

Landfill Mining – ein Beitrag der Abfallwirtschaft für die Ressourcensicherung –

Klaus Fricke, Kai Münnich, Christof Heußner, Burkart Schulte und Sebastian Wanka

1.	Wirkungsfeld Urban Mining – Definition.....	933
2.	Ausgangssituation Ressourcenverfügbarkeit.....	934
3.	Landfill Mining.....	935
3.1.	Rohstoffpotenziale in Deponien	935
3.2.	Status quo Landfill Mining	936
3.3.	Motivation und Hemmnisse.....	938
3.4.	Ablaufplan Landfill Mining	939
4.	Ausblick.....	941
5.	Literatur.....	943

Urban Mining bedeutet aus dem Englischen übersetzt *städtischer Bergbau* und umfasst im weitesten Sinne anthropogen geschaffene Lagerstätten materieller Ressourcen. Vor dem Hintergrund knapper und teurer werdender Ressourcen kommt diesen anthropogen geschaffenen Lagerstätten eine wachsende Bedeutung für die Ressourcenbereitstellung zu.

Gemäß des in den letzten Jahren stattfindenden Paradigmenwechsels der Abfallwirtschaft von einer reinen Entsorgungswirtschaft hin zu einer ressourcenorientierten Wirtschaftsweise ist die Einbindung bestehender Deponieflächen als Lagerstätten wertvoller Sekundärrohstoffe in eine moderne Ressourcenwirtschaft notwendig und folgerichtig.

Der vorliegende Beitrag befasst sich zunächst mit dem Landfill Mining, einem Teilgebiet des Urban Minings. Es folgt eine Ressourcen-Potenzialabschätzung. Eine kurze Beschreibung der Rückbaumethodik schließt sich diesem Abschnitt an. Anreize und Hemmnisse zum Rückbau werden genannt sowie der erforderliche Forschungs- und Entwicklungsbedarf aufgezeigt. Die Skizzierung eines unmittelbar vor Projektstart stehenden großen FuE-Vorhabens – gefördert durch das BMBF – bildet den Abschluss.

1. Wirkungsfeld Urban Mining – Definition

Urban Mining bedeutet wörtlich aus dem Englischen übersetzt *städtischer Bergbau* und umfasst im weitesten Sinne anthropogen geschaffene Lagerstätten materieller Ressourcen. Eine allgemein gültige Kategorisierung des Urban Mining existiert bisher nicht. Ein möglicher Ansatz bietet die Kategorisierung nach der Art der Lagerstätte. Urban Mining umfasst nach Fricke et al. (2011) [9] drei voneinander abgrenzbare Formen, die gleichzeitig auch spezifischen Wirtschaftssektoren zugeordnet werden können (Bild 1):

- Abfallwirtschaft,
- Bergbau und Verhüttung,
- Bauwesen.

Einen formalen Grenzfall dürfte der existierende, aber irgendwann abzureißende und zu ersetzende Gebäude- und Infrastrukturbestand bilden. Gerade für dieses Rohstoffpotenzial ist der noch relativ junge Begriff Urban Mining besonders treffend [10]. In wieweit die klassischen Maßnahmen des Recyclings aus den *rezenten* bzw. aktuellen Abfallströmen dem Urban Mining zuzuordnen sind, ist strittig.

Eine Klassifizierung nach der Art der Ressource ist nicht bzw. nur für eine beschränkte Stoffpalette möglich. Sie erfolgt vielmehr nach Kenngrößen, die für die Logistik und Aufbereitungsprozesse wesentlich sind, wie spezifische Mengen und Konzentrationen, Zusammensetzung der Stoffgemische, Homogenität der Verteilung im Lager, Sortenreinheit, Zugänglichkeit des Lagers, Art und Intensität der Inkorporation in diverse Matrices etc.

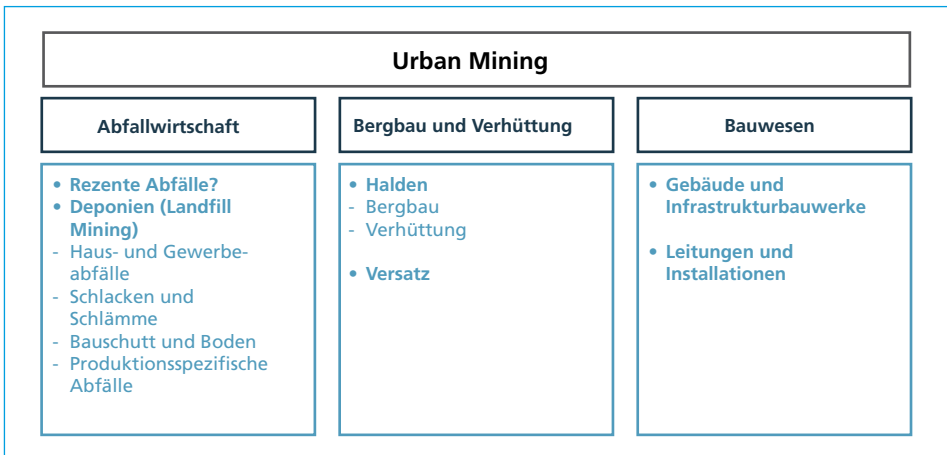


Bild 1: Kategorisierung des Urban Mining nach Art der Lagerstätte und der Wirtschaftssektoren

2. Ausgangssituation Ressourcenverfügbarkeit

Welche strategischen Chancen und Risiken ergeben sich für Unternehmen durch die großen Veränderungen im globalen Maßstab? Wo sehen Unternehmenslenker Forschungs- und Handlungsbedarf? Zur Beantwortung dieser Fragen wurden im Rahmen des IW-Zukunftspanels im Sommer 2007 über 2.600 Geschäftsführer zu ihren Erwartungen im Hinblick auf sieben Themenbereiche des globalen Wandels befragt. Unter den vorgegebenen Veränderungen in Natur und Gesellschaft, die die Menschheit als Ganzes und auf längere Sicht betreffen – so eine Definition des Begriffs globaler Wandel –, kommt der befürchteten Verknappung und Verteuerung von Rohstoffen die größte strategische Relevanz zu. Steigende Preise spiegeln wider, dass die Nachfrage nach Rohstoffen schneller wächst als das Angebot. Große Entlastungseffekte gelten der Mehrheit der Befragten als wenig wahrscheinlich. So verwundert es nicht, dass die Entwicklung auf den Rohstoffmärkten überwiegend als Risikofaktor wahrgenommen wird – auch wenn ein besonders sparsamer Ressourceneinsatz Wettbewerbsvorteile verspricht [IW-Zukunftspanel 2009].

