

VIII. ZUSAMMENFASSUNG

Die Immobilisierung bzw. Verfestigung von Abfällen ist nur ein möglicher Behandlungsschritt vor der Ablagerung, neben anderen Behandlungsmöglichkeiten. Es werden verschiedene Methoden, Verfahren und Bindemittel angeboten, z.B. Zement, Flugasche, organische Bindemittel etc. Zur Wirksamkeit der Schadstoffeinbindung - insbesondere auch bei der Behandlung gefährlicher Abfälle - existieren in der Literatur zum Teil widersprüchliche Aussagen. Es bestand daher die Notwendigkeit, auf der Basis der Kenntnis des Standes der Technik und der Grenzen der Immobilisierungs-Verfahren Empfehlungen für eine mögliche Behandlung nicht verwertbarer Abfälle im Bereich der Stadt Wien zu erarbeiten. Der vorliegende Bericht ist in folgende Abschnitte unterteilt:

- Abschnitt I enthält eine Einführung in die Problematik und Begriffsbestimmungen
- In den Abschnitten II, III und IV wird der Stand der Technik der einzelnen Verfahren der Immobilisierung dargestellt; es werden neuere Entwicklungen und Entwicklungsmöglichkeiten aufgezeigt
- Der Abschnitt V beschäftigt sich mit Wasch-, Extraktions- und Laugungsverfahren
- In Abschnitt VI werden Kriterien für immobilisierte Abfälle diskutiert
- Abschnitt VII enthält einen Negativkatalog (Gliederung wie ÖNORM S 2100) und detaillierte Empfehlungen für besondere Abfälle

Zu den Inhalten der Abschnitte im Einzelnen:

Abschnitt I:

Unter dem Begriff Immobilisierung versteht man die Verringerung der Mobilität von Abfallinhaltsstoffen durch chemische Wechselwirkung (chemische Immobilisierung) und/oder durch eine "innere" hydraulische Barriere (=physikalische Immobilisierung).

Chemische Immobilisierung bedeutet Verringerung der Mobilität der Abfallinhaltsstoffe durch starke oder schwache chemische Wechselwirkung; also z.B. durch kovalente Bindung oder Fällung aber auch z.B. durch Adsorption und Absorption.

Physikalische Immobilisierung bedeutet Verringerung der Wasserwegsamkeit bzw. Auslaugung durch eine innere Barriere. Eine sehr geringe Durchlässigkeit ($< 10^{-8}$ m/s) ist entweder bereits vorhanden oder entsteht durch Reaktion mit Wasser (=Hydratation) oder wird durch Behandlung und innige Durchmischung mit einem Bindemittel erreicht. Für die zu erreichende Undurchlässigkeit ist je nach Toxizität und Gehalt der toxischen Abfallinhaltsstoffe ein adäquates Anforderungsniveau festzulegen; ein in der Triaxialzelle meßbarer Durchlässigkeitsbeiwert von $< 10^{-8}$ m/s soll lediglich ein Mindestmaß sein, ab dem von "physikalischer Immobilisierung" gesprochen werden kann. Die Ablagerung erfolgt in Form großer Formstücke (z.B. Blöcke; Dimension $> ca. 1$ m) oder monolithisch (z.B. durch lagenweise Verdichtung).

Abschnitt II:

In Abschnitt II werden die Möglichkeiten und Grenzen jener „kalten“ Verfahren dargestellt, bei denen ein hydraulisches Bindemittel oder eine umhüllende, zur Aushärtung befähigte Masse den Abfallstoff inkorporiert bzw. teilweise chemisch bindet. Primär handelt es sich dabei um folgende Bindemittel:

- Zement, Zementsorten
- Kohleasche, Puzzolane
- Wasserglas bzw. Silikatgel
- Schwefel
- Bitumen
- Organische Bindemittel

Mit den genannten Bindemitteln können unter Beachtung chemischer und physikalischer Wechselwirkungen sehr gering durchlässige, druckstabile und witterungsresistente Formkörper oder Schichten hergestellt werden. Hiefür sind auf den jeweiligen Problemfall zugeschnittene Rezepturen einzuhalten. Insbesondere bei Zementsorten und Kohleaschen als Bindemittel konnte aufgezeigt werden, daß der Erfolg der Verfestigung/Immobilisierung sehr stark von den Mischungsverhältnissen (Wasser : Bindemittel, Bindemittel : Abfall, Schluff+Ton : Größere Körnungen etc.) abhängt.

