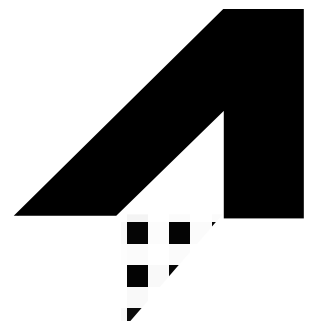


**ITVA**

**ARBEITSHILFE – H1 - 1**

November 1994

**Dekontamination  
durch Bodenwaschverfahren**



**Herausgeber:**

Ingenieurtechnischer Verband Altlasten e.V. ITVA, Pestalozzistraße 5-8  
D-13187 Berlin

**Mitglieder des Fachausschusses H1 zur Zeit der Erstellung der Arbeitshilfe:**

Dr.-Ing. Peter Dreschmann, Aachen (Obmann); Dipl.-Ing. Martin Anemüller, Amsberg; Dr.-Ing. Petra Beckefeld, Essen; Dr.-Ing. Joachim Beckmann, Stuttgart; Dr.-Ing. Reinhard Beine, Bochum; Dr.-Ing. Bernd Engelmann, Berlin; Dr. rer.nat. Hans-Jürgen Heimhard, Essen; Dr. rer.nat. Jürgen Klein, Essen; Dipl.-Ing. Gerhard Knoch, Hattingen; Dipl.-Ing. Holger Mergen, Neustadt; Dr.-Ing. Volker Neumann, Berlin; Dipl.-Ing. Andreas Rebhan, Bochum; Dr. rer.nat. Peter Schröder, Dreieich-Sprendlingen; Dr. rer.nat. Gerd Tremmel, Köln; Dipl.-Ing. Stepanka Urban-Kiss, Stuttgart; Dipl.-Ing. Peter Zarbok, Mannheim

**Autoren dieser Arbeitshilfe:**

Dr. rer. nat. Hans-Jürgen Heimhard, Dr.-Ing. Joachim Beckmann, Dr.-Ing. Peter Dreschmann, Dr.-Ing. Detlef Grimski, Dr.-Ing. Peter Jahns, Dr. rer.nat. Jürgen Klein, Dipl.-Ing. Gerhard Knoch, Dr.-Ing. Volker Neumann, Dipl.-Ing. Andreas Rebhan, Dipl.-Geol. Michael Scholz, Dr. rer.nat. Gerd Tremmel, Prof. Dr. Dieter Uhlig, Dipl.-Ing. Peter Zarbok

© Ingenieurtechnischer Verband Altlasten e.V. ITVA · Berlin

Berlin 1995





## Dekontamination durch Bodenwaschverfahren

Satzungsgemäß gehört zu den Aufgaben des Ingenieurtechnischen Verbandes Altlasten e. V. (ITVA) die Erarbeitung von Regelwerken sowie Handlungsempfehlungen für das Fachgebiet Altlasten. Dementsprechend hat sich der Fachausschuß H1 „Technologien und Verfahren“ zum Ziel gesetzt, ein Merkblatt „Sanierungstechniken/-verfahren“ zu erstellen, in dem neben der Beschreibung des Ist-Zustandes von Sanierungstechniken u. a. die Bereiche Qualitätssicherung, Gewährleistung, Genehmigung, Wirksamkeit, Wirtschaftlichkeit, Akzeptanz, Nachsorge und Bauartzulassung beschrieben werden.

Gemäß der Empfehlung des Rates von Sachverständigen für Umweltfragen (SRU) werden unter Sanierungsmaßnahmen sowohl Maßnahmen zur Sicherung als auch zur Dekontamination verstanden. Unter dem Begriff Bodenbehandlung werden Maßnahmen zur Beseitigung oder Verminderung der stofflichen Belastung von Böden subsummiert, unabhängig davon, ob es sich um Altlasten oder sonstige Verunreinigungen handelt.

