

Einsatz der Vakuumdestillation bei der Reinigung kontaminierter Böden

*Landesanstalt für Umweltschutz
Baden-Württemberg
Griesbachstr. 1
76185 Karlsruhe*

**Bei diesem Ausdruck handelt es sich um eine Adobe Acrobat Druckvorlage.
Abweichungen im Layout vom Original sind rein technisch bedingt.
Der Ausdruck sowie Veröffentlichungen sind -auch auszugsweise- nur für
eigene Zwecke und unter Quellenangabe des Herausgebers gestattet.**

Inhaltsverzeichnis

1. EINLEITUNG	1
2. VERFAHRENSTECHNISCHE GRUNDLAGEN	2
2.1 VERFAHRENSPRINZIP	2
2.2 VORTEILE DES VERFAHRENS	3
3. VERFAHRENSBESCHREIBUNG	4
3.1 BODENWÄSCHE	4
3.2 VAKUUMDESTILLATION	4
4. EINSATZGEBIETE /REINIGUNGSLEISTUNGEN	6
5. ANWENDUNGSBEISPIELE	7
5.1 VORHABEN MIT MODELLCHARAKTER: FIRMA FAHRLÄNDER IN PFORZHEIM	7
5.2 SANIERUNGSFALL MARKTREDWITZ	8
5.2.1 Sanierungsfall Marktredwitz: Reinigungsergebnisse.....	9
5.2.2 Sanierungsfall Marktredwitz: Technische Daten/Leistungsangaben der Reinigungsanlage.....	10
6. ZUSAMMENFASSUNG	11
KONTAKTADRESSE	12
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	13
TABELLENVERZEICHNIS	13
INDEXVERZEICHNIS	13

1. Einleitung

Für die Reinigung von kontaminierten Böden stehen seit geraumer Zeit verschiedene bewährte Verfahren zur Verfügung. Aufgrund von Art und Ausmaß der jeweiligen Kontamination sind der dabei erzielbaren Reinigungsleistung stets verfahrenstechnische Grenzen gesetzt. Oft sind die Verfahren nur für ein begrenztes Spektrum an Schadstoffen einsetzbar. Weiterhin ist speziell die Reinigung von feinkörnigen, hochbelasteten Böden in der Praxis problematisch.

Deshalb zielt die Weiterentwicklung der Bodenreinigungsverfahren auf eine Ausweitung der bestehenden Anwendungsgrenzen. Während der vergangenen Jahre wurde dabei ein interessantes Bodendestillationsverfahren entwickelt und erprobt. Dieses Verfahren ist alleine oder in Kombination mit einer Waschanlage einsetzbar. Es stellt für die Reinigung eines breiten Spektrums verschiedener Schadstoffe und Böden eine wirtschaftliche Lösung dar.

Dieser Bericht, der beschreibt das Verfahren und wertet vorliegende Erfahrungen aus. Dabei werden zunächst die Funktionsweise und die Einsatzbereiche des Verfahrens dargestellt. Danach wird über die Anwendung des Verfahrens berichtet. Bei einem Vorhaben mit Modellcharakter wurde untersucht, ob die Vakuumdestillation als Sanierungsverfahren für kontaminierte Böden geeignet ist. Den Abschluß bildet die Schilderung eines konkreten Sanierungsfalles, bei dem das Verfahren erfolgreich zum Einsatz kam.

2. Verfahrenstechnische Grundlagen

Bei der Reinigung von kontaminierten Böden, bereiten stets die in der Regel hochbelasteten Feinkornfraktionen Probleme. Böden bestehen oft zu erheblichen Anteilen aus solchen Feinkornfraktionen (Schluff, Ton). Bei der **Bodenwäsche** fallen dann diese Materialien als sog. Feinkornrückstände an. Diese Feinkornrückstände können entweder mit chemischen, aber auch biologischen oder thermischen Verfahren weiterbehandelt werden. Bei der Anwendung derartiger Verfahren bestanden jedoch bisher Einschränkungen oder sie brachten wesentliche Nachteile mit sich:

- **Chemische Extraktionsverfahren** arbeiten mit konzentrierten, stoffspezifischen Laugen oder Lösungsmitteln. Die dabei verwendeten aggressiven, chemischen Agenzien sind in ihrer ökologischen Auswirkung z. T. umstritten.
- **Biologische Verfahren** liefern aufgrund der schwer abbaubaren organischen Bestandteile oft nur unbefriedigende Ergebnisse (Sanierungsdauer, Restkontamination, Metabolitenbildung). Außerdem werden die Stoffe in feuchten Feinkornfraktionen nur schlecht transportiert, so daß biologische Verfahren bei feinkörnigen Böden meistens nicht geeignet sind.
- **Thermische Verfahren** sind oft genehmigungsrechtlich sehr aufwendig. Außerdem werden keine Genehmigungen erteilt, wenn das zu verbrennende Material Quecksilber enthält. Weiterhin müssen die bei der Verbrennung entstehenden großen Abgasströme unter z. T. großem technischen Einsatz (Emissionsschutz) gereinigt werden.

Wird der Boden mit Hilfe der **Vakuumdestillation** gereinigt, entstehen die o. g. Nachteile nicht.

2.1 Verfahrensprinzip

Bei der Vakuumdestillation handelt es sich um ein **Anreicherungsverfahren**, bei dem die Menge der anfallenden Schadstoffkonzentrate nahezu auf das reine Schadstoffvolumen begrenzt wird.

- Das zu reinigende Material wird auf eine Temperatur von 200-380°C erhitzt
- Gleichzeitig wird durch eine Vakuumpumpe ein Absolutdruck von ca. 50 hPa erzeugt.
- Unter diesen Bedingungen verdampfen Schadstoffe, die Siedepunkte von bis zu 540°C bei Normaldruck aufweisen. Beispiele für Schadstoffe, deren Siedepunkte für eine Behandlung durch Vakuumdestillation geeignet sind, zeigt **Tabelle 1**.
- Die Produkte des Prozesses sind der gereinigte Boden, Schadstoffdämpfe sowie das Betriebswasser der Vakuumpumpe. Diese Produkte werden in anschließenden Verfahrensschritten weiterbehandelt.

Tabelle 1: Schadstoffe, die sich für Vakuumdestillation eignen

Element / Stoffgruppe	Siedepunkt in °C bei 1013 hPa (hPa = mbar)
PAK (EPA)	218 - 505
MKW	25 - 500
CKW	25 - 150
BTEX	80 - 140
Phenole (EPA)	182 - 230
Cyanide	zersetzen sich > 450°C
Quecksilber	356

2.2 Vorteile des Verfahrens

- geringe Prozeßgasströme, die einfach und effizient zu reinigen sind. Gleiches gilt für die Prozeßwasserreinigung.
- geringe Energiekosten durch niedrige Arbeitstemperaturen und kurze Verweilzeiten.
- sauerstoffarmer Prozeß, inerte Schleppgase erhöhen die Wirksamkeit des Verfahrens und verhindern ungewollte chemische Reaktionen (keine Dioxinbildung wie bei anderen thermischen Verfahren).
- Leckagen in der Anlage führen nicht zum Austritt von Prozeßgasen

3. Verfahrensbeschreibung

Wird das Verfahren mit einer Vorreinigung kombiniert, besteht es aus zwei Reinigungsstufen:

1. Naßmechanisch- extraktive Waschstufe (Bodenwäsche)
2. Thermisch – destillative Behandlungsstufe (Vakuumdestillation)

3.1 Bodenwäsche

- Der Einsatz einer naßmechanischen Vorreinigung des Bodens ist in vielen Fällen sinnvoll z. B. dann, wenn viele Grobanteile vorhanden sind, die von den Feinanteilen separiert werden können.
- Bei der Bodenwäsche erfolgt die Reinigung unter Zugabe von Wasser durch einen intensiven mechanischen Energieeintrag und anschließenden Klassier-, Sortier- und Spülprozess. Das mit den festen und gelösten Schadstoffen belastete Prozesswasser wird danach gereinigt und durch Kreislaufführung wieder im Waschprozeß eingesetzt. Die gereinigten gröberen Bodenfraktionen werden von den mit Schadstoffen angereicherten Feinstanteilen abgetrennt.

