

**Sonder  
druck**

148

**Altlastensanierung in on-site Regenerationsmieten**  
K.-H. Gebhardt, Hamburg und Dr. K. Matt, Höllriegelskreuth

*Linde*

**Technische Gase**

# Altlastensanierung in on-site Regenerationsmieten

Karl-Heinz Gebhardt, Hamburg und Dr. Konrad Matt, Höllriegelskreuth

Die stürmische industrielle Entwicklung der letzten zweihundert Jahre hat uns neben vielen segensreichen Errungenschaften ein Erbe von äußerst zweifelhafter Qualität hinterlassen: Ehemalige Produktions-, Lager- und Umschlagstätten für die unterschiedlichsten Güter summieren sich heute allein in der Bundesrepublik zur stolzen Zahl von über 50 000 Altlasten, von denen man nach heutigem Wissensstand ein erhebliches Gefährdungspotential vermuten muß. Organische und anorganische Kontaminationen gefährden Boden, Grund- und Oberflächenwasser.

Im Folgenden sollen uns vor allem die Kontaminationen beschäftigen, die von Kohlenwasserstoffverbindungen herrühren. Ausdrücklich ausgeschlossen soll dabei die Stoffklasse der halogenierten Kohlenwasserstoffe sein, die ein eigenes Problemfeld darstellt, für das, mit Ausnahme der flüchtigen Komponenten, bisher keine im großtechnischen Maßstab wirtschaftlich vertretbare Vernichtungsstrategie besteht.

Da Deponieraum für solcherart verunreinigtes Material praktisch nicht mehr verfügbar und die Deponierung in ihrer Effizienz als Sanierungsmaßnahme ohnehin fragwürdig ist, wurden in den letzten Jahren vermehrt technische Sanierungsmaßnahmen entwickelt, die eine Zerstörung der Schadstoffe oder zumindest eine Verringerung des kontaminierten Volumens zum Ziel haben. Neben den physikalischen und physikalisch-chemischen Verfahren (thermische Verfahren, Bodenwäsche, Bodenluftabsaugung, Extraktion) gilt das Hauptaugenmerk heute den mikrobiologischen Verfahren, die kostengünstige Lösungen unter Eliminierung der organischen Schadstoffe ermöglichen. Tabelle 1 zeigt einen Vergleich der wichtigsten Bodensanierungsverfahren.

Auf den ersten Blick am bestechendsten sind dabei die in-situ-Verfahren, bei denen der mikrobiologische Abbau direkt im kontaminierten Boden erfolgen soll. Leider beschränkt sich die Anwendbarkeit des Verfahrens auf Böden hoher Durchlässigkeit. Auch versagen in-situ-Maßnahmen, wenn Schadstoffe punktuell in Phase vorliegen und die abbauenden Mikroorganismen nicht in das Innere solcher „Linsen“ vordringen können.

In diesen Fällen kommen die on- und off-site-Verfahren in Frage, bei denen das Bodenmaterial nach Auskoffnung oberirdisch behandelt wird. Das Shell Bioreg-Verfahren ermöglicht die biologische on-site-Sanierung kohlenwasserstoffkontaminierter Böden oder ähnlicher Materialien in sogenannten „Regenerationsmieten“. Das kontaminierte Material wird mit einer mikrobiologisch vorbehandelten Trägersubstanz, die gleichzeitig als Adsorptionsmittel dient, in einem vorher festgelegten Verhältnis gemischt und zu einer Regenerationsmiete aufgeschichtet. Die Regeneration des kontaminierten Materials erfolgt mit Hilfe spezifischer, adaptierter – aber weder genmanipulierter noch pathogener – Mikroorganismen unter optimierten aeroben Bedingungen (z. B. Begasung mit technisch reinem Sauerstoff).

Zur Prüfung, ob die Kontamination im Boden biologisch abbaubar ist, müssen zunächst verschiedene Tests im Hinblick auf bodenmechanische Eigenschaften, toxische Beimengungen, Nährstoffverhältnisse und ähnliches sowie diverse Eluatuntersuchungen durchgeführt werden. Daran schließen sich biologische Abbau- und Optimierungstests an. Auf Basis dieser Untersuchungen und einer Berechnung des Sauerstoffbedarfs wird das Sanierungskonzept erstellt, das die verfahrenstechnische Vorgehensweise festlegt.

