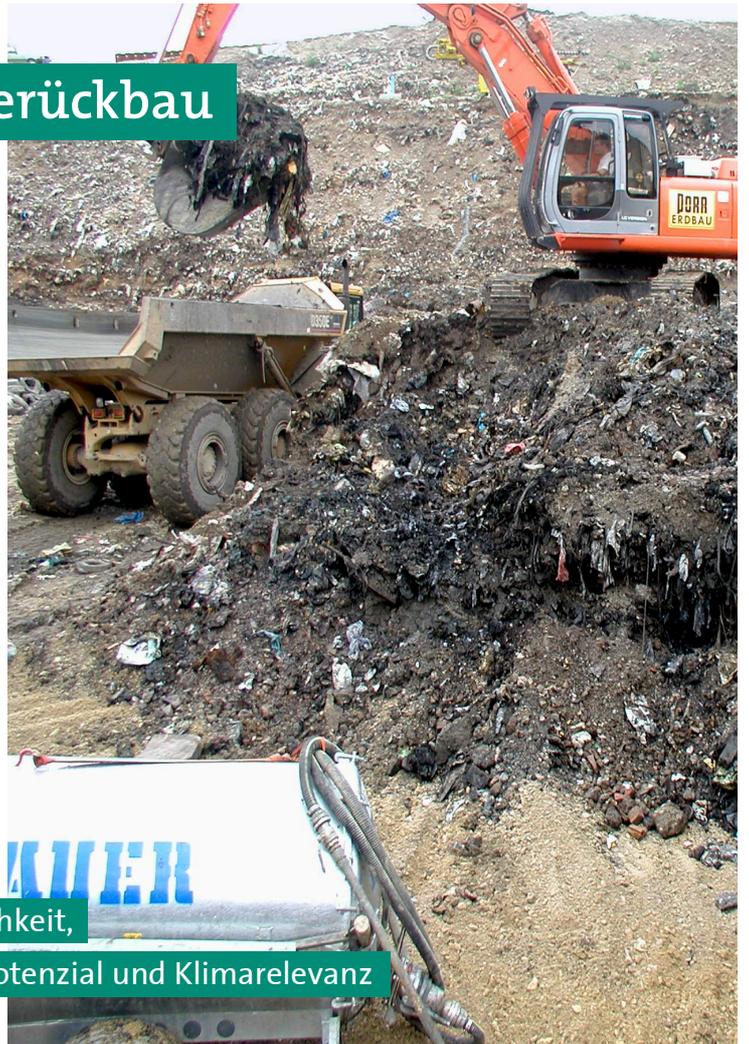


Deponierückbau



Wirtschaftlichkeit,

Ressourcenpotenzial und Klimarelevanz



DEPONIERÜCKBAU

Wirtschaftlichkeit, Ressourcenpotenzial und Klimarelevanz

Antonia Bernhard
Manfred Domenig
Hubert Reisinger
Birgit Walter
Thomas Weißenbach



Projektleitung

Thomas Weißenbach

AutorInnen

Antonia Bernhard

Manfred Domenig

Hubert Reisinger

Birgit Walter

Thomas Weißenbach

Lektorat

Maria Deweis

Satz/Layout

Elisabeth Riss

Umschlagphoto

© Balsa GmbH

Diese Publikation wurde im Auftrag des Lebensministeriums erstellt.

Weitere Informationen zu Umweltbundesamt-Publikationen unter: <http://www.umweltbundesamt.at/>

Impressum

Medieninhaber und Herausgeber: Umweltbundesamt GmbH
Spittelauer Lände 5, 1090 Wien/Österreich

© Umweltbundesamt GmbH, Wien, 2012

Alle Rechte vorbehalten

ISBN 978-3-99004-181-9

INHALT

ZUSAMMENFASSUNG	9
SUMMARY	12
1 EINLEITUNG	15
2 BISHERIGE ERFAHRUNGEN IM DEPONIERÜCKBAU – PILOTPROJEKTE	17
2.1 Österreich	17
2.1.1 Deponie Spitzau	17
2.1.2 Fischer-Deponie	18
2.1.3 Tiroler Deponien	19
2.2 Deutschland	20
2.2.1 Deponie Reiskirchen	21
2.2.2 Kreismülldeponie Hechingen	23
2.2.3 Deponie Dyckerhoffbruch in Wiesbaden	28
2.2.4 Deponie Burghof in Vaihingen/Horrheim des Landkreises Ludwigsburg	29
2.2.5 Deponien Schöneiche und Schöneicher Plan, Brandenburg	30
2.3 Schweiz	31
2.3.1 Sondermülldeponie Kölliken	31
3 ERHEBUNG DER ABFALLMENGEN UND -ARTEN IN ÖSTERREICH	32
3.1 Entwicklung der Ablagerung von Abfällen in Österreich	32
3.2 Abschätzung der abgelagerten Abfallmengen und -arten	33
3.2.1 Abschätzung der Ablagerung von Abfällen in Österreich	33
3.3 Auswahl der betrachteten Wertstoffe	37
3.3.1 Abfallarten und Mengen in ausgewählten Deponien/Standorten	39
4 ABSCHÄTZUNG ABGELAGERTES RESSOURCENPOTENZIAL	40
4.1 Qualitative Abschätzung der Zusammensetzung von Abfallablagerungen im zeitlichen Verlauf	40
4.1.1 Einflussfaktoren auf Qualität und Zusammensetzung der Abfallablagerungen	40
4.1.2 Wertstoffpotenzial in Deponien	41
4.2 Hochrechnung auf alle österreichischen Deponien	42
5 EVALUIERUNG VON AUFBEREITUNGSTECHNOLOGIEN	44
5.1 Eingesetzte Technologien	44
5.1.1 Allgemeines	44
5.1.2 Mechanische Aufbereitungsverfahren	47

5.1.3	Biologische Abfallbehandlung	62
5.1.4	Thermische Abfallbehandlung	65
5.2	Praxisbeispiele	65
5.3	Effizienz der Wertstoffrückgewinnung	65
5.4	Energieeinsatz	66
6	KLIMARELEVANZ DER WERTSTOFFRÜCKGEWINNUNG	67
6.1	Methodik	67
6.2	Abfallwirtschaftlicher Rucksack	68
6.2.1	Angaben zu den Deponien	69
6.2.2	Vorbelüftung	69
6.2.3	Deponiegas-Emissionen	70
6.2.4	Abgraben des Deponats	71
6.2.5	Aufbereitung des Deponats	71
6.2.6	Aufbereitung von Altmetallen	72
6.2.7	Sekundärproduktionsanlage (Hütte/Stahlwerk)	72
6.2.8	Wiederablagerung der Restfraktion	72
6.2.9	Transportabschätzungen	72
6.3	Aluminium	73
6.4	Kupfer	74
6.5	Eisen/Stahl	75
6.6	Altholz	76
6.7	Leichtfraktion	76
6.8	Summe an Einsparungen	77
6.8.1	Deponie A	77
6.8.2	Deponie B	77
6.8.3	Deponie C	78
6.9	Gesamtbetrachtung am Beispiel der Deponie A	79
6.9.1	Spezifische KEA-Einsparungen	79
6.9.2	Spezifische Einsparung an THG-Emissionen	80
6.9.3	Absolute Einsparungen an KEA	80
6.9.4	Absolute Einsparungen an THG-Emissionen	81
6.9.5	Prozentuelle Einsparungen an KEA und THG-Emissionen	82
7	WIRTSCHAFTLICHKEITSBETRACHTUNGEN	83
8	ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	93
9	LITERATURVERZEICHNIS	94

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1	Erlös- und Kostensituation der Deponie Reiskirchen	23
Tabelle 2:	Erlös- und Kostensituation der Deponie Hechingen	27
Tabelle 3:	Daten zur Deponie Dyckerhoffbruch in Wiesbaden.....	28
Tabelle 4:	Abfallarten, von denen 1998–2007 mehr als 50.000 t auf Massenabfalldeponien abgelagert wurden	35
Tabelle 5:	Abfallarten, von denen 1998–2007 mehr als 50.000 t auf Reststoffdeponien abgelagert wurden	36
Tabelle 6:	Ausgewählte Abfallarten, die ein hohes Rohstoffpotenzial aufweisen	38
Tabelle 7:	Masse an potenziellen Wertstoffen, die in den Jahren 1990– 2009 insgesamt auf österreichischen Deponien abgelagert wurden.	43
Tabelle 8:	Durchschnittliche Ablagerung an potenziellen Wertstoffen pro Jahr.	43
Tabelle 9:	Trennschnitte internationaler Deponierückbauten	45
Tabelle 10:	Spezifische Emissionsfaktoren und KEA	68
Tabelle 11:	Deponievolumina der ausgewählten Deponien.	69
Tabelle 12:	Vorbelüftung der Deponie A.....	70
Tabelle 13:	THG-Emissionen der Deponie A (in t CO ₂ -Äquivalent)	71
Tabelle 14:	Energieeinsatz für die Deponat-Aufbereitung der Deponie A.....	71
Tabelle 15:	Stoffmengen nach der Deponat-Aufbereitung der Deponie A.....	71
Tabelle 16:	Energieeinsatz für die Metallaufbereitung sowie Ausbeute	72
Tabelle 17:	KEA und THG-Emissionen für die Sekundärproduktionsanlagen sowie der Schrott-Input (pro t marktfähiges Zwischenprodukt).....	72
Tabelle 18:	Transportdistanzen für die Deponie A	73
Tabelle 19:	Vergleich des Energieeinsatzes KEA und der THG- Emissionen bei der Primär- und Sekundärproduktion pro Tonne Aluminium (Deponie A).....	74
Tabelle 20:	Vergleich des Energieeinsatzes KEA und der THG- Emissionen bei der Primär- und Sekundärproduktion pro Tonne Kupfer (Deponie A).....	75
Tabelle 21:	Vergleich des Energieeinsatzes KEA und der THG- Emissionen bei der Primär- und Sekundärproduktion pro Tonne Rohstahl (Deponie A)	75
Tabelle 22:	Vergleich des Energieeinsatzes KEA und der THG- Emissionen beim Primär- und Sekundärprodukt (Deponie A).....	76
Tabelle 23:	Vergleich des Energieeinsatzes KEA und der THG- Emissionen beim Primär- und Sekundärprodukt (Deponie A).....	77

Tabelle 24: Gesamtbetrachtung der maximalen Einsparungen beim Energieeinsatz KEA und bei den THG-Emissionen für die Deponie A	77
Tabelle 25: Gesamtbetrachtung der maximalen Einsparungen beim Energieeinsatz KEA und bei den THG-Emissionen für die Deponie B	78
Tabelle 26: Gesamtbetrachtung der maximalen Einsparungen beim Energieeinsatz KEA und bei den THG-Emissionen für die Deponie C	78
Tabelle 27: Annahmen für das Basisszenario der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung und errechnete Erlös-Kostenerwartung	84

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Zusammensetzung des Siedlungsabfalls in Tirol.	20
Abbildung 2: Ablagerungsmengen Deponie Reiskirchen und Gesamtmenge des theoretischen Ressourcenpotenzials (Hausmüll, Gewerbeabfälle und Sperrmüll).....	21
Abbildung 3: Erwartetes stoffliches und energetisches Ressourcenpotenzial der Deponie Reiskirchen unter Annahme eines 65%igen Abbaus der organischen Substanz, 1973–2001.	22
Abbildung 4: Ablagerungsmengen Deponie Hechingen.	24
Abbildung 5: Deponiegutzusammensetzung der Deponie Hechingen.	25
Abbildung 6: Deponiegutzusammensetzung der Fraktion < 35 mm der Deponie Hechingen.	25
Abbildung 7: Gewichtsbezogene Anteile der Stoffgruppen in Bezug auf die getrocknete Gesamtmenge der Fraktion > 35 mm der Deponie Hechingen.	26
Abbildung 8: Stoffpotenzial der Deponie Hechingen.	27
Abbildung 9: Verfahrensschritte beim Deponierückbau.....	45
Abbildung 10: Gitterlöffel zum Aussortieren großer, sperriger Abfallbestandteile.....	48
Abbildung 11: Gitterlöffel zum Aussortieren großer, sperriger Abfallbestandteile.....	48
Abbildung 12: Verfahrensflißbild einer mechanischen Aufbereitungsanlage.	50
Abbildung 13: Stationäre Trommelsiebmaschine.	52
Abbildung 15: Beispiel eines Stangensizers.	53
Abbildung 16: Schema eines Mogensen Sizers.	54
Abbildung 17: Sonderform eines Scheibensiebes – das Sternsieb.....	55
Abbildung 18: Funktionsweise eines Sternsiebes.	56
Abbildung 19: Mobiles Sternsieb.	57
Abbildung 20: Siebmatten eines Spanwellensiebs.	58
Abbildung 21: Mehrfraktionen-Separator für die Hausmüllaufbereitung.....	60
Abbildung 22: Steinfaller.	61
Abbildung 23: Funktionsprinzip einer Rotorschere.	62
Abbildung 24: Ablaufschema eines potentiellen Rückbaus für die Deponie A.	69
Abbildung 25: Spezifische Einsparungen an KEA (kWh pro t Zwischenprodukt) für die jeweiligen Wertstoffe für die Deponie A.	79

Abbildung 26: Maximale spezifische Einsparungen an THG-Emissionen (kg pro t Zwischenprodukt) für die jeweiligen Wertstoffe für die Deponie A.	80
Abbildung 27: Absolute Einsparungen an KEA für die jeweiligen Wertstoffe für die Deponie A	81
Abbildung 28: Maximale absolute Einsparungen an THG-Emissionen für die jeweiligen Wertstoffe für die Deponie A	81
Abbildung 29: (Maximale) prozentuelle Einsparungen an KEA und THG-Emissionen für die jeweiligen Wertstoffe für die Deponie A.	82
Abbildung 30: Wirtschaftlichkeit des Deponierückbaus bei Variation des Anteils der heizwertreichen Fraktion am Deponiekörper.	86
Abbildung 31: Wirtschaftlichkeit des Deponierückbaus bei Variation des Anteils der Eisenschrott-Fraktion am Deponiekörper.	86
Abbildung 32: Wirtschaftlichkeit des Deponierückbaus bei Variation des Anteils der Kupferschrott-Fraktion am Deponiekörper.	87
Abbildung 33: Wirtschaftlichkeit des Deponierückbaus bei Variation des Anteils der Aluminiumschrott-Fraktion am Deponiekörper.	87
Abbildung 34: Wirtschaftlichkeit des Deponierückbaus bei Variation des Anteils der gewinnbaren Nickels am Deponiekörper (Kosten für die Abtrennung/Aufbereitung des Nickels sind nicht berücksichtigt).	88
Abbildung 35: Wirtschaftlichkeit des Deponierückbaus bei Variation der Rückbaukosten (ohne Kosten/Erlöse für die Behandlung/Verwertung der abgetrennten Fraktionen).	89
Abbildung 36: Wirtschaftlichkeit des Deponierückbaus bei Variation der Behandlungskosten für die heizwertreiche Fraktion.	89
Abbildung 37: Wirtschaftlichkeit des Deponierückbaus bei Variation der Behandlungskosten/ Erlöse für die Fraktion Ersatzbrennstoffe (EBS) (in dieser Grafik sind Erlöse für die Behandlung der EBS auf der x-Achse negativ dargestellt).	90
Abbildung 38: Wirtschaftlichkeit des Deponierückbaus bei Variation des Marktpreises für Eisenschrott.	90
Abbildung 39: Wirtschaftlichkeit des Deponierückbaus bei Variation des Marktpreises für Kupferschrott.	91
Abbildung 40: Wirtschaftlichkeit des Deponierückbaus bei Variation des Marktpreises für Aluminiumschrott.	91

ZUSAMMENFASSUNG

Die Ablagerung von Abfällen stellt seit jeher eine maßgebliche Art der Abfallbeseitigung dar. Aufgrund der im Abfall enthaltenen Schadstoffe und der im Deponiekörper stattfindenden biologischen und chemischen Umwandlungsprozesse geht von den Ablagerungen eine Gefahr für die Umwelt und für die menschliche Gesundheit aus. In Deponien finden sich jedoch nicht nur Schadstoffe sondern auch Wertstoffe, die in Zeiten wachsenden Ressourcenbedarfs wieder einer Nutzung zugeführt werden könnten.

Ziel der vorliegenden Studie ist es, einen Überblick zum Stand des Deponierückbaus zu geben und die Möglichkeiten für ein Landfill Mining in Österreich abzuschätzen. Dazu werden die bisherigen Erfahrungen im Deponierückbau im deutschsprachigen Raum dargestellt und die technischen Aspekte dokumentiert. Auf Basis der abgelagerten Abfallmengen und Abfallarten in Österreich wird eine Abschätzung des abgelagerten Ressourcenpotenzials durchgeführt. Eine ökonomische Betrachtung des Deponierückbaus sowie eine Analyse der Klimarelevanz der Wertstoffrückgewinnung runden den Bericht ab.

Deponierückbau

Erstmals wurden im Jahr 1953 in Israel die in einer Deponie abgelagerten Abfälle wieder entnommen, um daraus einen Wertstoff zu gewinnen. Die erste Deponieumlagerung in Europa erfolgte ab 1990 in Wien (Deponie Spitzau).

Die Auswertung der Rückbaumaßnahmen zeigt, dass bei 33 % der Projekte der Grundwasserschutz im Vordergrund stand. Nach der Schaffung von Deponievolumen (20 %) folgt der Zweck der Wertstoffgewinnung mit 13 % erst an dritter Stelle.

Erhebung der abgelagerten Abfallmengen und -arten in Österreich

Aufgrund einer Meldeverpflichtung für Deponiebetreiber gemäß Deponieverordnung bzw. AWG sind Daten über abgelagerte Abfallmengen und Abfallarten ab dem Jahr 1998 in zufriedenstellender Qualität verfügbar. Da die benötigten Daten aus früheren Zeiträumen nur begrenzt zur Verfügung stehen, waren Schätzungen unter Zuhilfenahme verschiedener Datenquellen erforderlich. Eine Auswertung der Deponiedatenbank nach Abfallarten (Schlüsselnummern) für den Zeitraum 1998–2007 ergab für 74 Massenabfalldeponien eine Summe von ca. 25,5 Millionen Tonnen abgelagerter Abfälle und für 35 Reststoffdeponien ca. 6,4 Millionen Tonnen.

Der größte Anteil der auf Massenabfalldeponien abgelagerten Abfälle besteht aus Haus- und Sperrmüll (rund 41 %), während auf Reststoffdeponien fast die Hälfte der abgelagerten Abfälle (47 %) auf Aushubmaterialien entfällt.

Auswahl der betrachteten Wertstoffe und Abschätzung des abgelagerten Ressourcenpotenzials

Aus Deponien können prinzipiell Energierohstoffe, Metalle und Mineralien als Wertstoffe zurückgewonnen werden. Insgesamt wurden im Zeitraum 1990–2009 an relevanten 58 Abfallarten (mehr als 1.000 Tonnen pro Jahr) 33.816.700 Ton-

nen abgelagert, wobei der größte Anteil (ca. 58 %) auf metallhaltige Abfälle entfiel. Hinsichtlich der zeitlichen Entwicklung lässt sich feststellen, dass bei allen potenziellen Wertstoffen ein Rückgang der pro Jahr abgelagerten Massen zu verzeichnen ist.

Evaluierung der Aufbereitungstechnologien

Anhand von zwölf Deponierückbauprojekten wurde ein Überblick über die verwendeten Technologien erstellt. Dabei wurde insbesondere auch auf ihre Eignung für den Einsatz im Deponierückbau Bedacht genommen. Der Schwerpunkt der betrachteten Technologien liegt im Bereich der Klassierung und Sortierung und wurde ergänzt um die Behandlung der aufgenommenen Abfälle mittels mechanischer, biologischer und thermischer Verfahren bzw. entsprechender Kombinationen.

Auch der Energieverbrauch ist für den Deponierückbau und die Entsorgung der abgegrabenen Abfälle relevant. In der Literatur wird für das Abgraben, den Transport und die Aufbereitungsanlage ein summarischer Energiebedarf von 31,3 kWh pro Tonne abgegrabenem Abfall angegeben.

Klimarelevanz der Wertstoffrückgewinnung

Durch den Rückbau von Deponien werden Wertstoffe gewonnen, welche beim Recycling Einsparungen an Kumuliertem Energieaufwand (KEA) und Treibhausgas-Emissionen erzielen – verglichen mit der Erzeugung vergleichbarer Produkte ausschließlich aus Primärrohstoffen. Für drei Deponien wurden, basierend auf den Wertstoffen Aluminium, Kupfer, Eisen, Altholz und Leichtfraktion, Potenziale zur Reduktion von THG-Emissionen sowie des KEA abgeschätzt. KEA und THG-Emissionen wurden unter Verwendung des Emissionsmodells GEMIS (Globales Emissionsmodell Integrierter Systeme) berechnet. Da auf allen drei Deponien fast ausschließlich Siedlungsabfälle deponiert wurden, differierten die Einsparungen hauptsächlich aufgrund unterschiedlicher Deponievolumina. Die Klimarelevanz von Rückbauten anders gearteter Deponien konnte aufgrund fehlender (Literatur-)Daten nicht bilanziert werden.

Eine genauere Analyse hinsichtlich der Klimarelevanz eines möglichen Rückbaus wurde für eine ausgewählte Deponie durchgeführt. Grundsätzlich sind die maximal erzielbaren Einsparungen bei den THG-Emissionen größer als bei KEA, da der Rückbau einer Deponie u. a. beträchtliche Einsparungen an THG-Emissionen durch die Vermeidung von zukünftigen Deponiegas-Emissionen mit sich bringt. Lediglich bei der Leichtfraktion sind größere Einsparungen an KEA als an THG-Emissionen zu verzeichnen, da ein Großteil der THG-Emissionsgutschriften durch die Verbrennung der Leichtfraktion, die im Gegensatz zu Altholz nicht treibhausgasneutral wirkt, aufgebraucht wird.

Die maximalen spezifischen Einsparungen (pro Tonne Zwischenprodukt) an KEA und an THG-Emissionen sind für Aluminium und Kupfer am höchsten. Bei Eisen fallen die Einsparungen besonders gering aus, da in der Sekundärproduktion produktionsbedingt maximal 30 % Schrott eingesetzt werden kann.

Die maximalen absoluten Einsparungen an KEA und THG-Emissionen fallen hingegen für Leichtfraktion und Altholz besonders hoch aus, da diese Materialien im Vergleich zu den angeführten Metallen in bedeutend größeren Mengen beim Deponierückbau anfallen.

Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen

In den Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen wurden Abschätzungen der Kosten des Deponierückbaus den möglichen Erlösen durch Nutzung der Wertstoffe gegenübergestellt. Aufgrund der hohen Bandbreite einiger Parameter wurde nicht nur ein Basisszenario mit Durchschnittswerten aus der Literatur erstellt, sondern es wurden auch einige Parameter einer Variationsanalyse unterzogen.

Im Basisszenario fallen je Kubikmeter Deponie, der abgegraben wird, Nettokosten von 16,85 € an. Auffällig ist dabei, dass sich die Kosten für die Behandlung der heizwertreichen Fraktion und der Fraktion Ersatzbrennstoffe einerseits und die Erlöse aus dem Verkauf der Metalle andererseits annähernd aufheben. Auffällig ist auch, dass Kupferschrott ca. doppelt so viel zu den Erlösen beiträgt wie Eisenschrott, obwohl die Masse des Kupferschrotts nur rund ein Dreißigstel der Masse des Eisenschrotts ausmacht.

Mittels Variationsanalyse wurde untersucht, wie sich die Veränderung der drei Parameter Wertstoffgehalt in der Deponie, erzielbare Preise für die Wertstoffe sowie Kosten für den Deponierückbau auf die Wirtschaftlichkeit des Deponierückbaus auswirken.

Insgesamt zeigt die Wirtschaftlichkeitsanalyse, dass sich aus betriebswirtschaftlicher Sicht ein Deponierückbau nur rechnet, wenn mehrere Parameter sehr günstig liegen. Vor allem hängt die Wirtschaftlichkeit des Deponierückbaus von den Kosten für die Behandlung der heizwertreichen Fraktion und vom Kupferschrott-Gehalt des Deponiematerials ab. Anders ist die Situation zu bewerten, wenn dringend Deponievolumen benötigt wird und die Bereitstellung des Deponievolumens an anderen Standorten über 40 €/m³ kostet. Durch den Deponierückbau kann das benötigte Deponievolumen halbiert und das freigewordene Deponievolumen um rund 30–40 €/m³ bereitgestellt werden.

SUMMARY

Landfilling has always been one of the most important ways of waste disposal. The pollutants in the waste as well as the biological degradation and chemical reactions in the landfill body pose a threat to human health and the environment. However, the landfill contains not only pollutants, but also recyclable materials, which might be utilized.

Objective of the present study is to provide an overview of the status of landfill deconstruction and to estimate the potential for landfill mining in Austria. For this purpose the existing experiences in landfill deconstruction in Austria, Germany and Switzerland are presented and technical aspects of this deconstruction are documented. On basis of the waste types and quantities landfilled in Austria the potential for recycling these material resources from landfills is estimated. Furthermore, the report contains an economic analysis of the landfill mining as well as an assessment of the effects of the recycling on the emission of greenhouse gases.

Landfill deconstruction

In 1953, worldwide for the first time, waste was removed from an Israeli landfill with the purpose to utilize recyclable materials. The first relocation of a landfill in Europe took place in 1990 in Vienna (Spitzau landfill).

An analysis of the reasons for landfill deconstruction so far shows, that in 33% of the projects the focus was put on groundwater protection. The second important reason was the retrieval of landfill space. The recovery of recyclable materials was only on third place (13%) of the reasons for landfill deconstruction.

Analysis of landfilled waste types and quantities in Austria

On basis of a reporting obligation for landfill operators as defined by the Austrian Landfill Ordinance and the Austrian Waste Act data on landfilled waste types and quantities are available in sufficient quality starting with the year 1998. The data availability for amount and quality of waste landfilled before 1998 is limited, so that estimations based on different data sources have been utilized. An analysis of the Austrian Landfill Database regarding waste types produced the outcome that in the period 1998 until 2007 a total quantity of 25.5 Mio tonnes had been landfilled on 74 mass-waste landfills and 6.4 Mio tonnes had been landfilled on 35 residual-material landfills.

The biggest share of waste deposited on mass-waste landfills consists of household and bulky waste (41%), while on residual-material landfills almost half of the deposited wastes is made up of excavation materials.

Selection of recyclables to be analyzed and estimation of landfilled resource potential

Potential resources, which can be retrieved from landfills, are in principal energy feedstock, metals and minerals. These three categories are made up of 58 waste types with an annual deposition rate of at least 1,000 tonnes each. In total 33,816,700 tonnes of these waste types have been landfilled in the time period

1990 until 2009, metal containing waste contributing the biggest share with 58%. Concerning the temporal development a decrease in annual landfilling of all potential resources can be identified.

Evaluation of treatment technologies

Twelve landfill deconstruction projects have been evaluated with the purpose to create an overview of the used technologies. Focus has been laid on the suitability of the technologies to remove deposited waste. The most important technologies are screening and separating processes. In the subsequent step treatment technologies of the recovered waste are applied such as mechanical, biological and thermal processes as well as their combination.

Of high importance for the evaluation of the applied technologies and the landfill deconstruction process as a whole (including the disposal of the removed waste) is the parameter energy consumption. In literature a total energy demand of 31.3 kWh per tonne of removed waste can be found for the deconstruction, transport and treatment processes.

Climate impact of the recovery of potential recyclables

Landfill mining produces recyclable materials, which – when used as secondary material in products – can reduce the cumulated energy demand (CED) and the life cycle greenhouse gas (GHG) emission of these products by replacing more energy intensive primary materials. For three selected landfills the potentials for the reduction of CED and GHG-emissions was estimated for the materials aluminium, copper, iron, waste wood and light weight fraction. Calculations have been made with the help of the GEMIS emission model (Global Emission Model of Integrated Systems). On all three landfills almost exclusively municipal solid waste was deposited, thus differences in reduction potentials are mainly the result of the differing landfill volumes. A balance of the GHG reduction of landfills with other waste types than municipal solid waste could not be calculated due to missing input data for the model.

A detailed analysis of the potential for reducing greenhouse-gas (GHG) emissions by landfill mining was conducted for one of the three landfills. The maximum achievable reductions are bigger for GHG-emissions than for CED, because the landfill deconstruction saves GHG-emissions by reducing future landfill gas emissions. An exception is the light weight fraction, because the emission credits are depleted by its incineration, which, in contrast to waste wood, is not treated as neutral in terms of greenhouse gas emissions. The highest specific reductions of CED and GHG-emissions are reached by aluminium and copper. For iron the reductions are low, because in the recycling process only a maximum of 30% iron scrap can be used due to technical conditions. The total reductions of CED and GHG-emissions are considerable higher for waste wood and the light weight fraction, because the landfill mining produces much higher quantities of these fractions than of above mentioned metals.

Economic analysis

In the economic analysis an estimation of the costs of landfill deconstruction is compared with the potential revenues from the use of recyclables. As some parameters can vary over a wide range in real life, not only a baseline scenario with average values was developed, but these parameters were additionally subject to a variation analysis.

In the baseline scenario a value of 16.85 Euro is calculated for the net costs of removing one cubic meter of landfilled waste material. It is noticeable that the revenues for the metals are compensated by the costs for the treatment of the high calorific value fraction and the secondary fuel fraction. It is also noticeable that copper scrap contributes approximately twice as much to the revenues as iron scrap, although the quantity of the copper scrap is a factor thirty lower than the quantity of iron scrap.

In the variation analysis it was calculated, which effects the change of the three parameters content of recyclables in the landfill, achievable prices for recyclables and cost for landfill deconstruction have on the economic balance of the landfill mining.

In general, the economic analysis shows, that from a microeconomic point of view landfill deconstruction is only profitable, when a number of parameters are favorable. The profitability of landfill deconstruction depends mainly on the costs for the treatment of the light weight fraction and on the copper content in the landfill material.

Landfill may also be profitable, when landfill space is required urgently and the costs to provide landfill volume at alternative sites exceed 40 Euro per cubic meter. By landfill mining half of the landfill volume can be made available for depositing waste at costs of about 30 to 40 Euro per cubic meter.

1 EINLEITUNG

Die Ablagerung von Abfällen – von den wilden Kippen der Vergangenheit bis zu den heutigen geordneten Deponien – stellt seit jeher eine maßgebliche Art der Abfallbeseitigung dar. Aufgrund der im Abfall enthaltenen Schadstoffe und der im Deponiekörper stattfindenden biologischen und chemischen Umwandlungsprozesse geht von den Ablagerungen eine Gefahr für die Umwelt und für die menschliche Gesundheit aus. Hauptemissionspfade sind Sickerwasser und Deponiegas, wobei letzteres auch zum Klimawandel beiträgt. Während in den letzten Jahren die Abfallwirtschaft immer weiter auf ihrem Weg fortschreitet, Abfälle soweit wie möglich zu verwerten und nur noch inerte Abfälle abzulagern, befinden sich in älteren Deponien nicht nur Schadstoffe, sondern auch Wertstoffe, die in Zeiten wachsenden Ressourcenbedarfs wieder einer Nutzung zugeführt werden könnten (z. B. Metalle). Der geordnete Rückbau von Deponien zur Gewinnung nutzbarer Rohstoffe aus Abfällen wird „Landfill mining“ genannt.

Um das Potenzial der Wiedergewinnung von Wertstoffen errechnen zu können, sind detaillierte Daten darüber nötig, wann am jeweiligen Standort in welcher Menge welche Abfallarten abgelagert wurden. Aufgrund einer Meldeverpflichtung für Deponiebetreiber gemäß Deponieverordnung bzw. AWG sind solche Daten seit dem Jahr 1998 in zufriedenstellender Qualität verfügbar. Aus früheren Zeiträumen stehen die benötigten Daten nur begrenzt zur Verfügung, sodass Schätzungen unter Zuhilfenahme verschiedener Datenquellen erforderlich sind.

Das Recycling verschiedenster Materialien (z. B. Al, Cu, Fe) zeigt hohe spezifische Einsparungen an Kumuliertem Energieaufwand und Treibhausgasemissionen, verglichen mit der Erzeugung vergleichbarer Produkte ausschließlich aus Primärrohstoffen. Ebenso können allenfalls vorhandene größere Potenziale an organischer Substanz beispielsweise zur Energieerzeugung herangezogen oder stofflich verwertet werden. Ein Deponierückbau führt somit auch zu positiven Klimaeffekten.

Inwieweit die Erschließung der Ressourcenlager in den Deponien wirtschaftlich ist, hängt von den ökonomischen Rahmenbedingungen (Kosten von Rückbau und Aufbereitung; erzielbare Erlöse für das Recycling ausgewählter Wertstoffe in Abhängigkeit von Weltmarktpreis und Sekundärrohstoffmarkt) ab. Die Kosten der Nachsorge bestehender Deponien sind dabei genauso zu berücksichtigen wie mögliche Zusatzeffekte des Deponierückbaus, wie die Gewinnung von Deponieraum und die Bereitstellung von Flächen zur Nachnutzung.

Bedingt durch die große Variabilität in der Zusammensetzung von auf Deponien abgelagerten Abfällen sind Aussagen über die Wirtschaftlichkeit einer Rückgewinnung oder die durch die Verwertung der gewonnenen und aufbereiteten Abfälle erzielbaren Klimaeffekte nicht pauschal für alle Deponiestandorte möglich.

Ziele des Projektes sind die

- Darstellung der bisherigen Erfahrungen im Landfill Mining in Österreich und im benachbarten Ausland, inklusive Daten zu Qualität der abgelagerten Abfälle und Rückbautechnologien;
- Abschätzung des abgelagerten Ressourcenpotenzials ausgewählter Abfälle in Österreich;
- Abschätzung der möglichen Klimarelevanz durch Landfill Mining (Deponierückbau und Recycling/Verwertung von Wertstoffen) sowie

- Abschätzung der Wirtschaftlichkeit des Landfill Minings (Kosten des Rückbaus, erzielbare Erlöse durch Recycling in Abhängigkeit von Weltmarktpreis und Sekundärrohstoffmarkt) durch Ermittlung des Break-even-points, ab dem Landfill Mining wirtschaftlicher wird als die Nachsorge der bestehenden Deponien.

