fauna. Die mikrobiologische Behandlung hat zudem gegenüber der thermischen Behandlung Vorteile in der Energie- bzw. Ökobilanz.

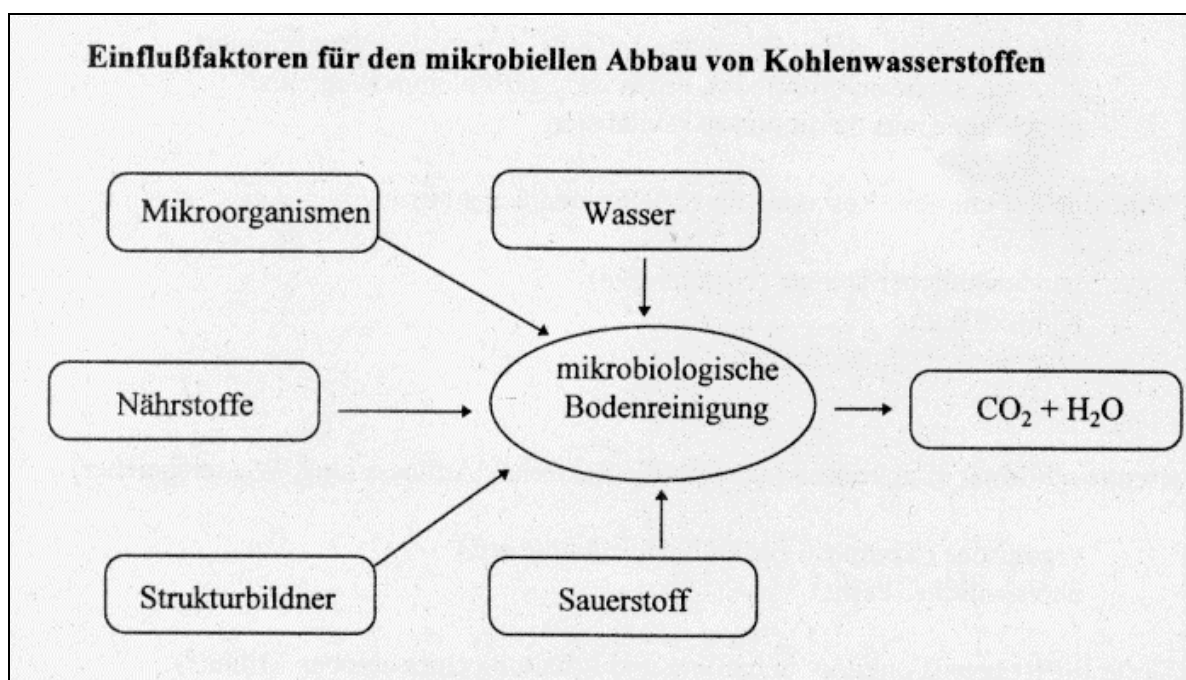


Abbildung 2: Faktoren, die die mikrobielle Abbauleistung beeinflussen

Wenn durch Voruntersuchungen gewährleistet ist, daß der Schadstoff in akzeptabler Zeit mikrobiell eliminiert werden kann, müssen die Lebensbedingungen für die Mikroorganismen optimiert werden. Die Geschwindigkeit bei aeroben Abbaureaktionen beispielsweise ist für viele Bodenkontaminationen wesentlich höher als bei anaeroben Vorgängen. Für einen beschleunigten aeroben Abbau muß dementsprechend für ausreichende Belüftung gesorgt werden. Außerdem enthält der zu sanierende Boden in der Regel zu wenig mineralische Nährstoffe für die Bakterien. Für die Aktivität der Mikroorganismengemeinschaft spielen der pH-Wert, die Temperatur und der Wassergehalt eine entscheidende Rolle (Abb.2).

Mittels der verschiedenen Verfahren versucht man, die Vermehrungsrate der Schadstoffabbauer zu erhöhen und den mikrobiellen Abbau durch Veränderung verschiedener Parameter zu optimieren. Dazu bedient man sich unterschiedlicher Techniken und Zusatzstoffe (Abb.3).

Mikroorganismen (Funktion: Inokulation schadstoffabbauender Mikroorganismen)

- autochthone (standorteigene), in Kultur vermehrt
- autochthone, im „stressing process“ konditioniert
- autochthone, in Mutationsreaktor und Selektionsreaktor konditioniert
- allochthone (standortfremde), bspw. aus Klärschlamm stammend
- allochthone, aus Sammlungen revitalisiert

Nährstoffe (Funktion: Reservoir für N, P, Spurenelemente)

- handelsüblicher Dünger (Nitrophoska)
- Klärschlamm
- organische Nährstoffträger
- Vitamine

Strukturbildner (Funktion: Matrix für die Bakterien, Auflockerung, Wasserspeicher)

- organische (Kompost, Biomüll, Holzabfälle etc.)
- anorganische (Perlit)

Sauerstoffträger (Funktion: Schaffung und Erhaltung eines aeroben Milieus)

- Luft
- Wasserstoffperoxid
- Nitrat
- Sauerstoff

Aufschließende Substanzen (Funktion: Erhöhung der Verfügbarkeit des Schadstoffs)

- Detergentien
- Biotenside

Sonstige Verfahren (Funktion: weitere Optimierung)

- Risserzeugung in der ungesättigten Zone
- Einbringung vorerwärmten Wassers

Abbildung 3: Optimierungsmöglichkeiten für den mikrobiellen Abbau von Schadstoffen

1.1 Mikroorganismen

Man unterscheidet zwischen sogenannten **autochthonen** und **allochthonen** Mikroorganismenpopulationen.

Erstere entstammen dem Standort und können in Fermentern vermehrt und dem Schadensherd wieder zugegeben werden. Die Zugabe von allochthonen, also standortfremden Organismen aus Kläranlagen oder aus Sammlungen ist umstritten. Es wird angezweifelt, ob diese „fremden“ Bakterien in der Lage sind, sich gegenüber der standorteigenen Biozönose zu behaupten.

1.2 Nährstoffe und Strukturbildner

Die meisten Anbieter geben mineralische **Nährstoffe** zu. Zusätzlich können je nach Verfahren **Strukturbildner** zur Auflockerung und als Matrix für die Mikroorganismen zum Einsatz kommen.

1.3 Sauerstoffträger

Bei aerob abbaubaren Schadstoffen ist der Eintrag von Sauerstoff unabdinglich. Er wird in Form von Nitrat, Wasserstoffperoxid, reinem Sauerstoff oder als Bestandteil der Luft beigegeben. Da die Mikroorganismen auf die Anwesenheit von Wasser angewiesen sind, müssen on-site Mieten bewässert werden. Auf diese Art und Weise gelangt ebenfalls Sauerstoff in das System.

1.4 Aufschließende Substanzen

Einige Anbieter arbeiten mit **Detergentien** oder **Biotensiden**, um die Schadstoffe für die Mikroorganismen besser verfügbar zu machen und den Kontakt mit dem Schadstoff zu intensivieren. Dies kann die Geschwindigkeit der mikrobiellen Umsetzung erhöhen.

1.5 Sonstige Verfahren

Bei Sanierungen im Bereich der gesättigten Zone kann Prozeßwasser erwärmt werden, um eine Minimaltemperatur für die standortbürtigen Mikroorganismen zu schaffen, bei der Behandlung von Bodenmaterial in der Halle oder im Zelt kann beheizt werden.

Zur Erleichterung des Eintrags von Sauerstoff und Nährstoffen in die ungesättigte Zone besteht beispielsweise die Möglichkeit, durch pneumatische Druckstöße Risse in der Oberfläche zu erzeugen.

2. Verfahrensarten

Man untergliedert die verschiedenen Verfahren nach dem Ort und der Art der Behandlung. Bei in-situ Verfahren verbleibt das kontaminierte Material in gleicher Lage am Ort. Im Gegensatz dazu wird das Bodenmaterial bei ex-situ Verfahren vom Standort entfernt.

