

In den Stoffkreisläufen der Natur spielen Mikroorganismen wie Bakterien und Pilze eine Schlüsselrolle, insbesondere bei der Mineralisierung des breiten Spektrums organischer Stoffe, die durch Pflanzen oder Tiere synthetisiert wurden. Darüber hinaus sind Mikroorganismen aber auch oft in der Lage, eine große Anzahl von industriell produzierten Fremdstoffen (Xenobiotika) abzubauen, die durch menschliche Aktivitäten in die Umwelt gelangen und dort ein großes Gefährdungspotential darstellen können. Einige dieser Fremdstoffe sind jedoch sehr widerstandsfähig (persistent) und werden nur sehr langsam abgebaut. Im Rahmen von Sanierungen verunreinigter Böden und Grundwasser läßt sich das Abbauvermögen der Mikroorganismen oftmals sinnvoll nutzen, jedoch ist hierfür eine genaue Kenntnis der Möglichkeiten und Grenzen mikrobieller Abbauleistungen im Rahmen eines nachsorgenden Umweltschutzes die unabdingbare Voraussetzung.



Abbildung 1: Ansicht auf die Aushubarbeiten im Rahmen der on-site Sanierung des Altölschadensfalls Pintsch Hanau. Die Auffüllung ist abgetragen und der Grundwasserspiegel freigelegt (Bildmitte). Rechts von der Querkontaminationssperre befindet sich der kontaminierte Bereich, links der sanierte.

(Foto: Trischler & Partner GmbH, Darmstadt)

Altlastensanierung durch Mikroorganismen

■ Von Peter Kämpfer

Annähernd zwei Jahrhunderte Industriegesellschaft haben fast überall in der Welt ihre Spuren in Form von mehr oder weniger fein verteilten Rückständen hinterlassen. Wenn auch der Begriff Altlast erst in jüngster Vergangenheit zunehmend häufig in der öffentlichen Diskussion auftaucht, so ist doch der damit beschriebene Sachverhalt ebenso alt wie die industrielle Produktion selbst. Bei der Beseitigung von Abfällen

oder Rückständen entschied man sich in der Vergangenheit häufig für die einfachste und scheinbar billigste Form der unkontrollierten Ablagerung oder Entsorgung. Mögliche Rückkopplungseffekte wie die zunehmende Verschmutzung des Bodens und Grundwassers sowie Gefährdungen der menschlichen Gesundheit durch Emissionen und schadstoffangereicherte Lebensmittel nahm man dabei zum Teil billigend in Kauf. Weiterhin wur-

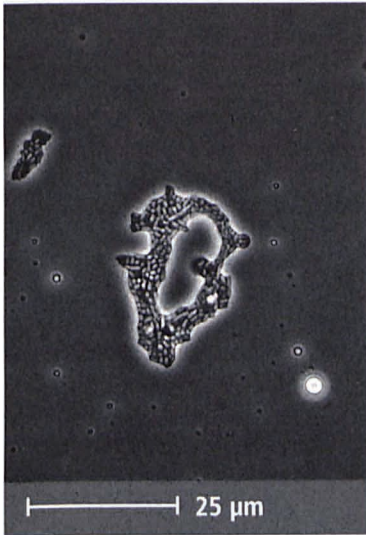


Abbildung 2: Dieselöltropfen mit herabgesetzter Oberflächenspannung und großer bakterieller Besiedlungsdichte (Foto: M. Steiof, TU Berlin)

de das Gefährdungspotential vieler gemeinhin als nützlich erachteter Chemikalien lange Zeit nicht erkannt, und auch die Selbstreinigungskraft der Natur wurde vielfach überschätzt. Insbesondere auf Industriestandorten wurden Produktionsrückstände oberflächlich vergraben oder Produktionsausgangs-, -zwischen- oder -endprodukte ohne Schutzeinrichtungen gelagert (ehemalige Gaswerke, Produktionsstätten von Insektiziden). Darüber hinaus sind Untergrundverunreinigungen durch leckgewordene Transportleitungen von Chemikalien, Ölen oder Tanks (zum Beispiel in Ö Raffinerien) entstanden. Oftmals ist das Grundwasser ebenfalls stark verunreinigt, so daß es erst nach umfangreichen Reinigungsmaßnahmen in ein öffentliches Gewässer oder in eine Kanalisation eingeleitet werden kann. Dabei entstehende Kosten verhindern Baumaßnahmen, und Industriegelände werden unverkäuflich, da die Sanierungskosten, die der Besitzer aufzubringen hätte, deutlich über den zu erzielenden Erlösen liegen würden.