Aufgrund der sich anbahnenden Verknappung einzelner Rohstoffe und des drastisch steigenden Verbrauchs, vor allem in den Schwellenländern, kam es in jüngster Zeit zu sehr großen Preisausschlägen an den internationalen Rohstoffmärkten. Mittel- bis langfristig ist mit weiter steigenden Aufwendungen für Primärrohstoffe und somit auch zwangsläufig für Sekundärrohstoffe zu rechnen.

3. Landfill Mining

3.1. Rohstoffpotenziale in Deponien

Die Geschichte der Abfallbeseitigung zeigt, dass es bis zum Inkrafttreten des deutschen Abfallbeseitigungsgesetzes im Jahr 1972 kaum einheitliche Regelungen gab. Nahezu alles wurde auf kleinen Müllkippen, und nur ein geringer Teil auf geordneten Deponien abgelagert [2, 7, 27]. Erst mit dem Abfallgesetz von 1986 erfolgte in der Bundesrepublik der flächendeckende Einstieg in die Verwertung von Abfällen. Inzwischen ist die Verwertungsquote in Deutschland auf 63 % gestiegen. Seit 2005 dürfen keine Abfälle mehr ohne Vorbehandlung deponiert werden.

Aufgrund dieses geschichtlichen Hintergrundes eignen sich vor allem Altdeponien als mögliche Rohstoffquelle. Interessant für die Erzeugung von Sekundärrohstoffen sind hierbei vor allem Reste von Holz, Textilien, Papier/Pappe und Kunststoff als Energierohstoffe, Metalle (Eisenschrott, Aluminium, Kupfer) und eventuell bestimmte Minerale wie Phosphor aus Klärschlammdeponien.

Nach einer ersten Abschätzung auf Grundlage von Literaturdaten wurden seit 1975 etwa 2,5 Milliarden Tonnen an Siedlungsabfällen, Bauschutt und gewerblichen Abfällen deponiert. Die in diesem Zeitraum weltweit abgelagerten Mengen liegen groben Schätzungen zu Folge bei etwa 36 bis 45 Milliarden Tonnen [2, 9, 11, 17, 26].

Diese Mengen können als Grundlage für eine überschlägige Mengenermittlung abgelagerter Stoffgruppen dienen. Dazu werden Abfallanalysen verschiedener Epochen sowie Stoffanalysen aus Rückbauprojekten herangezogen. Das Potenzial an heizwertreichen Abfallkomponenten, ausgewählten Metallen und Mineralien aus dem Ablagerungszeitraum von 1975 bis 2005 beträgt nach vorsichtigen Schätzungen

- 250 Mio. t heizwertreiche Komponenten (Restpapier, Kunststoffe, Textilien, Holz),
- 26 Mio. t Eisenschrott,
- 1,2 Mio.+ t Kupferschrott,
- 0,5 Mio. t Aluminiumschrott,
- 0,65 Mio. t Phosphor.

Tabelle 1 zeigt Ergebnisse von Stoffanalysen, die im Rahmen von Maßnahmen zum Deponierückbau in der Praxis gewonnen wurden. Die Werte zeigen deutlich, dass jede Deponie einen Spezialfall in Hinblick auf die stoffliche Zusammensetzung und den damit verbundenen Wertstoffpotenzialen darstellt.

Allein der Wert der in deutschen Siedlungsabfalldeponien seit 1975 eingelagerten Ressourcen Eisen, Kupfer und Aluminium werden nach eigenen Berechnungen auf etwa 14 Milliarden Euro, heizwertreiche Stoffe auf weitere etwa 60 Milliarden Euro geschätzt.

Ein hohes Wertstoffpotenzial beinhalten Monodeponien für MVA-Schlacken. Ausschlaggebend ist, dass bei der Schlackeaufbereitung erst in der jüngeren Zeit, und dies auch nur vereinzelt und mit vergleichsweise geringer Abschöfrate, Ne-Metalle abgetrennt werden.

Tabelle 1: Ergebnisse von Stoffanalysen aus Rückbauprojekten

Stoffstrom	Deponie A	Deponie B	Deponie C
	%		
Papier, Pappe / Kunststoffe / Textilien	14,3	35,4	18
Holz	1,8	5,8	6
Metalle	1,2	3,5	3,5
Mineralische Stoffe	2,5	14,5	35
Feinfraktion	80,2	40,7	27
Native Organik	k.A.	k.A.	10
Elektronik und Problemstoffe	< 0,2	< 0,1	k.A.