Hier unterscheidet man zwischen den on-site Verfahren, bei denen das Bodenmaterial zwar dem Standort entnommen, jedoch ohne hohen Transportaufwand an Ort und Stelle behandelt wird, und den off-site Verfahren, bei denen das Material anderorts, beispielsweise in einer stationären Bodenbehandlungsanlage gereinigt wird. Meist werden mehrere Verfahren kombiniert (Abb.4).

In-situ Verfahren

- in der ungesättigten Zone
- in der gesättigten Zone
- Kombinierte in-situ/on-site Verfahren für die gesättigte Zone

Ex-situ Verfahren (On-/Off-site Verfahren)

- Landfarming
- Regenerationsmieten
- Bioreaktoren

Abbildung 4: Verfahrensvarianten bei der biologischen Bodensanierung

2.1 In-situ Verfahren

Man unterscheidet zwischen der ungesättigten Zone oberhalb der Grundwasseroberfläche und der gesättigten Zone. In diesen Teilbereichen kommen verschiedene Techniken zur Anwendung. **In-situ Verfahren** verzichten auf die Entnahme des kontaminierten Bodenmaterials. Dies bedingt in der Regel einen höheren Zeitaufwand und aufwendigere Probenahme, spart jedoch Transport- und Deponiekosten.

Bei in-situ Sanierungen der **ungesättigten Zone** werden die Lebensbedingungen der in der Regel bereits vorhandenen Mikroorganismenflora optimiert. Bei Belüftung muß jedoch schadstoffbelastete Abluft aufgefangen und on-site gereinigt werden. Dazu stehen mit unterschiedlichen Materialien gefüllte Biofilter zur Verfügung. In der Praxis sichert man diese Systeme durch sogenannte „Polzeifilter“ mit Aktivkohle ab.

Bei in-situ Sanierungen der **gesättigten Zone** erfolgt die Beeinflussung der zu behandelnden Zone über das Grundwasser. Hierbei wird kontaminiertes Wasser durch Entnahmehäfen hinter dem Schadensherd abgepumpt, über Biofilter on-site gereinigt und über Schluckbrunnen dem System wieder zugeführt. Nach der Reinigung können Nährstoffe und insbesondere

Sauerstoffträger sowie je nach Verfahren Mikroorganismen zugegeben werden. Durch diese Maßnahme sind potentielle Abbauer in der Lage, Schadstoffe in-situ abzubauen.

2.2 Ex-situ Verfahren

Bei den **ex-situ Verfahren** unterscheidet man zwischen der Behandlung on-site (direkt am Standort) meist mit anschließendem Wiedereinbau und der off-site Behandlung (in zentralen Bodenreinigungsanlagen oder auf geeigneten Flächen in der Nähe).

Zur Anwendung kommen erprobte Verfahren, wie beispielsweise **Landfarming**, bei dem kontaminierte Erde breitflächig aufgetragen und behandelt wird.

Die gebräuchlichste angewandte Technik stellt die **Regenerationsmiete** dar. Hierbei wird kontaminierter Boden gesiebt, homogenisiert und mit verschiedenen Zuschlagsstoffen durchmischt. Anschließend wird er meist lagig aufgeschichtet.

Bioreaktoren sind in der Regel abgeschlossene Systeme, bei deren Betrieb Probenahme und Prozeßsteuerung möglich ist, so daß bei Bedarf Nährstoffe oder Sauerstoffträger zugegeben werden können.

3. Verfahrensbeschreibungen

Seit Erscheinen des „Handbuch Mikrobiologische Bodenreinigung“ 1991 sind bewährte mikrobiologische Verfahren verfeinert worden, wobei das Hauptziel der Verfahrensanwender die Überwindung limitierender Faktoren im System Boden - Mikroorganismus - Schadstoff war. Ziel ist die Minimierung der Sanierungsdauer unter Berücksichtigung ökonomischer Belange.

Die im folgenden beschriebenen Verfahren stellen gemäß der Publikationen der letzten fünf Jahre eine repräsentative Auswahl an on-site/off-site und in-situ Verfahren dar. Sie wurden exemplarisch herangezogen, da sie derzeit angeboten und praktiziert werden. Die Auswahl der Verfahren stellt allerdings keine Empfehlung dar, noch erhebt der Bericht Anspruch auf Vollständigkeit. Weiter Informationen geben die Betriebe, deren Adressen angegeben sind.

BICOTERRA

(on-site/off-site Verfahren mit Biofilter)

Verfahrensanbieter

Saarberg Ökotechnik Abt. Bodensanierung
Bexbacherstr. 53, 66424 Homburg

Verfahrenscharakterisierung

Voruntersuchungen zur Festlegung der weiteren Behandlungsschritte.

Klassifizierung, Ausschleusen von Reststoffen und Brechen der Grobfraction.

Periodisches Umsetzen der Miete mittels einer Wendebetmaschine.

Reinigung der Abluft mittels Biofilter.

Verfahrensbeschreibung

Beim BICOTERRA-Verfahren wird ein Teil der Kontaminanten gestrippt und mittels eines Biofilters eliminiert, der Rest wird in der Miete biologisch abgebaut.

Zu Anfang steht die quantitative Erfassung der Schadstoffe. Danach wird das Bodenmaterial klassifiziert. Fremdstoffe werden ausgeschleust, die Grobfraction > 200 mm wird aussortiert, gebrochen und dem Boden wieder zugegeben.

Unter Zugabe von Nährstoffen wird wechselweise Bodenmaterial und Kompost zur Miete aufgebaut. Der Aufbau der Miete erfolgt in einem abgeschlossenen System (Halle oder Zelt), um die Emissionen auffangen zu können.

Das Bodenmaterial wird mittels einer sogenannten Wendemaschine periodisch durchfräst, um leichtflüchtige Kontaminanten zu stripfen und um das Boden-Kompostgemisch aufzulockern und zu belüften. Eine Absauganlage nimmt die leichtflüchtigen Komponenten der Kontamination auf und leitet sie zur weiteren Behandlung über Biofilter bzw. Aktivkohlefilter.

Anwendung auf Schadstoffe

Mineralölkohlenwasserstoffe

BTEX

EOX

PAK (bedingt)

Preisangaben

In Abhängigkeit von Bodenmenge, Kontaminanten und Kontaminationshöhe:

Stationäre Anlage: 95 DM bis 150 DM pro t

On-site Sanierung: 105 DM bis 160 DM / t

Referenzsanierungen

1991 - 1993 Ramstein, Schadensfall Galaxy, 21000 t

09/94 - 06/96 Ramstein, Betrieb des Biobeets, 21000 t

Betrieb stationärer Anlagen:

08/93 - 06/96 BORAG GmbH, Marktoberdorf, 50000 t

01/95 - 06/96 BOWESA GmbH, Homburg/Saar, 17000 t

Kombination aus Bicoterra und anschließendem Ruhebeetverfahren:

Pintsch/Hanau, 32000 t

DB AG, Merzig/Saar, 2000 t

Quellennachweis

TerraTech 1/96: Biologische Behandlung der Oberbodenmassen bei der on-site Bodensanierung Pintsch/Hanau

DECHEMA-Fachgespräche Umweltschutz: Sanierung des Altölraffineriestandortes Pintsch, Hanau - Stand der Sanierungsarbeiten (Trischler und Partner, Beratende Ingenieure)

Anmerkung

Bei diesem Verfahren wird ein Teil der Kontaminanten in der Miete mikrobiologisch abgebaut, während der restliche Teil gestrippt und in Biofiltern zurückgehalten bzw. abgebaut wird. Die periodische Bearbeitung des Bodenmaterials erhöht den Strippeffekt und verkürzt die Sanierungsdauer.

Biocrack®

(in-situ/on-site/off-site Verfahren)

Verfahrensanbieter

Henkel COGNIS
Postfach 130164, 40551 Düsseldorf

Verfahrenscharakterisierung

Chemische, physikalische und biologische Analyse des Bodenmaterials.

Zugabe von Biocrack® in vorgegebener Dosis.

Belüftung und ständige Überwachung des mikrobiellen Abbaus.

