

# VERFESTIGUNG, STABILISIERUNG UND EINBINDUNG ORGANISCHER SCHADSTOFFE AUS DEPONIEEN UNTER BESONDERER BERÜCKSICHTIGUNG ANORGANISCHER UND ORGANISCHER FÜLLSTOFFE UND BINDEMITEMEL

R. KHORASANI, R. WIENBERG, U. FÖRSTNER

Technische Universität Hamburg-Harburg, Arbeitsbereich  
Umweltschutztechnik, Eißendorfer Str. 40, 2100 Hamburg 90

## 1. ZUSAMMENFASSUNG

Für die Verfestigung ölhaltiger Sonderabfälle wurden anorganische und organische Füllstoffe und Bindemittel untersucht. Die engere Auswahl erfolgte sowohl nach deskriptiven Kriterien (Konsistenz, thixotropes Verhalten, Verhalten in Wasser) als auch aufgrund von Ölauspreßversuchen, Laststempel- und Laborflügelsondentests, optimierte Auslaugtests in Anlehnung an DEV S4 sowie eines Stripptests zur Flüchtigkeit eingebundener Schadstoffe. Weiterhin wurden Sorptions- und Desorptionsversuche mit Hexachlorbenzol als einem hydrophoben organischen Modellschadstoff durchgeführt. Die getesteten anorganischen Feststoffe brachten nur geringen Erfolg: mit Wasser kam es z.B. zur Auftrennung der Phasen. Gute Erfolge ergaben sich dagegen bei organischen Bindemitteln und Füllstoffen, insbesondere bei Naturasphalt und Braunkohlenstaub; die Menge der nötigen Zuschlagstoffe war allerdings beträchtlich (um 75 %). Auch war die Sorptivität wesentlich höher als die der anorganischen Feststoffe. Desorptionsversuche gaben darüber hinaus Hinweise auf eine chemische Immobilisierung durch die organischen Feststoffe.

## 2. EINLEITUNG

In der ehemaligen Mülldeponie Georgswerder, der größten der BRD, fallen schadstoffhaltige, primär organisch kontaminierte Sickeröle an, die bei der Sanierung ein schwieriges Problem darstellen. Durch Verfestigungsverfahren wie das Zumischen unterschiedlich zusammengesetzter anorganischer und organischer Füllstoffe und Bindemittel sollen diese flüssigen Sonderabfälle in mehr oder weniger feste Form (stichfest bis hart) überführt werden, um mittels Konsistenzänderung die Transport- und Lagerungsfähigkeit zu verbessern. Vor allem soll durch die Verfestigung eine Verminderung der Wasserdurchlässigkeit und Reduzierung der Schadstoffmobilität erreicht werden.

Die Verfestigungs- und Stabilisierungsmaßnahmen an Abfällen, die reich an anorganischen Schadstoffen, vornehmlich Schwermetallen, sind, haben meist eine signifikante Veränderung der Bindungsform zur Folge /1/. Demgegenüber ist bei der Verfestigung von Sonderabfällen, die erhöhte Gehalte an organischen Schadstoffen aufweisen in den meisten Fällen nur eine Verdünnungsstrategie zu erkennen. Vor allem bei der Anwendung

anorganischer Bindemittel findet keine wesentliche Änderung der Eigenschaften des organischen Schadstoffes statt; bei einer Veränderung der Gleichgewichtsbedingungen kann eine Wiederaufbereitung erfolgen, bei der diese Stoffe für das biologische System wieder verfügbar werden. Dagegen zielt die Anwendung organischer Bindemittel dahin, über eine chemische Reaktion mit dem organischen Schadstoff diesen in eine solche Verbindung zu überführen, die entweder in dieser Form - auch bei wenig veränderter Mobilität - relativ unschädlich ist, oder so fest gebunden wird, daß ihre Lösungskonzentration auf einem tolerierbaren Niveau liegt. Aus umweltpolitischer und technischer Sicht scheint es darüber hinaus anstrebenswert, eine endgültige Beseitigung dieser Stoffe zumindest als zukünftige Option offen zu halten. Das ist bei der Einbindung in organische Substrate möglich; mit organischen Substraten verfestigte Produkte würden in geeigneter Weise zwischengelagert und nach Bereitstellung umweltverträglicher Verbrennungstechniken endgültig beseitigt.