In der Entsorgungspraxis ist derzeit Zement von großer Bedeutung; Immobilisierungsverfahren auf der Basis von Schwefel, Bitumen und organischen Bindemitteln sind meist kostspieliger und aufwendiger, da z.B. bei Schwefel, Bitumen und Polyolefinen eine Trocknung der Abfallstoffe erforderlich ist. Zementsorten (Portlandzement, Flugaschezement, Compositzement) können in Kombination mit Kohleaschen bzw. Kieselsäuregel bzw. mit Kalk und latent hydraulischen, silikatischen Abfällen eingesetzt werden. Durch spezielle Additive kann eine chemische Einbindung auch solcher Schadstoffe erreicht werden, die sonst nicht von der Zementmatrix chemisch fixiert werden. Treiberscheinungen und Reaktionen (z.B. durch Gips oder unedle Metalle), die zur Schädigung des Zementsteines führen können, sind bei der Auswahl der Bindemittelart und der zu verfestigenden Abfälle zu berücksichtigen. Die Abbindezeiten dürfen nicht zu kurz sein; andernfalls steigt die Gefahr von Treiberscheinungen. Organische - insbesondere reaktive - Abfälle sind für eine Verfestigung mit Zement häufig ungeeignet. Für anorganische Abfälle gilt, daß die hohe Alkalität des Zementsteines einer langfristigen Schwermetallremobilisierung (saurer Regen.....) entgegenwirkt.

Die Immobilisierung mit (latent) hydraulisch aktiven, silikatischen Abfällen als Bindemittel („Puzzolane“: Kohleaschen, Hochofenschlacke...), eventuell unter „alkalischer Anregung“ durch Kalk erfordert eine sorgfältige Auswahl - eventuell auch ein Mahlen - der silikatischen Komponente und eine verstärkte Qualitätssicherung. Die Zeit für ein vollständiges bzw. weitgehendes Aushärten kann bei dieser Immobilisierungsmethode mehrere Monate betragen. Eine sehr geringe, langfristig abnehmende Durchlässigkeit und mäßig hohe Druckfestigkeit wird bei geeigneter Bindemittelzusammensetzung erreicht. Durch den hohen Bindemittelbedarf kann ein gewisser Verdünnungseffekt eintreten.

Abschnitt III

Der Entwicklungsstandes der sogenannten „Konversionsverfahren“, also jener Verfahren, die durch hohe Temperaturen Abfallstoffe bzw. Verbrennungsrückstände in glasartige Schlacken und Schmelzprodukte umwandeln, wird dargestellt. Die Abfallstoffe werden dabei zu verwertbaren Mineralstoffen „konvertiert“. Der für den Schmelzprozeß notwendige Energiebedarf ist - wenn die Energieinhalte brennbarer Abfälle vor Ort genutzt werden - vertretbar; die Auslaugbarkeit des Schmelzproduktes ist im Allgemeinen sehr gering. Daraus folgt, daß bei der Errichtung von Neuanlagen der thermischen Abfallbehandlung - mit Ausnahme der Wirbelschichttechnologie - eine „Konversion“ von Schlacke und Asche anzustreben ist. Bei MVA-Schlacke aus bestehenden Verbrennungsanlagen kann eine wirtschaftlich vertretbare Verwertung eher durch Schlackenalterung und -aufbereitung erreicht werden (siehe Abschnitt V).

Es besteht auch die Möglichkeit einer thermischen Behandlung von Filterstäuben und/oder des Filterkuchens ohne Schmelzen, also z.B. bei 650°C. Durch eine derartige, in Entwicklung befindliche Behandlung können Hg-Verbindungen und PCDD/F-Isomere spezifisch abgetrennt werden; außerdem wird der Gehalt an organischem Kohlenstoff vermindert. Wahrscheinlich können derart behandelte Reststoffe aus der Abgasreinigung mit Zement oder in einer Tonmineralmatrix immobilisiert werden. Dies ist im Einzelnen noch zu prüfen.

Abschnitt IV:

Die Eigenschaften einer mineralischen Matrix mit einem Anteil an aktiven Tonmineralien, nämlich sehr geringe Durchlässigkeit, dauerhafte Plastizität und ein gewisses Schadstoffbindevermögen, werden bei der Immobilisierung mit mineralischen Feinteilen genutzt. Zum Schadstoffbindevermögen tragen Ionenaustausch, Adsorption, Fällungsreaktionen und diagenetische Mineralneubildungsprozesse bei. Das Verfahren eignet sich für Abfälle oder Reststoffe mit anorganischem Schadstoffgehalt bzw. für Abfallstoffe mit organischen, aber biologisch nicht (oder nur schwer) abbaubaren Anteilen. In beiden Fällen können modifizierte, z.B. organophilisierte Tonminerale eingesetzt werden. Biologische Abbauvorgänge werden durch die Einbindung in die Matrix nicht verhindert. Gasbildung und biogene Versäuerung können sich dabei negativ auf die Systemdurchlässigkeit und auf das Schadstoffbindevermögen auswirken. Wechselwirkungen zwischen Porenwasserinhaltsstoffen und der Matrix, die das Quellverhalten der Tonminerale verändern und damit die Durchlässigkeit der Matrix erhöhen können, sind durch Auswahl der eingesetzten Abfallstoffe zu vermeiden.