Quellen:

Rettenberger, G.: Zukünftige Nutzung der Deponie als Ressourcenquelle. In: Flamme, Gallenkemper, Gellenbeck, Bidlingmaier, Kranert, Nelles, Stegmann (Hrsg.): Tagungsband der 11. Münsteraner Abfallwirtschaftstage, Münster, 2009, S. 101-109

Fricke, K.; Münnich, K.; Schulte, B.: Urban Mining – ein Beitrag für die zukünftige Ressourcensicherung. In: Ressource Abfall, Festschrift zur 50-Jahr-Feier des BDE, TK Verlag, Neuruppin, 2011

Tabelle 2: Gesamtgehalte der KVA-Schlacke

Element	Gesamtgehalt mg/kg Feuchtsubstanz
Eisen	156.000
Aluminium	52.600
Nickel	316
Chrom	893
Kupfer	4.680

Quelle: Morf, L.; Taverna, R.; Buser, A.: Schlackemonitoring in der KVA Thurgau im Jahr 2007, GEO Partner AG, Zürich, 2008

Potenzialanalysen, durchgeführt in MVA-Schlacken aus der Schweiz, deuten darauf hin, dass die Metallgehalte deutlich höher sind als bisher angenommen (Tabelle 2). So liegen die Fe-Gehalte in einer Größe um 16 %, die von Aluminium um 5 % und die von Kupfer um 0,5 %. Nach Angaben der ITAD (2009) werden etwa 7,5 % Fe-Metalle und 0,7 % Ne-Metalle im Rahmen Schlackeaufbereitung abgetrennt.

3.2. Status quo Landfill Mining

Die Wiederaufnahme von bereits auf Deponien abgelagerten Abfällen wird weltweit seit über 55 Jahren betrieben. Erstmals wurden im Jahr 1953 in Israel die in einer Deponie abgelagerten Abfälle wieder aufgenommen, um daraus einen Wertstoff – in diesem Fall einen Bodenverbesserer – zu gewinnen [21]. Den Angaben der Literatur zufolge wurden dann erst wieder Ende der achtziger Jahre verstärkt Deponien zurückgebaut [4]. In dieser Zeit wurden dann vor allem in den USA entsprechende Projekte unter den verschiedensten Aspekten zurückgebaut [4]. Die größte Maßnahme war dabei der Rückbau aus Gründen des Grundwasserschutzes der Deponie Collier County in Florida [14]. Hierbei wurde festgestellt, dass aufgrund der in den USA üblichen Einbautechnik die Bodenfraktion etwa 60 % der aufgenommenen Masse bildete [25]. Die erste Deponieumlagerung in Europa erfolgte ab 1990 in Wien (Deponie Donaupark), wobei hier erstmalig durch ein Belüftungsverfahren der Deponiekörper von anaeroben auf aerobe Bedingungen umgestellt wurde und so die Umlagerung in einem Siedlungsgebiet überhaupt erst möglich war [22]. Das erste Projekt in Deutschland war das Demonstrationsprojekt auf der Deponie Burghof/Horrheim ab 1993 [20]. Eine Vielzahl an Deponien wurden in den letzten Jahren in Europa (Sardinien

in 1994), Filbona in Schweden [15], Fischer Deponie in Österreich ab 2002 [16] durchgeführt. Die Umlagerung der Deponie Sharjah in den Arabischen Emiraten, die im 2007 Jahr abgeschlossen wurde [12] gilt als eines der größten bisher durchgeführten Vorhaben (6,4 Mio. m³). Anlass war die Nachnutzung der Flächen für Siedlungszwecke. Der Großteil der Abfälle wurde nach einer aeroben Stabilisierung und der Herausnahme von Holz und Metallen auf neuen, dem Stand der Technik entsprechenden Flächen wieder eingebaut.

Die Gründe für das Landfill Mining haben sich mit der Zeit geändert, so lag der Schwerpunkt der Forschungen in Deutschland in den achtziger und neunziger Jahren vornehmlich auf dem Aspekt der Gewinnung von Deponievolumen und der Deponiesanierung. Die Auswertung von 77 weltweit durchgeführten Rückbaumaßnahmen (Volumen > 10.000 m³) zeigt, dass vor allem Gründe des Grundwasserschutzes (33 %) im Vordergrund standen [4]. Wesentliche weitere Gründe waren u.a. Volumengewinn (20 %), Wertstoffgewinnung (13 %), interne Deponiebaumaßnahmen (13 %), Gewinnung von Siedlungsfläche (12 %) sowie Reduktion der Nachsorgekosten (8 %). In den Rückbaumaßnahmen wurden vergleichsweise geringe Stoffströme gezielt einer Verwertung zugeführt. Dieser Stoffstrom wurde lediglich auf andere, dem Stand der Technik ausgestattete Flächen, umgelagert.

Insgesamt ist in den letzten Jahren weltweit eine stetige Zunahme der Anzahl an Deponierückbaumaßnahmen feststellbar, wobei der Aspekt des Landfill Minings als Bestandteil des zurzeit viel diskutierten Urban Minings verstärkt eine Rolle spielt.

Nach einer ersten Abschätzung auf Grundlage von Literaturdaten wurden seit 1975 etwa 2,5 Milliarden Tonnen an Siedlungsabfällen, Bauschutt und gewerblichen Abfällen deponiert. Die in diesem Zeitraum weltweit abgelagerten Mengen liegen groben Schätzungen zu Folge bei etwa 36 bis 45 Milliarden Tonnen [17]. Die Literaturrecherche zeigt, dass Schlackendeponien bisher kaum zurückgebaut wurden. Der Schwerpunkt der Forschung lag in den letzten Jahrzehnten in der Ermittlung der von diesen Deponien langfristig ausgehenden Sickerwasseremissionen. Das Potenzial der Ressourcenrückgewinnung ist jedoch hoch, so wurden anlässlich eines Rückbaus in 2005 aus einer Schlackendeponie in der Schweiz aus etwa 200.000 t Material rund 4.270 t Eisen, Aluminium, Kupfer und Messing gewonnen.

