

# Landfill Mining – Option oder Fiktion ?

Dr. Georg Mehlhart, Dr. Veronika Ustohalova

Workshop des Öko-Institut e.V

10. Februar, Berlin

# Einleitung / Inhalt

---

1. Definitionen
2. Potentiale für Landfill Mining im Vergleich mit anderen Massenströmen
3. Technische Rahmenbedingungen und Kosten für Landfill Mining
4. Weitere Potentiale im Bereich Urban Mining
5. Resümee und Empfehlungen

# Definitionen



- Verpackungsabfälle (< 1a)
  - Elektronik & Elektroabfälle (1 to 10 y)
  - Altfahrzeuge (< 15 y)
  - Andere Abfälle aus Gebrauchsgütern
  - Industrie- und Produktionsabfälle
  - ....
- 
- Wohn- und gewerbliche Gebäude
  - Gebäude & Infrastruktur der Industrie
  - Technische Infrastruktur wie: Straßen, Brücken, Kanäle, Strom- und Datennetze ...
  - **Bauschutt- und Siedlungsabfalldeponien**
  - **Ablagerungen der Industrie inkl. Bergbau**
  - ....

# Potentiale Landfill Mining

## Abschätzungen:

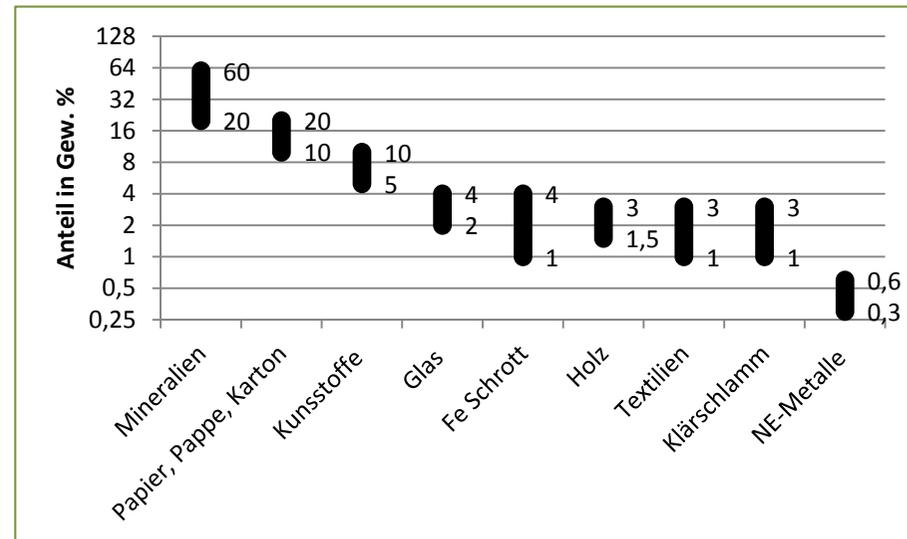
- für Mix Siedlungsabfall, Bauschutt, gewerbliche Abfälle
- Nur Hausmüll
- Bestimmte typische Fraktionen

## Methoden für

- Ermittlung des theoretischen Potentials
- Ermittlung des realen Potentials

## Hochrechnungen:

Siedlungsabfall, Bauschutt, gewerbliche Abfälle seit 1975:  
**2500 Mio. t (z.B. Franke et.al.)**



- Franke, Mocker, Löh;
- Rettenberger;
- Wiemer, Kern;
- Gäth, Nispel;
- Bockreis, Knapp
- ....

# Potential Landfill Mining im Vergleich mit aktuellen Massenströmen

2500 Mio. t <sup>(1)</sup> Siedlungsabfälle, Bauschutt und gewerbliche Abfälle seit 1975 deponiert	Potential aus landfill mining		Massenströme zum Vergleich  Mio. t/a	
	Gesamt Mio. t	Per anno (1%) Mio. t/a		
Fe- Schrott	25 - 100	0,25 - 1	23 18 460	(2008, D) (2009, D) (2009, Global)
NE-Metall-Schott	7 - 15	0,07 - 0,15	0,6 0,3 0,3	Sekundär-Al: (2010, D) Raff. Cu aus Recy.: (2010, D) Raff. Pb + Zn aus Recy.: (2010, D)

