

Mikrobiologische Sanierung von mit MKW und PAK belastetem Material

Pilotversuch im ehemaligen Teerverarbeitungswerk Rositz

Autor: Uwe Möller; PDF-Datei: SGDA mbH

Veröffentlicht in: TerraTech; Zeitschrift für Altlasten und Bodenschutz 2/1996

Mikrobiologische Sanierung von mit MKW und PAK belastetem Material

Pilotversuch im ehemaligen Teerverarbeitungswerk Rositz

UWE MÖLLER

Eines der beiden ökologischen Großprojekte in Thüringen ist das ehemalige Teerverarbeitungswerk Rositz. Das frühere Werksgelände ist durch die über 70jährige Verarbeitung von Braunkohle und Braunkohleprodukten stark mit MKW und PAK kontaminiert. 1994/95 wurde in einem Pilotversuch nachgewiesen, daß mit einer mikrobiologischen Sanierung im Trockenrotteverfahren die Sanierungszielwerte deutlich unterschritten werden können. Gleichwohl bedürfen einige Fragen im Zusammenhang mit dem PAK-Abbau noch einer grundsätzlichen Klärung. Das Rahmenkonzept für die Sanierung des Werksgeländes in Rositz ist bislang noch nicht verabschiedet.

Das ehemalige Teerverarbeitungswerk Rositz, im Nordosten Thüringens gelegen (Bild 1), ist ein typischer Standort für die über 70jährige Verarbeitung von Braunkohle und Braunkohleprodukten. Durch den jahrzehntelangen, teilweise nicht sachgerechten und sorglosen Umgang mit Erzeugnissen, Neben- und Abprodukten des Produktionsprozesses sowie Kriegseinwirkung kam es zu massiven Kontaminationen des Bodens und des Grundwassers. Neben bereits laufenden Maßnahmen, wie dem Abpumpen der Ölphase vom Grundwasserleiter und dem Beginn der Sanierung des Teersees „Neue Sorge“, erhielt die Sanierungsgesellschaft für Deponien und Altlasten mbH (SGDA mbH, Zella-Mehlis) im Frühjahr 1994 kurzfristig den Auftrag, mittels eines durchzuführenden Pilotversuches den Nachweis zu erbringen, daß der größte Teil des beim Flächenrecycling anfallenden Bodens und Bauschuttes mikrobiologisch, d. h. sehr kostengünstig saniert werden kann.

In der letzten Aprilwoche 1994 erfolgte gemäß der Beauftragung durch die Thüringer Sonderabfallgesellschaft m.B.H. im Auftrag der Landesentwicklungsgesellschaft Thüringen der Aufbau einer Pilotanlage zur



1: Blick auf das ehemalige Teerverarbeitungswerk Rositz mit Zelt für die Pilotanlage zur mikrobiologischen Sanierung. Im Hintergrund zwei Teerseen

mikrobiologischen Sanierung von MKW- und PAK-belastetem Aushubmaterial im ehemaligen Teerverarbeitungswerk Rositz. Dazu wurde auf einer entsprechend vorbereiteten (asphaltierten) Fläche ein Zelt errichtet und in diesem zwei Biomieten vorbereitet. Der Schichtaufbau der Mietenkörper sowie der Verfahrensablauf sind den Bildern 2 und 3 zu entnehmen.

Materialausbau, Konditionierung, Mieteneinbau

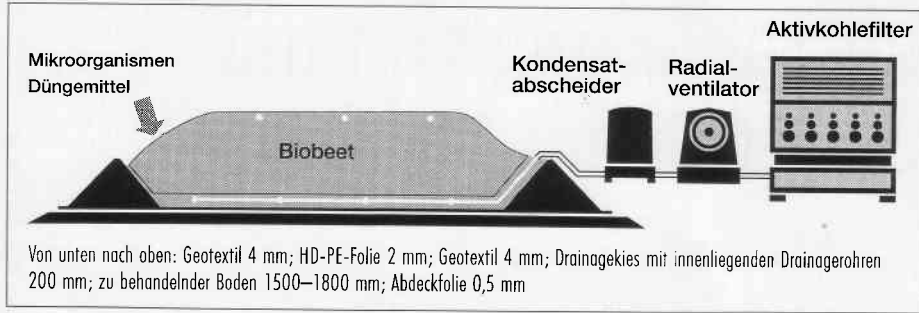
Unter der gutachterlichen Begleitung der Jenaer Umwelttechnik GmbH wurden von einem ausgewählten Standort (Tankhof der ehemaligen Generatorgasanlage) ca. 300 m³ kontaminiertes Material (Boden und Bauschutt) mittels Bagger ausgehoben (Bild 4) und per Lkw zur Konditionierungsfläche verbracht. Die Sicherung des Untergrundes dieser Fläche vor weiterem Schadstoffeintrag geschah durch Auslegen mit geeigneten Folienbahnen (Bild 5).

