

Alternatives Konzept zum Flugaschenmanagement der Stadt Wien

Florian Huber, Dominik Blasenbauer, Ole Mallow, Franz Winter und Johann Fellner

1.	Methoden	174
2.	Ergebnisse und Diskussion	176
3.	Schlussfolgerung	181
4.	Literatur	182

In Wien werden ungefähr eine Million Tonnen Abfälle pro Jahr thermisch behandelt. Hierfür stehen die vier Verbrennungsanlagen Flötzersteig, Spittelau, Pfaffenau und Simmeringer Haide zur Verfügung. An den Standorten Flötzersteig (drei Verbrennungslinien), Pfaffenau (zwei Verbrennungslinien) und Spittelau (zwei Verbrennungslinien) werden Siedlungsabfälle und siedlungsabfallähnliche Gewerbeabfälle einer Rostfeuerung zugeführt. Am Standort Simmeringer Haide werden drei Wirbelschichtöfen zur Verbrennung von kommunalem Klärschlamm, ein Wirbelschichtofen zur Verbrennung von aufbereiteten Siedlungsabfällen und siedlungsabfallähnlichen Gewerbeabfällen und zwei Drehrohröfen zur Verbrennung von gefährlichen Abfällen betrieben. In den Wiener Verbrennungsanlagen fallen pro Jahr insgesamt etwa 170.000 Tonnen Schlacke, 37.000 Tonnen Flugasche und 2.500 Tonnen Filterkuchen an [20]. Die Zusammensetzung dieser festen Rückstände hängt vom verbrannten Abfall sowie von der Art der Feuerung und Abgasreinigung ab. Während die Schlacke und die Flugasche aus den Wirbelschichtöfen auf eine Reststoffdeponie verbracht werden können, sind die anderen Flugaschen sowie der Filterkuchen als gefährliche Abfälle einzustufen. Sie müssen vor der Ablagerung auf einer Reststoffdeponie mit Zement stabilisiert oder auf eine Deponie für gefährliche Abfälle (Untertagedeponien in Deutschland) verbracht werden. Aufgrund des hohen Phosphorgehaltes kann die Flugasche aus der Klärschlammverbrennung (19.000 t/a) als potentieller Rohstoff für die Gewinnung von Phosphaten herangezogen werden. Die Flugasche aus der Verbrennung von Siedlungsabfällen, siedlungsabfallähnlichen Gewerbeabfällen und gefährlichen Abfällen (insgesamt 18.000 t/a) muss hingegen entsorgt werden. Aktuell wird im Rahmen einer von der Stadt Wien über die Magistratsabteilung 48 (MA48) ko-finanzierten Studie untersucht, welche alternativen Möglichkeiten zur derzeitigen Entsorgungspraxis bestehen, welche potentiellen Vor- und Nachteile damit verbunden wären bzw. inwiefern eine praktische (technisch und wirtschaftlich vertretbare) Umsetzung solcher Alternativen möglich ist.

In der Literatur sind eine Vielzahl von Studien bekannt, die sich mit der Behandlung von Flugaschen aus der Abfallverbrennung befassen – mit dem Ziel einen ungefährlichen Reststoff zu generieren [3, 12, 14, 21]. Ein derartiges Verfahren soll weder mit hohen Kosten noch mit negativen Auswirkungen auf die Umwelt verbunden sein.

1. Methoden

Ziel der im gegenständlichen Beitrag präsentierten Untersuchung ist es in einer Fallstudie fünf Szenarien für das Flugaschenmanagements der Stadt Wien zu vergleichen. Es wird dabei darauf geachtet, dass alle Szenarien mit den gesetzlichen Rahmenbedingungen in Österreich im Einklang sind.

Konkret werden folgende Szenarien erstellt und untersucht:

- A) Untertägige Deponierung in Deutschland,
- B) Stabilisierung mit Zement und obertägige Deponierung auf einer Reststoffdeponie in Wien,
- C) Saure Flugaschenwäsche mit integrierter Zinkrückgewinnung (Flurec-Verfahren),
- D) Thermische Behandlung in einer eigens dafür vorgesehenen Anlage,
- E) Thermische Mitbehandlung gemeinsam mit brennbaren gefährlichen Abfällen in den bereits vorhandenen Drehrohröfen.

Dabei ist festzuhalten, dass Szenario A und insbesondere Szenario B jene Szenarien sind nach denen in Wien Flugaschen derzeit entsorgt werden und die Szenarien C, D und E alternative Szenarien darstellen, deren Potentiale und Grenzen im Vergleich zur aktuellen Praxis untersucht werden sollen.

Gemäß der deutschen Deponieverordnung muss eine Untertagedeponie so ausgestaltet sein, dass die deponierten Abfälle dauerhaft von der Biosphäre ferngehalten werden und keine Nachsorge erforderlich ist. Dies ist in der Regel nur dann erfüllt, wenn die Abfälle vollständig von Halit umschlossen sind [2]. Da es keine derartigen Deponien in Österreich gibt, muss die Flugasche in diesem Szenario nach Deutschland transportiert werden.