Die Trägersubstanz für die Mikroorganismen hat neben der Adsorption der Kontaminanten die Aufgabe, eine deutliche Vergrößerung der für die mikrobiologischen Abbauprozesse verfügbaren Grenzfläche sowie eine Vergrößerung der Kapillarräume im Boden herbeizuführen, um die für die Einstellung aerober Verhältnisse wichtige hohe Gaspermeabilität der Regenerationsmiete zu gewährleisten. Bei den bisher durchgeführten Pilotprojekten und Sanierungsmaßnahmen hat sich vorbehandelte Kiefernborke bestens bewährt, insbesondere, da bei der Wahl der verwendeten Komponenten stets die Rekultivierbarkeit des dekontaminierten Bodens im Auge behalten werden muß.

Zum Schutz des Untergrunds kann je nach Art und Umfang der Bodenkontamination entweder eine ausreichende Schutzschicht aus Adsorptionsmaterial oder eine Abdichtung durch Mineralstoffe (Ton) bzw. Kunststoff (Folie) verwendet werden. Darüber hinaus ist auf jeden Fall eine Drainageschicht zur Verhinderung von Stauwasser vorzusehen.

Es hat sich gezeigt, daß neben der ausreichenden Versorgung mit Nährsalzen und adaptierten Mikroorganismen die Sauerstoffversorgung meist der limitierende Faktor beim mikrobiologischen Kohlenwasserstoffabbau ist. Sauerstoff aus der Umgebungsluft ist nicht in der Lage, den O<sub>2</sub>-Bedarf in Tiefen größer als einige Dezimeter zu decken. Demzufolge erfolgt dort ein erheblich verlangsamter Abbau mit auch nach längerer Sanierungsdauer erhöhten Restschadstoffgehalten. Bei on-site-Sanierungen sind damit die Abmessungen, insbesondere die Höhe, der Regenerationsmieten begrenzt. Bei Sanierung großer Volumina kontaminierter Böden wird die on-site-Sanierung mit ausschließlicher Luftbegasung aufgrund des großen Flächenbedarfs problematisch.

Zur Versorgung der Mieten mit O<sub>2</sub> dient daher beim Shell Bioreg-Verfahren, System Linde, technisch reiner Sauerstoff, der gegenüber einer Luftbegasung eine O<sub>2</sub>-Versorgung des gesamten Mietenkörpers sichert und zudem höhere O<sub>2</sub>-Konzentrationen in der Bodenfeuchtigkeit der Miete ermöglicht (ca. 48 mg O<sub>2</sub>/l gegenüber ca. 10 mg O<sub>2</sub>/l). Im Gegensatz zu einer Kompressorbelüftung treten auch keine Probleme mit der Stripptung flüchtiger Schadstoffe aus der Miete durch mitgeführten Stickstoff auf. Anders als bei Nitratdosierung wird die Verwendung grundwassergefährlicher Chemikalien vermieden und anders als bei Eins

Tabelle 1

VERFAHREN	VORTEILE	NACHTEILE
Thermische Verfahren	höchste Reinigungswirkung bei allen organischen Kontaminationen	Bodenaushub erforderlich, Abgasbehandlung nötig hoher energetischer und apparativer Aufwand, Material nach Behandlung biologisch inaktiv
Bodenwaschverfahren	hohe Reinigungswirkung bei organischen und anorganischen Kontaminationen	Bodenaushub erforderlich, Anfall hochkontaminierter Schlämme, apparativ aufwendig
Fest-Flüssig-Extraktion	hohe Reinigungswirkung bei organischen Kontaminationen, selektive Extraktion von Schwermetallen möglich	Bodenaushub erforderlich, Anfall hochkontaminierter lösemittelhaltiger Schlämme, Lösemittelrückgewinnung energieaufwendig, Boden enthält Lösemittelrückstände, apparativ aufwendig
Bodenluftabsaugung	hohe Reinigungswirkung bei flüchtigen Kontaminanten, kein Bodenaushub erforderlich	unwirksam gegen schwerflüchtige und anorganische Verunreinigungen
in-situ-Sanierung (mikrobiologisch)	hohe Reinigungswirkung bei Kohlenwasserstoff-Kontaminationen, kein Bodenaushub nötig, apparativ wenig aufwendig	unwirksam gegen CKW's und anorganische Schadstoffe, Erfolgskontrolle schwierig, nur in gut durchlässigen Böden anwendbar
on-site-Sanierung (mikrobiologisch)	hohen Reinigungswirkung bei Kohlenwasserstoff-Kontaminationen, Behandlung wenig durchlässiger Böden möglich	Bodenaushub und Aufbereitung erforderlich



Bild 1

von Ozon oder  $H_2O_2$  tritt auch keine Schädigung der Bakterienpopulation auf.

