

E 2-10 Mikrobielle Reinigung von kontaminierten Böden

Stand: GDA 1997

1 Allgemeines

Das Stoffwechsellpotential von Mikroorganismen zum Abbau von organischen Verbindungen zu CO₂, Wasser und Biomasse wird in zunehmendem Maße bei der Altlastensanierung genutzt. Wegen der Vielfalt der als Kontaminationen vorkommenden Stoffe, aber auch wegen der unterschiedlichen physikalisch/chemischen und biologischen Eigenschaften von Boden bzw. kontaminiertem Material sind intensive Voruntersuchungen im Labor und im Technikumsmaßstab sowie eingehende Messungen und Überwachungen bei der Ausführung erforderlich.

In dieser Empfehlung sollen die Vorgänge und die Behandlungstechniken bei der mikrobiellen Bodenreinigung erläutert werden. Entsprechend den derzeit vorliegenden Erfahrungen in der Praxis werden in E 3-10 Empfehlungen zur Laborprüfung der biologischen Sanierbarkeit von kontaminierten Böden vorgestellt.

2 Grundsätze der mikrobiellen Behandlung von kontaminierten Böden

Die mikrobielle Behandlung von kontaminierten Böden hat das Ziel, den mikrobiellen Abbau von Schadstoffen zu harmlosen Endprodukten wie CO₂, Wasser und Biomasse im verunreinigten Bodenmaterial selbst durchzuführen. Dieser Prozess findet auf natürliche Weise im Zuge der Stoffkreisläufe der Natur statt. Die im Boden, Grund- und Oberflächenwasser lebenden Mikroorganismen nutzen natürlich vorkommende Kohlenstoffverbindungen für den Zellaufbau und zur Gewinnung von Energie für Bewegung, Stofftransport und -Umsatz. Auch die Umsetzung von anthropogenen Schadstoffen unterliegt diesen Abbauprozessen, so dass eine endgültige Eliminierung der Kontamination aus Boden und Grundwasser erreicht werden kann. Derartige Abbauvorgänge bestehen aus einer Folge von eng miteinander gekoppelten und zum Teil komplizierten Einzelreaktionen. Um einen raschen und vollständigen Abbau der Verunreinigung im Boden sicherzustellen, müssen dort die Mikroorganismen vorhanden sein, welche die verunreinigenden Stoffe auch verwerten können. Bedingt durch die Vielfalt der mikrobiellen Lebensformen ist dies in vielen Fällen gegeben und kann mit den Laborprüfungen nach E 3-10 nachgewiesen werden.

Die Verfügbarkeit von Sauerstoff bestimmt die mikrobiellen Stoffwechsellvorgänge ganz wesentlich. Unter aeroben Bedingungen, also bei ausreichendem Sauerstoffangebot, können organische Kohlenstoff-, Schwefel- und Stickstoffverbindungen bis hin zu ihren Endprodukten CO₂, Sulfat, Nitrat und Wasser mineralisiert werden. Unter anaeroben Bedingungen können andere Stoffwechsellvorgänge auch zum Abbau von Schadstoffen führen. Dabei entstehen, da Sauerstoff

als Elektronenakzeptor fehlt, Endprodukte wie H₂S, Methan, Nitrit oder molekularer Stickstoff.

Zahlreiche wissenschaftliche Untersuchungen liefern Erkenntnisse zur mikrobiellen Abbaubarkeit für viele einzelne Schadstoffe. Als relativ gut abbaubar gelten Nitril-Verbindungen, n-Alkane, einfache aromatische Verbindungen wie Benzol, Toluol, Xylole und Phenol sowie einige Chlorkohlenwasserstoffe. Besonders geeignet haben sich mikrobielle Behandlungen für mineralölbelastete Standorte. Hingegen gelten polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) und höher substituierte Verbindungen wie PCB als relativ schwer und nur über längere Zeit hin mikrobiologisch abbaubar. Die Technik ist nicht für alle Schadstoffe, aber für ein breites Spektrum organischer Kontaminationen anwendbar. Probleme bei der Behandlung können dann entstehen, wenn ein konkurrierender Abbau anderer organischer Substanzen im Boden den Schadstoffabbau verlangsamt, wenn unerwünschte Stoffwechselprodukte auftreten oder die Verunreinigung lokal in hochkonzentrierter Form vorliegt. Schwermetalle sind nicht biologisch abbaubar.