2 BISHERIGE ERFAHRUNGEN IM DEPONIERÜCKBAU – PILOTPROJEKTE

Laut MOCKER et al. (2009) wurden erstmalig im Jahr 1953 in Israel die in einer Deponie abgelagerten Abfälle wieder entnommen, um daraus einen Wertstoff – in diesem Fall ein Mittel zur Bodenverbesserung – zu gewinnen. Dann wurden erst wieder Ende der 80er-Jahre verstärkt Deponien rückgebaut, wobei vor allem in den USA entsprechende Projekte unter den verschiedensten Aspekten durchgeführt wurden. Die erste Deponieumlagerung in Europa erfolgte ab 1990 in Wien (Deponie Spitzau). Das erste Projekt in Deutschland war das Demonstrationsprojekt auf der Deponie Burghof/Horrheim ab 1993/1994. Es folgte u. a. der Rückbau der Fischer Deponie in Österreich.

Bis 2009 wurden an über 77 Standorten Abfälle mit einem Volumen von über 10.000 m³ wieder aufgenommen. Etwa ein Viertel der Rückbaumaßnahmen betraf ein Volumen von über 100.000 m³, weniger als 10 % ein Volumen von über 1.000.000 m³. Bei 33 % der Projekte (mit einem Volumen von über 10.000 m³) stand der Grundwasserschutz im Vordergrund. Weitere Gründe waren u. a. Schaffung von Deponievolumen (20 %), Wertstoffgewinnung (13 %), interne Deponiemaßnahmen (13 %), Gewinnung von Siedlungsflächen (12 %) sowie Reduktion der Nachsorgekosten (8 %) (MOCKER et al. 2009).

2.1 Österreich

2.1.1 Deponie Spitzau

Auf einer rund 10,5 ha großen Fläche in östlicher Stadtrandlage von Wien wurden zwischen 1970 und 1990 in einer aufgelassenen Schottergrube vier Deponien betrieben. Abgelagert wurde Hausmüll, Bauschutt und Abraummateriale sowie Bentonit mit einem Gesamtvolumen von rund 900.000 m³.

Bei keiner der Deponien wurden technische Maßnahmen zum Schutz des Grundwassers gesetzt. Die Ablagerungen reichten bis in den Grundwasserschwankungsbereich. Sickerwasser aus dem Ablagerungsbereich konnte somit weitgehend ungehindert in das Grundwasser gelangen.

Über der Altablagerung liegt heute eine neu errichtete Deponie, welche rekultiviert und aufgeforstet wurde.

Entsprechend dem großen Ablagerungsvolumen und den festgestellten Ablagerungsarten wies die Altablagerung ein erhebliches Schadstoffpotenzial auf.

Ziel der Sicherungsmaßnahmen war es, den Austritt von Sickerwässern aus der Altablagerung so zu unterbinden, dass auch langfristig keine Gefährdung des Grundwassers besteht.

Die Phase I der Deponiesanierung startete im Februar 1991 und beinhaltete die Herstellung der Oberflächenabdichtung der Altablagerung, welche gleichzeitig als Basisabdichtung für die neue Deponie diente. Hierzu wurde die Oberflächenabdichtung, getrennt in zwei Schüttbereiche (Teilfläche Nord sowie Süd), mit einem Sickerwasserfassungssystem ergänzt und zur Basisabdichtung aus-

gebaut. Im Juli 1991 begann die Phase II, welche die Absicherung der bestehenden Altablagerung durch eine Oberflächenabdichtung und eine doppelte Dichtwandumschließung mit innenliegender Grundwasserabsenkung nach dem Wiener Kammersystem beinhaltete.

Des Weiteren wurde auf der bestehenden Altablagerung „Spitzau“ eine neue Deponieschüttfläche errichtet, auf der zusätzliche 400.000 m³ Aushubmaterial aus einem Sanierungsprojekt im Bereich der Altlast W10 „WIG 64 Donaupark-Bruckhausen“ sowie aus der Räumung der Altlast W3 „Himmelteich“ abgelagert wurden, wobei die Oberflächenabdichtung der Altablagerung gleichzeitig als Basisdichtung der neu errichteten Deponie dient.

Die Fertigstellung aller Baumaßnahmen inklusive Rekultivierung erfolgte im Sommer 1992.

Zu Beginn des Projektes wurde eine 1,6 km lange Baustraße errichtet, um die Altablagerung für Schwerfahrzeuge zugänglich zu machen. Getrennt in einen Nord- und einen Südteil erfolgte parallel zur Straßenerrichtung die Profilierung der bestehenden Altablagerung, wobei hierzu insgesamt rund 150.000 m³ Material der Altablagerung vor Ort umgelagert wurden. Auf das hergestellte Rohplanum wurde eine Abdichtung, bestehend aus 15 cm Sand, 2 mm PE-HD Folie und strukturierter Drainagematte sowie abschließend eine 1 m mächtige Schutzschicht aus gesiebttem und sortiertem verrottetem Hausmüll aufgebracht. Die Drainagematte dient zum Schutz der Folie sowie zur Fassung der Sickerwässer aus der neuen Deponie und mündet in den Randbereichen in einen umlaufenden Sickerwasserringkanal (DN300).

Nach den aufgeführten baulichen Arbeiten erfolgte die externe Anlieferung von primär verrottetem Hausmüll. Der Einbau in die neue Deponie fand verdichtet, schichtweise in 1 m-Lagen statt. Nach jeder zweiten Schicht wurde als Zwischendrainage 0,25 m Bauschutt eingebaut. In einem 70 x 70 m Raster (alle 5.000 m²) wurden aus Grobkies geschüttete Belüftungskamine, mit einem Querschnitt von 1 m, parallel zur Schüttung im Südteil der Deponie aufgebaut. Diese dienen der Ableitung der entstehenden Restdeponiegase sowie zur Befeuchtung. Zum oberflächlichen Abschluss der neuen Schüttung wurde eine 0,4 m mächtige Bauschutt-Kiesschicht mit einer darüber liegenden 1 m mächtigen Rekultivierungsschicht aufgebracht.

http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/altlasten/altlasteninfo/sa_naltlasten/wien/w13/

2.1.2 Fischer-Deponie

Auf einer Fläche von rund 70.000 m² wurden im Zeitraum von 1972–1987 rund 550.000 m³ unterschiedlichster Abfälle (Hausmüll sowie Gewerbe- und Industrieabfälle) in einer ehemaligen Schottergrube östlich von Theresienfeld ohne Maßnahmen zum Schutz des Grundwassers deponiert. Entsprechend den abgelagerten Abfällen kam es zu einer Verunreinigung des Grundwassers mit leichtflüchtigen chlorierten Kohlenwasserstoffen (LHKW) sowie zu reduzierenden Verhältnissen durch organisch belastete Sickerwässer.

Im Zeitraum von August 2002 bis Juni 2006 wurden die gesamten Ablagerungen sowie der als kontaminiert klassifizierte Untergrund geräumt und fachgerecht entsorgt. Im Oktober 2006 wurde – nach zusätzlichen Erkundungsmaßnahmen – ein weiterer LHKW-Schadensherd durch Aushub entfernt. Durch Grundwasseruntersuchungen wurde nachgewiesen, dass nach Ende aller Aushubmaßnahmen keine erheblichen Auswirkungen auf das Schutzgut Grundwasser mehr vorhanden sind und auch zukünftig nicht zu erwarten sind.

Insgesamt wurden folgende Mengen ausgehoben und entsorgt:

Ablagerungen:

- Hausmüll, Gewerbeabfälle, Sperrmüll rd. 447.600 t
- Feste mineralische Abfälle rd. 456.700 t
- Gefährliche Abfälle (v. a. Fässer) rd. 28.200 t
- Gesamt: rd. 932.500 t

Untergrund: (davon rd. 2 % als gefährlicher Abfall) rd. 691.300 t

Sickerwasser: (bei Zwischenlagerung angefallen) rd. 3.900 t

Rund 277.600 t wurden ausgehoben und anschließend wiederverfüllt, zusätzlich wurden rund 133.300 t Fremdmaterial zur Wiederverfüllung angeliefert.

<http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/altlasten/altlasteninfo/sanaltlasten/niederoesterreich/n1/>

Insgesamt verursachte die Sanierung/Räumung einen Kostenaufwand von 130 Mio. €. Ein Gutteil der Kosten entfiel auf die anfallenden Deponiegebühren derjenigen geordneten Deponien, auf die das Material verbracht wurde.

<http://de.wikipedia.org/wiki/Fischer-Deponie>

2.1.3 Tiroler Deponien

KNAPP & BOCKREIS (2010) untersuchten in Tirol Deponien ab einem Volumen von > 14.000 m³ im Hinblick auf das Potenzial, die in den alten Ablagerungen enthaltenen Abfälle als Rohstoffe wieder zu nutzen. Unter Berücksichtigung der durchschnittlichen Zusammensetzung des Siedlungsabfalls in Tirol (siehe Abbildung 1) und angenommenen Gesamtkosten für Rückbau, Behandlung, Verwertung und Wiedereinbau in der Größenordnung von 30–40 €/m³ rückgebautes Deponievolumen kamen die Autoren zum Schluss, dass fast die Hälfte der Gesamtkosten vom Rückbau bis zum Wiedereinbau allein durch den Erlös der Metalle gedeckt werden kann. Ausgehend von einer möglichen Gewinnung heizwertreicher Fraktionen kann durch deren energetische Verwertung mehr Energie als beim Deponierückbau eingesetzt werden muss gewonnen werden.

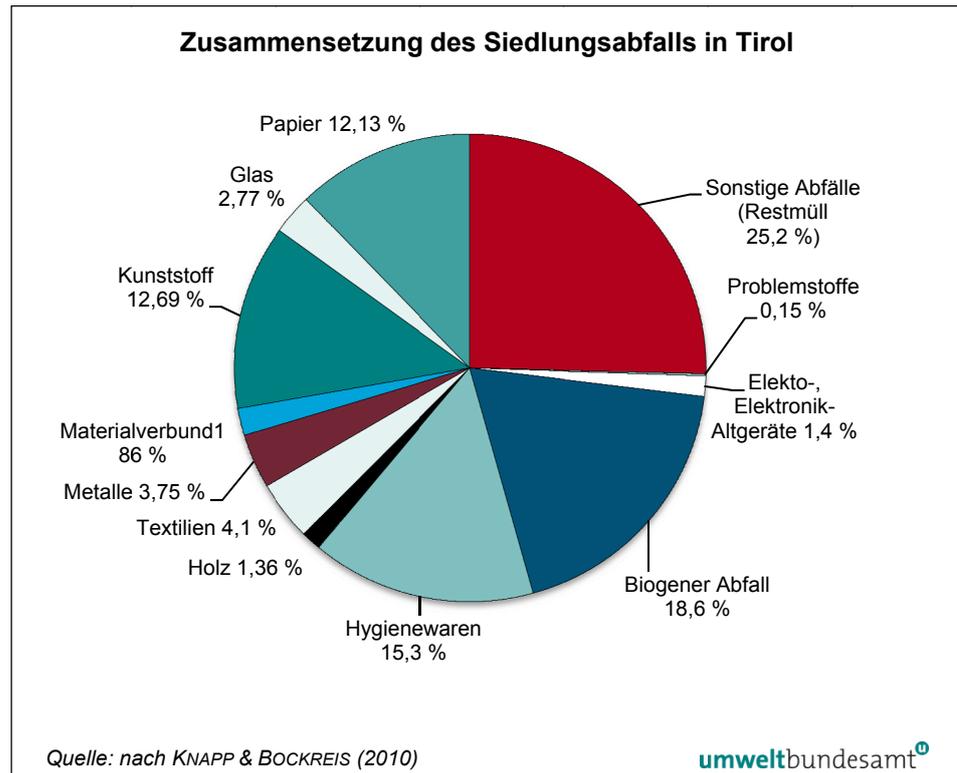


Abbildung 1: Zusammensetzung des Siedlungsabfalls in Tirol, in Prozent.

Die Autoren weisen allerdings darauf hin, dass die Entscheidung für einen Rückbau spezifisch für jede einzelne Deponie erfolgen sollte. Es wurden weitere Arbeitsschritte angekündigt, um ausgewählte Deponien in Tirol ökonomisch und ökologisch näher zu untersuchen.

2.2 Deutschland

In mehreren Untersuchungen an Deponien in Baden-Württemberg (Kreismülldeponie Hechingen) und Hessen (Deponie Reiskirchen und Deponie Dyckerhoffbruch in Wiesbaden) wird derzeit deren Ressourcenpotenzial in Form eines Stepwise-Ansatzes untersucht (GÄTH & NISPEL 2010, 2011). Die Konzeption dieses Ansatzes sieht folgende vier Teilschritte vor:

1. Was ist in der Deponie enthalten (Art, Quantität und Qualität der Ressourcen)?
2. Wie werden sich ausgewählte Rohstoffpreise in der Zukunft entwickeln?
3. Welche Anforderungen sind an die technische Umsetzung zu stellen?
4. Erstellung eines Entscheidungsunterstützungsmodells unter Einbindung der ersten drei Arbeitsschritte.

Für diese Deponien liegen sämtliche Daten, wie Untersuchungsergebnisse anderer Projekte, betriebseigene Datenbanken, Archivmaterial etc., vor. Zudem werden die Abbau- und Umbauprozesse einzelner Stoffgruppen innerhalb des Deponiekörpers simuliert und in die Berechnung integriert. Daneben werden direkte Deponieuntersuchungen in Form von Sortieranalysen durchgeführt.

2.2.1 Deponie Reiskirchen

Wie GÄTH & NISPEL (2010, 2011) beschreiben, wurde die Deponie Reiskirchen von 1973–2001 betrieben, wobei für die Jahre 1973–1986 keine Aufzeichnungen vorliegen. Für diese Jahre mussten daher Simulationen herangezogen werden.

Auf der Deponie Reiskirchen lagern etwa 3,3–4,1 Mio. t FM¹ Abfall (1,6–2,3 Mio. t FM Hausmüll, 0,8–1,1 Mio. t FM Gewerbeabfälle, 0,4–1,1 Mio. t FM Erdaushub und Bauschutt, 0,3–0,4 Mio. t FM Schlämme sowie kleinere Mengen an Sperrmüll (GÄTH & NISPEL 2011).

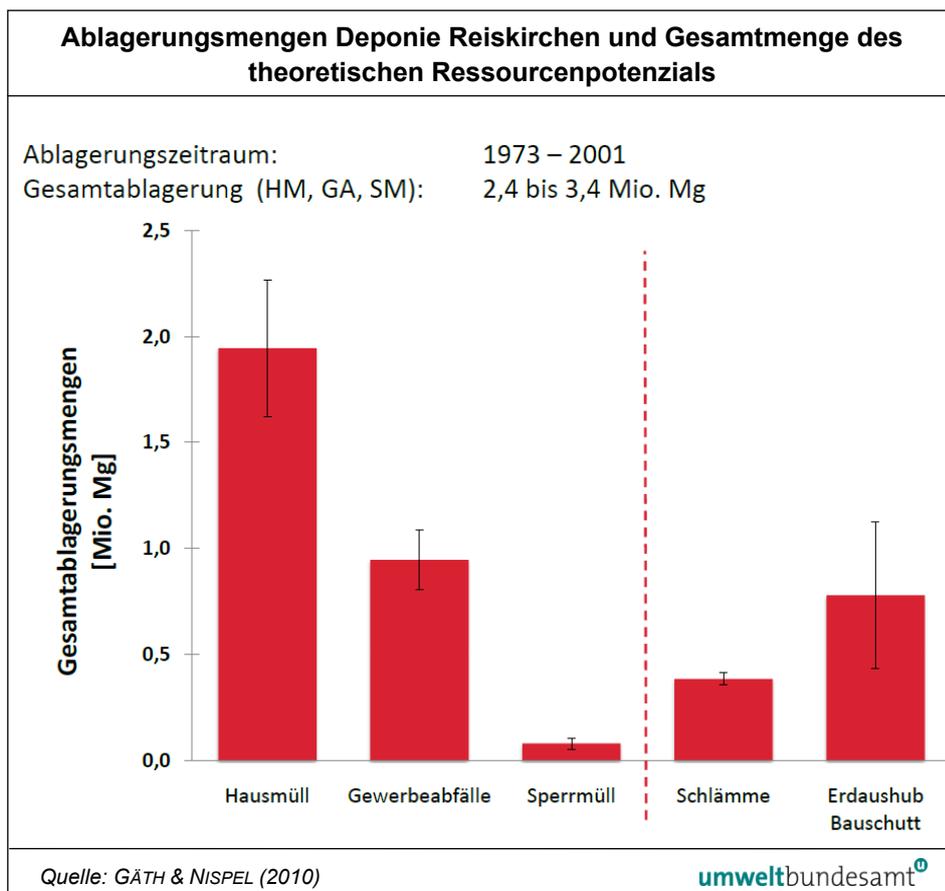


Abbildung 2: Ablagerungsmengen Deponie Reiskirchen und Gesamtmenge des theoretischen Ressourcenpotenzials (Hausmüll, Gewerbeabfälle und Sperrmüll).

Unter Annahme eines 65%igen Abbaus der organischen Substanz ergibt eine Modellierung des theoretischen Ressourcenpotenzials der Deponie folgende Stoffpotenziale, wobei ausschließlich die Abfallarten Hausmüll, Gewerbeabfall und Sperrmüll in die Betrachtung aufgenommen wurden (GÄTH & NISPEL 2011).

¹ FM = Frischmasse

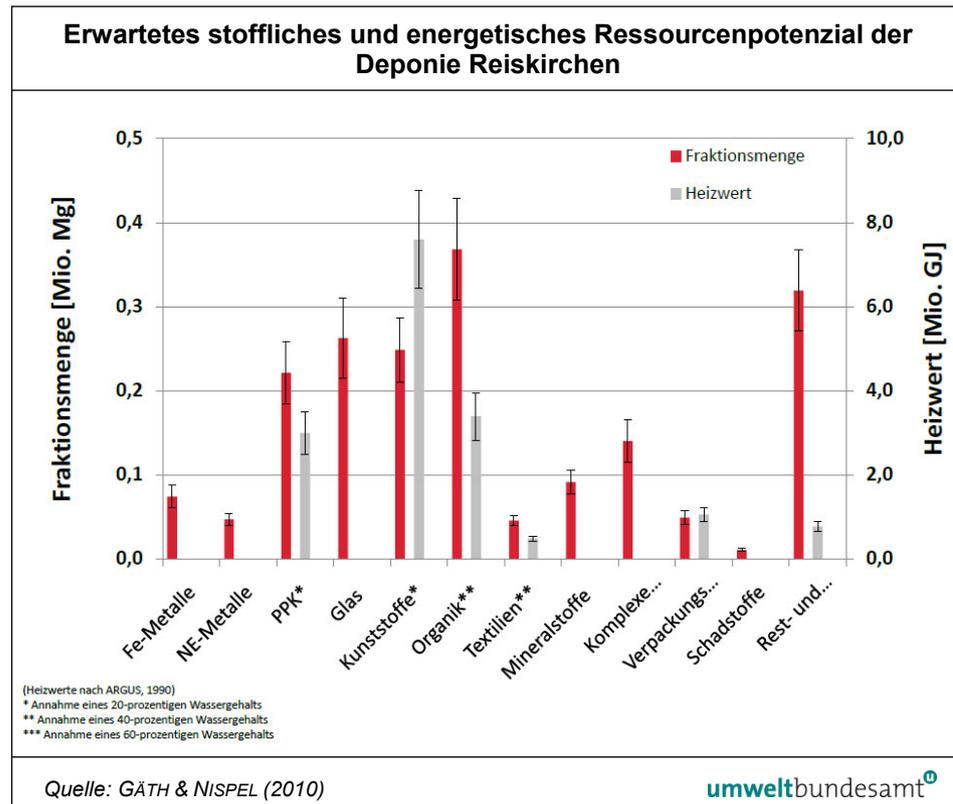


Abbildung 3: Erwartetes stoffliches und energetisches Ressourcenpotenzial der Deponie Reiskirchen unter Annahme eines 65%igen Abbaus der organischen Substanz, 1973–2001.

Es zeigt sich, dass die derzeit wirtschaftlich bedeutendsten Fraktionen der Eisen- und Nichteisenmetalle in einer Menge von 60.000–87.000 t bzw. 39.000–54.000 t in der Deponie zu erwarten sind. Die organische Substanz stellt trotz des angenommenen Abbaus mit 307.000–429.000 t die quantitativ größte Fraktion dar. Die Rest- und Feinfraktion, die im Wesentlichen aus mineralischen und organischen Komponenten besteht, macht mit 270.000–340.000 t den nächstgrößeren Teil aus. Papier, Pappe und Kartonagen (PPK), Glas und Kunststoffe werden gegenwärtig mit Anteilen von je 200.000–300.000 t in der Deponie vermutet. Zudem beträgt die Fraktion der komplexen Verbunde (z. B. Elektrogeräte, Leiterplatten etc.) 114.000–165.000 t der Ablagerungsmenge. Ihr Anteil ist von besonderem Interesse, da diese Fraktion in Bezug auf seltene Erden und Edelmetalle hohe Anteile vermuten lässt. Die in der Deponie enthaltenen Schadstoffe werden auf 8.000–12.000 t geschätzt (GÄTH & NISPEL 2011).

In Bezug auf den Heizwert ist festzuhalten, dass unter Berücksichtigung definierter Wassergehalte der heizwertreichen Fraktionen schätzungsweise 14–19 Mio. GJ Energie in der Deponie Reiskirchen gespeichert sind.

Unter Annahme von Schrottpreisen für Eisen- und Nichteisenmetalle von 150 €/t für Mischschrott sowie durchschnittlich 1.880 €/t für Nichteisenmetalle errechnet sich unter Berücksichtigung einer 80 %igen Wiederfindungsrate im Bereich der Metallfraktion ein wirtschaftliches Potenzial der Deponie von 66–92 Mio. €. Unter Berücksichtigung der spezifischen Kosten des Rückbaus und der Deponiegutaufbereitung, die exklusive Transportkosten zwischen 30 und 40 €/m³ betragen, ergeben sich Kosten in der Höhe von 99–164 Mio. €. Um einen kosten-

neutralen Rückbau der Deponie Reiskirchen zur realisieren, müssten demzufolge zusätzlich 7–98 Mio. € erwirtschaftet werden. Diese könnten einerseits durch die zukünftig zu erwartende verbesserte Vermarktung der Wertstoffe sowie der heizwertreichen Fraktion erfolgen. Andererseits können Treibhausgaszertifikate eine zusätzlich Finanzierungsquelle darstellen. Auch sind die Kosten der Deponeabdichtung und Nachsorge, die für die Deponie Reiskirchen bei einer 30-jährigen Nachsorge schätzungsweise 40–50 Mio. € betragen dürften, zu berücksichtigen (GÄTH & NISPEL 2011).

Tabelle 1 Erlös- und Kostensituation der Deponie Reiskirchen. (Quelle: GÄTH & NISPEL 2010)

Erlössituation:						
Wertstofffraktion	modellierte Menge in Tonnen		Schrottpreis in €/Tonne	wirtschaftliches Potenzial* in Mio. €		
	Min	Max		Min	Max	
Eisenmetalle	60.000	87.000	150	7,2	10,4	
Nichteisenmetalle	39.000	54.000	1.880	58,7	81,2	
Gesamterlöse				65,9	91,7	
Kostensituation:						
Rückbaukosten	spezifische Rückbaukosten ohne Transportkosten in €/m ³		Rückbauvolumen in Mio. m ^{3**}		Rückbaukosten in Mio. €	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
	30	40	3,3	4,1	99,0	164,0
Nutzen-Kosten-Bilanz						
					Min	Max
	Erlöse minus Kosten Deponierückbau in Mio. €				- 98,1	- 7,3
	Ersparnisse durch verringerte Deponeabdichtung und entfallende Nachsorge in Mio. €				40,0	50,0
	Nettonutzen in Mio. €				- 58,1	42,7

* Annahme einer 80%igen Wiederfindungsrate;

** Annahme, dass 1 Tonne Frischmasse 1 m³ Deponievolumen entspricht

2.2.2 Kreismülldeponie Hechingen

GÄTH & NISPEL (2011) berichten, dass die baden-württembergische Kreismülldeponie Hechingen von 1982 bis 2005 mit nicht vorbehandelten Abfällen befüllt wurde. Nach ersten Schätzungen wurden insgesamt 1,7–2,6 Mio. t FM Abfall abgelagert. Anders als im Fall der Deponie Reiskirchen liegen die Daten zur deponierten Abfallmenge für den gesamten Betriebszeitraum vor, wobei allerdings vor Einführung eines Wiegesystems im Jahr 2001 die Mengenermittlung über subjektive Schätzungen vorgenommen wurde. Auch bei dieser Deponie bilden Hausmüll und Gewerbeabfälle mit gemeinsam 1,0–1,5 Mio. t FM die Hauptablagerungsmassen.

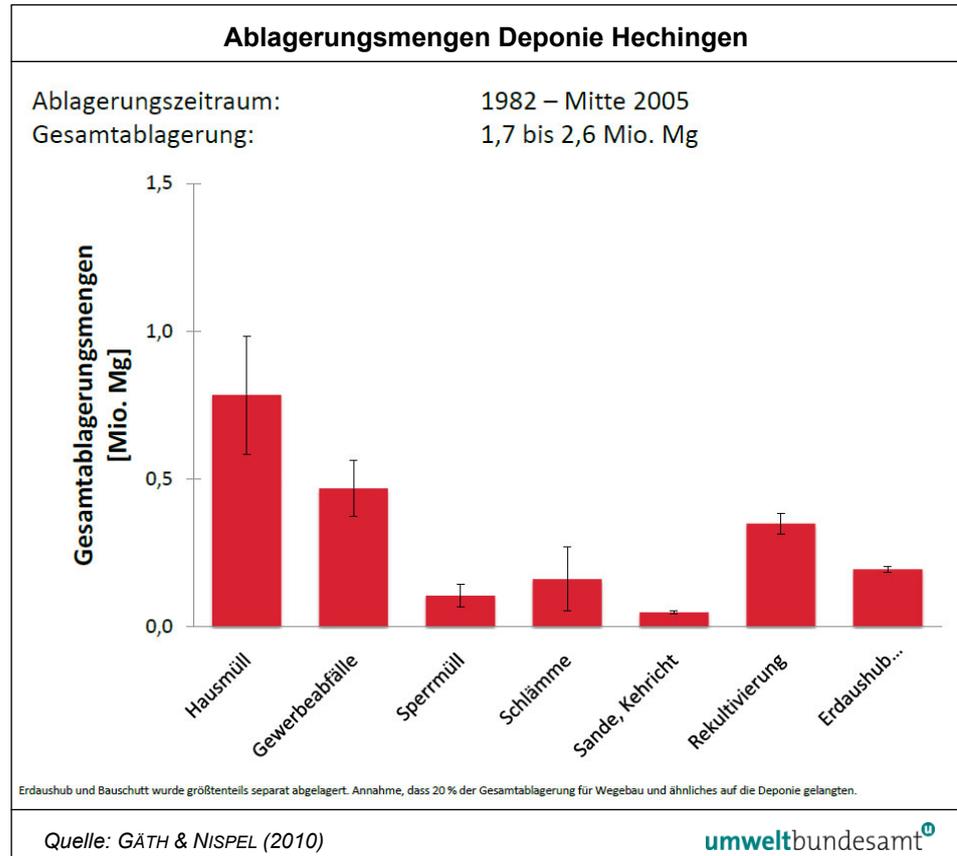


Abbildung 4: Ablagerungsmengen Deponie Hechingen.

Für die Berechnung des erwarteten stofflichen und energetischen Ressourcenpotenzials wurde die mittlere bundesdeutsche Hausmüll- und Sperrmüllzusammensetzung als Basis verwendet. Bei der Zusammensetzung der Gewerbeabfälle wurde berücksichtigt, dass das Einzugsgebiet dieser Deponie stark vom Gewerbebetrieb der Textilherstellung geprägt ist. Die Umrechnung von Frischmasse zu Trockenmasse basiert auf stoffspezifischen Wassergehalten der einzelnen Stofffraktionen.

Die Ergebnisse der Deponiegutzusammensetzung der Deponie Hechingen zeigen, dass sich das untersuchte Deponiegut in Bezug zur Trockenmasse zu etwa zwei Drittel aus der Fraktion < 35 mm und zu einem Drittel aus der Fraktion > 35 mm zusammensetzt.

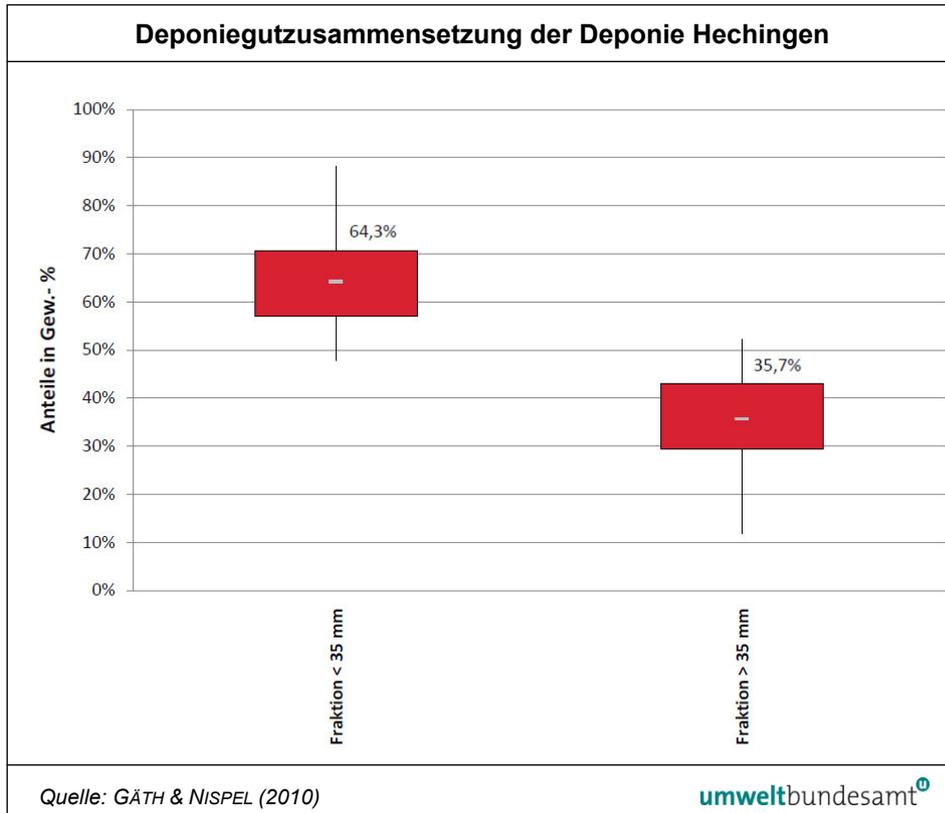


Abbildung 5: Deponiegutzusammensetzung der Deponie Hechingen.

Die Untersuchungen zur stofflichen Zusammensetzung der Fraktion < 35 mm sind der folgenden Abbildung zu entnehmen. Darin nicht enthalten ist die Fraktion < 5 mm.

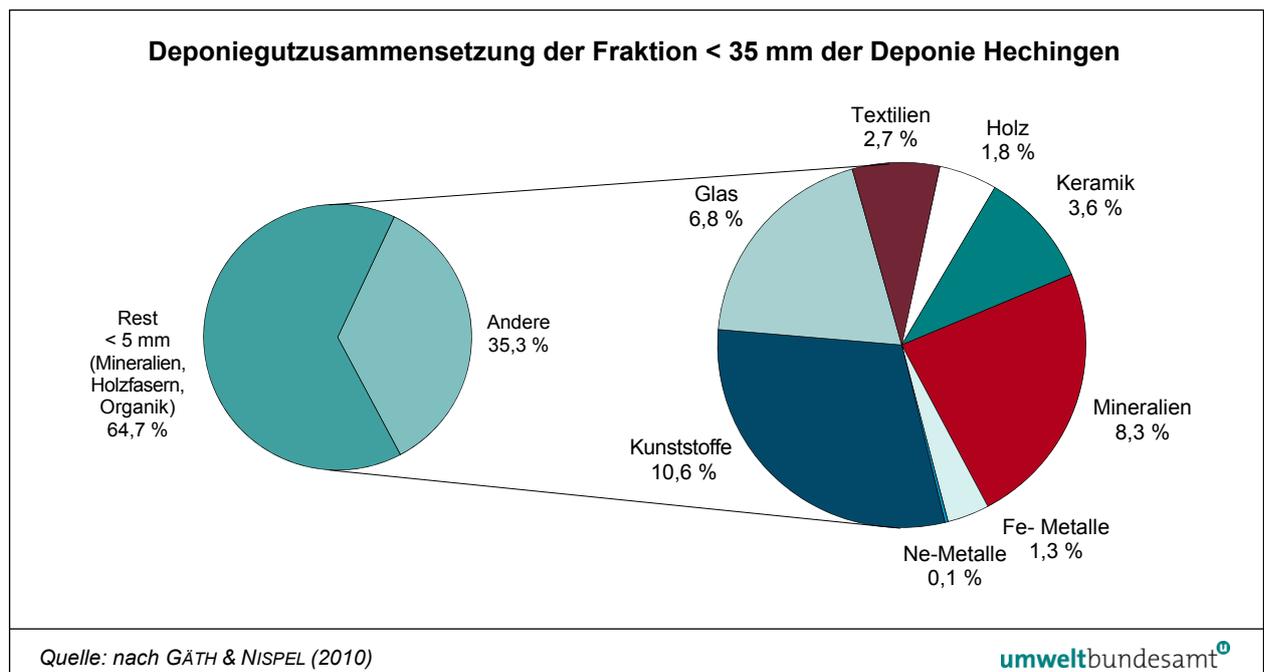


Abbildung 6: Deponiegutzusammensetzung der Fraktion < 35 mm der Deponie Hechingen.

Die im Rahmen der In-Situ-Sortierung vorgefundene Stoffgruppenzusammensetzung der Fraktion > 35 mm ist der folgenden Abbildung zu entnehmen.

