



Umweltforschungsplan
des Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz und Reaktorsicherheit

Abfallwirtschaft

Förderkennzeichen (UFOPLAN) 205 33 311

Beispielhafte Darstellung einer
vollständigen, hochwertigen
Verwertung in einer MVA
unter besonderer Berücksichtigung der Klimarelevanz

- KURZFASSUNG -

von
Horst Fehrenbach
Jürgen Giegrich
Sameh Mahmood

ifeu
Institut für Energie-
und Umweltforschung
Heidelberg

**im Auftrag
des Umweltbundesamtes**

Oktober 2007

Berichts-Kennblatt

1. Berichtsnummer UBA FB	2.	3. Umweltplanung/Ökologie
4. Titel des Berichts Beispielhafte Darstellung einer vollständigen, hochwertigen Verwertung in einer MVA unter besonderer Berücksichtigung der Klimarelevanz		
5. Autor(en), Name(n), Vorname(n) Fehrenbach, Horst Giegrich, Jürgen Sameh Mahmood	8. Abschlussdatum Oktober 2006	
	9. Veröffentlichungsdatum	
6. Durchführende Institution (Name, Anschrift) ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH Wilckensstraße 3 D-69120 Heidelberg	10. UFOPLAN-Nr. 205 33 311	
	11. Seitenzahl 102 (+ 30 Anhang, Verzeichn.)	
7. Fördernde Institution (Name, Anschrift) Umweltbundesamt Wörlitzer Platz 1 D-06844 Dessau	12. Literaturangaben 36	
	13. Tabellen und Diagramme 19	
	14. Abbildungen 36 (+16 im Anhang)	
15. Zusätzliche Angaben		
16. Kurzfassung Das „Ziel 2020“ verfolgt eine möglichst vollständige Verwertung von Siedlungsabfällen und damit eine weitgehende Abkehr von der oberirdischen Deponierung. Es umfasst auch eine vollständige stoffliche Verwertung der Reststoffe der MVA – insbesondere den massenmäßig bedeutendsten Stoffstrom Schlacke. Neben dem stofflichen Verwertungsaspekt stehen aber auch die Frage der Energienutzung (Effizienz, Substitution primärer Energieträger) sowie die Gewährleistung eines niedrigen Emissionsniveaus als Kriterien im Vordergrund. Ein Screening über die Gesamtheit der MVA in Deutschland zeigt, dass in Bezug auf stoffliche Verwertung bereits ein hohes Maß an Umsetzung erreicht ist. Hinsichtlich der Energieeffizienz der Anlagen ergibt sich eine sehr große Bandbreite. Bei den Schadstoffemissionen wiederum sind durchgehend niedrige Werte festzustellen. Anhand von vier Anlagenfallbeispielen wurde untersucht, wie sich eine besonders gute Erfüllung der drei Aspekte (1. stoffliche Nutzung, 2. energetische Nutzung, 3. Emissionsminimierung) in den Indikatoren CO ₂ , NO _x , Hg und Cd-Emission niederschlägt. Als entscheidender Faktor stellt sich dabei die Effizienz der Energienutzung heraus. Eine Kostenanalyse zeigt die vielschichtige Abhängigkeit der Kostenfaktoren, die je nach Basisannahme insgesamt eine Kostensteigerung wie auch Kostenminderung errechnen lassen. Anhand von Ist- und Optimierungsszenarien wurden eine CO ₂ -Bilanz und Kostenanalyse durchgeführt. Einer potenziellen Gesamteinsparung von 3 Mio. t CO ₂ /a stehen dabei Kosten gegenüber, die nicht über denen der ehemals durchgeführten Schlackedeponierung liegen.		
17. Schlagwörter MVA, Ziel 2020, vollständige Verwertung, Energieeffizienz, Schlackeaufbereitung, Mineralstoffe, CO ₂ , NO _x , Cadmium, Quecksilber, Kosten.		
18. Preis	19.	20.