Ein Landfill Mining unter dem primären Aspekt der Rückgewinnung von Ressourcen ist bisher weder bei Hausmüll- noch bei Schlackendeponien durchgeführt worden. Die bisher durchgeführten Maßnahmen zeigen, dass der Rückbau von Deponien und die mechanische Materialaufbereitung grundsätzlich machbar sind, ein Stand der Technik ist bisher nicht definiert worden. In einigen Bereichen (z.B. Stabilisierung der Abfälle, Technik des Lösens der Abfälle) haben sich bestimmte Techniken in der Praxis durchgesetzt (DWA/VKS, 2002). In weiten Bereichen stehen Details zur angewandten Technik für die Verfahrensstufen Rückbau, Aufbereitung und Sortierung, Wertstoffkonfektionierung, Reststoffbehandlung und Reststoffentsorgung nicht in ausreichend belastbarer Form zur Verfügung. Insbesondere mangelt es an spezifischen Informationen über die Quantität und Qualität der im Deponiekörper eingebauten Stoffe und der hieraus erzielbaren Produktqualitäten. Dies gilt im Besonderen für strategische Metalle und Mineralien. Bezüglich der Investitionen und Betriebskosten liegen Informationen, wenn überhaupt, nur bruchstückhaft vor.

Ganzheitliche Kostenbetrachtungen unter Einbeziehung der Wechselwirkungen u.a. zwischen Aufwendungen für das Landfill Mining, die Einsparungen bei der Stilllegung und Nachsorge sowie des Flächenrecyclings sind bisher nicht durchgeführt worden. Gleiches gilt für die ökologischen Betrachtungen des Landfill Minings. Dies betrifft insbesondere Fragen zur Ressourceneffizienz aber auch Betrachtungen, die die Aspekte des mit dem Rückbau verbundenen Flächenrecyclings und die möglichen Reduktion deponiebürtiger Emissionen mit einschließt.

3.3. Motivation und Hemmnisse

Als Argumente für den Rückbau sind neben dem Aspekt der Ressourcengewinnung insbesondere die Einsparungen bei Stilllegung und Nachsorge und die Erlöse aus dem Flächenrecycling sowie die Reduktion der Umweltbelastungen zu nennen (siehe auch Tabelle 3).

Deponien beinhalten ein hohes Umweltgefährdungspotenzial für die Umweltkompartimente Wasser und Luft/Klima. Klimarelevante Deponiegasemissionen wie Methan entstehen durch den anaeroben Abbau organischer Abfälle. Sickerwässer, belastet mit Schwermetallen, Salzen und organischen Schadstoffen, werden, sofern Basisdichtungen vorhanden sind, in der aktiven Betriebsphase und in der Nachsorge gefasst und gereinigt. Nach Abschluss der Nachsorgephase ist das Wassergefährdungspotenzial durch die o.g. Schadkomponenten nach wie vor im Deponiekörper in nicht unerheblichem Umfang vorhanden.

Nach Abschluss der Stilllegungsmaßnahmen bedürfen Deponien einer Nachsorge. Prognosen für deren Dauer reichen von 30 bis weit über 200 Jahre. Die Kosten der Stilllegung und Nachsorge liegen groben Schätzungen zu Folge, allein für die bis 2009 stillgelegten etwa 200 Siedlungsabfalldeponien und etwa 200 Industrieabfalldeponien in einer Größenordnung von 2 bis 6 Milliarden Euro. Für die Nachsorge sind weitere 15 bis 30 Milliarden Euro zu veranschlagen (Stegmann 2006 [23]; eigene Daten).

In Deutschland sind über 100.000 Altablagerungen registriert. Die Größe der potenziell für das so genannte Flächenrecycling zur Verfügung stehenden Fläche beträgt allein durch die im Zeitraum von 1995 bis 2005 bzw. 2009 stillgelegten Siedlungsabfalldeponien etwa 15.000 ha [8]. Aus ökonomischer Sicht ist das Flächenrecycling durch den Rückbau von Deponien besonders interessant bei Deponien an exponierten Standorten.

Die Volumengewinnung zur Laufzeitverlängerung ist in Deutschland nicht mehr von besonderer Relevanz. Anders verhält es sich in den rasant wachsenden Ballungsgebieten der Entwicklungs- und Schwellenländer. Der Rückbau erfolge hier häufig mit dem Ziel der Volumengewinnung in Verbindung mit der Umlagerung auf abgedichtete Flächen.

Die bisher durchgeführten Vorhaben zeigen, dass der Rückbau von Deponien und die mechanische Materialaufbereitung grundsätzlich machbar sind. Details zur angewandten Technik für die Verfahrensstufen Rückbau, Aufbereitung und Sortierung, Wertstoffkonfektionierung, Reststoffbehandlung und Reststoffentsorgung stehen nicht in ausreichend belastbarer Form zur Verfügung. Insbesondere mangelt es an spezifischen Informationen über die Quantität und Qualität der im Deponiekörper eingebauten Stoffe und der hieraus erzielbaren Produktqualitäten. Dies gilt im Besonderen für strategische Metalle und Mineralien. Die verfügbaren Daten stammen darüber hinaus vornehmlich aus der Zeit von 1985 bis 1995. Erfahrungen mit dem Einsatz effizienter Aufbereitungs- und Sortiertechnologien, wie sie speziell in den letzten Jahren entwickelt wurden, liegen nicht vor. Offen sind auch Fragen zum Thema Reststoffbehandlung

Bezüglich der Investition- und Betriebskosten liegen Informationen, wenn überhaupt, nur bruchstückhaft vor. Ganzheitliche Kostenbetrachtungen unter Einbeziehung der Wechselwirkungen u.a. zwischen Aufwendungen für das Landfill Mining, den Einsparungen bei der Stilllegung und Nachsorge sowie des Flächenrecyclings sind bisher nicht durchgeführt worden, gleiches gilt für die ökologischen Betrachtungen. Dies betrifft insbesondere Fragen zur Ressourceneffizienz, aber auch Betrachtungen, die die Aspekte des mit dem Rückbau verbundenen Flächenrecyclings und die mögliche Reduktion deponiebürtiger Emissionen mit einschließt.

Offen sind auch Fragen zum Thema Reststoffbehandlung und Reststoffentsorgung im Kontext der Abfallablagereungsverordnung.