Die Stabilisierung der Flugasche mit Zement ergibt ein Material, in dem die in der Flugasche enthaltenen Schwermetalle von der Zementmatrix eingeschlossen sind. Daraus folgt, dass der Schwermetallgehalt und der Abdampfückstand in den Eluaten gering sind und die stabilisierte Flugasche auf einer Reststoffdeponie entsorgt werden kann. Da eine derartige Deponie in Wien vorhanden ist, sind nur kurze Transportwege erforderlich. Allerdings wird durch die Zugabe von Zement und Wasser die zu deponierende Abfallmenge erhöht.

Beim Flurec-Verfahren (saure Flugaschenwäsche mit integrierter Zinkrückgewinnung) handelt es sich um einen Prozess, bei dem sowohl eine Dekontamination der Flugasche als auch eine Rückgewinnung von Metallen stattfindet. Das Verfahren ist in einer Abfallverbrennungsanlage in der Schweiz im Einsatz [7] und wurde von Schlumberger [15] beschrieben. Bei diesem Verfahren wird die Flugasche mit mittels Ionenaustausch

von Quecksilber befreitem sauren Waschwasser aus der ersten Stufe der nassen Abgasreinigung (saure Stufe) in Verbindung gebracht und nach ausreichender Verweilzeit filtriert. Dem Extrakt wird metallisches Zn als Reduktionsmittel zugegeben, wodurch eine Mischung aus den Metallen Cd, Cu und Pb erzeugt wird. Anschließend wird Zn mit einem selektiven Komplexbildner in einem Flüssig-Flüssig-Reaktivextraktionsschritt aus dem Flugaschenextrakt abgetrennt. Nun kann durch Elektrolyse Zn mit einer Reinheit von > 99,99 % hergestellt werden. Das gewonnene Zn kann verkauft werden und die Mischung aus Cd, Cu und Pb kann in einer Nichteisenmetallhütte aufbereitet und getrennt werden. Auswertungen von Fellner et al. [4] zeigen allerdings, dass die Wirtschaftlichkeit dieses Verfahrens erst bei einem Zink-Gehalt der Flugasche von mehr als 50.000 mg Zn/kg Flugasche oder einem Zinkpreis größer 2.500 EUR/t Zn (deutlich über jenem der letzten Jahre: im Schnitt betrug der Zinkpreis etwa 1.500 EUR/t) liegt.

Die thermische Behandlung von Flugaschen ist vor allem in Japan verbreitet. Generell können diese thermischen Verfahren in Sintern, Verglasen und Schmelzen eingeteilt werden. Beim Sintern liegt die Temperatur unterhalb des Schmelzpunkts der Hauptkomponenten, im Fall von Abfallverbrennungsflugasche meist zwischen 700 °C und 1.200 °C [11, 19]. Die Verglasung findet typischerweise bei Temperaturen im Bereich von 1.100 °C bis 1.500 °C statt [14]. Um toxische Flugaschenbestandteile wie Schwermetalle bestmöglich zu immobilisieren, werden Zusatzstoffe, die eine homogene Glasmatrix bilden, eingesetzt. Das Schmelzen unterscheidet sich vom Verglasen dadurch, dass hier keine Zusatzstoffe eingesetzt werden. Bei all diesen Verfahren werden organische Verbindungen in der Flugasche (z.B. polychlorierte Dioxine und Furane oder polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe), durch die hohen Temperaturen zerstört und leicht-flüchtige Schwermetalle, wie Cd oder Hg ausgetrieben. Außerdem weisen die Produkte der thermischen Behandlung eine höhere Dichte und eine geringere Löslichkeit der Schwermetalle im Vergleich zur unbehandelten Flugasche auf, wodurch die Grenzwerte für Reststoffdeponien erfüllt sein können. Die Energie für thermische Behandlung von Flugaschen kann entweder in Form von fossilen Brennstoffen (Hochofen, Drehrohrofen) oder in Form von elektrischer Energie (Lichtbogenofen, Plasmaofen) zur Verfügung gestellt werden [3].

In Wien befindet sich Österreichs größte Anlage zur Verbrennung von gefährlichen Abfällen. Die Verbrennung findet in Drehrohrofen statt, wobei die Temperatur laut Abfallverbrennungsverordnung [1] mindestens 850 °C betragen muss. Bei Abfällen mit niedrigem Heizwert kann es erforderlich sein, dass zusätzlicher Brennstoff zur Erreichung dieser gesetzlichen Mindesttemperatur zur Verfügung gestellt werden muss. In der Wiener Verbrennungsanlage ist vorgesehen, in diesem Fall Heizöl schwer in den Drehrohrofen einzubringen. Erste Versuche [5] haben gezeigt, dass es möglich ist Abfallverbrennungsflugasche zusammen mit brennbaren gefährlichen Abfällen in einem derartigen Drehrohrofen zu behandeln, wobei der Großteil der behandelten Flugasche (> 90 %) in die Schlacke eingebunden wird. Der Betrieb des Ofens wird dadurch nicht wesentlich beeinträchtigt und es tritt ein Sinterungsprozess auf, der dazu führt, dass die in der Flugasche enthaltenen Schwermetalle immobilisiert werden. Die Schwermetallgesamtgehalte als auch die Eluatgehalte der Schlacke liegen unter den Grenzwerten für die Ablagerung auf einer Reststoffdeponie. Bei einer reinen Vermischung von Flugasche

und Schlacke ohne thermische Behandlung wäre dies hingegen nicht der Fall [5]. Bei diesem Szenario wurden nur jene Umweltauswirkungen der Behandlung der Flugasche zugeordnet, die dadurch zusätzlich entstehen (z.B. Verbrauch an Heizöl schwer). Die Auswirkungen, die durch die Behandlung des gefährlichen Abfalls entstehen, wurden nicht berücksichtigt, da diese unabhängig von einer etwaigen Flugaschebehandlung entstehen.