<sup>(1)</sup> Nach Franke, Mocker, Löh, 2011

Mehr Details für Import / Export



# Potential Landfill Mining im Vergleich mit aktuellen Massenströmen

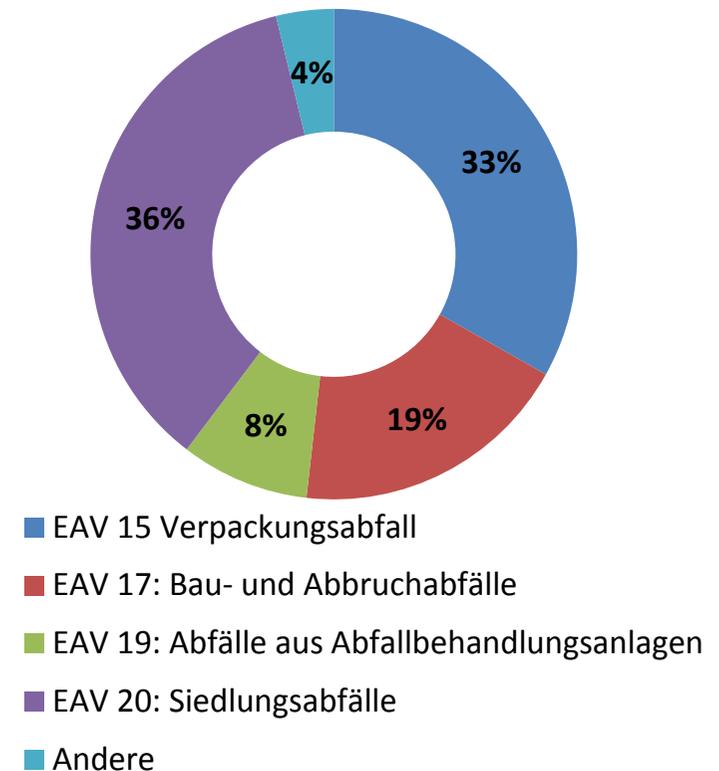
1600 Mio. t <sup>(1)</sup> Siedlungsabfälle seit 1950 deponiert	Potential aus landfill mining		Massenströme zum Vergleich	
	gesamt:	Per anno (1%)		
Vermischte, nicht recyclbare, hoch- und mittel- kalorische Abfälle	486 Mio t <sup>(1)</sup>	4.9 Mio t/a	2.9 Mio t/a 8.4 Mio t/a 20.8 Mio t/a	EBS Zementindustrie (2008, D) EAV 19 + 20 in FEU (2009, D) EAV 19 + 20 in AVA (2009, D)
Phosphor (P)	<i>In 1000 t:</i> 289 KS 58 KS- Asche <sup>(1)</sup>	??	<i>In 1000 t/a:</i> 121 > 24.5 <i>bis zu 60</i>	Handelsdünger (ø2001-11, D) Entsorgt mit Faulschlamm Gesamt Abwasser Kläranlagen

<sup>(1)</sup> Nach Franke, Mocker, Löh, 2011

# Kapazitäten Aufbereitungs- / Verwertungs- / Entsorgungsanlagen

	Kapazitäten in 2008 (Destatis, 2011)	
	Verfügbar (Mio. t/a)	Genutzt (Mio. t/a)
Sortieranlagen	47,8	25,8
MBA	4,7	4,0
Feuerungsanlagen	22,7	14,0
AVA	26,9	23,1
<b>1% der Altdeponien</b>	<b>15 – 25 Mio t/a</b>	

Input Sortieranlagen 2009:  
24,3 Mio t



# Potential Industrieablagerungen

- Werksdeponien
- Untertagedeponien
- Ablagerungen der chemischen Industrie (?)
- Schlacken, Stäuben und Schlämmen aus Eisenhütten

- [Rotschlammhalden](#)



- [Bergbaurückstände](#)



- .....

# Beispiel: Eisengehalte von Schlacken, Stäuben und Schlämmen aus Eisenhütten

	Fe [%]
Hüttensand	0.5 <sup>2)</sup>
HO-Schlacke	0.2 – 0.7 <sup>1)</sup>
Pfannenschlacke	0.8 <sup>2)</sup>
<b>HO-Gichtgasschlamm</b>	<b>25 – 35 <sup>1)</sup></b>
Konverterstaub	64.9 <sup>2)</sup>
Gichtgasstaub	20 – 30 <sup>1)</sup>
LD-Schlacke	20 <sup>2)</sup>
E-Ofenschlacke	28.4 <sup>2)</sup>
OBM-Schlacke	18.2 <sup>2)</sup>

**Potential: 6 – 20 Mio. t, aber: wann? wo? was?**

1) Gara, Schrimpf (UBA AT), 1998  
 2) zitiert nach: Franke, Mocker Löh, 2011

## Zwischen-Resümee

---

- Die hochgerechneten Potentiale an Wertstoffen in den Deponien und industriellen Ablagerungen sind erheblich und noch nicht in allen erforderlichen Details bekannt.
- Nicht alle Potentiale (siehe Phosphor) sind unter den gegebenen Einlagerungs- und Rückbaubedingungen derzeit sinnvoll zugänglich.
- Die Annahme von 1% Rückbau ist angesichts der dann zu verarbeitenden Gesamtmengen und der dafür erforderlichen Anlagenkapazitäten plausibel.
- Unter dieser Annahme könnten z.B. für Fe-Schrott zusätzliche Mengen von 1 bis 5% gegenüber den derzeitigen Wertstoffkreisläufen in den Stoffkreislauf zurückgeführt werden.

# Landfill Mining: Optionen

Abhängig vom Ausgangs-Zustand des Deponiesystems (technische Einrichtungen, Abfallmengen / Abfallbeschaffenheit etc.)