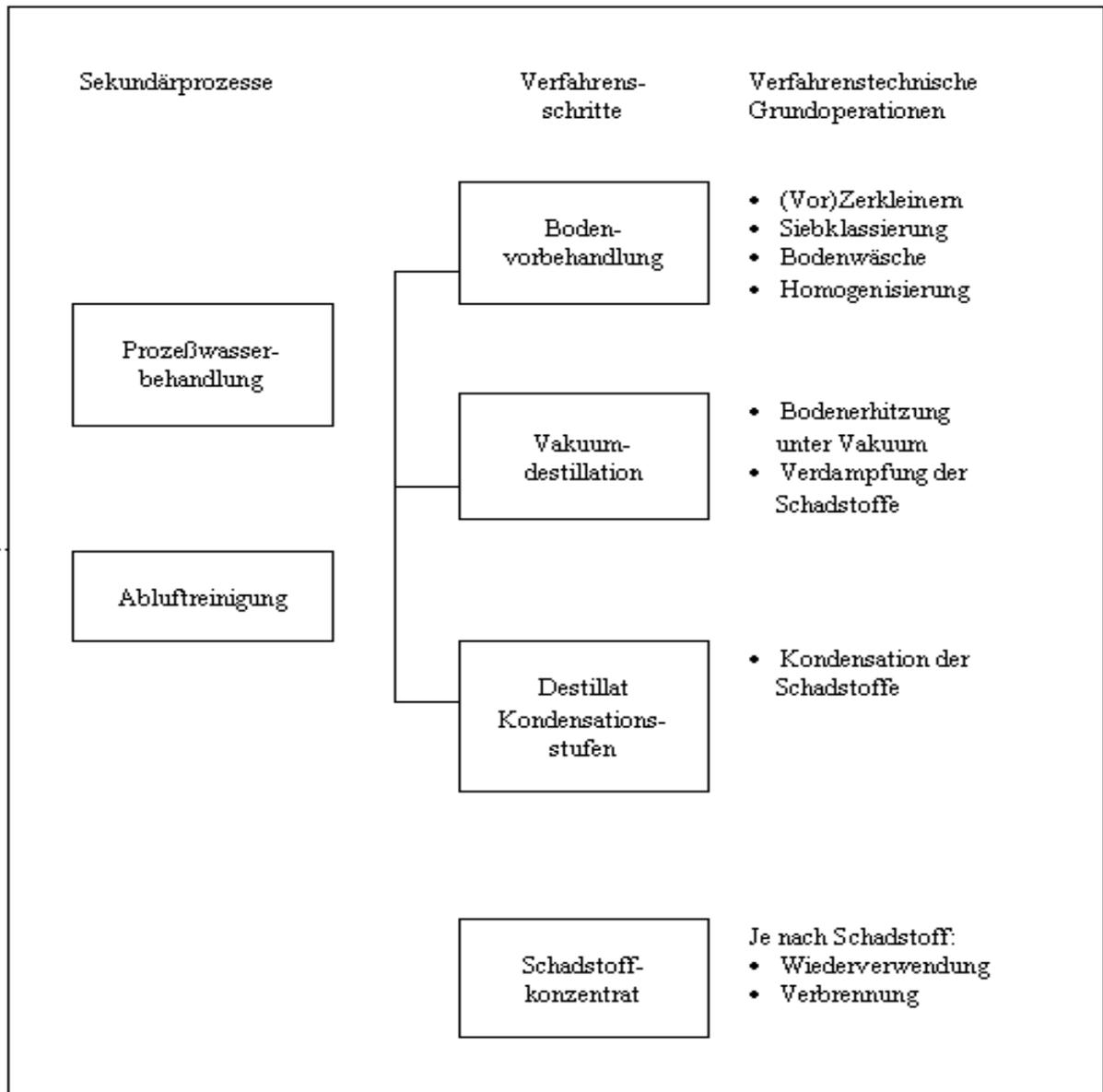
Das mit Schadstoffen stark angereicherte Feinkornmaterial wird dann der Destillationsanlage zugeführt und dort gereinigt.

