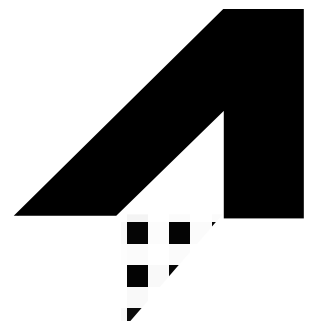


**Schadstoffeinbindung durch Verfestigung
als Möglichkeit der Immobilisierung**



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, Arnsberg; 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:

Dipl.-Ing. Martin Anemüller, Dr.-Ing. Petra Beckefeld, Dr.-Ing. Reinhard Beine, Dr.-Ing. Peter Dreschmann, Dr.-Ing. Bernd Engelmann, Dipl.-Ing. Holger Mergen, Dr. rer.nat. Peter Schröder, Dipl.-Ing. Stepanka Urban-Kiss

© Ingenieurtechnischer Verband Altlasten e.V. ITVA Berlin

Berlin 1995



Schadstoffeinbindung durch Verfestigung als Möglichkeit der Immobilisierung

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 "Schadstoffeinbindung durch Verfestigung als Möglichkeit der Immobilisierung"

erarbeitet im Fachausschuß H1 "Technologien und Verfahren"
Ingenieurtechnischer Verband Altlasten e. V. (ITVA)

Gliederung

1. Grundprinzip
2. Anwendungsbereiche
3. Verfahrensprinzip
4. Anforderungen an das verfestigte Material
5. Weiterführende Literatur

1. Grundprinzip

Bei der Anwendung von Immobilisierungsverfahren werden die im verunreinigten Material vorhandenen Schadstoffe nicht eliminiert, sondern so eingebunden, daß ein Austritt in die Umwelt behindert oder verhindert wird. Es können Stäube, Schlämme, kontaminierte Böden sowie Bauschutt behandelt werden. Es sind verschiedene Immobilisierungsverfahren bekannt; z.B. Verdichtung, Versiegelung, Verglasung (detaillierter in [10]). Dabei werden unterschiedliche Mechanismen wirksam, durch die verschiedene stoffliche Barrieren gebildet werden, auf deren nähere Darstellung hier verzichtet wird (siehe dazu [10]). Im Bereich Altlastensicherung derzeit baupraktisch relevant sind die Verfahren zur Schadstoffeinbindung durch Verfestigung.

Bei diesen Verfahren wird das Material mit Bindemitteln und Wasser gemischt, in Schalungen gefüllt oder am Standort eingebaut und verdichtet bzw. in Formkörper gepreßt oder pelletiert. Das Endprodukt nach dem Aushärtungsprozeß ist ein weitgehend wasserundurchlässiger und fester Monolith. Die Herstellung erdbetonähnlicher Produkte hoher Festigkeit hat dazu geführt, daß diese Verfahren häufig als "Verfestigung" bezeichnet werden. Die auf diesem Prinzip beruhenden, im folgenden dargestellten Immobilisierungsverfahren, werden sowohl in der Altlastensicherung als auch zur Vorbehandlung von Abfällen vor ihrer Ablagerung auf Deponien eingesetzt. Genehmigungsrechtlich ergeben sich daraus unterschiedliche Anforderungen.

Bei dieser Art der Immobilisierung werden folgende Ziele angestrebt (in Anlehnung an [10]):

- Verminderung der Eluierbarkeit bzw. Löslichkeit,
- Verminderung der spezifischen Oberfläche,
- Reduzierung der Wasserdurchlässigkeit,
- Verbesserung der Druckfestigkeit,
- Konditionierung fließfähiger Stoffe,
- Verminderung der Staubbildung,
- Erhöhung der Erosions- und der Abriebstabilität.

Die Immobilisierung kann sowohl über physikalische als auch über chemische Mechanismen erfolgen. Bei den meisten derzeit in Deutschland eingesetzten Verfahren werden hydraulische Bindemittel verwendet, vorwiegend Zement bzw. Spezialbindemittel auf Zementbasis, teilweise auch Kalk, Gips, Wasserglas, Ton oder Braunkohlenflugasche. Teilweise werden organische Bindemittel verwendet, in Kombination mit hydraulischen, oder auch Thermoplaste. Einige Verfahren arbeiten mit weiteren Additiven. Bindemittelzusammensetzung und Rezepturen sind Bestandteil der Verfahren, sie sollten von den Anbietern im Genehmigungsverfahren offengelegt werden.

Bei der Behandlung erhöht sich die Materialmenge um den Bindemittelanteil. Diejenigen Verfahren, bei denen das Gemisch mit intensiver Verdichtung eingebaut wird, erzeugen dennoch keine oder nur geringe Volumenzunahmen bzw. bei Stäuben eine Volumenverringering. Die Erhöhung der Dichte ist bei Lastannahmen zu berücksichtigen.