Im Wiener Abfallwirtschaftskonzept [10] werden die 14 Ziele der Wiener Abfallwirtschaft genannt und beschrieben. In dieser Studie wurden fünf dieser Ziele als beispielhafte Indikatoren zur Bewertung der Szenarien herangezogen und für jedes Szenario bestimmt:

1. Geringhaltung von Emissionen: *Die Emissionen von Treibhausgasen, Luftschadstoffen, Gerüchen und Lärm aus der Wiener Abfallwirtschaft sollen so gering wie möglich gehalten werden.*
2. Geringhaltung von Immissionen: *Der Eintrag von Schadstoffen aus der Wiener Abfallwirtschaft in Böden, Wasser und Luft soll so gering wie möglich gehalten werden.*
3. Ressourcenschonung: *Die Wiener Abfallwirtschaft ist nach dem Prinzip der größtmöglichen Ressourcenschonung auszurichten.*
4. Behandlungssicherheit und Autarkie: *Abfälle, die in Wien anfallen, sollen in Wien behandelt werden, wenn es dafür geeignete Anlagen gibt.*
5. Wirtschaftlichkeit: *Die abfallwirtschaftlichen Maßnahmen sollen im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung unter betriebs- und auch volkswirtschaftlichen Aspekten weiter optimiert werden.*

Zusätzlich zu den angeführten Zielen wurde auch die gesicherte großtechnische Umsetzbarkeit der Szenarien bewertet. Für die Erfüllung des Ziels Geringhaltung von Emissionen wurden vor allem die Emissionen an Treibhausgasen berücksichtigt, da diese eng mit der Emission von anderen Luftschadstoffen und im Fall von transportbedingten Treibhausgasemission auch mit der Emission von Lärm verknüpft sind. Für die Beurteilung der Zielerreichung im Bereich Geringhaltung von Immissionen wurden einerseits die Immissionen aus der Deponierung und andererseits die Immissionen aus den entsprechenden Behandlungsverfahren herangezogen. Da nur in Szenario C eine Rückgewinnung von Wertstoffen stattfindet, wurde die Erreichung des Ziels Ressourcenschonung bei den anderen Szenarien dahingehend beurteilt, inwiefern die in Flugasche enthaltenen Metalle in möglichst konzentrierter Form für eine zukünftige Rückgewinnung zur Verfügung stehen. Die Ressource Deponievolumen wurde in dieser Bewertung nicht berücksichtigt. Das Ziel Behandlungssicherheit und Autarkie drückt aus, inwiefern die für die Behandlung und Entsorgung der Flugasche notwendigen Prozesse innerhalb der Stadt Wien stattfinden können, und in welchem Ausmaß diese Prozesse im Hinterland durchgeführt werden.

2. Ergebnisse und Diskussion

Das **Szenario A** stellt die Ablagerung der Abfallverbrennungsflugasche auf einer Untertagedeponie in Deutschland dar. In diesem Szenario sind zwei Prozesse notwendig, um die Flugasche zu entsorgen. Dies sind einerseits der Transport und andererseits die Deponierung. Ein Verfahrensfließbild des Szenarios A ist in Bild 1 dargestellt.

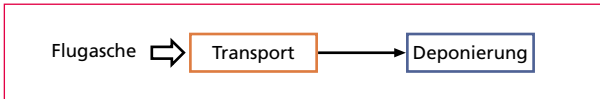


Bild 1:

Verfahrensfliessbild für Szenario A

Der Energieverbrauch für den Transport beträgt in etwa 0,03 l Diesel/(t km) [8]. Je nach Entfernung ergibt sich ein CO₂-Ausstoß von 30 bis 120 kg/t Flugasche (+). Unter der Annahme, dass die Untertagedeponie nicht durch Erdbeben oder ähnliche Ereignisse beeinträchtigt wird, kann davon ausgegangen werden, dass in diesem Szenario keine Immission aus der Flugasche generiert werden (++) . Da in diesem Szenario die Flugasche in ihrer Zusammensetzung nicht verändert wird, würde sie als Rohstoffquelle der Zukunft theoretisch zur Verfügung stehen. Da es jedoch das Ziel einer Untertagedeponie ist, gefährliche Abfälle von der Biosphäre fernzuhalten, kann es als unwahrscheinlich angesehen werden, dass diese je wieder geöffnet werden, was bedeutet, dass das Ziel Ressourcenschonung nicht erreicht wird (--). Da die Entsorgung vollständig im Ausland stattfindet, wird das Ziel Entsorgungssicherheit und Autarkie in diesem Szenario negativ bewertet (--). Aufgrund der zum Teil erheblichen Gebühren für Untertagedeponien wird die Wirtschaftlichkeit dieses Szenarios als mäßig bewertet (0). Da dieses Szenario zum Teil implementiert ist, ist die technische Umsetzbarkeit gegeben.