Verfahrensbeschreibung

Biocrack® beschleunigt den mikrobiellen Abbau von Kohlenwasserstoffen sowohl in-situ als auch on- bzw. off-site. Es handelt sich laut Herstellerangaben hierbei um einen salzfreien Nährstoffcocktail aus natürlichen Rohstoffen, Wassergefährdungsklasse 0.

Wie bei anderen biologischen Verfahren muß der Schadensherd vor der Anwendung von Biocrack® beprobt werden. Aus den Analyseergebnissen der Bodenprobe wird berechnet, welche Menge des Zusatzes nötig ist, um einen optimalen Abbau zu gewährleisten.

Biocrack® wird bei in-situ Sanierungen mehrmals über die Infiltrationspegel in die gesättigte Bodenzone oder über Schlitzsonden in die ungesättigte Bodenzone transportiert. Bei geeigneter Prozeßsteuerung wird eine Grundwasserbeeinflussung vermieden. Bei Kontaminationen der oberen ungesättigten Zone ist eine Verrieselung möglich. Bei on- bzw. Off-site Sanierungen im Mietenverfahren wird das Produkt beim Aufbau der Miete dem Bodenmaterial beigegeben und kann bei Befeuchtung der Miete mit zugegeben werden.

Da der Sauerstoffbedarf für einen schnellen Abbau der Schadstoffe hoch ist, muß dem System insbesondere bei der Behandlung bindiger Böden zusätzlich Sauerstoff zugeführt werden. Hier werden laut Angabe des Unternehmens Bodenluftabsaugmaßnahmen und Injektionstechnologien herangezogen.

Der Vorteil dieses Verfahrens liegt nach Herstellerangaben in der Beschleunigung des mikrobiellen Abbaus bei Vermeidung der Belastung von Grund- und Sickerwasser.

Das Produkt erhielt 1994 den europäischen Erfinderpreis „Prix Europeen d'Inventions“.

Anwendung auf Schadstoffe

Mineralölkohlenwasserstoffe

PAK (niedermolekular)

Terpene

Pflanzl. und tier. Fettemulsionen

Alkohole, Carbonsäuren, Ketone

BTEX, AKW

Preisangaben

Ca. 10 DM pro kg Biocrack® bei durchschnittlicher Anwendungsmenge von 1 kg Konzentrat pro t Erdreich

Referenzsanierungen

Tanklagersanierung im Hafengelände

verschiedene Tankstellensanierungen (in-situ und Containertechnologie)

großflächiger Heizölschaden mit Grundwasserkontakt am Niederrhein (in-situ)

Erdreich-Oberflächensanierung von hochwasserbedingten Ölschäden

Altkontaminationen auf DB-Großbaustellen (Mieten)

Terpen-, Terpentin- und Leinöl-Kontaminationen aus Industriebereichen

Fettemulsionen aus industriellen Schönungsteichen (Mieten)

Quellennachweis

Firmenschriften

TerraTech 1/95: Cognis hat umstrukturiert

Sonderdruck ENERGIE, Mai 1995, Energiewirtschaft und Technik VG mbH Essen:

Bodensanierung/Das große Fressen

Anmerkung

Bei Biocrack® handelt es sich nicht um ein Verfahren, sondern um ein Produkt, das sowohl in-situ als auch ex-situ angewandt die Sanierungszeit durch eine optimale Versorgung der abbauenden Mikroorganismenflora verkürzen soll. Es enthält keine Salze, damit Grundwasserbelastungen mit Nitrat oder Phosphat nicht auftreten.

Biodetox-Biobeet-Verfahren

(on-site Verfahren)

Verfahrensanbieter

Biodetox Gesellschaft zur biologischen Schadstoffentsorgung mbH

Feldstr. 6, 31708 Ahnsen

Verfahrenscharakterisierung

Abbauversuche zur Ermittlung der optimalen Mikroorganismen-Mischkultur.

Aufbau eines bis zu 1,50 m hohen Biobeets nach intensiver mechanischer Vorbehandlung.

Zudosierung von Nährlösung, Wasser, Mikroorganismen.

Behandlung des Kondenswassers im Festbett-Kaskaden-Bioreaktor.

Verfahrensbeschreibung

Der Abbau der Schadstoffe findet in der Biodetox-Biobeet-Anlage statt, die aus einem sogenannten Biofeld und einem Festbett-Kaskaden-Reaktor besteht.

Vor Aufbau des Biobeets werden Abbauversuche durchgeführt, um den Nährstoffbedarf, den Einsatz von oberflächenaktiven Substanzen und die passende Mikroorganismenkultur zu bestimmen.

Der zu sanierende Boden wird auf dem Biofeld etwa 1.50 m hoch aufgebracht, durchfräst und mit speziell gezüchteten Mikroorganismen und Nährstoffen übersprüht. Die Befeuchtung zur Aufrechterhaltung des optimalen Wassergehalts erfolgt über Tröpfchenbewässerung.

Das System verfügt über ein Unterdrucksystem mit Wasserabscheider, mit dem Frischluft zugeführt und Kondenswasser abgeschieden werden kann.

Im Festbett-Kaskaden-Reaktor wird das verunreinigte Prozeßwasser gesammelt und mikrobiologisch behandelt. Das gereinigte Wasser wird abgeleitet.

Die Abluft gelangt über einen Biofilter und wird bei Bedarf über einen Aktivkohlefilter nach außen geleitet.

Anwendung auf Schadstoffe

Kohlenwasserstoffe

Preisangaben

Keine Angaben

Referenzsanierungen

Keine Angaben

Quellennachweis

Firmenschriften

Handbuch der Altlastensanierung, 1. Auflage, Kapitel 5.4.1.1.1

Anmerkung

Auch bei dieser Anordnung handelt es sich um ein gekoppeltes System. Zum einen wird der mikrobielle Abbau der Kohlenwasserstoffe im Biobeet durch Befeuchtung und Zugabe von Nährlösung gefördert. Zum anderen wird Drainagewasser und Abluft über geeignete Filter abgereinigt. Der Nutzen der Zugabe von kultivierten Mikroorganismen ist umstritten

Biologisches Verfahren (Deutsche Perlite GmbH)

(on-site/off-site Verfahren)

Verfahrensanbieter

Deutsche Perlite GmbH

Kipperstr. 19, 44147 Dortmund

Verfahrenscharakterisierung

Abbauversuche zur Optimierung des Nährstoffbedarfs.

Biobeetverfahren als Regenerationsmiete oder in Sanierungscontainern.

Zugabe von Mineralstoffen und Perlit als Strukturbildner bei feinkörnigen Böden.

Regulation von Bodenfeuchte und Sauerstoffversorgung automatisch über Steuercontainer.

Verfahrensbeschreibung

Zu Beginn werden Testreihen mit Bodenproben vom kontaminierten Standort zur Festlegung der Sanierungstechnik durchgeführt.

Beim eingesetzten Ruhebeetverfahren werden dem verunreinigten Boden vor dem Aufbau der Mieten bzw. Verfüllung in Sanierungscontainer je nach Bedarf Nährstoffe und das Strukturmaterial Perlit zugemischt.

Perlit ist ein pH-neutrales, inertes Granulat vulkanischen Ursprungs mit großer, von Bakterien besiedelbarer Oberfläche. Es reguliert den Wasser- und Lufthaushalt. Die mechanischen Eigenschaften des Bodens bleiben erhalten (Verdichtbarkeit).

Bei der Mieten-/Containertechnik wird Überschußwasser aus dem Boden gesammelt und wieder auf dem kontaminierten Boden verregnet. Zum Schutz gegen Vernässung sind die Mieten/Container mit einem luftdurchlässigen aber wasserdichten GORE-TEX[®]-Laminat abgedeckt.

Die Container verfügen über ein Belüftungssystem, das einen permanenten leichten Unterdruck erzeugt, mit dem verunreinigte Abluft abgesaugt und über ein Filtersystem gereinigt werden kann.

