

Landfill Mining – Motivation und Techniken des Deponierückbaus

Peggy Hiemann

Prof. Dr.-Ing. Horst Görg

1. Landfill Mining als „neue“ Motivation zum Deponierückbau

Landfill Mining stellt sich als Teilbereich des Urban Mining dar. Dieser Begriff umfasst alle Rohstofflagerstätten, welche vom Menschen über die Zeit hinweg geschaffen wurden. Hierzu gehören beispielsweise unsere Städte und eben auch unsere Deponien. Beim Landfill Mining steht per Definition als klares Ziel die Wertstoffrückgewinnung aus Deponien und damit die Schaffung einer neuen Ressourcenquelle im Vordergrund [4]. Durch immer kostengünstigere Produkte und den Nachholbedarf sich entwickelnder Volkswirtschaften wie China, Indien und Brasilien steigt der Rohstoffverbrauch und damit verbunden auch die Rohstoffpreise. Unsere natürlichen Ressourcen und Reserven werden diesen Rohstoffbedarf auf lange Sicht nicht allein decken können. Landfill Mining umfasst somit die Möglichkeit, Rohstoffe aus bereits bestehenden Deponien „herauszufiltern“ und wieder neu als Wirtschaftsgut zu verwenden. Es wird davon ausgegangen, dass in Deponien ein großes, bisher ungenutztes Rohstoffpotential vorhanden ist [15]. Demgegenüber stehen unsere zunehmend schwindenden natürlichen Rohstoffe. Nach Untersuchungen des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie wird das Vorkommen verschiedener Rohstoffe weltweit in der Erdkruste folgendermaßen eingeschätzt:

Tabelle 1: Vorhandene Rohstoffvorkommen in der Erdkruste nach bmwi [2]

	Reserven, weltweit	Ressourcen, weltweit
Steinkohle	785,00 [Mrd.t]	4.060,00 [Mrd.t]
Braunkohle	204,00 [Mrd.t]	923,00 [Mrd.t]
Erdöl	160,00 [Mrd.t]	82,00 [Mrd.t]
Erdgas	176.000,00 [Mrd.m ³]	270,00 [Mrd.m ³]

Reserven sind sicher nachgewiesenen Vorkommen, die nach dem heutigen Stand der Technik wirtschaftlich abbaubar sind. Bei Ressourcen hingegen handelt es sich um Vorkommen, die zwar nachweislich vorhanden sind aber gegenwärtig noch nicht wirtschaftlich gefördert werden können.

Wie die obige Tabelle 1 darstellt, weisen die Reserven bzw. die Ressourcen je nach Stoffgruppe starke Unterschiede auf. Beispielsweise sind die Ressourcen der Steinkohlevorkommen sehr viel größer als deren Reserven, während bei den Erdgasvorkommen die Reserven die Ressourcen übersteigen. Es kann hier also keine pauschale Aussage über die Verfügbarkeit der verschiedenen Rohstoffe gemacht werden. Eine andere Darstellung für die Verfügbarkeit von Rohstoffen ist die Reichweite, welche in der nachfolgenden Tabelle 2 für Erdöl, Erdgas, Hartkohle und Weichbraunkohle und verschiedene Metalle in Jahren dargestellt ist.

Tabelle 2: Reichweite verschiedener Rohstoffe und Metalle [7]

Rohstoff	Reichweite (bez. auf Reserven) [Jahre]	Reichweite (bez. auf Reserven + Ressourcen) [Jahre]
Erdöl	42	63
Erdgas	63	134
Hartkohle	136	1.770
Weichbraunkohle	28	3.360
Blei	20	k.A.
Zink	22 Jahre	k.A.
Kupfer	31 Jahre	k.A.
Cadmium	34 Jahre	k.A.
Nickel	44 Jahre	k.A.

Es zeigt sich, dass beispielweise Erdöl und Erdgas nur noch wenige Jahrzehnte unseren Bedarf decken können. Bei den Kohlevorkommen ist noch mit einer Reichweite von bis zu 1.770 Jahren für Hartkohle und 3.360 Jahre für Weichkohle zu rechnen. Es ist erkennbar, dass sich die Reichweite der verschiedenen Metalle noch kritischer darstellt. Viele dieser Metalle werden in der Elektronikindustrie und dem Maschinen- und Anlagenbau für Legierungen verwendet. Auch die Kommunikationstechnologie ist auf diese immer seltener wer-

denden Metalle angewiesen. Der Reichweite der Rohstoffe stehen ein hoher Bedarf und Verbrauch der genannten Güter gegenüber. Es werden immer mehr Wertstoffe für Konsumgüter, Forschung und Entwicklung benötigt. Die Rohstoffpreise werden immer weiter ansteigen. In der folgenden Abbildung 1 sind demgegenüber nach Schätzungen die Wertstoffmengen deutscher Deponien dargestellt.

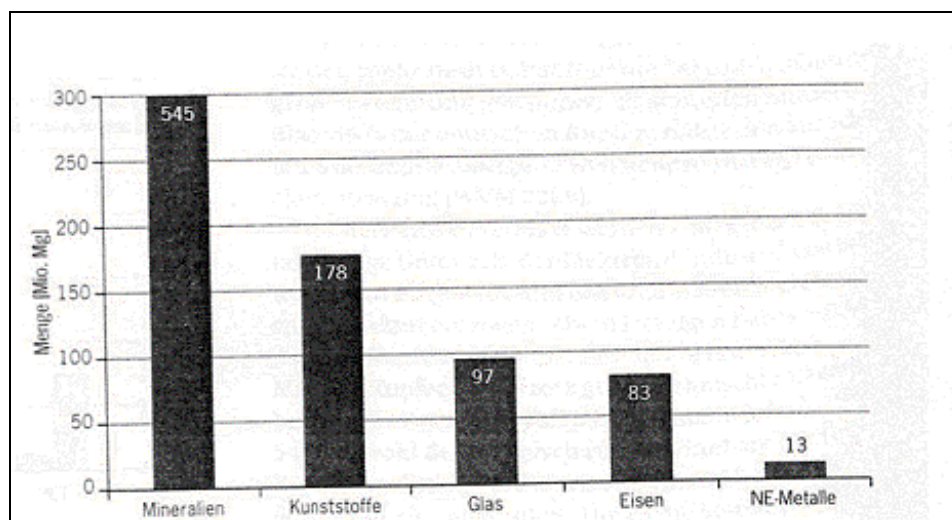


Abbildung 1: Wertstoffmengen deutscher Deponien nach 1975 [7]

Genauere Angaben sind nicht möglich, da aus den Jahren vor 1975 keine genauen Daten vorliegen. Daher sind die in der Abbildung dargestellten Ergebnisse als eine untere Grenze zu verstehen und es ist anzunehmen, dass das wirkliche Wertstoffpotential auf deutschen Deponien höher einzuschätzen ist [7].