In **Szenario B** sind ebenfalls sowohl die Prozesse Transport und Deponierung beteiligt. Da in diesem Szenario jedoch eine geeignete Deponie in Wien verfügbar ist, fallen die transportbedingten Umweltauswirkungen wesentlich geringer aus und werden als vernachlässigbar angesehen. Für die Stabilisierung der Flugasche wird jedoch Zement benötigt. Ein Verfahrensfliessbild des Szenarios B ist in Bild 2 dargestellt.

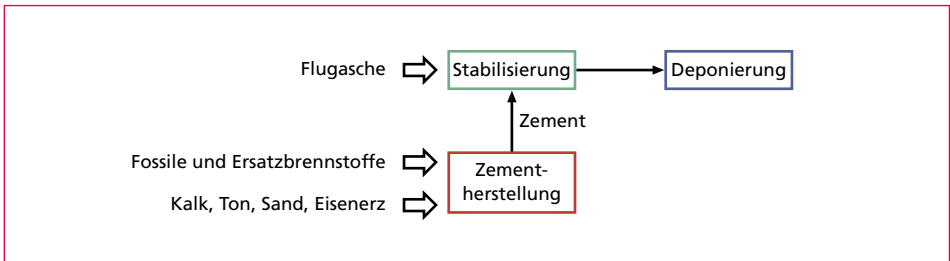


Bild 2: Verfahrensfliessbild für Szenario B

Je nach dem Verhältnis, in dem Flugasche und Zement gemischt werden ergeben sich CO₂-Emissionen von 200 bis 550 kg/t Flugasche [18] (-). Die stabilisierte Flugasche wird auf einer Reststoffdeponie abgelagert. Die Schwermetallkonzentrationen im Eluat der stabilisierten Flugasche ist zwar wesentlich verringert, aber bei sehr hohen oder sehr niedrigen pH-Werten könnten die Schwermetalle dennoch mobilisiert werden [9]. Da aber über Zeiträume von mehreren tausend Jahren davon auszugehen ist, dass es zu keinen relevanten Schwermetallfreisetzungen kommt, wird die Erreichung des Ziels Geringhaltung von Immissionen positiv beurteilt (+). Durch die Vermengung von Flugasche mit Zement, sinkt die Konzentration an wertvollen Metallen. Dadurch wird das Potenzial der Flugasche als zukünftige Ressource stark verringert und das

Ziel Ressourcenschonung daher nicht erreicht (--). Sowohl die Stabilisierung als auch die Deponierung finden innerhalb von Wien statt. Da das letzte Zementwerk in Wien 1996 stillgelegt wurde, ist die Zementherstellung außerhalb der Stadt angesiedelt und die Zielerreichung im Bereich Behandlungssicherheit und Autarkie ist damit moderat (0). Aufgrund der großtechnischen Umsetzung der Zementstabilisierung (nicht nur in der Stadt Wien) wird die wirtschaftliche Realisierbarkeit positiv bewertet (++).

Da in **Szenario C** ein verhältnismäßig komplexer Prozess implementiert wird, besteht hier ein großer Bedarf an Anlagen und Betriebsmittel. Bild 3 zeigt ein vereinfachtes Verfahrensfliessbild der Flugaschebehandlung mittels Flurec-Prozess. Der Prozess wurde im Detail von Schlumberger [15] beschrieben.