Anwendung auf Schadstoffe

Alle biologisch aerob abbaubaren Schadstoffe

Preisangaben

80 DM bis 230 DM pro t Bodenmaterial

Referenzsanierungen

Überlingen, ehemaliges Gelände im Bahnhofsbereich der DB AG

Saulgau, ehemalige Betriebstankstelle auf dem Gelände einer alten Ziegelei

Dortmund, ehemalige Betriebstankstelle auf dem Gelände einer Bauunternehmung

Quellennachweis

Firmenschriften

TerraTech 3/95, Biologische Reinigung von stark schluffigen Böden

Anmerkung

Bei diesem Verfahren wird der Abbau im Ruhebeetverfahren durchgeführt. Die Zugabe eines Strukturbildners, Perlit, führt zur besseren Durchlüftung und fungiert als Trägermaterial für die Mikroorganismen. Diese Maßnahmen beschleunigen den Abbau der Kontaminanten.

Biologisches Verfahren (Sax + Klee)

(on-site/off-site Verfahren)

Verfahrensanbieter

Sax + Klee

Dalbergstr. 30 - 34, 68159 Mannheim

Verfahrenscharakterisierung

Kombination aus Biobeet- und Mietenverfahren.

Zugabe von Mineralstoffen, Strukturbildnern, Mineraldünger, Spurenelementen, Vitaminen. Adaption und Vermehrung standorteigener Mikroorganismen.

Regulierung von Bodenfeuchte und Sauerstoffversorgung.

Verfahrensbeschreibung

Die Dekontamination des Bodenmaterials erfolgt in einer einlagigen Miete von etwa 1,20 m Höhe.

Bevor die Miete angelegt wird, werden Materialproben entnommen. Standorteigene Mikroorganismen werden adaptiert und vermehrt und beim Aufbau der Miete dem Boden wieder zugesetzt.

Um Mangelerscheinungen vorzubeugen, werden zusätzlich Nährsalze, Spurenelemente und Vitamine zugesetzt. Die Zugabe von Strukturbildnern dient der Lockerung des Materials und der Verbesserung der Verfügbarkeit der Kontaminanten.

Die Miete wird leicht geneigt auf einer Folie aufgeschichtet, anfallendes Bodenwasser wird gesammelt und dem Boden bei Bedarf wieder zugeführt. Sickerwasserentstehung wird durch Überdeckung mit einer Plane stark vermindert.

Außerdem kann die Miete über untenliegende Drainagerohre und Luftschläuche belüftet oder abgesaugt werden. Die Abluft wird über Filter nach außen geleitet, um Emissionen zu vermeiden.

Anwendung auf Schadstoffe

Kohlenwasserstoffe/Mineralölprodukte

Aromatische Kohlenwasserstoffe (AKW)

Z.T. polycyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

Preisangaben

Abhängigkeit von Bodenart / Konzentration/ Fremdstoffen

40.- bis 120.- pro t Bodenmaterial

Referenzsanierungen

1993 - 1995 Gießen 4200 m³ MKW, BTX

1994 - 1995 Kehl 1500 m³ MKW, BTX

1993 - 1994 Hockenheim 400 m³ MKW

Quellennachweis

Firmenschriften

Anmerkung

Die Absaugung der Miete führt zu einer besseren Sauerstoffversorgung der Miete. Die Abdeckung verhindert ein Vernässen, das zur Ausbildung von anaeroben Zonen führen würde. Dieses geschlossene System handelt es sich um eine technisch ausgereifte Variante der Mietenverfahren.

Ob die ex-situ Vermehrung standorteigener Mikroorganismen die Sanierungszeit stärker verkürzen kann als die Unterstützung der Mikrobiologie in-situ mit Nährstoffen, Sauerstoff und Strukturbildnern, ist fraglich, über den Nutzen einer Vitaminzugabe in den Boden liegen keine Erkenntnisse vor.

Holzmann-System

(on-site/off-site Verfahren)

Verfahrensanbieter

Philipp Holzmann AG

Merowingerstr. 113 A, 40225 Düsseldorf

Verfahrenscharakterisierung

Trennung der Schadstoffe durch Hochdruckwäsche.

Förderung des Wasser-Schadstoffgemischs.

Trennung der sauberen Partikel vom Schlamm.

Wasserreinigung, mikrobiologische Schlammbehandlung.

Verfahrensbeschreibung

Nach dem Einbringen der Hüllrohre in die kontaminierte Bodenregion wird mittels Hochdruckwäsche der Inhalt jedes einzelnen Hüllrohrs in Wasser gelöst und in eine Separieranlage (mobil) gepumpt. Hier wird Grobmaterial, hauptsächlich Grobkies und gröberes organisches Material ausgesondert sowie die kleinere Fraktion bis 0,1 mm und die Schlammfraktion getrennt. Ein Aufstromsortierer scheidet den gereinigten Sand, Korngröße ca. 0,1 - 3 mm, aus. Entspricht das Material den Vorgaben bezüglich der Abreinigung, wird es wieder in die Hüllrohre eingebaut.

Der übrig bleibende Schlamm wird entwässert, das Wasser über einen Aktivkohlefilter abgeleitet. Im Schlamm finden sich die Schadstoffe in konzentrierter Form. Daher werden vor der Behandlung speziell adaptierte Mikroorganismen und eine Substratmischung zur Auflockerung des Materials beigegeben.

Der Abbau der Kohlenwasserstoffe findet schließlich in einer Miete in einer Witterungsschutzhalle statt. Das Material wird durch spezielle Wendemaschinen von Zeit zu Zeit umgeschichtet. Auf diese Weise findet ein Sauerstoffeintrag statt.

Das Verfahren eignet sich für die Dekontamination von PAK- und Cyanid-kontaminierten Böden.

Anwendung auf Schadstoffe

PAK

Cyanide

MKW

Preisangaben

400 DM bis 600 DM pro m³ Bodenmaterial

Referenzsanierungen

Gaswerk Bremen Bodenwäsche und Mikrobiologie

Bodenfelde Gewinnung und Mikrobiologie

Krefeld Gewinnung und Mikrobiologie

Eppelheim In-situ Sanierung

Quellennachweis

Firmenschriften

3. Internationaler KfK/TNO Kongress über Altlastensanierung 1990: Sanierung eines ehemaligen Gaswerks mit einem in-situ Hochdruck-Bodenwaschverfahren

WLB Wasser, Luft, Boden, 4/90: Sanierung eines Gaswerkgeländes durch in-situ-Bodenwäsche

JESSBERGER 1990: Erkundung und Sanierung von Altlasten

Anmerkung

Bei diesem Verfahren werden die Schadstoffe in der Feinkornfraktion aufkonzentriert. Ein Vorteil besteht in der Möglichkeit, gereinigtes Grobkorn sofort wieder einzubauen. Nachteilig ist die zeitaufwendige Behandlung des entwässerten Schlammes, die aufgrund von Anlagerungen der Schadstoffe nicht unbedingt zu befriedigenden Ergebnissen führen muß.

AGRO/Boden Regenerations-Verfahren

(in-situ Verfahren)

Verfahrensanbieter

IVERS Brunnenbau

Walter-Zeidler-Str. 10, 24783 Osterrönnfeld

Verfahrenscharakterisierung

Verfahren für die in-situ Sanierung ungesättigter Horizonte.

Abteufen von sogenannten Drainschläuche zur Erschließung der ungesättigten Zone.

Tropfenweise Zugabe von Nährstoffen, Wasser, Sauerstoff und Bakterien.

Förderung und Aufbereitung des Porenwassers.

Verfahrensbeschreibung

Für die Anwendung des AGRO/Boden-Regenerationsverfahren werden sogenannte Spezial-Drain-Schläuche in die kontaminierte, ungesättigte Bodenzone abgeteuft.

Über unterirdisch verlegte Versorgungsleitungen können über diese Schläuche Mikroorganismen, Wasser, Sauerstoff und Nährstoffe eingebracht werden. Die Dosierung erfolgt tröpfchenweise.

Außerdem wird ein Teil der Schadstoffe durch die Wasserzugabe mobilisiert und gelangt in die gesättigte Zone. Dieses schadstoffhaltige Porenwasser wird über einen in Fließrichtung eingebrachten Brunnen gefördert.

Von dort gelangen die Schadstoffe zur Wasseraufbereitungsanlage, wo sie aus dem Wasser abgetrennt werden. Ein Teil des so behandelten Wassers wird über ein Meß- und Steuersystem wieder reinfiltrierte.