Report Documentation Sheet

1. Report No. UBA-FB	2.	3. Environmental Planning/Ecology
4. Report Title Exemplary assessment of an entire and high value recovery in a MSWI with special regard on climate relevance		
5. Author(s), Family Name(s), First Name(s) Fehrenbach, Horst Giegrich, Jürgen Sameh Mahmood		8. Report Date October 2006
		9. Publication Date
6. Performing Organisation (Name, Address) ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH Wilckensstraße 3 D-69120 Heidelberg		10. UFOPLAN - Ref.-No. 205 33 311
		11. No. of pages 102 (+ 30 Annex, Index)
7. Sponsoring Agency (Name, Address) Umweltbundesamt Wörlitzer Platz 1 D-06844 Dessau		12. No. of references 36
		13. No. of tables, diagrams 19
		14. No. of figures 36 (+16 annex)
15. Supplementary Notes		
16. Abstract The "Goal 2020" of German waste management policy defines the entire recycling/recovery of municipal waste and the abandonment of disposal above ground to a great extent. Thus an entire material recycling and re-use also of the MSWI (Municipal Solid Waste Incineration) residuals is required, especially the mass-relevant slag. Apart from the material aspect the energy efficiency issue (actual substitution of primary energy carriers) is another decisive criterion as well as assurance of low pollutant discharge. Screening of all MSWI in Germany in terms of these criteria ends up with rather positive results. A large mass percentage of the mineral residues are yet conveyed to material recycling. According to energy use there is a wide bandwidth from rather high to rather low efficiency. The assessed emission levels again show an overall high standard performance. Four exemplary plants – each representing one of the three criteria in special way plus one low standard reference plant – were assessed by mass flow calculation and evaluating by the indicators CO₂, NO_x, Hg and Cd emissions – caused by the plants and replaced by material and energy substitution. The energy efficiency turns out to the most decisive factor. A rough cost analysis looking at measures for entire recovery shows that cost increase as well as decrease can be figured out depending on basic presumptions. Scenarios for status quo and optimization at national scope were calculated to combine CO₂ balance and costs. It concludes in a potential saving of about 3 million t CO₂/a, whereas cost won't increase in higher magnitude than preventing landfill costs for slag disposal have saved.		
17. Keywords MSWI, "goal 2020", entire recovery, energy efficiency, slag treatment, CO ₂ , NO _x , cadmium, mercury, costs		
18. Price	19.	20.

Kurzfassung

Diese Studie hat zum Ziel, das Potenzial und die Erfordernisse der vollständigen, hochwertigen Verwertung im Sinne des Ziels 2020 aufzuzeigen und vor dem Hintergrund des Klimaschutzes wie auch weiterer Umweltschutzaspekte zu bewerten.

Die Kernfragen dazu formulieren sich wie folgt:

- Nach welchen Kriterien wird die Erfüllung einer vollständigen Verwertung bewertet?
- In welchem Umfang sind diese Kriterien bereits erfüllt?
- Wäre eine flächendeckende Umsetzung dieser Kriterien erreichbar?
- Wie hoch wäre der ökologische Nutzen, wie hoch die ökonomischen Kosten einzuschätzen?

Folgende Kriterien wurden zu Grunde gelegt:

1. *stofflicher* Aspekt: in welchem mengenanteiligen Umfang und welcher Qualität werden Schlacke, Metalle und andere Materialströme verwertet?
2. *energetischer* Aspekt: mit welcher Effizienz wird der Energieinhalt des Abfalls genutzt?
3. *umweltbezogene* Aspekte:
 - a. in welchem Umfang wird zu Klimaschutz beigetragen (hauptsächlich eine Funktion aus den beiden oberen Aspekten)?
 - b. inwieweit ist die Minimierung der Schadstofffreisetzung in die Umweltmedien erfüllt (oder durch die anderen Kriterien beeinträchtigt)?

Screening der Anlagen in Deutschland

In Form eines Screenings wurden die „Erfüllungsgrade“ des Anlagenparks in Deutschland mit seinen ca. 70 MVAn analysiert. Das Ergebnis ist insgesamt sehr positiv zu werten. Die Verwertung von Stoffströmen reicht danach bereits nahe an die Vollständigkeit. Nur geringe Massenströme werden aktuell noch explizit deponiert. Allerdings muss eingeräumt werden, dass der gesetzlich als Verwertung anerkannte Versatz eine bedeutende Rolle dabei einnimmt. Für manche Stoffströme, z.B. Filterstäube oder Stoffgemische und Senken der Abgasreinigung, zeichnen sich auf der Ebene der Verwertung hier keine ökonomisch gangbaren Alternativen ab.