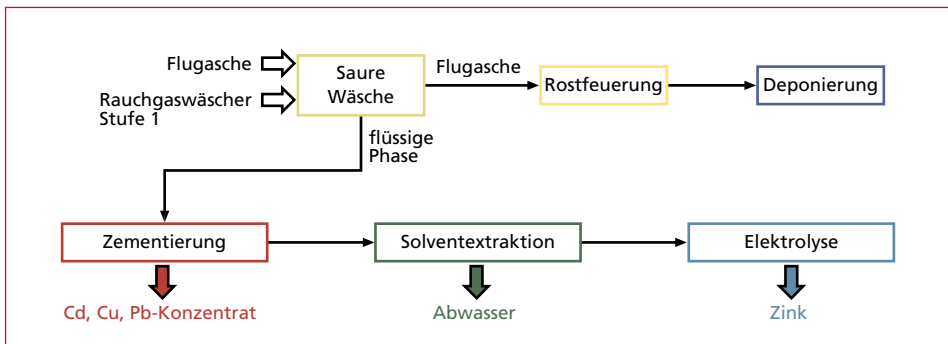


Bild 3: Verfahrensfliessbild für Szenario C

Beim Flurec-Prozess wird die gewaschene Flugasche wieder der Rostfeuerung zugeführt, wobei einerseits die feuchte Flugasche auf die Temperatur im Ofen (mindestens 850 °C) erhitzt werden muss und andererseits das enthaltene Wasser verdampft wird. Unter der Annahme, dass 20 % der Flugasche in Lösung gehen [4] und der Wassergehalt der gewaschenen Flugasche 25 % beträgt, ergeben sich daraus CO₂-Emissionen von 115 kg/t Flugasche. Die CO₂-Emissionen die durch die Erzeugung der benötigten elektrischen Energie anfallen betragen etwa 60–120 kg/t [13]. Andererseits werden je nach Zinkkonzentration in der Flugasche ungefähr 15–35 kg Zn pro t Flugasche produziert. Da bei der Erzeugung von Primärzink 3 kg CO₂/kg Zn emittiert werden [6], können durch den Flurec-Prozess wiederum 60–120 kg CO₂-Emissionen aus der Primärzinkerzeugung eingespart werden. Daraus ergeben sich gesamte CO₂-Emissionen von ungefähr 115 kg/t (0). Die gewaschene Flugasche wird in diesem Szenario der Rostfeuerung zugeführt und letztendlich auf einer Reststoffdeponie abgelagert. Da durch die saure Wäsche der Schwermetallgehalt gesenkt und durch die thermische Behandlung organische Verbindungen zerstört werden, sind die mit der Deponierung potenziell verknüpften Immissionen in diesem Szenario vergleichsweise gering. Die Verwendung von Lösungsmitteln führt jedoch zu erheblichen Immissionen von NMVOC (flüchtige organische Verbindungen ohne Methan) [16], weshalb die Erreichung des Ziels Geringhaltung von Immissionen insgesamt als moderat bewertet wird (0). Beim Flurec-Verfahren kann Zn in Reinform gewonnen werden. Die insgesamt potentiell

rückgewinnbare Zn-Menge aus Wiener Flugaschen ist allerdings gering ($< 200 \text{ t Zn/a}$). Die Metalle Cd, Cu und Pb fallen in konzentrierter Form an, sodass sie von der Nichteisenmetallindustrie weiterverarbeitet werden können. In Summe wird das Ziel Ressourcenschonung in Szenario C am besten erreicht (+). Die gesamte Behandlung und Entsorgung würde in diesem Szenario in Wien stattfinden, was eine hohe Entsorgungssicherheit zur Folge hätte (+). Lediglich die benötigten Anlagen und Betriebsmittel müssen von außerhalb bezogen werden. Die Tatsache, dass die Zn-Konzentrationen in Flugaschen der Wiener Abfallverbrennungsanlagen (größtenteils unter 20.000 mg Zn/kg) deutlich geringer sind, als für eine wirtschaftliche Rückgewinnung erforderlich wäre, führt zu einer negativen Bewertung der wirtschaftlichen Umsetzbarkeit dieses Szenarios (-).

In **Szenario D** würde die Flugasche in einer eigens dafür vorgesehenen Anlage thermisch bei ungefähr $1.000\text{--}1.400 \text{ }^\circ\text{C}$ behandelt und könnte daraufhin auf einer Reststoffdeponie deponiert werden. Ein Verfahrensfließbild des Szenarios D ist in Bild 4 dargestellt. Die Entsorgung der behandelten Flugasche kann auf einer Reststoffdeponie erfolgen. Bei der thermischen Behandlung entsteht jedoch sekundäre Flugasche, die auf Grund des hohen Schwermetallgehalts auf eine Untertagedeponie für gefährliche Abfälle verbracht werden muss. Je nachdem in welchem Ofen die Behandlung stattfindet, wird die benötigte Energie entweder in Form von Elektrizität (Lichtbogenofen, Plasmaofen) oder in Form von fossilen Brennstoffen (Hochofen, Drehrohrofen) zur Verfügung gestellt.

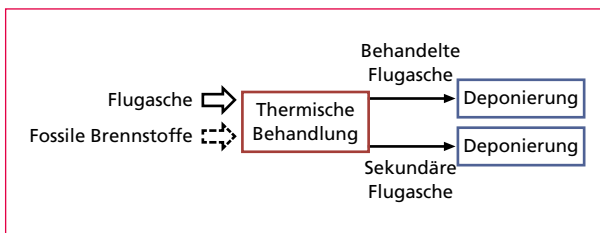


Bild 4:

Verfahrensfliessbild für Szenario D

Bei elektrisch beheizten Öfen liegt der spezifische Energiebedarf bei ungefähr 1.000 kWh/t [3], was beim durchschnittlichen österreichischen Energiemix CO_2 -Emissionen von 170 kg/t Flugasche entspricht [13]. Bei der thermischen Behandlung in einem Hochofen, werden etwa 330 kg Kohle pro t Flugasche benötigt [3], wobei CO_2 -Emissionen von 1.200 kg/t entstehen. Organische Verbindungen werden bei der thermischen Behandlung nahezu vollständig zerstört und die auf der Reststoffdeponie abgelagerte behandelte Flugasche weist im Vergleich zu anderen Szenarien einen verringerten Schwermetallgehalt auf, weshalb das Szenario mit geringen potenziellen Immissionen verbunden ist (+). Flüchtige Schwermetalle werden in der sekundären Flugasche konzentriert, wodurch diese eine potenzielle Rohstoffquelle darstellt, deren direkte Nutzung in Szenario D noch nicht inkludiert ist. Die Erreichung des Ziels Ressourcenschonung wird daher neutral beurteilt (0). Die thermische Behandlung und die Deponierung der behandelten Flugasche finden in Wien statt. Fossile Brennstoffe zur Energiebereitstellung müssen jedoch importiert werden und die sekundäre Flugasche

muss auf eine Deponie für gefährliche Abfälle nach Deutschland verbracht werden. Das Ziel Entsorgungssicherheit und Autarkie wird in diesem Szenario daher nur bedingt erreicht (-). Bestehende Anlagen in Japan zeigen die generelle Umsetzbarkeit dieses Szenarios, wobei vor allem für die benötigte Energie erhebliche Kosten anfallen [3]. Die Wirtschaftlichkeit dieses Szenarios wird daher als eher negativ bewertet (-).