Bei einer Betrachtung der gespeicherten Energie und wertvollen Metallen können weitere Analysen für eine differenzierte Aufstellung herangezogen werden. In der folgenden Tabelle 3 ist nach § 3 nach groben Schätzungen, das Rohstoffpotential deutscher Deponien für den Energiegehalt, Eisenschrott, Kupfer und Aluminiumschrott dem Jahresverbrauch in Deutschland gegenübergestellt.

Tabelle 3: Rohstoffpotential deutscher Deponien [13]

	Wertstoffmengen in deponiertem Abfall	Jahresverbrauch in Deutschland
Energie	2,8 – 3,8 Mio. TJ ¹	4.000 TWh (UBA 2007 ²)
Fe – Schrott	83 Mio. Mg	21 Mio. Mg (bvse 2009)
NE - Metalle	13 Mio. Mg	4,5 Mio. Mg (UBA 2007)

Es ist erkennbar, dass ein sehr großer Anteil des Jahresverbrauchs an Energie und Metallen durch die in Deponien gelagerten Wertstoffe abgedeckt werden könnte. Es wäre theoretisch möglich, den drei- bis vierfachen Jahresverbrauch an Wertstoffen aus deponiertem Material wiederzugewinnen. Allerdings muss nach realistischem Aufwand und technischen Möglichkeiten mit einem geringeren, zu gewinnenden Anteil der Wertstoffe gerechnet werden. Es können mit den heutigen Mitteln nicht alle Rohstoffe aus dem Deponat in den erwünschten bzw. benötigten Qualität wiedergewonnen werden. Ein kleiner Rest wird auch nach einer sehr sorgfältigen Aufbereitung in den Reststoffen verbleiben und wieder deponiert werden. Deponien sind somit weiterhin notwendig und werden auch zukünftig einen festen Bestandteil der Abfallwirtschaft darstellen. Diese Deponien, welche für die Ablagerung dieser „letzten“ Abfälle in Frage kommen, sind im Gegensatz zu früheren Deponien nach dem heutigen Stand der Technik ausgeführt. Sie verfügen über entsprechende Abdichtungssysteme und viele weitere „Barrieren“, welche die Deponien „sichern“ und somit mögliche Emissionen verhindern. Der Deponierückbau unter dem Gesichtspunkt des Landfill Mining richtet sich auch vielmehr an unsere Altdeponien aus den Jahren vor 1986, als noch nicht getrennt gesammelt und verwertet wurde. Diese älteren Deponien verfügen oft nicht über entsprechende Abdichtungssysteme und auch der abgelagerte Abfall wurde nicht vorbehandelt. Solche Deponien entsprechen somit nicht mehr den heutigen Technikstandards. Sie bergen mitunter ein hohes Sicherheitsrisiko, was beim Landfill Mining verbessert werden kann. Bei der Betrachtung muss daher berücksichtigt werden, dass die Wertstoffgewinnung durch das „Landfill Mining“ und die damit einhergehenden Recyclingmaßnahmen die zukünftig fehlenden Rohstoffe nicht gänzlich ersetzen können werden, solche Projekte bilden aber zumindest einen wichtigen Grundstein zur Gewinnung von Ressourcen. Um die Wertstoffe aus einem Deponiekörper gewinnen zu können, sind Projekte des Deponierückbaus nötig. So neu Landfill Mining als Motivation sein mag, Techniken des Deponierückbaus sind jedoch bekannt. Die einzelnen Verfahrensschritte sollen im nächsten Kapitel näher betrachtet und erläutert werden.

¹ TJ = Terajoule

² UBA = Umweltbundesamt

2. Deponierückbau in der erweiterten Bewertung

2.1 Allgemein

Deponierückbauprojekte werden schon seit vielen Jahren bei den verschiedensten Fragestellungen angewandt. Das erste bekannte Deponierückbauprojekt wurde im Jahr 1953 in Israel umgesetzt. Deutschlandweit wurden Projekte in Wolfsburg, Fitten, Düsseldorf-Hubbelrath, Berlin, Nürnberg-Süd, Rennerod und Burghof/Horrheim im Landkreis Ludwigsburg durchgeführt. Die maßgebende Intention war hierbei jedoch nicht die Wertstoffgewinnung. Vielmehr rückten Deponieraumgewinnung und Altlastensanierung in den Vordergrund [11].

2.2 Problematik

Die Ablagerungen auf Deponien sind in ihrer Zusammensetzung untereinander nicht zu vergleichen. Die Materialien und deren jeweilige Menge unterscheiden sich von Deponie zu Deponie, was einen zielgerichteten Abbau von bestimmten Rohstoffen im Rahmen des Landfill Mining erschwert. Die stoffliche Veränderung, die die Materialien in einem zeitlichen Prozess in einer Deponie durchlaufen haben, erschwert zusätzlich die Gewinnung genauer Kenntnisse über den Inhalt und Zustand einer Deponie. Einerseits konnten Abfälle nur sehr vermischt und zusammengedrückt aus dem Deponiekörper gewonnen werden. Andererseits waren Zeitungen, die nach Jahren geborgen wurden, noch gut lesbar [3]. Dies liegt vor allem an dem vorherrschenden anaeroben Milieu in einer Deponie. Selbst bei genügend Wasserzufuhr baut sich Organik nur sehr langsam ab. Bei fehlendem Wassereintritt kommt dieser mitunter ganz zum Erliegen. Dies zeigt, dass eine große Unsicherheit und Unkenntnis über den Zustand der Abfälle in einem Deponiekörper herrscht. Es gibt viele Faktoren, die auf den Zustand der Abfälle in einem Deponiekörper Einfluss nehmen und die bei einer Planung solcher Projekte berücksichtigt werden müssen. Darunter fallen zum Beispiel [16]:

- die frühere, unkontrollierte und ungesicherte Ablagerung von Abfällen,
- die unterschiedliche Betriebsweise der Deponien,
- die unterschiedlichen Einbautechniken und -dichten,
- der Standort einer Deponie (Niederschlagseintrag, Einzugsgebiet ...),
- die unterschiedliche Datenerfassung und -haltung.

2.3 Vor- und Nachteile

Der Deponierückbau bietet nicht nur die Möglichkeit, Wertstoffe zurückzugewinnen. Es gibt noch weitere Vorteile wie auch Nachteile, die in der folgenden Tabelle 4 betrachtet werden.

Tabelle 4: Vor- und Nachteile eines Deponierückbauprojektes

Vorteile	Nachteile/ Probleme
Grundwasser-/Gewässerschutz und Altlastensanierung	Schädliche Umwelteinwirkungen
Kosteneinsparung sowie Verkürzung der Dauer für Stilllegung und Nachsorge	Ablehnung aus der Bevölkerung
Rückgewinnung von Flächen für ander Nutzungen, Rückgewinnung von Deponievolumen und Laufzeitverlängerung	Hohe Kosten
Errichtung und Instandsetzung von Installationen	Unsicherheiten für Kalkulation, unterschiedliche Datengrundlage
Wertstoffrückgewinnung	Gesundheitsschutz bei Ausführung
Schadstoffentfrachtung des Deponats	

2.3.1 Gewässerschutz und Altlastensanierung

Ein großer Aspekt beim Deponierückbau ist die Altlastensanierung. Durch die Wiederaufnahme von Abfällen besteht die tatsächliche Möglichkeit, effektiv Gefährdungen für die Umwelt, insbesondere Grundwässer, auf Dauer zu reduzieren. Bei Altdeponien fehlt oftmals eine Basisabdichtung, wodurch gefährliche Sickerwässer, die durch die im Abfall befindlichen Inhaltsstoffe entstehen, ungehindert in den Untergrund gelangen können [5]. Der Schadstoffgehalt des Sickerwassers hängt von der Art der Abfälle, die auf der Deponie abgelagert wurden, sowie vom Alter der Deponie und der Verweildauer des Sickerwassers im Deponiekörper ab [6].