Das ausgebaute Material wurde mittels eines Drehtrommelsiebes (Maschenweite 40 mm) von Überkornanteilen befreit und aufgehaldet. Am Austragband des Drehtrommelsiebes für das gesiebte Material wurden manuell die notwendigen Zuschlagstoffe (Dünger und vermehrte, autochthone Mikroorganismenstämmen) zugeetzt.

Zu diesem Zweck wurde das Material unter Zusatz von Nährstoffen im Labor angezüchteten autochthonen Mikroorganismen, die den Gattungen *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Brevibacterium*, *Acinetobacter*, *Corynebacterium*, *Nocardia*, *Rodococcus* und *Arthrobacter* angehörten, konditioniert und zum Biobeeteinbau vorbereitet. Die resultierende Mikroorganismendichte betrug 10¹⁰ Lebendkeime (LK)/g TS. Die fachliche Betreuung wurde durch das LAT-Labor Mahringer, Jena sowie durch das unternehmenseigene Labor in Tornau realisiert.

Parallel zum Sieben wurde der angefallene Überkornanteil mit einer Prallmühle auf eine Korngröße von 0–30 mm gebrochen (Bild 6). Danach erfolgte das Mischen des aufbereiteten Bodens mit den gebrochenen Bauschutt- und Überkornanteilen.

Das fertig konditionierte Material wurde per Lkw in die Halle transportiert und mittels Bagger in eine der beiden vorbereiteten Biomieten locker eingebaut. Bei der Befüllung des Mietenkörpers wurde durch unseren Gutachter eine flächenintegrierte Probenahme mit ca. 35 Einzelproben vorgenommen, die zu einer Eimerprobe vereinigt wurden. Diese Mischprobe wurde auf die Gehalte bezüglich MKW und PAK untersucht. Die Ergebnisse sind den graphischen Darstellungen in Bild 7 als Anfangswerte zu entnehmen.



2: Aufbau des Biobeets

Nach erfolgtem Einbau und der Erstbe-
probung wurde die Biomiete mit LDPE-
Folie abgedeckt. Über die im Mietenkörper
verlegten Drainageleitungen geschah her-
nach die Absaugung der Bodenluft im fest-
gelegten Zeitregime. Die Zuluft wurde über
oben im Mietenkörper verlegte Drainage-
rohre geführt. Selbsttätig schließende Klap-
pen bewirkten bei Nichtbetrieb der Absaug-
anlage die Verhinderung gasförmiger Emis-
sionen aus der Biomiete.

Am 9. Mai 1994 erfolgte die offizielle Inbe-
triebnahme der Pilotanlage anlässlich des
Beginns der Sanierung des ehemaligen
Teerverarbeitungswerkes Rositz durch den
ehemaligen Thüringer Umweltminister H.
Sieckmann im Beisein des damaligen Bun-
desumweltministers K. Töpfer und weiter-
eren Persönlichkeiten.

Sanierungsverlauf

Während des Betriebs der Biomiete wur-
den in verschiedenen Abständen repräsen-
tative Beprobungen des in der Sanierungs-
phase befindlichen Materials vorgenom-
men, um den Bodenstatus zu untersuchen
und den Abbaufortschritt anhand der fest-
gestellten Analyseergebnisse bezüglich
der MKW- und PAK-Gehalte bewerten zu
können. Das Probenmaterial wurde jeweils
mittels einer geeigneten Sondierstange aus
20 Probennahmepunkten im Beet bei einer
Sondiertiefe von 1,5 m gewonnen und zu ei-
ner Mischprobe von etwa 2 kg vereinigt.
Diese wurden nach den einschlägigen DIN-
Vorschriften zur Analytik vorbereitet und
analysiert. Die Zusammenstellung der er-
mittelten Parameter als Abbaukinetik ist
den Bildern 7 und 8a, b zu entnehmen.