### 3. MATERIALIEN UND TESTSUBSTANZEN

Aufgrund der Kontamination der Sickeröle mit hochtoxischen Komponenten (Dioxine), sind Versuche mit diesen Stoffen nur unter besonderen Sicherheitsvorkehrungen möglich. Für die Entwicklung von Verfestigungsverfahren wurde deshalb ein "Testabfall" zusammengestellt: 65 Gew. % eines Schmierstoff-Grundöls auf Poly-"-Olefin-Basis mit einer dynamischen Viskosität von 42 cP bei 40° C, 5 Gew. % Dichlormethan (DCM), 15 Gew. % Trichlorbenzol (TCB), 5 Gew. % Toluol und 10 Gew. % Wasser. Die Zusammensetzung dieses synthetischen Öl-Wasser-Gemisches entspricht den Ölproben aus einigen Bereichen der Deponie Georgswerder (ehemalige Ölablagerungsbecken).

In den Verfestigungsversuchen wurden folgende Bindemittel und Füllstoffe sowie deren Kombinationen eingesetzt:

- anorganische Füllstoffe : Quarzmehl, Schiefermehl, Bentonit, verschiedene andere Tone, Kreide
- anorganische Bindemittel : Gips, Weißfeinkalk, Zement, Hochofenmehl, Flugasche
- organische Füllstoffe : Braunkohlestaub, Rohbraunkohle, Feinstkoks, Trockenbraunkohle
- organische Bindemittel : Trinidad Asphalt (50/50; 60/40), kationische und anionische Bitumenemulsionen

### 4. ERGEBNISSE

#### 4.1 Deskriptive Befunde

In einer ersten Versuchsreihe wurden die jeweiligen Untergrenzen der Zuschlagstoffmengen ermittelt und miteinander verglichen. Zu diesem Zweck wurde einer definierten Menge Öl soviel Material zugegeben, bis eine stichfeste Masse vorlag.

Die notwendige Zuschlagstoffmenge variiert beträchtlich. Während sie bei Weißkalkhydrat 40 Gew. %, bezogen auf das gesamte Verfestigungsprodukt, betrug, wurden bei Trinidad Asphalt (50/50) 82 Gew.% benötigt. Einige anorganische Bindemittel schienen zuerst wegen geringen Verbrauchs geeignet zu

sein, aber nach einigen Tagen traten große Mengen Öl aus oder der Probekörper verlor an Festigkeit und Form.

Bei der Verfestigung mit organischen Füllstoffen und Bindemitteln war für stichfeste Proben eine Zuschlagstoffmindestmenge von ca. 65 Gew. % erforderlich. Diese Proben bleiben dann auch über eine längere Versuchsdauer stabil. Braunkohlestaub und der Naturasphalt Trinidad 60/40 (60 Gew. % Trinidad Asphalt 40 Gew. % Diatomeenerde) scheinen geeignete Zuschlagstoffe zur Verfestigung von Öl zu sein. Eine Ausnahme bildet jedoch Trinidad Asphalt 50/50, der aufgrund des Kalksteinmehlanteils (50 Gew. %) weniger Öl aufnimmt.

In der zweiten Vorversuchsreihe wurden Kombinationen der Feststoffe in ihrer Wirkung getestet. Es zeigt sich, daß die Kombinationen von Braunkohlestaub (feinkörnig)/Feinstkoks (grobkörnig), Trinidad Asphalt (feinkörnig)/Feinstkoks (grobkörnig) und Trinidad Asphalt/Braunkohlestaub folgende deskriptiven Kriterien am besten erfüllen: Festigkeit, geringe Zuschlagstoffmenge und geringer Ölaustritt. Weiterhin ist festzustellen, daß durch die Kombinationen feinkörnig/grobkörnig und feinkörnig/feinkörnig gute Ergebnisse erzielt werden, womit die Wirkung der Korngröße auf die Ölaufnahme unterstrichen wird. Zum Beispiel ist die Kombination von Feinstkoks und Trockenbraunkohle (beide grobkörnig) nicht geeignet, weil hier große Ölmengen austreten. Zumischung von geringen Mengen anorganischer Materialien zu den organischen Bindemitteln bringt keine wesentliche Verbesserung.