2.3.2 Kosteneinsparung für Stilllegung und Nachsorge

Ein weiterer Punkt ist die Kosteneinsparung für die Stilllegung und auch die Nachsorge von Altdeponien. In diesen Kosten sind zum Beispiel Aufwendungen für Profilierungsmaßnahmen und Oberflächenabdichtungen, Maßnahmen zur Sickerwasserführung und –reinigung, zur Deponiegasfassung und –reinigung und auch Aufwendungen für Sanierungen, die im Laufe der Zeit fällig werden können, enthalten. Diese Kostenbelastungen sind oft nicht abschätzbar und können „von 30 Jahre bis weit über 200 Jahre“ [7] andauern. Nach Rettenberger können die Kosten für die Nachsorge einer Deponie in einer Spanne von „zumeist unter 5 €/m³ und selten über 25 €/m³“ liegen. In dieser Zeit der Stilllegung und Nachsorge sind keine Einnahmen der Deponie durch weitere Abfallanlieferungen zu erzielen. Es müssen dagegen laufend hohe Investitionen für die Deponie getätigt werden. Durch den Deponierückbau können die Nachsorgezeiten erheblich verkürzt werden. Sie könnten sogar gänzlich entfallen, wenn die Abfälle behandelt und anschließend auf einer anderen Deponie abgelagert werden würden [9].

2.3.3 Rückgewinnung von Flächen, Deponievolumen und Laufzeitverlängerung

Weiterhin können wertvolle Flächen und Deponievolumen zurückgewonnen werden. Mehr Deponievolumen führt zu einer Laufzeitverlängerung der Deponie und kann somit eine Entsorgungssicherheit für weitere Jahre gewährleisten, was besonders in Städten mit hoher Bevölkerungsdichte von großem Vorteil ist. Bei einem vollständigen Rückbau kann das Gelände nach einer Sanierung als Standort für Industrie und Gewerbe einen höheren Nutzungswert erhalten [7].

2.3.4 Errichtung und Instandsetzung von Installationen

Weiterhin wäre es möglich, den alten Deponiestandort nach dem Rückbau für einen Wiedereinbau der nicht verwertbaren Stoffe nach dem Stand der Technik auszuführen. Defekte Bauwerke wie Sickerwasserleitungen, Gaserfassungssysteme und Schächte können erneuert bzw. gänzlich neu installiert werden. Basisabdichtungen, die durch den Einbau von Abfällen beschädigt wurden oder aufgrund ihres Alterungsverhaltens Funktionsstörungen aufweisen, können in Stand gesetzt werden. Auch eine gänzliche neue nachträgliche Basisabdichtung lässt sich nach dem Abtrag der gesamten Abfälle nachträglich einbauen [11]. Die neuen Installationen führen zu einer Emissionsverringerung und somit auch zu einer sichereren Deponie [12].

2.3.5 Wertstoffrückgewinnung

Durch den Abtrag und eine geeignete Nachbehandlung der Abfälle können Wertstoffe aus dem Deponat zurückgewonnen werden. Hier sind noch Ressourcen vorhanden, da in den früheren Jahren der Ablagerung noch keine umfassende Trennung und Verwertung von Abfällen stattfand. Heizwertreiche Leichtfraktionen, wie Kunststoffe, Papier und Pappe, sind hierbei erwähnenswert. Weiterhin können Glas und andere Mineralien stofflich verwertet werden [3]. Daraus können Erlöse erzielt werden, die ansonsten einfach auf der Deponie brach liegen würden. Die Anteile, die nicht veräußerlich sind, können einer thermischen Verwertung zur Energiegewinnung zugeführt werden.

2.3.6 Schadstoffentfrachtung des Deponats

Insbesondere durch die thermische Behandlung findet auch eine Schadstoffentfrachtung der Abfälle statt. Hierbei entstehen inerte Verbrennungsreststoffe, die weitestgehend reaktionsarm sind, und event. einer weiteren Verwertung z. B. als Ersatzbaustoff zugeführt werden können. Ferner kann auch durch eine biologische Behandlung Organik aus dem Deponat entfernt werden. Dies führt zu einer Reduzierung der Sickerwässer und Deponiegase [6]. Stör- und Problemstoffe, welche sehr gefährlich für Mensch und Umwelt sind, werden bei einer mechanischen Aufbereitung aussortiert, getrennt behandelt und beseitigt. Damit geht von diesen Stoffen, die erneut auf einer Deponie abgelagert werden müssen, eine weit weniger große Umweltbelastung aus als von dem Material in einem Zustand, wie er bislang auf der Deponie abgelagert war. Böden, Gewässer und auch die Luft werden dadurch weit weniger durch Emissionen aus dem Deponiekörper belastet als dies vor dem Rückbau der Fall war.

Im Folgenden wird noch auf Probleme und Gefahren eingegangen, die bei einem Deponierückbauprojekt auftreten können,

2.3.7 Schädliche Umwelteinwirkungen

Mit schädlichen Umwelteinflüssen ist vor allem bei der Öffnung eines Deponiekörpers zu rechnen. Durch jahrelangen anaeroben Abbau der im Deponiekörper vorhandenen Organik konnten sich schädliche Deponiegase bilden, welche als Hauptbestandteile Methan und Kohlenstoffdioxid aufweisen [11]. Solche Gase stellen ein enormes Gefährdungspotential dar, da sie auf Menschen und Tiere toxisch wirken. Weiterhin darf die in diesem Zusammen-

hang mögliche Explosionsgefahr durch das bei der Öffnung des Deponiekörpers entstehende Methan-Kohlendioxid-Luft-Gemisch nicht unterschätzt werden [11].

Weitere Gefährdungen können von Emissionen aus Stäuben, Lärm oder auch Keimen ausgehen. Auch Störstoffe unbekannter Herkunft und Zusammensetzung, die sich im Abfall selbst befinden, bilden oft ein hohes Risikopotential. All diese Gefahren stellen eine Bedrohung für Mensch, Tier und Umwelt dar. Beim Abgraben eines Deponiekörpers können diese Emissionen freigesetzt werden. Sie können zu erheblichen Gesundheitsgefährdungen und Geruchsbelästigungen sowohl für die Beschäftigten auf der Deponie, als auch für die in der Nähe der Deponie wohnhaften Anwohner führen. Die Einhaltung der Regelungen und Bestimmungen für den Arbeits- und auch Nachbarschaftsschutz haben hier oberste Priorität. Daher gilt es, die genannten Emissionen bei der Öffnung gezielt zu fassen oder durch geeignete Maßnahmen zu unterbinden.