Für den Hauptmassenstrom, der Schlacke, wird bereits heute mindestens die Hälfte als Baumaterial eingesetzt. Das wesentliche Verfahren zur Gewährleistung der einschlägigen (aber nicht mehr gültigen) LAGA-Kriterien (Z2) ist dabei die dreimonatige trockene Zwischenlagerung. Wenige Betreiber setzen zusätzlich die Schlackenwäsche an, um weitergehende Kriterien zu erfüllen. Darüber hinausgehende Maßnahmen, z.B. Verglasung oder Sinterung der Schlacke, werden nicht (mehr) praktiziert.

Etwas mehr als die Hälfte der Anlagen ist mit nassen Abgasreinigungsverfahren ausgestattet und ist daher im Stande, hier die Stoffströme differenziert zu gestalten. Zahlreiche Anlagen erzeugen Gips, einige Salzsäure oder industriell nutzbares Salz. Dieses Vorgehen ist prinzipiell unter dem Aspekt einer höherwertigen Verwertung positiv zu beurteilen.

Andererseits ist festzustellen, dass hier im Vergleich sehr geringe Massenströme auftreten.

Im Hinblick auf Energienutzung weist die Gesamtheit der MVAn eine weite Bandbreite auf, über die hinweg sie sich ohne erkennbare Häufungen in gleichmäßiger Reihung verteilen. Zahlreiche Faktoren sind dabei Ursache für die Effizienz im Einzelnen. Besonders entscheidend sind die Standortgegebenheiten. Nähe zu Siedlungsräumen und Industrie bieten die Option einer umfassenden Wärmenutzung. Auch das Alter der Anlage ist ein wichtiger Faktor, da erst im Verlaufe der 90er Jahre der „Nebenzweck“ der Energienutzung deutlich stärker in den Vordergrund trat.

Aufgrund der Umsetzung der Grenzwerte der 17. BImSchV ist erfreulicherweise nahezu durchgängig ein sehr niedriges Emissionsniveau gegeben. Wiederum zumeist altersbedingt ist bei einer meist kleineren Anzahl an Anlagen fallweise eine deutlich überdurchschnittliche Emissionsrate zu erkennen. So bei SO_2 , den Schwermetallen und auch den Dioxinen/Furanen. Die Grenzwerte sind dabei jedoch stets sicher unterschritten. Relativ hohe Ausschöpfungsraten sind bei NO_2 z.T. gegeben. Dies ist insofern nachvollziehbar, als die NO_x -Minderung spezifischer energie- und/oder betriebsmittelintensiver Anstrengungen bedarf, während Staub, saure Gase und Metalle zumeist, dank der Kombination verschiedener Stufen (Filter, Absorption, Koksadsorption), fast zwangsläufig abgemindert werden.

Der Versuch, Zusammenhänge zwischen Reinigungstechniken und Abgaswerten oder Abgaswerten und Energieeffizienz herauszuarbeiten, führte zu keinem Ergebnis. Die Zusammenhänge innerhalb einer MVA sind zu komplex, um mit einfachen Kategorien (z.B. nasse Wäsche/quasitrockenes Verfahren, Festbettfilter/Flugstromverfahren) Leistungsmerkmale verbinden zu können. Selbst die Höhe des Eigenenergieverbrauchs konnte anhand der empirischen Werte nicht systematisch mit Verfahrensarten in Korrelation gebracht werden.

Falluntersuchungen

Aufschlussreich ist daher die detaillierte Analyse von vier Beispiel-MVAn, der dritte Schritt. Die dafür entwickelten Rechenmodelle wurden dabei dankenswerterweise von den entsprechenden Betreibern auf Stimmigkeit und Kongruenz mit den realen Betriebswerten überprüft. Ziel dieses Arbeitsschritts war, die Stoffströme von konkreten Anlagen insgesamt nachzuvollziehen, und die Aspekte der stofflichen und energetischen Verwertung im Zusammenhang mit den anlageneigenen Emissionen zu bewerten. Als Leitindikatoren wurden dabei CO_2 (fossil), NO_x , sowie Quecksilber und Cadmium gewählt. Betriebsmittel- und externe Energieverbräuche wurden dabei genauso berücksichtigt wie die eingesparten Emissionen durch die Substitution von primären Rohstoffen und Energieträgern.