Als dritter Vorversuch schließlich wurde ein Schütteltest durchgeführt, um das Verhalten der Verfestigungsprodukte in Kontakt mit Wasser zu untersuchen. Es zeigte sich, daß die mit anorganischen Materialien verfestigten Produkte im Wasser zerfielen, es bildeten sich die Phasen Wasser, Feststoff, Öl und/oder Ölteilchenemulsion. Im Gegensatz dazu war festzustellen, daß die organischen Zuschlagstoffe das Öl wesentlich besser binden. Die Proben bildeten im Wasser eine zusammenhängende Masse (kompakte Klumpen), eine sichtbare Ölphase trat nicht aus. Besonders günstig sind Mischungen mit einem Braunkohlestaub- oder Trinidad Asphalt-Gehalt > 50%. Als einzige Ausnahme verhält sich die Rohbraunkohle wie ein anorganisches Bindemittel, d.h. mit Wasser erfolgt wieder eine Auftrennung der Phasen.

#### 4.2. Laboruntersuchungen mit ausgewählten Zuschlagstoffen und -mengen

Aus den Vorversuchen wurden folgende Zuschlagstoffe und ihre Kombinationen ausgewählt und zu 60 %, 65 %, 70 %, 75 % und 80 Gew.% zur Verfestigung von dementsprechend 40 bis 20 % Öl eingesetzt:

Einzelsubstanzen: Weißfeinkalk; Weißkalkhydrat; Flugasche; Hochofenmehl + Flugasche; Braunkohlestaub; Feinstkoks; Trockenbraunkohle; Trinidad Asphalt.

Mischungen (Bezogen auf 100 % Feststoffanteil):

- |                        |                       |
|------------------------|-----------------------|
| - 75 % Meliotonit      | + 25 % Weißkalkhydrat |
| - 90 % Braunkohlestaub | + 10 % Weißkalkhydrat |
| - 90 % Braunkohlestaub | + 10 % Flugasche      |
| - 50 % Braunkohlestaub | + 50 % Feinstkoks     |

- 50 % Braunkohlestaub + 50 % Rohbraunkohle
- 80 % Feinstkoks + 20 % Braunkohlestaub
- 80 % Trinidad Asphalt + 20 % Braunkohlestaub
- 80 % Trockenbraunkohle + 20 % Braunkohlestaub
- 80 % Trinidad Asphalt + 20 % Feinstkoks
- 80 % Trockenbraunkohle + 20 % Trinidad Asphalt
- 50 % Feinstkoks + 50 % Trockenbraunkohle

Die Verfestigungsprodukte wurden folgenden Testverfahren unterzogen:

#### 4.2.1. Ölauspreßtest:

Auf den Boden eines Proctortopfes wurden 10 zuvor eingewogene Papierrundfilter (110 mm Durchmesser) gelegt. Der Proctortopf wurde dann mit einer definierten Menge des Verfestigungsmaterials gefüllt. Durch zehnmaliges Fallen eines 2,5 kg schweren Proctorhammers wurde die Probe verdichtet. Nach 30 minütigem Stehenlassen wurden die Filterpapiere erneut gewogen und die prozentuale Ölaustrittsmenge in Bezug auf den Anfangsölgehalt errechnet. In Tabelle 1 finden sich ausgewählte Ergebnisse aus diesen Versuchen (einschließlich Angaben zum Thixotropieverhalten beim Schütteln der Probekörper und Beschreibung der Konsistenz).

Aus ca. 100 Testmischungen wurde mit Hilfe dieses Testverfahrens eine Mischung mit organischen Feststoffen ausgewählt, die die beste Ölaufnahme bei geringstem Zuschlagstoffeinsatz aufweist. Diese Mischung besteht aus 25 Gew.% Testöl und 75 Gew. % Zuschlagstoff (80 Gew. % Trinidadpulver 60/40 + 20 Gew. % Braunkohlestaub). Der Ölaustritt betrug 0,1 %.