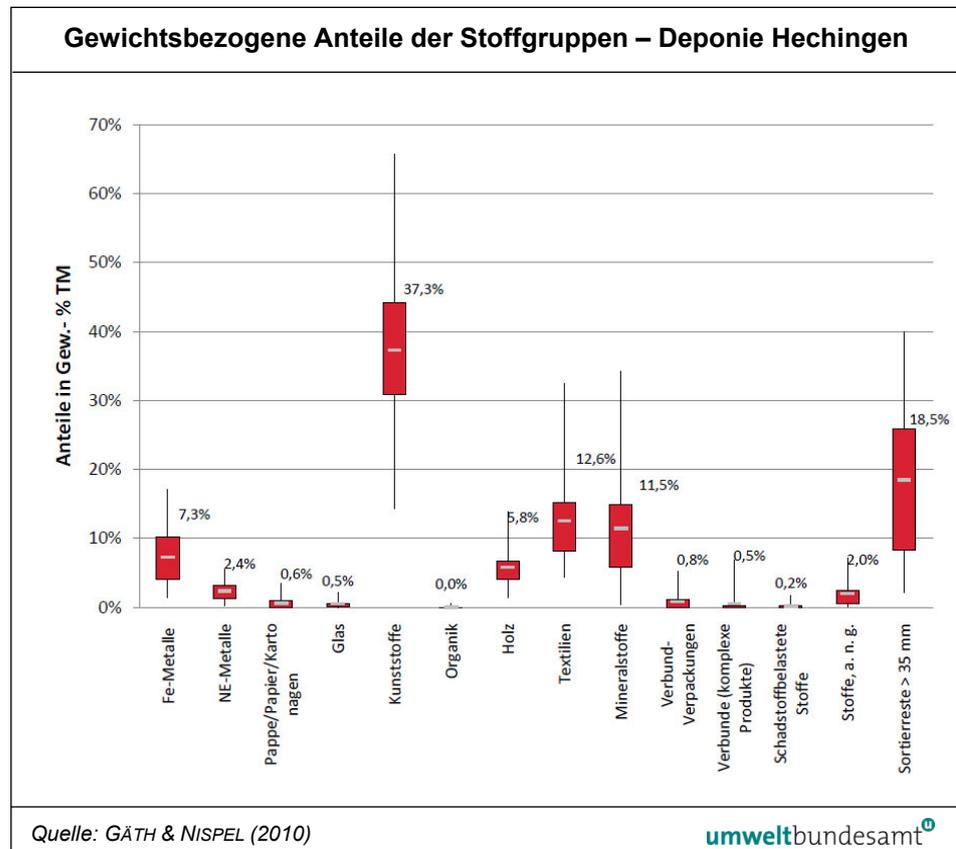


Abbildung 7: Gewichtsbezogene Anteile der Stoffgruppen in Bezug auf die getrocknete Gesamtmenge der Fraktion > 35 mm der Deponie Hechingen.

Die anteilmäßig dominantesten Stoffgruppen stellen die Kunststoffe dar. Textilien, Mineralstoffe und Eisenmetalle bilden mit jeweils rund 10 Gew.-% die nächstgrößeren Fraktionen. Visuell erkennbare und sortierbare organische Bestandteile (Bioabfälle, ausgenommen Hölzer) waren in keiner der Deponiegutproben auffindbar. In Verbindung mit Sickerwasser- und Deponiegasauswertung deutet dies darauf hin, dass die biologischen Abbauprozesse bereits weit fortgeschritten sind und in absehbarer Zeit ausklingen.

Die Kombination der Gesamtablagerungsmenge mit den in den Sortieranalysen vorgefundenen gewichtsbezogenen Stoffanteilen der Klassierfraktionen ermöglicht die Abschätzung des realen Ressourcenpotenzials. Dabei ist die ursprüngliche Ablagerungsmenge um den Wasseranteil zu korrigieren. Untersuchungen des Deponiekörpers haben ergeben, dass dieser im Mittel zu ca. 38 Gew.-% aus Wasser besteht.

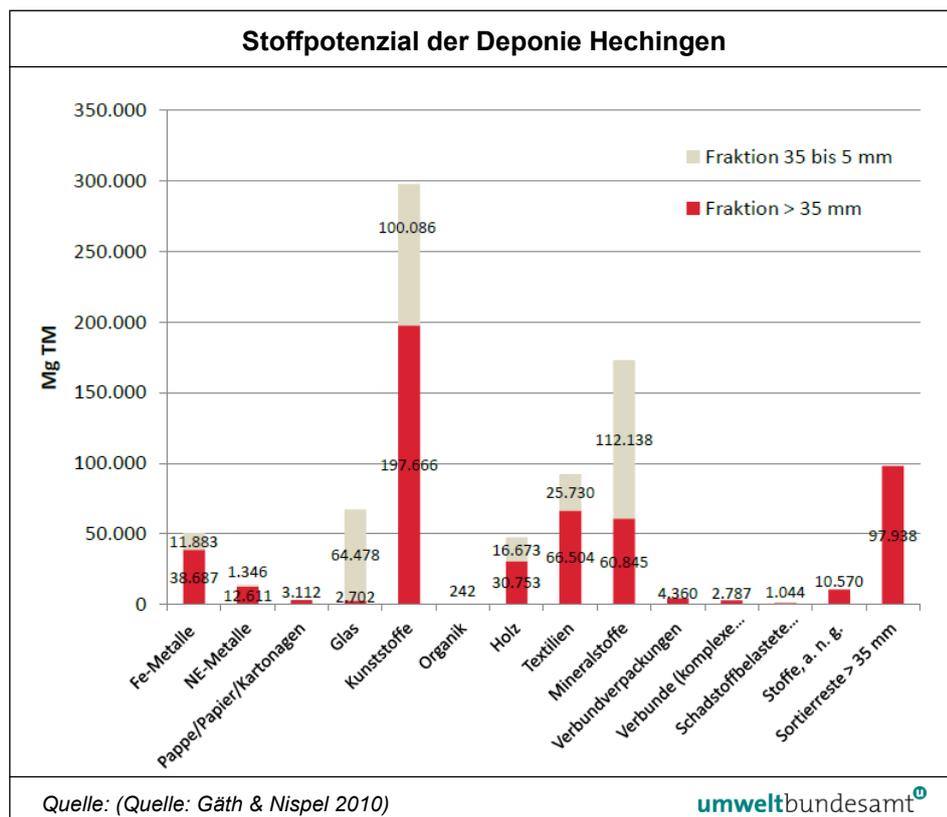


Abbildung 8: Stoffpotenzial der Deponie Hechingen.

Analog zu den Berechnungen für die Deponie Reiskirchen ergibt sich für die Deponie Hechingen folgende Erlös- bzw. Kostensituation:

Tabelle 2: Erlös- und Kostensituation der Deponie Hechingen (Quelle: GÄTH & NISPEL 2010).

Erlössituation:							
	Wertstofffraktion	modellierte Menge in Tonnen		Schrottpreis in €/Tonne	wirtschaftliches Potenzial* in Mio. €		
		Min	Max		Min	Max	
	Eisenmetalle	39.000	50.000	150	4,7	6,0	
	Nichteisen-metalle	13.000	14.000	1.880	19,6	21,1	
	Gesamterlöse				24,2	27,1	
Kostensituation:							
	Rückbaukosten	spezifische Rückbaukosten ohne Transportkosten in €/m ³		Rückbauvolumen in Mio. m ³ **		Rückbaukosten in Mio. €	
		Min	Max	Min	Max	Min	Max
	Rückbaukosten	30	40	1,7	2,6	50,0	104,0
Nutzen-Kosten-Bilanz							
						Min	Max
	Erlöse minus Kosten Deponierückbau in Mio. €					- 79,8	- 22,9
	Ersparnisse durch verringerte Deponieabdichtung und entfallende Nachsorge in Mio. €					10,0	30,0
	Nettonutzen in Mio. €					- 69,8	7,1

* Annahme einer 80%igen Wiederfindungsrate;

 ** Annahme, dass 1 Tonne Frischmasse 1 m³ Deponievolumen entspricht

2.2.3 Deponie Dyckerhoffbruch in Wiesbaden

Von 1964 bis Ende Mai 2005 wurden auf den Deponieabschnitten I, II und III/1-2 häusliche und gewerbliche Abfälle abgelagert. Der Deponieabschnitt III/3 dient seit Mitte 2005 zur Ablagerung von inerten Abfällen, wie zum Beispiel Asche aus Abfallverbrennungsanlagen, Gießereisanden, Böden oder Asbest. In den letzten beiden Jahren wurden hier nahezu sämtliche Asbestabfälle aus Hessen und in wachsendem Umfang aus dem europäischen Ausland abgelagert.

Bis Ende 2012 wird das Ressourcenpotenzial des Deponieabschnittes I von Gutachtern untersucht und bewertet.

Zum einen werden historische Daten wie Aufzeichnungen von Abfallablagerungen, Pläne, Genehmigungsunterlagen und Profile von Deponiegasbrunnen ausgewertet. Zum anderen erfolgt die flächenhafte Erkundung des Deponiekörpers durch Niederbringung von Bohrungen und Auswertung der Bohrkerne.

Ziele der Bearbeitungen sind:

- Untersuchung des Rohstoffpotenzials nach Art, Quantität und Qualität;
- Bewertung geeigneter verfügbarer Techniken zur Aufbereitung der abgelagerten Rohstoffe – im Hinblick auf die Umsetzbarkeit, mögliche Umweltgefährdungen, die Ökobilanz und ihre Kostenstrukturen;
- Erstellung eines mathematischen Materialflussmodells zur Beantwortung der Frage, unter welchen Randbedingungen die umweltverträgliche Aufbereitung und Nutzung deponierter Ressourcen wirtschaftlich ist.

Es wird geprüft, ob im Zuge der Sanierung des Deponieabschnittes I (und eines dabei erfolgenden Rückbaus) aus den abgelagerten Abfällen geeignete Rohstoffe zurückgewonnen und wirtschaftlich verwertet werden können. Gleiches gilt für Verbrennungsschlacken und die kommunalen Klärschlämme, die über hohe Gehalte an Phosphor verfügen.

<http://www.elw.de/index.php?id=110>

Tabelle 3: Daten zur Deponie Dyckerhoffbruch in Wiesbaden (NISPEL 2011).

Ablagerungsbeginn	1964
Ablagerungsende	1982
Ablagerungsfläche	27,6 ha
Ablagerungsvolumen	ca. 10,5 Mio. m ³
Abgelagerte Abfallmenge (Schätzung)	ca. 14 Mio. Mg
Deponiehöhe	64 m (162 m üNN)
Gegenwärtiger Betriebszustand	Stilllegungsphase

Im Folgenden werden weitere Deponieprojekte in Deutschland beschrieben.

2.2.4 Deponie Burghof in Vaihingen/Horrheim des Landkreises Ludwigsburg

1994 wurde der Rückbau der Deponie in Horrheim mit dem Ziel beschlossen, die darin enthaltenen Rohstoffe wieder zu verwerten und neuen Deponieraum zu erhalten. Laut Planung sollte sich der Rückbau finanziell selbst tragen.

HARATHER (1994) beschreibt die technischen Details des Deponie-Rückbaus:

Zum Zweck der Geruchstabilisierung wurde in den Deponiekörper eine auf 50–60 °C erwärmte Luft, die zudem mit Wasserdampf und Bakterien angereichert wurde, eingeblasen, anschließend abgesaugt und durch eine sog. Rottebox, welche als biologischer Filter zur Geruchsneutralisation wirkte, gedrückt.

Der Abbau wurde mittels Löffelbagger durchgeführt, das aufgelockerte Material wurde mit Lkw zur Aufbereitungsanlage transportiert. Dort wurde das Aushubmaterial auf eine Siebmaschine aufgegeben. Der Siebdurchgang < 60 mm wurde mittels Austrageförderbank gesammelt und Rotteversuchen unterzogen. Das Austrageförderband war mit einer Magnetkopfrolle ausgestattet, welche ein Ausscheiden der Eisenbestandteile in der Siebfraction ermöglichte. Der Siebüberlauf gelangte zu einem Schrägtisch, an dem Steine, Ziegel und Betonbrocken abgetrennt wurden.

Am Sortier- und Sichtungstisch wurden Problemstoffe und Altstoffe aussortiert. Das automatische Sortiersystem ermöglichte die Entnahme von verschiedenen Stoffen aus dem Aushubstrom, ohne dass das Sortierpersonal mit dem Material in Berührung kam. Über ein Greifersystem wurden diese Stoffe aus dem Aushubstrom entfernt und in bereitstehenden Containern zwischengelagert.

An Altstoffen wurden hauptsächlich Kunststoffe und Holz entnommen. Die Kunststoffe sollten nur dann aus dem Überkornmaterial entfernt werden, wenn sie nicht oder nur geringfügig verschmutzt waren und die Qualität für eine Wiederverwertung aufwiesen.

Nach der Sichtungsstation gelangte das Material zu einem Überbandmagnetabscheider, an welchem das Eisen abgetrennt wurde. Danach konnte der Materialstrom durch eine Bypassklappe in einen Container umgelenkt werden. Dies war bei Bauschutt oder hohem Anteil an Steinen nötig, um Beschädigungen an der nachfolgenden Zerkleinerungsmaschine zu vermeiden.

Über einen langsam laufenden Zweiwellen-Schneidzerkleinerer gelangte das Material zu einem ballistischen Sichter und wurde dort in drei Fraktionen zerlegt:

Die Leichtfraktion wurde von einem Förderband zu einer geschlossenen Containerpresse gebracht und dort verdichtet. Die vollen Container wurden im Zuge der Rücknahmeverpflichtung der Stadt Stuttgart in die dort vorhandene Verbrennungsanlage verführt. War eine thermische Verwertung nicht möglich, musste über eine Ballenpresse eine Kompaktierung der Leichtfraktion erfolgen und diese in einer Monodeponie für eine spätere Verwendung zwischengelagert werden.

Die Schwerfraktion sowie die Feinfraktion (Lochung der Ballistik 60 mm) wurden zusammengeführt und Rotteversuchen unterzogen. Die Versuche sollten klären, inwieweit der Organikgehalt reduziert und die Kontamination mit Schadstoffen verringert werden konnte.

Die Rotteanlage bestand aus Abrollcontainern, welche mit einer Belüftungseinheit nach dem Rotte-Filter-System ausgerüstet waren. Innerhalb dieser Rotteanlagen wurde nach ca. 8 Wochen (jeweils zweiwöchige Umsetzung durch Entleeren der Container) eine deutliche Reduzierung des Glühverlustes erreicht. Danach wurde das Material entnommen und mit einer Sieblochung von 20 mm (verwendet wird das Eingangssieb durch Wechseln der Siebtrommel) abgeseibt. Der Siebüberlauf wurde in die Deponie eingebaut, der Siebdurchgang wurde als Abdeckmaterial für die Deponie verwendet.

Für die Wertstoffe wurden die folgenden Verwertungspfade genutzt:

- Die Kunststoffe wurden in lokalen Kunststoffbetrieben verwertet, soweit die Qualität eine Vermarktung zuließ. Darüber hinaus wurde eine Waschanlage für Kunststoff errichtet, um die Vermarktungschancen zu verbessern. Ansonsten wurde der Kunststoff der Leichtfraktion zugeschlagen.
- Die Metalle wurden dem Altmetallhandel zugeführt.
- Holz wurde zerkleinert und einer eigenen thermischen Verwertung zugeführt.
- Die Leichtfraktion wurde im Zuge der Rücknahmeverpflichtung an die MVA Stuttgart geliefert.
- Abgetrennte Steine und Betonbrocken wurden zerkleinert, gesiebt und für den Wegebau verwendet.

Die Gesamtkapazität der Anlage betrug ca. 40.000 m³/a. Die gesamten Investitionskosten für die Errichtung der Aufbereitungsanlage betragen ca. 2.250.000 € (zuzgl. MwSt.) (HARATHER 1994).

Die Betreiber wollten jährlich bis zu 150.000 t erdähnliches Material zum Preis von 115 € pro Tonne verkaufen. Doch Preise und Mengen ließen sich nicht erzielen. Anfang Januar 1996 wurde das Projekt mit einem Defizit von 24 Mio. € eingestellt.

http://www.lkz.de/home/lokalnachrichten/stadt-kreis_artikel,-Erster-Rueckbau-finanziell-ein-Fiasko-_arid.29528.html

2.2.5 Deponien Schöneiche und Schöneicher Plan, Brandenburg

BOCKREIS & JAGER (2009) beschreiben das Forschungsprojekt „Abfallwirtschaftliche Rekonstruktion von Altdeponien am Beispiel der Deponien Schöneiche und Schöneicher Plan“, in dessen Rahmen ein Konzept zur umfassenden Sanierung des Deponiekörpers durch dessen Abhaltung, Behandlung des Altabfalls sowie zum Wiedereinbau entwickelt wurde. Die Autoren kommen zum Schluss, dass es keine generelle Aussage darüber gibt, welche Rohstoffe noch in den alten Deponiekörpern vorhanden sein können. Die Charakteristika beider Deponien stellen jedoch ein gutes Beispiel für die generell unterschiedliche Zusammensetzung der Deponien der alten und neuen Bundesländer in Deutschland dar. Der hohe Inertanteil in ostdeutschen Deponien liegt an den in der ehemaligen DDR zu einem hohen Grad vorhandenen Ofenheizungen. Außerdem finden sich aufgrund des damals in der DDR etablierten Sammelsystems SERO kaum Wertstoffe im ostdeutschen Abfall. Hinsichtlich der Rohstoffgewinnung durch Deponierückbau wird deutlich, dass sich in den alten Deponien (vor Juni 2006) der alten Bundesländer mehr Rohstoffe finden lassen als in denjenigen der neuen Bundesländer. Ob sich ein Rückbau lohnt, wird sich anhand der zukünftigen Rohstoffpreise ergeben, da mittelfristig ein Preisanstieg zu erwarten ist. Interessant wird ein Rückbau mit Verwertung vor allem dann, wenn sich die

Frage stellt, ob auf eine Deponie mit alten Deponieabschnitten (vor Juni 2006) eine Oberflächenabdichtung (ca. 50–75 €/m²) mit entsprechend langer Nachsorgephase aufgebracht werden soll oder es noch andere Handlungsoptionen gibt. Die Entscheidung wird fallbezogenen in Abhängigkeit vom abgelagerten Abfall zu treffen sein.

2.3 Schweiz

2.3.1 Sondermülldeponie Kölliken

Die mitten in einem Wohngebiet liegende Sondermülldeponie Kölliken im Schweizer Mittelland wurde 1978–1985 durch ein Konsortium (Kantone Aargau und Zürich, Stadt Zürich und Basler Chemische Industrie) eingerichtet und betrieben. Das Areal selbst ist aus der stillgelegten Tongrube der Kölliker Mergelgrube entstanden und hat eine Fläche von etwa 7 ha. Infolge umweltrelevanter Unzulänglichkeiten wurde die Deponie jedoch bereits vor der vollständigen Verfüllung durch die zuständige Kommunalbehörde geschlossen. In der Betriebszeit wurden insgesamt ca. 300.000 m³ bzw. 475.000 t Sonderabfälle in Fässern, Säcken sowie lose abgelagert.

Seit 1986 wurden durch das neu organisierte Konsortium umfangreiche Erkundungs- und Sicherungsarbeiten im Umfang von rund 150 Mio. Franken durchgeführt. Da die Deponie ohne die Einleitung nachhaltiger Maßnahmen längerfristig weiterhin eine Gefährdung der nahe gelegenen Grundwasserleiter darstellen würde, wird sie zurzeit gemäß Verfügung der kantonalen Aufsichtsbehörde vollständig rückgebaut.

Zu diesem Zweck sind in den Jahren 2006/2007 drei dichte, unter Unterdruck stehende Hallen gebaut worden. Die Abluft aus den Hallen wird permanent abgesaugt und über Aktivkohle gereinigt. Im Herbst 2007 wurde mit den Rückbauarbeiten begonnen.²

Alle abgelagerten Deponiestoffe werden vollständig ausgeräumt, das bedeutet, dass 550.000 t verunreinigtes Material abgeführt werden müssen. Um Lärm- und Geruchsbelästigung zu vermeiden, wird das Deponieareal vollständig eingehaust. Der Abbau der eingelagerten Abfälle wird durch drei Abbauteams, die in luftdichten Kabinen arbeiten, durchgeführt. Die Teams werden pro Tag ca. 500 t abbauen. Der anstehende Untergrund muss bis 1 m unterhalb der Auflagefläche ausgehoben werden. Ein Eisenbahnanschluss ist geplant. Es werden täglich ein bis zwei Züge mit jeweils neun Waggonen Deponiematerial in die Schweiz und ins europäische Ausland abtransportieren. Danach werden die ausgeräumten Deponieabschnitte mit Folien und mit ca. 0,5 m Erde überschüttet. Nach einer Überwachungsphase wird das Gelände mit Erde wiederverfüllt und begrünt. Die Rückbauarbeiten sollten 2012 beendet sein, die Rekultivierung kann 2016 begonnen werden (ARNOLD et al. 2005).³

Die gesamten Kosten belaufen sich auf Basis der aktuellen Planung voraussichtlich auf rund 770 Mio. CHF (Stand März 2011).⁴

² <http://www.smdk.ch/>

³ http://www.fdp-waldstatt.ch/aktuell/koelliken_beschreibung.pdf

⁴ <http://www.smdk.ch/>

3 ERHEBUNG DER ABFALLMENGEN UND -ARTEN IN ÖSTERREICH

3.1 Entwicklung der Ablagerung von Abfällen in Österreich

In den Nachkriegsjahren bis 1970 kam es in Österreich zu einem starken Wirtschaftswachstum und damit verbunden auch zu einer Steigerung des Lebensstandards für die Bevölkerung. Die umgesetzten Gütermengen sind dabei enorm gestiegen, was auch zu einem entsprechenden Wachstum im Abfallaufkommen führte. Wegen fehlender Vorschriften und Gesetze ging die Entsorgung der Abfälle bis in die 70er-Jahre im Wesentlichen durch unorganisierte Ablagerung vor sich. Dabei verfügte jede Gemeinde über mehrere Plätze zum Abladen von Abfällen in der Landschaft, oft handelte es sich dabei um Gruben in Waldgebieten (OSSBERGER 1997).

Diese kleinen Gemeindedepo- nien sind aufgrund ihrer geringen Größe und dem damit verbundenen geringen Ressourcenpotenzial nicht für den Rückbau zur Gewinnung von Wertstoffen geeignet.

Im Laufe der 70er-Jahre entwickelte sich die Abfallgesetzgebung der Bundesländer und es kam zur Errichtung von Abfallbeseitigungsverbänden. Die „wild- den“ Depo- nien bestanden aber trotz langsam anlaufender Gesetzgebung und einer Vielzahl an Verboten zum Teil weiter und wurden auch ohne behördliche Genehmigungsverfahren weiterhin in Betrieb genommen. Mit der immer größer werdenden Zahl an Abfallverbänden wurden aber auch immer mehr kleine Gemeindedepo- nien durch große Verbandsdepo- nien ersetzt (OSSBERGER 1997). Diese stellen aufgrund ihrer Größe und dem zu erwartenden Ressourcenpotenzial mögliche Objekte für den Deponierückbau dar.

Die Richtlinie für die Ablagerung von Abfällen, die 1990 vom Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie gemeinsam mit dem Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft erstellt wurde, enthält eine erste Definition von Depo- nientypen mit Beispielen für zur Ablagerung geeignete Abfallarten:

- **Interstoffdeponie:** sortierter Bauschutt (ohne Baustellenabfälle), Steinschleifschlamm, Strahlmittelrückstände, Gipsabfälle, jeweils ohne schädliche Beimengungen;
- **Reststoffdeponie:** Kohlenasche, Flugaschen und -stäube aus der thermischen Abfallbehandlung (nach Schadstoffimmobilisierung), Gießerei-Altsande ohne organische Bindemittel, bestimmte Galvanikschlämme nach Behandlung;
- **Kompartimentdeponie:** Müllverbrennungsschlacke, Carbid Schlamm, mineralölverunreinigtes Erdreich, aluminiumhaltige Abfälle;
- **Reaktordeponie:** Müll, Textilabfälle, stabilisierte und entwässerte Schlämme aus der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung;
- **Untertagedeponie:** cyanidhaltige Härtesalze, radioaktive Abfälle.

Von den genannten Depo- nientypen kommen in erster Linie Reaktordepo- nien und Reststoffdepo- nien für den Rückbau in Frage. Reine Kompartimentdepo- nien, auf denen andere Abfälle als Baurestmassen oder Bodenaushub abgelagert wurden, sind selten. Eine Untertagedeponie wurde in Österreich bis dato nicht verwirklicht.

Mit der Deponieverordnung trat im Jahr 1996 ein bundesweit gültiges Rechtsinstrument zur Ausstattung und Betriebsweise von Deponien in Kraft. Die Deponieverordnung ist aus mehreren Gründen für diese Studie relevant:

In § 3 werden die vier Deponietypen Bodenaushubdeponie, Baurestmassendeponie, Reststoffdeponie und Massenabfalldeponie definiert. Die Zuordnung der Abfälle zu den Deponietypen erfolgt durch Definition von Anforderungen an die abzulagernden Abfälle (Gesamtgehalte und Eluatgehalte). Aufgrund dieser Zuordnungskriterien wurden aus Sicht des Deponierückbaus relevante Abfälle in erster Linie auf Massenabfall- und Reststoffdeponien abgelagert.

Von einigen wenigen Ausnahmen abgesehen wurde die Ablagerung von Abfällen, deren Anteil an organischem Kohlenstoff (TOC) mehr als 5 Masseprozent beträgt, verboten. Auch wenn auf Basis des § 76 (7) AWG 2002 in einigen Bundesländern Übergangsregelungen bis Ende 2008 in Kraft waren, ist doch von einem stetigen Rückgang der Ablagerung von Abfällen auszugehen, die als Sekundärbrennstoffe in Frage kommen.

Die Dokumentationspflicht für Deponiebetreiber gemäß § 29 (2) Deponie-VO führte zum Aufbau einer Datenbank, aus der für die Jahre 1998–2007 detaillierte Angaben zur jährlichen Ablagerung von Abfällen (auf Ebene der Schlüsselnummern) auf einzelnen Deponien ausgewertet werden können. Ab dem Berichtsjahr 2008 wurde diese Datenbank durch das EDM-System ersetzt, mit dem weitergehende Berichtspflichten verknüpft sind und das damit auch umfassendere und detailliertere Abfalldaten enthält.

Abschließend ist anzumerken, dass aufgrund einer immer besser funktionierenden Abfallwirtschaft immer mehr Wertstoffe abgetrennt und einer Verwertung zugeführt werden. Dadurch wurden in den letzten Jahren immer weniger Wertstoffe auf österreichischen Deponien abgelagert.

3.2 Abschätzung der abgelagerten Abfallmengen und -arten

3.2.1 Abschätzung der Ablagerung von Abfällen in Österreich

3.2.1.1 Verwendete Daten

Je nach betrachtetem Zeitraum sind Umfang und Qualität der Daten über abgelagerte Abfälle sehr unterschiedlich. Für die vorliegende Studie werden folgende Daten verwendet:

1950–1991:	Daten aus Verdachtsflächenkataster und Altlastenatlas
1992–1997:	Eigene Abschätzung auf Basis der Daten in Deponiedatenbank und in den Bundesabfallwirtschaftsplänen
1998–2007:	Deponiedatenbank
2008:	EDM

Für spätere Jahre lagen zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Studie noch keine detaillierten Daten zur Ablagerung von Abfällen vor.

3.2.1.2 Daten aus Verdachtsflächenkataster und Altlastenatlas

Der Verdachtsflächenkataster beinhaltet die von den Landeshauptleuten gemeldeten Altablagerungen und Altstandorte, für die der Verdacht einer erheblichen Umweltgefährdung aufgrund früherer Nutzungsformen ausreichend begründet ist. Altablagerungen und Altstandorte, die als Verdachtsflächen gemeldet wurden und bei denen durch Untersuchungen nachgewiesen wurde, dass von ihnen eine erhebliche Gefahr für die Gesundheit des Menschen oder die Umwelt ausgeht, werden als Altlasten in den Altlastenatlas eingetragen.

In Verdachtsflächenkataster und Altlastenatlas sind österreichweit derzeit 5.020 Altablagerungen erfasst, zu denen eine Reihe von Daten erhoben wurde. Aus Sicht des Deponierückbaus sind insbesondere Daten zu abgelagerten Arten und Mengen der Abfälle relevant.

Hinsichtlich der abgelagerten Menge sind für 77 % der Altablagerungen Daten zum Deponievolumen vorhanden. Damit lassen sich zumindest kleine Altablagerungen aussortieren, die aufgrund der geringen Größe ein unzureichendes Rohstoffpotenzial für einen Deponierückbau aufweisen. Werden Altablagerungen unter 10.000 m³ Schüttvolumen aussortiert, so verbleiben immerhin noch rund 2.000 Altablagerungen, für die weitere Untersuchungen notwendig wären.

Bezüglich der Arten der abgelagerten Abfälle wurden bei der Datenerhebung folgende fünf Kategorien unterschieden, wobei Mehrfachnennungen möglich sind:

- Aushubmaterial/Abraum
- Bauschutt
- Hausmüll
- Industrie-/Gewerbemüll
- gefährliche Abfälle

Ein gezieltes Durchsuchen der Kommentarfelder (keine systematische Abfrage möglich) einzelner Altablagerungen/Deponien könnte – so vorhanden – auch genauere Details zu den vermuteten Abfallarten ergeben (z. B. Schlacken, Aschen). Auswertungen nach Schlüsselnummern sind jedoch nicht möglich.

Auf Basis dieser groben Einteilung der Abfallarten ist es nicht möglich, die Zahl der potenziell weiter zu untersuchenden Deponien so einzuschränken, dass eine begründete Auswahl weniger Standorte angegeben werden kann.

3.2.1.3 Daten aus der Deponiedatenbank

Um einen Gesamtüberblick über die in Österreich insgesamt abgelagerten Abfälle zu bekommen, wurde die Deponiedatenbank nach Abfallarten (Schlüsselnummern) ausgewertet, die im Zeitraum 1998–2007 abgelagert wurden. Für 74 im fraglichen Zeitraum in Betrieb befindliche Massenabfalldeponien ergab diese Auswertung eine Summe von ca. 25,5 Mio. t, für 35 Reststoffdeponien von ca. 6,4 Mio. t. In den folgenden Tabellen sind die Abfallarten aufgelistet, von denen mehr als 50.000 t im Untersuchungszeitraum abgelagert wurden.

Bei den Massenabfalldeponien umfassen diese Abfallarten rund 24 Mio. t (94 % der abgelagerten Abfälle).

Tabelle 4: Abfallarten, von denen 1998–2007 mehr als 50.000 t auf Massenabfalldeponien abgelagert wurden.
Quelle: Deponiedatenbank

SN	Abfallbezeichnung	abgelagerte Masse in t
18102	Rückstände aus der Chemikalienrückgewinnung der Zellstoffherstellung	118.681
18407	Rückstände aus der Altpapierverarbeitung	209.896
18408	Abfälle aus der Zelluloseregeneratfaserherstellung	66.409
31106	Dolomit	125.021
31306	Holzasche, Strohasche	106.636
31307	Kesselschlacke	167.986
31308	Schlacken und Aschen aus Abfallverbrennungsanlagen	1.147.960
3130888	Schlacken und Aschen aus Abfallverbrennungsanlagen (ausgestuft)	1.165.228
31409	Bauschutt und/oder Brandschutt (keine Baustellenabfälle)	745.497
31411	Bodenaushub, ohne Spezifizierung gemeldet	1.569.692
31423	ölverunreinigte Böden	320.308
31424	sonstige verunreinigte Böden	749.555
3142437	sonstige verunreinigte Böden (Bodenaushubmaterial sowie ausgehobenes Schüttmaterial, sonstig verunreinigt, nicht gefährlich)	494.189
31427	Betonabbruch	55.278
31438	Gips	757.585
31636	Bohrschlamm, verunreinigt	71.724
54504	rohölverunreinigtes Erdreich, Aushub und Abbruchmaterial	660.688
57108	Polystyrol, Polystyrolschaum	62.257
57129	sonstige ausgehärtete Kunststoffabfälle, Videokassetten, Magnetbänder, Tonbänder, Farbbänder (Carbonbänder), Tonerpatridges ohne gefährliche Inhaltsstoffe	52.150
57801	Shredderrückstände (Leichtfraktion)	572.598
911	Hausmüll	54.864
91101	Hausmüll und hausmüllähnliche Gewerbeabfälle	8.398.227
91102	Rückstände aus der biologischen Abfallbehandlung	651.072
91103	Rückstände aus der mechanischen Abfallaufbereitung	1.143.723
91105	Hausmüll und hausmüllähnliche Gewerbeabfälle, mechanisch-biologisch vorbehandelt	749.689
912	Gewerbeabfälle	341.773
91206	Baustellenabfälle (kein Bauschutt)	305.466
91302	aerob stabilisierte Abfälle aus der MBA	95.913
91303	anaerob-aerob stabilisierte Abfälle aus der MBA	123.526
91401	Sperrmüll	1.522.904
91501	Straßenkehricht	348.991
94501	anaerob stabilisierter Schlamm (Faulschlamm)	611.996
94701	Rechengut	56.554
94704	Sandfanginhalte	56.355
94801	Schlamm aus der Abwasserbehandlung, soweit er nicht in anderen Positionen enthalten ist	52.766
94802	Schlamm aus der mechanischen Abwasserbehandlung der Zellstoff- und Papierherstellung	266.658
Summe		23.999.816

Den größten Anteil der auf Massenabfalldeponien abgelagerten Abfälle machen Haus- und Sperrmüll mit rund 41 % aus. Weitere relevante Abfallarten sind Aushubmaterialien (16 %), Rückstände aus der mechanischen biologischen Abfallbehandlung (MBA) sowie aus Shreddern (14 %) sowie Aschen, Schlacken und Stäube (11 %).

Bei den Reststoffdeponien umfassen Abfallarten, von denen mehr als 50.000 t im Untersuchungszeitraum abgelagert wurden, rund 5,6 Mio. t (88 % der abgelagerten Abfälle).

Tabelle 5: Abfallarten, von denen 1998–2007 mehr als 50.000 t auf Reststoffdeponien abgelagert wurden.