3 Behandlungstechniken

Die derzeit verfügbaren Sanierungstechniken werden in in situ- Verfahren und in on site- / off site- Verfahren unterteilt. Der wesentliche Unterschied zwischen beiden Verfahren liegt darin, dass bei einer in situ- Behandlung der Abbau der Schadstoffe direkt im Untergrund ohne einen Austausch des Bodens erfolgt, während bei der Behandlung nach einem on site- Verfahren das Bodenmaterial nach Auskoffnung oberirdisch behandelt wird. Im Zuge von on site- / off site- Verfahren kommt die Behandlung des Bodens in aufgeschichteten Mieten oder in speziellen Bioreaktoren in Frage.

3.1 In situ- Verfahren

Der in situ- Behandlung liegt die Vorstellung zugrunde, den Boden-Grundwasser-Bereich eines verunreinigten Standortes als überdimensionalen Bioreaktor für den biologischen Abbau der Schadstoffe einzusetzen. Dabei sollen natürliche Abbauprozesse (aerob und anaerob) mit geeigneten, an den Standort angepassten Verfahrenstechniken beschleunigt werden. Dazu gehören die Zugabe von Nährstoffen und zum aeroben Abbau Sauerstoff, aber auch die Applikation von spezifisch wirkenden Mikroorganismen.

Das biologische Abbaupotential der Mikroorganismen wird entscheidend durch die physikalischen Standortbedingungen beeinflusst. Die Durchströmbarkeit des Untergrundes ist dabei wesentliche Voraussetzung der für den Sanierungserfolg erforderlichen Transportvorgänge. Je nach Schadensfall können die geschilderten Bedingungen mit unterschiedlichen Maßnahmen erreicht werden. So kann bei einer oberflächennahen Verunreinigung durch Behandlung der obersten Bodenschicht ein Schadstoffabbau erzielt werden. Zusätzlich zum Eintrag von Nährstoffen und

Mikroorganismen können der Einsatz von oberflächenaktiven Substanzen sowie die Homogenisierung des oberflächennahen Bodens durch Bodenfräsen erfolgen.

Bei Verunreinigungen in tieferen Bodenschichten werden die Milieubedingungen im Untergrund durch die Einrichtung eines Spülkreislaufs verbessert. Die Anwendbarkeit eines solchen Verfahrens ist auf Böden mit guter Durchlässigkeit beschränkt. Bei dieser Methode ist durch bodenhydraulische Maßnahmen sicherzustellen, dass die Behandlung auf das kontaminierte Gelände begrenzt bleibt und kein Schadstoffaustrag in Grundwasser oder Luft erfolgt.

Neben dem Abbau von Schadstoffen im Boden selbst findet durch die Strömung im Untergrund auch ein Austrag von Schadstoffen mit dem Wasser im Spülkreislauf statt. Durch geeignete Maßnahmen wie biologische und adsorptive Wasserreinigung kann eine weitgehende Schadstoffelimination aus dem im Kreis geführten Wasser erfolgen.

Entscheidend für den raschen aeroben Abbau ist die Verfügbarkeit des Sauerstoffs, der in Wasser gelöst herangeführt werden muss. Hier kann die Zugabe eines Sauerstofflieferanten (H_2O_2 , Ozon, Sauerstoff oder Luft) Vorteile bieten, wobei auf die Toxizität von H_2O_2 und Ozon hingewiesen werden muss. Bei der Sanierung unter anaeroben Bedingungen ist die Zugabe eines Elektronenakzeptors (z. B. Nitrat) für den mikrobiellen Stoffwechsel erforderlich.

Die Form, in der die Kohlenwasserstoffe im Untergrund vorliegen, spielt eine weitere wichtige Rolle. Gelöste Kohlenwasserstoffe sind am besten zugänglich. Sind die Stoffe jedoch in Wasser weniger gut löslich oder liegen sie lokal in hohen Konzentrationen vor oder sind sie z. B. an Huminstoffe adsorbiert, sind die Bedingungen für einen mikrobiellen Abbau ungünstig.