Um bereits vor Fertigstellung des Merkblattes frühzeitig informieren zu können, wird vom Fachausschuß im ersten Schritt der Ist-Zustand von Sanierungstechniken in Form von Arbeitshilfen veröf-

fentlicht. Diese behandeln schwerpunktmäßig nachfolgende Punkte:

- Grundprinzip,
- Anwendungsbereich,
- allgemeines Verfahrensprinzip,
- Voraussetzungen für die Anwendung
  - schadstoff- und materialspezifisch
  - Vor- und Nachteile,
- Anforderungen an Material bzw. Verfahren,
- weiterführende Literatur.

Die Arbeitshilfen berücksichtigen die mittlerweile aus zahlreichen Sanierungsprojekten vorliegenden Praxiserfahrungen. Die vom Fachausschuß erarbeitete Arbeitshilfe wurde inhaltlich mit externen Fachleuten abgestimmt. Die bewußt knappe Darstellungsform soll über die wichtigsten Punkte informieren und dem Interessierten die weiterführende Literatur aufzeigen.

Die Anwendung der Arbeitshilfe steht jedermann frei. Die Arbeitshilfe dient zur Unterstützung von Behörden, Gutachtern und Industrie. Durch sie wird eine ingenieurtechnische Projektbearbeitung keinesfalls ersetzt. Rechtliche Ansprüche aus der Anwendung ergeben sich nicht.

# Arbeitshilfe "Dekontamination durch Bodenwaschverfahren"

erarbeitet im Fachausschuß H1 des  
Ingenieurtechnischen Verbandes Altlasten e. V. (ITVA)

## Gliederung

1. Grundprinzip
2. Anwendungsbereiche
3. Voraussetzungen für die Anwendung
4. Allgemeines Verfahrensprinzip
  - 4.1. Vorbereitung des Aufgabegutes
  - 4.2. Schadstoffabtrennung
    - 4.2.1. Naßaufschluß
    - 4.2.2. Abtrennung von Leicht-/Schwerstoffen
    - 4.2.3. Feinstkornabtrennung
  - 4.3. Prozeßwasserabtrennung und Spülung des gereinigten Bodens
  - 4.4. Prozeßwasserkreislaufführung
  - 4.5. Abwasserreinigung
  - 4.6. Abluftreinigung
5. Weiterführende Literatur

## 1. Grundprinzip

Die angewandten Bodenwaschverfahren arbeiten überwiegend mit dem Extraktionsmittel Wasser ggf. unter Zuhilfenahme von Lösungsvermittlern, z.B. waschaktiven Substanzen. Darüber hinaus existieren Verfahren, die anorganische und organische Lösungsmittel verwenden.

Allen Bodenwaschverfahren ist gemeinsam, mit Hilfe von mechanischer Energie die Schadstoffe vom Bodenkorn abzulösen und in die flüssige und gasförmige Phase zu überführen bzw. mit der Bodenfeinstfraktion auszuschleusen. Das Wasser wird dabei als Dispersions-, Lösungs- und Transportmittel benutzt, wobei die Wirksamkeit durch Zusätze, die von der Schadstoffart abhängig sind, verstärkt werden kann. In den betrachteten Verfahren bleibt die Schadstoffmenge über den gesamten Prozeß konstant und nach dem Prozeßdurchgang liegen die Schadstoffe in einer aufkonzentrierten Form vor.

Im allgemeinen sind in Bodenwaschanlagen folgende Verfahrensschritte notwendig:

- Vorbereitung des Aufgabegutes
- Naßaufschluß
- Abtrennung von Leicht-/Schwerstoffen (Sortierung)
- Feinstkornabtrennung
- Prozeßwasserabtrennung und Spülung des gereinigten Bodens
- Prozeßwasserkreislaufführung
- Abwassereinigung
- Abluftreinigung

Die Verknüpfung der Verfahrensschritte ist in Abbildung 1 schematisch dargestellt.