Ein nicht zu unterschätzender Punkt dürfte auch die Akzeptanz sein. Die Rückbaumaßnahme wird bei den Anliegern vermutlich auf wenig Gegenliebe stoßen, auch wenn der Standort nach Abschluss der Maßnahme eine deutliche Aufwertung erfährt. Der Öffentlichkeitsarbeit muss in diesem Zusammenhang ein hohes Maß an Bedeutung zugesprochen werden.

Tabelle 3: Gründe für und gegen den Deponierückbau

Motivation/Anreiz	Hemmnisse
Erlöse durch Gewinnung von Sekundärrohstoffen	Aufwendungen für Rückbau, Aufbereitung und Konfektionierung gegebenenfalls auch Behandlung und Umlagerung
Erlöse aus Flächenrecycling	Verringerung der Akzeptanz bei den Anliegern während der Rückbaumaßnahme, hauptsächlich verursacht durch Abluft- und Lärmemissionen
Kosteneinsparungen bei Stilllegung und Nachsorge Deponieertüchtigung und Altlastensanierung	Unklare rechtliche Rahmenbedingungen Fehlen ausreichend belastbarer Daten zum Rückbau unter anderem Produktqualität, Ökonomie/Ökologie
Verlängerung der Laufzeit durch Volumengewinnung Erhöhung der Akzeptanz bei den Anliegern durch Aufwertung des Standortes nach Abschluss der Maßnahme Klima-, Gewässer-, Boden-, Landschaftsschutz	

3.4. Ablaufplan Landfill Mining

Der erste Schritt bei einem Projekt zum Landfill Mining ist die Durchführung einer Feasibility Studie für den rückzubauenden Standort (Bild 2). Bei dieser detaillierten Vorerkundung werden u.a. die Abfallarten und besondere Ablagerungsbereiche ermittelt, die Hinweise auf zu erwartenden Abfallströme und Wertstoffpotenziale geben. Diese Vorerkundung dient der Überprüfung, ob das Projekt unter ökonomischen und ökologischen Randbedingungen durchführbar ist. Des Weiteren ergeben sich Hinweise zum einen auf Gefährdungspotenziale und die daraus abzuleitenden Sicherheitsmaßnahmen und zum anderen auf die einzusetzenden Gerätschaften.

Ergeben die Vorerkundungen Hinweise, dass aufgrund der Abfallzusammensetzung und des Alters noch erhöhte Deponiegasvolumen beim Rückbau freigesetzt werden können, muss eine aerobe Stabilisierung der umzulagernden Abfallbereiche erfolgen. Durch eine gezielte Belüftung und Absaugung erfolgte eine Umstellung der Milieubedingungen im Abfallkörper von anaeroben auf aerobe Verhältnisse, so dass eine weitere Entstehung von Deponiegas verhindert wird und gleichzeitig andere flüchtige Komponenten gefasst werden. Die gefassten Gase müssen in mehrstufigen Filteranlagen gereinigt werden. Durch diese Maßnahme werden nicht nur die Gas- und Geruchsemissionen minimiert, es kann auch eine Reduktion des Wassergehaltes im Abfall erzielt werden, was für die weiteren Arbeitsschritte vorteilhaft ist.

Im dritten Schritt erfolgt der schichtenweise Abbau des Abfalls und des Transportes zu den einzelnen Behandlungsaggregaten. Bereits beim Ausbaggern kann eine Vorsortierung des Abfalls erfolgen. Im anschließenden 4. Schritt werden die einzelnen Stoffströme weiter aufgetrennt und klassifiziert, um für die weitere Konfektionierung und Behandlung definierte Abfallfraktionen zu erhalten.

Im fünften Schritt erfolgt die stoffstromspezifische und Konfektionierung Behandlung, Ob und welche Behandlungsschritte wie z.B. eine biologische oder thermische Behandlung zu integrieren ist, bedarf der Einzelfallprüfung. Der Anteil, der im sechsten Schritt nach einer entsprechenden Reinigung und Behandlung weiterhin einer geordneten Deponie zugeführt werden ist auf ein Minimum zu reduziert.