2. Anwendungsbereiche

Verfestigungsverfahren werden bei der Sanierung sowohl von Altstandorten als auch von Altablagerungen eingesetzt. In der Regel erfolgt die Behandlung on site oder off site in mobilen oder in stationären Anlagen. In-situ-Verfahren (z.B. Injektionen) sind selten und nicht Gegenstand der weiteren Ausführungen.

Immobilisierungsverfahren werden derzeit insbesondere dann eingesetzt, wenn einer oder mehrere folgender Faktoren gegeben sind:

- feinkörniges Material (Schluff, Ton, Staub, Schlamm),
- organische und anorganische Inhaltsstoffe in Böden,
- geringe bis mittlere Gehalte an organischen Inhaltsstoffen,

- geringe bis hohe Gehalte an anorganischen Inhaltsstoffen.

Ohne Schwierigkeiten können einige Schwermetalle eingebunden werden, wenn sie in Kationenform vorliegen und unter alkalischen Bedingungen schwerlösliche Verbindungen bilden. Der Nachweis hierfür wird vorab im Rahmen der Eignungsprüfung im Laborversuch bei der Ermittlung der mechanischen Eigenschaften und des Auslaugverhaltens erbracht. In Abhängigkeit von den verwendeten Bindemitteln und Verfahrenstechniken sind auch Cyanide sowie organische Schadstoffe, wie z.B. PAK, PCB und Phenole, bereits im technischen Maßstab immobilisiert worden (siehe [1], [6]).

Altablagerungen von Filterstäuben können mit diesem Verfahren behandelt werden, ebenso Reststoffe aus Dekontaminationsverfahren. Bei der Verfestigung von Schlämmen ist in vielen Fällen die Zugabe von Stützkorn sinnvoll. Kontaminierte Böden stammen in der Regel von Altstandorten und können gemeinsam mit kontaminiertem Bauschutt, der bei vielen Sanierungsmaßnahmen gleichzeitig anfällt, behandelt werden.

In Abhängigkeit von der Schadstoffzusammensetzung und vom Verfahren sind u.a. nachfolgende Anwendungen des Verfahrens bzw. Verwendungen des verfestigten Materials zweckmäßig:

- Vorbehandlung derart, daß ein Abfall deponierfähig wird (vgl. TA Abfall, Teil 1: Technische Anleitung zur Lagerung, chemisch/physikalischen, biologischen Behandlung, Verbrennung und Ablagerung von besonders überwachungsbedürftigen Abfällen vom 12. März 1991),
- Verwendung des Verfestigungsproduktes auf der Deponie innerhalb des Ablagerungsbereiches, u.a. als Sicherung von Böschungen, Tragschicht von Baustraßen oder Lagerflächen,

- Wiedereinbau am Standort unter definierten Randbedingungen, z.B. zur Verwendung als Tragschicht auf Betriebsgeländen oder zur Geländemodellierung,
- Einbau off site als Kern von Lärmschutzwällen sowie im Landschaftsbau. Hierzu bedarf es einer gesonderten Genehmigung.

Wird das behandelte Material außerhalb von Deponien eingebaut, so ist eine dauerhafte Dokumentation (z.B. Bodenbelastungskataster, Bauleitplanung) erforderlich. Näheres zur Verwertung ist in [4] geregelt.

Die reinen Behandlungskosten (ohne z.B. Aushub, Transport, Baustelleneinrichtung, Einbau) betragen z.Zt. ca. 100-200 DM/Tonne verunreinigten Materials. Die entstehenden Kosten sind hauptsächlich abhängig von den Eigenschaften des zu behandelnden Materials, den enthaltenen Schadstoffen (Art, Konzentration und Verteilung), den zu behandelnden Mengen und dem späteren Verwendungszweck, auf die das Verfahren und die Rezeptur abgestimmt werden müssen.

3. Verfahrensprinzip

On-site- und off-site-Verfahren beinhalten im wesentlichen folgenden Ablauf (siehe Abbildung 1):

1. Aushub, Transport zur Anlage, ggfs. Zwischenlagerung auf gesicherter Fläche,
2. Vorbehandlung: brechen, evtl. klassieren, evtl. magnetabscheiden,
3. evtl. aufbereiten der Bindemittel und der Zuschlagstoffe,
4. dosieren des kontaminierten Materials und der Zuschlagstoffe,
5. mischen, evtl. formen, evtl. thermisch behandeln, evtl. aushärten lassen,
6. fördern/befördern, ablagern evtl. mit vorheriger Verdichtung/Rückbau, Aushärtung.