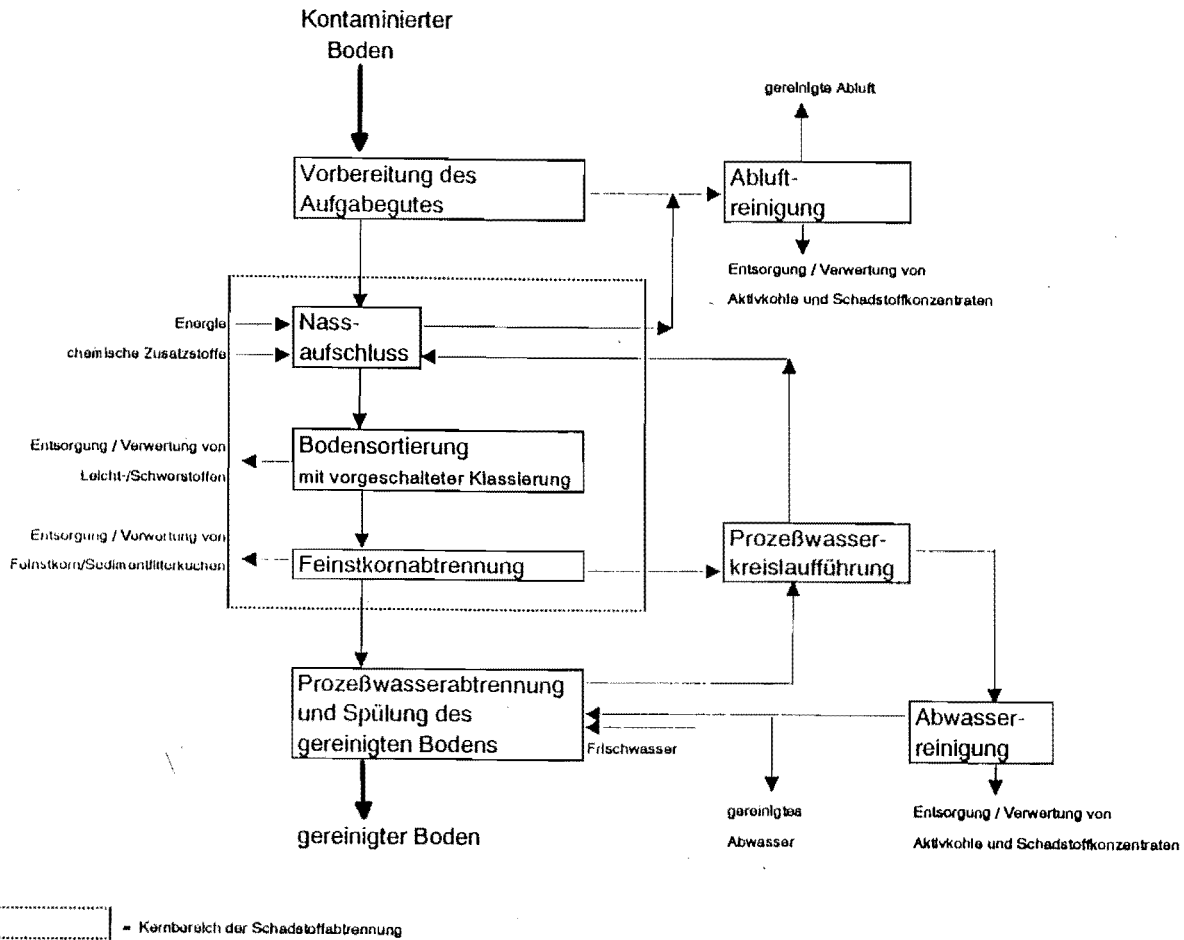


Abb. 1: Schematischer Verfahrensablauf von Bodenwaschanlagen

## 2. Anwendungsbereiche

Einen groben Überblick über die bodenspezifische und schadstoffspezifische Eignung von Boden-

waschverfahren geben Abbildung 2 und 3. Im konkreten Sanierungsfall können die Einsatzbedingungen von den gemachten Angaben abweichen.