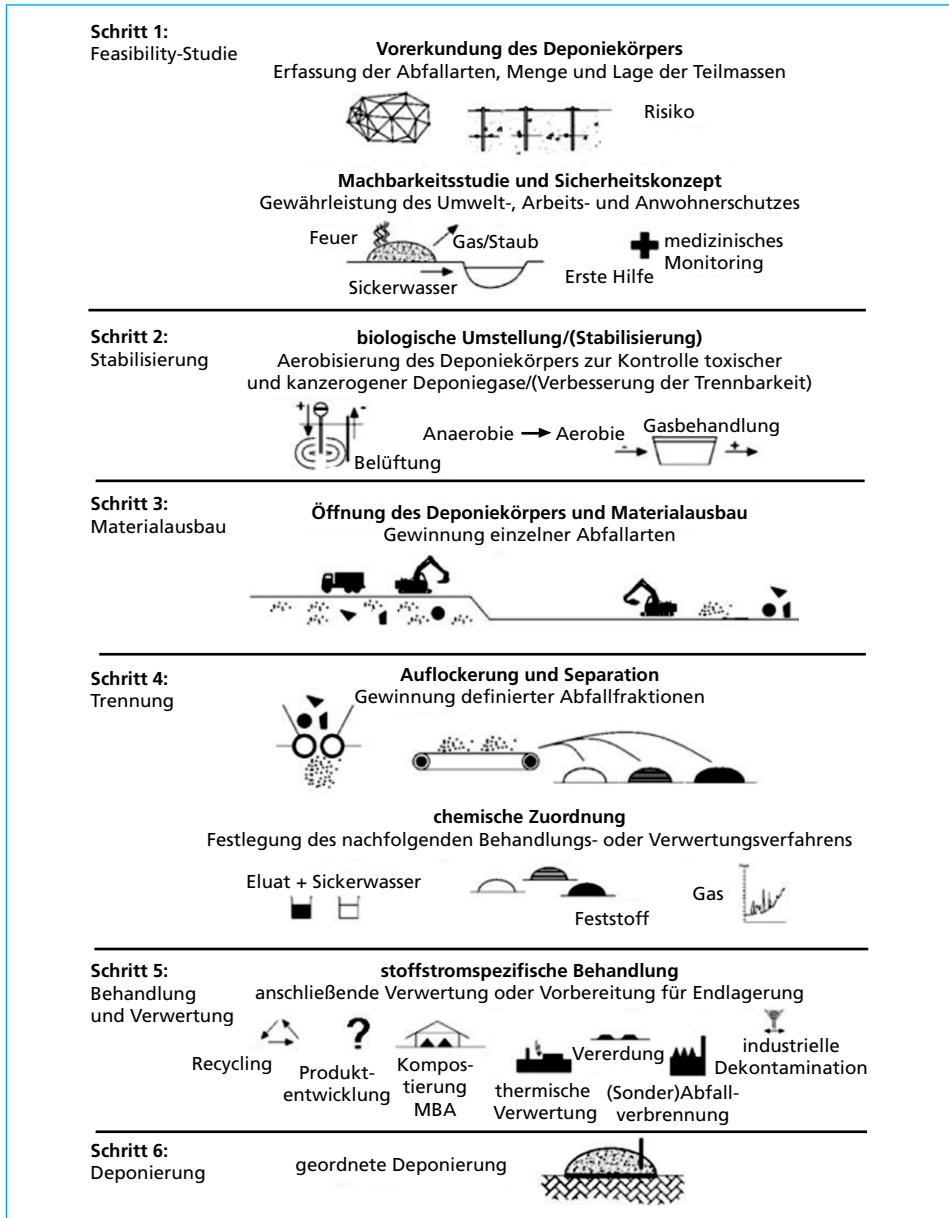


Bild 2: Verfahrensschritte des Landfill Minings

Quelle: Dörrie, T.; Breuer, W.; Nassour, A.; Spillmann, P.: Dokumentation zum Rückbau der Deponie Helene Berger in Niederösterreich. In: 51. Berg- und Hüttenmännische Tag 2000, TU Bergakademie, Freiberg/Sachsen, 2000, verändert

4. Ausblick

Ökologisch ist der Rückbau mit möglichst umfassender Rückführung des Deponiegutes in den Stoffkreislauf und das damit verbundene Flächenrecycling sicherlich unumstritten. Die Gretchenfrage wird sich auf ökonomische Aspekte kaprizieren. Erlöse aus dem Sekundärrohstoffverkauf, dem Flächenrecycling und Einsparungen bei der Stilllegung und Nachsorge stehen Aufwendungen des Rückbaus und des Reststoffentsorgung gegenüber. Mit Ausnahme einzelner Sonderstandorte ist der Rückbau ökonomisch heute sicherlich noch nicht darstellbar. Legt man allerdings die als äußerst kritisch einzustufende Verfügbarkeit einiger der wichtigen Ressourcen zu Grunde, bedarf es keiner besonders ausgeprägten hellseherischen Fähigkeiten, um bewegte Zeiten am Primärrohstoffmarkt und somit auch auf dem Sekundärrohstoffmarkt zu prognostizieren, bei der sich die Preisspirale nur in eine Richtung dreht – aufwärts. Für das Landfill Mining bedeutet dies, dass nicht die Frage nach dem *Ob* sondern nach dem *Wann* zu stellen ist.

Der Rückbau von Deponien mit der Prämisse auf möglichst umfassendem Recycling und das Flächenrecycling sind grundsätzlich machbar. Details zur angewandten Technik stehen i.d.R. nicht in ausreichend belastbarer Form zur Verfügung. Insbesondere mangelt es an spezifischen Informationen über die Quantität und Qualität der im Deponiekörper eingebauten Stoffe und der hieraus erzielbaren Produktqualitäten. Es fehlen weiterhin ganzheitliche Kostenbetrachtungen, mit dessen Hilfe aufgezeigt werden kann, bei welchen ökonomischen Eckdaten sich der Deponierückbau gegenüber den konventionellen Optionen wirtschaftlich gleichwertig oder vorteilhaft darstellt. Letztendlich bedarf es auch eines sog. Deponie-Ressourcenkatasters.

Auch wenn Recyclingmaßnahmen und Landfill Mining allein natürlich die Ressourcenverknappung nicht verhindern können, so bilden sie doch einen wichtigen Baustein für die zukünftige Ressourcenversorgung. Landfill Mining markiert einen weiteren wichtigen Meilenstein im Paradigmenwechsel von der Abfall- zur Ressourcenwirtschaft.

Zurzeit befindet sich ein großangelegtes Forschungs- und Entwicklungsvorhaben des BMBF und des Landes Nordrhein-Westfalen zum Thema Urban Mining und Landfill Mining im Ausschreibungsverfahren. Der Beginn der FuE-Vorhaben ist für den Mitte 2012 anvisiert. Ziel des auf drei Jahre angelegten FuE-Vorhabens ist es u.a. Gesamtkonzeptionen für das Landfill Mining zu entwickeln und Informationen für die Entscheidungsfindung und Umsetzung entsprechender Vorhaben in Form von Leitfäden bereitzustellen.

Das Ziel des Vorhabens ist die erstmals ganzheitliche Untersuchung und Entwicklung eines Gesamtkonzepts zum Rückbau bestehender Deponieflächen für Siedlungsabfall und Schlacken sowie zur weitestgehenden Nutzung der darin enthaltenen Ressourcen.