Geeignete Maßnahmen sind zum Beispiel:

- Gaskontrollgeräte und Atemschutzmasken,
- Befeuchtung der Fahrwege und Arbeitsflächen,
- Einhausung des Austragsortes,
- Berieselungs- und Belüftungssysteme, die vor der Öffnung des Deponiekörpers zur Anwendung kommen (siehe Kap. 3.2)

2.3.8 Ablehnung aus der Bevölkerung

Wegen des beschriebenen Gefahrenpotentials ist mit einer Ablehnung aus der Bevölkerung zu rechnen. Hier ist eine umfangreiche und ausführliche Öffentlichkeitsarbeit notwendig. Des Weiteren wurden sehr alte Deponien zum Teil schon erfolgreich rekultiviert und in das bestehende Landschaftsbild eingepasst. Unter Umständen sind diese Deponien schon mit einer sinnvollen und anerkannten Nachnutzung versehen [5]. Es muss eine Abwägung erfolgen, ob sich ein Eingehen der Risiken der im Rahmen eines Rückbaus entstehenden schädlichen Einwirkungen auf die Umwelt mit denen des Nutzens lohnt. Daraufhin muss eine Entscheidung getroffen werden, die alle Belange mit einbezieht. Es muss in jedem Fall geprüft werden, ob ein Rückbau von Deponieflächen entgegen der Folgenutzung wirtschaftlich vertretbar ist [7].

2.3.9 Hohe Kosten

Die Kosten stellen sich aus vielen einzelnen Faktoren zusammen. Auf diese wird in Kapitel 4 genauer eingegangen.

2.3.10 Unterschiedliche Datengrundlage

Wie bereits erwähnt ist die Datenerfassung zu den eingebauten Abfällen auf den Deponien sehr unterschiedlich erfolgt. Der Detaillierungsgrad schwankt hierbei erheblich [16]. Dies erschwert die Planung solcher Projekte und macht viele Voruntersuchungen, wie genaue Datenerhebungen und Probebohrungen, notwendig [7].

3. Vorgehensweise und gezielte Maßnahmen zur Emissionsminderung beim Deponierückbau

Im Folgenden werden Überlegungen und Verfahren zur Durchführung eines Deponierückbaus aufgezeigt, wie sie schon in früheren Jahren Anwendung fanden. In den bereits durchgeführten Projekten konnten bereits viele Techniken erprobt und Erfahrungen gesammelt werden. Allerdings ist es schwierig, genaue Details hinsichtlich dieser Techniken und auch Faktoren wie die Menge und Qualität gewonnenen Wertstoffe, der Behandlungsform des Deponats sowie der Emissionen, die bei der Öffnung der Deponiekörper austraten, zu erhalten und auszuwerten, weil sich die verschiedenen Projekte vor allem hinsichtlich der Qualitäten und Reststoffe, schlecht miteinander vergleichen lassen [7]. Dies liegt daran, dass jede Deponie anders aufgebaut ist und andere Abfälle in verschiedener Zusammensetzung auf ihr abgelagert wurden. Es sind immer andere, projektspezifische Aspekte zu berücksichtigen. Zunächst werden nun die wesentlichen vier Schritte erläutert werden, die für solche Projekte unumgänglich sind.

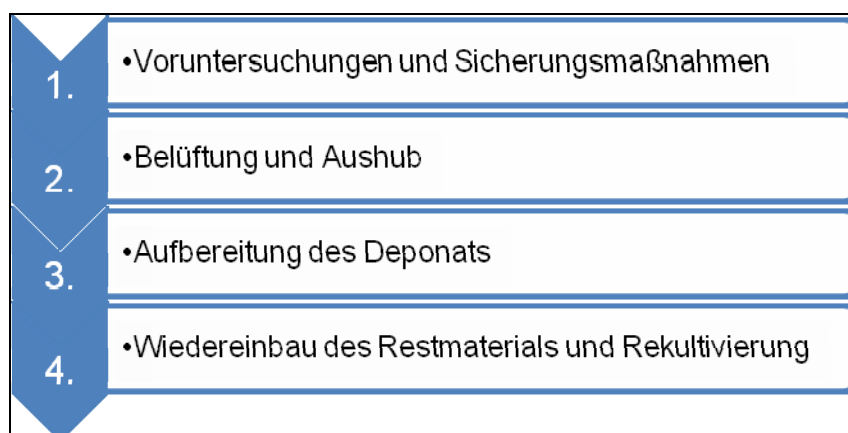


Abbildung 2: Vorgehensweise bei einem Deponierückbau

3.1 Voruntersuchungen und Sicherungsmaßnahmen

Zunächst müssen historische Erkundigungen über die mögliche Zusammensetzung des Deponats eingeholt werden. Diese können beispielsweise über die Betriebsbücher der Deponie oder über Erkundigungen in der Region gewonnen werden [11]. Weiterhin müssen in einem nächsten Schritt Probebohrungen und Grundwasseruntersuchungen durchgeführt werden. Diese Voruntersuchungen geben Aufschluss über die Ablagerung und Zusammensetzung des Deponats, sowie mögliche Gefährdungen [5]. Dies ist nötig, da auf den Deponien sehr unterschiedliche Materialien zu sehr unterschiedlichen Zusammensetzungen führten. Außerdem unterlagen diese Stoffe zeitlicher Veränderungen, die vor einer Untersuchung nicht abzusehen sind.

3.2 Belüftung und Aushub

Durch die Deponiegasbildung im anaeroben Milieu innerhalb steht ein Deponiekörper in der Regel unter Überdruck.

Um das Gefährdungspotential zu verringern, sollten vor einem Aushub geeignete Belüftungssysteme installiert werden. Sie dienen dem Zweck, das vorhandene anaerobe Milieu auf ein aerobes umzustellen. Somit werden die Organik und der Gashaushalt in dem Deponiekörper beeinflusst. Diese Maßnahmen sollen den aeroben Abbau der Organik vorbereiten, damit während der Arbeit möglichst wenige Emissionen entstehen. Der Wasserhaushalt einer Deponie kann so ebenfalls beeinflusst werden. Die Sickerwasserbildung wird reduziert und der Wassergehalt des Abfalls sinkt [11]. Solche Behandlungsmethoden zur Vorbereitung einer Deponie vor der Öffnung sind in der Literatur auch als in-Situ-

Stabilisierungsmaßnahmen bekannt. Es stehen mehrere Systeme für diese Anwendung zur Verfügung, wobei das häufigste, zur Anwendung kommende System eine Kombination aus Druck- und Saugbelüftung darstellt. Hierbei wird ein kontrollierter Luftstrom in den Deponiekörper eingebracht. Über Saugrohre können gleichzeitig die Gase aus der Deponie entfernt werden. Hierbei muss beachtet werden, dass die Saugleistung höher als die Druckleistung des Luftstroms gewählt wird. Ansonsten kann es trotz der Saugrohre zu einem unkontrollierten Austritt von eventuell toxischen Gasen durch Diffusion über die Oberfläche der Deponie kommen. Der gefasste Volumenstrom aus der Deponie sollte über Biofilter gereinigt und erst danach in die Umwelt abgegeben werden. Das Funktionsprinzip ist in Abbildung 3 dargestellt. Bei diesem Verfahren ist auch eine genaue Abgrenzung der Deponie in Behandlungszonen möglich, indem die Saugrohre vor allem in den Randbereichen der Zonen installiert werden. Die Belüftungsanlagen sollten hingegen in der Zone verteilt werden, um eine optimale Umstellung des Gashaushaltes im Deponiekörper zu erreichen [14].