Bodenart	nicht geeignet	mit Einschränkung	geeignet
Kies *			x
Mittelsand *			x
Feinsand *			x
schluffiger Sand *			x
Lehm		x	
Ton *	x		
Bauschutt		x	
Schlamm		x	
Asche	x		

\*Gemäß DIN 18196

Abb. 2: Bodenspezifische Eignung von Bodenwaschverfahren

Schadstoffart	nicht geeignet	mit Einschränkung	geeignet
Mineralölkohlenwasserstoffe (MKW)			x
Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)		x	
Leichtflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe (LCKW)			x
Aromatische Kohlenwasserstoffe (AKW)			x
Polychlorierte Biphenyle (PCB)			x
Dioxine und Furane		x	
Cyanide			x
Schwermetalle		x	

**Abb. 3: Schadstoffspezifische Eignung von Bodenwaschverfahren**

### 3. Voraussetzungen für die Anwendung

Ein wesentliches Kriterium für den Einsatz eines Waschverfahrens ist der Anteil an Bodenfeinstbestandteilen. Feinkörnige Bodenarten (u.a. Lehm, Ton, Löß) können in Waschverfahren nur mit Einschränkungen ausreichend gereinigt werden. Als obere Grenze wird ein Anteil von 25 bis 30 Gew.-% an Bestandteilen < 0,02 mm von Anlagenbetreibern angegeben. In Abhängigkeit von den Schadstoffen können auch Böden mit höheren Feinstkomanteilen wirtschaftlich behandelt werden.

Ebenso sind die Grenzen der Waschverfahren durch Art und Verteilung der Schadstoffe im Boden gegeben. Die Beurteilung für die Einsatzmöglichkeiten von Bodenwaschverfahren kann nach Abbildung 4 erfolgen.

Darüber hinaus sind dem Verfahren Grenzen gesetzt, wenn die Schadstoffe als zähflüssige Stoffe (z.B. Teer) vorliegen, die durch "Verschmieren" von Anlagenkomponenten zu Funktionsstörungen führen.

Als Beispiel für eine nicht sinnvoll waschbare Kontamination sei der Fall genannt, in dem die