Zur Durchführung dieses Verfahrens werden Regenerationsmieten aus einem Boden/Kiefernborke-Gemisch errichtet, in denen zur  $O_2$ -Dosierung perforierte, kohlenwasserstoffresistente elastische Schläuche in bestimmten Abständen verteilt werden. Da die Poren der Schläuche nur unter Druck öffnen, ist ein Verschlammen oder Verstopfen der Perforation unmöglich.

Ein Pilotversuch, auf einem ehemaligen Industriegelände im norddeutschen Raum, das erheblich mit polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen verunreinigt war (Bild 1), bei dem eine sauerstoffbegaste Miete mit einer durch Umgebungsluft begasten Miete verglichen wurde, zeigte deutlich, daß die Sauerstoffbegasung spezifische Vorteile bietet, die nach längerer Sanierungsdauer klar zu Tage treten. War bei einer luftbegasten Referenzmiete, wie bei früheren Pilotprojekten, bereits nach 6 Monaten ein deutlicher Rückgang der Abbauraten festzustellen, so zeigte die sauerstoffbegaste Miete weiterhin eine lineare Abnahme des Schadstoffgehalts (Bild 2). Auch aus den Sickerwasseranalysen ließ sich erkennen, daß ein äußerst intensiver Abbau der Kontamination in der wässrigen Phase erfolgt.

Im Gegensatz zu verschiedenen Vorschlägen in der Literatur war im vorliegenden Fall jedoch kein Zusatz von Lösungsvermittlern oder Tensiden erforderlich, welcher ja auch unter dem Gesichtspunkt der Umweltverträglichkeit oder, insbesondere bei Tensidzugabe, der biologischen Abbaubarkeit nicht ganz unbedenklich ist.

Der stöchiometrische Sauerstoffbedarf für den Abbau von Kohlenwasserstoffen beträgt  $3,0-3,5 \text{ kg } O_2/\text{kg KW}$ , abhängig von der Art der Kontamination. Der Wirkungsgrad richtet sich ebenfalls nach der Art der Kontaminanten und der Beschaffenheit des verunreinigten Materials, insbesondere dessen Rückhaltevermögens.

Zur Prozeßsteuerung für den Regenerationsvorgang dient eine Versorgungseinheit, über die nach Bedarf Wasser oder wässrige Lösungen zur Feuchteregulierung und Nährstoffdosierung dosiert werden. Auch lassen sich auf diesem Weg spezifische Mikroorganismen nachträglich einbringen. Die  $O_2$ -Versorgung erfolgt über eine Tankanlage für tiefkalt verflüssigten Sauerstoff mit nachgeschaltetem Verdampfer oder – bei kleineren Projekten – über eine Flaschenbündelanlage, die von der Linde AG, Werksgruppe Technische Gase auf Mietbasis zur Verfügung gestellt wird. Zum  $O_2$ -Eintrag ist aufgrund des von Tank bzw. Bündel zur Verfügung stehenden Vordrucks keine Hilfsenergie erforderlich. Eine Meß- und Steuerstrecke erlaubt eine präzise Einstellung der in die Miete dosierten  $O_2$ -Menge und minimiert Verluste (Bild 3).

Die Regenerationsdauer liegt aufgrund der heutigen Erfahrungen zwischen wenigen Monaten und drei Vegetationsperioden, ist jedoch generell deutlich niedriger als bei Luftbegasung. Sie ist abhängig vom Grad und Art der Kontamination, dem verfahrenstechnischen Aufwand, der geforderten Restkontamination und den bodenmechanischen Eigenschaften.