MKW-Abbau

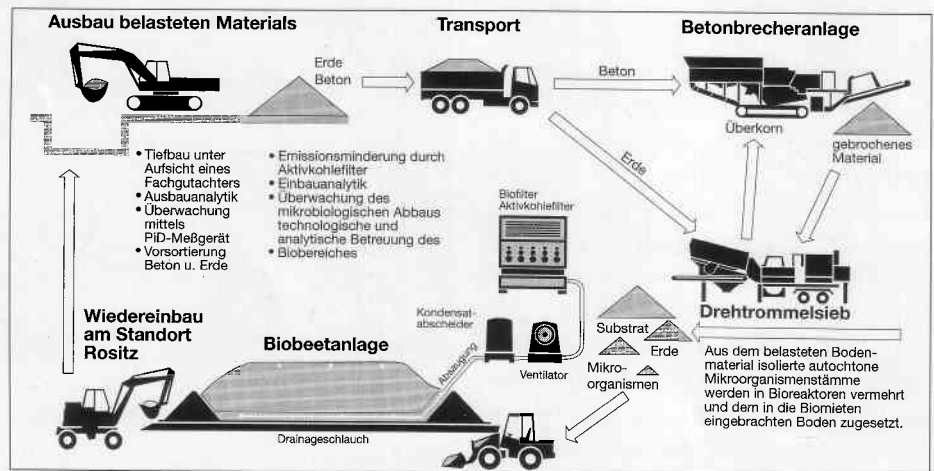
Der MKW-Abbau des Dekontaminations-

gutes erfolgte anfangs rasch von über
6000 mg/kg TS auf Werte um 2000 mg/kg
TS. Ein weiterer signifikanter MKW-Abbau
fand, wie im später folgenden Abschnitt zur
Mikrobiologie beschrieben, erst nach der
Behandlung des Materials mit einem spe-
ziellen Lösungsvermittler, externen Koh-
lenstoffquellen und einer Mikroorganismen-
spezialkultur, statt.

Zum Sanierungsende kann ein Durch-
schnittsgehalt an MKW von deutlich weni-

säule (RP-18, Merck). Als Analysenverfah-
ren diente die Gaschromatographie mit
Flammenionisationsdetektor (FID) nach
externem Standard. Bestimmt wurden 16
PAK's nach EPA 610.

Für die Absenkung der PAK-Werte sind
neben dem eigentlichen mikrobiellen Ab-
bau der Schadstoffkomponenten weitere
Prozesse verantwortlich. Diese liefern auch
die Erklärung für die Reduzierung der
Menge an anerkanntermaßen mikrobiell
schlecht oder gar nicht abbaubaren Schad-
stoffen. Zu nennen ist an dieser Stelle die
während des Ablaufs von Schadstoffabbau-
prozessen schon öfter beobachtete, ver-
stärkte Adsorption von Komponenten an
die Boden-, insbesondere die Humusstruk-
tur. Desweiteren setzen verstärkt Prozesse
der Transformation und Hydroxylierung
ein. Beide Prozesse entziehen die PAK
der Analytik, führen aber gleichzeitig mit
großer Wahrscheinlichkeit zu dem ge-
wünschten Effekt der Entgiftung des
Bodenmaterials.



3: Verfahrensschema der Pilotanlage zur mikrobiologischen Bodensanierung im Teerwerk Rositz

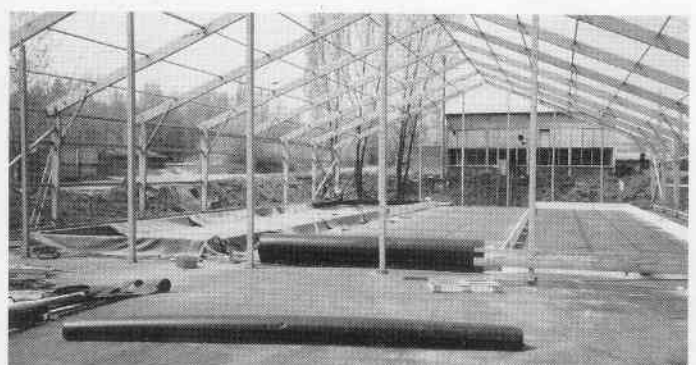
ger als 1000 mg/kg TS (Sanierungsziel
2000 mg/kg TS) festgestellt werden.