#### 4.2.2. Mechanische Untersuchungen:

An der letztgenannten Mischung wurden mit Hilfe eines Laststempels (Klärschlammverfestigungstechnik /2/) Tragfähigkeiten um 0,34 N/mm<sup>2</sup> gemessen. Die Mindestanforderung für die Deponierbarkeit von kalkstabilisierten Schlämmen liegt weit darunter, bei 0,04-0,05 N/mm<sup>2</sup>. Weiterhin wurden mit der Laborflügelsonde /3/ Flügelscherfestigkeiten von 0,04 N/mm<sup>2</sup> gemessen. Der Mindestwert für die Standsicherheit von Hausmüll- und Klärschlammdeponien liegt bei 0,01 N/mm<sup>2</sup> /4/. Damit erfüllt das Testgemisch die bodenmechanischen Anforderungen für die Deponierbarkeit.

#### 4.2.3. Optimierter Flaschentest (in Anlehnung an die DEV S4-Norm /5/) zur Ermittlung des Schadstoffaustrages durch Auswaschung:

Das mit Toluol, Dichlormethan und Trichlorbenzol belastete Verfestigungsprodukt wurde im Feststoff/Wasser - Verhältnis von 1:10 mit entionisiertem Wasser versetzt und schonend bewegt. Nach 24 Stunden wurde das Eluat abgetrennt und auf DCM, TCB und Öl hin untersucht. Die Eluatanalyse erfolgte für Dichlormethan und Trichlorbenzol gaschromatographisch (Tabelle 2).

Die Ergebnisse zeigen, daß Dichlormethan sich zu einem wesentlich geringeren Teil aus dem Feststoff gelöst hat, als es seiner Wasserlöslichkeit (20000 mg/l) entspricht. Auch die relativ hohen Feststoff/Wasser- Verteilungskoeffizienten der

Tabelle 1: Auf den ursprünglichen Ölgehalt bezogener Ölaustritt bei einem Auspreßversuch, thixotropes Verhalten beim Schütteln sowie Konsistenz der Proben bei Verfestigungsversuchen mit verschiedenen Feststoffen und steigenden Feststoffgehalten/8/

Zuschlagstoff Anteil in %	% Ölaus- tritt	Thixotropie	Konsistenz
<u>Braunkohlenstaub</u>			
60 %	5,7	stark	zäh, pastös, starker Ölaustritt
65 %	1,0	keine	krümelig, trocken, schwach glänzend
70 %	0,6	keine	krümelig, trocken
75 %	0,5	keine	krümelig, trocken
<u>Trinidad Asphalt 60/40</u>			
65 %	2,1	schwach	zäh, pastös, starker Ölaustritt
70 %	0,8	schwach	bröckelig, schwach glänzend
75 %	< 0,1	keine	krümelig, trocken
<u>Trinidad Asphalt 60/40, 80% + Braunkohlenstaub, 20%</u>			
65 %	2,8	stark	weich, pastös, starker Ölaustritt
70 %	1,3	schwach	kompakte Masse, glänzend
75 %	< 0,1	keine	krümelig, trocken
<u>Trinidad Asphalt 60/40, 80 % + Feinstkoks, 20 %</u>			
65 %	1,4	schwach	weich, pastös, starker Ölaustritt
70 %	1,0	schwach	bröckelig, glänzend
75 %	< 0,1	keine	krümelig, trocken
<u>Rea-Flugasche, Braunschweig</u>			
60 %	2,9	schwach	weich, glänzend, gering. Ölaustritt
65 %	1,7	keine	weiche Masse, schwach glänzend
70 %	0,3	keine	pulvrig, krümelig, trocken
75 %	0,1	keine	pulvrig, trocken
<u>Meliotonit, 75 % + Weißkalkhydrat, 25 %</u>			
65 %	1,3	schwach	weiche Masse, glänzend
70 %	1,1	keine	kompakte Masse, kein Ölaustritt
75 %	0,4	keine	krümelig, trocken

Tabelle 2: Ergebnisse des Flaschenauslaugtests

Schadstoff	Anteil im Feststoff vor Auslaugtest (mg)	Anteil im Eluat (mg/l)	Wasserlöslichkeit bei 20° C (mg/l)	Kp-Wert
Dichlormethan	625	34,7	20 000	359
Trichlorbenzol	1875	4,0	30	3125

Schadstoffe (Kp-Werte, siehe Kap. 4.5.) lassen vermuten, daß der überwiegende Anteil der Schadstoffe im Feststoff verblieben ist. In den Versuchsflaschen wurde auch der Dampfraum auf die Schadstoffe untersucht. Die Konzentrationen waren niedrig: 0,2 mg/l Luft an DCM und 2,5 mg/l Luft an Toluol. Daher wird nur mit geringen Verflüchtungsverlusten gerechnet.