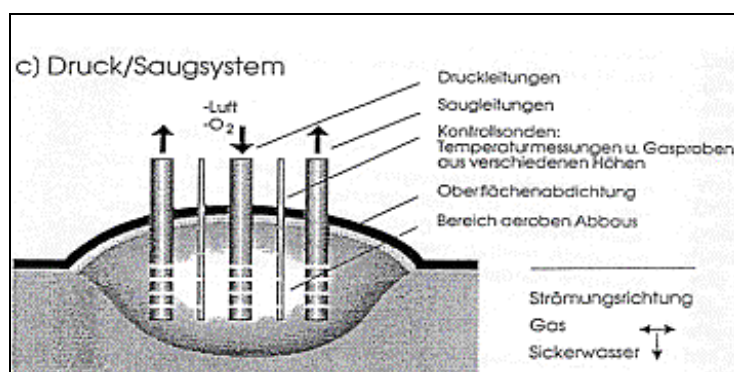


Abbildung 3: Funktionsprinzip Druck-Saug-System [14]

Der Aushub des Deponats aus dem Deponiekörper kann auf unterschiedliche Weise erfolgen. Zum einen ist es möglich, durch Radlader und Laderaupen in einer Schichtengrabung 0,5 m tiefe Schichten abzutragen. Andererseits können auch größere Geräte wie Löffelbagger zum Einsatz kommen, die das Deponat in Schichtdicken von bis zu 3 m (Tiefengrabung) ausbauen können [11]. Hierbei ist zu beachten, dass eine Schichtengrabung durchaus auch ohne vorherige Belüftungsmaßnahmen angewendet werden kann, wenn es die Zusammensetzung des Deponats und vorhergehende Kontrollen zulassen. Bei einer Tiefengrabung sollte in jedem Falle ein Stabilisierungsverfahren vor der Öffnung durchgeführt werden. Die verschiedenen Techniken sind in den nachfolgenden Abbildungen dargestellt.

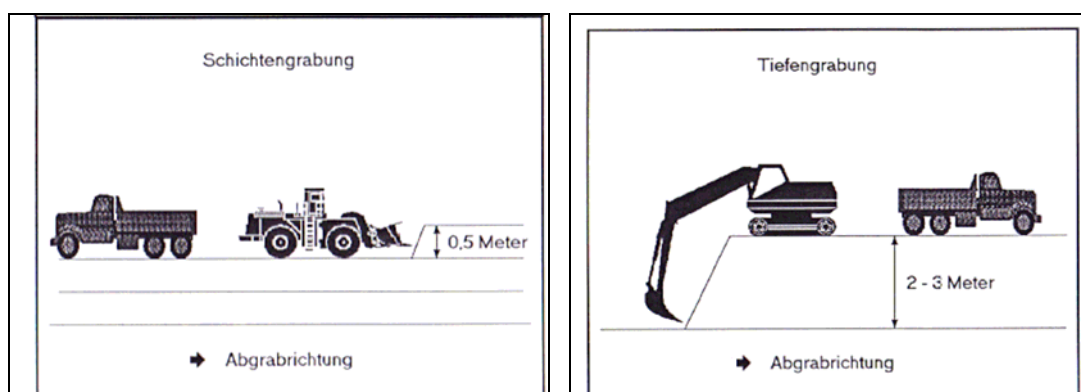


Abbildung 4: Tiefengrabung und Schichtengrabung [11]

Nach dem Ausbau wird das Material in einer geeigneten Behandlungsanlage entweder vor Ort oder auch außerhalb der Baustelle behandelt. Auf die Aufbereitung mit ihren verschiedenen Behandlungsschritten wird im nächsten Abschnitt eingegangen.

3.3 Aufbereitung des Deponats

Die Aufbereitung des aufgenommenen Deponats richtet sich nach den Zielen, die mit dem Deponierückbau in den einzelnen Fällen erreicht werden sollen. Ist zum Beispiel die Sanierung und Reduzierung des Gefährdungspotentials oder auch die Gewinnung von Wertstoffen die Hauptintention, wird in den meisten Fällen das Material aufwendig aufbereitet. Bei früheren Projekten war die Gewinnung von Deponievolumen maßgebend. Dabei konnten teure Aufbereitungsmaßnahmen übergangen werden. Hierbei reichten meist eine einfache Zerkleinerung und ein anschließend gut verdichteter Einbau im Dünnschichtverfahren aus, um das gewünschte Ziel zu erreichen [3]. Es sind grundsätzlich alle bekannten Aufbereitungsverfahren wie mechanische, biologische und thermische Verfahren, oder auch die Kombination all jener anwendbar. Unter mechanische Verfahren fallen vor allem die Zerkleinerung, Klassierung und Sortierung des Materials. Die biologischen Verfahren stellen einen Abbau der Organik in den Abfällen sicher. Dies geschieht unter anderem durch verschiedene Rotteverfahren. Heizwertreiche Fraktionen wie Kunststoffe, Papier und Hölzer können einem thermischen Verfahren zugeführt werden. Hierbei muss allerdings die Kontamination der einzelnen Materialien vorher überprüft werden, um nicht zusätzliche Emissionen bei der Verbrennung freizusetzen.

Die Aufbereitung muss nach der stofflichen Zusammensetzung der abgelagerten Abfälle bestimmt werden [12].

Im Folgenden ist eine Aufbereitungsanlage dargestellt, wie sie bei dem Deponierückbauprojekt auf der Deponie Burghof/Horrheim Anwendung fand. Der Rückbau bei dieser Deponie wurde aus Gründen von Entsorgungsengpässen vorgenommen, da sich die Laufzeit aufgrund von erhöhtem Abfallaufkommen Ende der 80er Jahre deutlich verringerte. Die Abfälle auf der Deponie wurden seit 1974 bis zum September 1993 verdichtet eingebaut. Ab diesem Zeitpunkt begann dann das Rückbauprojekt. Die Zusammensetzung des eingebauten Deponats ist in Tabelle 5 dargestellt. Es wird deutlich, dass ein vielfältiges Abfallgemisch auf der Deponie abgelagert wurde. So gut wie alle Abfallfraktionen waren anzutreffen.