Die vier Anlagen wurden ausgewählt mit Blick auf hohe Erfüllung eines der Kernaspekte (1. stoffliche Nutzung, 2. energetische Nutzung, 3. Emissionsminimierung), sowie in einem Fall auf mäßige Erfüllung all dieser Aspekte, sozusagen als Vergleichsanlage.

Im Ergebnis zeigen die drei fortschrittlichen Anlagen über die gesamte Breite der Indikatoren eine insgesamt die Umwelt entlastende Bilanz. Die vermiedenen Emissionen sind stets höher als die selbst verursachten. Ganz herausragende Bedeutung hat dabei die Energienutzung. Sie stellt sich in dieser Analyse als der umweltseitige Dreh- und Angelpunkt dar. Eine günstige Energiebilanz verweist dabei jeden weiteren technischen Abschlag als zweitrangig. Einzige Ausnahme dabei bildet die Quecksilberemission. Hier spielt im Rahmen der dokumentierten Bandbreite die direkte Emission der Anlage – wenn in der oberen Bandbreite – die entscheidende Rolle. Emissionen im Bereich der unteren Bandbreite werden dagegen ebenso leicht von den Emissionsgutschriften für Energie überkompensiert.

Nach der Energieeffizienz ist die Rückgewinnung der Metalle aus der Schlacke der wichtigste Faktor. Aus Sicht der Klimarelevanz, aber auch der anderen Emissionsparameter, ist die Frage der Verwertung von Schlacke und Stoffströmen der Abgasreinigung deutlich nachrangig. Hier stellen sich andere Kriterien in den Vordergrund wie: sichere dauerhafte Einbindung der Spurenmetalle in die Schlacke, um eine Verwertung möglichst uneingeschränkt möglich zu machen.

Schließlich wurden die relevanten Maßnahmen zur Erfüllung der Vorgaben für eine vollständige Verwertung identifiziert. Hierbei wurde erkannt, dass auf der Ebene der Emissionsminderung kein vorrangiger Handlungsbedarf besteht. Die maßgeblichen Potenziale bestehen dagegen auf Seiten der Energienutzung. An zweiter Stelle steht die möglichst umfassende Verwertung der Metalle.

Kostenanalyse

Im vierten Schritt wurden Einschätzungen zu den Kosten der verschiedenen Maßnahmen zur Erfüllung der Vorgaben für eine vollständige Verwertung bzw. der zuvor gezeichneten Szenarien gegeben. Hier zeigte sich die vielschichtige Abhängigkeit der Kostenfaktoren, die je nach Basisannahme insgesamt eine Kostensteigerung wie auch Kostenminderung errechnen lassen.

Zusammenführung der Potenziale

Im letzten Schritt wurden Ist- und Optimierungsszenarien für die Kriterien CO₂ und weitere Umweltfaktoren sowie eine Kostenanalyse durchgeführt. Hierzu wurde eine Abschätzung der Potenziale für eine möglichst realitätsnahe Optimierung getroffen und Szenarien dem Ist-Zustand gegenüber gestellt. Dabei zeigte sich, dass auf einer im Mittel bereits aus Umweltschutzsicht positiv zu wertenden Ausgangslage,

- eine maßvolle Optimierung der Energieeffizienz (von im Mittel 10 % Netto-Stromwirkungsgrad auf 14 %, sowie von 30 % Wärmenutzung auf 45 %),
- und eine umfassende Verwertung der Metalle
- sowie eine teilweise Umsetzung einer weitergehenden Schlackebehandlung

CO₂-Minderungen im Bereich von rund 3 Mio. t/a erwirken können. Die Kosten dafür bewegen sich unter ungünstigen Annahmen unterhalb der längst nicht mehr anfallenden

Kosten für die Deponierung von Schlacke. Unter günstigen Annahmen ist Kostenneutralität, sogar eine gewisse Nettoeinsparung nicht auszuschließen.

Handlungsempfehlungen

Als erste Empfehlung liegt die Auslotung und Realisierung der **energetischen** Optimierungspotenziale auf der Hand. Hierbei ist jede einzelne Anlage für sich zu betrachten. Eine Reihe von MVAn kann bereits als optimal beurteilt werden. Bei anderen werden die Potenziale anlagen- und standortspezifisch gelagert sein.