PAK-Abbau

Der PAK-Abbau konnte bei ausschließlicher
Betrachtung der Feststoffwerte bereits
nach einer Sanierungsdauer von ca.
acht Wochen entsprechend dem vorgege-
benen Sanierungsziel als abgeschlossen be-
trachtet werden. Zur Bestimmung der PAK
erfolgte die Probenvorbereitung durch eine
Festphasenextraktion mittels Extraktions-

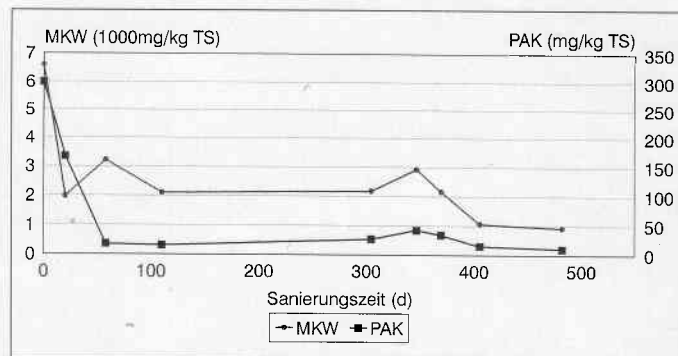
Zusammenfassend kann man die Pro-
zesse folgendermaßen beschreiben:
Neben der vollständigen Mineralisierung
sind Prozesse der Bildung gebundener
Rückstände als ein Teil der biogenen Redu-
zierung des Gehaltes von PAK im Boden zu
berücksichtigen.

Ein Teil der Schadstoffe wird zumindest
vorübergehend in Biomasse umgewandelt,
ein weiterer Teil kann durch rein adsorptive
Mechanismen im Boden festgelegt werden.
Der Widerspruch zwischen der erfolgrei-



5: Gleichzeitiger Aufbau des Behandlungszeltes und der Grundkörper der Biomieten

4: Aushub kontaminierten Materials unter Aufsicht eines Fachgutachters



7: Ausgangswerte und Abbaukinetik für MKW und PAK

6: Konditionierung des kontaminierten Materials mit Drehtrommelsieb und Prallmühle

chen Sanierungspraxis und wissenschaftlichen „Abbau-Mißerfolgen“ findet neben der analytischen auch eine biologische Erklärung.

Die biologische Dekontamination basiert nie allein auf der direkten Mineralisierung, sondern auch zu einem großen Teil auf der gezielten Einbindung von „toxischem Potential“ in die Bodenmatrix. Auch bei diesen Prozessen wirken Mikroorganismen vermittelt Exoenzymen mit. Solche Mikroorganismen sind nicht auf die Aufnahme von PAK in die Zelle angewiesen, sondern können mit Hilfe der genannten Exoenzyme (Peroxygenasen, Phenoloxidasen) auch in schwer zugänglichen Poren oder in adsorbiertem Zustand angreifen. Dabei kann jedes Transformationsprodukt sofort mit der organischen Bodenmatrix weiterreagieren.

Auch hinsichtlich der weiteren Reaktionen der so gebundenen PAK-Rückstände kann die stimulierte Festlegung im Boden wahrscheinlich als effizienter Weg der Entsorgung angesehen werden.

Huminstoffe fungieren im Boden als Bodenkohlenstoff-Depot, dessen Mineralisierung verzögert ist. Die Festlegung der PAK in der Humusmatrix unterwirft diese den gleichen Umsatzprozessen wie die Humusmatrix selbst und ermöglicht so eine verzögerte Mineralisierung. Dieser Weg ist vermutlich optimaler als eine direkte Mineralisierung, da letztere stets eine gute Bioverfügbarkeit der Verbindungen im Porenwasser erfordert. Die PAK können sich aber, bedingt durch die geringe Wasserlöslichkeit sowie die hohe Affinität zur Adsorption an die Bodenmatrix, einer solchen Aufnahme in die Zelle leicht entziehen (vgl. [1]).