4. Anforderungen an das verfestigte Material

Es gibt bisher keine bundeseinheitlichen Regelungen mit Ausnahme der TA Abfall, Teil 1 für den Deponiebereich. Die LAGA bearbeitet derzeit technische Regeln für die Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen (siehe [4]). In der Altlastensanierung und bei der Ablagerung auf Deponien werden üblicherweise sowohl das Auslaugverhalten als auch die mechanischen Eigenschaften des verfestigten Materials geprüft:

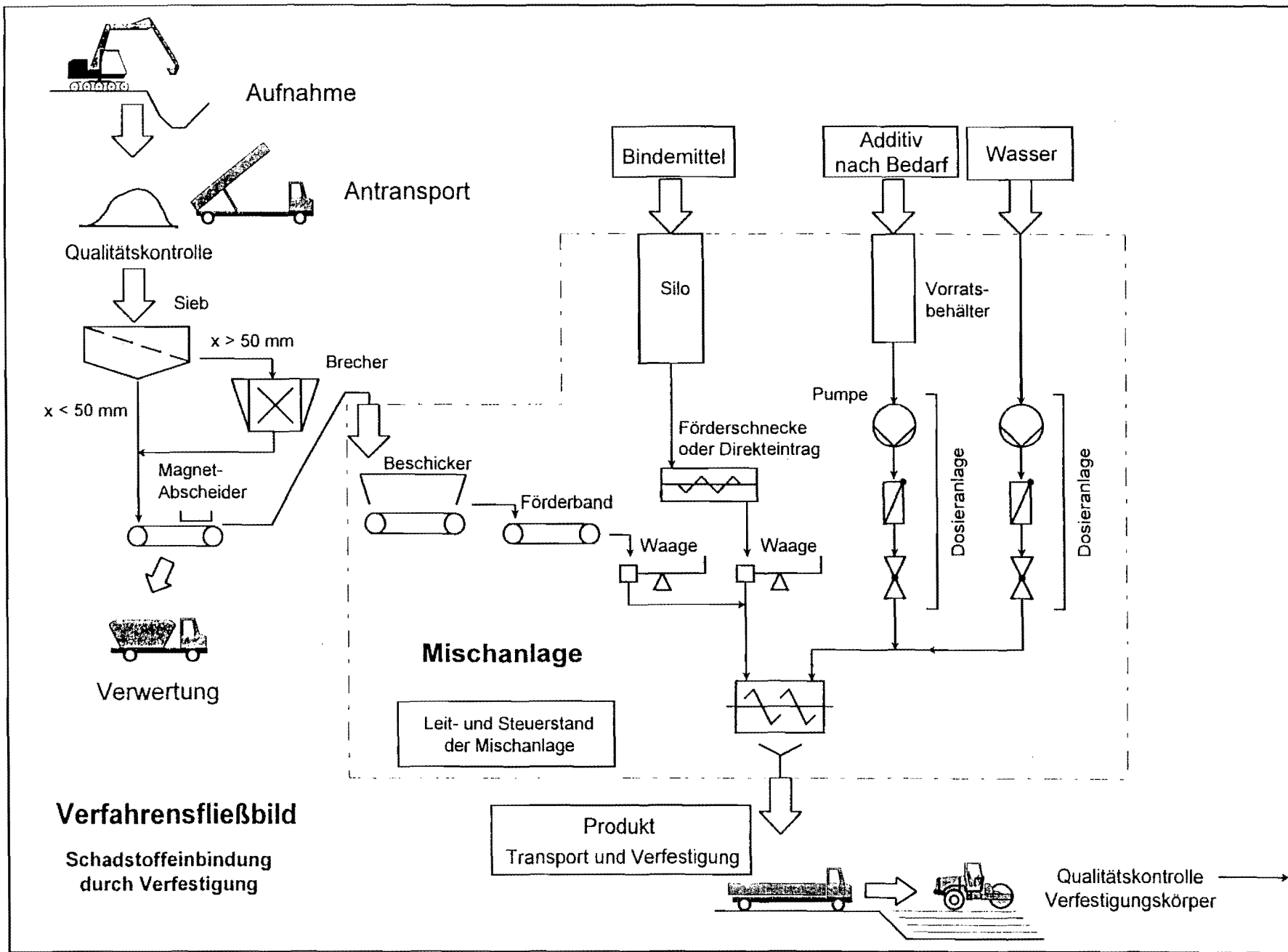
Auslaugverhalten:

- Das zu verwendende Elutionsverfahren sowie die einzuhaltenden Grenzwerte sind nach Abstimmung mit der zuständigen Behörde entsprechend den Anforderungen an die Ablagerung bzw. an die Sanierungsziele festzulegen. Derzeit gibt es noch kein Standardverfahren. Häufig wird der Test in Anlehnung an DIN 38 414-S4, meist am unzerstörten Probekörper, gefordert (siehe TA Abfall, Teil 1, Anhang H).
- Die chemische Analytik richtet sich nach dem Schadstoffspektrum und der beabsichtigten Verwendung des verfestigten Materials.