Von hoher Wichtigkeit ist dabei die Auseinandersetzung mit den räumlich gegebenen Versorgungsstrukturen. Kooperation, so MVA und z.B. Stadtwerke nicht bereits in einer Hand liegen, ist hier dringlich geboten, um strukturelle Hemmnisse einer intensivierten Energienutzung auszuräumen.

Im Falle von Anlagenneuplanungen sollten von vornherein Maßstäbe für eine optimale Energienutzung angesetzt werden. Hier können u.U. indirekte Mehrkosten auftreten, wenn ein kostengünstiger Standort (weit außerhalb) eben wegen monetären Gründen von Bauherrenseite unbedingt angestrebt wird.

Zu empfehlen sind auf jeden Fall auch neue Wege der thermischen Nutzung. Fernwärme-Kälte kann u.U. einen beträchtlichen Beitrag zur Erhöhung des Nutzungsgrades leisten. Dieser innovative Ansatz erfordert entsprechendes Engagement von Betreiberseite, vor allem auch von der Politik.

Die Politik kann an verschiedenen Stellen unterstützende Funktion für eine umfassende Energieoptimierung einnehmen. Die Anerkennung des Verwerterstatus für energieeffiziente Anlagen gemäß des ersten Entwurfs der Abfallrahmenrichtlinie ist ein solcher Schritt. Des Weiteren böten auch Fördermaßnahmen im Rahmen z.B. des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) oder des KWK-Gesetzes denkbare Anreizmöglichkeiten.

Mit Blick auf die **stoffliche** Verwertung ist der Schlacke als massenrelevanter Stoffstrom auch in Zukunft Aufmerksamkeit zu schenken. Das Ziel in Richtung uneingeschränktem Einsatz ist schon unter dem Gesichtspunkt der Nachhaltigkeit in gewisser Hinsicht vorgezeichnet. Aktuell sind Wege wie der Versatz sicher opportun und vom Prinzip auch zu begrüßen, insofern der Versatz angeordnet ist. Langfristig sollten die technischen Möglichkeiten weiter ausgeschöpft werden, eine möglichst hohe und langfristig sichere Einbindung potenziell umweltschädlicher Spurenstoffe zu erreichen.

Die Erzeugung von differenzierten und spezifizierten Stoffströmen mit grundsätzlich hochwertigem Verwertungspotenzial (Gips, Salzsäure etc.) ist prinzipiell positiv zu bewerten. Im Kern liegt hierin der Ansatz einer nachhaltigen Stoffwirtschaft mit dem Ziel, primäre Ressourcen zu schonen und endliche Ablagerungsräume (auch Versatzbergwerke) adäquateren Materialströmen zu überlassen. Angesichts der eher geringen Massenströmen und der kaum gegebenen Klimarelevanz ist diesem Punkt jedoch keine Priorität einzuräumen.



Umweltforschungsplan
des Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz und Reaktorsicherheit

Abfallwirtschaft

Förderkennzeichen (UFOPLAN) 205 33 311

Exemplary assessment of an entire
and high value recovery in a municipal solid waste incinerator (MSWI)
with special regard on climate relevance