- **In situ:**

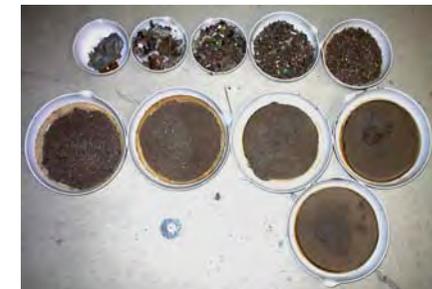
- In situ: Erschöpfung der Möglichkeiten zur Deponiegasnutzung
- Vorbereitung Aushub: „Aerobe in situ Stabilisierung“



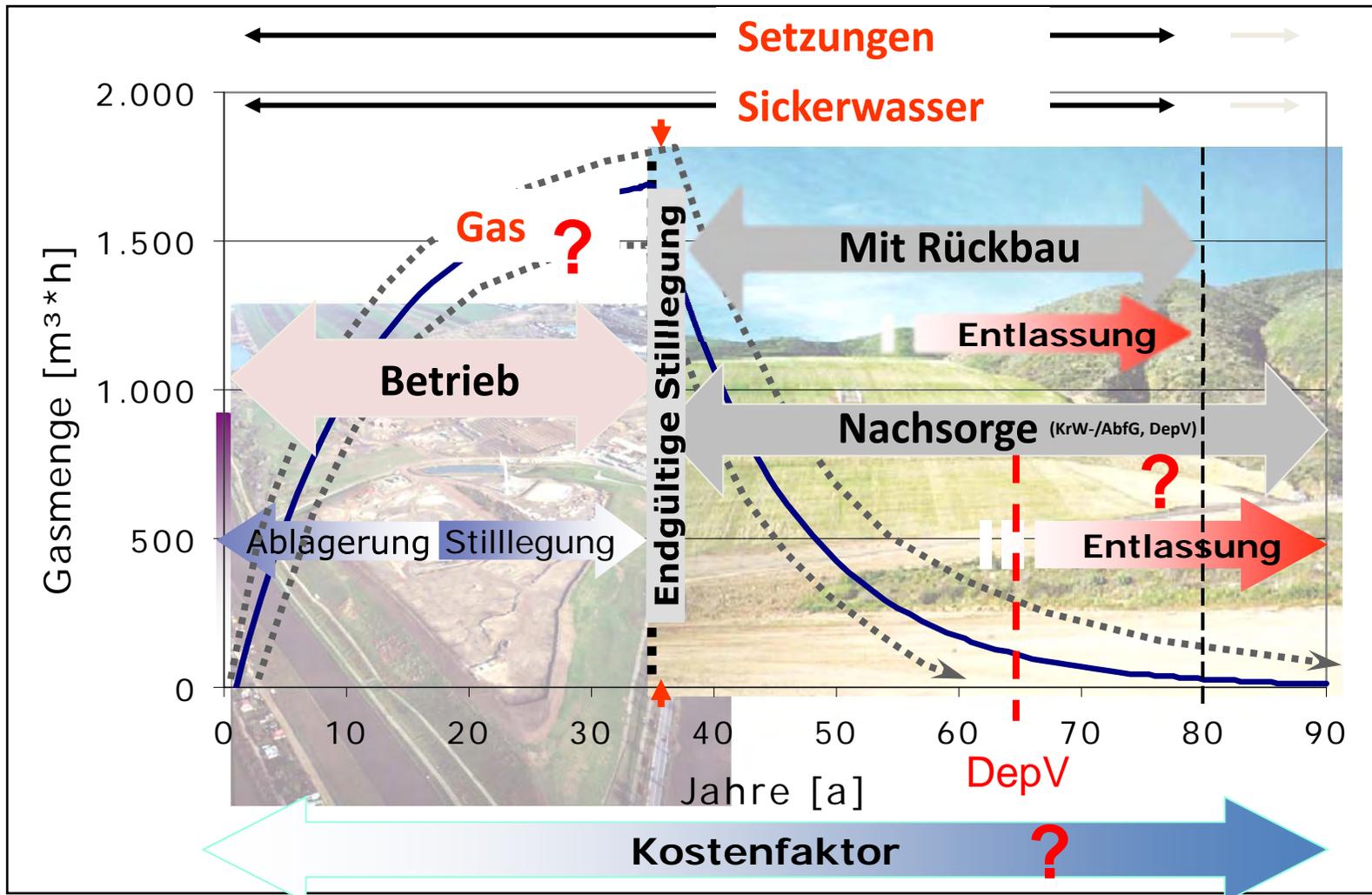
- **Ex situ:**

**Durchführung von Abfallaushub und Rekultivierung**

- Sortierung / mechanische Behandlung / Verwertung
- Entsorgung / Deponierung der Reste, Sanierung der Basis
- Arbeitsschutzmaßnahmen (Gas, *Keime*, *Sporen*)