Abschnitt V:

Dieser Abschnitt beschäftigt sich unter dem Titel „Extraktions-, Wasch- und Laugungsprozesse“ hauptsächlich mit der Behandlung von Rückständen aus der Abfallverbrennung. Ein mögliches Szenario für die Verwertung und Behandlung von Rückständen im Bereich der Stadt Wien wurde von uns in diesem Zusammenhang im Abschnitt VII/4 dargestellt. Als Aufbereitungsmethoden für MVA-Schlacke scheinen in Zukunft die Alterungs- und/oder Naßverfahren an Bedeutung zu gewinnen. Bei Filterstäuben aus MVA und aus der „Sonderabfall“-Verbrennung können leicht mobilisierbare Schwermetallverbindungen durch saure Wäsche abgetrennt werden. Eine Verwertung der Metallkonzentrate mittels hüttentechnischer Verfahren wäre in diesem Fall anzustreben.

Abschnitt VI

Die Kriterien für Produkte der Immobilisierung/Verfestigung werden aufgrund der Tatsache, daß nicht immer eine chemische Schadstofffixierung erreicht werden kann, neu zu überdenken sein (siehe auch Abschnitt VII/1). Abfallproben sollten vor einer Immobilisierung und nach einer Immobilisierung sowohl zerkleinert als auch nicht zerkleinert eluiert werden. Ergänzende Feldversuche bzw. Prüfungen zur Sicherung der Qualität (z.B. Erreichen einer geforderten Sieblinie, keine Rißbildung, Langzeitbeständigkeit, Feld-Durchlässigkeit) sind erforderlich. Immer ist für schadstoffhaltige Produkte eine sehr geringe Durchlässigkeit anzustreben. In kleinem Maßstab kann die Durchlässigkeit in einer Triaxialzelle gemessen werden. Die Diffusion ist ein weiterer, für die langfristige Schadstofffreisetzung wesentlicher Parameter. Zwischen Druckfestigkeit und Schadstofffreisetzung besteht kein unmittelbarer Zusammenhang, sodaß hohe Druckfestigkeit nicht in jedem Fall zu fordern ist.

Abschnitt VII

Bei der Bearbeitung des Abfallkataloges (Abschnitt VII/2) konnten nicht für alle Abfälle der ÖNORM S 2100 eindeutige Empfehlungen gegeben werden; fallweise fehlen einschlägige Daten bzw. Hinweise in der Literatur. Aufgrund konkreter experimenteller Studien und praktischer Erfahrungen - z.B. auch in der Betontechnologie - wurden dennoch zahlreiche Abfallstoffe als ungeeignet oder bedingt geeignet eingestuft. Als Grundlagen für die Erstellung des Abfallkataloges dienten unter anderem die in Abschnitt VII/1 genannten Studien und die bisher vorliegenden Ergebnisse zur „diagenetischen Inertisierung“.

Insbesondere sind Abfälle mit hohem organischen Anteil aufgrund ihrer gefügezerstörenden Eigenschaften bzw. wegen der auftretenden Emissionen auszuschließen. Bei Abfällen mit mobilen organischen Schadstoffen (z.B. Phenol) wiederum kann in den allermeisten Fällen keine ausreichende Schadstoffeinbindung erwartet werden, wenn nicht durch spezielle, auf den jeweiligen Schadstoff zugeschnittene Additive für eine chemische Fixierung gesorgt wird.

Zusammenfassend kann ausgesagt werden, daß für die Ablagerung anorganischer, nicht oder kaum reaktiver Reststoffe die Immobilisierung weiterhin von steigender Bedeutung sein wird. Eine „sickerwasserfreie“ Ablagerung kann auch bei sehr geringer Durchlässigkeit des Deponiekörpers derzeit nicht garantiert werden, sodaß bei schadstoffhaltigen Abfällen stets ein Basisdichtungssystem und eine Sickerwasserentsorgung erforderlich sind. Schließlich sei nochmals auf die Möglichkeiten der Verwertung silikatreicher anorganischer Abfallstoffe, z.B. als ungebundener Baustoff oder stoffliche Verwertung bei der Zementherstellung hingewiesen.