Tabelle 5: Bestandteile der Abfalleinlagerungen auf der Deponie Burghof [11]

Abfallart	Mengenanteil [%]
Gewerbe- und Bauabfälle	39
Hausmüll	30
Erdaushub	15
Schlämme	12
Gießereisand	4

In der nachfolgenden Abbildung 5 ist das Verfahrensschema der Aufbereitungsanlage dargestellt, mit welchem das gewonnene Deponat aufbereitet wurde.

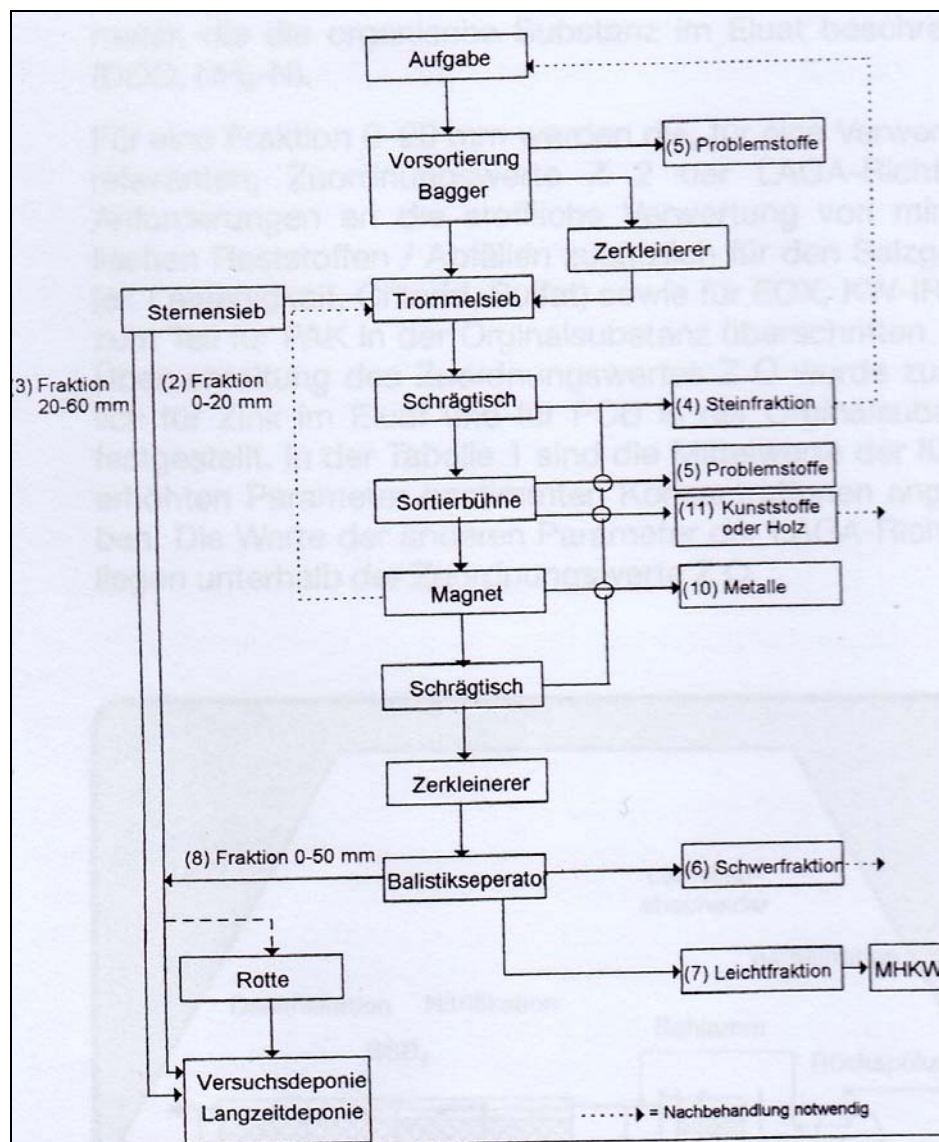


Abbildung 5: Aufbau der Aufbereitungsanlage [8]

Es wird ersichtlich, dass hierbei alle Behandlungsverfahren, wie mechanische, thermische und biologische, Anwendung fanden. Das Deponat musste viele einzelne Behandlungsschritte durchlaufen, um ein optimales Resultat für eine Verwertung zu erzielen. Die gewonnenen Wertstoffe, wie verschiedene Hölzer, Metalle, Kunststoffe und Steinfraktionen, mussten vor einer weitergehenden Verwertung durch ein wiederholtes Durchlaufen der Anlage noch weiterbehandelt werden. Nach der Behandlung stellte sich heraus, dass rund 30 Gew.-% stofflich als auch thermisch wiederverwertet werden konnten. Ca. 70 Gew.-% mussten jedoch als Feinfraktion wieder in der Deponie eingelagert werden. Durch eine hohe Einbau-

dichte dieser Feinfraktion wurde beim Wiedereinbau allerdings nur noch etwa 44 % des ursprünglichen Deponievolumens benötigt [11]. Die Behandlung und auch der eventuell wieder abzulagernde Inertanteil nach der Aufbereitung werden maßgeblich von der Zusammensetzung des Deponats beeinflusst. Gilt es beispielsweise eine Bauschuttdeponie mit überwiegend mineralischen Anteilen zurückzubauen, können biologische und thermische Behandlungsschritte in den meisten Fällen entfallen, da sie hier keinen Beitrag zur Aufbereitung leisten können. Hier kommen dann vor allem mechanische Verfahren wie Zerkleinerung, Sortierung und Klassierung zur Anwendung. Bei der stofflichen Verwertung sind vor allem die mineralischen Anteile sowie Metallfraktionen zu nennen. Leichtfraktionen, Hölzer und Gemischtabfälle fallen eher einer thermischen Verwertung zu, wobei natürlich wieder Aschen und Schlacken entstehen, die erneut entsorgt und deponiert werden müssen. Auch wenn in dem Deponat bereits ein hoher Anteil an diesen Bestandteilen vorhanden ist, lässt sich schwieriger eine hohe Verwertungsquote erzielen. Dies ist zum Beispiel bei Abfällen von Schmelzbetrieben und industriellen oder häuslichen Öfen der Fall. All diese Faktoren müssen bei der Aufbereitung und späteren Ablagerung mitberücksichtigt werden.

3.4 Wiedereinbau des Restmaterials und Rekultivierung

Wie bereits erwähnt entstehen bei der Aufbereitung zwangsläufig wieder Reststoffe, die zwar reaktionsarm sind, aber nicht weiter verwertet werden können. Diese müssen wieder auf einer Deponie eingebaut werden [12]. Die Einbautechniken, wie der verdichtete Dünn-schichteinbau, sind entsprechend dem heutigen Stand der Technik auszuführen [1]. Abgeschlossen wird ein Deponierückbau dann im Allgemeinen mit Geländemodellierungs- und Rekultivierungsmaßnahmen der neuen Deponie, um sie geeignet in das Landschaftsbild einzubinden [5].