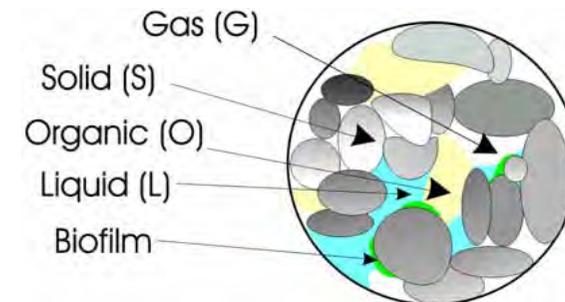
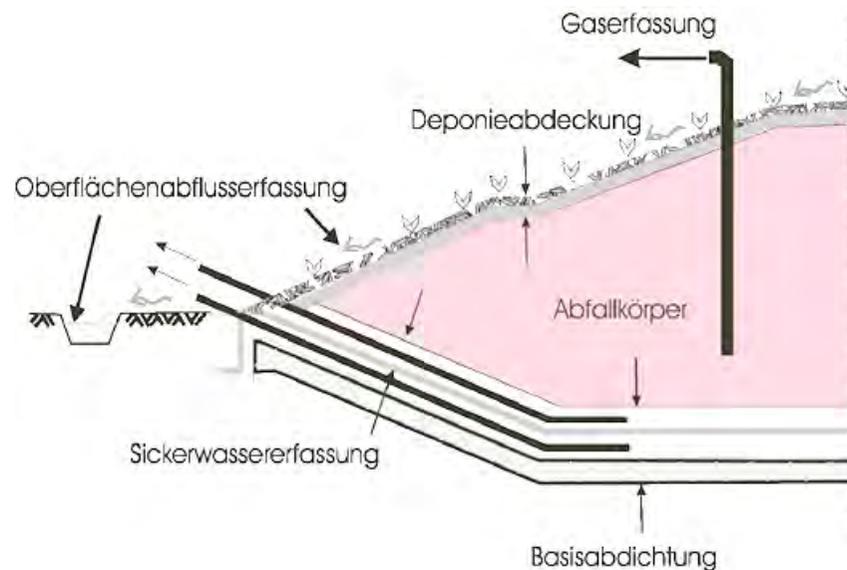


# Dauer und Kosten der Nachsorge versus Rückbau



## Vorerkundungen: Erforderlich aber Bandbreiten sind zu berücksichtigen

- Auswertung der Unterlagen (Deponietagebuch, „Kataster“ etc.)
- Vorerkundungen in situ: z.B. (Methoden aus dem Nicht-deponiebereich wie Boden- und Altlastensanierung)
- Repräsentative Beprobung durch Bohrungen - erschwert durch starke Inhomogenitäten im Deponiekörper



© V. Ustohalova, 2006

# Technische Anforderungen: Aushub mit optional vorgeschalteter Stabilisierungsmaßnahmen

- Geeignete Stabilisierungsmaßnahme des Deponiekörpers je nach Organikanteil – **langfristige Planung**
  - Vor dem Aushub Erschöpfung des Gaspotentials
  - Stabilisierung der Organik mit anschließender in situ Aerobisierung<sup>1)</sup> bzw. mit Geruchsstabilisierungssystem<sup>2)</sup>
- Ausgrabungstechniken: Dünnschicht (0,5 m) / Dickschicht (bis 3 m)



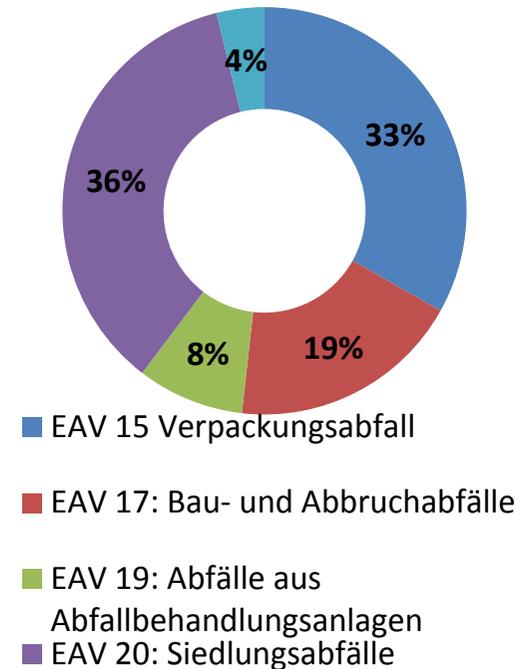
<sup>1)</sup> Nach Ritzkowski, Stegmann 2007; Prantl et. al. 2006

<sup>2)</sup> Nach Rettenberger, 2010

# Sortierung: Bestehende Kapazitäten der Aufbereitungs- / Verwertungs- / Entsorgungsanlagen

	Kapazitäten in 2008 (Destatis, 2011)	
	Verfügbar (Mio. t/a)	Genutzt (Mio. t/a)
Sortieranlagen	47,8	25,8
MBA	4,7	4,0
Feuerungsanlagen	22,7	14,0
AVA	26,9	23,1
<b>1% der Altdeponien</b>	<b>15 – 25 Mio t/a</b>	