3.2 Vakuumdestillation

- Das stark angereicherte Feinkornmaterial (<100 µm) wird zunächst bei ca. 110°C vortrocknet, wobei neben Wasser auch schon ein geringer Teil der leichtflüchtigen Schadstoffe ausgetrieben wird.
- Nach dem Vortrocknen wird das Material in einem Destillationsreaktor unter Vakuum indirekt erhitzt. Bei Drücken von 50 - 100 hPa und Prozeßtemperaturen von 380°C, sieden die mittel- und schwerflüchtigen Schadstoffe und gehen in die Dampfphase über. Die Schadstoffdämpfe werden unter Zugabe von Inertgas in einen Kondensator transportiert. Dort werden die Schadstoffe kondensiert und ausgeschleust.
- Die Kondensate werden entweder zur Wiederverwertung aufgearbeitet oder als Sondermüll verbrannt. Das überschüssige Inertgas-Luftgemisch wird entweder im Kreislauf geführt oder über eine kleindimensionierte Abgasreinigungsanlage an die Atmosphäre abgeführt.

Nach der Reinigung der Feinkornfraktion wird das Gut mit dem Material aus der Bodenwäsche wieder vermischt so daß der Boden in seiner ursprünglichen Zusammensetzung für die Wiederverwendung zur Verfügung steht.

Fließschema der Vakuumdestillation



4. Einsatzgebiete /Reinigungsleistungen

Das Verfahren ist mit sehr guten Reinigungsleistungen bei den folgenden **Kontaminanten** anwendbar:

- polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)
- Mineralölkohlenwasserstoffe (MKW)
- leichtflüchtige Kontaminanten wie BTEX, CKW etc.
- polychlorierte Biphenyle (PCB)
- Phenole
- Cyanidverbindungen
- Quecksilber und Quecksilberverbindungen

Dabei arbeitet die Vakuumdestillation in einem sehr weiten Bereich nahezu unabhängig von der Höhe der Eingangskonzentration der Schadstoffe im Boden. Hinsichtlich der Bodenart besteht für das Verfahren ebenfalls keine Eingangsbegrenzung.

Neben Böden mit normaler Kornverteilung werden auch

- sehr feinkörnige Böden mit Schluff- bzw. Tonanteilen bis zu 90 %
- Schlackenmaterial
- Feinkornrückstände aus Bodenwaschanlagen
- Beton-/Ziegelbruch

problemlos gereinigt.

Die erzielbaren Reinigungsleistungen für die verschiedenen Stoffe hängen von der Verweilzeit in der Anlage sowie den Prozeßparametern Druck und Temperatur ab.

Liegt ein Stoffgemisch vor, sind in der Regel höhere Prozeßtemperaturen ($>300^{\circ}$) notwendig, damit auch die höhersiedenden Verbindungen des Gemisches gut abgereinigt werden können.

5. Anwendungsbeispiele

Mit Vorversuchen im Technikumsmaßstab soll geklärt werden, inwieweit ein Verfahren großtechnisch einsetzbar ist. Diese Versuche liefern in der Regel verlässliche Werte im Hinblick auf die Anwendung. Die Vakuumdestillation wurde u. a. bei einem Vorhaben mit Modellcharakter getestet. Zur tatsächlichen Anwendung gelangte das Verfahren bei der Sanierung der chemischen Fabrik Marktredwitz. Diese beiden Anwendungsfälle sind auf den folgenden Seiten ausführlich beschrieben.

5.1 Vorhaben mit Modellcharakter: Firma Fahrländer in Pforzheim

Versuchsumfang: Im Rahmen eines Vorhabens mit Modellcharakter der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg wurden innovative Sanierungsverfahren zur Sanierung des ehemaligen Betriebsgeländes der Firma Fahrländer in Pforzheim gesucht.

Bei den Vorversuchen, die in den Jahren 1993 und 1994 statt fanden, wurde untersucht, ob neben anderen Verfahren die **Vakuumdestillation** zur Reinigung von mit organischen Schadstoffen verunreinigtem Boden geeignet ist.

Versuchsziel: Erkenntnisgewinn für eine großtechnische Anwendung des Verfahrens.

Beschreibung der Versuchsanlage:

- kontinuierlich betriebene Anlage zur Behandlung von organisch kontaminierten Böden und Schlämmen.
- Durchsatz max. 140 kg/h; Verweilzeit 15 min., Schüttdichte 1,5 g/cm³
- Masse je Einschleusung 2 kg.