Quelle: Deponiedatenbank

SN	Abfallbezeichnung	abgelagerte Masse in t
31103	Oftausbruch aus metallurgischen Prozessen	60.764
31111	Hütten- und Gießereischutt	730.428
31203	Schlacken aus NE-Metallschmelzen	67.861
3121791	Filterstäube, NE-metallhaltig (verfestigt)	68.192
31218	Elektroofenschlacke	236.885
31221	sonstige Schlacke aus der Stahlerzeugung	111.277
31223	Stäube, Aschen und Krätzen aus sonstigen Schmelzprozessen	84.246
3122391	Stäube, Aschen und Krätzen aus sonstigen Schmelzprozessen (verfestigt)	103.787
31306	Holzasche, Strohasche	120.272
31308	Schlacken und Aschen aus Abfallverbrennungsanlagen	389.730
3130888	Schlacken und Aschen aus Abfallverbrennungsanlagen (ausgestuft)	205.024
31309	Flugaschen und -stäube aus Abfallverbrennungsanlagen	79.688
31409	Bauschutt und/oder Brandschutt (keine Baustellenabfälle)	163.616
31411	Bodenaushub, ohne Spezifizierung gemeldet	834.334
3141133	Bodenaushub (Baurestmassenqualität)	172.853
3141135	Bodenaushub (technisches Schüttmaterial, ab 5 Vol-% bodenfremder Bestandteile)	62.703
31423	ölverunreinigte Böden [gefährlich]	292.395
3142336	ölverunreinigte Böden (Bodenaushubmaterial sowie ausgehobenes Schüttmaterial, KW-verunreinigt, nicht gefährlich)	96.714
31424	sonstige verunreinigte Böden (gefährlich)	369.721
3142437	sonstige verunreinigte Böden (Bodenaushubmaterial sowie ausgehobenes Schüttmaterial, sonstig verunreinigt, nicht gefährlich)	632.104
31614	Schlamm aus Eisenhütten	176.075
513	Sonstige Oxide und Hydroxide	230.930
51310	sonstige Metallhydroxide (gefährlich)	189.934
911	Hausmüll	53.996
91103	Rückstände aus der mechanischen Abfallaufbereitung	62.870
	Summe	5.596.397

Fast die Hälfte der auf Reststoffdeponien abgelagerten Abfälle (47 %) besteht aus Aushubmaterialien. Weitere relevante Abfallarten sind Aschen, Schlacken und Stäube aus der Abfallverbrennung (14 %), Oftausbrüche und Gießereischutt (14 %) sowie metallurgische Schlacken, Krätzen und Stäube (12 %).

3.3 Auswahl der betrachteten Wertstoffe

Auf Deponien wurde und wird eine Vielzahl verschiedenster Abfälle abgelagert. Die Deponiedatenbank verzeichnet allein auf Massenabfalldeponien die Ablagerung von Abfällen mit mehr als 300 verschiedenen Schlüsselnummern. Von diesen Abfallarten ist nur eine begrenzte Zahl zur Nutzung als Wertstoff geeignet.

HAHN (2010) verwendet die folgende Einteilung für Rohstoffe aus Deponien:

- Energierohstoffe:
 - Biogene Organik
 - Kunststoffe
- Metalle:
 - Eisen
 - Buntmetalle
- Mineralien:
 - Phosphat
 - Ersatzbaustoffe

Um diejenigen Abfälle auszusortieren, die aufgrund der geringen abgelagerten Massen kein hohes Rohstoffpotenzial aufweisen, wurde eine Mengenschwelle eingeführt. Das bedeutet, dass nur noch diejenigen Abfälle weiter betrachtet wurden, von denen auf sämtlichen gemeldeten Deponien in Österreich mindestens einmal mehr als 1.000 Tonnen Masse in einem Jahr abgelagert wurden.

In folgender Tabelle ist die Liste der Abfallarten nach Schlüsselnummern bzw. Schlüsselnummer-Gruppen aufgeführt, die für die jeweiligen Kategorien ausgewählt wurden. Dabei liegt der Fokus der weiteren Betrachtung auf den metallhaltigen Abfällen sowie den Energierohstoffen.

Tabelle 6: Ausgewählte Abfallarten, die ein hohes Rohstoffpotenzial aufweisen.

metallhaltige Abfälle		Energierohstoffe		Ausgewählte Mineralien	
31 205	Leichtmetallkrätzen, aluminiumhaltig	17 101	Rinde	31 218	Elektroofenschlacke
31 217	Filterstäube, nichteisenmetallhaltig (Aluminium, Kupfer, Zink, Blei)	17 102	Schwarten und Spreißel aus sauberem unbeschicht. Holz	31 219	Hochofenschlacke
31 223	Stäube, Aschen und Krätzen aus sonstigen Schmelzprozessen	17 115	Spanplattenabfälle	31 220	Konverterschlacke („LD-Schlacke“)
31 614	Schlamm aus Eisenhütten	17 202	Bau- und Abbruchholz	31 305	Kohlenasche
31 615	Schlamm aus Stahlwalzwerken	18 718	Altpapier, Papier und Pappe, unbeschichtet	31 307	Kesselschlacke
31 616	Schlamm aus Gießereien	57 108	Polystyrol und Polystyrolschaum	31 315	REA-Gipse
31 626	Schlamm aus der Nichteisenmetall-Erzeugung	57 119	Kunststofffolien	31 401	Gießerei-Altsand
31 627	Aluminiumoxidschlamm	57 501	Gummi	31 410	Straßenaufbruch
35 314	Kabel	57 801	Shredderleichtfraktion, metallarm	31 427	Betonabbruch
35 501	Zinkschlamm	58 107	Stoff- und Gewebereste sowie Altkleider	31 467	Gleisschotter
35 502	Metallschleifschlamm	91 107	heizwertreiche Fraktion	54 912	Bitumen und Asphalt
51 104	kupferhaltiger Galvanikschlamm	912	Gewerbeabfälle		
51 105	zinkhaltiger Galvanikschlamm	91 201	Verpackungsmaterial und Kartonagen		
51 112	sonstige Galvanikschlämme	91 207	Leichtfraktion aus der Verpackungssammlung		
51 113	sonstige Metallhydroxidschlämme (und metallhaltige Bäder)	917	Grünabfälle		
51 115	Aluminiumhydroxidschlamm	91 701	Garten- und Parkabfälle		
513	sonstige Oxide und Hydroxide	91 702	Friedhofsabfälle		
51 305	Aluminiumoxid	92 102	Mähgut und Laub		
51 308	Aluminiumhydroxid				
51 309	Eisenhydroxid				
51 310	sonstige Metallhydroxide				
911	Siedlungsabfälle				
91 101	Siedlungsabfälle und ähnliche Gewerbeabfälle				

Weiterhin wurden Abfälle mit folgenden Schlüsselnummern betrachtet, bei denen mehrere Arten der Nutzung möglich sind.

31 202	Kupolofenschlacke
31 203	Schlacken aus NE-Metallschmelzen
31 221	sonstige Schlacken aus der Stahlerzeugung
31 438	Gips
91 401	Sperrmüll
92 302	Kalk

3.3.1 Abfallarten und Mengen in ausgewählten Deponien/Standorten

Als Hauptkriterium für die Auswahl von Deponien bzw. Standorten für eine weitere Detailuntersuchung wurde der Inhalt an nutzbaren Wertstoffen (metallhaltige Abfälle, Energierohstoffe) gewählt. Dabei ist es weniger von Belang, wie hoch der absolute Gehalt an Wertstoffen ist, relevant ist vielmehr ihr relativer Anteil in Bezug auf die gesamt abgelagert Masse. Diese Daten sind leider nur für Deponien vorhanden, für die die Berichtspflicht gemäß Deponieverordnung gilt, und bei diesen Deponien auch nur für die Jahre 1998 bis 2007.

Ein zusätzliches Auswahlkriterium ist die Gesamtmasse an deponierten Abfällen, da zu geringe Ablagerungsmengen keinen kosteneffizienten Deponierückbau ermöglichen. Für die vorliegende Studie wurde ein Wert von 50.000 t an abgelagerten Abfällen als Auswahlgrenze gewählt.

Auf Basis der definierten Auswahlkriterien wurden für die weiteren Untersuchungen zur Klimarelevanz zwei Massenabfalldeponien sowie eine Reststoffdeponie ausgesucht. Aus Gründen des Datenschutzes werden die Deponien anonymisiert und als Deponie A, B und C bezeichnet, wobei Deponie C die Reststoffdeponie darstellt.

4 ABSCHÄTZUNG ABGELAGERTES RESSOURCENPOTENZIAL

4.1 Qualitative Abschätzung der Zusammensetzung von Abfallablagerungen im zeitlichen Verlauf

4.1.1 Einflussfaktoren auf Qualität und Zusammensetzung der Abfallablagerungen

Qualität und Zusammensetzung der Abfallablagerungen werden von vielen Faktoren beeinflusst. Sie haben sich im Laufe der Zeit gravierend geändert und müssen im Zusammenhang mit der Charakteristik des Einzugsgebietes bzw. der ökonomischen Situation der Bevölkerung betrachtet werden.

Ausgehend von einem niedrigen Entwicklungsstand, wie es in der Nachkriegszeit der Fall war, steigt mit dem Wohlstand einer Volkswirtschaft zuerst der Rohstoffverbrauch ohne dass große Abfallmengen entstehen. Bei weiter steigendem Wohlstand geht die Verbrauchsintensität an Rohstoffen zurück. Es werden zunehmend teurere, komplexere und kurzlebigere Produkte konsumiert. Die Abfallströme werden komplexer und die Konzentration an Wertstoffen geringer (GOLDMANN 2010).

Ausschlaggebend für die Qualität der Abfälle in einer Deponie sind auch die angewendeten Einbautechniken sowie der Anteil an Erdaushub und Bauschutt, welcher vor 1990 mehr als 50 % der abgelagerten Abfälle betrug (HAHN 2010).

Die Niederschlagsmenge in einer Region und die Witterungsbedingungen, unter denen die Deponierung erfolgte, führen ebenfalls zu Unterschieden im Abbauvorgang. Wesentlich ist auch die Einbaudichte. Diese wurde durch den Einsatz von Müllkompaktoren erheblich gesteigert. Niedrige Einbaudichten führen schon während des Einbauvorganges zu aeroben Abbauvorgängen mit Verlust der organischen Substanz. Einbautechnik und Einbaudichte beeinflussen auch die Wasserwegsamkeit innerhalb des Deponiekörpers. Die Verteilung des Wassers innerhalb eines Deponiekörpers und damit der Abbau der organischen Substanz sind von Deponie zu Deponie verschieden. Es kann von einem Wechsel zwischen Schichtwasser und trockenen Bereichen ausgegangen werden. Innerhalb eines Deponiekörpers sind abbaubezogene Milieus in unterschiedlicher Weise vorhanden, welche sich im Laufe der Zeit verändern. Ein wesentlicher Teil der biologisch abbaubaren Substanz bleibt auf lange Zeit erhalten (WIEMER et al. 2009).

Das Wertstoffpotenzial in Deponien wird neben den bereits genannten Faktoren maßgeblich von den produktionsspezifischen Abfällen bestimmt, da diese hohe Anteile an verwertbaren Stoffen haben und zumeist in großer Menge vorkommen. Die produktionsspezifischen Abfälle sind ebenfalls zeitlichen Schwankungen unterlegen. Sie können über einen Zeitraum in größeren Mengen (Monochargen) angeliefert werden und plötzlich wegfallen, da sich z. B. Verwertungsmöglichkeiten ergeben haben (z. B. Papierschlämme, Spuckstoffe, Teppichbodenreste, metallhaltige Abfälle (WIEMER et al. 2009). Dies führt auch zu großen Schwankungen innerhalb einer Deponie.

Im Durchschnitt wird von einem 50%igen Abbau der organischen Masse ausgegangen. Dem entspricht auch die Deponiegasproduktion von 100–140 m³/Tonne (WIEMER et al. 2009).

4.1.2 Wertstoffpotenzial in Deponien

Die Wertstoffzusammensetzung in Deponien hängt von vielen Faktoren ab und ist daher von Deponie zu Deponie und auch innerhalb einer Deponie sehr verschieden. Die folgenden Wertstoffe sind in unterschiedlichem Ausmaß in Deponien zu erwarten.

Metalle

Es kann von einem Anteil von etwa 4 % Metallen ausgegangen werden. Metalle sind die am höchst bewerteten Ressourcen in Deponien. Jedoch hängt dies von der Qualität der abgelagerten Metallsorten und deren erzielbaren Preisen ab. Der Anteil an Stahlschrott beträgt etwa 80 %, der Anteil an Buntmetallen liegt bei 20 % (HAHN 2010).

Energierohstoffe

- Kunststoffe: Hochkalorische Fraktion (7–26 %),
- Biogene Organik: Biogene organische Fraktion (7–27 % nach erfolgtem Abbau).

Das Potenzial der Sekundärbrennstoffe ist vom Abbau der organischen Substanz im Deponiekörper abhängig. Die hochkalorische Fraktion ist wenig oder gar nicht mikrobiell abbaubar, während die biogene organische Fraktion leicht bis mittelschwer abbaubar ist. Bei letzterer wird davon ausgegangen, dass noch 50 % nutzbar in der Deponie vorliegen (HAHN 2010).

Kunst- und Verbundstoffe

Die Gruppe der Kunst- und Verbundstoffe ist sehr heterogen. Sie bestehen aus Polyolefinen (Thermoplaste), PVC und Duroplasten. Bei Verbundstoffen handelt es sich um Verbunde von Kunststoffen mit Papier oder Pappe sowie Textilien. Der mittlere Heizwert dieser Mischfraktion liegt bei 20 MJ/kg.

Es kann davon ausgegangen werden, dass die stoffliche Verwertung von Kunst- und Verbundstoffen aus Rückbaumaterialien aufgrund der Verschmutzungen und Anhaftungen derzeit nicht wirtschaftlich möglich ist. Der Wert der Kunst- und Verbundstoffe ist auf deren Energiegehalt zurückzuführen (HAHN 2010).

Biogene organische Stoffe

Diese Stoffe liegen in sehr unterschiedlichen Formen und Qualitäten, abhängig vom Abbaugrad, vor. Die weitgehend abgebaute organische Substanz findet sich in der Feinfraktion wieder; Papier und Pappe, aber auch trockenes verholz-

tes Material, sind häufig als solche noch erkennbar. Der Anteil der nativ organischen Substanz größer 8 bzw. 40 mm Siebweite ist erheblich, weshalb von einer energetischen Verwertung dieser Materialien ausgegangen werden kann. Der mittlere Heizwert liegt bei 10 MJ/kg (HAHN 2010).

Ein Kilogramm an abgelagerten Abfällen verfügt durchschnittlich über ein energetisches Potenzial von 8,02 MJ/kg auf der Deponie (HÖLZLE 2010b).

Mineralien

- Phosphat
- Ersatzbaustoffe

Bei den mineralischen Anteilen im abgelagerten Abfall kann von einer Bandbreite von 22–67 % ausgegangen werden. Dieser Abfallstrom hat sich aufgrund seiner inerten Eigenschaften im Laufe der Zeit kaum verändert. Für den Einsatz von recyceltem Baumaterial im Hoch- und Tiefbau sind Reinheit, Beständigkeit und Tragfähigkeit des Materials entscheidend. Daher sind recycelte Baumaterialien aus Deponiesanierungen hauptsächlich für Deponiebau und Deponiesanierungen geeignet. Durch das Bauabfallrecycling aus Altdeponien kann effektiv sehr viel Deponievolumen geschaffen werden (DEYLEN 1994).

4.2 Hochrechnung auf alle österreichischen Deponien

In Kapitel 3.2 wurde eine Auswahl der zu betrachtenden Wertstoffe nach Abfallart durchgeführt. Für die 58 ausgewählten Abfallarten wurden detaillierte Stoffblätter erstellt, die folgende Daten enthalten:

- Herkunft
- Zusammensetzung
- Deponien, auf denen der jeweilige Abfall hauptsächlich abgelagert wurde
- Abschätzung der Ablagerung in den Jahren 1990–1997
- Ablagerung in den Jahren 1998–2007 gemäß Deponiedatenbank
- Ablagerung in den Jahren 2008 und 2009 gemäß EDM
- Mögliche Verwertungswege nach Aufbereitung

Die einzelnen Stoffblätter sind in Annex 2 zu finden.

Die Zusammenfassung der Abschätzungen für die abgelagerten Massen, die in den Stoffblättern durchgeführt wurden, ergibt die folgenden Werte.

Tabelle 7: Masse an potenziellen Wertstoffen, die in den Jahren 1990–2009 insgesamt auf österreichischen Deponien abgelagert wurden.

Potenzielle Wertstoffe	Summe (in t)	Anteil (in %)
metallhaltige Abfälle	19.696.400	58
Energierohstoffe	3.073.400	9
Mineralien	4.715.800	14
Mehrfachnutzung	6.331.100	19
Gesamtsumme	33.816.700	100

Die zeitliche Entwicklung kann abgeschätzt werden, indem für jeden Zeitraum (1990–1997, 1998–2007, 2008–2009) eine durchschnittliche Ablagerungsmenge pro Jahr errechnet wird.

Tabelle 8: Durchschnittliche Ablagerung an potenziellen Wertstoffen pro Jahr.

Potenzielle Wertstoffe	1990–1997	1998–2007	2008–2009
metallhaltige Abfälle	1.197.500	971.070	202.850
Energierohstoffe	227.500	122.270	15.350
Mineralien	215.800	263.200	178.700
Mehrfachnutzung	408.800	286.040	100.150

Es lässt sich feststellen, dass bei allen potenziellen Wertstoffen ein Rückgang der pro Jahr abgelagerten Massen zu verzeichnen ist. Aufgrund der Beschränkung der erlaubten organischen Substanz (angegeben als TOC) in den abgelagerten Abfällen ist der Rückgang bei den Energierohstoffen besonders stark. Dagegen hat die Ablagerung der Mineralien zunächst sogar einen Anstieg erfahren und ist erst danach leicht zurückgegangen.

5 EVALUIERUNG VON AUFBEREITUNGSTECHNOLOGIEN

5.1 Eingesetzte Technologien

Dieses Kapitel enthält einen Überblick der bei den Praxisbeispielen (siehe Annex 3) verwendeten Technologien zum Aushub und zur Vorsortierung der ausgebauten Abfälle. Des Weiteren werden die positiven und negativen Erfahrungen beim Einsatz dieser Technologien dargestellt.

Die verwendeten Technologien werden genauer betrachtet insbesondere in Hinblick auf die

- Eignung als Einsatz beim Deponierückbau,
- Effizienz der Wertstoffrückgewinnung,
- Umweltauswirkungen in Bezug auf Klimaveränderung, insbesondere Energieeinsatz.

5.1.1 Allgemeines

Nach dem Arbeitsbericht „Umlagerung und Rückbau von deponierten Abfällen“ (ATV-DVWK/VKS 2002) untergliedern sich die Verfahrensschritte beim Deponierückbau in der Regel folgendermaßen:

- In-situ-Vorbelüftung des Deponiekörpers zur Geruchsstabilisierung und/oder Trocknung vor der Abgrabung
- Abgraben des Deponiekörpers, wobei gegebenenfalls schon weitgehende Separierung verschiedener Abfallarten erfolgt.
- Behandlung der aufgenommenen Abfälle mittels mechanischer, biologischer und thermischer Verfahren bzw. entsprechender Kombinationen.
- Erneute Ablagerung der behandelten Abfälle in zugewiesenen Deponien/Deponieabschnitten.

Die folgende Abbildung zeigt die typischen Verfahrensschritte beim Deponierückbau.

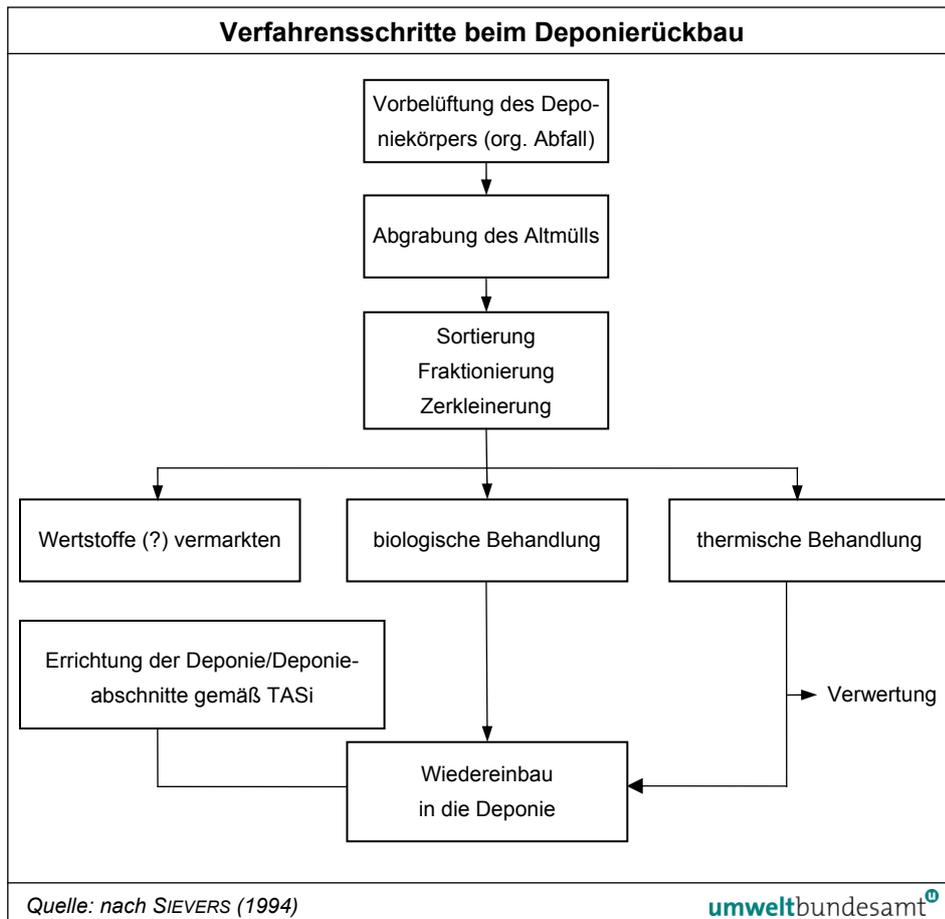


Abbildung 9: Verfahrensschritte beim Deponierückbau.

Nach HÖLZLE (2010a) reichten die Geräte bei Rückbaumaßnahmen von Schaufel und einfachen „Gartensieben“ bei einer Deponie in Indien bis hin zu infrarot-sensorgestützten Systemen bei Deponien in Europa. Weltweit am meisten Verwendung fanden Siebe jeglicher Art, insbesondere Trommelsiebe.

Die Durchführung von zwei Trennschnitten erwies sich in vielen Projekten von Vorteil. Die Sieböffnungen lagen zwischen 18–50 mm für den Feinanteil und zwischen 35–80 mm für den Grobanteil.

Der optimale Trennschnitt schwankt grundsätzlich von Deponie zu Deponie, aber auch die wechselnde Abfallzusammensetzung in einer Deponie kann eine Anpassung der Sieböffnungen während des Rückbaus erforderlich machen. Tabelle 9 gibt einen Überblick über die Trennschnitte internationaler Deponierückbauten.

Tabelle 9: Trennschnitte internationaler Deponierückbauten. Quelle: HÖLZLE (2010a)

Deponie	Trennschnitt I	Trennschnitt II	Trennschnitt III
Måsalycke/Schweden	0–18 mm	18–50 mm	50–X mm
Nonthaburi/Thailand	0–25 mm	25–50 mm	50–X mm
Jagerberg/Deutschland	0–35 mm	35–80 mm	80–X mm
Scheffau/Deutschland	0–40 mm	(0)/40–80 mm	80–X mm
Pitztalgrund/Deutschland	0–50 mm	50–70 mm	70–X mm

Von Vorteil erwiesen sich bei den bayerischen Deponierückbauprojekten Stangensizer oder auch Sternsiebe. Als erstes Trennverfahren eingesetzt, ermöglichen sie es, bindige Deponate aufzulockern.

Bei Trommelsieben verdeckten bindige und folienhaltige Materialien leicht die Öffnungen. Sternsiebe zeigten jedoch schneller Verschleißerscheinungen, sofern das Material Gesteinsbrocken enthielt.

Der Einsatz von Windsichtern wie einfache Heugebläse, Schneekanonen oder konventionelle Sichter war nur von mäßigem Erfolg. Probleme stellten unter anderem das Ausblasen von feiner Mineralik oder auch zu erwartende Geräteschäden durch grobe Mineralik dar.

Die Auswertung internationaler Rückbauprojekte zeigt, dass meistens die Mineralik den größten Anteil, Kunststoffe und Ähnliches einen Wert zwischen 15 und 50 % und Metalle sowie Holz Werte weit unter 10 % aufweisen.

Für die energetisch zu verwertenden Leichtfraktionen sind die Brennwerte, aber auch der entstehende Aschegehalt von großer Bedeutung. Bei bisherigen Untersuchungen lagen die Brennwerte zwischen 7.160 und 22.000 kJ/kg.

Bei Kunststoffen erschweren starke Verschmutzungen und unbekanntes Zusammensetzung die stoffliche Verwertung und auch deren Verwendung als Ersatzbrennstoff (EBS).

Glas wurde ebenfalls selten stofflich verwertet und in den meisten Fällen gemeinsam mit der Mineralik entsorgt.

STEINEMANN (1997) zitiert für einen speziellen Anwendungsfall unter den folgenden Rahmenbedingungen:

- *„die Deponie wurde ausschließlich mit Haus-, Sperr- und Gewerbemüll verfüllt und*

- *es wurden keine größeren Mengen an Bauschutt, Klärschlämmen, Problemstoffen und Sondermüll abgelagert,*

(...) dass die Durchführung verschiedener Versuche ergeben hat, dass die Anforderungen

- *schonende Aufbereitung des Altmülls,*

- *Klassierung in eine Brennstoff- und Deponiefraktion,*

- *möglichst gering (mit Feinanteilen) verunreinigte Brennstofffraktion,*

- *kostengünstige und robuste Aufbereitungstechnik*

am besten mit folgender Aufbereitungstechnik realisiert werden können:

- *Anlagenbeschickung mit Radlader,*

- *Vorzerkleinerung mit einem langsam laufenden Shredder,*

- *Siebung mit einem Trommelsieb (Siebschnitt 60 mm) in eine Grob- und eine Feinfraktion,*

- *ggf. Magnetabscheidung, die zwischen Vorzerkleinerung und Trommelsieb angeordnet ist.“*

RETTEBERGER (2010a) spricht von folgenden möglichen Verfahrensschritten:

„Mögliche Verfahrensschritte in allen Stufen:

- *Einsatz von MBA-Technik nach dem Stand der Technik*

- *Technikauswahl entsprechend Kosten/Nutzen-Analyse*

1. Beim Abgraben

- Grobsortierung (Metalle, heizwertreiche Monobereiche)
- ggf. Separierung trockener Grobmüllbereiche zur händischen Sortierung

2. Klassierung und Fraktionierung

- Grobsortierung durch Aufgabegerät (falls nicht beim Abgraben)
- gegebenenfalls Zerkleinerer (in der Regel verzichtbar)
- Metallabscheidung an geeigneten Stellen
- Aussiebung der Feinfraktion zur Ablagerung auf der Deponie
- Aussiebung der Grobfraktion als heizwertreiche Fraktion
- mechanische Stoffstromtrennung bei einer Mittelfraktion allenfalls bei Nutzung freier Kapazitäten bestehender Anlagen:
 - optional vorlaufende Trocknung
 - optional vorlaufende weitere Zerkleinerung
 - optional vorlaufende weitere Feinanteilabtrennung
 - Schwer-Leicht-Trennung, ggf. mehrstufig (BASEP, Windsichter)
 - Schwerfraktion zur Ablagerung auf der Deponie
 - Leichtfraktion als heizwertreiche Fraktion“

Das Sortierhandbuch (DUALES SYSTEM DEUTSCHLAND 2004) gibt sehr gut die zur Verfügung stehenden Aufbereitungsverfahren wieder, und wird daher nachfolgend nahezu unverändert übernommen.

5.1.2 Mechanische Aufbereitungsverfahren

Die Wahl der Einzelkomponenten für die Anlage hängt stark ab von den Materialeigenschaften des abgegrabenen Abfalls und davon, welche Stoffströme abgetrennt und wie diese weiterverarbeitet werden (mechanische/biologische Behandlung). Aber auch wirtschaftliche Aspekte spielen eine Rolle. Eine Trennung nach der Abfallart (Metall, Kunststoff, brennbare Fraktion usw.) ist sehr aufwendig. Es sollte daher in der Regel auf einfache Verfahrenskomponenten zur Trennung der mineralischen und organischen Bestandteile zurückgegriffen werden.

Folgende Aufbereitungsschritte sind möglich:

- Zerkleinerung
- Sortierung
- Klassierung

Enthält die Deponie überwiegend Bauschutt, so ist ein Bauschuttrecycling sinnvoll.

Vor dem eigentlichen Aufbringen des Abfalls auf die mechanische Aufbereitungsanlage sollte eine Sichtung und Vorsortierung beim Abgraben erfolgen. Dies kann beispielsweise mit einem Bagger vorgenommen werden, mit dem sehr große, sperrige Teile abtrennt und eventuell einem Zerkleinerungsaggregat zugeführt werden.

Die Firma Porr Umweltechnik (PUT) spricht in ihrer Imagebroschüre von einem eigens dafür entwickelten Gitterlöffel für den Bagger.



Abbildung 10: Gitterlöffel zum Aussortieren großer, sperriger Abfallbestandteile. (© DeMartis, Quelle: http://www.demartis.at/de/products/pro02.php?WEBYEP_DI=5)



Abbildung 11: Gitterlöffel zum Aussortieren großer, sperriger Abfallbestandteile. (© Geel Baumaschinen-Zubehör, Quelle: http://www.geel.at/produkte_de/loeffel_gitterloeffel_de.html)

Gitterlöffel werden vorwiegend für das Aussieben von Gestein, Pflastersteinen sowie Bauschutt-Recycling eingesetzt.

Neben diesen einfachen Gitterlöffeln gibt es noch Spezialausführungen wie Vibrationssieblöffel, hydraulische Rotations-Sieblöffel und Sieblöffel mit Walzen.

Die Beschickung der Anlage kann ebenfalls mit einem Bagger durchgeführt werden. Eine andere Möglichkeit ist die kontinuierliche Beschickung mittels Förderband.

In Abbildung 12 wird ein Verfahrensfliessbild für eine typische mechanische Aufbereitung dargestellt:

Am Anfang der Aufbereitung steht eine Vorklassierung mit einem Stangenrost (Variante 1).

Der Überlauf am Rost wird entweder zerkleinert und dann wieder in den Prozessablauf integriert oder direkt deponiert.

In einem Trommelsieb erfolgt eine Klassierung des Durchlaufs in eine Fraktion > 60 mm und eine Fraktion < 60 mm.

Anstelle der am Anfang stehenden Vorklassierung ist auch eine Zerkleinerung und Sortierung (Schrägband) des Ausgangsmaterials vor Aufgabe auf das Trommelsieb möglich (Variante 2).

Die Fraktion > 60 mm durchläuft zuerst eine Magnetabscheidung, in der die Eisenbestandteile im Abfall entfernt werden. Danach folgt die Sortierung von Problem- und Wertstoffen an einer Sortierstation. An einem nachfolgenden Schrägband werden Steine und Betonbrocken aussortiert. Zuletzt wird mit Hilfe eines Ballistikseparators das Material in eine Fein-, Leicht und Schwerfraktion aufgetrennt.

Die Schwer- und Feinfraktion kann deponiert werden oder wie die Fraktion < 60 mm biologisch behandelt und anschließend weiter klassiert werden (Trommelsieb < 20 mm). Die entstandene Fraktion > 20 mm kann als Abdeckmaterial beim Deponiebau eingesetzt werden.

Für die Leichtfraktion besteht die Möglichkeit einer thermischen Verwertung.

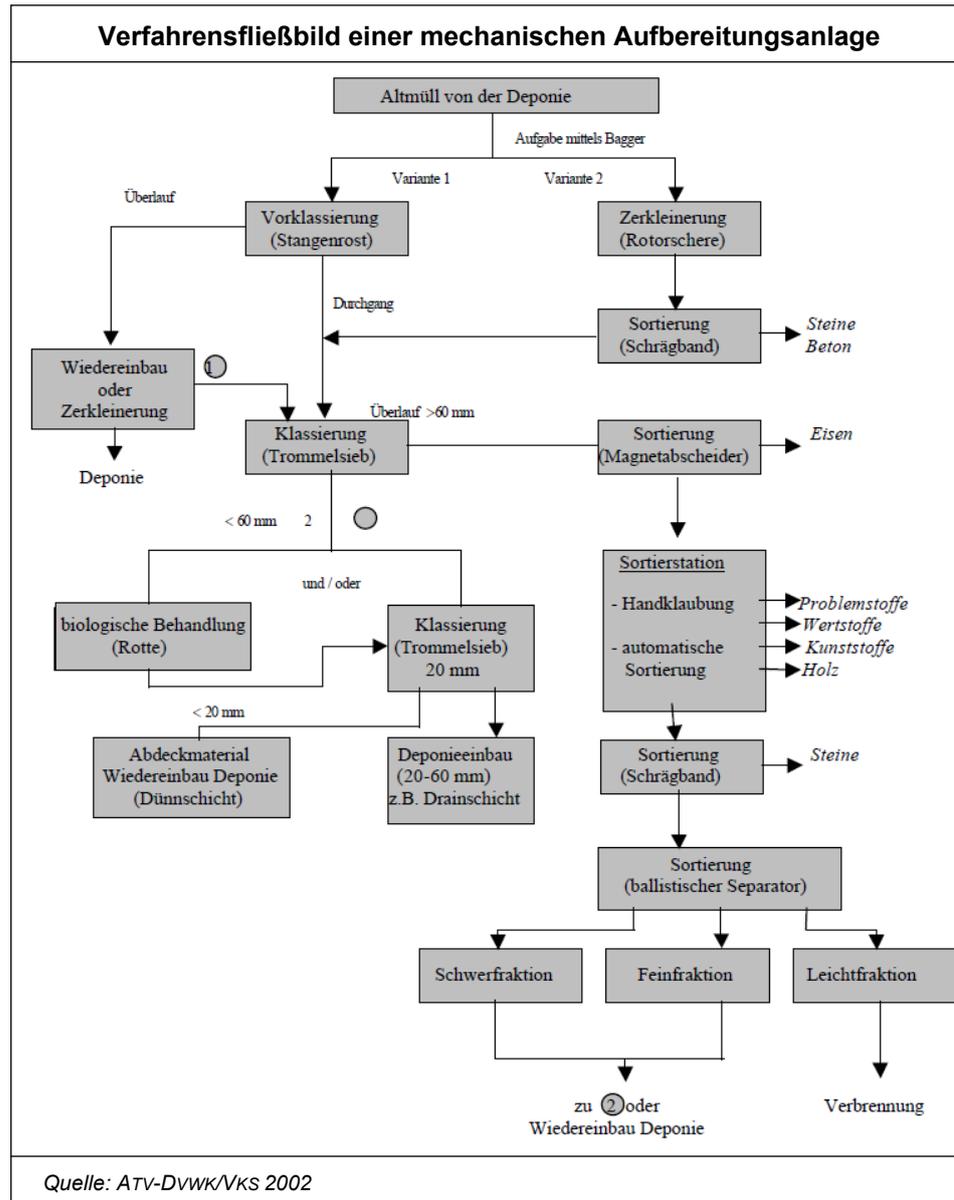


Abbildung 12: Verfahrensfließbild einer mechanischen Aufbereitungsanlage.