#### 4.2.4. Strippanalyse zur Bestimmung des Schadstoffaustrages über die Gasphase:

Das Testöl wurde wie oben angegeben mit Trinidadpulver und Braunkohlenstaub verfestigt und in einer Stripptestapparatur (Fassungsvermögen: ca. 450 g) bei 60° C mit einem Gasfluß von 2l Stickstoff pro Stunde durchströmt. Das austretende Gas wurde auf leichtflüchtige Schadstoffe, insbesondere Dichlormethan und Toluol untersucht. Die Versuchsdauer betrug 10 Tage. Bereits nach dem ersten Versuchstag konnte im Stripptgas kein Dichlormethan mehr nachgewiesen werden, Toluol war dagegen bis zum achten Versuchstag nachweisbar. Von den eingewogenen Mengen an Dichlormethan und Toluol (jeweils 5,3 mg) konnten im Gas in der Summe nur 4 % Dichlormethan und 34 % Toluol nachgewiesen werden. Gegenwärtig laufende Überprüfungen mit C-14-markierten Substanzen sollen die Art der Einbindung bzw. den Verbleib der restlichen Schadstoffanteile untersuchen.

#### 4.3. Untersuchungen zur Einbindung organischer Spurenstoffe

Bei der Auslaugung der einzubindenden organischen Stoffe mit Wasser interessiert auch das Verhalten organischer Spurenstoffe an den Feststoffmatrices, insbesondere solcher Kontaminanten, die sich chemisch-physikalisch ähnlich wie die Dioxine und ähnliche hydrophobe und gering wasserlösliche Substanzen verhalten. Dabei sind verschiedene Arten der Einbindung denkbar, die die Verteilungsgleichgewichte Feststoff/Wasser bei der Auslaugung bestimmen: (Typ 1) Lösungsgleichgewicht zwischen der an die Feststoffe gebundenen Öl-Flüssigphase und dem Wasser; (Typ 2) Sorptionsgleichgewichte Feststoff/Wasser; (Typ 3) Bindungsgleichgewichte Öl und/oder Feststoff einerseits und Wasser andererseits unter Ausbildung verschiedener chemischer Bindungsformen wie z.B. Wasserstoff



Tabelle 3: Verteilungskoeffizienten Feststoff/Wasser ( $K_p$ ) für Hexachlorbenzol an verschiedenen für die Verfestigung von Sonderabfällen eingesetzten Feststoffphasen (Mittelwerte aus mindestens drei Einzelversuchen) /9/.

Feststoffphasen	$K_p \pm s$ Verteilungskoeffizienten
<u>Anorganische Füller</u>	
Quarz	2,8 ± 0,6
Kieselgur	113 ± 6
0,015 - 0,040 mm	25 ± 3
0,040 - 0,063 mm	23 ± 5
0,063 - 0,200 mm	5 200 bis 12 500 *
Schiefermehl	31 ± 7
Mergel	33 ± 6
Kreide	
<u>Tone</u>	
Kaolinitischer Ton	88 ± 18
Illitischer Ton	1 320 ± 150
Illit. und Smectitischer Ton	990 ± 80
Meliotonit	35 ± 6
Na-Bentonit	132 ± 70
Ca-Bentonit	68 ± 5
<u>Bindemittel, anorganische</u>	
Hochofenzement (HOZ 35)	29 ± 4
Aquafirm	36 ± 10
Hochofenmehl	75 ± 6
Hochofenmehl+Flugasche (50/50)	14 000 ± 3 100
Flugasche	6 100 bis 15 890 *
<u>Organische Sorbenten</u>	
Feinstkoks	87 000 ± 22 000
< 0,2 mm	9 100 ± 1 300
0,20 - 0,63 mm	6 000 ± 460
0,63 - 1,0 mm	5 100 ± 390
1,0 - 1,5 mm	26 000 ± 7 100
Rohbraunkohle	37 400 ± 4 800
Trockenbraunkohle	80 000 ± 15 000
Braunkohlenstaub	
<u>Naturasphalte</u>	
Trinidad 60/40	65 000 ± 9 500
Trinidad 50/50	22 000 ± 3 000
<u>Organische Verfestigungsmischung</u>	
Trinidad 50/50	80 %
Braunkohlenstaub	20 %      75 %
Maschinenöl	65 %
Trichlorbenzol	15 %
Dichlormethan	5 %      25 %
Toluol	5 %
Wasser	10 %