Untersuchtes Material: Lößlehm (85 % Schluff, 15 % Ton), TS ca. 80,4 %

Schadstoffgehalte der untersuchten Probe

- | | |
|---|------------------|
| • MKW: | 1.800 mg / kg TS |
| • CKW (haupts. 1,2 Dichlorethen, Trichlorethen, Tetrachlorethan): | 47,3 mg / kg TS |
| • PCB: | 3,4 mg / kg TS |

Tabelle 2: Versuchsergebnisse

Schadstoff	t (Min.)	T (°C)	Reinig. (%)
MKW	15	320	84
	30	320	97
	15	370	95
PCB	15	320	45
	30	320	86
	15	370	90
CKW	15	320	99,5
	15	370	unter Nachweisgrenze

Der Prozeßdruck betrug konstant 50 hPa (hPa = mbar)

5.2 Sanierungsfall Marktredwitz

Chemische Fabrik Marktredwitz (CFM): Die chemische Fabrik Marktredwitz war der bedeutendste Altlastenfall in Bayern.

In dem Betrieb, der zu den ältesten deutschen Fabriken zählte, wurde Quecksilber für die Weiterverarbeitung zu Herbiziden, Pestiziden und sonstigen quecksilberhaltigen Produkten fast 200 Jahre lang produziert. Dieser lange Gebrauch unter den damaligen Sicherheitsbedingungen führte dazu, daß durch austretendes Quecksilber die Fabrikanlage und umliegende Gewässer zunehmend verunreinigt wurden.

Bis Mitte der achtziger Jahre stellte die Fabrik eine akute Umweltgefährdung dar, worauf die Behörden mit einer Stilllegung reagierten. Zum Zeitpunkt der Stilllegung der Fabrikation im Jahre 1985 fand man bei der Beprobung des Firmengeländes hohe Schadstoffkonzentrationen vor. Dabei wurden neben Arsen, Antimon, Cadmium und Blei insbesondere hohe **Quecksilber-Kontaminationen** festgestellt.

- In Mauerwerksoberflächen betrug die Belastung zwischen 400 bis 5.000mg/kg Hg.
- Im Boden wurden zwischen 1.000 und 2.000 mg/kg Hg gemessen.
- Außerdem war das Grundwasser erheblich belastet.

Verfahrensbeschreibung: Mit der Reinigung des kontaminierten Bodens und Bauschutts wurde die Firma HARBAUER beauftragt. HARBAUER entwickelte hierzu eine Anlage in Container-Modulbauweise am Stadtrand von Marktredwitz (Ortsteil Wölsau). Die Anlage verfügt über zwei Reinigungsstufen eine naßmechanisch-extraktive sowie eine nachgeschaltete thermisch-destillative Behandlungsstufe.

- In der ersten Reinigungsstufe, der extraktiven Bodenreinigung (Waschanlage), werden die löslichen Schwermetallverbindungen mit Wasser abgetrennt und die verbleibenden Kontaminationen in der Feinstfraktion (Schlamm) angereichert.
- Der stark belastete Schlamm wird in der zweiten Reinigungsstufe, der Schlamm-trocknung und Hochtemperaturvakuumdestillation, vom Quecksilber befreit. Bei Tem-

peraturen zwischen 350 und 450°C und Prozeßdrucken von 50 bis 150 hPa verdampft das Quecksilber und wird anschließend durch Rekondensation zurückgewonnen.

- Nach einer Aufarbeitung wird das zurückerhaltene Quecksilber wieder in den Wirtschaftskreislauf zurückgeführt.
- Das verbleibende Kondensat, die anfallenden Abwässer und die Prozeßluft werden in nachgeschalteten Reinigungsanlagen behandelt.
- Die behandelten Materialströme, die Grobfraktion aus der Bodenwäsche und das Feinkorn aus der Vakuumdestillation werden wieder zusammengeführt. Der gereinigte Boden gleicht dann in Körnung und Feuchtigkeit dem Eingangsmaterial
- Der größte Teil der Reststoffe aus beiden Reinigungsstufen wird auf der Monodeponie Wölsau abgelagert (Mit einem Ablagerungsvolumen von 145.000 m³ ist sie in insgesamt fünf Verfüllabschnitte aufgliedert).