Durch geeignete Analysen ist die Wirksamkeit des mikrobiologischen Abbaus von Schadstoffen im Untergrund zu überprüfen. Im allgemeinen ist davon auszugehen, dass in situ- Sanierungsverfahren verhältnismäßig lange Zeit (einige Jahre) in Anspruch nehmen, die durch die Wirksamkeit geeigneter Maßnahmen zur Verbesserung des Milieus, aber auch durch die Art und Menge der zu beseitigenden Schadstoffe sowie die geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse beeinflusst werden.

3.2 On site-/off site- Verfahren

Unter on site-/off site- Verfahren werden diejenigen Techniken zusammengefasst, bei denen der zu reinigende Boden ausgekoffert und nach einer Homogenisierung mikrobiologisch behandelt wird, um dann anschließend, je nach erreichter Reduzierung der Schadstoffkonzentration, wieder am zu sanierenden Standort eingebaut oder auf einer entsprechenden Deponie gelagert zu werden. Diese Technik lässt sich bei Verunreinigungen mit allen Schadstoffen anwenden, die einem biologischen Abbau zugänglich sind. Die einzelnen Schritte einer on site- Behandlung nach dem

Mietenverfahren sind in Bild 2-10.1 dargestellt. Im Vergleich zur in situ- Technik ergeben sich erhebliche Erleichterungen hinsichtlich der Prozesssteuerung und der Prozesskontrolle.

Durch die Homogenisierung des Bodenmaterials wird eine gleichmäßige Verteilung der Verunreinigung, eine lockere Bodenstruktur, eine verbesserte Zugänglichkeit der Schadstoffe für Mikroorganismen sowie eine verbesserte Durchlässigkeit für Gase erreicht. Zusätzlich können bei der Homogenisierung verschiedene Zuschlagsstoffe wie Kompostmaterialien, Rindenmulch, Stroh oder andere Trägersubstanzen für Mikroorganismen zugesetzt bzw. Fremd-/Störstoffe aussortiert werden. Je nach Verfahren können die Zuschlagstoffe bis zu 30% des zu behandelnden Bodenmaterials ausmachen. Je nach Art des verunreinigten Bodenmaterials bewirkt die Zugabe von Trägersubstanzen auch eine Vergrößerung der für mikrobiologische Abbauprozesse verfügbaren Grenzflächen, ebenso wie eine Verbesserung der Bodenstruktur, um einen Stoffaustausch durch Flüssigkeits- und Gastransport zu gewährleisten.

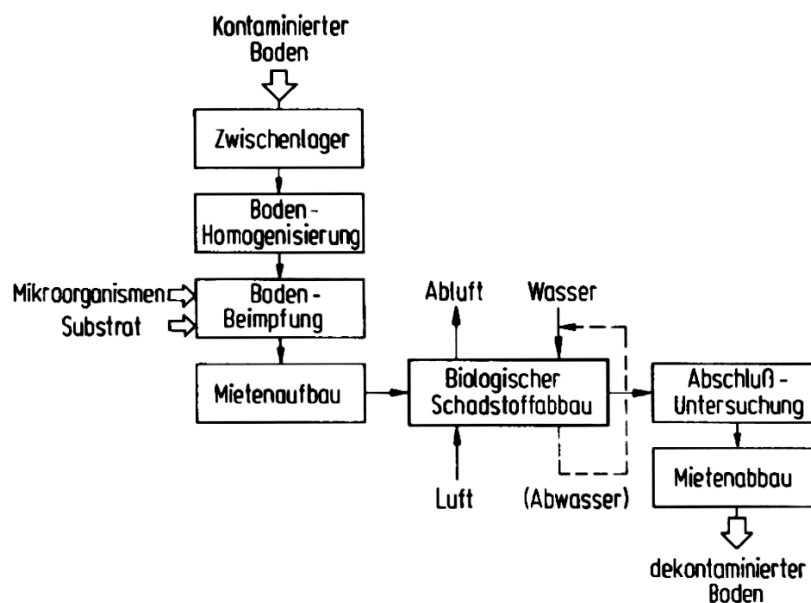


Bild 2-10.1: Schritte der mikrobiellen Behandlung von kontaminierten Böden nach dem Mietenverfahren

Das Zusetzen von organischen Fremdstoffen ist jedoch ebenso wie das Animpfen des Bodens mit milieufremden Mikroorganismen bezüglich ihrer Wirkung bzw. Notwendigkeit nicht unumstritten. Eine Durchmischung des Bodens mit Kompost, Stroh o. ä. kann dazu führen, dass sich der mikrobielle Stoffwechsel auf diese leicht abbaubaren Substrate konzentriert und somit der mikrobielle Schadstoffabbau verzögert wird. Eine Beimpfung mit unter Laborbedingungen angezüchteten Mikroorganismen bleibt oft erfolglos, da diese dem Konkurrenzdruck durch die bodeneigene Mikroflora in der Regel nicht gewachsen sind.