**Input Sortieranlagen 2009:  
24,3 Mio t**



Techniken zur Trennung der Wertstoffgemische mit Einschränkungen verbunden

# Kosten Stilllegung/Nachsorge

## Kostenblöcke Stilllegung und Nachsorge bezogen auf gesamtes Deponievolumen<sup>1)</sup>

Maßnahme und andere Kosten	Kosten in (€/m <sup>3</sup> )
Sickerwasserfassung und -behandlung	3,0 – 4,5
Deponiegasfassung und -behandlung	0,2 – 0,9
Alternativ aerobe in situ Stabilisierung	0,5 – 1,0
Temporäre Oberflächenabdeckung*	0,1 – 0,9*
RWI Oberflächenabdichtung (2 Dichtungselemente)	2,8 – 8,2
Personalkosten	0,2 - 1,8
Sonstige Kosten	0,4 – 1,8

\* Nur in Teilbereichen

<sup>1)</sup> Nach Heyer, Hupe, Biesterfeld, Stegmann, 2012

# Gesamtkosten Vergleich Stilllegung/Nachsorge versus Rückbau

Kosten bezogen auf gesamtes Deponievolumen	
Maßnahme	Kosten in (€/m <sup>3</sup> )
Ohne in situ Stabilisierung, Mindestzeitraum 30 a	9 – 22 <sup>*1)</sup>
Ohne in situ Stabilisierung, Mindestzeitraum 40 - 70 a	12 – 27 <sup>*1)</sup>
Mit in situ Stabilisierung, Mindestzeitraum 30 a	7 – 19 <sup>*1)</sup>
Mit in situ Stabilisierung, Mindestzeitraum 40 - 70 a	9 – 25 <sup>*1)</sup>
Kosten Deponierückbau	ab 10 <sup>**2)</sup>
Zusätzliche Entsorgungskosten	ab 20 <sup>2)</sup>
Gesamtkosten inkl. standortabhängige Kosten (aktuell geprüfte Projekte)	bis 40 <sup>2)</sup>

\*Ohne zusätzliche Kosten für Maßnahmen aufgrund von Alterungsprozessen

\*\*bezogen auf m<sup>3</sup> rückgebautes Deponievolumen einschliesslich Rekultivierung der freigelegten Deponiebasis

- 1) Nach Heyer, Hupe, Biesterfeld, Stegmann, 2012
- 2) Nach Rettenberger, 2012

# Einflussfaktoren auf die Realisierbarkeit von Landfill Mining

Faktor	Bemerkung
Alter des Deponiekörpers	Geschichte der Gesetzgebung zur Abfallablagerung, Unterschiede zwischen „Ost“ und „West“
Bislang durchgeführte technische Maßnahmen	Basisabdichtung, Oberflächenabdeckung, Stand der Gasfassung und Sickerwasserbehandlung
Abfallbeschaffenheit und -zusammensetzung	Maßgebend für Aushubarbeiten, Techniken zu weiteren Abfallbehandlung/ -trennung, Arbeitsschutz
Umweltgefährdung	Gefährdung innerhalb einer verkürzten Zeitspanne im Vergleich zur „klassischen“ Deponienachsorge
Zugänglichkeit und Flächennutzung	Maßgebend vor allem bei alten Deponiestandorten
Erlöse / eingesparte Nachsorgekosten	Entscheidungsfindung durch eine Kostenaufstellung
Entsorgungskosten der Reststoffe	Stoffstromanalyse und Auswahl geeigneter Techniken
Zuschüsse	Derzeit bei Forschungsarbeiten; Langfristig ???
Verantwortlichkeiten / Haftungsfragen / Gesetzgebung	Klare Zuordnung hinsichtlich der Verantwortlichkeit und Haftung, Identifizierung des Nachholbedarfs der Gesetzgebung

## Zu berücksichtigende Punkte bei Rückbau nach DWA Merkblatt\*

---

- Projektentwicklung
- Genehmigungsverfahren
- Auswahl der Technik
- Bewertung der Auswirkungen auf die Umwelt
- Nachnutzung des Geländes
- Entsorgung nicht verwertbarer Fraktionen
- Gewinnung und Vermarktung der Fraktionen zur Verwertung
- Kostenermittlung und Wirtschaftlichkeit

\* Veröffentlichung geplant Mitte/Ende 2012

## Zwischenfazit Landfill Mining

---

- Verschiedene Optionen des Landfill Minings sind zu unterscheiden.
- Abgesehen von Sonderfällen werden die Erlöse für Wertstoffe (landfill mining) die Aufwendungen (derzeit) nicht ausgleichen.
- Die Aufwendungen für die klassische Deponienachsorge können maßgeblich für die Entscheidung über einen Rückbau verbunden mit landfill mining sein.
- Für viele Detailfragen besteht noch erheblicher Forschungsbedarf (Arbeitsbedingungen, technische Abläufe, etc.).
- Anpassung der Gesetzgebung wäre notwendig.