5.2.1 Sanierungsfall Marktredwitz: Reinigungsergebnisse

- Im Sanierungsziel wurden Reinigungswerte von 50 mg/kg Hg für das verunreinigte Material gefordert.
- Trotz der hohen Inputkonzentrationen zwischen 500 und 2.000 mg/kg und der erheblichen Schwankungen wurde dieses Ziel erreicht.
- Die Outputwerte lagen im Mittel bei 20 bis 25 mg/kg.
- Der Abreinigungsgrad lag damit durchschnittlich bei 99 %.

Der erzielbare Reinigungsgrad der Bodenwaschstufe hing im starken Maße von der Materialzusammensetzung ab. Höhere Anteile poröser Materialien wie beispielsweise Beton oder Ziegelbruch führten zu einer Verschlechterung der Reinigungsergebnisse. Aus diesem Grunde sollten Schutt und wachsender Boden nicht vermischt werden.

Das Reinigungsergebnis der Vakuumdestillationsstufe war weitgehend unabhängig von der Materialzusammensetzung. Das Reinigungsergebnis konnte insbesondere über die Verweildauer im Vakuumdestillationsreaktor beeinflusst werden.

Die Anlage war von August 1993 bis August 1996 in Betrieb und hat insgesamt etwa 56.000 t Material gereinigt.

Die Gesamtkosten für das Projekt beliefen sich auf ca. 150 Mio. DM.

Mit einem Wirkungsgrad von 99%, stellt die Vakuumdestillation eine wirtschaftliche Lösung für die Reinigung von feinkörnigen, mit Quecksilber hochbelasteten Böden oder Feinkornrückständen aus Bodenwaschanlagen dar.

Auf der nachfolgenden Seite sind die Leistungsdaten der Bodenreinigungsanlage Wölsau in einer Übersicht zusammengestellt.

5.2.2 Sanierungsfall Marktredwitz: Technische Daten/Leistungsangaben der Reinigungsanlage

Bauart: Umsetzbare, zweistufige Reinigungsanlage, kombiniert aus den beiden Reinigungsstufen Bodenwäsche und Vakuumdestillation. Für die Anlage wurde ca. 1 ha Fläche benötigt. Rüstzeit + Fundamentierung ca. 1 Jahr.

Kontaminationsarten: MKW, PAK, PCB, AKW, CKW, Cyanidverbindungen, Phenole, Schwermetalle, Quecksilber.

Materialarten: Böden auch mit hohen Schluffanteilen, Bauschutt, poröse Baustoffe wie Ziegel, Schlacke und Beton bis max. 600 mm Kantenlänge.

Anwendungsbereich: Keine Einschränkungen hinsichtlich der Feinkörnigkeit und der Schadstoffkonzentrationen des zu reinigenden Bodens bei Solobetrieb der Vakuumdestillation.

Technische Angaben:

- Elektrischer Anschlußwert 1.500 kW
- Frischwasserbedarf 0-10 m³/h
- Durchsatz Bodenwäsche ca. 25 t/h, Vakuumdestillation ca. 6 t/h
- Gesamtkapazität ca. 40.000 t / Jahr

Verfahrensparameter:

- Destillationstemperaturbis 450° C
- Druckbereich 50 - 150 hPa

Verbrauchswerte:

- Spezifischer Energieverbrauch 130 kWh/t
- Spezifischer Wasserverbrauch 0,5 m³/t
- Abwasseranfall Kreislaufführung
- Abluftmenge 45.000 m³/h

Preisangaben:

- Spezifische Reinigungskosten 400 - 500 DM / t

6. Zusammenfassung

Mit der Vakuumdestillation steht ein interessantes Bodenreinigungsverfahren zur Verfügung. Die dabei eingesetzte Verfahrenstechnik ist in Bereichen erfolgreich, wo für bereits etablierte Verfahren bisher stets Einschränkungen oder wesentliche Nachteile bestanden. So lassen sich insbesondere hochbelastete Feinkornfraktionen wirkungsvoll abreinigen.

Mit Hilfe der Vakuumdestillation können zahlreiche organische und anorganische Verbindungen behandelt werden. Das Verfahren ist separat oder in Kombination mit einer Bodenwäsche einsetzbar. Die Vakuumdestillation arbeitet in einem sehr weiten Bereich nahezu unabhängig von der Höhe der Eingangskonzentration an Schadstoffen im Boden.