Gemäß des in den letzten Jahren stattfindenden Paradigmenwechsels der Abfallwirtschaft von einer reinen Entsorgungswirtschaft hin zu einer ressourcenorientierten Wirtschaftsweise ist die Einbindung bestehender Deponieflächen als Lagerstätten wertvoller Sekundärrohstoffe in eine moderne Ressourcenwirtschaft notwendig und folgerichtig. Aufgrund des von Deponien ausgehenden Gefährdungspotenzials und der dadurch notwendigen langen Nachsorgezeiträume ist in eine ganzheitliche Betrachtung auch der volkswirtschaftlich wirksame Flächenverbrauch mit einzubeziehen.

Hieraus ergeben sich zwei übergeordnete Triebkräfte für ein Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zum Thema Deponierückbau.

1. Vermeidung erheblicher Kosten und Umweltbeeinträchtigungen im Verlauf langer Nachsorgezeiträume – insbesondere durch Siedlungsabfalldéponien – sowie Rückgewinnung anderweitig nutzbarer Flächen.

2. Gewinnung, Aufbereitung und Nutzung wertvoller Ressourcen und der damit einhergehende Beitrag zum Ressourcenschutz .

Diese Ziele stehen im Spannungsfeld mit den bei einem Landfill-Mining anfallenden Kosten und punktuellen Emissionen sowie bestehenden rechtlichen und gesellschaftlichen Vorgaben. Hier setzt das beantragte FuE-Vorhaben an.

Wesentliche, im Rahmen des Forschungsvorhabens zu bearbeitende Fragestellungen sind:

- Welches Ressourcenpotenzial bieten Deponien?
- Unter welchen Bedingungen kann ein Landfill Mining ökonomisch, ökologisch und sozial nachhaltig gestaltet werden?
- Unter welchen Rahmenbedingungen ist ein Landfill Mining gegenüber konventionellen Optionen (bestehende Nachsorgekonzepte) ökonomisch und ökologisch gleichwertig oder vorteilhaft?
- Mit welchen technologischen Konzeptionen/Verfahren und Aggregaten sind eine Materialentnahme bzw. ein Deponierückbau und eine erforderliche Aufbereitung effizient realisierbar?
- Welche Sekundärrohstoffe können bereitgestellt werden, in welchen Mengen und Qualitäten, welche Produkte können erzeugt werden? Welchen Beitrag können Altdeponien für die Sicherung ausgewählter Ressourcen liefern?
- Welche technischen Entwicklungen müssen für neue Produkte und Dienstleistungen vorgenommen werden?
- In welchem Umfang können vorhandene Entsorgungsanlagen Aufgaben im System Rückbau wahrnehmen?
- Welche genehmigungsrechtlichen Anforderungen sind zu erfüllen?
- Wie ist die Akzeptanz für derartige Vorhaben z.B. bei der Bevölkerung in unmittelbarer Nähe infrage kommender Standorte einzustufen? Welche Maßnahmen sind für die Arbeitssicherheit und unter Umweltschutzgesichtspunkten zu treffen?

An dem Verbundvorhaben sind folgende Unternehmen und Forschungseinrichtungen beteiligt:

Unternehmen

- Tönsmeier Dienstleistung GmbH & Co. KG (Konsortialführer), Porta Westfalica
- Arbeitsgemeinschaft Abfallentsorgungsbetrieb des Kreises Minden-Lübbecke, AML Immobilien GmbH und Gesellschaft zur Verwertung organischer Abfälle mbH & Co. KG, Minden

Forschungseinrichtungen

Technische Universität Braunschweig

- Professor Dr. Klaus Fricke, Leichtweiß-Institut, Abteilung Abfall- und Ressourcenwirtschaft
- Professor Dr. Norbert Dichtl, Institut für Siedlungswasserwirtschaft
- Professor Dr. Thomas S. Spengler, Institut für Automobilwirtschaft und industrielle Produktion

Technische Universität Clausthal

- Professor Dr. Daniel Goldmann, Institut für Aufbereitung, Deponietechnik und Geomechanik, Lehrstuhl für Rohstoffaufbereitung und Recycling

RWTH Aachen

- Professor Dr. Thomas Pretz, Institut für Aufbereitung und Recycling
- Professor Dr. Peter Quicker, Lehr- und Forschungsgebiet Technologie der Energierohstoffe AG ifeu-Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH, Florian Knappe und Öko-Institut e.V., Freiburg, Günter Dehoust