Maßnahmen, die allein der Unterstützung der bereits an die Kontamination angepassten, bodeneigenen Mikroorganismen dienen, haben dagegen schon oft zum Erfolg geführt. Dazu gehören u. a. die Zugabe von Nährstoffen (N, P) und gegebenenfalls von mineralischen Strukturverbesserungsmitteln. In manchen Fällen ist auch eine Optimierung des Boden- pH sinnvoll.

Beim Mietenaufbau wird zum Schutz des Untergrundes je nach Art, Menge und Zeitdauer der möglichen Schadstoff-Einwirkungen eine Abdichtung (z. B. mineralische Abdichtung oder Kunststoff-Dichtungsbahn) oder eine Schutzschicht aus Adsorptionsmaterial erforderlich. Zusätzlich ist ein Dränagesystem zu installieren, um die Bildung von Stauwasser zu verhindern. Je nach Bodenart und Behandlungsweise kann die Schichthöhe des Bodenmaterials zwischen 0,2 und 1,5 m variieren. Zur Verbesserung der Milieubedingungen werden Versorgungsleitungen zur Bewässerung installiert; durch die Beregnung wird auch im Wasser gelöster Sauerstoff in die Miete eingebracht. Neben der Zugänglichkeit der Schadstoffe für einen mikrobiellen Angriff ist die Sauerstoffversorgung für einen aeroben Abbau der Schadstoffe in den Mieten von ausschlaggebender Bedeutung. Für die Behandlung großer Bodenmengen wird daher empfohlen, das aufgeschichtete Bodenmaterial durch zusätzliche Belüftungsrohre bzw. Begasen mit reinem Sauerstoff oder durch Ansaugen von Außenluft durch die Miete aktiv auch im Mieteninneren mit Sauerstoff zu versorgen.

Bei Mieten mit einer Schichthöhe bis zu etwa 50 cm ist eine Umwälzung des Bodenmaterials zur regelmäßigen Wiederherstellung einer lockeren Bodenstruktur und der damit verbundenen guten Milieubedingungen sowie die Verteilung der Mikroorganismen im Boden mit den in Landwirtschaft und Gartenbau üblichen Bodenfräsen oder Spatenmaschinen möglich. Spezialmaschinen erlauben die regelmäßige Umschichtung auch bei einem höheren Mietenaufbau.

Die Durchführung aller Sanierungsverfahren erfordert es, besonders bei der Behandlung flüchtiger Schadstoffe, Emissionen in die Umgebung zu vermeiden. Dazu kann bei on site-/off site- Verfahren eine Abdeckung der Miete mit entsprechender Luftabsaugung und -reinigung erforderlich sein. Je nach zu behandelndem Material kann zur Aufrechterhaltung einer lockeren Bodenstruktur die Abdeckung durch Folien oder durch ein Zelt bzw. Gewächshaus erfolgen.

Beim Sanierungsbetrieb ist eine regelmäßige labortechnische Überwachung und Steuerung des Abbaus durch möglichst günstige Einstellung der Einflussfaktoren unerlässlich. Je nach Bodenart sowie Konzentration und Art der Kontamination beträgt die Dauer des Abbauprozesses einige Monate bis hin zu zwei Jahren.

Neben den Mietenverfahren wird in jüngster Zeit die Bodenbehandlung in Bioreaktoren im Pilotmaßstab untersucht, um bei vollständig kontrollierbaren Bedingungen eine weitere Beschleunigung des Stoffabbaus zu erreichen. Das Bodenmaterial kann je nach Beschaffenheit z. B. erdfeucht und krümelig in einem Drehrohrreaktor oder als Bodenaufschlammung in einem Suspensionsreaktor behandelt

werden. Die für das Mietenverfahren genannten geschwindigkeitsbestimmenden Aspekte gelten in analoger Weise. Zur Behandlung des Bodens als Suspension kann eine Bodenwäsche zur Vorkonditionierung eingesetzt werden.