- SUMMARY -

Horst Fehrenbach
Jürgen Giegrich
Sameh Mahmood

ifeu
Institut für Energie-
und Umweltforschung
Heidelberg

**im Auftrag
des Umweltbundesamtes**

Oktober 2007

Berichts-Kennblatt

1. Berichtsnummer UBA FB	2.	3. Umweltplanung/Ökologie
4. Titel des Berichts Beispielhafte Darstellung einer vollständigen, hochwertigen Verwertung in einer MVA unter besonderer Berücksichtigung der Klimarelevanz		
5. Autor(en), Name(n), Vorname(n) Fehrenbach, Horst Giegrich, Jürgen Sameh Mahmood	8. Abschlussdatum Oktober 2006	
	9. Veröffentlichungsdatum	
6. Durchführende Institution (Name, Anschrift) ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH Wilckensstraße 3 D-69120 Heidelberg	10. UFOPLAN-Nr. 205 33 311	
	11. Seitenzahl 102 (+ 30 Anhang, Verzeichn.)	
7. Fördernde Institution (Name, Anschrift) Umweltbundesamt Wörlitzer Platz 1 D-06844 Dessau	12. Literaturangaben 36	
	13. Tabellen und Diagramme 19	
	14. Abbildungen 36 (+16 im Anhang)	
15. Zusätzliche Angaben		
16. Kurzfassung Das „Ziel 2020“ verfolgt eine möglichst vollständige Verwertung von Siedlungsabfällen und damit eine weitgehende Abkehr von der oberirdischen Deponierung. Es umfasst auch eine vollständige stoffliche Verwertung der Reststoffe der MVA – insbesondere den massenmäßig bedeutendsten Stoffstrom Schlacke. Neben dem stofflichen Verwertungsaspekt stehen aber auch die Frage der Energienutzung (Effizienz, Substitution primärer Energieträger) sowie die Gewährleistung eines niedrigen Emissionsniveaus als Kriterien im Vordergrund. Ein Screening über die Gesamtheit der MVA in Deutschland zeigt, dass in Bezug auf stoffliche Verwertung bereits ein hohes Maß an Umsetzung erreicht ist. Hinsichtlich der Energieeffizienz der Anlagen ergibt sich eine sehr große Bandbreite. Bei den Schadstoffemissionen wiederum sind durchgehend niedrige Werte festzustellen. Anhand von vier Anlagenfallbeispielen wurde untersucht, wie sich eine besonders gute Erfüllung der drei Aspekte (1. stoffliche Nutzung, 2. energetische Nutzung, 3. Emissionsminimierung) in den Indikatoren CO ₂ , NO _x , Hg und Cd-Emission niederschlägt. Als entscheidender Faktor stellt sich dabei die Effizienz der Energienutzung heraus. Eine Kostenanalyse zeigt die vielschichtige Abhängigkeit der Kostenfaktoren, die je nach Basisannahme insgesamt eine Kostensteigerung wie auch Kostenminderung errechnen lassen. Anhand von Ist- und Optimierungsszenarien wurden eine CO ₂ -Bilanz und Kostenanalyse durchgeführt. Einer potenziellen Gesamteinsparung von 3 Mio. t CO ₂ /a stehen dabei Kosten gegenüber, die nicht über denen der ehemals durchgeführten Schlackedeponierung liegen.		
17. Schlagwörter MVA, Ziel 2020, vollständige Verwertung, Energieeffizienz, Schlackeaufbereitung, Mineralstoffe, CO ₂ , NO _x , Cadmium, Quecksilber, Kosten.		
18. Preis	19.	20.

Report Documentation Sheet

1. Report No. UBA-FB	2.	3. Environmental Planning/Ecology
4. Report Title Exemplary assessment of an entire and high value recovery in a MSWI with special regard on climate relevance		
5. Author(s), Family Name(s), First Name(s) Fehrenbach, Horst Giegrich, Jürgen Sameh Mahmood		8. Report Date October 2006
		9. Publication Date
6. Performing Organisation (Name, Address) ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH Wilckensstraße 3 D-69120 Heidelberg		10. UFOPLAN - Ref.-No. 205 33 311
		11. No. of pages 102 (+ 30 Annex, Index)
7. Sponsoring Agency (Name, Address) Umweltbundesamt Wörlitzer Platz 1 D-06844 Dessau		12. No. of references 36
		13. No. of tables, diagrams 19
		14. No. of figures 36 (+16 annex)
15. Supplementary Notes		
16. Abstract The "Goal 2020" of German waste management policy defines the entire recycling/recovery of municipal waste and the abandonment of disposal above ground to a great extend. Thus an entire material recycling and re-use also of the MSWI (Municipal Solid Waste Incineration) residuals is required, especially the mass-relevant slag. Apart from the material aspect the energy efficiency issue (actual substitution of primary energy carriers) is another decisive criterion as well as assurance of low pollutant discharge. Screening of all MSWI in Germany in terms of these criteria ends up with rather positive results. A large mass percentage of the mineral residues are yet conveyed to material recycling. According to energy use there is a wide bandwidth from rather high to rather low efficiency. The assessed emission levels again show an overall high standard performance. Four exemplary plants – each representing one of the three criteria in special way plus one low standard reference plant – were assessed by mass flow calculation and evaluating by the indicators CO₂, NO_x, Hg and Cd emissions – caused by the plants and replaced by material and energy substitution. The energy efficiency turns out to the most decisive factor. A rough cost analysis looking at measures for entire recovery shows that cost increase as well as decrease can be figured out depending on basic presumptions. Scenarios for status quo and optimization at national scope were calculated to combine CO₂ balance and costs. It concludes in a potential saving of about 3 million t CO₂/a, whereas cost won't increase in higher magnitude than preventing landfill costs for slag disposal have saved.		
17. Keywords MSWI, "goal 2020", entire recovery, energy efficiency, slag treatment, CO ₂ , NO _x , cadmium, mercury, costs		
18. Price	19.	20.