## Zum Vergleich: Verlorene Wertstoffe im anderen Feldern des Urban Mining



Zum Beispiel:

- Im Restmüll und hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen
- Elektro- und Elektronik Schrott
- Altfahrzeuge

# Zum Vergleich: Verlorene Wertstoffe im Restmüll und hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen

Mehr Details 

Angaben in [1000 t]	Σ RM + HMG (2006)	Theoretisches Potential	Mix neu
Bio- und Gartenabfälle	4 538	2 269	2 269
Papier und Pappe	2 322	1 161	1 161
Verbundstoffe	1 462	365	1 096
Glas	1 129		1 129
Windeln	784		784
Kunststoffe	1 274	637	637
Metalle	641	321	321
Holz	694	347	347
Textilien, Leder, Gummi	440		440
Feinmüll < 8 mm	2 558		2 558
sonst.Abf.(inkl. min. Abf.)	2 239		2 239
<b>Summe</b>	<b>18 081</b>	<b>5 100</b>	<b>12 981</b>

Quelle: Öko-Institut & Ifeu 2010

# Verlorene Sekundär-Ressourcen: Elektro- und Elektronik-Schrott

2006 - 2008 (3 Jahre)			
	Auf den Markt gebracht [t]	Gesammelter Abfall [t]	Rechnerisch verlorenes Potential [t]
Haushaltsgroßgeräte	2 034 690	954 612	<b>1 080 078</b>
Haushaltskleingeräte	451 341	178 090	<b>273 251</b>
IT- und Telekommunikationsgeräte	936 659	375 092	<b>561 567</b>
Geräte der Unterhaltungselektronik	919 194	389 669	<b>529 525</b>
Beleuchtungskörper	235 494	940	234 554
Gasentladungslampen	81 208	22 191	59 017
Elektrische und elektronische Werkzeuge	363 921	46 217	<b>317 704</b>
Spielzeug sowie Sport- und Freizeitgeräte	142 766	16 612	126 154
Medizinische Geräte	81 839	30 302	51 537
Überwachungs- und Kontrollinstrumente	46 774	5 426	41 348
Automatische Ausgabegeräte	38 799	15 492	23 307

Eurostat

# „Urban Mining“ – mehr als ein Modebegriff

Primär Produktion  $\approx 5$  g/t Au im Erz  
Ähnlich für PGM



## Recycling

$\approx 200$  g/t Au in PC Leiterplatten,  
 $\approx 300$  g/t Au in Mobiltelefonen (o. Batt.)  
 $\approx 2000$  g/t PGM in Autokat-Monolithen