Bei weiteren Untersuchungen während des Sanierungsverlaufes wurde festgestellt, daß die PAK (mit Ausnahme der höher kondensierten Aromaten) mit Zwischenwerten von mehr als $60 \mu\text{g/l}$ noch deutlich eluierbar waren. Da das Elutionsverhalten dieser Stoffe bis dahin nicht betrachtet wurde, ist an dieser Stelle keine verbindliche Aussage zu Tendenzen der bis dahin verlaufenen Entwicklung des Schadstoffpotentials möglich. Der bereits beim MKW-Abbau beschriebene deutliche Fortschritt nach Zugabe externer Kohlenstoffquellen und Erhöhung der Bodenfeuchte konnte in der Folge auch hier festgestellt werden. Das Sanierungsgut weist zum Ende der Sanierung Werte um $4 \mu\text{g/l}$ PAK auf.

Abbau des Phenolindex

Ein ähnliches Bild ergibt sich bei der Betrachtung der Abnahme des Phenolindex. Hier konnte die Höhe der Ausgangskontamination von $68,2 \text{ mg/kg TS}$ im Verlauf der Sanierung über ca. 10 mg/kg TS nach acht Wochen auf $2,63 \text{ mg/kg TS}$ gesenkt werden (Sanierungsziel 40 mg/kg TS). Die bereits mehrfach beschriebene nachträgliche Behandlung (C-Quelle, H_2O , etc.) ließ einen Sanierungsabschlußwert von $1,6 \text{ mg/kg TS}$ und $0,05 \text{ mg/l}$ im Eluat möglich werden.

Abschlußbericht „Mikrobiologie“

Der mikrobiologischen Sanierung vorausgehende Untersuchungen des belasteten Materials ergaben ein für eine Altlast typisches Bild mit einer relativ großen Heterogenität der nachweisbaren Mikroorganismenstämmen sowie einer Lebendkeimzahl im Bereich von 10^6 bis 10^7 Lebendkeimen (LK)/g TS.

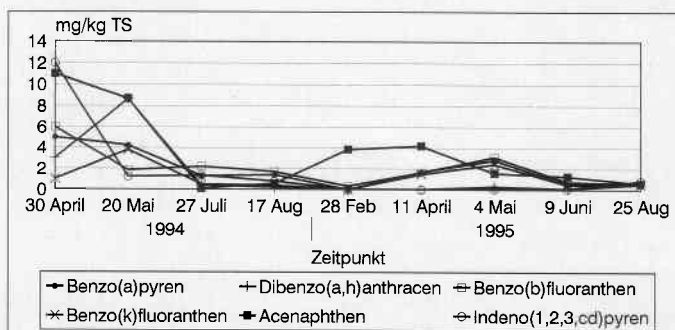
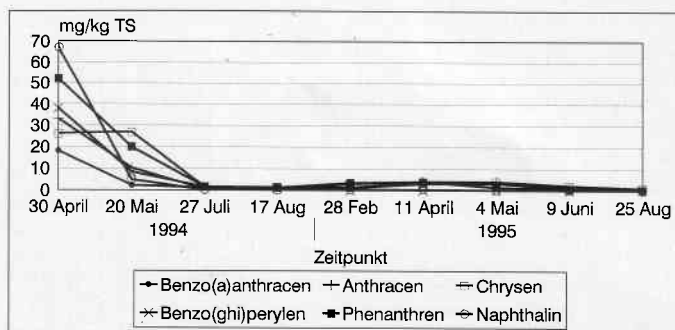
Diese wurde durch zusätzliche Maßnahmen (Beimpfung mit autochthonen Mikroorganismenstämmen) am Sanierungsgut auf 10^{10} LK/g TS erhöht. In der Anfangsphase des Biobeetbetriebs erfolgte eine relativ zügige Verringerung der MKW- und PAK-Konzentrationen, die sehr gut mit den

ermittelten Lebendkeimzahlen und der biologischen Bodenatmung in Übereinstimmung steht. Wie Bild 7 zu entnehmen ist, stagnierten die Abbauleistungen nach der stürmischen Anfangsphase etwa ab Ende Mai 1994.