Mechanische Eigenschaften:

- Wasserdurchlässigkeit, Durchlässigkeitsbeiwert k_f , ermittelt im Durchströmungsversuch in der Triaxialzelle nach DIN 18 130, Orientierungswert $k_f < 10^{-9}$ m/s
- Einaxiale Druckfestigkeit in Anlehnung an DIN 18 136, Orientierungswert $q_u > 2,5$ MN/m², je nach Verfahren können auch geringere Festigkeiten ausreichen. Die Wirksamkeit des Verfahrens ist in der Eignungsprüfung nachzuweisen

Zerfallbeständigkeit bei Lagerung unter Wasser, im Versuch nach ENDELL nachzuweisen (siehe [2]).



ITVA-Arbeitsnife "Schadstoffeinbindung durch Verfestigung als Möglichkeit der Immobilisierung"

Mögliche Nebenreaktionen, wie z.B. eine mögliche Freisetzung von Schadstoffen bei Bindemittelreaktionen, sind zu berücksichtigen. In Abhängigkeit von der Verwendung des Materials sind zusätzlich entsprechende Untersuchungen erforderlich.

Die Einhaltung der geforderten Eigenschaften ist im Rahmen eines Qualitätssicherungssystems nachzuweisen. Dazu sind vorab Eignungsprüfungen durchzuführen, in denen das Auslaugverhalten und die mechanischen Eigenschaften des verfestigten Materials beurteilt werden. Im Rahmen der Güteüberwachung ist die Einhaltung der Rezeptur sowie der in der Eignungsprüfung optimierten Eigenschaften im Anlagenbetrieb nachzuweisen.

Langzeitbeobachtungen müssen zusätzlich durchgeführt werden, insbesondere, da die Verfahren, die heute Stand der Technik sind, erst seit wenigen Jahren in größerem Umfang eingesetzt werden. Daher müssen wissenschaftlich fundierte Ergebnisse über längere Zeiträume hinweg gewonnen und mit den im Labormaßstab aus Zeitrafferversuchen vorliegenden Erkenntnissen verglichen werden.

5. Weiterführende Literatur

- [1] *Beckefeld, P. 1994: Vor-Ort-Sanierung durch Schadstoffeinbindung zur Baugrundvorbereitung, in: TÜV Rheinland (Hrsg.), Forum Umweltschutz '94, Altlasten und kontaminierte Böden, Köln, in Druck.*
- [2] *Endell, K., Loos, W., Breth, H. 1939: Zusammenhang zwischen kolloidchemischen sowie bodenphysikalischen Kennziffern bindiger Böden und Frostwirkung. Forschungsarbeiten aus dem Straßenwesen, Band 16, Volk und Reich Verlag, Berlin.*
- [3] *Jessberger, H.L. (Hrsg.) 1994: Sicherung von Altlasten, Balkema, Rotterdam-Brookfield.*
- [4] *Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA): Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen, Technische Regeln.*
- [5] *Krings, W. 1990: Baustellenerfahrungen mit der Verfestigung kontaminierter Böden, in [9].*
- [6] *LfU Baden-Württemberg 1994: Handbuch Altlasten und Grundwasserschadensfälle, Immobilisierung von Schadstoffen in Altlasten.*
- [7] *LWA Nordrhein-Westfalen (Hrsg.) 1994: Beurteilung von Verfahren zur Verminderung der Mobilität von Schadstoffen in abzulagernden Abfällen, Materialien des Landesamtes für Wasser und Abfall NRW, Düsseldorf.*
- [8] *N.N. 1987: Entwicklung von Untersuchungsverfahren zur Beurteilung des Verhaltens von verfestigten Abfällen bei der Ablagerung auf Deponien und zur Festlegung von Güteanforderungen. Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Institut für Grundbau und Bodenmechanik der Technischen Universität Braunschweig, Braunschweig.*
- [9] *Rodatz, Beckefeld, Sehrbrock (Hrsg.) 1990: Standsicherheiten im Deponiebau / Schadstoffeinbindung durch Verfestigung von Abfällen, Fachseminar 19./20. März 1990, Mitteilungen des Instituts für Grundbau und Bodenmechanik der TU Braunschweig, Heft 31, Braunschweig.*
- [10] *SRU (Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen) 1990: Sondergutachten "Altlasten", Metzler-Pöschel, Stuttgart.*
- [11] *Wiedemann, H.U. 1982: Verfahren zur Verfestigung von Sonderabfällen und Stabilisierung von verunreinigten Böden - Stand der Erkenntnisse und Anwendungsmöglichkeiten - Erich Schmidt Verlag, Berlin.*