5.1.2.1 Klassierung

Mit der Klassierung erfolgt zum einen eine Aufteilung in verschiedene Stückgrößenklassen, zum anderen wird aber auch eine Vorsortierung nach Abfallarten angestrebt.

Zum Einsatz kommen im Allgemeinen Siebe und Roste, da mit ihnen die größte Trennschärfe zu erreichen ist. Dabei erfolgt eine Trennung in zwei Korngrößenklassen: den Überlauf und den Siebdurchgang.

Da der aus der Deponie entnommene Abfall ohne in-situ-Vortrocknung in der Regel eine hohe Feuchte aufweist, besteht die Gefahr, dass durch Agglomerationen und das Anbacken an den Siebböden die Siebprozesse verschlechtert werden. Bauweisen von Siebmaschinen in konventioneller Art – wie Schwing- oder Rüttelsiebe – sind aus diesem Grunde zur Altmüllsiebung weniger geeignet.

Trommel- und Stangensiebe scheinen hierfür unempfindlicher zu sein (ATV-DVWK/VKS 2002).

Die Leistungsfähigkeit zwei verschiedener Vibrationssiebe und eines Trommelsiebes wurden im Zuge des Rückbauprojekts Edinburg, New York (NYSERDA 1992) evaluiert. Es wurde dem Trommelsieb mehr Effizienz attestiert, die abgesiebte Fraktion der beiden Vibrationssiebe enthielt mehr mineralische Anteile als jene des Trommelsiebes. Dafür war die mineralische Fraktion der Vibrationssiebe von höherer Reinheit, mit einem geringeren Anteil an Glasbestandteilen.

Stangenrost

Der Stangenrost dient vor allem der Vorabscheidung von sperrigem Material im Abfall. In der Regel bestehen Stangenroste aus zwei ineinander greifenden Rosten, die gegeneinander oszillierende Bewegungen ausführen. Außerdem bewirkt eine elastische Aufhängung der Roststäbe eine zusätzliche Schwingbewegung durch das aufschlagende bzw. abrollende Klassiermaterial. Bei einer Neigung von 10–15° wird so ein guter Klassier-, Transport- und Selbstreinigungseffekt erzielt.

Trommelsieb

Im Trommelsieb wird der Müll durch die Trommeldrehung ständig bewegt, wodurch eine gute Umwälzung erreicht wird.

Vorteile:

- Durch die Umwälzung wird der Abfall gut aufgelockert. Schmutzpartikel werden am Anfang der Trommel ausgeschieden, ehe der eigentliche Trennvorgang beginnt. Außerdem werden Papier- und Plastiksäcke geöffnet.
- Es erfolgt eine Selbstreinigung durch Aneinanderreiben der Altstoffe, was sich positiv auf die Wiederverwertbarkeit und die weitere Aufbereitung auswirkt.
- Durch den Mischeffekt wird es auch möglich, großflächige Teile (z. B. Folien) von anderen Inhaltsstoffen abzutrennen. Liegt bei einem normalen Schwingensieb beispielsweise eine Folie auf der Siebfläche, so versperrt sie den auf der Folie liegenden feineren Anteilen den Zugang zu den Sieböffnungen. Im Trommelsieb dagegen rollt das Material an der Wand ab und ändert somit ständig seine Lage.
- Es ist eine gute Anpassung an die Materialeigenschaften durch Einbau unterschiedlicher Siebbleche und Veränderung des Neigungswinkel möglich.
- Von Vorteil sind auch die einfache Konstruktion sowie der erschütterungsfreie Lauf.

Nachteilig können sich streifenförmige Materialien (Damenstrümpfe, Folien, Tonbänder) auswirken, die in den Sieblöchern hängen bleiben. Durch diese Verschmutzungsneigung der Siebtrommel verschlechtert sich die Trennschärfe mit zunehmender Nutzungsdauer. Auch können lange, sperrige Teile in den Siebdurchgang gelangen.

Feuchte Abfälle neigen bei höheren Anteilen an bindiger Erde, Klärschlamm u. Ä. zum Verklumpen.



Abbildung 13: Stationäre Trommelsiebmaschine. (© AMB Anlagen Maschinen Bau GmbH)

Wird zu viel Material in das Sieb gegeben, kommt es zu gegenseitigen Behinderungen, die dazu führen, dass nicht der gesamte Feinanteil abgeseibt werden kann.

Das Material muss so lange im Sieb verbleiben, bis alle Bestandteile abgeseibt wurden, die kleiner sind als die Sieböffnungsweite. Die Verweilzeit des Materials im Sieb wird dabei in erster Linie durch die Länge des Siebes und dessen Neigung beeinflusst. Einen gewissen Einfluss haben auch Einbauten im Sieb, wie beispielsweise Leitbleche oder Mitnehmer.

Stangensieb (Fingersieb, Stangensizer)

Stangensiebe werden hauptsächlich in Steinbrüchen und Bauschutttaufbereitungsanlagen eingesetzt. Daher sind diese Siebe sehr robust und relativ preiswert in der Anschaffung. Mit ihnen können gute Siebergebnisse erzielt werden. Eine Verstopfungsgefahr durch streifenförmige Materialien besteht hier nicht.



Abbildung 14: Beispiel eines Stangensizers.

(© Zemmler Siebanlagen,

Quelle: <http://www.zemmler.de/de/nav2/anlagenbau/stangensizer.html>)



Abbildung 15: Beispiel eines Stangensizers. (© Mogensen GmbH,

Quelle: <http://www.mogensen.de/de/stangensizer.htm>)

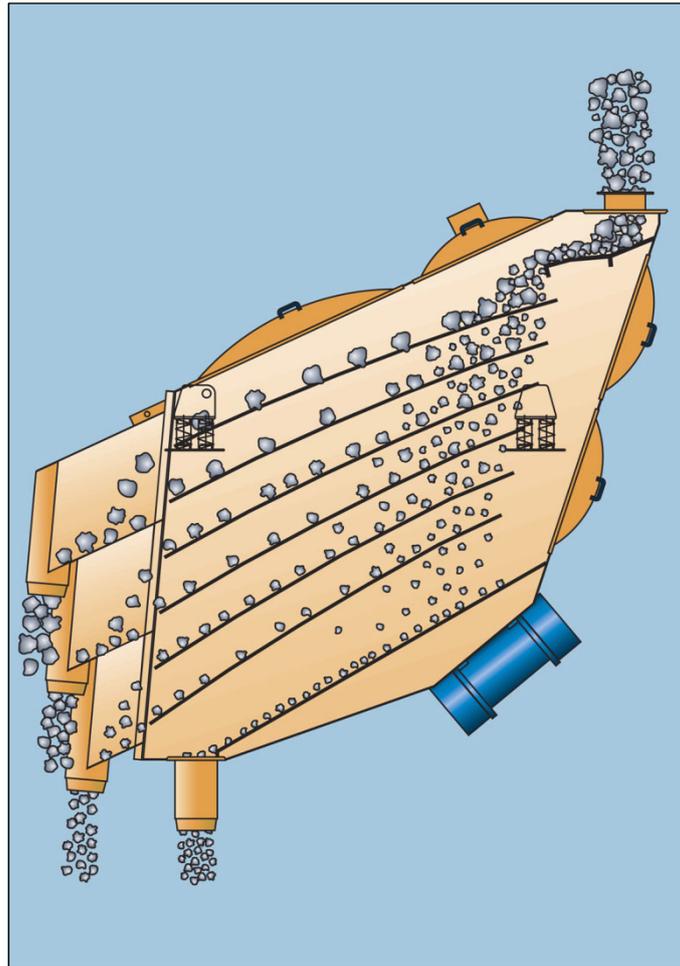


Abbildung 16: Schema eines Mogensen Sizers. (© Mogensen GmbH)

Scheibensiebe (Bewegte Roste, Sternsiebe)

Sternsiebe sind eine Sonderbauform der Scheibensiebe. Scheiben- und Sternsiebe werden vor allem für feuchtes, schwierig abzusiebendes Gut verwendet.

Sie bestehen aus mehreren, stufenförmig angeordneten Ebenen, die die Siebböden bilden und sich wie folgt zusammensetzen. Quer zur Förderrichtung sind rotierende Wellen angeordnet. Auf diesen Wellen sitzen Förderscheiben, die auch Rostscheiben genannt werden. Je nach Anwendungsfall sind diese unterschiedlich geformt.

Durch diese Scheiben wird das Siebgut gerüttelt und dadurch werden Feingutanhafungen auf Oberflächen großer Partikel entfernt. Verunreinigungen dürfen nur einen untergeordneten Anteil am Gesamtstrom darstellen, ansonsten besteht die Gefahr des Verstopfens und „Überfahren“ des Siebes.⁵

In den Sortieranlagen für Leichtverpackungen werden sternförmige Scheiben eingesetzt, deshalb auch die Bezeichnung „Sternsiebe“. Der seitliche Abstand der Scheiben und der Abstand zwischen den Walzen bestimmt hierbei die Trennkorngröße. (DUALES SYSTEM DEUTSCHLAND 2004)



Abbildung 17: Sonderform eines Scheibensiebes – das Sternsieb.

(© HAAS Holzerkleinerungs- und Fördertechnik GmbH,

Quelle: <http://www.haas-recycling.de/de/siebtechnik-sternsieb.php>)

Abbildung 18 zeigt die Funktionsweise eines Sternsieves:

Das aufzugebene Material gelangt über das Förderband (1) auf das Siebdeck (2). Die ineinandergreifend auf Wellen angeordneten Siebsterne drehen sich in gleicher Richtung. Während das Gutkorn (4) durch die Spalten zwischen den Siebsterne hindurchfällt, wird das Überkorn (3) von den gebogenen Fingern

⁵ http://tu-dresden.de/die_tu_dresden/fakultaeten/fakultaet_maschinenwesen/ifvu/tvu/dateien/skripte/entsorgungstechnik/Kap3_physikal_Verfahren_Teil1von2.pdf

der Siebsterne jeweils in Förderrichtung weitergeworfen. Durch diesen Wurfefekt tänzelt das Material auf dem Siebdeck. Dadurch werden einerseits Ballungen aufgelöst und somit der Gutkornanteil vergrößert. Andererseits wird die Überdeckung der Durchlass-Schlitze durch das Überkorn verhindert.⁶

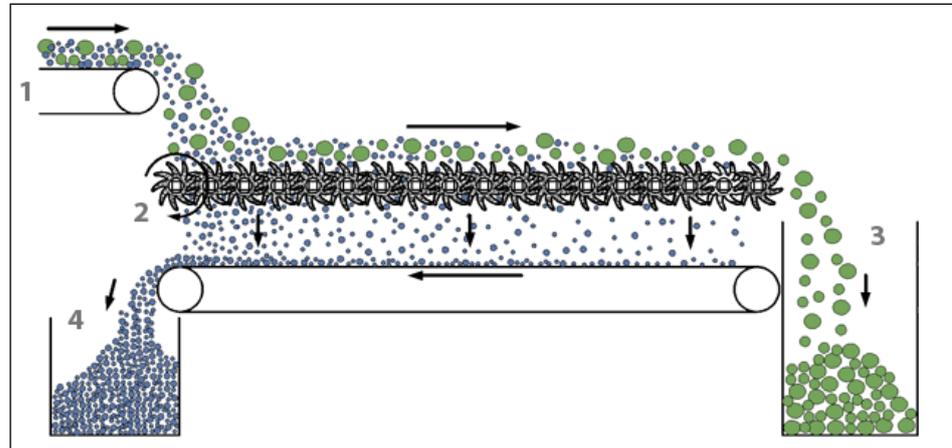


Abbildung 18: Funktionsweise eines Sternsieves.

(© Mack GmbH, Quelle: http://www.macktec.de/p_dems.htm)

Schwierigkeiten bereiten – wie auch bei den Trommelsieben – lange Folien und Bänder, die sich um die Wellen wickeln können. Zudem ist es wichtig, große Folien vorher zu entfernen, da sie das Absieben des feineren Materials behindern. (DUALES SYSTEM DEUTSCHLAND 2004)

⁶ http://www.macktec.de/p_dems.htm



Abbildung 19: Mobiles Sternsieb. (© Neuenhauser Maschinenbau GmbH,

Quelle: [http://www.neuenhauser-](http://www.neuenhauser-umwelttechnik.de/index.php?option=com_content&view=article&id=60&Itemid=71&lang=de)

[umwelttechnik.de/index.php?option=com_content&view=article&id=60&Itemid=71&lang=de](http://www.neuenhauser-umwelttechnik.de/index.php?option=com_content&view=article&id=60&Itemid=71&lang=de))

Laut Borema Umwelttechnik AG werden Scheibensiebe und Sternsiebe für die Sortierung von

- Altholz, Altpapier, Bauschutt, Erden, Ersatzbrennstoffe,
 - Gewerbeabfälle, Gewerbemüll, Grünabfall, Hausmüll,
 - Holz, Industrieabfälle, Karton, Kies,
 - Papier, PET, Wellpappe, Wertstoffe,
- eingesetzt.

Spannwellensieb

Ein Spannwellensieb besteht im Wesentlichen aus einer Siebmatte und zwei Rahmen. Letztere sind relativ zueinander beweglich. Am Innen- und Außenrahmen sind Querverstrebungen montiert, an denen die elastischen Siebmatten aus Kunststoff befestigt sind. Durch Exzenterantriebe verschieben sich während des Siebvorganges die Rahmen gegeneinander. Somit werden die Kunststoffmatten zwischen den Querträgern alternierend straff gezogen oder muldenartig durchgebogen. Dies ergibt eine Art Trampolineffekt, der eine gute Auflockerung des Siebgutes zur Folge hat. Durch die Neigung des Siebes wird das Material auf dem Siebbelag zum Austrag transportiert. (DUALES SYSTEM DEUTSCHLAND 2004)



Abbildung 20: Siebmatten eines Spanwellensiebs.

(© Neuenhauser Maschinenbau GmbH, Quelle: http://www.neuenhauser-umwelttechnik.de/index.php?option=com_content&view=article&id=196&Itemid=189&lang=de)

Durch dieses Verfahrensprinzip können Verstopfungen im Siebelag vermieden und höhere spezifische Durchsätze erreicht werden. Allerdings wirken sich Bestandteile, die sich leicht im Siebelag verhaken können, negativ aus. Im Bereich der Leichtverpackungen sind das vor allem Drähte, Kleiderbügel u. Ä.

Spannwellensiebe zeichnen sich durch ihre geringe Verstopfungsanfälligkeit aus. Dieser Vorteil wird allerdings mit einer geringeren Haltbarkeit der Siebböden erkauft. Durch das abwechselnde Spannen und Entspannen der Siebböden kommt es zu einer Art Selbstreinigungseffekt.⁷

Vibrationssieb (Schwingsieb)

Vibrationssiebe finden häufig Verwendung im Bauschuttrecycling. Die Schwingungen der Unwuchtmassenkonstruktion, die den Siebkasten bewegt, können auf das Prozessgut abgestimmt werden. Der Siebboden bei dieser Konstruktion ist in einem auf Federn gelagerten Siebkasten untergebracht.³

5.1.2.2 Sortierung

In der Sortierung werden die grob klassierten Fraktionen in weiteren Trennstufen aufbereitet.

⁷ <http://bauingenieurseite.de/abfallwirtschaft/bauschutt.pdf>

Dabei werden die physikalischen Eigenschaften des zu trennenden Abfallmaterials, wie z. B. die Dichte oder die Magnetisierbarkeit genutzt.

Magnetabscheider

Magnetabscheider werden zur Separierung von Eisenmetallen aus dem Abfallgemisch verwendet. Sie können als Permanent- oder Elektromagnet ausgelegt werden. Zum Einsatz kommen hauptsächlich Überbandmagnete. Trommel- oder Walzenmagnete werden zu diesem Zweck in der Regel nicht eingesetzt.

Eine günstige Anordnung des Überbandmagneten verläuft längs bzw. quer über einer unmagnetischen Endbandrolle. Wichtig ist, dass der Abfall in dünnen Schichten unter den Magneten geführt wird, um eine möglichst sortenreine Eisenfraktion zu erhalten.

Trotzdem ist es schwierig, bei der magnetischen Sortierung den Fremdstoffanteil klein zu halten. Wird eine thermisch verwertbare Altmüllfraktion aussortiert, kann es daher unter Umständen besser sein, eine Magnetabscheidung erst an der Müllverbrennungsanlage, nach der thermischen Behandlung, durchzuführen.

Sortier- und Sichtungsstation

An der Sortier- und Sichtungsstation werden Problemstoffe (z. B. Batterien) und Altstoffe (z. B. Holz) entnommen. Kunststoffe sollten nur entnommen werden, wenn sie nicht oder nur gering verschmutzt sind, damit sie einer Wiederverwertung zugeführt werden können. Da diese Forderung für die Kunststoffe im Abfall kaum einzuhalten ist, gelangen diese in der Regel mit der Leichtfraktion in die thermische Verwertung.

Die Aussortierung kann per Hand oder automatisch erfolgen.

- **Handsartierung am Klaubeband**
Bei der Handsortierung werden die Stoffe anhand des optischen Eindruckes vom Förderband entfernt. Obwohl die Sortierung zusätzliches Personal erfordert, wird darauf nicht verzichtet, da die Entnahme von Schadstoffen im frühen Stadium erhebliche Vorteile für die weitere Aufbereitung bringt.
- **Automatische Sortiersysteme**
Die automatische Klaubung basiert ebenfalls auf menschlichen optischen Eindrücken. An einem Computermonitor werden durch den Operator die Stoffe bestimmt, die aussortiert werden sollen und die dann, nach Berührung des auf dem Bildschirm gezeigten Objektes, über ein automatisches Speicher- und Greifsystem entfernt werden (Touch-Screen Computer-gesteuerter Greifer).

Eine automatische Sortierung ist nur sinnvoll, wenn sich die Wertstoffgewinnung wirtschaftlich lohnt.

Windsichter

Mit Hilfe von Windsichtern können Stoffe unterschiedlicher Korngröße, Stoffdichte und geometrischer Form entfernt werden (Gleichfälligkeit).

Damit eine gute Trennung erreicht wird, muss das Abfallmaterial trocken sein. Außerdem muss die Aufgabe auf den Einfülltrichter gleichmäßig erfolgen. Diese Anforderungen sind für den abgegrabenen Abfall nur sehr schwer zu verwirklichen.

chen, sodass der Einsatz von Windsichtern bei der Altmüllbehandlung nur in Sonderfällen erfolgt. Ein Einsatz bei bereits vorklassierten Fraktionen zur Abtrennung einer heizwertreichen Leichtfraktion wäre denkbar.

Ballistischer Separator (Paddelsichter)

Der ballistische Separator dient zur Auftrennung des Abfallgutes in eine Leicht-, Schwer- und Feinfraktion. Das Abfallmaterial wird auf eine bewegliche, geneigte und perforierte Ebene aufgebracht, die in verschiedene Rüttelelemente unterteilt ist und in Abhängigkeit vom spezifischen Gewicht und der Stückform fraktioniert. Die Korngröße der Feinfraktion wird durch die Bodenlochgröße bestimmt. Die Trenneigenschaften sind (in Grenzen) durch Änderung der Neigung der Bleche, den Hub des Kurbelantriebes und die Frequenz der Schwingung variierbar. Bei größerer Neigung beispielsweise wird weniger flächiges, flexibles Material nach unten transportiert.



Abbildung 21: Mehrfraktionen-Separator für die Hausmüllaufbereitung. (© AMB Anlagen Maschinen Bau GmbH, Quelle: <http://www.amb-group.de/virthos/virthos.php?MASCHINENBAU/Trenn-+und+Mischtechnik>)

Schrägsortiermaschine (Schrägband)

Mit der Schrägsortiermaschine werden vor allem Steine und Betonbrocken aus dem Abfallmaterial entfernt. Das Band ist dabei so geneigt, dass das rundliche Material hinunterrollt und das flächige Gut nach oben transportiert wird.

Steinfalle

Die Steinfalle dient der Trennung von rollenden Materialien (z. B. Steine) aus nicht rollenden Materialien (z. B. Kompost). Die Steinfalle kann entweder direkt an ein Förderband montiert oder als separate Anlage an ein Förderband ange stellt werden.⁸



Abbildung 22: Steinfalle. (© Pigozzo, Quelle: <http://www.pigozzo.it/smaltimento-rifiuti/vagli/vagli-rotanti/vaglio-a-tamburo-mobile/>)

5.1.2.3 Zerkleinerung

Die Art des Zerkleinerungsverfahrens hängt von den Materialeigenschaften (hart, spröde, weich usw.) und den Anforderungen an das zu zerkleinernde Produkt (z. B. Zerkleinerungsgrad) ab. Eine Zerkleinerung verbessert die Transport- und Sortiereigenschaften des Abfalls für die nachfolgenden Verfahren.

Als Zerkleinerungsaggregate sind hauptsächlich Langsamläufer wie Rotor- oder Sperrgutscheren und Walzenbrecher im Einsatz.

Für eine Hartzerkleinerung kommen Schnellläufer (Hammer- und Prallmühlen) in Frage, die jedoch in der Praxis bisher kaum eingesetzt werden.

Rotorscheren

Rotorscheren erzielen bei hoher Leistung einen guten Zerkleinerungsgrad und erzeugen kaum Lärm- und Staubemissionen.

⁸ www.beyer-viernheim.de

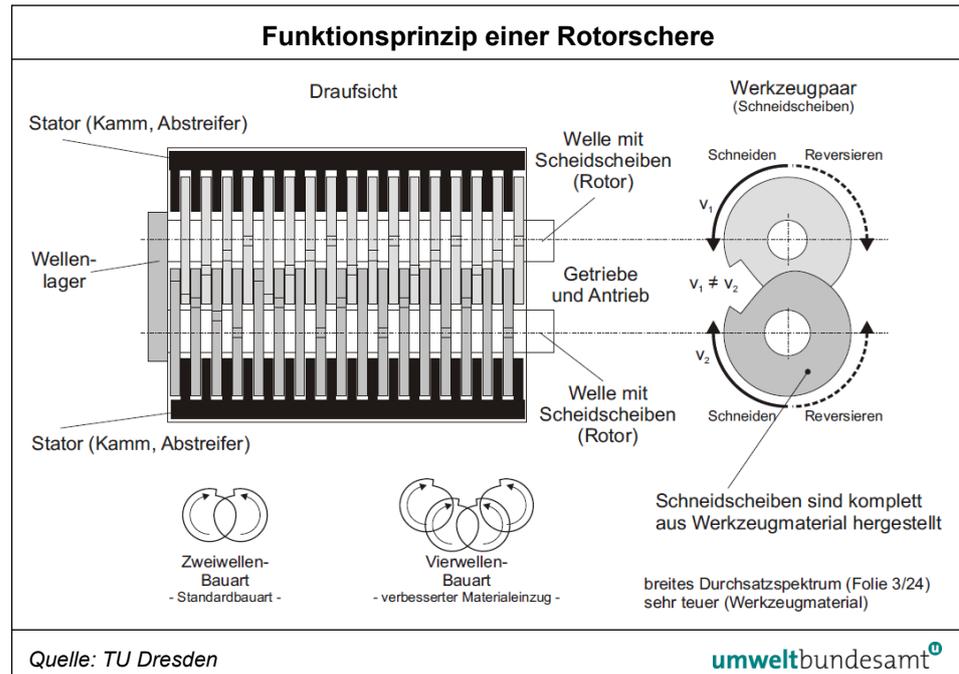


Abbildung 23: Funktionsprinzip einer Rotorschere.

Sperrgutscheren

Sperrgutscheren besitzen Längs- und Querscheren und erzielen so einen hohen Zerkleinerungsgrad.

Walzenbrecher

Zur Hartzerkleinerung ist ein Walzenbrecher weniger geeignet. Der Aufgabedurchmesser muss relativ genau definiert sein.

Backenbrecher

Das Mahlgut gelangt durch einen Trichter in den Mahlraum. Die Zerkleinerung erfolgt dann in dem keilförmigen Schacht zwischen der festen und der von einer Exzenterwelle bewegten Brechbacke. Durch den elliptischen Bewegungsablauf wird das Mahlgut zerdrückt und nach unten befördert. Sobald das Material feiner ist als der eingestellte Mindestabstand zwischen den Brechbacken, fällt es in einen Auffangbehälter. Als weitere Bauformen sind die am Markt vorherrschenden Einschwingen-Backenbrecher und Doppelkniehebel-Backenbrecher bekannt.

5.1.3 Biologische Abfallbehandlung

Dieser Behandlungsschritt trägt nicht dazu bei, vermehrt Wertstoffe aus der Deponie zurückzugewinnen, soll aber nicht unerwähnt bleiben, da diese Abfallbehandlung bei vielen Rückbau- und Räumungsprojekten eine begleitende Maßnahme darstellte.

In den meisten Fällen wird diese Behandlungsmethode auf die Feinfraktion angewandt, um diese deponierfähig zu machen, bzw. um erdenähnliche Produkte zu gewinnen. Andere Verfahren wiederum dienen der Geruchsstabilisierung oder Trocknung der abgegrabenen Abfälle.

Nachfolgend wird ein kurzer Überblick über die Methoden einer aeroben Behandlung gegeben. Anaerobe Behandlungsmethoden für Abfälle aus Deponierückbau oder -umlagerung wurden bisher nicht angewandt.

5.1.3.1 On-site Rotteverfahren

Die aerobe Behandlung (Rotte) des entnommenen Abfalls ist der mechanischen Aufbereitung nachgeschaltet.

Ein für die biologische Behandlung wichtiger Aufbereitungsschritt ist die Zerkleinerung des Abfalls. Sie bewirkt eine Volumenreduzierung und vergrößert die spezifische Oberfläche des Abfallmaterials, sodass die Umsetzungsprozesse in der nachgeschalteten biologischen Behandlung beschleunigt werden.

Ein weiterer wichtiger Schritt ist die Einstellung des optimalen Wassergehaltes. Da dieser in der Regel unterhalb des optimalen Wassergehaltes liegt, muss Wasser zugegeben werden. Dies geschieht in Mischtrommeln oder in Zerkleinerungsaggregaten.

Hinsichtlich der Rotteverfahren wird zwischen Vor-, Haupt- und Nachrotte unterschieden. Wegen der nur noch geringen Abbaubarkeit von Altmüll wird hier in der Regel nur eine Rottstufe angewandt.

Durchgeführte Rückbauprojekte haben gezeigt, dass sich die Mietenkompostierung bewährt hat. Das Verfahren verursacht geringe Investitionskosten und ist einfach in der Handhabung. Die Mietenkompostierung ist jedoch sehr zeitintensiv und benötigt eine große Fläche. Das Umsetzen der Mieten ist – im Gegensatz zur Behandlung von frischem Abfall – grundsätzlich nicht zu empfehlen, da dies zu einem Zusammenbruch der Mikroorganismenaktivität führen kann.

Geruch und Sickerwasser spielen bei der Behandlung von Altabfällen in der Regel eine untergeordnete Rolle. Das nach der Rotte entstandene erdähnliche Material kann auf der Deponie zur Zwischenabdeckung oder für die Errichtung von Randdämmen verwendet werden.

Eine biologische Behandlung ist nur dann sinnvoll, wenn der Anteil an nährstoffreichen, leicht abbaubaren organischen Substanzen entsprechend hoch ist. Bei Altablagerungen, in denen der Mineralisierungsprozess schon weit fortgeschritten und das Gasbildungspotenzial gering sind, ist eine biologische Nachbehandlung nicht zweckmäßig.

5.1.3.2 In-situ Belüftung

Neben den Methoden der biologischen on-site Rotte kann die aerobe biologische Behandlung auch im Deponiekörper selbst stattfinden (in-situ).

Die dabei eingesetzten Verfahren dienen hauptsächlich zur Geruchsstabilisierung und zur Austrocknung des Abfalls. Ausreichend vorbelüfteter Altabfall entwickelt beim Abgraben nur noch geringe Gerüche und vorgetrockneter Abfall lässt sich in der mechanischen Aufbereitung sehr viel besser handhaben als nasser.

Bei längerer Belüftung (Belüftungsdauer ca. 3 Monate) können die in-situ Verfahren auch als Rotteverfahren mit dem Ziel des Abbaus der Organik angewandt werden. Dabei haben diese den Vorteil, dass der aerobe Abbau im Deponiekörper selbst stattfindet und so keine zusätzliche Fläche für die Rotte benötigt wird.

Der große Nachteil ist jedoch, dass im Gegensatz zu den on-site Verfahren, nur eine recht geringe Wirkung hinsichtlich des Stoffabbaus erzielt wird. Darüber hinaus sind die in-situ Verfahren nur schlecht kontrollierbar und steuerbar (z. B. Wassergehalt). Die Wirkungskontrolle kann lediglich über Messungen im Abluftstrom geschehen.

Für eine reine Geruchsstabilisierung ist, abhängig vom Deponiegut, eine Behandlungsdauer von vier bis acht Tagen ausreichend. Für die Trocknung haben sich in der Praxis Zeiträume von zwei bis vier Wochen als notwendig erwiesen.

5.1.3.2.1 Rotte-Filter-Verfahren (Smell-Well®)

Beim Rotte-Filter-Verfahren werden in Rastern von 5–6 Metern Belüftungs- und Absauglanzen in den Deponiekörper eingebracht. Durch die Belüftungslanzen wird ein über einer Rottebox erwärmtes, wasserdampfgesättigtes und mit Bakterien angereichertes Luft-Sauerstoffgemisch in den Deponiekörper hineingedrückt. Durch die Absauglanzen werden die im Deponiekörper enthaltenen Gase herausgesaugt und über eine als biologischen Filter dienende zweite Rottebox abgeleitet.

Im Stundentakt wird die Strömungsrichtung gewechselt, um Kanalbildungen im Deponiekörper zu vermeiden. Die Funktionen der Rotteboxen wechseln entsprechend.

Durch die eingeblasene Luft kommt es weitgehend zur Umstellung von anaeroben auf aerobe Verhältnisse. Es findet eine Geruchsstabilisierung und eine Austrocknung der Abfälle statt.

Ist der Wassergehalt in der Ablagerung zu hoch, kann es zu Schwierigkeiten mit der Absaugung kommen. Feuchtigkeit kann in den Rohrleitungen kondensieren, was zu Problemen innerhalb der Kompressoren und zum Verschließen der Luftleitungen führen kann. Durch gezielte Entwässerung der Leitungen und einen häufigen Wechsel der Fließrichtungen kann dieses Problem jedoch minimiert werden.

Das Smell-Well®-Verfahren kam erstmals auf der Deponie Burghof in Ludwigsburg (Deutschland) zwischen 1993 und 1994 zum Einsatz. Danach wurde es bei mehreren großen Rückbauprojekten in Österreich, Italien, Korea, Japan und den Vereinigten Arabischen Emiraten angewendet.

5.1.3.2.2 BioPuster®-Verfahren

Beim BioPuster®-Verfahren wird mit hohen Drücken (2–10 bar) über intermittierend arbeitende Druckluftlanzen mit Pustern (Windkesseln) sauerstoffangereicherte Luft in Druckimpulswellen in den Deponiekörper eingeblasen. Durch die Ausbildung von Druckwellen dringt auch in dicht gelagerte Abfallzonen sauerstoffreiche Luft ein und aktiviert aerobe Bakterien, sodass eine schnelle Umstellung weiter Bereiche auf Rotteverhältnisse stattfindet.

Die Gase im Deponiekörper werden über Sauglanzen abgezogen und einer Bio-Filter-Anlage zugeführt.

Das BioPuster®-Verfahren wird in Österreich seit 1991 eingesetzt, u. a. bei der Räumung der Deponie Wien-Donaupark, der Berger Deponie und der Fischer Deponie.

5.1.4 Thermische Abfallbehandlung

Werden in der mechanischen Aufarbeitung heizwertreiche Fraktionen wie Holz, Kunststoffe oder Papier (Leichtfraktion) separiert, können diese thermisch verwertet werden.

Die Möglichkeiten der Mitbehandlung in einer thermischen Behandlungsanlage und die nötigen Vorbehandlungsmaßnahmen werden durch die Art der Abfälle vorgegeben.

Insbesondere sind die verbrennungstechnischen Eigenschaften (Heizwert, Wassergehalt, Dichte) und die Schadstoffgehalte, welche durch die Herkunft der Abfälle und die Art der Altablagerungen bestimmt werden, von entscheidender Bedeutung.

5.2 Praxisbeispiele

Annex 3 enthält eine Kurzbeschreibung von 13 Praxisbeispielen, vor allem aus Deutschland, aber auch aus den USA, aus dem Arabischen Raum und aus Österreich.

5.3 Effizienz der Wertstoffrückgewinnung

Es existieren nur wenige Daten zur Effektivität und Effizienz der Wertstoffrückgewinnung beim Deponierückbau. Als einzige Quelle steht ein technischer Bericht der World Resource Foundation aus dem Jahr 1998 zur Verfügung (RENOSAM 2009). Darin werden folgende Angaben gemacht:

Die prozentuale Verwertung eines Wertstoffes aus einer Deponie ist abhängig von

- den physikalischen und chemischen Eigenschaften des Rohstoffs,
- der Effektivität der angewendeten Technologie und
- der Effizienz, mit der die Technologie angewendet wird.

Aus den zur Verfügung stehenden Informationen und der Effektivität der mechanischen Aufbereitungsprozesse kann mit folgenden Verwertungsquoten gerechnet werden:

- Bödenzwischen 85 % und 95 %
- Eisenmetallezwischen 70 % und 90 %
- Kunststoffezwischen 50 % und 75 %

Dabei können folgende Reinheitsgrade erwartet werden:

- 90–95 % für Böden
- 80–95 % für Eisenmetalle
- 70–90 % für Kunststoffe

5.4 Energieeinsatz

RETTENBERGER (2010a) gibt folgenden Energiebedarf beim Rückbau einer Deponie mit 150.000 Jahrestonnen an:

- Strom: 0,7 GWh (für die Aufbereitungsanlage)
- Diesel: 4 GWh (für das Abgraben und den Transport)

Zusammengefasst ergeben diese Werte einen summarischen Energiebedarf für das Abgraben, den Transport und die Aufbereitungsanlage von 31,3 kWh pro Tonne abgegrabenem Abfall.