Anwendung auf Schadstoffe

MKW

BTX

Preisangaben

keine Angaben

Referenzsanierungen

1990 - 1992 Ölschaden in Winsen/Luhe

1993 Ölschaden in Bremen-Neustadt

1993 MKW-Schaden in Lauenburg/Elbe

1994 Ölschaden in Biberach

1994 Ölschaden in Bremen- Neustadt

Quellennachweis

Firmenschriften

TerraTech 6/95: Mikrobiologische In-situ Sanierung eines Heizölschadens in einem Wohngebiet

Anmerkung

Die in-situ Sanierung der ungesättigten Zone erfordert mindestens den Eintrag von Sauerstoff und gelösten Nährstoffen, sonst kann ein Abbau der Schadstoffe aerob nicht erfolgen. Da ein Teil der Schadstoffe ausgewaschen werden kann, ist die Förderung des Porenwassers mit anschließender on-site Reinigung notwendig. Dabei kann das Prozeßwasser im Kreislauf geführt werden.

Terraferm® Biosystem Erde

(on-site/off-site Verfahren)

Verfahrensanbieter

Umweltschutz Nord GmbH & Co.

Industriepark 6, 27767 Ganderkesee

Verfahrenscharakterisierung

Chemische, biologische und physikalische Analysen des angelieferten Bodenmaterials.

Klassifizierung der Korngrößen und getrennte Behandlung oder Brechen der Grobfraktion.

Zugabe von Mineralstoffen, organischen Substraten, adaptierten Mikroorganismen.

Belüftung und wiederholte Umlagerung, ständige Überwachung des mikrobiellen Abbaus.

Verfahrensbeschreibung

Terraferm® Biosystem Erde ist ein biologisches Mietenverfahren zur Sanierung organisch belasteter Böden, der Abbau der Schadstoffe erfolgt in einer sogenannten Intensivrotte.

Der erste Schritt besteht in der Analyse des Bodens auf Schadstoffgehalt, Nährstoffe und Bodenstruktur. Nach Vorliegen der Analysenergebnisse wird über Umfang und Art der Optimierung des Lebensraums für die Mikroorganismen entschieden.

Danach werden unerwünschte Materialien wie beispielsweise Metallteile abgetrennt. Vor dem Aufbau der Intensivrotte werden Grobteile gebrochen oder getrennt behandelt und die notwendigen Zusätze beigegeben. Dabei kommen je nach Bedarf verschiedene Materialien zum Einsatz. Enthält der Boden wenig mineralische Nährstoffe, so gibt man Mineralstoffe und Spurenelemente zu. Als organische Substrate werden Komposte eingesetzt. Für die Versorgung mit Sauerstoff wird Nitrat oder Wasserstoffperoxid zugegeben oder es wird ständig belüftet. Zusätzlich werden isolierte, auf den Schadstoff adaptierte Bakterien und Pilze zugegeben.

Über ein Belüftungssystem können während des Betriebs Temperatur und Feuchtigkeit mitreguliert werden. Beim gelegentlichen Auflockern des Bodenmaterials können Mineralstoffe, die ins Minimum treten, ergänzt werden.

Nach Erreichen der festgelegten Grenzwerte wird das Material unter anderem auf Körnung, Humusgehalt, Bodenleben und hygienische Unbedenklichkeit untersucht. Außerdem werden Toxizitätstest durchgeführt. Je nach Schadstoffart und Restkonzentration kann der Boden nach einer drei- bis fünfmonatigen Behandlung in der Landwirtschaft, beim Gartenbau oder als Lärmschutzwall bzw. zur Bodenverfüllung verwendet werden.

Anwendung auf Schadstoffe

Kohlenwasserstoffe/Mineralölprodukte

BTEX

LCKW

Preisangaben

je nach Schadstoffzusammensetzung, Schadstoffgehalte, Bodenstruktur, Bodenmenge:

80 DM bis 120 DM pro t.

Referenzsanierungen

1996 Lee Barracks, Mainz, 22000 t

1995 MKW in Hohenfels, 9000 t

1995 ehemaliges Tanklager in Andernach, 1800 t

1995 ehemaliges Tanklager in Eutingen, 10000 t

1994 US-Verteidigungsgelände Hisel, 5500 t

1993 Stadt Singen, 2000 t

1993 Stadt Mülheim, Öltankschaden, 1700 t

1993 Westfa, Industriegelände, 7500 t

Insgesamt über 3 Mio t Boden nach dem Terraferm[®] - Verfahren

Quellennachweis

Firmenschriften

Umwelt & Technik 9/92: Mit Natur Boden pur

DECHEMA-Fachgespräche Umweltschutz: Biologische Bodensanierung auf dem Gelände eines Tanklagers in Saalfelden, Österreich

Anmerkung

Auch für dieses System gilt, daß ein Teil der Schadstoffe direkt im Boden abgebaut wird, während ein Teil an Bodenstrukturen gebunden und der restliche Teil gestrippt wird. Durch Umlagern des Materials wird dieser Effekt verstärkt, daher muß die Mietenabluft aufgefangen und über Filter abgereinigt werden. Die Behandlung mikrobiologisch abbaubarer Stoffe führt in diesem geschlossenen System in der Regel zu einem raschen Abbau der Kontamination.

Terranox[®]

(Feststofffermenter)

Verfahrensanbieter

Umweltschutz Nord GmbH & Co.

Industriepark 6, 27767 Ganderkesee

Verfahrenscharakterisierung

Wartungsfreies, geschlossenes Kombiwellenmischsystem.

Substratzugabe durch Dosierbehälter jederzeit möglich.

Kontinuierliche Mischung, Bedüsungssystem.

Anaerobe und/oder aerobe Behandlung möglich.

Verfahrensbeschreibung

Der mikrobiologische Abbau von Schadstoffen erfolgt beim Terranox[®]-Verfahren in einem Bioreaktor, der sowohl aerob als auch anaerob betrieben werden kann.

Zu Anfang steht die Abtrennung der Grobfraction. Nach Beschickung des Reaktors werden Bodenmaterial und CoSubstrat durch Mischwellen und Messerwerk kontinuierlich homogenisiert.

Meß- und Probenahmestutzen erlauben eine kontinuierliche Erfassung der Abbaubedingungen. Eine Zugabe von Nährstoffen während des Betriebs kann über einen am Reaktor angebrachten Dosierungsbehälter erfolgen. Über ein am Reaktor installiertes Bedüsungssystem wird beim aeroben Betrieb Sauerstoff ins System eingebracht. Die Abluft wird über mehrere Biofilter geleitet.

Das Bodenmaterial in Chargen bis 100 t verbleibt bis zu einem Monat im Reaktor und durchläuft in dieser Zeit eine anaerobe und eine aerobe Behandlungsstufe. Dies erlaubt die Behandlung von chlorierten Kohlenwasserstoffen, die anaerob dechloriert und anschließend aerob mineralisiert werden können.

Anwendung auf Schadstoffe

Kohlenwasserstoffe/ Mineralölprodukte

LCKW

AKW, PAK

Mit Einschränkung: PCB, AOX, CN⁻,

Preisangaben

ab 400 DM pro t

Referenzsanierungen

Keine Angaben

Quellennachweis

Firmenschriften

Abschlußbericht zum Modellstandort Eppelheim, Ing.-Büro R.W. Ashauer und Partner GmbH und Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg

TerraTech 3/94: Großtechnische Pilotanlage bei Eppelheim

TerraTech 2/95: Neue Versuchsanlage zur Altlastensanierung im Ruhrgebiet

Anmerkung

Der Terranox[®]-Reaktor wurde für die Sanierung CKW- und BTX-belasteten Materials am Modellstandort in Eppelheim getestet. Untersuchungen belegen den erfolgreichen aeroben Abbau von BTX. Die anaerobe Dechlorierung höherchlorierter CKW konnte nicht durchgeführt werden, da im Reaktor keine anaeroben Verhältnisse eingestellt werden konnten.