Summary

The objective of this study is to enlighten the potential and the requirements in terms of entire and high value recovery in the sense of the “Goal 2020”. This shall be analysed in the light of mitigating greenhouse gas emissions as well as further environmental aspects.

The crucial questions to be answered are:

- According to which criteria can entire recovery be assessed and valued?
- To what extend are these criteria currently fulfilled?
- Is total fulfilment of these criteria a viable option?
- What would be the ecological benefit, how high would be the costs?

These criteria were defined:

1. *material aspect*: what is the percentage of material recycling or re-use of slag, metals and other material flows?
2. *energetic aspect*: by what degree of efficiency the energy content of the waste is used?
3. *environmental aspects*:
 - a. to what degree contributes a plant to climate protection given? (= mainly a function of the two aspects above)
 - b. how far is pollutant discharge to the environmental media minimized (or counteracted by the other criteria)?

Screening the German MSWI plants

All MSWI plants driven in Germany (about 70 by the middle of 2006) were screened according fulfilment of the criteria mentioned above. A rather positive result can be resumed. The percentage of material recycling and re-use reaches nearly hundred percent. Only a small share of the mass flow is currently landfilled. However this result is a little bit lowered by the fact that underground stowage and recovery for landfill construction purpose (both options legislated as recovery) contributes significantly to this positive result. For some material flows (e.g. filter dust, scrubber sludge or mixed salts) alternative high values recycling seem to be economically not viable.

The major mass flow, the slag, is currently applied to road and similar construction purpose by about the half of the mass. The most important treatment technique to meet the requirements (LAGA Z2, currently not more in effect) is aging due to a three month intermediate storage. Few operators apply washing of the slag to meet even advanced targets. Techniques for slag vitrification or sintering are currently not (more) practiced.

About half of the MSWI plants are equipped with wet scrapping systems and can produce rather differentiated mass flows. Numerous plants produce gypsum, some rectify hydrochloric acid or an industrially usable salt. In terms of high value recycling these techniques are to be estimated positively. On the other it has to be stated that only a small portion of the total mass flow is concerned.

With regard on energy efficiency a broad bandwidth gets obvious looking at the plants at large. This is reasoned by several aspects case by case. Site specific circumstances are most decisive. Neighbourhood of residential area or industry is necessary to optimize heat use. The age of a plant is another important parameter. It was in the 90ies when the technical design of MSWIs included more attention on the “secondary aim“ energy usage.

The implementation of the emission standard by the 17th BImSchV has stringently led to a very low level of pollutant discharge by nearly all existing plants in Germany. Again due to age some of the older and smaller plants disclose concentration values significantly above the average, especially with regard on SO₂, heavy metals and dioxins. But even those plants meet the standard values safely. NO_x is the parameter that shows in some cases a rather high exhaustion of the standards. But this is due to the mode of operation for NO_x mitigation is a function of energy and reduction agent input. Dust, acid gases and heavy metals are somehow inevitably reduced because of the multi-stage design of an off-gas treatment utility (filter, absorption, adsorption i.a.).

Within the study a relationship between special abatement technique types and the measured of-gas concentrations was assessed. In result such direct relationships were not identified. The technical interrelations within a MSWI turned out to be too complex to reduce mitigation efficiency rates to a common denominator (e.g. wet scrapping vs. dry absorption). Even the specific energy request for driving the plant could not be correlated to the technical complexity taking the empirical values of the plants into account.

Case studies

Detailed analysis of mass and energy flows have been performed for four exemplary MSWI plants. The operators of the selected plants have thankfully supported the project by delivering required data and re-checking the calculation results figured out by detailed calculation models.