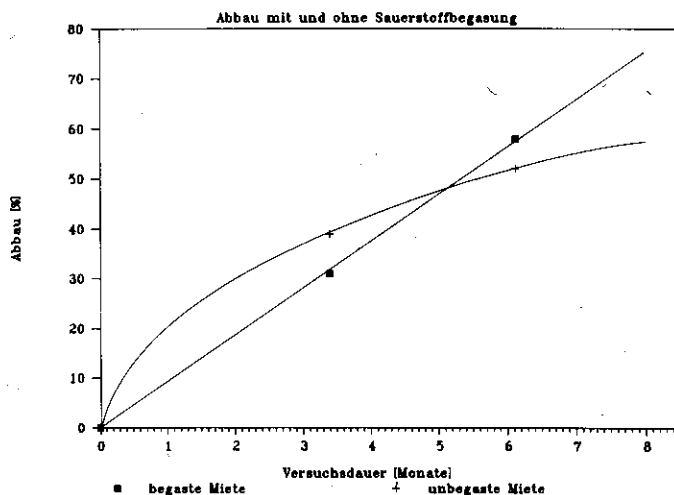


Bild 2. Shell Bioreg-Verfahren, System Linde – Abbau mit und ohne Sauerstoffbegasung

Ziel des Shell Bioreg-Verfahrens, System Linde ist es, daß nach der Regeneration der Boden immer einer Wiederverwendung zugeführt werden kann.

Das Shell Bioreg-Verfahren, System Linde ist sowohl als selbständiges Verfahren, als auch in Kombination mit anderen Bodenbehandlungsverfahren wie Extraktion, Immobilisierungs- und Verfestigungsverfahren anwendbar. Ebenso läßt sich eine biologische Reaktivierung thermisch

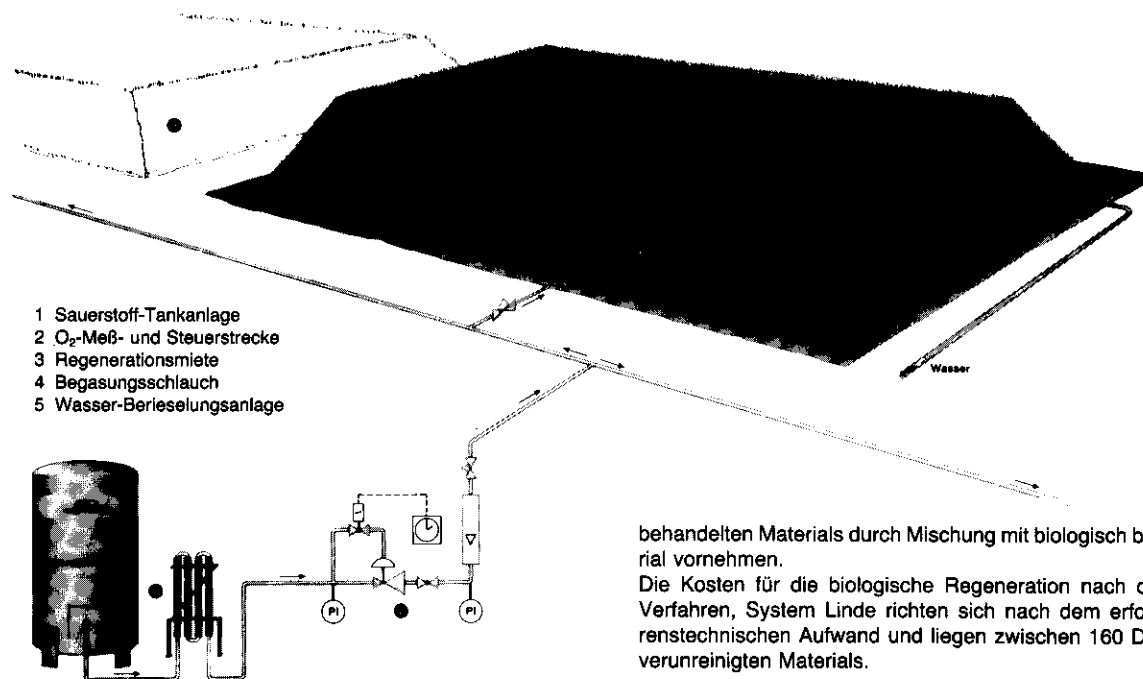


Bild 3. Bodensanierung nach dem Shell-Bioreg-Verfahren. System Linde

behandelten Materials durch Mischung mit biologisch behandeltem Material vornehmen.

Die Kosten für die biologische Regeneration nach dem Shell Bioreg-Verfahren, System Linde richten sich nach dem erforderlichen verfahrenstechnischen Aufwand und liegen zwischen  $160 \text{ DM/t}$  und  $220 \text{ DM/t}$  verunreinigten Materials.