5. Literatur

- [1] Bardt, H.: Sichere Energie- und Rohstoffversorgung, Herausforderung für Politik und Wirtschaft? In: IW-Positionen 36, Beiträge zur Ordnungspolitik aus dem Institut der deutschen Wirtschaft Köln, 2008
- [2] Bilitewski, B.: Abfallwirtschaft: Handbuch für Praxis und Lehre, Springer-Verlag, Berlin, 2000
- [3] Brammer, F.; Bahadir, M.; Collins, H.-J.; Hanert, H.; Koch, E.: Rückbau von Siedlungsabfalldeponien. B.G.Teuber Verlagsgesellschaft, Stuttgart, 1997
- [4] Budde, E.; Chlan, P.; Dörrie, T.: Landfill restoration with the BIOPUSTER-System – eration as prerequisite for occupational, residential and environmental safety. EUROARAB 2002. Inst. LABW, University of Rostock, 2002
- [5] Cossu, R.; Motzo, G. M.; Laudadio, M.: Preliminary study for a landfill mining project in Sardinia. Proc. SARDINIA, 1995
- [6] Dörrie, T.; Breuer, W.; Nassour, A.; Spillmann, P.: Dokumentation zum Rückbau der Deponie *Helene Berger* in Niederösterreich. In: 51. Berg- und Hüttenmännische Tag 2000, TU Bergakademie, Freiberg/Sachsen, 2000
- [7] Faulstich, M.: 40 Jahre Abfallwirtschaft – 40 Jahre *Müll und Abfall*. In: Müll und Abfall – Fachzeitschrift für Abfall- und Ressourcenwirtschaft 41, Berlin, 2009, S. 156-162
- [8] Fricke, K.; Hillebrecht, K.; Richter, O.; Schmehl, M.; Borkowsky, O.; Kratz, R.: Nachnutzung von Deponien für den Anbau von Energiepflanzen, FuE-Vorhaben des Bundesamtes für Naturschutz, FZK: 804 34 001, Bonn, 2006
- [9] Fricke, K.; Münnich, K.; Schulte, B.: Urban Mining – ein Beitrag für die zukünftige Ressourcensicherung. In: Ressource Abfall, Festschrift zur 50-Jahr-Feier des BDE, TK Verlag, Neuruppin, 2011
- [10] Goldmann, D.: Erschließung neuer Rohstoffpotentiale aus Abfallströmen durch Entwicklung vernetzter Verwertungsstrukturen und mehrstufiger Aufbereitungsprozesse. In: Thomé-Kozmiensky K. J.; Goldmann, D. (Hrsg.): Recycling und Rohstoffe, Band 2. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 251-268
- [11] Görner, K.; Hübner K. (Hrsg.): Abfallwirtschaft und Bodenschutz, Springer-Verlag, Berlin, 2002
- [12] Göschl, R.: Deponierückbau im Emirat Sharjah. Tiefbau 2/2006, 2006, S. 66-71
- [13] Lucas, R.; Bleischwitz, R.; Krause, M.; Stürmer, M.: Kupfereffizienz – unerschlossene Potenziale, neue Perspektiven. In: Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH (Hrsg.): Ergebnisse des *Zukunftsdialogs Rohstoffproduktivität und Ressourcenschonung*, Wuppertal, 2008
- [14] Lee, G. F.; Jones, R.A.: Use of landfill mining in solid waste management. Proc. Of Water Quality Management of Landfills, Water Pollution control Federation, Chicago, 1990

- [15] Hogland, W.; Gomes, M. M.; Thorney, L.: Landfill mining: space saving, material recovery and energy use. Sem. On Waste Management and the Environment, Kalmar, Sweden, 1997
- [16] Kreuzwieser, S.; Dörrie, T.: Altlastensanierung durch Deponierückbau in Österreich-Darstellung der aktuellen Projekte Altlast *Wiener Neudorf* und *Fischer Deponie*. In: Dr. Gert Morscheck (Ed.), 6. Dialog Abfallwirtschaft in M-V (Mecklenburg-Vorpommern) Betrieb, Stilllegung und Nachsorge von Deponien Universität Rostock, 2003
- [17] Mocker, M.; Fricke, K.; Löh, I.; Franke, M.; Bahr, T.; Münnich, K.; Faulstich, M.: Urban Mining – Rohstoffe der Zukunft. In: Müll und Abfall 10, Erich Schmidt Verlag, Berlin, 2009
- [18] Morf, L.; Taverna, R.; Buser, A.: Schlackemonitoring in der KVA Thurgau im Jahr 2007, GEO Partner AG, Zürich, 2008
- [19] Rettenberger, G.: Zukünftige Nutzung der Deponie als Ressourcenquelle. In: Flamme, Galenkemper, Gellenbeck, Bidlingmaier, Kranert, Nelles, Stegmann (Hrsg.): Tagungsband der 11. Münsteraner Abfallwirtschaftstage, Münster, 2009, S. 101-109
- [20] Rettenberger, G.; Urban, Kiss, S.; Schneider, R.; Göschl, R.; Kremsl, W.: Deponierückbau an der Deponie Burghof in Vaihingen/Enz-Horrheim, Korrespondenz Abwasser, 42, 1995
- [21] Savage, M. G.; Gouleke, C. G.; Stein, E. L.: Landfill mining – past and present. Biocycle, 1993
- [22] Spillmann, P.; Ranner, D.; Reisner, M.: Low-emission waste transposition by converting from anaerobic to aerobic decomposition. In: TU Budapest and Florida State University: Intern. Symposium Environmental Contamination in Central and Eastern Europe, Budapest, 1992, Thomé-Kozmiensky, K. J.: Recycling and Waste Incineration – Not a Contradiction. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Pelloni, L. (Hrsg.): Waste Management, Band 2. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 91-102
- [23] Stegmann, R.: AG 6.1 ATV / VKS: Deponiestilllegung, Hennef, 2006
- [24] Thomé-Kozmiensky, K. J.: Recycling and Waste Incineration – Not a Contradiction. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Pelloni, L. (Hrsg.): Waste Management, Band 2. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 91-102
- [25] USEPA: Landfill reclamation. US Environmental Protection, EPA 530-F97-001, 1997
- [26] UBA: Umweltbundesamt, Abfallaufkommen und Abfallentsorgung in Deutschland 1996 bis 2004, Berlin, 2006
- [27] Wendenburg, H.: Von der Müllkippe zur Ressourcenpolitik – 40 Jahre Abfallpolitik in Deutschland. In: Müll und Abfall 4, Erich Schmidt Verlag, Berlin, 2009, S. 163-171

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Recycling und Rohstoffe – Band 5

Karl J. Thomé-Kozmiensky, Daniel Goldmann.

– Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2012

ISBN 978-3-935317-82-5

ISBN 978-3-935317-82-5 TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky

*Veröffentlichung einzelner Beiträge bei www.deponie-stief.de
mit freundlicher Genehmigung von Prof. Thomé-Kozmiensky*

Copyright: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky
Alle Rechte vorbehalten

Verlag: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky • Neuruppin 2012
Redaktion und Lektorat: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky,
Dr.-Ing. Stephanie Thiel, M.Sc. Elisabeth Thomé-Kozmiensky
Erfassung und Layout: Janine Burbott, Petra Dittmann, Sandra Peters,
Martina Ringgenberg, Ginette Teske
Druck: Mediengruppe Universal Grafische Betriebe München GmbH, München

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien, z.B. DIN, VDI, VDE, VGB Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.