4. Kostenfaktoren

Nachfolgend werden die Entstehung und die Höhe der Kosten für Deponierückbauprojekte dargestellt und erläutert. Die Kosten für Deponierückbauprojekte liegen in einer Spanne zwischen 30 €/ m³ und 40 €/ m³ [10]. Die Kosten für Stilllegung und Nachsorge ohne einen Deponierückbau liegen mit etwa 5 €/m³ weit unter den Kosten, die bei der Durchführung eines Deponierückbaus entstehen würden. Diese Betrachtung zeigt, wie unwirtschaftlich sich die Umsetzung solcher Projekte darstellt, wenn die Entsorgungskosten durch eine Deponierung niedriger sind, als die Kosten, die bei einem Rückbau anfallen würden. An vielen Standorten wird aus diesen Gründen auch noch auf einen Rückbau verzichtet [10].

Die Kosten für ein Deponierückbauprojekt können nach sorgfältiger, vorangegangener Planung einigermaßen genau bestimmt werden und unterliegen somit nicht mehr so großen Schwankungen. In der nachfolgenden Tabelle 6 sind Kosten für verschiedene, bereits durchgeführte Rückbauprojekte dargestellt.

Tabelle 6: Deponierückbaukosten verschiedener Deponierückbauprojekte [5]

Deponie	Menge/Volumen [m ³]	Kosten [€]	€/m ³
Tiefenbach, Deutschland	5.000	1.120.000	224,00
Jagerbergl, Deutschland	13.000	3.000.000	230,77
Am Heckenweiher, Deutschland	38.500	2.750.000	71,43
Helsingborg, Schweden	165.000	3.033.810	22,07
Rennerod, Deutschland	785.000	6.500.000	8,28

Es wird ersichtlich, dass sich die Kosten proportional zur rückgebauten Abfallmenge verhalten. Je größer das Volumen des gewonnenen Deponats, desto geringer sind im Verhältnis die entstandenen Kosten. Dies liegt daran, dass bei solch einem Projekt die Grundkosten oder auch ortsunabhängigen Kosten immer vorhanden sind. Diese Kosten verteilen sich auf das zurückgebaute Deponat. Somit sind größere Projekte im Verhältnis zu kleineren Projekten günstiger [8]. Auch die Aufwendungen für den Transport sind ein nicht zu unterschätzender Faktor bei der Analyse der Kosten. Vorzugsweise sollte das Material, das nach der Verwertung wieder deponiert werden muss, wieder auf der gleichen Deponie eingelagert werden, von der es gewonnen wurde. Dies wirkt sich nicht nur günstig auf die Transportkosten, sondern auch auf die durch die Fahrzeuge entstehenden Emissionen aus. Wenn dies aus bestimmten Gründen nicht möglich ist, und ein anderer Deponieabschnitt oder gar eine ganz andere Deponie angefahren werden muss, schlägt dies in den Kosten durch. Ein solcher Sachverhalt kann in der Bilanz sehr negativ zu Buche schlagen. Die Finanzierung eines Deponierückbauprojektes erfolgt auch, aber nicht ausschließlich über den Erlös aus dem Verkauf der gewonnenen Wertstoffe, die bei der Aufbereitung abgetrennt werden. Diese können sich allerdings sehr stark ändern, je nachdem, ob die gewonnenen Wertstoffe zur Zeit des Angebotes gut abgesetzt werden können [5]. Hierbei sind besonders Wertstoffe wie Metalle oder die heizwertreiche Leichtfraktion, welche an Heizkraftwerke veräußert werden, zu nennen. Weiterhin sind die Nutzung des gewonnenen Deponievolumens und die Einsparungen der Aufwendungen für die Nachsorge der Deponie die wichtigsten Finanzierungsfak-

toren [10]. Als effizient hinsichtlich der Kostenanalyse gelten Projekte des Deponierückbaus, wenn die Aufwendungen für die Nachsorge und das eingesparte Deponievolumen den Kosten für den Rückbau, einschließlich Entsorgung und Verwertung des gewonnenen Deponats, überwiegen. In Abbildung 6 ist dieser Sachverhalt übersichtlich dargestellt.



Abbildung 6: Gegenüberstellung Kosten und Erlöse

Es sind auch nicht nur die Kosten zu betrachten, die bei dem Rückbau selbst anfallen. Auch Aufwendungen, die entstehen würden, wenn man einen Rückbau nicht durchführen würde, müssen in eine Kostenbilanz mit in Betracht gezogen werden. Diese Kosten würden die ganze Dauer über entstehen, die die Deponie an diesem Standort existiert [12]. Die Ausgaben könnten durch einen Rückbau eingespart werden. Es wird ersichtlich, dass die Kostenanalyse eines Rückbauprojektes in hohem Maße abhängig von der Deponie selbst und deren Standort ist. Sie kann nicht pauschal durchgeführt werden. Vielmehr muss sie für jedes Projekt neu durchgeführt werden und alle individuellen Randbedingungen in die Betrachtung mit einbeziehen [1].

5. Zusammenfassung und Ausblick

Urban Mining sieht die Stadt, die Konsumgüter und alle menschlichen Produkte und Hinterlassenschaften als Ressourcenquelle. Es sind alle urbanen Stätten, in denen Wertstoffe gelagert oder verbaut wurden, in diesem Begriff eingebunden. Unter dem Aspekt der immer knapper werdenden Rohstoffe ist es nur eine Frage der Zeit, wann diese Quellen reaktiviert

werden müssen, um unseren immer schneller steigenden Bedarf an Rohstoffen zu decken. In diesem Hinblick sind die in Deutschland befindlichen Deponien als Ressourcenquelle von besonderer Bedeutung. In ihnen schlummern schon seit Jahrzehnten große Mengen an un-
behandelten Abfällen und damit an wertvollen Rohstoffen. Die abzuschätzenden Mengen und Qualitäten lassen sich jedoch nicht von einer Deponie auf eine andere übertragen. Es spielen hierbei viele Faktoren, wie die Müllzusammensetzung, der Betrieb und der Standort der Deponie eine Rolle. Diese Quellen zu prüfen, ihren Gehalt an Wertstoffen festzustellen und Teile dieser dann wieder in die Kreislaufwirtschaft zurückzuführen, ist das große Ziel. Landfill Mining muss somit immer als ein Teilbereich des Urban Mining angesehen werden. Um Projekte des Landfill Mining durchführen zu können, müssen Techniken des Deponierückbaus angewendet werden. In ihm werden Voruntersuchungen des Deponats, der Aus-
hub mit eventuellen Vorbehandlungen, die Aufbereitung und auch der Wiedereinbau der Reststoffe, die nicht verwertet werden können, zusammengefasst. Es sind bereits einige Projekte bezüglich dieses Themas durchgeführt worden. Allerdings stand hier nicht die Wertstoffgewinnung im Vordergrund. Vielmehr wurde der Deponierückbau aus Gründen der Volumenreduzierung und Altlastensanierung durchgeführt. Der Aspekt des Wertstoffes rückert erst mit den neuesten Entwicklungen wieder vermehrt in den Vordergrund. Die Ergebnisse der Projekte sind allerdings für zukünftige Unternehmungen unerlässlich und bilden einen wertvollen Erfahrungsschatz und Grundlagedaten. Dennoch muss darauf hingewiesen werden, dass ein Deponierückbau von Deponie zu Deponie unterschiedlich verläuft und immer wieder völlig neu geplant und durchgeführt werden muss. Diese müssen immer die Gegebenheiten vor Ort berücksichtigen, die bei jedem Projekt variieren. Es sind gesetzliche Regelungen und Genehmigungen zu beachten sowie eine Kostenanalyse eines jeden Projektes zu erstellen.