\* : Sorptionsisotherme nicht linear

brücken, kovalente Bindungen, Bindungen durch Reaktionen unter  $\delta$ -Elektronenaustausch. Das Ziel ist es in jedem Fall, die Gleichgewichte so auf die Seite der Feststoff- bzw. Feststoffgebundenen Ölphase zu verschieben, daß keine oder nur sehr geringe Konzentrationen in der wäßrigen Phase auftreten.

Bei den Untersuchungen zur Einbindung organischer Spurenstoffe wird üblicherweise so vorgegangen, daß bekannte Feststoffmengen mit wäßrigen Lösungen der Schadstoffe equilibriert werden. Jeweils der Anteil, der an dem Feststoff gebunden vorliegt und derjenige, der sich in Lösung befindet, wird unter Gleichgewichtsbedingungen bestimmt. Die Beziehung der beiden Fraktionen wird als Sorptionsisotherme bezeichnet. Im Allgemeinen beschreibt die empirische Freundlich-Isotherme  $S = K_f C^{1/n}$  das Verhalten hydrophober organischer Schadstoffe an Feststoffphasen recht gut; meistens ist  $1/n$  nahe bei oder gleich 1, so daß die Isotherme die Form  $S = K_p C$  erhält, wobei  $K_p$  als linearer Verteilungskoeffizient bezeichnet wird ( $S$ : feststoffgebundener Anteil,  $C$ : Konzentration in der Lösung,  $K_f$ ,  $K_p$  und  $1/n$ : empirische Konstanten)

Die Remobilisierbarkeit organischer Spurenstoffe von den Einbindungsphasen hängt von der Bindungsform und der Stärke der Bindung ab. Die Molekeln, die nur über schwache physisorptive Kräfte assoziiert sind, gelten als vollständig reversibel gebunden. Jeder Gleichgewichtszustand muß also sowohl über die Sorption als auch über die Desorption erreicht werden, Sorptions- und Desorptionsisothermen sind in diesem Fall also identisch. Weichen beide jedoch voneinander ab, spricht man von einer Hysterese. Solche Erscheinungen treten auf, wenn sich Sorption und Desorption wesentlich in ihrer Kinetik unterscheiden. Weiterhin sind sie im Allgemeinen charakteristisch für Bindungen des Typs 3 (s.o.).

Als Modellschadstoff für einen hydrophoben und äußerst gering wasserlöslichen Schadstoff wurde C-14 markiertes Hexachlorbenzol eingesetzt. In einigen Fällen wurden nach der Sorption bis zu drei konsekutive Desorptionsversuche durchgeführt. Die Methodik ist ausführlich bei /6/ dargestellt.

Die Ergebnisse der Feststoff/Wasser-Gleichgewichtsbestimmungen finden sich in der Tabelle 3. Die Verteilungskoeffizienten sind außerordentlich verschieden und reichen von etwa 3 für das äußerst schwach sorptive Quarzmehl bis hinauf zu 87 000 für feinkörnigen Feinstkoks. Ganz allgemein sind die rein anorganischen Feststoffe gering sorptiv; dies gilt auch für die aufweitbaren Tone trotz ihrer sehr großen Oberfläche. Ausnahmen machen Schiefermehl und Flugasche, beide mit  $K_p$ -Werten um  $10^4$ . In beiden Fällen war die Isotherme im übrigen nicht linear, weshalb in der Tabelle nur die Spanne gemessener Verteilungskoeffizienten angegeben sind. Die verwendete Flugasche enthielt etwa 3 % organischen Kohlenstoff /6/, wahrscheinlich in Form hochsorptiver Rußpartikelchen. Im Gegensatz zu den anorganischen, zeigten die organischen Feststoffe sehr hohe Verteilungskoeffizienten; mit Ausnahme von grobkörnigen Feinstkoks lagen sie über  $10^4$ . Auch die Verfestigungsmischung unter Verwendung des Versuchsölgemisches zeigte diese extrem hohen Sorptivitäten.