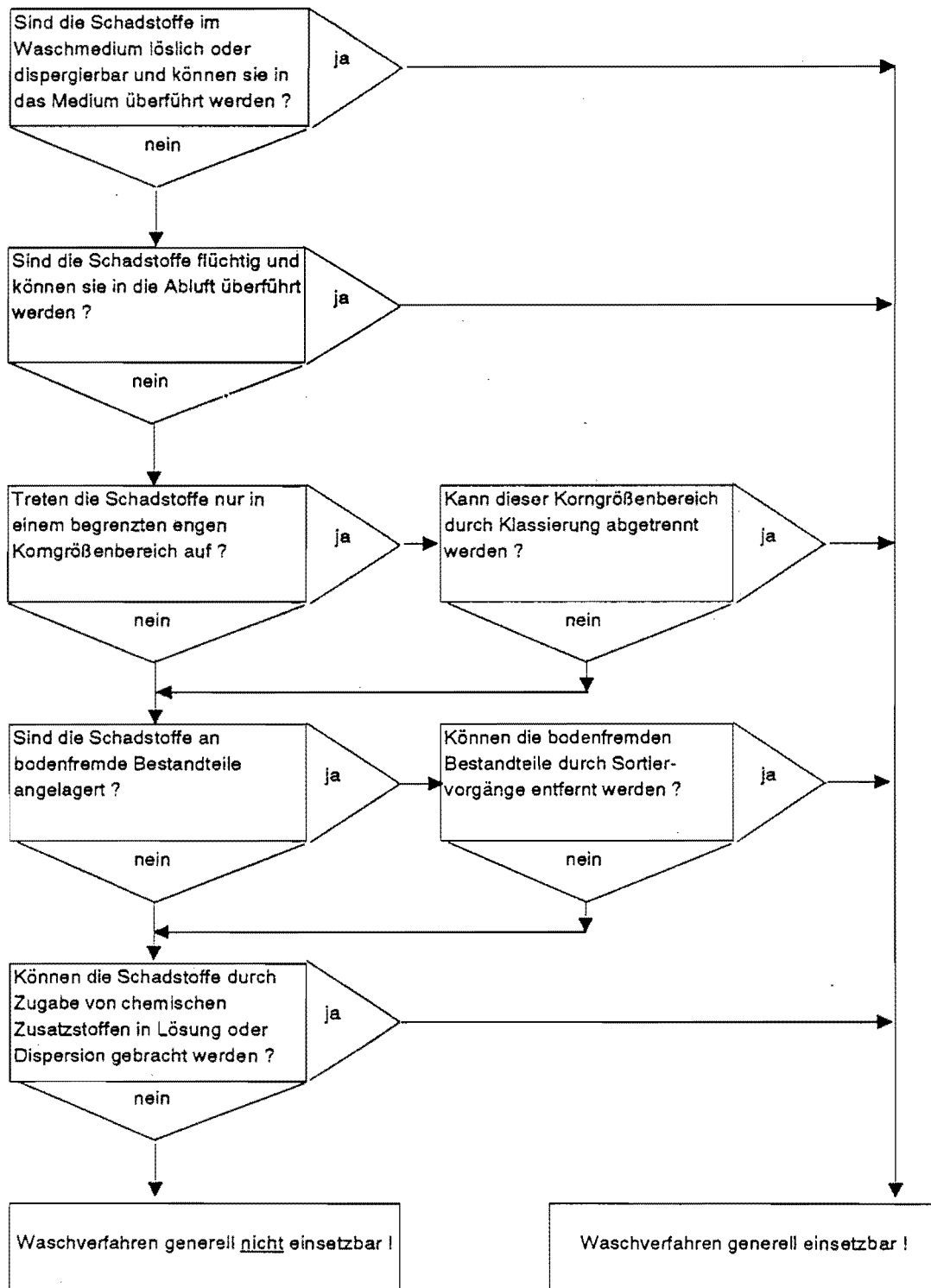
Schadstoffe in poröse Bestandteile inkorporiert sind, und/oder gleichzeitig durch das Waschmedium nicht trennbare Verklebungen mit dem mineralischen Bodenkorn vorliegen.

## 4. Allgemeines Verfahrensprinzip

### 4.1 Vorbereitung des Aufgabegutes

Der zu reinigende Boden kann gröberen Bauschutt und größere Steine sowie sonstige Fremdstoffe (Eisenteile, Folien) enthalten. Damit diese Bestandteile den weiteren Aufbereitungsprozeß nicht stören und negativ beeinflussen, ist deren Abtrennung notwendig.

Die Abtrennung der Grobfraction erfolgt durch Siebung überwiegend im Bereich von 30 mm bis 100 mm je nach der Verfahrenstechnik des der Vorbereitung folgenden Naßaufschlusses. Sofern die Grobfraction im Inneren mit mobilisierbaren Schadstoffen kontaminiert ist und durch eine Bodenwäsche



**Abb. 4: Einsatz von Bodenwaschverfahren in Abhängigkeit von Art und Verteilung der Schadstoffe im Boden**

dekontaminiert werden kann, wird mit Brechern eine geringere Korngröße erzeugt. Falls im Bereich der Absiebung und des Brechens kontaminierte Prozeßluft und Staub oberhalb gültiger Grenzwerte entstehen, müssen die entsprechenden Anlagenkomponenten gekapselt sein und die Abluft einer Reinigungsanlage zugeführt werden, um einen Schadstofftransport in die Umgebungsluft zu verhindern.