In **Szenario E** wird die Flugasche befeuchtet und in einem bereits bestehenden Drehrohrofen zusammen mit brennbaren gefährlichen Abfällen thermisch behandelt. Es werden hier nur jene Umweltauswirkungen der Flugaschebehandlung zugerechnet, die dadurch zusätzlich entstehen. Umweltauswirkungen, die mit der thermischen Behandlung der brennbaren gefährlichen Abfälle in Zusammenhang stehen, werden hingegen nicht der Flugaschebehandlung zugerechnet. Ein Verfahrensfließbild des Szenarios E ist in Bild 5 dargestellt. Die Schlacke kann auf eine Reststoffdeponie verbracht werden, während die entstehende Flugasche untertägig deponiert werden muss.

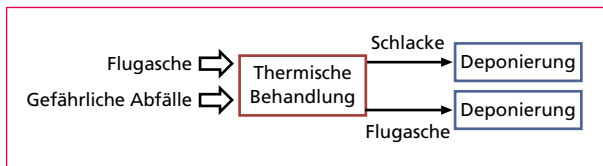


Bild 5:

Verfahrensfliessbild für Szenario E

Da die befeuchtete Flugasche auf 850 °C aufgeheizt und das enthaltene Wasser verdampft werden muss, wird im Drehrohrofen in Abhängigkeit vom Wassergehalt zusätzliche Energie benötigt, die in Form von Heizöl schwer zur Verfügung gestellt wird. Bei einem angenommenen Wassergehalt der feuchten Flugasche von 23 % müssen 48 kg Heizöl schwer verbrannt werden um die Temperatur im Drehrohrofen konstant zu halten, was CO₂-Emissionen von 144 kg/t zur Folge hat [5]. Die Situation in Bezug auf Immissionen in Böden, Wasser und Luft ist in diesem Szenario ähnlich wie in Szenario D. Da die thermische Behandlung jedoch bei niedrigeren Temperaturen stattfindet, ist der Anteil der Schwermetalle, die in die Schlacke eingebunden werden, größer. Daher sind auch etwas größere potentielle Immissionen aus dem deponierten Rückstand zu erwarten, weshalb die Erreichung dieses Zieles als neutral bewertet wird (0). Da die in der Flugasche enthaltenen Metalle Zn und Cu zum Großteil in die Schlacke eingebunden werden, sinkt deren Konzentration [5], was auch eine zukünftige Rückgewinnung unwahrscheinlich macht. Das Ziel Ressourcenschonung wird daher nicht erreicht (-). Die benötigten Anlagen sind bereits in Wien vorhanden und die in die Schlacke eingebundene Flugasche kann auf einer Reststoffdeponie in Wien entsorgt werden. Es ist jedoch mit einem leicht erhöhten Anfall an Flugasche im Drehrohrofen zu rechnen, wodurch etwas mehr Flugasche auf die Untertagedeponie nach Deutschland gebracht werden muss. Außerdem muss der benötigte Brennstoff importiert werden. Da jedoch sowohl der zusätzliche Flugascheanfall als auch die benötigte Brennstoffmenge aufgrund der niedrigeren Temperatur und die gemeinsamen Behandlung mit brennbaren gefährlichen Abfällen in Szenario E wesentlich geringer sind als in Szenario D, wird das Ziel Entsorgungssicherheit und Autarkie insgesamt als erreicht angesehen (+). Testversuche zeigen zwar die potentielle Umsetzbarkeit dieses Szenarios, allerdings reichen bisherigen Daten nicht aus um die Wirtschaftlichkeit beurteilen zu können.

Tabelle 1 zeigt eine Übersicht über die Szenarien A bis E und deren Bewertung in Bezug auf die ausgewählten Ziele des Wiener Abfallwirtschaftskonzepts.

Tabelle 1: Überblick über die Szenarien A bis E und deren Bewertung

	Geringhaltung von Treibhausgasemissionen	Geringhaltung von Immissionen	Ressourcenschonung	Entsorgungssicherheit und Autarkie	Wirtschaftlichkeit	Gesicherte großtechnische Umsetzbarkeit
Szenario A	+	++	--	--	0	++
Szenario B	-	+	--	0	++	++
Szenario C	0	0	+	+	-	0(-)
Szenario D	--	+	0	-	-	0
Szenario E	0	0	-	+	?	?