Wenn eine Bodenverunreinigung festgestellt wurde, bestehen folgende Handlungsmöglichkeiten:

1. Das Belassen des kontaminierten Bodens vor Ort und Veranlassung einer Nutzungsbeschränkung;
2. Die Abdeckung bzw. Einkapselung des vor Ort belassenen Bodens mit weitgehend wasserundurchlässigem Material und Wiederaufbringen von kulturfähigem, unbelastetem Boden;
3. Das Ausgraben des kontaminierten Bodens und Verbringen auf eine Sonderdeponie;
4. Die Reinigung des kontaminierten Bodens auf dem kontaminierten Standort oder in einer an einem anderen Ort befindlichen Anlage.

Mikrobiologische Behandlung von Altlasten

Aus ökologischer Sicht sind mikrobiologische Sanierungen die schonendsten Verfahren zur Wiederherstellung eines weitgehend unbelasteten Bodens. Die natürlich vorkommenden Bodenmikroorganismen besitzen oft ein hohes Abbaupotential für bestimmte organische Verbindungen wie aliphatische und aro-

matische Kohlenwasserstoffe – zum Beispiel Ölbestandteile wie Benzol, Toluol, Xylol, Phenole und Naphthalin. In Abbildung 2 wird die Besiedlung eines Dieselöltropfens durch Bodenbakterien gezeigt. Abbildung 3 zeigt den Verlauf eines charakteristischen Kohlenwasserstoff-Abbaus der standorteigenen Bakterien in Mieten unterschiedlicher Schütthöhen.

Schwerer abbaubar sind chlorierte Kohlenwasserstoffe (Lösungsmittel, Pestizide, höherkerige polyzyklische Aromaten oder Kunststoffe). Einige wenige synthetische Substanzen haben sich bislang als nicht abbaubar erwiesen.

In vielen Fällen ist es notwendig, das mikrobielle Abbaupotential für eine rasche und weitgehende Sanierung zusätzlich zu stimulieren. Im Idealfall ist eine vollständige Mineralisierung der Kohlenwasserstoffe zu Kohlendioxid und Wasser zu beobachten. Neben einer Untersuchung des Abbaupotentials der standorteigenen (autochthonen) Mikroflora sind für biologische Boden-sanierungen Kenntnisse der geologischen und hydrogeologi-

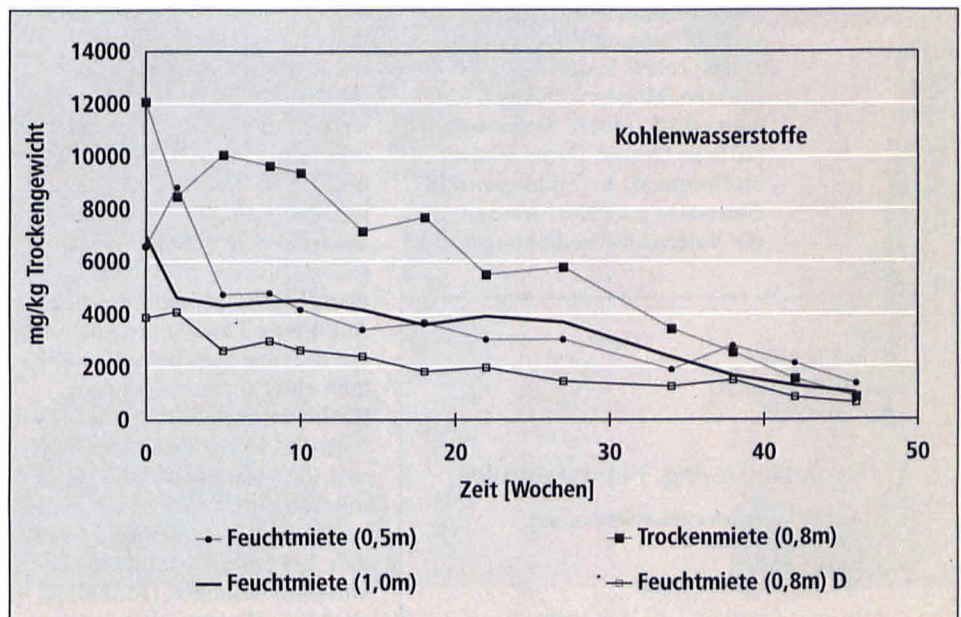


Abbildung 3: Abbau von Kohlenwasserstoffen durch Bodenmikroorganismen in Mieten unterschiedlicher Aufschütthöhe (D = Düngerzusatz)