## 4.2 Schadstoffabtrennung

Die Bindungsart der Schadstoffe an den Bodenbestandteilen ist ein ausschlaggebendes Kriterium dafür, auf welche Art die Schadstoffabtrennung vom Boden erfolgt. Grundvoraussetzung für den Reinigungsprozeß ist, daß zuerst der Bodenverbund durch Wasser- und Energieeintrag soweit aufgeschlossen wird, daß möglichst alle Kornoberflächen frei zugänglich sind. In Abhängigkeit von der Art der Schadstoffe und deren Löslichkeit im Waschmedium wird durch den Energieeintrag während des Naßaufschlusses eine Ablösung der Schadstoffe von der Kornoberfläche und eine Überführung in das Prozeßwasser und die Prozeßluft erreicht. Dasselbe Ziel hat der Einsatz von chemischen Hilfsstoffen. Im allgemeinen Fall liegen die Schadstoffe dann folgendermaßen vor:

- a) im Waschmedium
  - gelöst (z.B. Salze nach Säurezugabe)
  - niedermolekular dispers
  - kolloid dispers (Sol, Emulsion)
  - grob dispers (Suspension)
- b) gebunden an Feinstbestandteilen
- c) gebunden an Leicht-/Schwerstoffen
- d) als separate Phase
- e) in der Prozeßluft

In weiteren Verfahrensschritten können schadstoffhaltige Leicht-/Schwerstoffe durch Sortiervorgänge und schadstoffhaltige Feinstbestandteile durch Klassierung aus dem Prozeß ausgeschleust werden. Die Behandlung der schadstoffhaltigen Trägermedien (Prozeßluft und Prozeßwasser) vervollständigt die Reinigungstechnologie der Bodenwaschverfahren.

### 4.2.1 Naßaufschluß

Das Ziel des Naßaufschlusses besteht darin, eine möglichst weitgehende Dispersion der Feststoffe zu erreichen und die Ablösung der Schadstoffe durch Energieeintrag zu unterstützen. Kinetische Energie kann auf unterschiedliche Weise zum Zweck der Überwindung von Bindungskräften eingesetzt werden. In der Praxis eingeführt sind Verfahren mit überwiegender Prallbeanspruchung und Verfahren mit überwiegender Reibungsbeanspruchung. Im Einsatz befindliche Apparate mit vorherrschender Prallbeanspruchung sind:

- Hochdruck-Wasserstrahlrohre
- Zentrifugalprallapparate
- Läutertrommeln (Kataraktwirkung)

Scher- und Reibungsbeanspruchungen werden aufgebracht durch:

- Vibrationsschnecken
- Attritionszellen
- Schwerterwäscher
- Läutertrommeln (Kaskadenwirkung)
- Wirbelbettreaktoren

In vielen Fällen werden dem beim Naßaufschluß verwendeten Trägermedium chemische Zusatzstoffe zugegeben. Ziel des Einsatzes der chemischen Zusatzstoffe ist die Überwindung der Bindungskräfte zwischen Schadstoffen und Bodenpartikeln. Eingeführt sind zum einen anorganische Verbindungen wie Säuren und Basen und zum anderen oberflächenaktive Stoffe.

Zum Beispiel kann durch die Zugabe von Säuren der Reinigungseffekt bei solchen Schwermetallverbindungen verbessert werden, deren Löslichkeit im Waschmedium mit abnehmenden pH-Werten steigt.

Oberflächenaktive Stoffe haben die Eigenschaft, sich an Grenzflächen anzureichern und deren Grenzflächenspannung zu mindern, wodurch die Überführung von hydrophoben Schadstoffen in das Waschmedium unterstützt wird.