6 KLIMARELEVANZ DER WERTSTOFFRÜCKGEWINNUNG

Die Herstellung von Produkten ist vielfach mit Energieaufwand und Emissionen klimarelevanter Gase verbunden. Durch den Rückbau von Deponien werden Wertstoffe gewonnen, welche beim Recycling Einsparungen an Kumuliertem Energieaufwand (KEA) und Treibhausgas-Emissionen (THG) erzielen – verglichen mit der Erzeugung vergleichbarer Produkte ausschließlich aus Primärrohstoffen.

Analog zu UMWELTBUNDESAMT (2010) werden anhand von spezifischen Einsparungen an KEA und THG-Emissionen durch den Einsatz von Sekundärrohstoffen aus dem Deponierückbau anstelle von Primärrohstoffen und den Mengen an rückgewinnbaren Wertstoffen (Aluminium, Kupfer, Eisen, Leichtfraktion, Altholz) die Potenziale zur Reduktion von KEA und THG-Emissionen abgeschätzt.

Die absoluten Einsparungen werden für die drei näher betrachteten Deponien abgeschätzt. Da auf allen drei Deponien fast ausschließlich Siedlungsabfälle deponiert wurden, sind die Vorgangsweise und die spezifischen Einsparungen bei allen drei Deponien weitestgehend ähnlich. Deshalb werden Details nur für eine Deponie dargestellt. Für Deponien mit anderen abgelagerten Abfallarten, insbesondere metallhaltigen Abfällen, konnten keine Betrachtungen der Klimarelevanz durchgeführt werden. Ausschlaggebend hierfür war das Fehlen von Daten über die genaue Zusammensetzung der abgelagerten Fraktionen, über mögliche Aufbereitungswege sowie über die Primärproduktion der entsprechenden Metalle (V, Ti, Mo, W, Ta, Nb, Cr, Co, seltene Erden etc.).

6.1 Methodik

Für die Metalle Aluminium, Kupfer und Eisen wurden jeweils der kumulierte Energieaufwand und THG-Emissionen durch den Einsatz von Sekundärrohstoffen aus dem Deponierückbau berechnet und diese mit den entsprechenden Werten für die Produktion aus Primärrohstoffen gegenübergestellt. Für die Leichtfraktion und für Altholz wurde eine Verbrennung in einem Zementwerk angenommen, wobei KEA und THG-Emissionen jeweils mit jenen von Steinkohle verglichen wurde.

Für die Ermittlung der KEA und THG-Emissionen bei der Produktion der marktfähigen Zwischenprodukte in der Primär- und Sekundärproduktion wurde das Emissionsmodell GEMIS (Globales Emissionsmodell Integrierter Systeme) bzw. die teilweise an österreichische Bedingungen angepasste Version GEMIS Österreich Vers. 4.5 verwendet.

Der KEA ist die Gesamtheit aller primärenergetisch bewerteten, direkten und indirekten Energieaufwendungen bis zum marktfähigen Zwischenprodukt (UMWELTBUNDESAMT 2010).

Die klimarelevanten Emissionen werden in GEMIS zu CO₂-Äquivalenten aggregiert. Dabei werden die Treibhausgase Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄), Distickstoffoxid (N₂O), wasserstoffhaltige Fluorkohlenwasserstoffe (HFC), Perfluorierte Fluorkohlenwasserstoffe (PFC) und Schwefelhexafluorid (SF₆) erfasst (UMWELTBUNDESAMT 2010).

Die folgenden Emissionsfaktoren wurden für die Berechnungen verwendet.

Tabelle 10: Spezifische Emissionsfaktoren und KEA (Quelle: UMWELTBUNDESAMT 2010).

	CO ₂ -Äquivalent-Emissionen (in kg/kWh bzw. kg/tkm)	KEA (in kWh/kWh bzw. kWh/tkm)
Diesel 2009 (6,45 % Biokraftstoffanteil)	0,286	1,089
Strompark in Österreich 2010	0,251	1,44
Lkw (Beladung 27 t, EURO 4, 50 % Beladung)	0,092	0,345
Lkw (Beladung 27 t, EURO 4, 100 % Beladung)	0,046	0,172
Bahn (Elektro-Lok, Beladung 300 t, ÖBB-Strom)	0,005	0,077

Bei der Berechnung des abfallwirtschaftlichen Rucksacks wurden die eingesetzte Energie sowie die erzeugten Emissionen an Treibhausgasen den betrachteten Materialien anhand ihrer Massen nach der Deponat-Aufbereitung zugeordnet.

Die darauffolgenden Aufbereitungsschritte bzw. Transporte wurden jeweils dem entsprechenden Wertstoff direkt zugeordnet.

6.2 Abfallwirtschaftlicher Rucksack

Der abfallwirtschaftliche Rucksack für die betrachteten Abfallströme setzt sich aus dem Aufwand für die Gewinnung (Deponierückbau)/Behandlung/Aufbereitung der gesammelten Materialien und dem Aufwand für den Transport der erfassten Materialien zu den Aufbereitungsanlagen und von diesen zu den Verwertern (Sekundärproduktion) zusammen. In vielen der in der folgenden Abbildung genannten Schritte muss von Annahmen und Mittelwerten ausgegangen werden, da kaum bzw. nur vereinzelt in Ausnahmefällen Daten vorliegen. In vielen Fällen müssen annäherungsweise Daten aus ähnlichen Verfahren herangezogen werden.

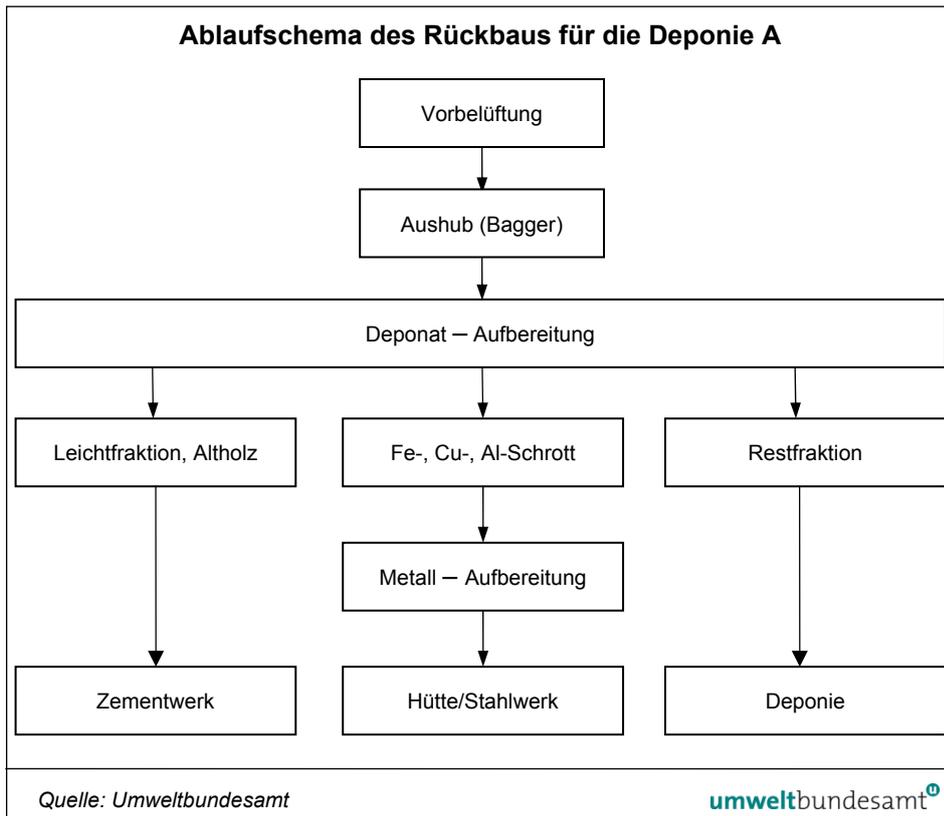


Abbildung 24.: Ablaufschema eines potentiellen Rückbaus für die Deponie A.

6.2.1 Angaben zu den Deponien

Auf allen drei Deponien wurden fast ausschließlich Siedlungsabfälle deponiert. Die folgende Tabelle zeigt die jeweils verfüllten Deponievolumina.

Tabelle 11: Deponievolumina der ausgewählten Deponien.

Deponievolumen Deponie A	176.000 m ³
Deponievolumen Deponie B	230.000 m ³
Deponievolumen Deponie C	468.000 m ³

6.2.2 Vorbelüftung

Zur Vermeidung bzw. Verminderung von Deponiegas- und Geruchsstoffemissionen wird eine vorangehende aktive Belüftung (Aerobisierung) durchgeführt. Über Lanzen wird Druckluft mit Druckstößen in den Ablagerungskörper eingebracht und gleichzeitig wird über Sauglanzen Deponiegas entnommen und über Biofilter gereinigt. Durch Biofilter wird vor allem eine Desodorierung erreicht (FLÖGL 2002, UMWELTBUNDESAMT 2008). Eine Methanoxidation findet zwar primär durch das Einblasen der Druckluft in den Deponiekörper, nicht aber im Biofilter statt. Die Dauer der Vorbelüftung wurde analog zu RETTENBERGER (2010 d) mit zwei Wochen veranschlagt. Es wurde angenommen, dass durch die Vorbelüftung innerhalb von 30 Stunden der Methangehalt auf annähernd Null abgesunken ist.

Tabelle 12: Vorbelüftung der Deponie A.

Anfangskonzentration Methan	20 Vol.-%
Luftvolumenstrom	790 m³/h
Belüftungsdauer	14 Tage
Dauer bis Methankonz. \approx 0 Vol.-%	30 Stunden
Stromverbrauch der Belüftungsanlage	37.000 kWh
Stromverbrauch des Biofilters	264 kWh
Dieserverbrauch	3.136 kWh

6.2.3 Deponiegas-Emissionen

Die treibhausgasrelevanten Bestandteile des Deponiegases sind Methan und Kohlendioxid. Andere Treibhausgase (wie Lachgas, Schwefelhexafluorid, teil- und vollfluorierte Kohlenwasserstoffe) sind für Deponien nicht relevant (FLÖGL 2002, UMWELTBUNDESAMT 2008).

Der Abbau fossiler organischer Substanz (z. B. von Kunststoffen auf Erdölbasis) wird bei der Deponiegasbildung nicht berücksichtigt, da dieser nicht oder nur in sehr langen Zeiträumen erfolgt (UMWELTBUNDESAMT 2008). Daher kann das Kohlendioxid im Deponiegas als treibhausgasneutral angesehen werden. Da auch Methan durch den (anaeroben) Abbau von organischen Verbindungen entsteht, kann auch das aus der Umwandlung von Methan entstehende Kohlendioxid als treibhausgasneutral betrachtet werden. Emittiertes Methan, das nicht zu Kohlendioxid umgewandelt wurde, ist hingegen treibhausgasrelevant.

Durch die Vorbelüftung der Deponie wird zum Großteil treibhausgasneutrales Kohlendioxid emittiert. Kleinere Mengen an treibhausgasrelevantem Methan werden allerdings ebenfalls frei (siehe Tabelle 13).

Umgekehrt aber bewirkt der Rückbau der Deponie beträchtliche Einsparungen an THG-Emissionen durch die Vermeidung von zukünftigen Deponiegas-Emissionen. Die Berechnung dieser eingesparten THG-Emissionen erfolgt anhand der IPCC-Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Wie in Tabelle 13 dargestellt, würde die Deponie A (ohne Deponie-Rückbau) in den nächsten Jahren ca. 49.103 t CO₂-Äquivalente emittieren.

Wie in Kapitel 6.2.5 angeführt, wird die nach der Abtrennung der Wertstoffe verbleibende Restfraktion erneut deponiert, wodurch wiederum THG-Emissionen frei werden würden. Das Ausmaß dieser Emissionen kann aufgrund des Fehlens von belastbaren Daten nicht berechnet werden. Der Beitrag an THG-Emissionen dieser Restfraktion kann aber aufgrund der bereits langen Ablagerungsdauer sowie der zuvor erfolgten Vorbelüftung als gering angenommen werden.

Die angeführten Einsparungen an THG-Emissionen werden einerseits durch Methan-Emissionen bei der Vorbelüftung und andererseits durch erneute Deponiegas-Emissionen der Restfraktion vermindert, wobei letztere aus den angeführten Gründen nicht berechnet werden können. In Summe kann daher nur eine maximale Einsparung an THG-Emissionen abgeschätzt werden (siehe Tabelle 13).

Tabelle 13: THG-Emissionen der Deponie A (in t CO₂-Äquivalent) (Quelle: Umweltbundesamt).

Vermiedene zukünftige Deponiegas-Emissionen	49.103
Methan-Emissionen durch Vorbelüftung	42
Deponiegas-Emissionen durch Restfraktion	keine belastbaren Daten
Einsparung an THG-Emissionen durch Deponierückbau	max. 49.060

6.2.4 Abgraben des Deponats

Das Deponat wird mit Hilfe von Baggern (Dieselverbrauch: 0,27 l/m³ bzw. 20 l/h) abgegraben. Für die Deponie A wurde hierfür ein Energieeinsatz von 465.855 kWh errechnet.

6.2.5 Aufbereitung des Deponats

Laut RETTENBERGER (2010 d) kann für die weitere Aufbereitung des Deponats die übliche MBA-Technik eingesetzt werden, wobei die Technikauswahl u. a. entsprechend der Kosten/Nutzen-Analyse erfolgen sollte. Im Wesentlichen erfolgen bei der Aufbereitung des Deponats Klassierungs- und Fraktionierungsschritte. In Summe wurde für diesen Aufbereitungsschritt ein Energieaufwand von 16,1 kWh Strom/t Durchsatz und 3,41 kWh Diesel/t Durchsatz angenommen.

Tabelle 14: Energieeinsatz für die Deponat-Aufbereitung der Deponie A (Quelle: Umweltbundesamt).

Stromverbrauch	3.682.100 kWh
Dieserverbrauch	781.000 kWh

Die Mengen an erhaltenen Wert- und Reststoffen wurden analog zu RETTENBERGER (2010 d) bzw. HÖLZLE (2010 b) angesetzt:

Tabelle 15: Stoffmengen nach der Deponat-Aufbereitung der Deponie A (Quelle: Umweltbundesamt).

Eisenschrott	7.782 t
Kupferschrott	261 t
Aluminiumschrott	151 t
Leichtfraktion	34.789 t
Altholz	8.011 t
Restfraktion	177.884 t

Die angeführten Altmetalle (Metallschrotte) können in der nach der Aufbereitung vorliegenden Form nicht direkt einer Verwertung in einer entsprechenden Hütte/Stahlwerk zugeführt werden. Es sind vorher noch Altmetallaufbereitungsschritte erforderlich.

6.2.6 Aufbereitung von Almetallen

Folgende Werte wurden analog zu UMWELTBUNDESAMT (2010) für die Aufbereitung der Metalle angesetzt:

Tabelle 16: Energieeinsatz für die Metallaufbereitung sowie Ausbeute (Quelle: Umweltbundesamt).

	Strom (kWh/t Durchsatz)	Diesel (kWh/t Durchsatz)	Output (t/t Durchsatz)
Aluminium	33	26	0,70
Kupfer	33	26	0,70
Eisen	90	10	0,68

6.2.7 Sekundärproduktionsanlage (Hütte/Stahlwerk)

Für die Sekundärproduktionsanlagen wurden folgende Werte analog zu UMWELTBUNDESAMT (2010) angesetzt.

Tabelle 17: KEA und THG-Emissionen für die Sekundärproduktionsanlagen sowie der Schrott-Input (pro t marktfähiges Zwischenprodukt) (Quelle: Umweltbundesamt).

	KEA (GJ/t)	THG (kg/t)	Schrott-Input (t/t)
Aluminium	23,5	1.894	1,32
Kupfer	14,1	594	1,43
Eisen	21,7	1.876	0,3

Der Einsatz von Primäraluminium in der Sekundärproduktion wurde mit 15 % angenommen. In der Kupferhütte wurde ein Schrotteinsatz von 100 % angesetzt. Bei der Eisenproduktion wurde von einem Maximalanteil der Schrottzugabe von 30 % ausgegangen (UMWELTBUNDESAMT 2010).

6.2.8 Wiederablagerung der Restfraktion

Für die bei der Deponat-Aufbereitung angefallene Restfraktion wird angenommen, dass sie wieder auf einer Deponie abgelagert wird. Die für den Bagger benötigte Energie (Diesel) entspricht jener aus Kapitel 6.2.4.

6.2.9 Transportabschätzungen

Berücksichtigt wurden die Transporte des Deponats zur Deponat-Aufbereitungsanlage, zu den Anlagen der nachgeschalteten Metallaufbereitung sowie der Transport der konzentrierten Metallfraktionen von den Aufbereitungsanlagen zu den Hütten/Stahlwerken.

Der Transport von Altholz und Leichtfraktion zu den Zementwerken sowie die Transportwege der Restfraktion zur Deponie wurden ebenfalls einberechnet.

Für den Transport des Deponats zur Aufbereitungsanlage wurde vorausgesetzt, dass die Rückfahrten als Leerfahrten erfolgen (ergibt in Summe eine 50%ige Beladung).

Für die Abschätzung der Transporte der Schrotte aus der Deponat-Aufbereitungsanlage wurde angenommen, dass die Eisen-Schrotte im nächstgelegenen Großshredder und die Kupfer- und Aluminiumschrotte in der Metallaufbereitungsanlage aufbereitet werden. Für diese Transporte wurde vorausgesetzt, dass die Rückfahrten nicht als Leerfahrten erfolgen (dies ergibt in Summe eine 100%ige Beladung).

Es wird angenommen, dass alle Aluminium-Fractionen in der Hütte in Ranshofen, alle Kupfer-Fractionen in der Hütte Brixlegg und alle Eisen/Stahl-Fractionen im Hochofen in Linz eingesetzt werden (UMWELTBUNDESAMT 2010).

Für Kupfer- und Aluminium-Fractionen wurde angenommen, dass der Transport per Lkw erfolgt, die Beladung 27 t je Lkw beträgt und dass Rückfahrten nicht als Leerfahrten durchgeführt werden. Für Eisen-Fractionen wurde zur Gänze Bahntransport zugrundegelegt.

Tabelle 18: Transportdistanzen für die Deponie A (Quelle: Umweltbundesamt).

Fraktion und Transport	Distanz
Deponat von der Deponie zur Deponat-Aufbereitung	54 km (Lkw)
Al-Fractionen von der Deponat-Aufbereitung zur Metallaufbereitung	155 km (Lkw)
Cu-Fractionen von der Deponat-Aufbereitung zur Metallaufbereitung	155 km (Lkw)
Fe/Stahl-Fractionen von der Deponat-Aufbereitung zur Metallaufbereitung	54 km (Lkw)
Leichtfraktion von der Deponat-Aufbereitung zum Zementwerk	48 km (Lkw)
Altholz-Fractionen von der Deponat-Aufbereitung zum Zementwerk	48 km (Lkw)
Restfraktion von der Deponat-Aufbereitung zur Deponie	54 km (Lkw)
Al-Fractionen von der Metallaufbereitungsanlage zur Hütte	165 km (Lkw)
Cu-Fractionen von der Metallaufbereitungsanlage zur Hütte	315 km (Lkw)
Fe/Stahl-Fractionen von der Großshredder-Anlage zum Stahlwerk	192 km (Bahn)

6.3 Aluminium

Primäraluminium wird aus Tonerde mittels Schmelzflusselektrolyse gewonnen. Die Herstellung von Primäraluminium wurde in Österreich im Jahr 1992 eingestellt (UMWELTBUNDESAMT 2010).

Sekundäraluminium wird zum großen Teil (80–90 %) aus Schrotten hergestellt, in Österreich in Ranshofen (AMAG), Lend (SAG Lend) und Kleinreichenbach (Hütte Kleinreichenbach). Die metallurgischen Raffinationsmöglichkeiten für Aluminiumlegierungen sind beschränkt. Deshalb sind meist eine Aufbereitung der eingesetzten Schrotte sowie die Verdünnung von nicht durch Raffination entfernbaren Beimengungen notwendig (UMWELTBUNDESAMT 2000).

Beim Vergleich von Primär- und Sekundärproduktion ist zu beachten, dass für das marktfähige Zwischenprodukt beim Sekundäraluminium ein Anteil von 15 % Primäraluminium angenommen wurde. Dies hat zur Folge, dass die spezifische Einsparung bei der Sekundärproduktion – verglichen mit der Primärproduktion – geringer ausfällt (UMWELTBUNDESAMT 2010).

Die Daten für die Herstellung von Primäraluminium stammen aus UMWELTBUNDESAMT (2010). Die Berechnung von KEA und THG-Emissionen bei der Sekundärproduktion erfolgte für den Drehtrommelofen durch GEMIS mit dem österreichischen Strommix.

Tabelle 19: Vergleich des Energieeinsatzes KEA und der THG-Emissionen bei der Primär- und Sekundärproduktion pro Tonne Aluminium (Deponie A) (Quelle: Umweltbundesamt).

	KEA (in GJ/t)	THG (in kg/t)
Primärproduktion	121,5	10.070
Sekundärproduktion (inkl. 15 % Primäraluminium)	35,0	max. 905
<i>Differenz Primärproduktion – Sekundärproduktion (inkl. 15 % Primäraluminium)</i>	<i>86,5</i>	<i>max. 9.165</i>

Der Vergleich für die Deponie A zeigt, dass bei der Sekundärproduktion von Aluminium 86,5 GJ/t des KEA (71 %) und max. 9.165 kg/t der THG-Emissionen (max. 91 %), bezogen auf die Primärherstellung mit österreichischem Strommix, vermieden werden können.

Diese CO₂-Ersparnis ist für die österreichische THG-Bilanz nicht relevant, da nur Sekundäraluminium in Österreich produziert wird und das eingesetzte Primäraluminium aus dem Ausland stammt (UMWELTBUNDESAMT 2010).

6.4 Kupfer

Kupfer wird einerseits aus kupferhaltigen Erzen (Primärerzeugung) und andererseits aus Schrotten sowie kupferhaltigen Abfällen/Reststoffen (Sekundärerzeugung) hergestellt. Österreich verfügt über keine Primärkupferproduktion, Sekundärkupfer wird in Brixlegg (Montanwerke Brixlegg AG) hergestellt.

Die Sekundärkupferherstellung wird auf pyrometallurgischem Weg bilanziert. Es wird dazu das Schachtofen-Konverter-Verfahren angewendet (.).

Die Berechnung der österreichischen Anlage erfolgte mit dem österreichischen Strommix. Input-Materialien wie Sauerstoff, SiO₂ und Schwefelsäure sind bei der österreichischen Anlage aufgrund von fehlenden Daten nicht angeführt und auch nicht berechnet worden.

Die Daten für die Herstellung von Primärkupfer (pyrometallurgische Route) wurden – wie auch alle anderen Angaben – der Studie UMWELTBUNDESAMT (2010) entnommen.

Ein Vergleich von Primär- und Sekundärproduktion ergibt die in Tabelle 20 angegebenen Einsparungen.

Tabelle 20: Vergleich des Energieeinsatzes KEA und der THG-Emissionen bei der Primär- und Sekundärproduktion pro Tonne Kupfer (Deponie A)
(Quelle: Umweltbundesamt).

	KEA (in GJ/t)	THG (in kg/t)
Primärproduktion	64,8	5.569
Sekundärproduktion	16,8	max. – 1.197
<i>Differenz Primärproduktion – Sekundärproduktion</i>	48,0	<i>max. 6.766</i>

Bei der Sekundärproduktion von Kupfer werden 48,0 GJ/t Energieverbrauch (74 %) und maximal 6.766 kg/t der THG-Emissionen (max. 122 %) im Vergleich zur Primärherstellung vermieden. Die THG-Emissionen der Sekundärproduktion weisen einen negativen Beitrag aus, da durch die Vermeidung zukünftiger Deponiegas-Emissionen mehr THG-Emissionen eingespart werden, als durch die Sekundärproduktion anfallen.

Die Energie- und CO₂-Ersparnis ist für die österreichische CO₂- und Energiebilanz nicht relevant, da es in Österreich keine Primärproduktion mehr gibt, die durch Sekundärproduktion substituiert werden könnte (UMWELTBUNDESAMT 2010).

6.5 Eisen/Stahl

Eisen und Stahl werden grundsätzlich über zwei Verfahrensrouten erzeugt: in Elektrostahlwerken und integrierten Stahlwerken (Hochofenroute). Elektrostahlwerke befinden sich in Kapfenberg (Böhler Edelstahl), Mitterdorf (Breitenfeld Edelstahl) und in Graz (Marienhütte). Die in Österreich relevanten integrierten Stahlwerke sind die Anlagen der Fa. Voestalpine Stahl in Linz und in Donawitz.

Bei der Primärproduktion (Hochofenroute) wird das Referenzszenario mit 5 % Eigenschrott angesetzt. Dazu wurden Daten aus UMWELTBUNDESAMT (2010) verwendet.

Bei der Sekundärproduktion wird von einem Maximalanteil der Schrottzugabe von 30 % ausgegangen. Vorketten der Gewinnung der Primärrohstoffe und deren Transport werden durch GEMIS berechnet.

Ein Vergleich von Primär- und Sekundärproduktion ergibt die in Tabelle 21 angegebenen Einsparungen.

Tabelle 21: Vergleich des Energieeinsatzes KEA und der THG-Emissionen bei der Primär- und Sekundärproduktion pro Tonne Rohstahl (Deponie A)
(Quelle: Umweltbundesamt).

	KEA (in GJ/t)	THG (in kg/t)
Primärproduktion	27,4	2.370
Sekundärproduktion	22,3	max. 1.484
<i>Differenz Primärproduktion – Sekundärproduktion</i>	5,1	<i>max. 884</i>

Bei der Sekundärproduktion können 5,1 GJ/t Energieverbrauch (19 %) und max. 884 kg/t der THG-Emissionen (37 %) im Vergleich zur Primärherstellung vermieden werden.

6.6 Altholz

Für Altholz wird eine Verwertung als Ersatzbrennstoff in einem Zementwerk angenommen. Die Verbrennung von Altholz als nachwachsender Rohstoff wirkt treibhausgasneutral. In die Bilanzierung gehen somit lediglich der Rucksack aus der Abfallwirtschaft sowie der Transport zum Zementwerk ein.

Als Vergleichsprodukt (Primärproduktion) wurde Steinkohle herangezogen.

Ein Vergleich von Altholz aus dem Deponierückbau und Steinkohle ergibt die in Tabelle 22 angegebenen Einsparungen.

Tabelle 22: Vergleich des Energieeinsatzes KEA und der THG-Emissionen beim Primär- und Sekundärprodukt (Deponie A) (Quelle: Umweltbundesamt).

	KEA (kWh/kWh)	THG (g/kWh)
Primärproduktion Steinkohle	1,13	420
Sekundärproduktion Altholz	0,06	max. – 211
<i>Differenz Primärproduktion – Sekundärproduktion</i>	<i>1,07</i>	<i>max. 631</i>

Beim Sekundärprodukt Altholz können 1,07 kWh/kWh an Energieverbrauch (95 %) und max. 631 g/kWh der THG-Emissionen (150 %) im Vergleich zum Primärprodukt vermieden werden. Die THG-Emissionen der Sekundärproduktion weisen einen negativen Beitrag aus, da durch die Vermeidung zukünftiger Deponiegas-Emissionen mehr THG-Emissionen eingespart werden, als durch die Sekundärproduktion anfallen.

6.7 Leichtfraktion

Für die Leichtfraktion wird ebenfalls eine Verwertung als Ersatzbrennstoff in einem Zementwerk angenommen. Die Verbrennung der Leichtfraktion wirkt sich im Gegensatz zu Altholz aus dem Deponierückbau nicht treibhausgasneutral aus. In die Bilanzierung gehen somit der Rucksack aus der Abfallwirtschaft, der Transport zum Zementwerk und die dortige Verbrennung ein. Für die Verbrennung der Leichtfraktion wurden zusätzlich THG-Emissionen von 302 g/kWh angesetzt.

Als vergleichbares Primärprodukt wurde Steinkohle herangezogen.

Ein Vergleich der Leichtfraktion aus dem Deponierückbau mit Steinkohle ergibt die in der folgenden Tabelle angegebenen Einsparungen.

Tabelle 23: Vergleich des Energieeinsatzes KEA und der THG-Emissionen beim Primär- und Sekundärprodukt (Deponie A) (Quelle: Umweltbundesamt).

	KEA (kWh/kWh)	THG (g/kWh)
Primärproduktion Steinkohle	1,13	420
Sekundärproduktion Leichtfraktion	0,04	max. 139
<i>Differenz Primärproduktion – Sekundärproduktion</i>	<i>1,09</i>	<i>max. 281</i>

Beim Sekundärprodukt Leichtfraktion können 1,09 kWh/kWh an Energieverbrauch (96 %) und max. 281 g/kWh der THG-Emissionen (67 %) im Vergleich zum Primärprodukt vermieden werden.

6.8 Summe an Einsparungen

In der Folge werden für die einzelnen näher betrachteten Deponien die Summe an maximalen Einsparungen an KEA und THG-Emissionen dargestellt. Wie bereits in der Einleitung zu Kapitel 6 angeführt, sind die Vorgangsweise und die spezifischen Einsparungen bei allen drei Deponien weitestgehend ähnlich. Die Einsparungspotenziale bei den drei Deponien unterscheiden sich daher hauptsächlich aufgrund unterschiedlicher Deponievolumina.

6.8.1 Deponie A

In Summe könnten durch den Rückbau der Deponie A 992.682 GJ an Energieverbrauch und max. 93.355 t THG-Emissionen eingespart werden.

Tabelle 24: Gesamtbetrachtung der maximalen Einsparungen beim Energieeinsatz KEA und bei den THG-Emissionen für die Deponie A (Quelle: Umweltbundesamt).

	KEA (GJ)	THG (t)
Aluminium	6.931	734
Kupfer	6.159	867
Eisen	89.866	15.595
Altholz	133.269	21.745
Leichtfraktion	756.457	54.413
Summe	992.682	93.355

6.8.2 Deponie B

Durch den Rückbau der Deponie B könnten 1.302.464 GJ an Energieverbrauch und max. 141.303 t THG-Emissionen eingespart werden.

Tabelle 25: Gesamtbetrachtung der maximalen Einsparungen beim Energieeinsatz KEA und bei den THG-Emissionen für die Deponie B (Quelle: Umweltbundesamt).

	KEA (GJ)	THG (t)
Aluminium	9.824	1.071
Kupfer	8.100	1.232
Eisen	118.851	23.325
Altholz	174.913	31.395
Leichtfraktion	990.776	84.280
Summe	1.302.464	141.303

6.8.3 Deponie C

In Summe könnten durch den Rückbau der Deponie C 2.644.705 GJ an Energieverbrauch und max. 224.341 t THG-Emissionen eingespart werden.

Tabelle 26: Gesamtbetrachtung der maximalen Einsparungen beim Energieeinsatz KEA und bei den THG-Emissionen für die Deponie C (Quelle: Umweltbundesamt).

	KEA (GJ)	THG (t)
Aluminium	18.178	1.861
Kupfer	16.369	2.180
Eisen	239.524	37.791
Altholz	355.364	54.057
Leichtfraktion	2.015.268	128.452
Summe	2.644.705	224.341

6.9 Gesamtbetrachtung am Beispiel der Deponie A

6.9.1 Spezifische KEA-Einsparungen

Die folgende Abbildung zeigt die spezifischen Einsparungen an Kumuliertem Energieaufwand pro Tonne Zwischenprodukt für die jeweiligen Wertstoffe.

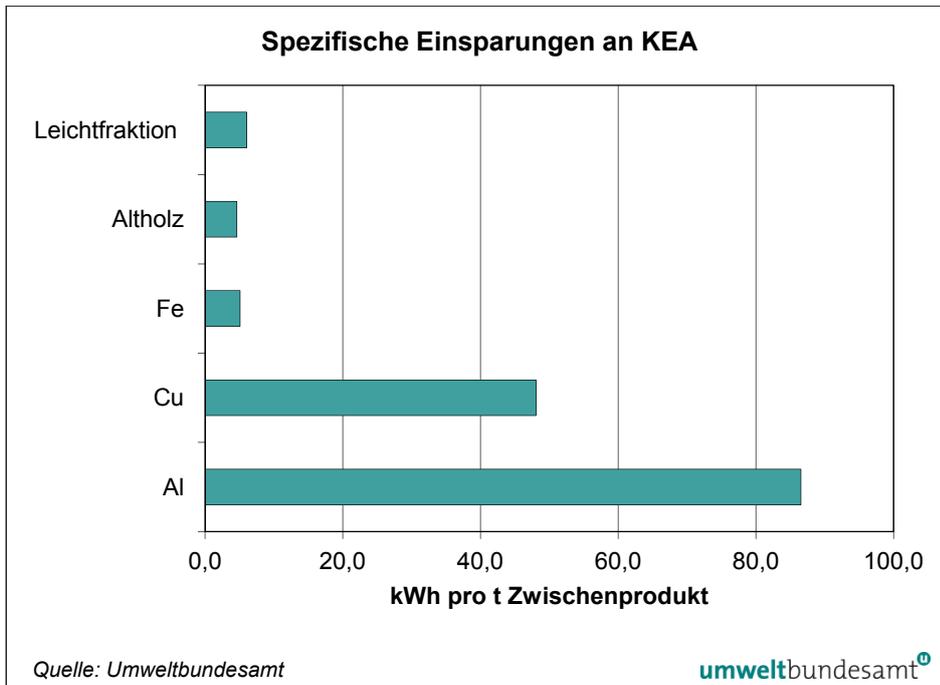


Abbildung 25: Spezifische Einsparungen an KEA (kWh pro t Zwischenprodukt) für die jeweiligen Wertstoffe für die Deponie A.