Rückstände aus MVA

3. Schlussfolgerung

In dieser Studie konnten fünf verschiedene Szenarien für ein alternatives Flugaschenmanagement der Stadt Wien erstellt werden. Außerdem wurden fünf beispielhafte Indikatoren aus den Zielen des Wiener Abfallwirtschaftskonzepts [10] ausgewählt und zur Bewertung der einzelnen Szenarien herangezogen. Das Ergebnis dieser Bewertung ist in Tabelle 1 dargestellt.

Das Ziel Geringhaltung von Treibhausgasemissionen wird am besten in Szenario A (Untertagedeponie in Deutschland) erreicht, da hier nur der Transport Emissionen verursacht. Besonders ungünstig für dieses Kriterium ist die thermische Behandlung in einem eigenen Ofen, aber auch die Stabilisierung mit Zement verursacht durch den *CO₂-Rucksack* des Zements erhebliche Emissionen an Treibhausgasen.

Da bei der Ablagerung auf einer Untertagedeponie im Gegensatz zu einer Reststoffdeponie auch langfristig keine Immissionen an Böden, Wasser und Luft abgegeben werden, ist Szenario A auch für die Erreichung des Ziels Geringhaltung von Immissionen besonders vorteilhaft. Die Stabilisierung mit Zement und die thermische Behandlung in einem eigens dafür vorgesehenen Ofen erzeugen einen inerten Rückstand, von dem langfristig nur sehr geringe Immissionen zu erwarten sind. Dies trifft auch auf das Flurec-Verfahren zu, wobei es hier allerdings durch den hohen Einsatz an Betriebsmitteln – unter anderem Lösungsmittel – zu Immissionen kommt.

Da beim Flurec-Verfahren die Metalle Zn, Cd, Cu und Pb zurückgewonnen werden, wäre Szenario C am besten geeignet um das Ziel Ressourcenschonung zu erreichen. Allerdings zeigen detaillierte Analysen, dass aufgrund der Flugaschenszusammensetzung in Wien die potentiell rückgewinnbare Metallmenge gering ist (für Zn < 200 t/a) und dadurch die Wirtschaftlichkeit dieses Verfahrens nicht gegeben ist. Bei der thermischen Behandlung in einer eigens dafür vorgesehenen Anlage (Szenario D) werden Schwermetalle in der sekundären Flugasche konzentriert, was eine Nutzung als Rohstoff zumindest potenziell vorstellbar macht.

Da bei der Mitbehandlung von Flugasche in einem Drehrohrofen zur Verbrennung von gefährlichen Abfällen (Szenario E) auf bereits bestehende Anlagen zurückgegriffen werden kann und nur verhältnismäßig wenig Betriebsmittel benötigt werden, ist die Entsorgungssicherheit hier am höchsten. Da es keine Deponie für gefährliche Abfälle in Österreich gibt, ist die Entsorgung von Flugasche in Szenario A vollständig vom Ausland abhängig.

Es kann jedoch von der Option, die für die Erreichung eines einzelnen Ziels am besten geeignet ist, nicht darauf geschlossen werden, welche Variante insgesamt am besten ist [17], weshalb eine Pareto-Optimierung vorgeschlagen wird. Hierbei sollten auch die weiteren Ziele des Wiener Abfallwirtschaftskonzepts inkludiert werden.

Danksagung

Die vorliegende Arbeit ist Teil einer groß angelegten Forschungsinitiative zu anthropogenen Ressourcen (Christian-Doppler-Labor für Anthropogene Ressourcen). Für die finanzielle Unterstützung dieser Forschungsinitiative wird dem österreichischen Bundesministerium für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft und der Nationalstiftung für Forschung, Technologie und Entwicklung sowie der Wien Energie und der Wiener Kommunal-Umweltschutzprojektgesellschaft mbH (WKU) gedankt. Darüber hinaus ergeht ein spezieller Dank an die Magistratsabteilung 48 der Stadt Wien, die über ihre Tochtergesellschaft WKU das Projekt nicht nur ko-finanziert, sondern auch unverzichtbare Leistungen in Form von Anlagen und Personal für Versuche zur Verfügung stellt.

4. Literatur

- [1] AVV, Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft und des Bundesministers für Wirtschaft, Familie und Jugend über die Verbrennung von Abfällen. 2010
- [2] DepV, Verordnung über Deponien und Langzeitlager. 2009
- [3] Ecke, H.; Sakanakura, H.; Matsuto, T.; Tanaka, N.; Lagerkvist, A.: State-of-the-art treatment processes for municipal solid waste incineration residues in Japan. *Waste Manag. Res.* 18, 2000, S. 41–51. doi:10.1034/j.1399-3070.2000.00097.x
- [4] Fellner, J.; Lederer, J.; Purgar, A.; Winterstetter, A.; Rechberger, H.; Winter, F.; Laner, D.: Evaluation of resource recovery from waste incineration residues – The case of zinc. *Waste Manag., Special Thematic Issue: Waste-to-Energy Processes and Technologies.* 2015, S. 37, 95–103. doi:10.1016/j.wasman.2014.10.010
- [5] Huber, F.; Purgar, A.; Blasenbauer, D.; Mallow, O.; Winter, F.; Fellner, J.: Combined Thermal Treatment of Combustible Hazardous Waste and Waste Incineration Fly Ash in a Rotary Kiln (Zeitschriftenartikel in Vorbereitung). 2016
- [6] International Zinc Association (Hrsg.): Zinc Environmental Profile. 2015
- [7] Kehrlichtbeseitigungs-AG (KEBAG): Jahresbericht 2012. 2013
- [8] Laner, D.; Rechberger, H.; De Soete, W.; De Meester, S.; Astrup, T.F.: Resource recovery from residual household waste: An application of exergy flow analysis and exergetic life cycle assessment. *Waste Manag.* 46, 2015, S. 653–667. doi:10.1016/j.wasman.2015.09.006