Um wiederum eine maximale Wertstoffausbeute aus dem ausgekofferten Material zu erhalten, sind die nötigen Aufbereitungsschritte die maßgebliche Einheit. Durch die Wahl und Kombination der einzelnen Werkzeuge aus den Gebieten der mechanischen, biologischen und thermischen Abfallbehandlung wird die Reinheit und Menge der gewonnenen Wertstoffe bestimmt. Hier steht dem Anwender eine Fülle von Instrumenten zur Verfügung. Es gilt diese Einheiten je nach Anwendungsfall und Bedarf zu einer umfassenden Aufbereitungsanlage zusammenzustellen. Am Ende einer solchen Behandlung sollten möglichst viele Rohstoffe in möglichst hoher Qualität für den Wiedereinsatz in der Wirtschaft erneut zur Verfügung stehen. Es ist also ein hoher Anspruch an die Gestaltung und Umsetzung einer solchen Anlage zu stellen.

Für die Durchführung kommender Projekte müssen die Ergebnisse bereits durchgeführter Projekte eine Hilfestellung bilden. Dennoch ist noch viel Potential für Forschung und Entwicklung und Verbesserungen vorhanden. Dies gilt vor allem im Bereich der Aufbereitung mit besonderem Augenmerk auf die Wertstoffausbeute (Quantität) und ihrer Qualität. Es gilt weiterhin eine bestmögliche Schadstoffentfrachtung des Deponats zu erreichen, um bei einer Wiedereinlagerung die Umwelteinflüsse auf ein Minimum zu reduzieren. Bereits durchgeführte Projekte haben gezeigt, dass ein Rückbau mit dem Ziel der Wertstoffgewinnung durchaus möglich ist. Die Kosten einer Umsetzung solcher Projekte sind hingegen noch sehr hoch. Daher scheuen sich viele Kommunen und Körperschaften noch vor diesem Schritt. Allerdings muss bedacht werden, dass die Entwicklung von Technologien zur Abfallaufbereitung auch weiter voranschreiten wird, wodurch ein Deponierückbau „effizienter, präziser und kostengünstiger“ [16] wird.

Die vorangegangene Betrachtung zeigt, dass der Deponierückbau mit dem Ziel der Wertstoffgewinnung vor unserem heutigen wirtschaftlichen Hintergrund immer mehr an Bedeutung gewinnen wird. Von solchen Projekten profitiert allerdings nicht nur die Wirtschaft als Abnehmer der Rohstoffe, sondern auch die Umwelt in hohem Maße. Altlasten können im gleichen Zug wirksam bekämpft und Schadstoffe aus unserer Umgebung nachhaltig entfernt werden. Somit bildet der Deponierückbau mit dem Ziel des Landfill Mining nicht nur einen bedeutenden Vorteil für unsere Wirtschaft und unserer Bedarfsdeckung an Rohstoffen, sondern hilft auch gleichzeitig unsere Umwelt von schädlichen Altlasten zu befreien.

6. Literaturverzeichnis

- [1] Aswegen, W. v., & Ranner, D. (November 1994). Konzept zur Umlagerung einer Deponie. *Müll und Abfall*, S. 729-738.
- [2] bmwi. (29. März 2006). [www.bmwi.de](http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/E/energierohstoffbericht,property=pdf,bereich=bmwi,sprache=de,rwb=true.pdf). Abgerufen am 05. November 2011 von <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/E/energierohstoffbericht,property=pdf,bereich=bmwi,sprache=de,rwb=true.pdf>
- [3] Brammer, F. (. (1997). *Rückbau von Siedlungsabfalldeponien*. Leipzig: B.G. Teubner Verlagsgesellschaft.
- [4] Fricke, P. D. (Oktober 2009). Urban Mining - nur ein Modebegriff? *Müll und Abfall*, S. 489.
- [5] Hölzle, I. (7-8 2010). *Vom Deponierückbau bis zum landfill mining - eine Synthese internationaler Untersuchungen*. Abgerufen am 26. September 2011 von <http://www.springerlink.com/content/402498416444j132/fulltext.pdf>

- [6] Kranert, M., & Cord-Landwehr, K. (. (2010). *Einführung in die Abfallwirtschaft*. Wiesbaden: Vieweg + Teubner Verlag.
- [7] Mocker, D. M., Friscke, P. D., Löh, I., Franke, D. M., Bahr, T., Münnich, D. K., et al. (Oktober 2009). Urban Mining - Rohstoffe der Zukunft. *Müll und Abfall* , S. 492-501.
- [8] Rettenberger, G., Urban-Kiss, S., Schneider, R., Göschl, R., & Kremsl, W. (Februar 1995). Deponierückbau an der Deponie Burghof in Vaihingen/Enz-Horrheim. *Korrespondenz Abwasser* , S. 196-205.
- [9] Rettenberger, P. D.-I. (kein Datum). *ruk-online*. Abgerufen am 24. August 2011 von www.ruk-online.de/ruk_de/Aktuelles/Service/Downloads/RUECK02.pdf
- [10] Rettenberger, P. D.-I. (2009). *ruk-online*. Abgerufen am 24. August 2011 von www.ruk-online.de/ruk_de/Aktuelles/Rettenberger_Muenster2009_Rueckbau.pdf
- [11] Rettenberger, P. G. (1998). *Rückbauen und Abgraben von Deponien und Altablagerungen*. Stuttgart: Verlag Abfall aktuell GbR.
- [12] Sievers, D.-I. U. (September 1994). Deponierückbau - ein neuer Baustein integrierter Abfallwirtschaftskonzepte. *Müll und Abfall* , S. 591-600.
- [13] Stegmann/Rettenberger/Bidlinmaier/Bilitewski/Fricke/Heyer. (2010). *Deponietechnik 2010*. Stuttgart: 2010 Verlag Abfall aktuell.
- [14] Straßer, K. H. (Februar 1995). Modelle zur Laufzeitverlängerung von Deponien 2. Teil. *Müll und Abfall* , S. 118-123.
- [15] *URBAN MINING*. (13. September 2010). Abgerufen am 29. August 2011 von [http://www.urbanmining.com/index.php?id=166&tx_mininews_pi1\[showUid\]=60&cHash=0c254ff8ec](http://www.urbanmining.com/index.php?id=166&tx_mininews_pi1[showUid]=60&cHash=0c254ff8ec)
- [16] Wiemer, K., Bartsch, B., & Schmeisky, H. (kein Datum). *www.abfallforum.de*. Abgerufen am 05. Februar 2012 von http://www.abfallforum.de/downloads/ks21_wiemer_bartsch_schmeisky.pdf