Insbesondere Aluminium und Kupfer erreichen hohe spezifische Einsparungen an KEA, wobei die Einsparungen bei Kupfer etwa halb so hoch sind wie bei Aluminium. Eisen und Altholz erzielen bei der Einsparung etwa die gleiche Größenordnung. Zu beachten ist, dass die hier dargestellten spezifischen Einsparungen für Leichtfraktion und Altholz zu Vergleichszwecken nicht energiebezogen (pro kWh, wie etwa in Kapitel 6.6 und 6.7), sondern massebezogen (pro t) angeführt werden.

6.9.2 Spezifische Einsparung an THG-Emissionen

Die folgende Abbildung zeigt die maximalen spezifischen Einsparungen an THG-Emissionen pro Tonne Zwischenprodukt für die jeweiligen Wertstoffe.

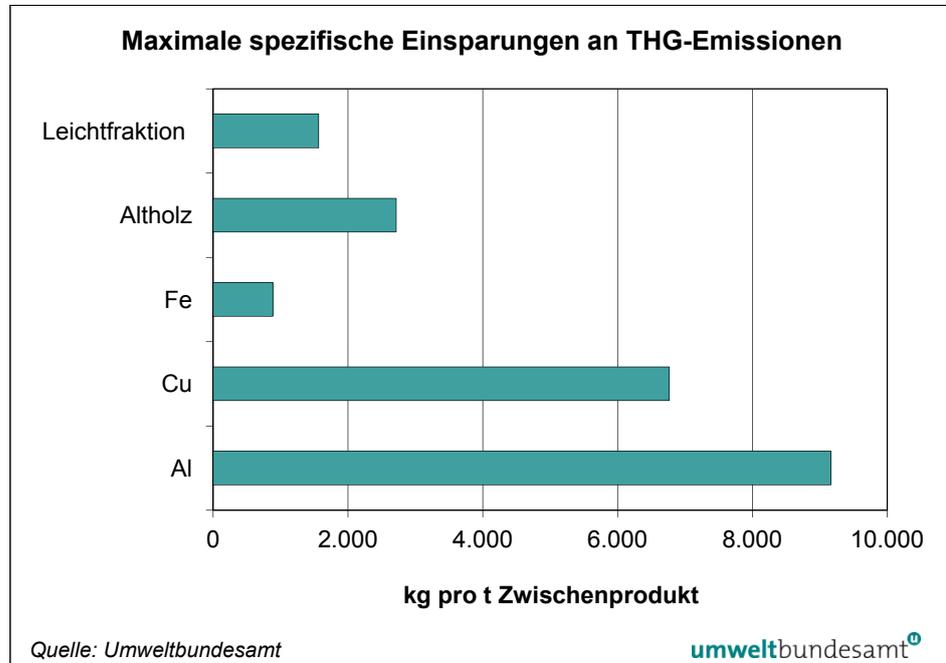


Abbildung 26: Maximale spezifische Einsparungen an THG-Emissionen (kg pro t Zwischenprodukt) für die jeweiligen Wertstoffe für die Deponie A.

Aluminium und Kupfer weisen wiederum hohe spezifische Einsparungen an THG-Emissionen auf. Altholz erreicht höhere Einsparungswerte als die Leichtfraktion, da die Verbrennung von Altholz als nachwachsender Rohstoff im Gegensatz zur Leichtfraktion treibhausgasneutral wirkt.

Die maximalen spezifischen Einsparungen an THG-Emissionen bei Eisen weisen einen besonders niedrigen Wert auf, da generell die Anteile der zugesetzten Sekundärmaterialien stark die Einsparungen je produzierter Tonne Zwischenprodukt beeinflussen. Werden nur relativ geringe Mengen an Sekundärmaterialien in der Sekundärproduktion eingesetzt (Zusatz von max. 30 % Eisenschrott im Hochofen), so fallen die Einsparungen je Tonne erzeugtes Zwischenprodukt wesentlich geringer aus.

6.9.3 Absolute Einsparungen an KEA

Werden die spezifischen Einsparungen mit den jeweils durch den Rückbau der gesamten Deponie erhaltenen Wertstoffmengen multipliziert, so erhält man absolute Einsparungen.

Die folgende Abbildung zeigt absolute Einsparungen an KEA für die jeweiligen Wertstoffe.

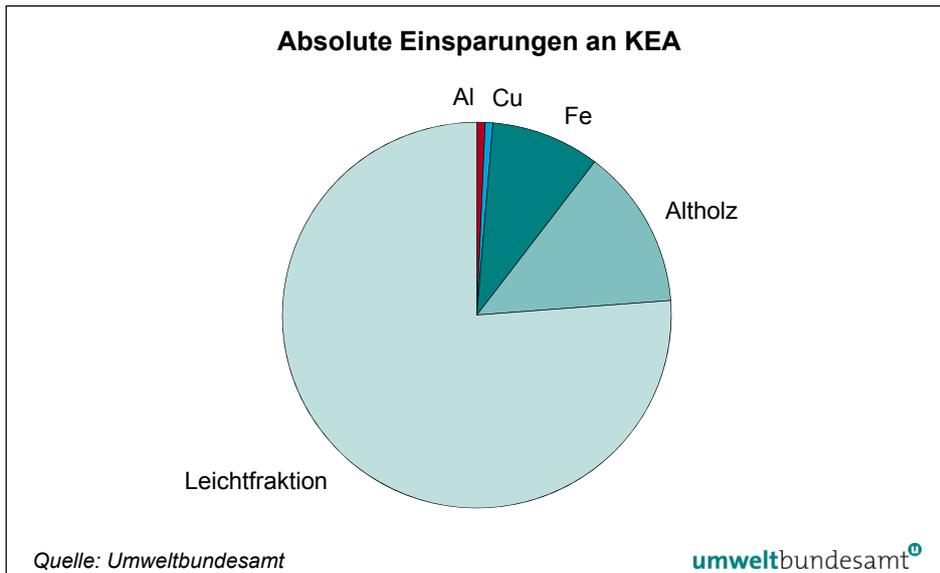


Abbildung 27: Absolute Einsparungen an KEA für die jeweiligen Wertstoffe für die Deponie A (in GJ).

Die absoluten KEA-Einsparungen sind für die Leichtfraktion, gefolgt von Altholz, am höchsten, wobei der Anteil der Leichtfraktion mehr als 75 % der gesamten absoluten Einsparungen ausmacht. Dies ist vor allem darauf zurückzuführen, dass Leichtfraktion und Altholz beim Rückbau der Deponie in sehr viel größeren Mengen als die angeführten Metalle anfallen.

6.9.4 Absolute Einsparungen an THG-Emissionen

Die folgende Abbildung zeigt die maximalen absoluten Einsparungen an THG-Emissionen für die jeweiligen Wertstoffe.

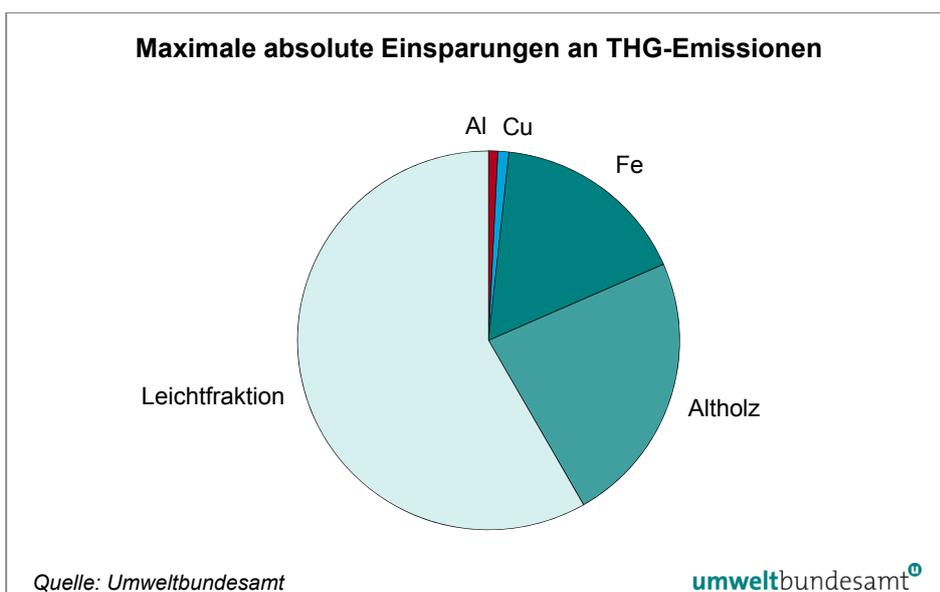


Abbildung 28: Maximale absolute Einsparungen an THG-Emissionen für die jeweiligen Wertstoffe für die Deponie A (in t).

Ähnlich wie bei den KEA-Einsparungen sind die maximalen absoluten Einsparungen an THG-Emissionen für die Leichtfraktion, gefolgt von Altholz, am höchsten. Auch hier liegt der Grund darin, dass Leichtfraktion und Altholz beim Rückbau der Deponie in sehr viel größeren Mengen anfallen als die angeführten Metalle.

6.9.5 Prozentuelle Einsparungen an KEA und THG-Emissionen

Die folgende Abbildung zeigt eine Gegenüberstellung der (maximalen) prozentuellen Einsparungen an KEA und THG-Emissionen für die jeweiligen Wertstoffe. Unter prozentuellen Einsparungen sind jene in den Kapiteln 6.3 bis 6.7 angeführten Einsparungen zu verstehen, die anzeigen, wie viel Prozent KEA bzw. THG-Emissionen bei der Sekundärprodukterzeugung im Vergleich zur Primärprodukterzeugung eingespart werden kann.

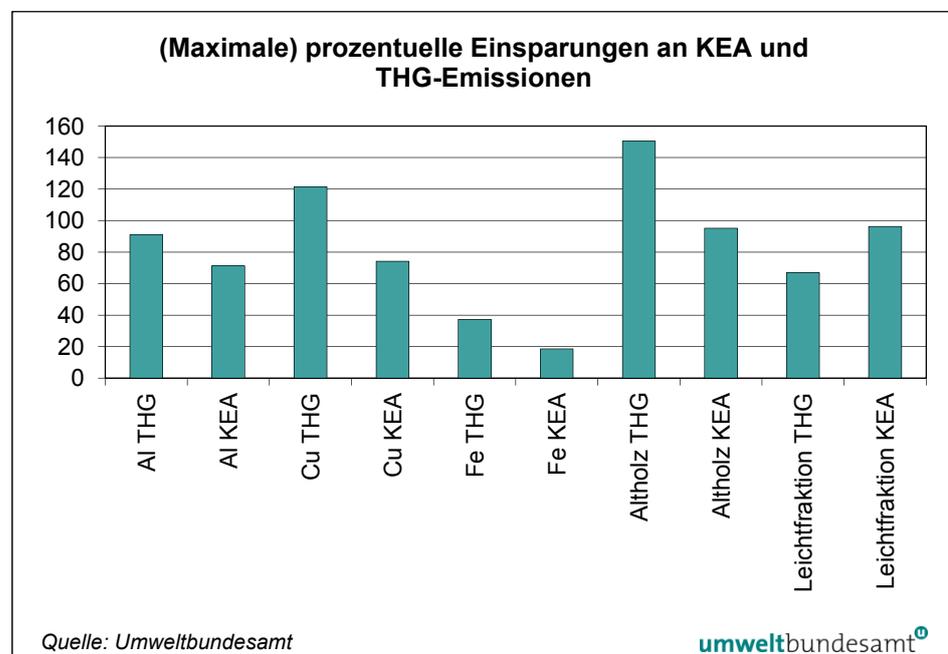


Abbildung 29: (Maximale) prozentuelle Einsparungen an KEA und THG-Emissionen für die jeweiligen Wertstoffe für die Deponie A.

Mit Ausnahme der Leichtfraktion, deren Verbrennung nicht treibhausgasneutral wirkt, sind jeweils die bei den einzelnen Wertstoffen anfallenden max. prozentuellen Einsparungen an THG-Emissionen größer als jene von KEA. Dies ist hauptsächlich auf Einsparungen von Deponiegas-Emissionen zurückzuführen.

Die maximalen prozentuellen Einsparungen sind am höchsten für THG-Emissionen von Altholz. Die Gründe hierfür sind:

- Altholz verbrennt treibhausgasneutral (daher ist die max. prozentuelle THG-Einsparung von Altholz höher als jene der Leichtfraktion).
- Altholz fällt in relativ großen Mengen an (daher ist die (max.) prozentuelle THG-Einsparung von Altholz höher als jene der Metalle).
- Die max. prozentuellen THG-Einsparungen sind (mit Ausnahme von Leichtfraktion) generell höher als jene von KEA (siehe oben).

7 WIRTSCHAFTLICHKEITSBETRACHTUNGEN

Die Zusammensetzung der Abfälle in den verschiedenen Deponien und andere Parameter, die für die Wirtschaftlichkeit des Deponierückbaus relevant sind, schwanken von Standort zu Standort in einem weiten Bereich. Dennoch werden in der Literatur Angaben über Deponiezusammensetzung und Kosten des Deponierückbaus gemacht, die auf Basis von Pilotprojekten in Deutschland als „typisch“ angesehen werden können. Solche „Durchschnittsparameter“ aus RETTENBERGER (2011) und BÖLTE & GEIPING (2011), ergänzt um aktuelle Sekundärmetallpreise aus EUWID (2011), werden für ein Basisszenario der Wirtschaftlichkeit des Deponierückbaus verwendet. Die Daten dazu sind in Tabelle 27 wiedergegeben.

Um zu zeigen wie stark sich die Unsicherheiten in diesen Basisannahmen auf das Ergebnis auswirken bzw. um den Effekt der Bandbreite der möglichen Deponiezusammensetzungen und der wirtschaftlichen Parameter auf den Nettoerlös bzw. die Nettokosten des Deponierückbaus darzustellen, werden die einzelnen Parameter variiert (siehe Abbildung 30 bis Abbildung 40).

RETTENBERGER (2011) weist darauf hin, dass neben Eisen, Kupfer und Aluminium weitere recycelbare Metalle im Deponiematerial enthalten sind und die Wirtschaftlichkeit des Deponierückbaus positiv beeinflussen können. In der Literatur sind jedoch keine weiteren Angaben über die Konzentrationen und Kosten zur Abtrennung dieser zusätzlichen Metalle aus Deponien zu finden. Um dennoch darzustellen, wie sich die Berücksichtigung weiterer Metalle im Deponierückbau auswirken könnte, wurde auch eine Parametervariation bezüglich des Gehalts an recycelbarem Nickel gemacht (siehe Abbildung 34). Dabei sind aber keine zusätzlichen Kosten für die Abtrennung des Nickels berücksichtigt.

Die Wirtschaftlichkeit des Deponierückbaus wird als Nettoerlös (= Summe Erlöse minus Summe Kosten) je Kubikmeter behandeltem Deponievolumen dargestellt. Die Umrechnung von massebezogenen Daten in solche, die sich auf das Volumen beziehen, erfolgt über eine angenommene Einbaudichte von 1,1 Tonnen je m^3 (BÖLTE & GEIPING 2011).

Grundlage für die Wirtschaftlichkeitsberechnung sind die Annahmen, dass

- das Deponiematerial unter Einhaltung aller Umweltschutzmaßnahmen ausgehoben wird,
- die heizwertreiche Fraktion und verschiedene Metallfraktionen abgetrennt werden,
- 65 % der heizwertreichen Fraktion in einer Anlage zur thermischen Behandlung von Abfällen verbrannt werden und
- 35 % der heizwertreichen Fraktion als Ersatzbrennstoff abgesetzt werden kann,
- die Metallfraktionen als Eisen-, Kupfer- und Aluminiumschrott verkauft werden können und
- die verbleibenden Fraktionen wieder am Standort eingebaut werden. Dabei sinken die Masse um 23,6 % und (durch das Anheben der Einbaudichte von 1,1 t/m^3 auf 1,7 t/m^3) das Volumen um 50 %.

Die in Tabelle 27 dargestellten Parameterwerte für das Basisszenario wurden

- bezüglich der Deponiezusammensetzung RETTENBERGER (2011) entnommen, wobei entsprechend dieser Quelle 35 % der heizwertreichen Fraktion als Ersatzbrennstoff (EBS) abgesetzt werden kann;
- bezüglich der Rückbaukosten, der Zuzahlungen für die Behandlung der heizwertreichen Fraktion, der Transportkosten und des Marktpreises für Eisenschrott BÖLTE & GEIPING (2011) entnommen;
- bezüglich der Marktpreise von Kupfer- und Aluminiumschrott sowie für Nickel EUWID (2011) entnommen.

Für die Kosten der Nachsorge des wieder eingebauten Materials wurde, da sich das Volumen halbiert hat, die Hälfte des von RETTENBERGER (2011) angenommenen Wertes angesetzt.

Tabelle 27: Annahmen für das Basisszenario der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung und errechnete Erlös-Kostenerwartung (hergeleitet aus RETTENBERGER 2011, BÖLTE & GEIPING 2011, EUWID 2011).

Szenarioparameter	Basiswert	Quelle
Deponiezusammensetzung (in Masse-%)		
heizwertreiche Fraktion	20	
Eisenschrott	3,4	RETTENBERGER (2011)
Kupferschrott	0,114	
Aluminiumschrott	0,066	
Restfraktion	76,42	
Deponievolumen (in m ³ /t)	0,91	
Deponiedichte (in t/m ³)	1,10	BÖLTE & GEIPING (2011)
Deponieinhalt (in t/m³)		
heizwertreiche Fraktion	0,220	
heizwertreiche Fraktion ohne EBS	0,143	
Ersatzbrennstoffe (EBS)	0,077	RETTENBERGER (2011)
Eisenschrott	0,037	
Kupferschrott	0,001	
Aluminiumschrott	0,001	
Nickel	0,000	
Summe verwertbare Materialien	0,260	
Kosten		
Deponierückbau (einschließlich Rekultivierung) (in €/m ³)	15	RETTENBERGER (2011), BÖLTE & GEIPING (2011)
Kosten für Verwertung heizwertreiche Fraktion (in €/t heizwertreiche Fraktion)	50	BÖLTE & GEIPING (2011)
Kosten für Verwertung heizwertreiche Fraktion ohne EBS (in €/m ³ Deponie)	7,16	
Kosten für Verwertung EBS (in €/t EBS)	10,00	BÖLTE & GEIPING (2011)
Kosten für Verwertung EBS (in €/m ³ Deponie)	0,77	
Deponierung der Reste + Sanierung an der Basis (in €/m ³ Deponie)	2,5	Annahme: Hälfte der Deponiestilllegungskosten nach RETTENBERGER (2011)
Transportkosten (in €/t heizwertreiche Fraktion + Metalle)	10	BÖLTE & GEIPING (2011)
Transportkosten (in €/m ³ Deponievolumen)	2,60	
Summe Kosten (in €/m³ Deponie)	28,02	

Szenarioparameter	Basiswert	Quelle
Erlöse		
Verwertung Eisen (in €/t Eisenschrott)	100	BÖLTE & GEIPING (2011)
Verwertung Kupfer (in €/t Kupferschrott)	5.400	
Verwertung Alu (in €/t Aluminiumschrott)	900	EUWID (2011)
Verwertung Nickel (in €/t Nickel)	19.000	
Verwertung Eisen (in €/m ³ Deponie)	3,74	
Verwertung Kupfer (in €/m ³ Deponie)	6,78	
Verwertung Alu (in €/m ³ Deponie)	0,65	
Verwertung Nickel (in €/m ³ Deponie)	0,00	
Summe Erlöse (in €/m³ Deponie)	11,18	
Netto-Erlöse (Erlöse – Kosten) (in €/m³ Deponie)	– 16,85	

Im Basisszenario beträgt der Nettoerlös des Deponierückbaus – 16,85 € je m³ behandelten Deponievolumens. Das heißt je Kubikmeter Deponie, der abgegraben wird, fallen Nettokosten von 16,85 € an. Auffällig ist dabei, dass sich die Kosten für die Behandlung der heizwertreichen Fraktion und der Fraktion Ersatzbrennstoffe einerseits und die Erlöse aus dem Verkauf der Metalle annähernd aufheben.

Auffällig ist auch, dass Kupferschrott ca. doppelt so viel zu den Erlösen beiträgt wie Eisenschrott, obwohl die Masse des Kupferschrotts nur rund ein Dreißigstel der Masse des Eisenschrotts beträgt.

Die Nettokosten von 16,85 € je m³ entsprechen nur rund der Hälfte der von RETTENBERGER (2011) ermittelten und oft zitierten 30 bis 40 € je m³. Der Unterschied ist vor allem auf die geänderte Annahme bezüglich der Behandlungskosten der heizwertreichen Fraktion zurückzuführen: Während hier entsprechend BÖLTE & GEIPING (2011) von 50 €/t ausgegangen wird, setzt Rettenberger diesen Wert etwa doppelt so hoch an.

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die Effekte der Parametervariationen. Die Parametereinstellung des Basisszenarios ist dabei durch einen etwas vergrößerten Datenpunkt gekennzeichnet.

Abbildung 30 zeigt die Abhängigkeit der Wirtschaftlichkeit des Deponierückbaus vom Anteil der heizwertreichen Fraktion am Deponiematerial. Selbst ohne heizwertreiche Fraktion sind die Nettoerlöse negativ, das heißt die Rückbaukosten übersteigen die Erlöse aus dem Verkauf des Metallschrotts. Mit zunehmendem Anteil an heizwertreicher Fraktion steigen aber die Kosten weiter an bzw. sinkt die Wirtschaftlichkeit des Deponierückbaus weiter.

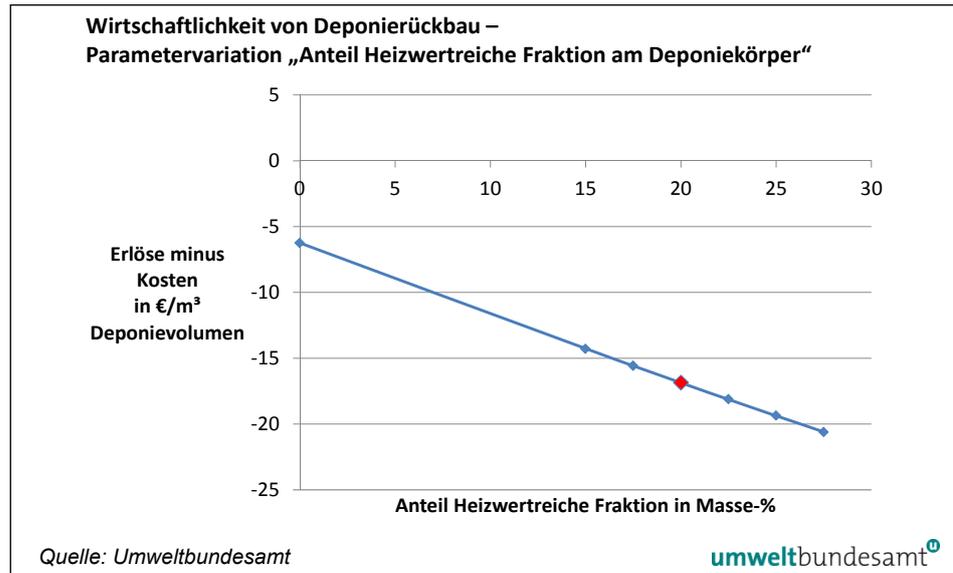


Abbildung 30: Wirtschaftlichkeit des Deponierückbaus bei Variation des Anteils der heizwertreichen Fraktion am Deponiekörper.

Abbildung 31 zeigt den Effekt des Eisenschrottanteils am Deponiematerial auf die Wirtschaftlichkeit des Deponierückbaus. Mit steigendem Eisenschrottanteil steigt auch die Wirtschaftlichkeit, ist aber selbst bei 10 % Eisenschrottanteil noch negativ.

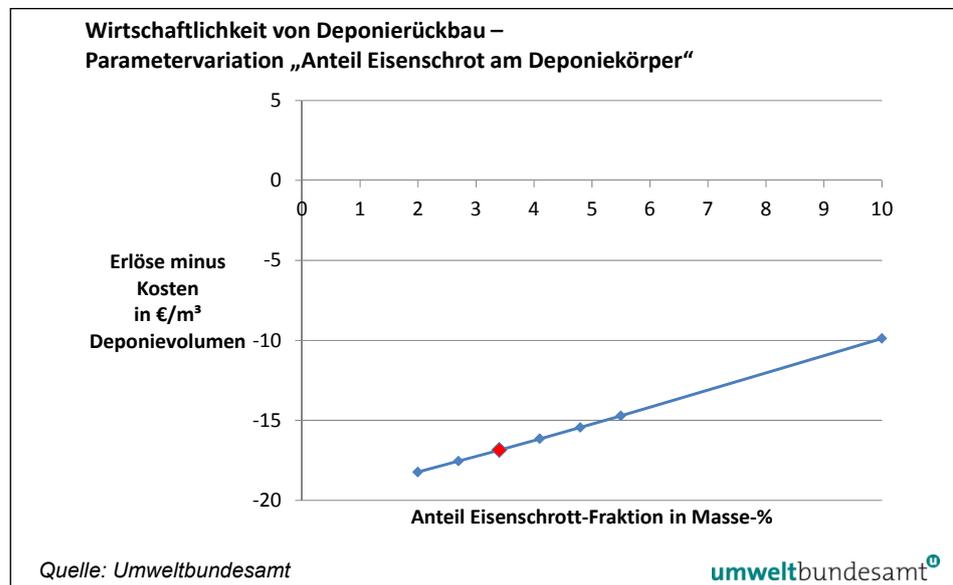


Abbildung 31: Wirtschaftlichkeit des Deponierückbaus bei Variation des Anteils der Eisenschrott-Fraktion am Deponiekörper.

Abbildung 32 zeigt, dass die Wirtschaftlichkeit des Deponierückbaus stark vom Kupferschrottgehalt abhängig ist. Bereits ab einem Kupfergehalt von 0,4 % würden sich Nettoerlöse ergeben. Dieser Gehalt entspricht jedoch dem Dreifachen der Menge, die von RETTENBERGER (2011) in deutschen Deponien durchschnittlich gefunden wurde.

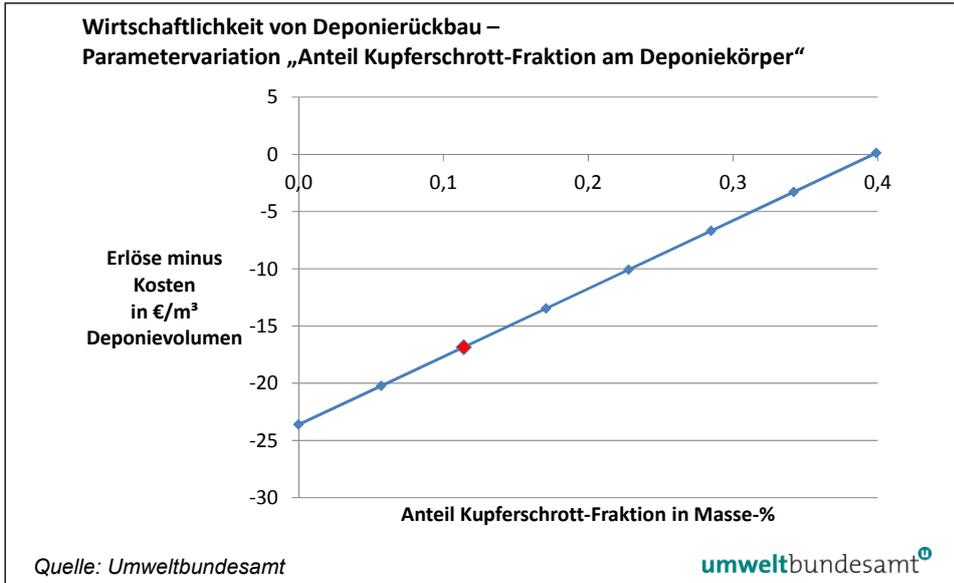


Abbildung 32: Wirtschaftlichkeit des Deponierückbaus bei Variation des Anteils der Kupferschrott-Fraktion am Deponiekörper.

Abbildung 33 zeigt den Effekt des Aluminiumschrottanteils am Deponiematerial auf die Wirtschaftlichkeit des Deponierückbaus. Ab einem Aluminiumschrottgehalt von 1,75 % könnten Nettoerlöse des Deponierückbaus erzielt werden. Dieser Gehalt entspricht jedoch mehr als dem 25-fachen der Menge, die von RETTENBERGER (2011) in deutschen Deponien durchschnittlich gefunden wurde.

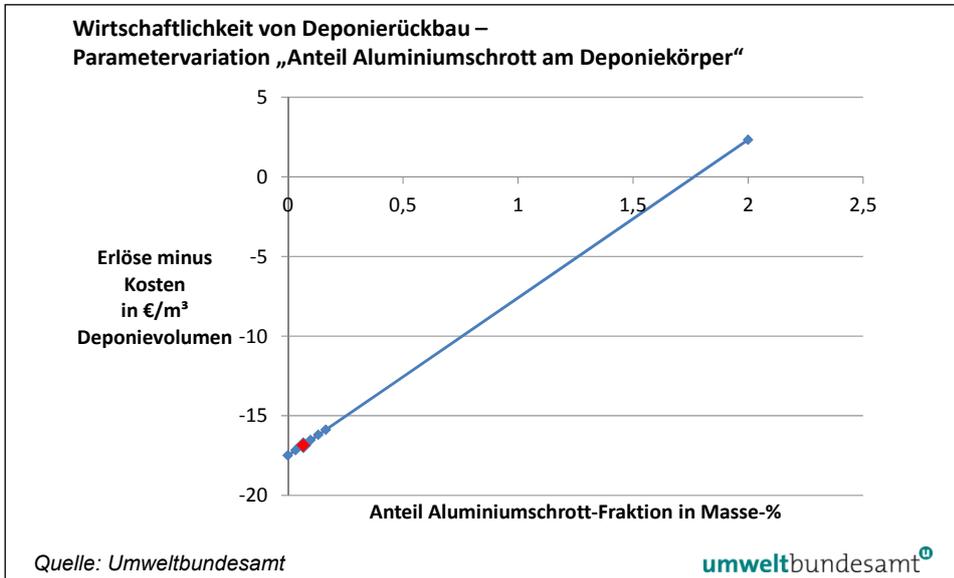


Abbildung 33: Wirtschaftlichkeit des Deponierückbaus bei Variation des Anteils der Aluminiumschrott-Fraktion am Deponiekörper.

Abbildung 34 zeigt den Effekt des Nickelanteils am Deponiematerial auf die Wirtschaftlichkeit des Deponierückbaus, wenn keine weiteren Kosten für die Abtrennung des Nickels aus der Eisenschrott-Fraktion anfallen. Ab einem Nickelgehalt von 0,08 am Deponiematerial würde der Deponierückbau wirtschaftlich werden.

Daraus ergeben sich folgende Forschungsfragen:

- a) Wie hoch ist der Gehalt an Metallen mit hohem Marktwert wie Nickel, Chrom, Cobalt und anderen in österreichischen Deponien?
- b) Wie hoch sind die Kosten zur Abtrennung dieser Metalle aus der Eisen- und der Nichteisenfraktion?

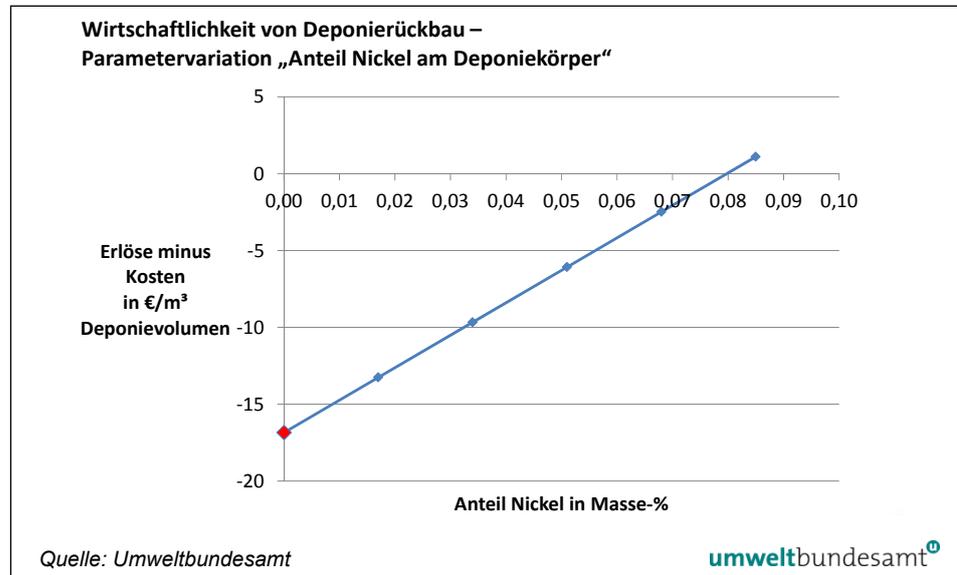


Abbildung 34: Wirtschaftlichkeit des Deponierückbaus bei Variation des Anteils der gewinnbaren Nickels am Deponiekörper (Kosten für die Abtrennung/Aufbereitung des Nickels sind nicht berücksichtigt).

Abbildung 35 zeigt den Effekt der Kosten des eigentlichen Deponierückbaus (Sichern und Aufgraben der Deponie, Sichten und weiteres Fraktionieren des Deponiematerials, Wiedereinbau der verbleibenden Fraktionen und Kultivieren des Deponiekörpers) auf die Wirtschaftlichkeit des Deponierückbaus insgesamt. Zu sehen ist, dass die Nettokosten des Deponierückbaus über weite Bereiche den Grundkosten des Deponierückbaus entsprechen, da die Erlöse aus dem Metallschrottverkauf durch die Kosten für die Behandlung der heizwertreichen Fraktion annähernd ausgeglichen werden.