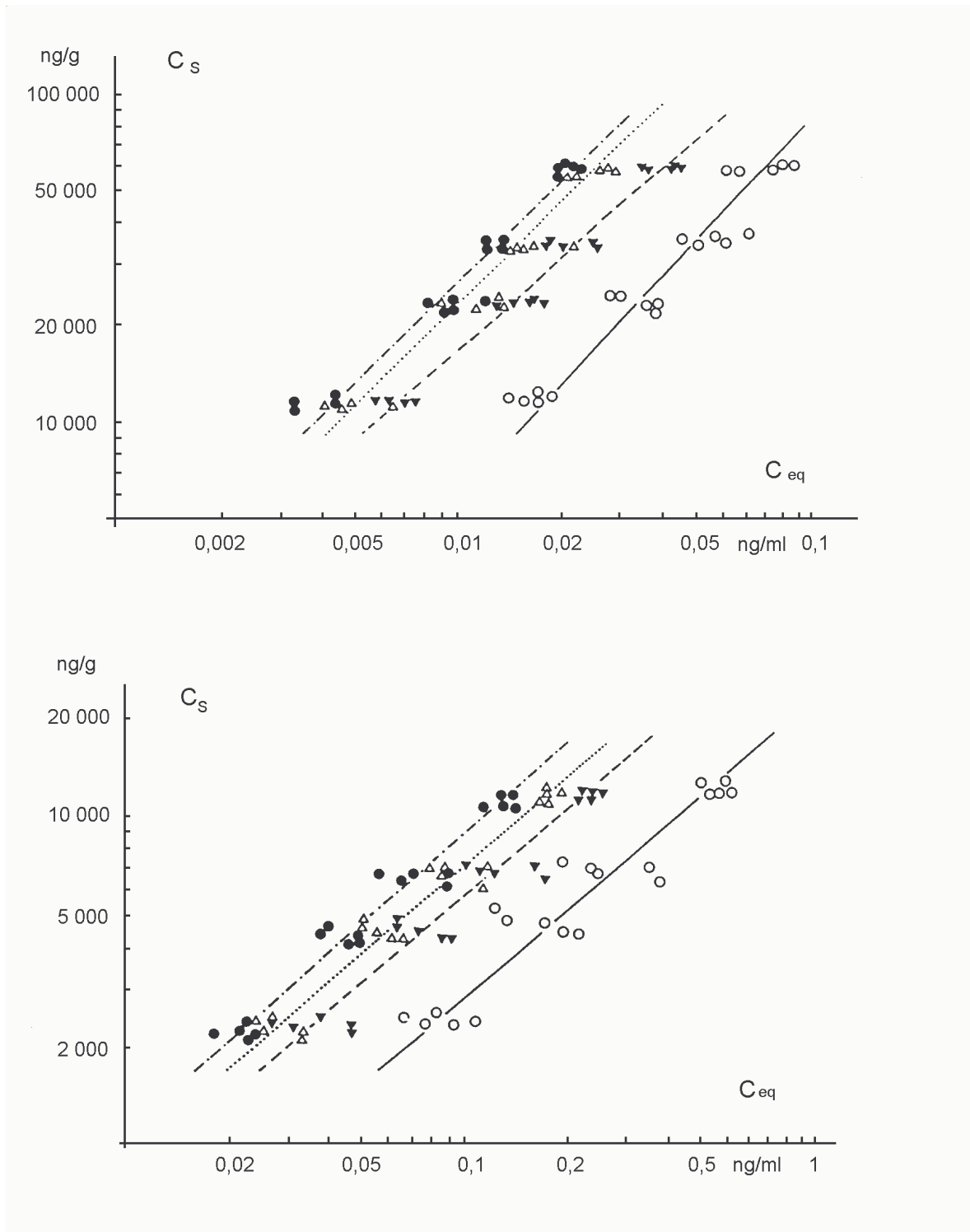


Abb.1 (oben) und 2 (unten): Sorptions- und Desorptionsisothermen für Hexachlorbenzol an Trinidad Asphalt (oben) und Rohbraunkohle (unten).  $\bullet$  : Sorption;  $-$  : 1.Desorption;  $\nabla$  : 2.Desorption;  $\circ$  : 3.Desorption /9/