Als Einsatzbereiche kommen folgende Anwendungsfälle in Frage:

- Böden mit normaler Kornverteilung
- sehr feinkörnige Böden mit Schluff- und Tonanteilen bis zu 90 %
- Schlackenmaterial
- Feinkornrückstände aus Bodenwaschanlagen
- Beton-/Ziegelreste

Entscheidende Vorteile im Hinblick auf einen wirtschaftlichen Einsatz ergeben sich für das Verfahren aus den geringen Prozeßgas- und Prozeßwasserströmen. Daraus resultieren niedrige Investitionskosten für Sekundärtechnologie (Emissionsschutz) und relativ kurze Genehmigungszeiten.

Bei der Vakuumdestillation handelt es sich um ein Anreicherungsverfahren, bei dem die Menge der anfallenden Schadstoffkonzentrate nahezu auf das reine Schadstoffvolumen begrenzt wird. Die anfallenden Schadstoffe werden entweder verbrannt oder zur Wiederverwertung aufgearbeitet.

Das Verfahren hat sich auch bei seiner Anwendung bewährt. In Vorversuchen wurden gute Reinigungsergebnisse erzielt. Zum realen großtechnischen Einsatz gelangte die Vakuumdestillation bei der Sanierung der chemischen Fabrik Marktredwitz. Das hauptsächlich mit Quecksilber kontaminierte Material konnte dabei erfolgreich bis unter die im Sanierungsziel geforderten Werte abgereinigt werden.

Die Reinigungskosten betragen beim Sanierungsfall Marktredwitz 400 - 500 DM/t. Diese Größenordnung kann als eine grobe Orientierung für zukünftige Sanierungsfälle dienen. Im Vergleich zu herkömmlichen Verfahren liegen die Reinigungskosten damit höher (Bodenwaschanlagen durchschnittl. 150 - 300 DM/t). Das Einsatzgebiet der Vakuumdestillation ist jedoch genau dort angesiedelt, wo herkömmliche naßmechanische Verfahren aufgrund der Höhe und der Art des Kontaminationsspektrums technisch und wirtschaftlich nicht mehr anwendbar sind.

Kontaktadresse

*HARBAUER GmbH & Co KG
Ingenieurbüro für Umwelttechnik*

Büroanschrift:

*Flughafenstraße 21, 12053 Berlin
Telefon (030) 61 37 30-210
Telefax (030) 61 37 30-230*

Postanschrift:

*Postfach 19 11 48, 14001 Berlin
Heerstraße 24, 14052 Berlin
Telefon (030) 3 00 61-0
Telefax (030) 3 00 61-230*

Kontaktperson:

Dipl.-Ing. Ulrich Hübner

Abbildungsverzeichnis

Fließschema der Vakuumdestillation	5
--	---

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Schadstoffe, die sich für Vakuumdestillation eignen.....	3
Tabelle 2: Versuchsergebnisse	8

Indexverzeichnis

A

Altlastensanierung	
biologische Verfahren.....	2
Bodenwäsche	2, 4
chemische Extraktionsverfahren.....	2
thermische Sanierungsverfahren.....	2
Vakuumdestillation.....	2, 4

B

biologische Nachweisverfahren	
Allgemeines	2
Bodenreinigung	
biologische Verfahren.....	2
Bodenwäsche	4
chemische Extraktionsverfahren.....	2
thermische Verfahren.....	2
Vakuumdestillation.....	2, 4

Bodenwäsche

Allgemeines	2, 4
-------------------	------

C

chemische Extraktion	2
----------------------------	---

F

Fallbeispiele	
Vakuumdestillation.....	7, 8

S

Sanierungsverfahren	
biologische Verfahren	2
Bodenwäsche	2, 4
chemische Extraktionsverfahren	2
thermische Verfahren.....	2
Vakuumdestillation	2, 4

T

thermische Sanierungsverfahren	
Bodenwäsche	2

V

Vakuumdestillation	
Allgemeines	2, 4
Anwendungsbeispiele	7
Einsatzgebiete / Reinigungsleistungen..	6
Fallbeispiele	7, 8
Fließschema	5
Kontaktadresse	12
Kontaminanten	6
Schadstoffe.....	3
Verfahrensbeschreibung.....	4
Verfahrensprinzip.....	2
Vorteile des Verfahren	3
Zusammenfassung.....	11