Aerob und anaerob betriebene Wirbelschichtreaktoren

(in-situ, Bioreaktor, on-site Biofilter)

Verfahrensanbieter

Preussag Wasser & Rohrtechnik

Niederlassung Umwelttechnik

Rodauerst. 55, 64673 Zwingenberg

Verfahrenscharakterisierung

Förderung des belasteten Grundwassers.

Oberirdische Wasseraufbereitung mit Eliminierung von Eisen, Mangan und Ammonium.

Nitrifikation und Denitrifikation im Wirbelschichtreaktor, Aktivkohlefiltration.

Reinfiltration nach Anreicherung mit Nährstoffen und Wasserstoffperoxid.

Verfahrensbeschreibung

Beim biologisch-chemischen Verfahren der Firma Preussag Anlagenbau erfolgt die Reinigung nitratbelasteten Grundwassers zweistufig.

Nach Förderung des Grundwassers werden zuerst Eisen und Mangan als störende Stoffe unter Zugabe von technischem Sauerstoff oxidiert und über Mehrschichtfilter abgetrennt.

Im zweiten Schritt wird das Wasser mit Sauerstoff angereichert und gelangt dann in den Nitrifikationsreaktor. Hier bilden Ammonium verwertende Bakterien auf einem Trägermaterial einen Biofilm, an dem sie Ammonium zu Nitrat umwandeln. Diese Bakterien können ebenfalls PAK und BTEX abbauen.

Dem nitrathaltigen Wasser wird dann eine Kohlenstoffquelle zugeführt. In einem weiteren Reaktor wird Nitrat von Bakterien anaerob weiter zu Luftstickstoff umgesetzt.

Das Prozeßwasser gelangt über einen Riesler, durch den Kohlendioxyd und Stickstoff ausgasen können sowie durch einen Mehrschichtsandfilter und durch einen Aktivkohlefilter mit Polzeifilterfunktion.

Das Prozeßwasser wird nun mit Nährsalzen und Wasserstoffperoxid angereichert und über Infiltrationsbrunnen dosiert in die gesättigte Zone versickert. Auf diese Art und Weise wird zusätzlich die mikrobiologische Aktivität in der gesättigten Zone angeregt.

Anwendung auf Schadstoffe

gaswerkspezifische Kontaminationen

PAK

BTEX

Phenole

Ammonium

Sonstige biologisch abbaubare Stoffe

Preisangaben

Preisangaben nur projektbezogen möglich

Referenzsanierungen

Pilotprojekt Sanierung Gaswerk Luzenberg

Pilotprojekt Sanierung durch Sickerwasser verunreinigtes Grundwasser,

Deponie Lampertheim

Quellennachweis

Firmenschriften

MVV report Ausgabe 2/95: Pilotanlage in Betrieb

Anmerkung

Die Hauptkomponente dieses Systems besteht aus den Bioreaktoren, in denen Nitrat zu Luftstickstoff umgewandelt wird. In der aeroben Stufe können gleichzeitig BTX und zum Teil PAK abgebaut werden.

Die in-situ Sanierung der ungesättigten Zone erfordert mindestens den Eintrag von Sauerstoff und gelösten Nährstoffen, sonst kann ein Abbau der Schadstoffe aerob nicht erfolgen.

Die Förderung des Grundwassers sichert hier einen Kreislauf, bei dem die nicht abgebauten Schadstoffe gelöst und gefördert werden.

Xenex[®] - System

(Biobeetverfahren und Mietentechnik on-site oder off-site)

Verfahrensanbieter

Lobbe Xenex GmbH & Co

Stenglingser Weg 4 - 12, 58642 Iserlohn

Verfahrenscharakterisierung

Analyse der im kontaminierten Material vorliegenden Schadstoffe.

Aufschichten des Biobeets bzw. Der Miete ohne Zusätze von Strukturhilfen.

Periodische Behandlung des Materials mit Hilfe von Meliorationsgeräten.

Zugabe von Nährlösung, Wasser und isolierten Mikroorganismen.

Verfahrensbeschreibung

Beim Xenex[®] - System werden die zum Abbau der Schadstoffe befähigten Bakterien aus dem zu sanierenden Boden isoliert und kultiviert. Der Nährstoffanspruch der Kultur wird analysiert. Außerdem wird die Schadstoffkonzentration bestimmt.

Zur Durchführung des mikrobiellen Abbaus werden zwei Verfahren angeboten. Während sich das Biobeetverfahren für grobkörniges Bodenmaterial eignet, werden feinkörnige, bindige Böden mittels der Mietentechnik saniert.

Beim Biobeetverfahren erfolgt die Bodenbearbeitung durch ein Meliorationsgerät, das den Boden bis zu einer Tiefe von 90 cm bearbeitet. Bei der Mietentechnik wird ein Mietenwender eingesetzt, der das Material über eine rotierende Walze erfassen kann. Die Maschinen sind patentrechtlich geschützt.

Bei beiden Verfahren besteht die Möglichkeit, während der Bearbeitung Wasser, Nährlösung und die im Biotechnikum kultivierten Abbauspezialisten zuzudosieren. Der Sauerstoffeintrag erfolgt bei der Bearbeitung durch die Luft. Auf die Zugabe von Stukturbildnern wurde verzichtet, um die physikalischen Bodeneigenschaften nicht zu verändern.

Zur Ermittlung des Sanierungsverlaufs werden ständig Analysen und Toxizitätstests durchgeführt. Nach erfolgreicher Sanierung wird das Material wieder eingebaut, im Landschaftsbau oder als Recyclingbaustoff verwendet.

Anwendung auf Schadstoffe

Mineralölkohlenwasserstoffe

Phenole

BTEX

Preisangaben

auf Anfrage

Referenzsanierungen

Kraftstoffe aus einem Tanklager

Sedimentschlämme aus einem Regenrückhaltebecken

Dieselschaden nach Tanklastunfall

Ölverschmutzter Bodenaushub aus Industriebrache

Sanierung eines Tanklagers

Ölschaden nach Pipelinebruch

Quellennachweis

Firmenschriften

1993 DECHEMA, DVWK Nr. 44

Anmerkung

Biobeetverfahren und Mietentechnik werden unterstützt durch mehrmalige Bearbeitung des Bodenmaterials mittels speziell entwickelten Meliorationsgeräten. Die dabei gestrippten flüchtigen Schadstoffe müssen über Filteranlagen abgereinigt werden.

Ob die ex-situ Vermehrung standorteigener Mikroorganismen die Sanierungszeit stärker verkürzen kann als die Unterstützung der Mikrobiologie in-situ mit Nährstoffen, Sauerstoff und Strukturbildnern, ist fraglich.

IBL-Biobeet-Verfahren

(off-site Verfahren)

Verfahrensanbieter

IBL Umwelt- und Biotechnik GmbH

Technologiepark Im Neuenheimer Feld 517, 69120 Heidelberg

Verfahrenscharakterisierung

Biotechnisches Verfahren für die Bodensanierung.

Voruntersuchung im Labor zur optimierten Steuerung des biologischen Abbaus.

Behandlung in der Bio-Rotte.

Belüftung durch gezielte Sauerstoffzufuhr, Abluftreinigung über Biofilter

Verfahrensbeschreibung

In zentralen Bodenreinigungsanlagen wird der angelieferte Boden bis zur Prüfung der Abbaubarkeit der Schadstoffe zwischengelagert. Nach Freigabe durch das Labor wird der Boden in einer geschlossenen Halle unter Zugabe von Nährstoffen zu Biorotten aufgeschichtet. Be- und Entlüftung erfolgen über festinstallierte Drainagesysteme, die über Meß- und Regelsysteme ständig überwacht werden. Die Abluft wird in einem Biofilter ständig gereinigt.

Die Dauer des Rottevorgangs ist abhängig von der Schadstoffmatrix und der Bodenstruktur. Alle Anlagen sind BImSchG-genehmigt und unterliegen einer externen Überwachung. Nach Abschluß der Bodenreinigung und Überprüfung durch einen Gutachter wird das Material der Verwertung zugeführt.

Anwendung auf Schadstoffe

MKW

BTX

CKW

div organische Verbindungen

Preisangaben

in Abhängigkeit von Menge, Schadstoffgehalt und Bodenstruktur 50 DM bis 180 DM pro to.