Auf der Basis der bis dahin vorliegenden Ergebnisse wurde der Versuch unternommen, die Abbauleistungen durch Zusatz biologisch abbaubarer Tenside zu erhöhen. Entsprechende Aktivitäten wurden zu Beginn des Jahres 1995 entfaltet, erbrachten jedoch nicht sofort den gewünschten Erfolg.

Zu verzeichnen war jedoch die Erhöhung der Eluatwerte und damit im Zusammenhang eine Verbesserung der Mobilität der Schadstoffe, so daß sie für einen mikrobiologischen Abbau leichter verfügbar wurden. Wie bereits erwähnt und wie dem Bild 9 zu entnehmen, bewegte sich sowohl die Lebendkeimzahl als auch die biologische Bodenatmung über den gesamten Sanierungszeitraum auf relativ hohem Niveau. Auch die Vielfalt der im Biobeet nachweisbaren Mikroorganismenstämmen wies einen guten Status aus.

Diese Ergebnisse standen in scheinbarem Widerspruch zu der im Sanierungsverlauf beobachteten Stagnation des mikrobiologischen



8a und b: Abbaukurven für 12 der 16 EPA-PAK

logischen Schadstoffabbaus. Eine mögliche Erklärung dafür ist die Erschöpfung der Leistungsfähigkeit der im Biobeet vorhandenen Mikroorganismen in Beziehung zur qualitativen und quantitativen Schadstoffzusammensetzung. Als zusätzliche Aspekte mußten im Frühjahr 1995 der Feuchtigkeitsgehalt des Bodens von etwa 12% sowie sein geringer Glühverlust von etwa 7% Berücksichtigung finden.

Zur Beschleunigung der mikrobiologischen Sanierung war es aus den genannten Gründen notwendig, neben einer Durchfeuchtung des Materials die Fermentationskultur eines sehr effektiv Mineralöl abbauenden Stammes aus der Stammsammlung der SGDA einzusetzen. Ausgewählt wurde der Stamm 120/12/94, der durch die Deutsche Sammlung für Mikroorganismen in Braunschweig als *Pseudomonas aeruginosa* differenziert wurde. Diese Maßnahme wurde unterstützt durch die Gabe eines Spezialnährmediums, welches die Aufgabe hatte, das im Boden vorhandene Niveau verwertbarer Kohlenstoffquellen zu optimieren.

Das Endergebnis der durchgeführten Fermentation wies eine Lebendkeimzahl von $3,6 \times 10^9$ LK/ml aus. Die Kultur wurde so dosiert, daß jeweils 1 Liter Bakterienkultur je t Biobeetsubstrat mittels spezieller Lanzten ausgebracht wurde, so daß letztendlich $3,6 \times 10^9$ LK/g eingesetzt wurden.

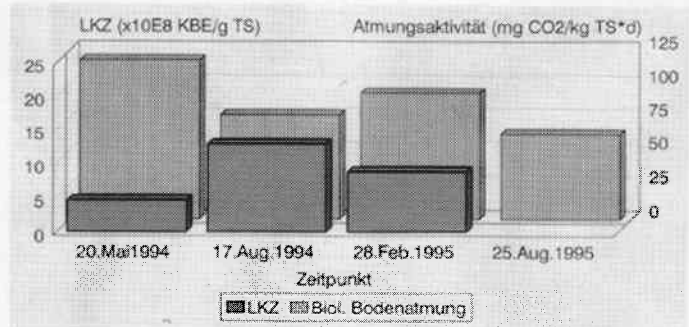
310 l Bakterienkultur sowie 100 l Spezialnährmedium wurden im Juni 1995 in das Biobeet im ehemaligen Teerverarbeitungswerk Rositz eingebracht.

Unter den zu erwartenden günstigen klimatischen Bedingungen konnte davon ausgegangen werden, daß die Durchführung der beschriebenen Maßnahmen zu einer wesentlichen Verbesserung der Abbauleistungen führt und somit zum deutlichen Unterbieten des angestrebten Sanierungsziels in einem überschaubaren Zeitrahmen führt.