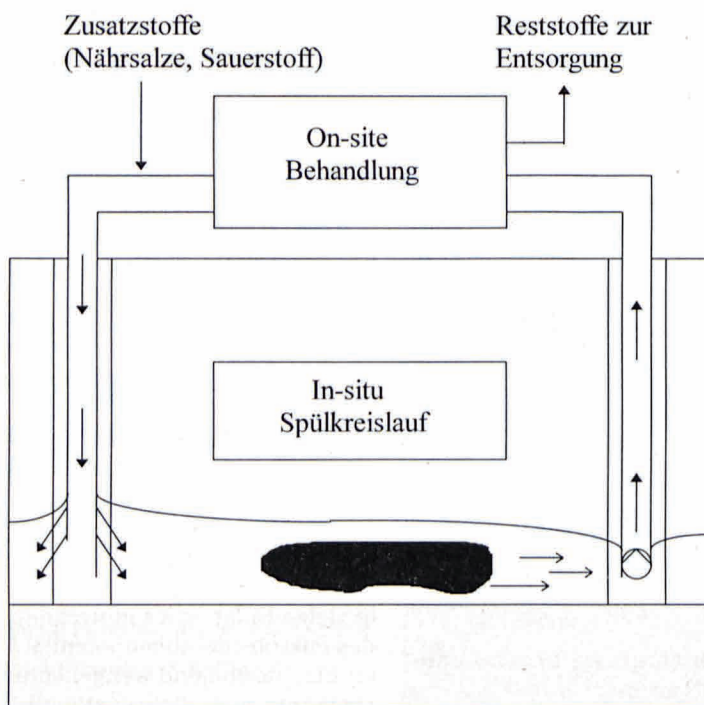


Abbildung 4: Schematische Darstellung eines in-situ Spülkreislaufes in der gesättigten Bodenzone mit Zuschlagsstoffgabe und on-site Wasseraufbereitung.

schen Standortsituation (zum Beispiel Durchlässigkeit des Materials) sowie der genauen Lage der Kontamination erforderlich. Aus diesen Voruntersuchungen läßt sich ableiten, welche Zusätze, standortfremde Organismen oder Lösungsmittel dem Sanierungsprozeß beigegeben werden müssen. Meistens müssen Luft-sauerstoff, andere Sauerstoffdonatoren (Nitrat, Ozon, Wasserstoffperoxid) und anorganische Nährsalze zudosiert werden, um die Wachstumsbedingungen der

Mikroorganismen zu optimieren. Die Sanierungstechniken finden *in situ* (ohne Aushub) oder *ex situ* (mit Aushub bzw. anschließender Wiedereinbringung des Materials) statt. Die *ex-situ*-Techniken können on-site am Kontaminationsort oder off-site in einer zentralen Anlage durchgeführt werden und bestehen entweder aus Regenerationsmieten oder Bioreaktoren. Die Kontrollierbarkeit und Bilanzierbarkeit ist besser als bei den *in-situ*-Techniken, der Boden verbleibt jedoch nicht in seinen natürlichen Lagerungsverhältnissen. Abbildung 1 zeigt eine Ansicht auf die Aushubarbeiten im Rahmen einer on-site Sanierung. Bei *in-situ*-Verfahren ist der Untergrund selbst der Bioreaktor, und die notwendigen Hilfsstoffe müssen durch Infiltration an den Reaktionsort transportiert werden. Bei einer Variation der *in-situ*-Behandlungen (Abbildung 4) wird Grundwasser aus dem gesättigten Bodenbereich entnommen und nach der Reinigung

über einen Spülkreislauf zurückgeführt.

Neue Entwicklungen in der Altlastensanierung

In den letzten Jahren wurde der Bereich Altlasten durch Einbeziehung von Altstandorten erweitert. Besondere Aufmerksamkeit gilt Anlagen, auf denen Spreng- und Kampfstoffe hergestellt, gelagert, getestet oder vernichtet wurden. In der Bundesrepublik Deutschland orientiert sich der Sanierungsgrad verstärkt an der vorhandenen oder geplanten Nutzung: Stillgelegte Deponien werden lediglich eingekapselt und kommen für eine Wohnbebauung nicht in Frage. Für echte Sanierungen werden derzeit schutzgut- und nutzungsorientierte Abstufungen entwickelt. Mit der Öffnung Osteuropas wurden zahlreiche Boden- und Grundwasserverschmutzungen bekannt, und die Altlastenthematik entwickelt sich zu einem globalen Umweltproblem, zu dessen Lösung die bestehenden, kostenintensiven Verfahren nur teilweise beitragen können. Bei großflächigen Bodenverschmutzungen werden künftig vorrangig naturnahe, auf biologischen oder geochemischen Grundlagen basierende Sicherungs- und Sanierungstechniken in Betracht gezogen, bei denen vor Ort oder sogar *in situ* mit minimalem Aufwand an Energie und Chemikalien gearbeitet werden kann. ■

JUSTUS-LIEBIG-
UNIVERSITÄT
GIESSEN

Prof. Dr. Dr.-Ing. Peter Kämpfer

Institut für Angewandte Mikrobiologie
Senckenbergstraße 3
35390 Giessen
Telefon (0641) 702-85152