# Verlorene Sekundär-Ressourcen: Elektro- und Elektronik-Schrott



E-Schrott Recycling in  
Ghana, 2011  
© Öko-Institut, A. Manhart

# Verlorene Sekundär-Ressourcen: Elektro- und Elektronik-Schrott



Vernachlässigte Abfälle in  
Ghana, 2011  
© Öko-Institut, A. Manhart

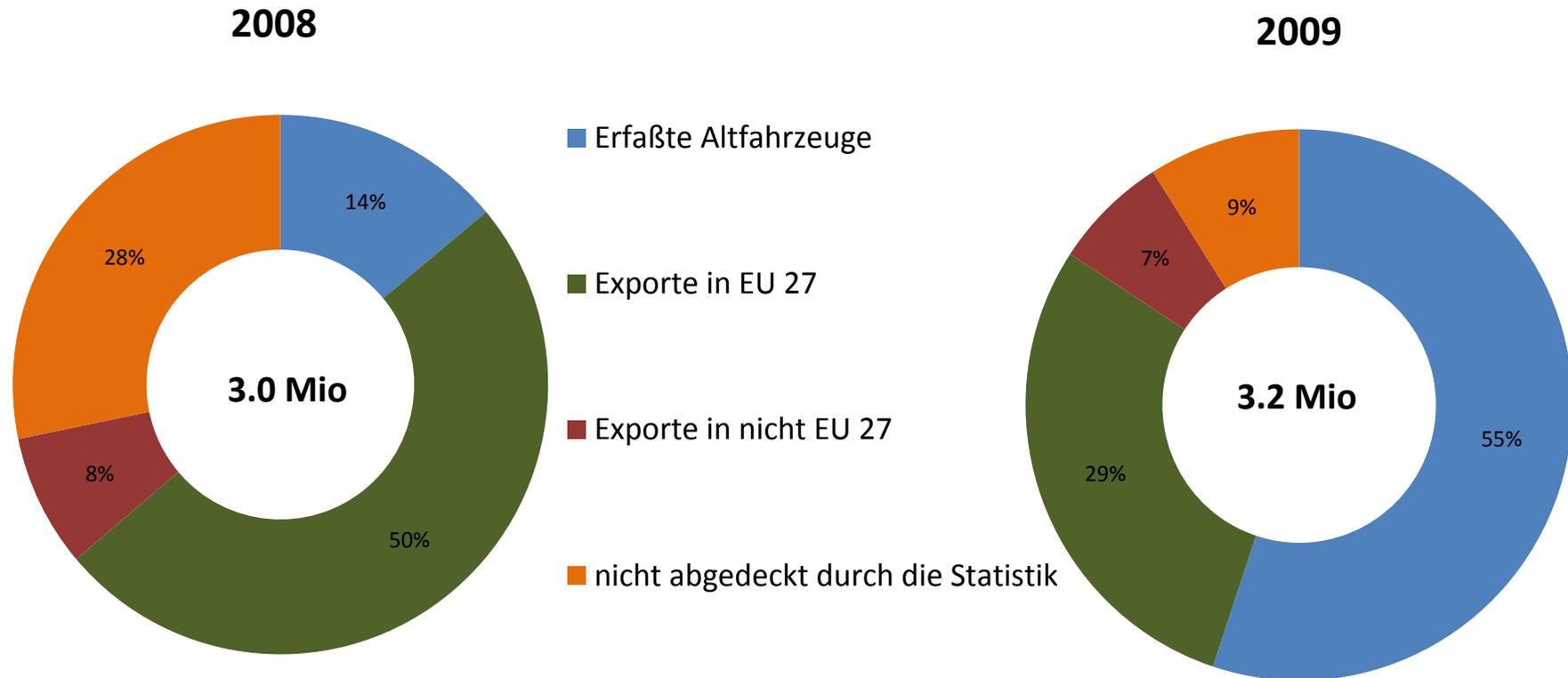


# Verlorene Sekundär-Ressourcen: Notebooks

Metall		Gehalt in allen 2010 in D verkauften Notebooks [t]	Verluste bei der			Rückgewinnung in Deutschland [t]
			Erfassung	Vor- behandlung	End- behandlung	
Kobalt	Co	461,31	50%	20%	4%	177
Neodym	Nd	15,16		100%	100%	0
Tantal	Ta	12,06		100%	5%	0
Silber	Ag	3,11		70%	5%	0,443
Praseodym	Pr	1,94		100%	100%	0
Gold	Au	0,74		70%	5%	0,105
Dysprosium	Dy	0,43		100%	100%	0
Indium	In	0,29		20%	100%	0
Palladium	Pd	0,28		70%	5%	0,040
Platin	Pt	0,028		100%	5%	0
Yttrium	Y	0,012		40%	100%	0
Gallium	Ga	0,010		40%	100%	0
Gadolinium	Gd	0,0048		40%	100%	0
Cer	Ce	0,00069		40%	100%	0
Europium	Eu	0,00028		40%	100%	0
Lanthan	La	0,00008		40%	100%	0
Terbium	Tb	0,00003	40%	100%	0	

Quelle: NRW, LANUV-Fachbericht 38  
 (Öko-Institut 2012: Recycling kritischer  
 Rohstoffe aus Elektronik-Altgeräten)