#### 4.2.2 Abtrennung von Leicht-/Schwerstoffen (Sortierung)

Schadstoffe befinden sich häufig in und an Leichtstoffen (Holzkohle, Schlacke, Holz, etc.). Eine Überführung dieser Kontamination in das Waschwasser ist nicht möglich. Solche Bestandteile müssen vom gereinigten Boden getrennt werden. Die Leichtstoffe haben im Normalfall eine Feststoffdichte von 1,2 - 1,9 g/cm<sup>3</sup> und sind "leichter" als Sand (Feststoffdichte von 2,65 g/cm<sup>3</sup>). In geeigneten Sortierapparaten erfolgt die Abtrennung von Leichtstoffen in Abhängigkeit von der Partikeldichte mittels:

- Setzmaschinen,
- Aufstromsortierern,
- Wendelschneider.

Die Abtrennung von Schadstoffen in Abhängigkeit von der Benutzbarkeit erfolgt in:

- Flotationsapparaten.

Auch für spezifisch schwere Stoffe (Dichte > 4 g/cm<sup>3</sup>) sind Sortierprozesse geeignet.

Um die Einsatzbedingungen hinsichtlich des Körnungsbands zu gewährleisten, ist eine vorhergehende Klassierung notwendig.

#### 4.2.3 Feinstkornabtrennung

Wenn sich die Schadstoffe auf der äußeren Oberfläche der Bodenpartikel befinden, tragen im allgemeinen die Fraktionen mit kleinen Teilchendurchmessern bezogen auf ihre Masse die größte Schadstoffbelastung. Mit abnehmendem Korndurchmesser nimmt der Reinigungsaufwand zu.

Verfahrensabhängig können unterhalb einer bestimmten Korngröße die zur Ablösung der Kontamination notwendigen Kräfte nicht mehr wirtschaftlich aufgebracht werden. Bei Waschverfahren müssen somit diese schadstoffhaltigen Kleinstpartikel ausgeschleust und anschließend entsorgt oder mit anderen Verfahren weiterbehandelt werden.

Die Feinstkornabtrennung erfolgt in 3 aufeinanderfolgenden Schritten:

- Trennung des Feinstkorns von den schadstoffärmeren, größeren Bestandteilen (Klassierung)
- Abtrennung des Feinstkorns aus dem Prozeßwasser (Sedimentation)
- Entwässerung des Feinstkorns (Schlammmentwässerung)

Bei den meisten eingesetzten Waschverfahren erfolgt die Klassierung in Hydrozyklonen, die einen Trennschnitt von 0,1 mm - 0,01 mm haben. Verfahren, die einen höheren Trennschnitt haben, sind auf Anwendungsfälle beschränkt, in denen grobkörnige Böden gereinigt werden sollen.

Die Abtrennung des Feinstkorns aus dem Prozeßwasser erfolgt durch Sedimentationsvorgänge oder durch Flotation. Zur Beschleunigung der Sedimentation ist der Einsatz von Flockungsmitteln notwendig. Großtechnisch werden zur Sedimentation Absetzbehälter ohne oder mit Einbauten (z.B. Lamellenklärer) eingesetzt.

Für Transport und Weiterbehandlung müssen die sedimentierten Feinstbestandteile anschließend weiter entwässert oder getrocknet werden. Dazu werden zur Schlammmentwässerung in der Regel Siebbandpressen oder Kammerfilterpressen eingesetzt.

#### 4.3 Prozeßwasserabtrennung und Spülung des gereinigten Bodens

Nach der Feinstkornabtrennung muß die gereinigte grobe Fraktion vom schadstoffhaltigen Prozeßwasser getrennt werden. Je nach Korngröße werden z.B. Entwässerungssiebe oder Vakuumbandfilter eingesetzt. Prozeßwasserreste an und zwischen den Partikeln werden durch die Spülung mit nicht belastetem Wasser entfernt. Anschließend wird der gespülte Boden erneut entwässert. Um den Spülwasserverbrauch zu senken, kann die Kaskadenspültechnik angewendet werden.