Bedingt durch die eingeleiteten Maßnahmen

- Einsatz von biologisch abbaubaren Lösungsvermittlern (Tensiden)
- Einsatz einer speziellen Mikroorganismenkultur
- Einsatz eines Spezialnährmediums und unter Berücksichtigung der ausgezeichneten Vegetationsperiode 1995 konn-

9: Darstellung von Lebendkeimzahl und Atmungsaktivität



ten die Abbauleistungen so gesteigert werden, daß die angestrebten Sanierungsziele von 2000 mg MKW/kg TS und 100 mg PAK/kg TS mit 918 mg MKW/kg TS und 10,4 mg PAK/kg TS deutlich unterschritten wurden und die Sanierung damit erfolgreich abgeschlossen werden konnte.

Ausblick

Trotz des erreichten Sanierungsziels wurden mit der Sanierung verschiedene Probleme aufgeworfen, deren Klärung von großem Interesse für die Durchführung weiterer Sanierungsvorhaben ist.

Die erste Frage ergibt sich aus der rasanten Abnahme der Schadstoffkonzentrationen in der Anfangsphase der Sanierung. Von besonderer Bedeutung erscheint dabei das Verhältnis von physikalischer Elimination zu mikrobiologischer Umsetzung unter besonderer Betrachtung der vollständigen Mineralisierung der organischen Schadstoffe.

Ein weiteres Problem betrifft den Gehalt des Biobeetsubstrats an biologisch verwertbaren Strukturen im Hinblick auf einen bei geringeren Schadstoffkonzentrationen relevanten kometabolischen Abbau.

Zuletzt müßte die in den Bildern 8a und b dargestellte physikalische Elimination bzw. mikrobiologische Umsetzung der PAK einer genauen Prüfung unterzogen werden. Zwei Phänomene sind in der Graphik deutlich zu erkennen:

- Die rasante Abnahme der PAK-Konzentration in der Anfangsphase der Sanierung;
- die parallele Abnahme der Konzentration sowohl der niedrig- wie der hochkondensierten polycyclischen Aromaten.

Gerade der letzte Fakt birgt eine ganze Reihe hochinteressanter Fragestellungen,

die für die Sanierung PAK-belasteter Böden von großer Bedeutung sind, insbesondere inwieweit gesichert ist, daß der Analytik durch Humifizierungsprozesse entzogene PAK als auf Dauer „entgiftet“ gelten können.

Die SGDA wird sich den aufgeworfenen Fragen mit den ihr zur Verfügung stehenden Möglichkeiten stellen, um den Versuch zu unternehmen, über die wissenschaftliche Analyse der Probleme neue, effizientere Sanierungsmethoden zu entwickeln.

Das angewandte Trockenrotteverfahren hat bei dieser Modellsanierung seine Eignung deutlich nachgewiesen, da es gelungen ist, bei relativ geringem Aufwand die gestellten Sanierungsziele weit zu unterbieten.

Aufgrund der bei der Pilotsanierung gewonnenen Erfahrungen sieht sich die SGDA in der Lage, künftige Sanierungen auf dem Standort mit gleichgelagertem Schadensbild in einem Zeitraum von acht Monaten erfolgreich abzuschließen. Dabei verspricht der Einsatz derzeit in der Erprobung befindlicher Technologien, durch die Herstellung optimaler Existenzbedingungen für die Mikroorganismen den Sanierungszeitaufwand nochmals um 20 bis 40% verringern zu können.

Somit wird der Landesentwicklungsgesellschaft Thüringen als Auftraggeber ein sehr kostengünstiges Instrument zur Sanierung großer Teile der übernommenen Liegenschaft in Rositz in die Hand gegeben.

Literaturhinweis:

[1] Mhro, Kästner, „Der wirksame Abbau von PAK in Böden und Sedimenten ...“ *Bio Engineering* 1/93, S. 50–57

Überreicht durch:

SGDA Sanierungsgesellschaft
für Deponien und Altlasten mbH
Bahnhofstr. 66
98544 Zella-Mehlis
Telefon: 036 82/89 04 10
Fax: 036 82/89 04 11