# Verlorene Sekundär-Ressourcen: Altfahrzeuge

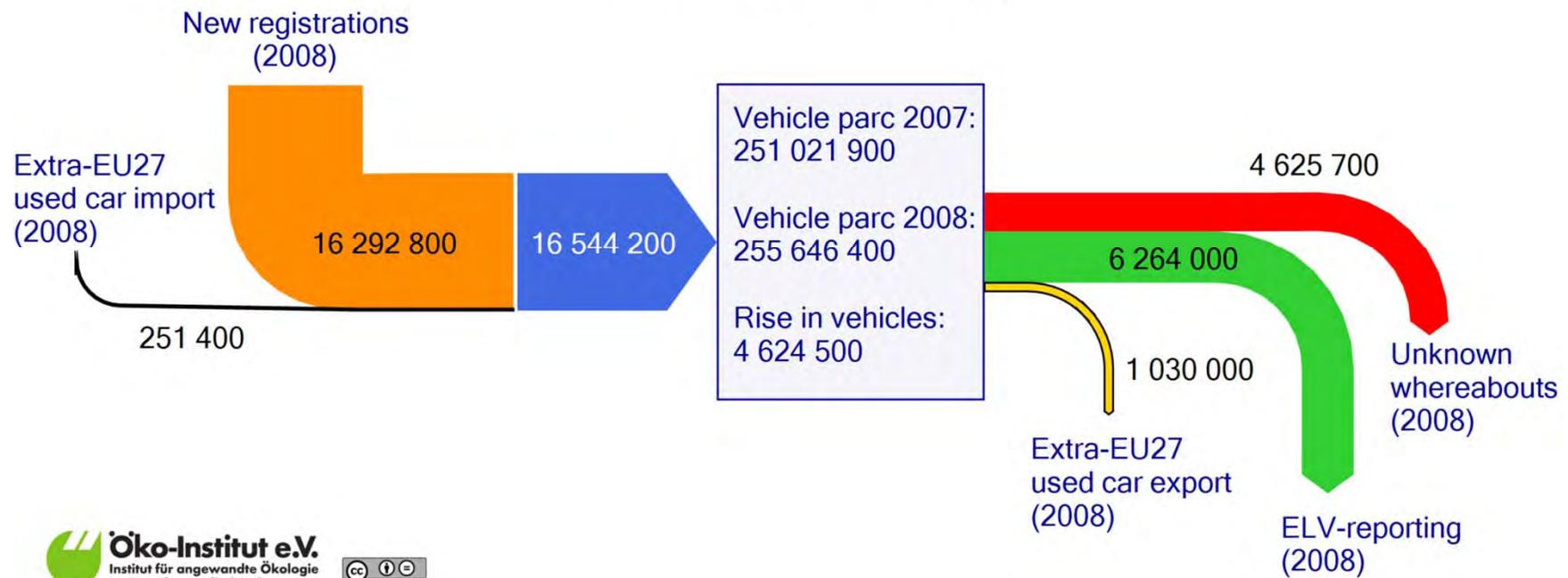


➔ Mehr Details

**Verbleib der in Deutschland gelöschten PKW;**  
Quelle: BMU, Quality Report ELV Directive 29.06.2011

# Verlorene Sekundär-Ressourcen: Altfahrzeuge: EU 2008

Vehicle parc development in Europe - 2008  
(M1+N1 - vehicles)



# Verlorene Sekundär-Ressourcen: Altfahrzeuge



Lagos, Nigeria  
© Öko-Institut, A. Manhart



# Verlorene Sekundär-Ressourcen: Altfahrzeuge – Bleibatterien



Bleirecycling Ghana,  
© Öko-Institut, A. Manhart

## Resümee 1/3

---

- Es gibt (derzeit noch) keine ausreichende praktische Erfahrungen um nachzuweisen, ob landfill mining wirtschaftlich „selbsttragend“ werden wird.
- In besonderen Fällen könnte sowohl die Abfall-Zusammensetzung sowie reduzierte Aufwendungen für Abschluss / Nachsorge / Sanierungen zu wirtschaftlich tragfähigen Lösungen führen.
- Die Wertstoffrückgewinnung ist (derzeit noch) kein maßgebliches Argument für einen Deponie-Rückbau, bisher stehen Umweltaspekte im Vordergrund.

## Resümee 2/3

---

- Die Wertstoff-Potentiale im Bereich der kurzlebigen Konsumgüter sind noch erheblich. Hier sind entsprechende Ziel- und Rahmensetzungen Voraussetzung für eine bessere Ausschöpfung dieser Potentiale.
- Systemvergleiche / Ökobilanzen für landfill mining inklusive der nachgeschalteten Verwertungs- / Entsorgungsvarianten sind notwendig um die ökologische Sinnhaftigkeit zu untersuchen.
- Darüberhinaus sollten die ökologischen Potentiale des landfill minings mit noch bestehenden Potentialen beim urban mining von kurz- und langlebigen Gütern verglichen werden.

## Resümee 3/3

---

- Es gibt erhebliche Überkapazitäten (> 10 Mio. t/a) bei Sortieranlagen, thermischen Abfallbehandlungsanlagen und Feuerungsanlagen mit energetischer Verwertung. Diese Tatsache kann einerseits für landfill mining Projekte (derzeit) zu einer Kostendämpfung führen. Andererseits müssen in die Entscheidungsfindung von konkreten Projekten viele weitere wichtige Aspekte einfließen.

# Empfehlungen



- “Design for reuse”.
- “Design for recycling”.
- Export von gebrauchten Gütern:
  - Unterbindung der illegalen Exporte.
  - Unterstützung der Recyclinginfrastruktur in Partnerländern.
  - „Best of two world approach“.
- Bessere Investitionsbedingungen für Recycling: Die Wirtschaftlichkeit des Recycling wird z.B. durch den Wettbewerb mit Feuerungsanlagen in Frage gestellt.
  - Ehrgeizigere Ziele für Recycling.
  - Einbindung der Verantwortung der Hersteller.
  - Unterstützung innovativer Sammel- und Recycling Technologien.
  - Vermeidung dissipativer Verluste von “high tech materials“ (Substitution?)

# Empfehlungen



Urban  
Mining



Langfristige  
Investitionen

- „Design for reuse“.
- „Design for recycling“.
  - (Neue) Deponien sollten bereits für landfill mining vorbereitet sein;  
→ EU27 and beyond.
  - (Alte) Ablagerungen sollten solange vorgehalten werden bis ein Recycling wirtschaftlich ist.
  - Vorbereitende Entwicklung von BAT / Standards (Technik / Genehmigung) sinnvoll.
  - Vorbereitende Bereitstellung von Informationen über die Ablagerungen (Charakter / Kataster) sinnvoll für Kostenschätzung und Prioritätensetzung / Reihenfolge des Rückbaues / landfill mining.

Kontakt:

Dr. Veronika Ustohalova [v.ustohalova@oeko.de](mailto:v.ustohalova@oeko.de)

Dr. Georg Mehlhart [g.mehlhart@oeko.de](mailto:g.mehlhart@oeko.de)

Öko-Institut e.V.  
Rheinstraße 95  
64295 Darmstadt

Öko-Institut e.V.  
Merzhauser Straße 173  
79100 Freiburg