This working step aimed to make the mass flows within existing plants comprehensive and to analyse the pros and probably cons of advanced techniques in terms of climate protection and clean air objectives. The assessment concentrates on following core indicators: CO₂ (fossil), NO_x, mercury and cadmium. Auxiliary and external energy demand is considered as well as the saved emissions by substituting primary resources and energy carriers.

The four plants have been selected with regard on high fulfilment of the core aspects: 1. material recovery/re-use; 2. energy efficiency; 3. pollution control. Each these aspects is favourably fulfilled by one three progressive plants. A fourth plant is selected to represent an older and obviously less advantageous technical standard to give somehow a baseline for the comparison.

Each of the three progressive plants shows over all indicators a positive balance: they all cause less impacts than they substitute. The most decisive parameter in that point is the energy efficiency. A highly advantageous energy balance even leads to better scores in terms of pollutant discharge balance than the best abatement technique because the pre-

„Exemplary assessment of an entire and high value recovery
in a MSWI with special regard on climate relevance“
SUMMARY

vented emissions from average power plants, heating and steam producing plants are much more significant. Just mercury behaves a little different. Here the MSWI itself and its abatement performance affect the results predominantly. But very low emission rates combined with relatively high energy efficiency leads also to an overall relief of mercury burden.

Next to energy efficiency re-gaining and re-use of metals out of the slag is an important factor. With regard on climate protection – but also the other indicators – the recycling of the slag itself (and materials from flue gas cleaning) appears to be of secondary importance. Long-term inclusion of the contained traces of hazardous substances (especially heavy metals) is the most important issue concerning these materials. Slag should be treated to the end of unlimited application options as far as possible. Not at least the magnitude of this mass flow leads to this conclusion.

The most relevant measures for reaching the requirements of overall recovery are identified as follows: there are no acute requirements concerning the standard of pollution control but keeping to that and not retrograding. The highest potentials are given in the energy usage aspect. Re-gaining metals (ferrous and non-ferrous) is most effective in terms of the material aspect.

Cost analysis

The fourth working step was to estimate the costs of the diverse measures for implementing entire recovery. The rough cost analysis resumed that that cost increase as well as decrease can be figured out depending on basic presumptions.

Consolidation of potentials

In a last step scenarios for status quo and optimization were calculated to combine CO₂ balance with costs at national scope. Optimization potentials were assigned to a realistic level. Those were

- a moderate raise of energy usage (status quo: 10 % net electric efficiency optimized to 14 %; status quo: 30 % heat usage optimized to 45 %);
- an entire separation and recycling of metals;
- a partly implementation of a advanced slag treatment.

It concludes in a potential saving of about 3 million t CO₂/a, whereas cost won't increase in higher magnitude than preventing landfill costs for slag disposal have saved. Optimistic presumption can even lead to self-financing if not net savings.

Practical recommendations

At first hand an exploitation of the potentials of **optimizing energy usage** is certainly recommended. This has to be done plant by plant. Some plants can be estimated to be optimal yet today. Concerning the others plants site specific conditions have to be taken into account. Local given infrastructures are decisive factors. Thus cooperation with municipi-

palities is strongly needed to overcome structural deficiencies hindering heat usage expansion. When new MSWIs are projected, priority should be concentrated on optimal energy usage conditions.

New pathways should be evaluated and taken into consideration like using MSWI heat for cooling purposes (air condition, industrial cooling). Forwarding such innovative concepts would needs special efforts by operator and policy. Successful implementation might set a role model for warmer countries, e.g. in Southern Europe.

Policy should provide a number of incentives to promote the optimization of energy efficiency. Granting the status of recovery in terms of the Draft Waste Framework Directives would be an option. Furthermore supporting measures given in the scope of the Renewable Energy Act (EEG) or the CHP can provide incentives.

With a view to **material recycling** slag should be given most attention due to its significant mass flow. Non-restrictive application option should be a general objective naturally from the perspective of sustainability. Current applications like underground stowage might be reasonable as long as stowage is regulated by law. In the long run all technical options should be realized to ensure a safe and long term immobilisation of potentially hazardous trace substances.

In principle it is favourable to produce specified mass flows with generally high value recovery potential (gypsum, hydrochloric acid etc.). This complies with sustainable resource management aiming to preserve natural resources and finite space for disposal (also meant for stowage mines). But this aspect is of secondary importance with view on the relatively low mass flows and the minor relevance in terms of climate protection.