#### 4.4 Prozeßwasserkreislaufführung

Das eingesetzte Wasser wird im Kreis geführt und wieder verwendet. Um einer Aufkonzentration der im Prozeßwasser gelösten Schadstoffe und einer Aufsalzung entgegenzuwirken, wird ein Teilstrom, in der Regel bis zu 10 %, abgezweigt und in einer Abwasserreinigung behandelt.

Darüber hinaus wird der Schadstoffgehalt des Prozeßwassers im jeweils erforderlichen Umfang, z.B. durch Flotation oder durch den Einsatz von Oxidationsmitteln und pulverisierter Aktivkohle, herabgesetzt.

#### 4.5 Abwasserreinigung

Ziel der Abwasserreinigung ist es, die im Prozeßwasser enthaltenen Schadstoffe soweit zu entfernen, daß die Wiederverwendung als Spülwasser anstelle von Frischwasser möglich ist. Falls eine Aufkonzentrierung durch Salze, die im kontaminierten Boden vorhanden sind, verhindert werden soll, wird ein Teil des gereinigten Abwassers in die Kanalisation oder in den Vorfluter eingeleitet. Die örtlichen Einleitbedingungen sind dabei einzuhalten.

Je nach Schadstoffart kommt der Einsatz folgender Verfahren allein oder in Kombination in Betracht:

- Flotation
- Oxidation
- Reduktion
- Neutralisation
- Emulsionsspaltung
- Schwermetallfällung
- Desorptionsverfahren
- Kiesfilterung
- Aktivkohleadsorption

#### 4.6 Abluftreinigung

Ein Teil der Schadstoffe, insbesondere organische Verbindungen, haben bei der Behandlungstemperatur einen Dampfdruck, der so hoch ist, daß sie in die Prozeßluft übergehen. Zusätzlich können im Wasser gelöste und dispergierte Stoffe als Aerosole an die Umgebungsluft abgegeben werden.

Die Bereiche, in denen schadstoffhaltige Prozeßluft entsteht, sind gekapselt, die Luft wird abgesaugt und anschließend gereinigt. Dazu werden z.B. folgende Apparate verwendet:

- Feststoffabscheider
- Tropfenabscheider
- Aktivkohleabsorber (Einwegaktivkohle und/oder regenerierbare Aktivkohle)

Die Abluftreinigung ist dann beim Betrieb von Bodenwaschanlagen erforderlich, wenn durch geeignete einfache Maßnahmen der Austritt von Schadstoffen an die Umgebungsluft nicht verhindert werden kann. Die Abluftmenge muß durch technische Maßnahmen (z. B. Kapselung) soweit reduziert werden, daß die Gefahr, Grenzkonzentrationen durch Verdünnung zu unterschreiten, vermieden wird. Die Anforderungen an die gereinigte Abluft müssen die Grenzwerte der TA-Luft unterschreiten.

#### 5. Weiterführende Literatur

- *Schubert, H.:* Aufbereitung fester mineralischer Rohstoffe, Bd. 1 - 3. - VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1989
- *Hartinger, Dr. L.:* Taschenbuch der Abwasserbehandlung, Bd. 1 + 2. - Carl Hanser Verlag München, Wien 1988
- *Menig, H.:* Luftreinhaltung durch Adsorption, Absorption und Oxidation. - Deutscher Fachschriften Verlag Braun und Co KG, Wiesbaden
- *Brdicka, R.; Dvorak, J.:* Grundlagen der physikalischen Chemie. - Berlin: Deutscher Verlag der Wissenschaften 1984

- *Materialien zur Altlastenbearbeitung, Bd. 12 - Handbuch Bodenwaschverfahren - Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg April 1993*
- *Ullmann Enzyklopädie der technischen Chemie - Hrsg. Ernst Bartholome - Verlag Chemie Weinheim 4. Auflage 1972*