Während Hexachlorbenzol an Gewässersedimenten /7/ oder an Dichtwandbaustoffen /6/ reversibel sorbiert wird, zeigten die Versuche unter Verwendung von Trinidadasphalt (Abbildung 1) und Rohbraunkohle (Abbildung 2) eine ausgeprägte Hysterese: die Verteilungskoeffizienten stiegen bis zur dritten Desorption, wie aus den Abbildungen ersichtlich, um mehr als das fünffache an. Das gleiche Verhalten zeigte sich auch bei dem Verfestigungsgemisch mit Ölmischung: die Verteilungskoeffizienten stiegen von 73 000 bei der Sorption über 140 000 (1.Desorption), 190 000 (2.Desorption) bis zu 210 000 (3.Desorption) an.

Zusammenfassend kann aus den Versuchen zur Einbindung von hydrophoben organischen Spurenstoffen gefolgert werden, daß sich organische Füllstoffe und Bindemittel wegen ihrer hohen Sorptivität besonders für die Verfestigung eignen, und darüber hinaus aufgrund der Hystereseerscheinungen Hinweise für eine chemische Bindung (Typ 3) vorliegen.

#### LITERATUR

- 1 Förstner U: Immobilisierung von Schwermetallen in Schlämmen und festen Abfallstoffen.- In: Straub H, Hösel G, Schenkel W, (Eds): Müll und Abfallbeseitigung, Erich Schmidt Verl. Berlin 1987
- 2 Gehrke R: Anwendung von Kalk in kommunalen Kläranlagen. Korrespondenz Abwasser **25** (11), 375-389 (1978)
- 3 Möller U, Kassner W, Köhlhoff D, Loll U, Otte-Witte R: Neudefinition der Deponiefähigkeit von Klärschlämmen. Korrespondenz Abwasser **31** (11), 928-933 (1984)
- 4 Gay ChGW, Henke KF, Rettenberger G, Tabasaran O: Stand-sicherheit von Deponien für Hausmüll und Klärschlamm. Stuttgarter Ber. Abfallwirtsch. **14**, Erich Schmidt Verl. Bielefeld 1981
- 5 Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser- Abwasser- und Schlammuntersuchung, Bestimmung der Eluierbarkeit mit Wasser, DIN 38 414 Teil 4
- 6 Wienberg R, Heinze E: Spread of organic contaminants in remedial construction materials as effected by dissolving agents and surfactants.- In: Lester JN, Perry R, Sterrit RM (Eds): Chemicals in the environment, pp 733-744 Selper Ltd London 1986
- 7 Wienberg R, Förstner U, Haug T, Kienz W: Sediment- Wasser-Gleichgewichte. Verhalten flüchtiger Chlorkohlenwasserstoffe und der Dichlorbenzole an Gewässersedimenten. Berichte des Arbeitsbereichs Umweltschutztechnik der Technischen Universität Hamburg-Harburg **1**, 117 pp, Hamburg, 1988
- 8 Schwer C: Unveröff Daten, Technische Univ Hamburg-Harburg, 1987
- 9 Wils S: Unveröff Daten, Technische Univ Hamburg-Harburg, 1987

Quelle:

# **Altlastensanierung '88**

*Zweiter Internationaler TNO/BMFT-Kongress über  
Altlastensanierung.*

*11.-15. April 1988. Hamburg. Bundesrepublik Deutschland*

*Redaktion:*

**K. WOLF**

Umweltbehörde, Freie und Hansestadt Hamburg, Bundesrepublik Deutschland

**W. J. VAN DEN BRINK**

TNO-Zentralabteilung für in- und externe Kommunikation, Den Haag, Niederlande

**F. J. COLON**

TNO-Hauptgruppe Technologie für die Gesellschaft, Apeldoorn, Niederlande

Band I

**KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS**

DORDRECHT / BOSTON / LONDON