- [9] Liang, S.; Jiang, J.; Zhang, Y.; Xu, X.: Leaching characteristics of heavy metals during cement stabilization of fly ash from municipal solid waste incinerators. *Front. Environ. Sci. Eng. China* 2, 2008, S. 358–363. doi:10.1007/s11783-008-0060-6
- [10] Magistrat der Stadt Wien, MA48 (Hrsg.): Wiener Abfallwirtschaftskonzept 2007. 2007
- [11] Mangialardi, T.: Sintering of MSW fly ash for reuse as a concrete aggregate. *J. Hazard. Mater.* 2001, S. 87, 225–239. doi:10.1016/S0304-3894(01)00286-2
- [12] Margallo, M.; Taddei, M.B.M.; Hernández-Pellón, A.; Aldaco, R.; Irabien, Á.: Environmental sustainability assessment of the management of municipal solid waste incineration residues: a review of the current situation. *Clean Technol. Environ. Policy* 17, 2015, S. 1333–1353. doi:10.1007/s10098-015-0961-6
- [13] Oesterreichs Energie, Strom: Der flexible Erzeugungsmix in Österreich <http://oesterreichsenergie.at/daten-fakten/statistik/stromerzeugung.html> (abgerufen am 29.01.2016). o.J.
- [14] Quina, M.J.; Bordado, J.C.; Quinta-Ferreira, R.M.: Treatment and use of air pollution control residues from MSW incineration: An overview. *Waste Manag.* 28, 2008, S. 2097–2121. doi:10.1016/j.wasman.2007.08.030
- [15] Schlumberger, S.: Neue Technologien und Möglichkeiten der Behandlung von Rauchgasreinigungsrückständen im Sinne eines nachhaltigen Ressourcenmanagements. In: KVA-Rückstände in der Schweiz – Der Rohstoff Mit Mehrwert. Schweizer Bundesamt für Umwelt, Bern, 2010
- [16] Umweltbundesamt (Hrsg.): Austria's Informative Inventory Report 2015. 2015
- [17] Vadenbo, C.; Guillén-Gosálbez, G.; Saner, D.; Hellweg, S.: Multi-objective optimization of waste and resource management in industrial networks – Part II: Model application to the treatment of sewage sludge. *Resour. Conserv. Recycl.* 89, 2014, S. 41–51. doi:10.1016/j.resconrec.2014.05.009
- [18] Verein Deutscher Zementwerke: CO₂-Emissionen der Zementindustrie in Deutschland bis 2013. Statista. <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/217222/umfrage/co2-emissionen-der-zementindustrie-in-deutschland/> (abgerufen am 16.11.2015). n.d.
- [19] Wey, M.-Y.; Liu, K.-Y.; Tsai, T.-H.; Chou, J.-T.: Thermal treatment of the fly ash from municipal solid waste incinerator with rotary kiln. *J. Hazard. Mater.* 2006, S. 137, 981–989. doi:10.1016/j.jhazmat.2006.03.024
- [20] Wien Energie: Sicherheitsdatenblatt. 2015
- [21] Zacco, A.; Borgese, L.; Gianoncelli, A.; Struis, R.P.W.J.; Depero, L.E.; Bontempi, E.: Review of fly ash inertisation treatments and recycling. *Environ. Chem. Lett.* 2014, S. 12, 153–175. doi:10.1007/s10311-014-0454-6

Besuchen Sie unsere Website
www.schlackenkantor.de



*emvau-schlacke - der Baustoff
für starke Beanspruchung*

emvau 

Ein Baustoff aus MV-Schlacke

... ein Baustoff mit Zukunft

- UMWELTBEWUSST
- GÜTEÜBERWACHTE QUALITÄT
- HOHE TRAGFÄHIGKEIT
- WITTERUNGSUNABHÄNGIG EINBAUBAR
- PREISWERT

Hanseatisches Schlackenkantor GmbH

Hamburg 040-25407790 • info@schlackenkantor.de • www.schlackenkantor.de

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.dnb.de> abrufbar

Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): **Mineralische Nebenprodukte und Abfälle 3**
– Aschen, Schlacken, Stäube und Baurestmassen –
ISBN 978-3-944310-28-2 TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky

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

Verlag: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky • Neuruppin 2016
Redaktion und Lektorat: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky,
Dr.-Ing. Stephanie Thiel, Elisabeth Thomé-Kozmiensky, M.Sc.
Erfassung und Layout: Sandra Peters, Ginette Teske, Janin Burbott-Seidel,
Claudia Naumann-Deppe, Anne Kuhlo, Gabi Spiegel

Druck: Universal Medien GmbH, München

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

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

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