Referenzsanierungen

Bodenrecyclinganlage Ludwigshafen (10 000 t/a)

Bodenrecyclinganlage Menteroda (100 000 t/a)

Quellennachweis

Firmenschriften

Anmerkung

Für PAK wurde das biologische Verfahren mit Weißfäulepilzen entwickelt.

Prinzipiell sind alle Verfahren auch on-site durchführbar.

IBL-in-situ-Verfahren

Verfahrensanbieter

IBL Umwelt- und Biotechnik GmbH

Technologiepark Im Neuenheimer Feld 517, 69120 Heidelberg

Verfahrenscharakterisierung

Biotechnisches Verfahren für die Sanierung der gesättigten und ungesättigten Bodenzone durch Aktivierung der im Schaden adaptierten Mikroorganismen.

Voruntersuchung des biologischen Systems im Labor zur optimierten Steuerung des biologischen Abbaus.

Dosierte Infiltration von Nährlösungen über Lanzen oder Sickerbrunnen.

Kontrollierte Steuerung aerober und anaerober Vorgänge.

Verfahrensbeschreibung

Die Boden- und Grundwasserreinigung nach dem IBL-in-situ-Verfahren konzentriert sich auf die Intensivierung der natürlichen Selbstreinigungsvorgänge. In jedem Schadensfall finden sich adaptierte Organismen zum Schadstoffabbau. Durch Laborversuche werden diese Organismen selektiert und in Versuchsreihen die notwendigen Nährstoffe ermittelt.

Die Sanierung im Boden erfolgt innerhalb einer hydraulischen Sicherung durch Infiltration von Nährlösung. Je nach Schadstoff werden aerobe und anaerobe Verhältnisse erzeugt. Die Infiltration erfolgt computergesteuert über Lanzen und Sickerbrunnen. Zur Kontrolle der Abbaubarvorgänge wurden spezielle Multi-Level-Brunnen entwickelt und patentiert. Durch kontinuierliche Beobachtung der biologischen Prozesse im Untergrund und die Eigenregelung der Anlage werden beschleunigte Abbauezeiten erreicht.

Die biologische Aktivität führt zu einer Erhöhung der Temperatur im Grundwasser und damit zu einer zusätzlichen Mobilisierung der Schadstoffe. Diese werden über Grundwasserbrunnen gefördert und in einer oberirdischen Wasseraufbereitungsanlage entfernt.

Anwendung auf Schadstoffe

MKW

BTX

CKW

div. organische Verbindungen

Preisangaben

in Abhängigkeit von Ausbreitung, Schadstoffgehalt und Bodenstruktur 10 DM bis 40 DM pro cbm.

Referenzsanierungen

Chemische Fabrik Dr. Freund, Sandhausen

Tanklager Gernsheim

diverse sonstige

Quellennachweis

Firmenschriften

Anmerkung

Im Modellprojekt Sandhausen wurde erstmalig erfolgreich eine biologische CKW-Sanierung in-situ durchgeführt. Hier wurden von den 24 to nachgewiesenen Schadstoffe im Untergrund 90% und über die Wasseraufbereitung 10% entfernt.

4. Zusammenfassung

Die Zusammenstellung verschiedener Verfahrensarten gibt einen Überblick über die zur Zeit praktizierten Methoden bei mikrobiologischen Sanierungen. Zweck des Berichts ist nicht eine umfassende Erhebung sondern die Darstellung eines repräsentativen Querschnitts mikrobiologischer Verfahrenstechniken.

4.1 Auswahlkriterien für mikrobiologische Verfahren

Überzeugende Kriterien für die Durchführung einer mikrobiologischen Sanierung sind die schonende Art und Weise der Dekontamination und die im Vergleich zu anderen Verfahrenstechniken in der Regel niedrigeren Kosten. Für die Auswahl eines dieser Verfahren müssen allerdings mehrere Punkte beachtet werden.

Entscheidend für die Wahl einer mikrobiologischen Sanierungstechnik ist zuallererst der Nachweis der biologischen Abbaubarkeit der in der Kontamination vorliegenden Schadstoffe. Sind die Schadstoffe theoretisch abbaubar, sind Voruntersuchungen im Technikumsmaßstab empfehlenswert. Erst entsprechende Abbauprobversuche verschaffen Klärung über die Wahrscheinlichkeit für eine erfolgreiche mikrobiologische Sanierung und erlauben eine Prognose über die Zeitdauer der Maßnahme. Unter den organischen Stoffen sind höher kondensierte PAK und höher chlorierte Kohlenwasserstoffe nur schwer abbaubar und bedürfen mitunter einer Kombination aus chemisch-physikalischen Verfahren und/oder anaeroben und aeroben mikrobiologischen Verfahren. Weiterhin entscheiden Ausmaß und Ausbreitung des Schadensherdes über die Durchführbarkeit eines Verfahrens.

Handelt es sich um lokal begrenzte Schadensfälle, ist zumeist die Anwendung eines on-site/off-site Verfahrens sinnvoll. Bei flächigen Schadensfällen in der Größenordnung von 100.000 m³ und mehr sind on-site Maßnahmen aus wirtschaftlichen und technischen Gründen kaum möglich. Hier wird man versuchen, in-situ abzureinigen. Treten Schadstoffe bereits aus der ungesättigten Zone in den Grundwasserleiter ein, muß kontaminiertes Wasser in-situ und/oder on-site behandelt werden.

4.2 Ex-situ Verfahren

Daß mikrobiologische on-site/off-site Verfahren insbesondere bei Mineralölschäden bevorzugt angewendet werden, belegt die in den letzten Jahren stark zugenommene Zahl stationärer und mobiler Bodenwaschanlagen, die eine mikrobiologische Behandlung kontaminierter Böden anbieten. („Bodenreinigungsanlagen in der Bundesrepublik Deutschland“ aus der Reihe Texte und Berichte der LfU, Neuauflage voraussichtlich November 1996).

Alle Anbieter bauen Mieten und Biobeete in geschlossenen Systemen auf (Zelt, Halle, Abdichtung). Auf diese Art und Weise lassen sich gasförmige Emissionen über Biofilter und/oder Aktivkohlefilter abfangen. Das bei einer Befeuchtung der Miete anfallende Drainagewasser kann ebenfalls mittels Biofilter/Aktivkohlefilter gereinigt und dann in die Kanalisation geleitet werden.

4.3 In-situ Verfahren

Im Gegensatz zu den on-site/off-site Verfahren befinden sich die biologischen in-situ Verfahren für die ungesättigte Zone zum größten Teil noch in der Erprobung. Hydraulische und pneumatische in-situ Verfahren führen zu einem Austrag von löslichen oder flüchtigen Schadstoffen aus dem Untergrund. Abwasser und Abluft werden anschließend analog zu den ex-situ Verfahren gereinigt. Bei der Wasseraufbereitung dominieren mechanische und physikalisch-chemische Verfahren (Ionenaustausch, Flockung, Fällung, Filtration, Flotation u.a.).

Bei der Abluftreinigung stehen den chemisch-physikalischen Verfahren (Adsorption, Absorption, thermische Abluftaufbereitung, Katalyse) biologische Verfahren gegenüber (Biofilter, Biowäscher, Tropfkörper). Einen Überblick über diese Verfahren gibt das Handbuch Altlasten und Grundwasserschadensfälle, Teil „Hydraulische und pneumatische in-situ Verfahren“, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, 1995.

4.4 Bioreaktoren

Der Gebrauch von **Bioreaktoren** zur Behandlung von Bodenmaterial konnte sich bisher offensichtlich nicht durchsetzen. Für die Abreinigung organischer Kontaminationen der ungesättigten Zone in dichtbesiedelten Gebieten bietet sich die mikrobiologische Behandlung in Bioreaktoren on-site aufgrund des niedrigen Platzbedarfs und der Beherrschbarkeit der Emissionen an. Der Zeitbedarf liegt in der Regel niedriger als beim konventionellen Mietenverfahren, da eine intensivere und andauernde Bearbeitung des Materials möglich ist. Die Angabe der Kosten variiert zwischen 80 DM pro t und 400 DM pro t.