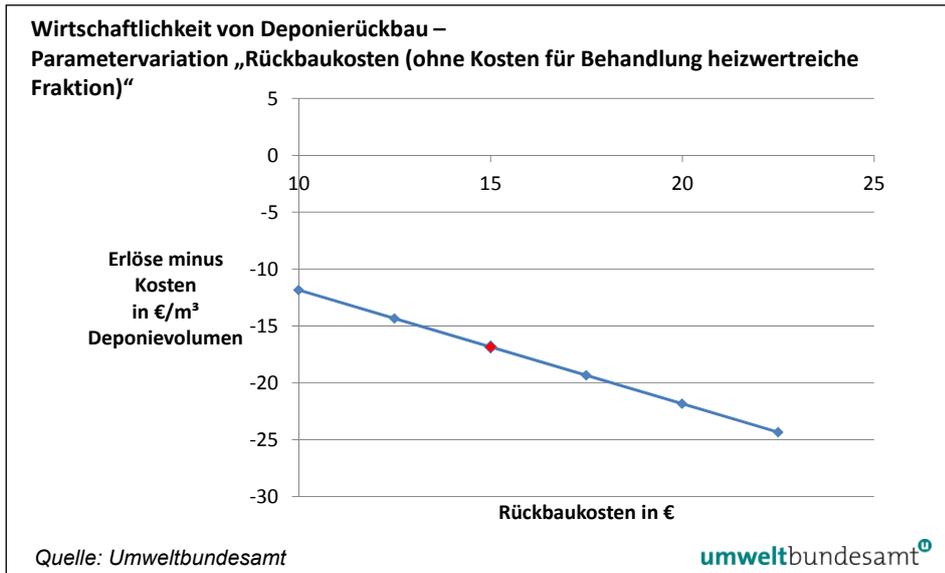


Abbildung 35: Wirtschaftlichkeit des Deponierückbaus bei Variation der Rückbaukosten (ohne Kosten/Erlöse für die Behandlung/Verwertung der abgetrennten Fraktionen).

Abbildung 36 zeigt den Effekt der Behandlungskosten für die heizwertreiche Fraktion (ohne Ersatzbrennstoff-Fraktion) auf die Wirtschaftlichkeit des Deponierückbaus. Berücksichtigt man, dass in Deutschland im Jahr 2006 „Preise bis weit über 200 €/t regional anzutreffen“ waren (ALWAST 2007), während seither durch Überkapazitäten bei der Abfallverbrennung deutliche Preisreduktionen verzeichnet werden, so kann der Parameter „Kosten für die Behandlung der heizwertreichen Fraktion“ und damit die Wirtschaftlichkeit des Deponierückbaus in der Realität über einen weiten Bereich streuen. In der Regel wird dieser Kostenfaktor den größten Beitrag zu den Gesamtkosten des Deponierückbaus leisten.

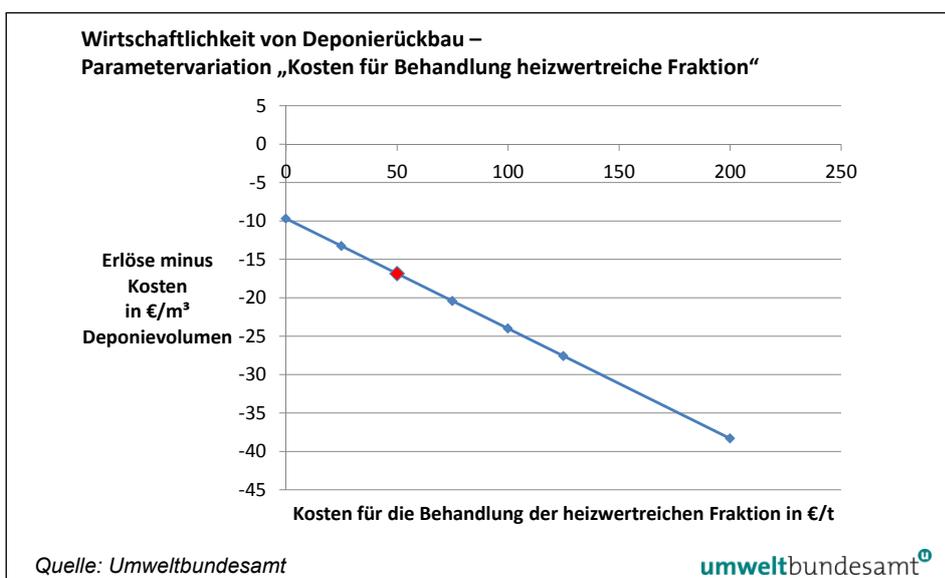


Abbildung 36: Wirtschaftlichkeit des Deponierückbaus bei Variation der Behandlungskosten für die heizwertreiche Fraktion.

Abbildung 37 zeigt den Effekt der Behandlungskosten für die Ersatzbrennstoffe auf die Wirtschaftlichkeit des Deponierückbaus. Selbst Erlöse aus dem Verkauf der Ersatzbrennstoffe (die bei weiter steigenden Preisen für konventionelle Brennstoffe in Zukunft möglich sind) können die Wirtschaftlichkeit des Deponierückbaus nur wenig verbessern.

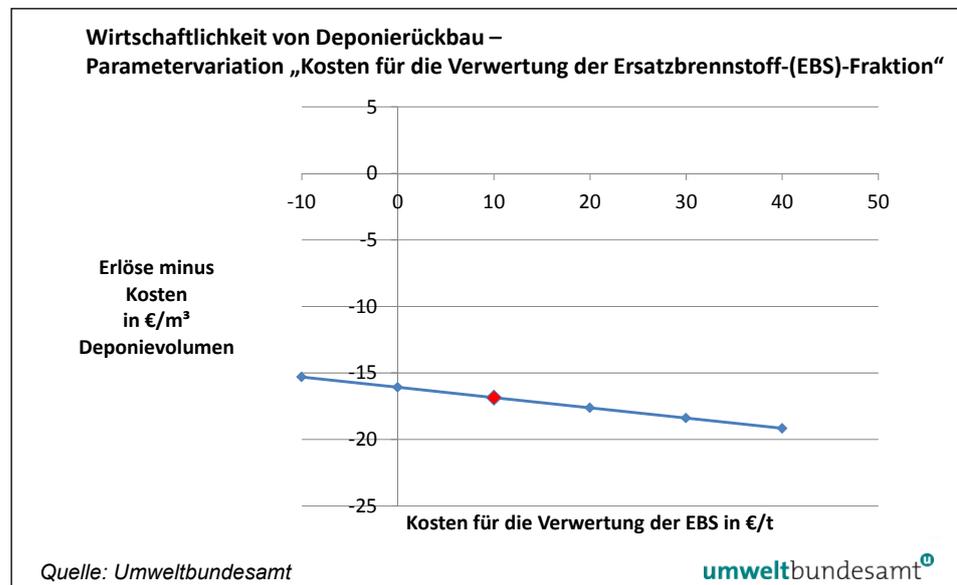


Abbildung 37: Wirtschaftlichkeit des Deponierückbaus bei Variation der Behandlungskosten/ Erlöse für die Fraktion Ersatzbrennstoffe (EBS) (in dieser Grafik sind Erlöse für die Behandlung der EBS auf der x-Achse negativ dargestellt).

Abbildung 38 zeigt den Effekt des Eisenschrottmarktpreises auf die Wirtschaftlichkeit des Deponierückbaus. Um für den Deponierückbau insgesamt Nettoerlöse erzielen zu können, müsste sich der Marktpreis für Eisenschrott auf 550 €/t erhöhen und damit etwa verfünffachen.

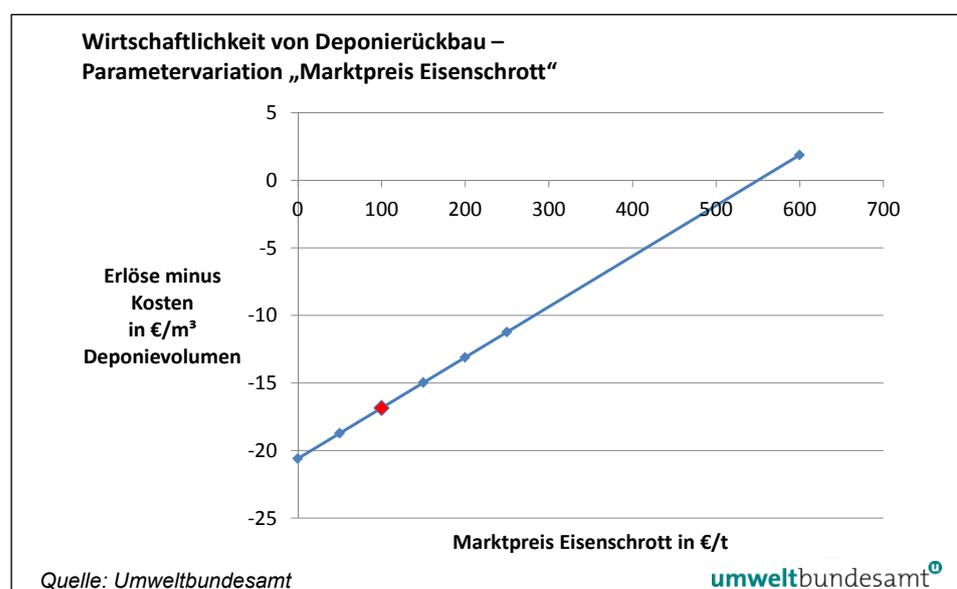


Abbildung 38: Wirtschaftlichkeit des Deponierückbaus bei Variation des Marktpreises für Eisenschrott.

Abbildung 39 zeigt den Effekt des Kupferschrottmarktpreises auf die Wirtschaftlichkeit des Deponierückbaus. Der Kupferpreis müsste sich ca. verdreifachen, um den Deponierückbau aus dem Verkauf von Kupferschrott finanzieren zu können.

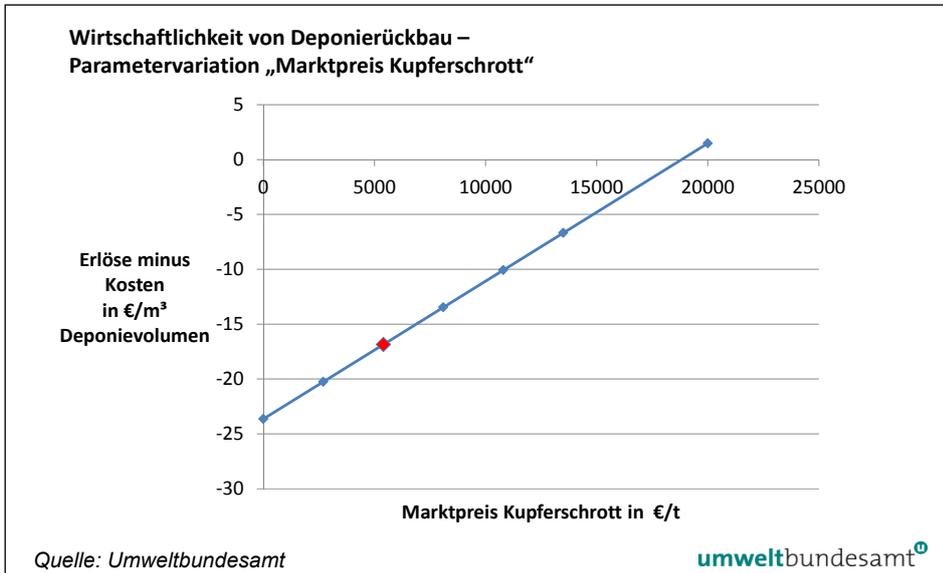


Abbildung 39: Wirtschaftlichkeit des Deponierückbaus bei Variation des Marktpreises für Kupferschrott.

Abbildung 40 zeigt, dass der Aluminiumschrottpreis (bei dem angenommenen relativ geringen Aluminiumschrottgehalt) kaum Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit des Deponierückbaus hat.

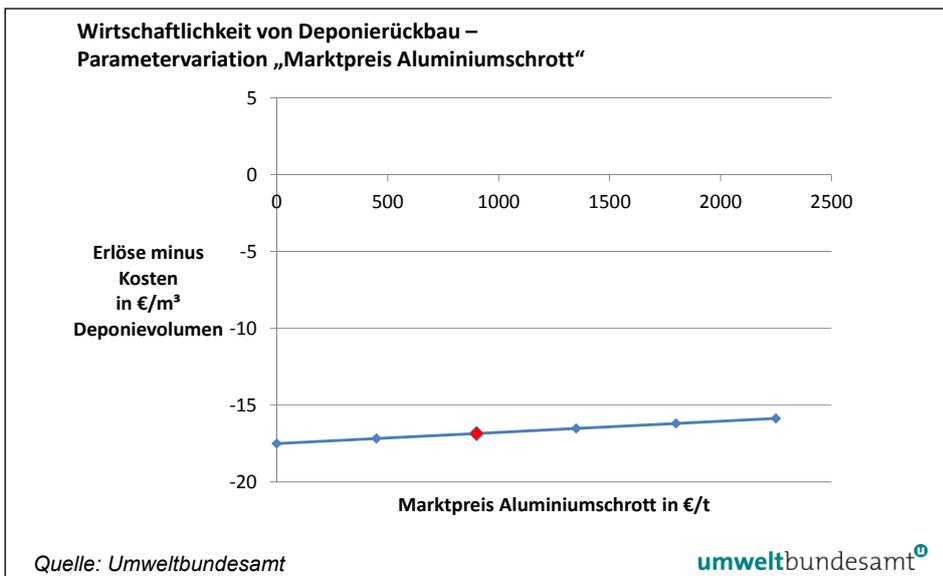


Abbildung 40: Wirtschaftlichkeit des Deponierückbaus bei Variation des Marktpreises für Aluminiumschrott.

Insgesamt zeigt die Wirtschaftlichkeitsanalyse, dass sich aus betriebswirtschaftlicher Sicht ein Deponierückbau nur rechnet, wenn einige Parameter sehr günstig liegen. Vor allem hängt die Wirtschaftlichkeit des Deponierückbaus von den Kosten für die Behandlung der heizwertreichen Fraktion und vom Kupferschrottegehalt des Deponiematerials ab.

Anders ist die Situation zu bewerten, wenn dringend Deponievolumen benötigt wird und die Bereitstellung des Deponievolumens an anderen Standorten über 40 €/m³ kostet. Durch den Deponierückbau kann das benötigte Deponievolumen halbiert und das freigewordene Deponievolumen um rund 30–40 €/m³ bereitgestellt werden.

Die weitere Forschung sollte sich auf die Frage konzentrieren, welche weiteren Metalle (außer Eisen, Kupfer und Aluminium) aus den Deponien wirtschaftlich recycelbar sein könnten und welche Folgen sich daraus auf die Wirtschaftlichkeit des Deponierückbaus ergeben könnten.

Die hier gezeigte Wirtschaftlichkeitsanalyse betrifft Deponien, auf denen vor allem Siedlungsabfälle abgelagert wurden. Auf betriebseigenen Deponien – insbesondere der Metall verarbeitenden Industrie – könnten die Verhältnisse für eine wirtschaftliche Gewinnung viel günstiger sein. Deshalb sollten auch in dieser Richtung Forschungsaktivitäten gesetzt werden.

8 ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

EBS	.....	Ersatzbrennstoffe
FM	.....	Frischmasse
GJ	.....	Gigajoule
KEA	.....	Kumulierter Energieaufwand
LHKW	.....	Leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe
Mg	.....	Megagramm = Tonnen
MVA	.....	Müllverbrennungsanlage
PPK	.....	Papier, Pappe, Karton
REA	.....	Rauchgasentschwefelungsanlage
SM	.....	Sperrmüll
THG	.....	Treibhausgase
TM	.....	Trockenmasse
TOC	.....	Total Organic Carbon

9 LITERATURVERZEICHNIS

- ALWAST, H. (2007): Ersatzbrennstoffmarkt-Entwicklung in Deutschland – Mengen, Preise, Markttendenzen. Prognos. Vortrag 19. Kasseler Abfallforum und Bioenergieforum, Kassel, 27.04.2007.
http://www.prognos.com/fileadmin/pdf/publikationsdatenbank/Vortrag_Alwast_Kassel_2007.pdf
- ARNOLD, D. et. al (2005): Arnold, D.; Kleiber, Th.; Schindler, Y.; Wenger, M.: Die Sondermülldeponie Kölliken. Seminar Bodensanierung am Department Geowissenschaften, Uni Basel, Schweiz, WS 2004/05.
http://www.fdp-waldstatt.ch/aktuell/koelliken_beschreibung.pdf
- ATV-DVWK/VKS (2002): Umlagerung und Rückbau von deponierten Abfällen. Arbeitsbericht des ATV_DVWK/VKS Fachausschuss 3.6 „Deponien“. http://www.deponiestief.de/pdf/fachlit_pdf/fa36ber_rueckbau.pdf (abgerufen am 01.06.2011)
- BIERI, A. (2011): Aus Müll wird Gold. In: NZZ a.S., 23.01.2011.
- BMUJF – Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie & BMLF – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft (Hrsg.) (1990): Richtlinie für die Ablagerung von Abfällen. Wien, September 1990.
- BOCKREIS, A. & JAGER, J. (2009): Abfallwirtschaftliche Rekonstruktion von Altdeponien. In: Wasser und Abfall. Volume Number 06/2009: 42–46.
- BÖLTE, S. & GEIPING, J. (2011): Siedlungsabfalldeponien – Nachsorge oder Rückbau? 12. Münsteraner Abfallwirtschaftstagung. Münster, Deutschland.
www.deponiestief.de/pdf/fachlit_pdf/2011AWT_Boelte_rueckbau.pdf
- BURMEIER, H.; POGGENDORF, C.; ROSENAU, D.; LEMANN, M.F. & KÄSTLI, B. (2007): Sicherung von Deponie-Altlasten. Stand der Technik, Grenzen und Möglichkeiten. Umwelt-Vollzug Nr. 0720. Bundesamt für Umwelt, Bern.
- DANZER, J. & KEILHAUER, M. (2008): Dig and treat – erste Ergebnisse einer neuen “Sanierungstechnologie” am Beispiel der ehem. Hausmülldeponie Tiefenbach bei Obersdorf. http://www.boden-und-grundwasser.de/download/mbt08v_tb.pdf (abgerufen am 25.05.2011)
- DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL PROTECTION (Hrsg.) (1996): Discussion Document and draft regulations Landfill Mining/Reclamation regulations 310CMR 19.000, December 1996. Commonwealth of Massachusetts.
- DEYLEN VON, H. (1994): Recyclingmöglichkeiten für ausgebaute Stoffe – Beispiel: Bauabfälle. In: Kommunale Umwelt-Aktion U.A.N. Schriftenreihe Heft 19 (1994).
www.uan.de
- DUALES SYSTEM DEUTSCHLAND (Hrsg.) (2004): Sortierhandbuch. Eigenverlag. Köln, Stand: April 2004. <http://www.cleaner-production.de/> (abgerufen am 06.06.2011)
- EPA – Environmental Protection Agency of the United States (Hrsg.) (1997): Landfill Reclamation. <http://www.epa.gov/osw/nonhaz/municipal/landfill/land-rc1.pdf> (abgerufen am 25.05.2011)
- EUWID Recycling und Entsorgung (2011): Preisbericht für Altmetalle. EUWID 13.2011, S. 20.

- FAULSTICH, M.; FRANKE, M.; LÖH, I. & MOCKER, M. (2010): Urban Mining – Wertstoffgewinnung aus Abfalldeponien. In: Bayerische Abfall- und Deponietage 2010. Augsburg, Germany, März 2010. http://www.kumas.de/badtdocs/12_Franke.pdf (abgerufen am 25.05.2011)
- FLAMME, S. & KRÄMER, P. (2010): Bedeutung des “Urban Minings” für den Klima- & Ressourcenschutz. Vortrag beim Verein zur Förderung der Abfallwirtschaft Region Rhein-Wupper e.V. 29. April 2010.
- FLÖGL, W. (2002): Klimarelevanz der Deponien in Oberösterreich. Studie im Auftrag der OÖ Landesregierung.
- FREI, U. (2005): Ist der Elbisgraben eine Goldgrube? In: Bau- und Umweltzeitung. Liesetal, Schweiz, Volume number 50/2005: 1–2.
- FRICKE, K. (2009) Urban Mining – nur ein Modebegriff?. In: Müll und Abfall. Volume Number 10/2009: 489.
- GÄTH, S. & NISPEL, J. (2010a): Wertstoffdepot Deponie. In: UmweltMagazin. Volume Number Oktober–November 2010. S. 44–46.
- GÄTH, S. & NISPEL, J. (2010b): Ressourcenpotenzial von ausgewählten Hausmülldeponien in Deutschland. In: Depotech 2010, 03.–05. November 2010, Leoben, Österreich.
- GÄTH, S. & NISPEL, J. (2011): Ressourcenpotenzial von ausgewählten Hausmülldeponien in Deutschland. In: Müll und Abfall. Volume Number 2/2011: 61–67.
- GOLDMANN, D. (2010): Strategische und strukturelle Überlegungen zur effizienten Nutzung anthropogener Rohstoffpotentiale in Zeiten der Globalisierung. In: Müll und Abfall. Volume Number 10/2010: 476–481.
- GÖSCHL, R. (1999): Remediation of disused landfill sites through excavation/redeposition and treatment. <http://www.bape.gouv.qc.ca/sections/mandats/LES-St-Thomas/documents/DA29.pdf> (abgerufen am 25.05.2011)
- HACKENESCH-RUMP, A. (2010): Urban Mining. November 2011. <http://www.uptown-online.de/urban-economy/hintergrund/archiv/2010/11/urban-mining> (abgerufen am 25.05.2011)
- HAHN, N. (2010): Rohstoffpotentiale hessischer Deponien. In: Wasser und Abfall. Volume Number 1–2/2010: 48–53.
- HARATHER, K. (1994): Berge versetzen – Raum schaffen. Rückbau Deponie Burghof. In: Kommunale Umwelt-Aktion U.A.N. Schriftenreihe Heft 19 (1994).
- HEYER, K-U.; HUPE, K. & STEGMANN, R. (2005): Landfill aftercare – Scope for actions, duration, costs and quantitative criteria for the completion. Proceedings Sardinia 2005. Tenth International Waste Management and Landfill Symposium. Cagliari, Italy, October 2005. http://www.image.unipd.it/tetrawama/S2005/landfill_aftercare_scope_for_actions.pdf (abgerufen am 25.05.2011)
- HOFFMEYER, P. (2008): Deponien schließen – Schätze aus dem Abfall heben. In: Müll und Abfall. Volume Number 04/2008: 167.
- HÖLZLE, I. (2010a): Vom Deponierückbau bis zum landfill mining – eine Synthese internationaler Untersuchungen. In: Österreichische Wasser und Abfallwirtschaft. Volume Number 62: 155–161.

- HÖLZLE, I. (2010b): Energieeffizienz von Deponierückbauten. In: Müll und Abfall. Volume Number 10/2010: 488–492.
- JONES, P.T.; GEYSEN, D.; ROSSY, A. & BIENGE, K. (2010): Enhanced Landfill Mining (ELFM) and Enhanced Waste Management (EWM): essential components for the transition to Sustainable Materials Management (SMM). Enhanced Landfill Mining and the transition to Sustainable Materials Management. Houthalen-Helchteren, Belgium, October 2010.
http://www.elfmsymposium.eu/docs/Papers/ELFM_Symposium_2010_Paper01_Jones_Geyesen_Rossey_Bienge.pdf (abgerufen am 25.05.2011)
- KNAPP, J. & BOCKREIS, A. (2010): Rohstoffpotentiale in Tiroler Deponien. In: DepoTech 2010, Tagungsband zur Konferenz in Leoben, 03.–05. November 2010, S. 371–374.
- KROOK, J. et al. (2010): Krook, J.; Svensson, N.; Eklund, M.; Johansson, N.; Frändegård, P.: Landfill mining: A review of three decades of research. Knowledge Collaboration & Learning for Sustainable Innovation, ERSCP-EMSU conference. Delft, The Netherlands, October 2010.
http://repository.tudelft.nl/assets/uuid:76c0d800-183f-46da-9a56-38e8f1b0bbfa/118_Krook.pdf (abgerufen am 25.05.2011)
- KUHN, M. (2009): Energieeffizienz von Deponierückbauten. In: RECYCLING magazin. Volume Number 22/2009: 20–21.
- LERCH, U.; ROYL, M. & ZOBEL, R. (2010): Kommunale Altdeponie Marquartstein – Erfahrungen mit Rückbau und stofflicher Trennung. Bayerische Abfall- und Deponietage 2010. Augsburg, Germany, März 2010.
http://www.kumas.de/badtdocs/13_Sakosta.pdf (abgerufen am 25.05.2011)
- MAIER, D. (1999): Veränderungen der Zusammensetzung des Hausmülls aus historischer Perspektive. In: Müllhandbuch. Lfg 11/99, Kennzahl 1703.
- MOCKER, M. et al. (2009): Mocker, M.; Fricke, K.; Löh, I.; Franke, M.; Bahr, T.; Münnich, K.; Faulstich, M.: Urban Mining- Rohstoffe der Zukunft. In: Müll und Abfall. Volume Number 10/2009: 492–501.
- NISPEL J. (2011): Ressourcenpotenzial von Hausmülldeponien anhand ausgewählter Deponien in Deutschland. Vortrag am I. Wissenschaftskongress „Abfall- und Ressourcenwirtschaft“. Straubing, 29. und 30. März 2011.
<http://www.dgaw.de/files/uploaded/nispel.pdf>
- NYSERDA (1992): Town of Edinburg Landfill Reclamation Demonstration Project. Final Report prepared for the New York State Research and Development Authority.
- OSSBERGER, M. (1997): Geschichte der Abfallwirtschaft in Österreich. Diplomarbeit an der TU Wien, Fachbereich Abfallwirtschaft und Ressourcenmanagement.
- POZSOGAR, W. (2011): Abfallbehandlung: Aus Schutt wird wieder Baustoff. In: Die Presse, 10.04.2011.
- PRETZ, T. (2003): Was leisten maschinelle Trennverfahren? Vortrag zum 81 Abfallwirtschaftlichen Kolloquium an der Universität Stuttgart. 25.11.2003.
- PRETZ, T. (2008): Abfall als Rohstoff – technische Entwicklungen und Tendenzen. Vortrag am Rohstoffkongress 2008 an der RWTH Aachen. 27.11.2008.

- RAAB, G. & SCHATZ, S. (2009) Schaffung neuen Deponieraumes am Beispiel der Deponie Gosberg. Bayerische Abfall- und Deponietage 2009. Augsburg, Germany, März 2009. http://www.kumas.de/badtdocs/11_Schatz.pdf (abgerufen am 25.05.2011)
- RENOSAM (2009): Landfill Mining – Process, Feasibility, Economy, Benefits and Limitations, July 2009. http://www.renosam.dk/c/document_library
- RECHBERGER, H. (2011): Urban Mining: Definition, Potential, Aufgaben. Vortrag am 71. Symposium des ANS Abfallwirtschaft in Städten und Ballungsräumen, Braunschweig. 26./27. Januar 2011
- RETTENBERGER, G. (2010a): Urban mining – alternative Ressourcenquelle, http://urbanmining.com/fileadmin/pdfs/vortraege/Prof_Rettenberger_Urban_Mining_Iserlohn.pdf (abgerufen am 25.05.2011)
- RETTENBERGER, G. (2010b): Deponierückbau: Technik, Wirtschaftlichkeit, Perspektiven. In: Deponietechnik 2010. Dokumentation der 7. Hamburger Abfallwirtschaftstage. Abfall aktuell Stuttgart, S. 249–262.
- RETTENBERGER, G. (2010c): Deponien als Rohstofflagerstätte, Vortrag beim Abfallforum im Europäischen Bildungszentrum Otzenhausen, 11. Mai 2010.
- RETTENBERGER, G. (2010d): Deponierückbau. Vortrag beim Expertengespräch „Effiziente Nutzung metallischer Sekundärrohstoffe“, 23. Februar 2010.
- RETTENBERGER, G. (2011): Deponierückbau in der Praxis – Perspektiven und Konsequenzen für die Stilllegung und Nachsorge. Proc. 23. Kasseler Abfall- und BioenergieForum "Bio- und Sekundärrohstoffverwertung" 12.–14. April 2011, S. 657–666.
- SIEVERS, U. (1994): Deponierückbau – ein neuer Baustein integrierter Abfallwirtschaftskonzepte? Müll und Abfall 9/94.
- STEINEMANN J.(1997): Deponierückbau und sanierung. Vortrag im Rahmen des 13. Nürnberger Deponieseminars "Geotechn. Fragen beim Bau neuer und bei der Sicherung alter Deponien", Nürnberg 1997 www.au-gmbh.de/fileadmin/pdf/_38.pdf
- SVENSSON, N.; FRÄNDEGÅRD, P.; KROOK, J. & EKLUND, M. (2010): Introducing an approach to assess environmental pressures from integrated remediation and landfill mining. Knowledge Collaboration & Learning for Sustainable Innovation – ERSCP-EMSU conference. Delft, The Netherlands, October 2010. http://repository.tudelft.nl/assets/uuid:115abe76-c5ba-46d3-915c-5dd83a4e399f/145_Svensson.pdf (abgerufen am 25.05.2011)
- TIELEMANS, Y. & LAEVERS, P. (2010): Closing the Cycle, an Enhanced Landfill Mining case study. 1st international Symposium on Enhanced Landfill Mining.. Houthalen-Helchteren, Belgium, October 2010. http://www.elfmsymposium.eu/docs/Papers/ELFM_Symposium_2010_Paper04_Tielemans_Laevers.pdf (abgerufen am 25.05.2011)
- UMWELTBUNDESAMT (2000): Boin, U.; Linsmeyer, T.; Neubacher, F.; Winter, B.: Stand der Technik in der Sekundäraluminiumerzeugung im Hinblick auf die IPPC-Richtlinie. Monographien, Bd. M-120. Umweltbundesamt, Wien.
- UMWELTBUNDESAMT (2008): Schachermayer, E. & Lampert, C.: Deponiegaserfassung auf österreichischen Deponien; Reports, Bd. REP-0100. Umweltbundesamt, Wien.

UMWELTBUNDESAMT (2010): Lampert, C.; Frischenschlager, H.; Karigl, B.; Pölz, W.; Schindler, I.; Tesar, M.; Wiesenberger, H.; Winter, B. & Hackl, A.: Klimarelevanz ausgewählter Recycling-Prozesse in Österreich. Reports, Bd. REP-0303. Umweltbundesamt, Wien.

WIEMER, K.; BARTSCH, B. & SCHMEISKY, H. (2009): Deponien als Rohstofflagerstätten von morgen – Ergebnisse einer hessischen Untersuchung, Bio- und Sekundärrohstoffverwertung IV, Fachbuchreihe Abfall-Wirtschaft des Witzenhausen-Instituts für Abfall, Umwelt und Energie.

Rechtsnormen und Leitlinien

Abfallverbrennungsrichtlinie (RL 2000/76/EG): Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 4. Dezember 2000 über die Verbrennung von Abfällen. ABl. Nr. L 332.

Abfallverbrennung-Sammelverordnung (AVV; BGBl. II Nr. 389/2002 i.d.g.F.): Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft und des Bundesministers für Wirtschaft und Arbeit umfassend eine Verordnung über die Verbrennung von Abfällen (Abfallverbrennungsverordnung – AVV), eine Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, mit der die Verordnung über die Verbrennung von gefährlichen Abfällen geändert wird, eine Verordnung des Bundesministers für Wirtschaft und Arbeit, mit der die Verordnung über die Verbrennung gefährlicher Abfälle in gewerblichen Betriebsanlagen geändert wird, eine Verordnung des Bundesministers für Wirtschaft und Arbeit, mit der die Luftreinhalteverordnung für Kesselanlagen 1989 geändert wird und eine Verordnung des Bundesministers für Wirtschaft und Arbeit über Altöle (Altölverordnung 2002).

Abfallwirtschaftsgesetz 2002 (AWG 2002; BGBl. I Nr. 102/2002 i.d.F. BGBl. I Nr. 155/2004 zuletzt geändert durch BGBl. I Nr. 54/2008): Bundesgesetz der Republik Österreich, mit dem ein Bundesgesetz über eine nachhaltige Abfallwirtschaft erlassen und das Kräftefahrergesetz 1967 und das Immissionsschutzgesetz-Luft geändert wird.

Altlastensanierungsgesetz (ALSAG; BGBl. Nr. 299/1989 i.d.F. BGBl. I Nr. 40/2008): Bundesgesetz zur Finanzierung der Durchführung der Altlastensanierung.

Altlastensanierungsgesetznovelle (ALSAG Novelle; BGBl. Nr. 299/1989 i.d.g.F.): Bundesgesetz zur Finanzierung und Durchführung der Altlastensanierung, mit dem das Wasserbautenförderungsgesetz, BGBl. Nr. 148/1985, das Umweltfondsgesetz, BGBl. Nr. 567/1983 und das Bundesgesetz vom 20. März 1985 über die Umweltkontrolle, BGBl. Nr. 127/1985, geändert werden.

Änderung der Abfallverbrennungsverordnung (AVV-Novelle 2007; BGBl. II Nr. 296/2007): Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft und des Bundesministers für Wirtschaft und Arbeit, mit der die Abfallverbrennungsverordnung geändert wird.

Deponieverordnung (DeponieV; BGBl. Nr. 164/1996 i.d.g.F.): Verordnung des Bundesministers für Umwelt über die Ablagerung von Abfällen.

Emissionsschutzgesetz für Kesselanlagen (EG-K; BGBl. I Nr. 150/2004 i.d.g.F.): Bundesgesetz, mit dem ein Bundesgesetz über die integrierte Vermeidung und Verminderung von Emissionen aus Dampfkesselanlagen erlassen wird.

Gewerbeordnung 1994 (GewO; BGBl. Nr. 194/1994 i.d.g.F.): Kundmachung des Bundeskanzlers und des Bundesministers für wirtschaftliche Angelegenheiten, mit der die Gewerbeordnung 1973 wiederverlautbart wird.

Richtlinie für die Ablagerung von Abfällen (Hrsg.: Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie und Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft). Wien, September 1990)

Umweltbundesamt GmbH

Spittelauer Lände 5
1090 Wien/Österreich

Tel.: +43-(0)1-313 04

Fax: +43-(0)1-313 04/5400

office@umweltbundesamt.at

www.umweltbundesamt.at

Von der Ablagerung von Abfällen auf Deponien können durch Schadstoffe im Abfall und Umweltwandlungsprozesse im Deponiekörper Gefahren für Umwelt und Gesundheit ausgehen. In Deponien finden sich aber auch Wertstoffe, die in Zeiten wachsenden Ressourcenbedarfs wieder einer Nutzung zugeführt werden können. Im Report „Deponierückbau“ gibt das Umweltbundesamt einen Überblick zum Ist-Stand des Rückbaus von Deponien und analysiert die Möglichkeiten für ein Landfill Mining in Österreich. Dazu werden die bisherigen Erfahrungen im Deponierückbau im deutschsprachigen Raum dargestellt und die technischen Aspekte dokumentiert. Auf Basis der abgelagerten Abfallmengen und Abfallarten in Österreich wird das bestehende Ressourcenpotenzial abgeschätzt, eine ökonomische Bewertung durchgeführt und die Klimarelevanz der Wertstoffrückgewinnung analysiert.