Im Bereich der Mieten-, Biobeettechnik haben sich in den letzten Jahren wenig innovative Impulse ergeben. Als Überbegriff für die in Details unterschiedlichen Verfahren ist der Begriff Standardmietenverfahren angebracht, da es sich bei den in Anwendung befindlichen ex-situ Verfahren in aller Regel um Modifikationen herkömmlicher Mietenverfahren handelt. Hierbei variieren die Techniken im wesentlichen nur bei Art und Menge der Zusätze und bei der Zugabe von Mikroorganismen. Untersuchungen über (TT 4/96) belegen, daß die Zugabe von Tensiden oder gezüchteten Mikroorganismen keine signifikante Erhöhung der Abbaurate bewirken (Literatur).

Aufgrund der Auflagen nach Bundes-Immissionsschutzgesetz besteht die Notwendigkeit, in geschlossenen Systemen zu arbeiten und Abluft sowie Abwasser vor Einleitung in Vorfluter oder Kanalisation zu reinigen.

Einige Anbieter fördern den direkten Abbau der Schadstoffe im Boden, während bei anderen Systemen die Ausnutzung des Strippeffekts im Vordergrund steht. Hierbei erfolgt die Eliminierung in der Hauptsache in der Reinigung von Abluft und/oder Abwasser.

5. Literaturverzeichnis

Mikrobiologische Reinigung von Böden, 9. DECHEMA-Fachgespräch Umweltschutz am 27. und 28. Februar 1991, Deutsche Gesellschaft für Chemisches Apparatewesen, Chemische Technik und Biotechnologie e.V., Frankfurt am Main

Handbuch Altlastensanierung Franzius/Stegmann/Wolf/Brandt, Stand Mai 1995, R.v. Decker's Verlag, G. Schenk Heidelberg

Referenzkatalog Altlasten-/Schadensfallsanierung (RefAS), fertiggestellt am 31.10.1995 von Trischler und Partner GmbH, Beratende Ingenieure, Wendtstr. 19, 76185 Karlsruhe im Auftrag der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Griesbachstr. 1-3, 76157 Karlsruhe

Materialien zur Altlastenbearbeitung, Band 7 Handbuch Mikrobiologische Bodenreinigung vom April 1991, Band 16 Hydraulische und pneumatische in-situ Verfahren vom Oktober 1995, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Griesbachstr. 1-3, 76157 Karlsruhe

Abbildungsverzeichnis

Abbildung1:		
Abbildung 2:	Faktoren, die die mikrobielle Abbauleistung beeinflussen	.3
	Optimierungsmöglichkeiten für den mikrobiellen Abbau von Schadstoffen	
Abbildung 4:	Verfahrensvarianten bei der biologischen Bodensanierung	6

Indexverzeichnis

A

aerob und anaerob betriebene	
Wirbelschichtreaktoren.....	27
AGRO/Boden Regenerations-Verfahren	21
Altlastensanierung	
aerob und anaerob betriebene	
Wirbelschichtreaktoren.....	27
AGRO/Boden Regenerations-Verfahren	
.....	21
BICOTERRA.....	9
Biocrack.....	11
Biodetox-Biobeet-Verfahren	13
biologische Verfahren.....	15, 17
Holzmann-System	19
IBL-Biobeet-Verfahren.....	31
Terraferm Biosystem Erde.....	23
Terranox.....	25
Wirbelschichtreaktoren.....	27
Xenex-System.....	29

B

BICOTERRA.....	9
Biocrack.....	11
Biodetox-Biobeet-Verfahren	13
biologische Nachweisverfahren	
Allgemeines	15, 17
Bioreaktor	36
Bodenreinigung, mikrobiologische	
aerob und anaerob betriebene	
Wirbelschichtreaktoren.....	27
AGRO/Boden Regenerations-Verfahren	
.....	21
Auswahlkriterien	35
BICOTERRA.....	9
Biocrack.....	11
Biodetox-Biobeet-Verfahren	13
biologische Verfahren.....	15, 17
Bioreaktor	36
Einflußfaktoren	3
ex-situ Verfahren	7, 35
Grundlagen	3
Holzmann-System	19
IBL-Biobeet-Verfahren.....	31
in-situ Verfahren.....	6, 36
Literatur	37
Optimierungsmöglichkeiten	4
Terraferm Biosystem Erde.....	23

Terranox.....	25
Überblick.....	1
Verfahrensarten.....	6
Verfahrensbeschreibungen.....	8
Wirbelschichtreaktoren	27
Xenex-System	29

H

Holzmann-System.....	19
----------------------	----

I

IBL-Biobeet-Verfahren	31
-----------------------------	----

L

Literatur	
mikrobiologische Bodenreinigung	37
mikrobiologische Sanierungsverfahren	
.....	37
Sanierungsverfahren, mikrobiologische	
.....	37

M

mikrobiologische Bodenreinigung	
aerob und anaerob betriebene	
Wirbelschichtreaktoren	27
AGRO/Boden Regenerations-Verfahren	
.....	21
Auswahlkriterien.....	35
BICOTERRA.....	9
Biocrack	11
Biodetox-Biobeet-Verfahren.....	13
biologische Verfahren	15, 17
Bioreaktor.....	36
Einflußfaktoren	3
ex-situ Verfahren.....	7, 35
Grundlagen.....	3
Holzmann-System.....	19
IBL-Biobeet-Verfahren	31
in-situ Verfahren	6, 36
Literatur.....	37
Optimierungsmöglichkeiten.....	4
Terraferm Biosystem Erde	23
Terranox.....	25
Überblick.....	1
Verfahrensarten.....	6
Verfahrensbeschreibungen.....	8
Wirbelschichtreaktoren	27
Xenex-System	29
mikrobiologische Sanierungsverfahren	

aerob und anaerob betriebene		
Wirbelschichtreaktoren.....	27	
AGRO/Boden Regenerations-Verfahren		
.....	21	
Auswahlkriterien	35	
BICOTERRA.....	9	
Biocrack.....	11	
Biodetox-Biobeet-Verfahren	13	
biologische Verfahren.....	15, 17	
Bioreaktor	36	
Einflußfaktoren	3	
ex-situ Verfahren	7, 35	
Grundlagen	3	
Holzmann-System	19	
IBL-Biobeet-Verfahren.....	31	
in-situ Verfahren.....	6, 36	
Literatur	37	
Optimierungsmöglichkeiten	4	
Terraferm Biosystem Erde.....	23	
Terranox.....	25	
Überblick	1	
Verfahrensarten.....	6	
Verfahrensbeschreibungen	8	
Wirbelschichtreaktoren.....	27	
Xenex-System.....	29	
Mikroorganismen		
Allgemeines	5	
allochtone.....	5	
aufschließende Substanzen	5	
autochtone.....	5	
Biotenside	5	
Detergentien.....	5	
Nährstoffe	5	
Sauerstoffträger.....	5	
Strukturbildner.....	5	
S		
Sanierungsverfahren, mikrobiologische		
aerob und anaerob betriebene		
Wirbelschichtreaktoren	27	
AGRO/Boden Regenerations-Verfahren		
.....	21	
Auswahlkriterien.....	35	
BICOTERRA	9	
Biocrack	11	
Biodetox-Biobeet-Verfahren.....	13	
biologische Verfahren	15, 17	
Bioreaktor.....	36	
Einflußfaktoren	3	
ex-situ Verfahren.....	7, 35	
Grundlagen.....	3	
Holzmann-System.....	19	
IBL-Biobeet-Verfahren	31	
in-situ Verfahren	6, 36	
Literatur.....	37	
Optimierungsmöglichkeiten.....	4	
Terraferm Biosystem Erde	23	
Terranox.....	25	
Überblick.....	1	
Verfahrensarten.....	6	
Verfahrensbeschreibungen	8	
Wirbelschichtreaktoren	27	
Xenex-System	29	
T		
Terraferm Biosystem Erde	23	
Terranox.....	25	
W		
Wirbelschichtreaktoren	27	
X		
Xenex-System	29	