

Entscheidungshilfen für die ökologische Optimierung der Entsorgung häuslicher Restabfälle

M. Koller, T. Hermann

Zusammenfassung

Auch die Restabfallentsorgung muß dem Leitbild der nachhaltigen Entwicklung Rechnung tragen. Dieses beinhaltet die weitgehende Minimierung von Umweltbelastungen, die Schließung von Stoffkreisläufen und die Steigerung der Energie- und Ressourceneffizienz. Unter Berücksichtigung der einzelfallspezifischen Rahmenbedingungen sind aus der Vielzahl möglicher Entsorgungvarianten diejenigen Konzepte zu ermitteln, die in der Gesamtbilanz die günstigsten Ergebnisse liefern. Mit der Methodik der Ökobilanzierung steht dafür ein geeignetes Werkzeug zu Verfügung. Für charakteristische Optionen der Restabfallentsorgung wurden die potentiellen Umweltwirkungen auf der Basis eines ökobilanziellen Bewertungsansatzes ermittelt und ihre Bedeutung im nationalen Kontext diskutiert. Die Ergebnisse zeigen, daß kein Entsorgungsweg in allen Bewertungsgrößen vorteilhaft ist, daß aber solche Behandlungsverfahren ökologische Vorteile haben, die möglichst große Fraktionen des Restmülls einer stofflichen oder energetischen Verwertung zuführen. Die Substitution von fossilen Energieträgern und stofflichen Ressourcen führt bei diesen Verfahren auch bei Berücksichtigung der zusätzlichen Aufwendungen zu entscheidenden Gutschriften in der Ökobilanz. Unter Ausschöpfung der Potentiale eines stoffstromorientierten Behandlungsansatzes kann die ökonomisch deutlich günstigere mechanisch-biologische Restabfallbehandlung damit zu gleichwertigen Ergebnissen gelangen wie die vollständige Verbrennung des Restabfalls.

Summary

The disposal of municipal solid waste has to comply with the requirements of a sustainable development. The environmental impacts must be minimized and the recovery and reuse of materials and energy resources must be enhanced. Under consideration of the site and case specific conditions those treatment options have to be identified, which show the most favourable overall results. The methodology of life cycle assessment (LCA) represents a suitable tool for this. The paper describes the procedure and results of the LCA for waste management systems. The paper characterizes typical waste treatment options with respect to their potential environmental impacts and discusses their relevance within the national context. The results indicate, that there isn't any best treatment system, but a trend that systems with a higher rate of recovery and reuse of waste fractions are favourable, even when the higher expenditure is taken into consideration. The substitutions of fossil resources result in significant environmental benefits and advantages in the overall results. The mechanical biological pre-treatment of MSW, which is far cheaper than the traditional waste combustion, can catch up with the incineration by implementing waste fraction specific treatment options.

Einleitung

In Deutschland beträgt das jährliche häusliche und hausmüllähnliche Restabfallaukommen ca. 40 Mio. Mg. Das entspricht einem Pro-Kopf-Betrag von etwa 500 kg Restabfall (Glas, Papier, Verpackungsmaterialien, Batterien, Haushaltschemikalien). Die Technische Anleitung für Siedlungsabfälle (TASi) von 1993 schreibt vor, dass diese Abfälle vor der Deponierung behandelt werden, um die Umweltverträglichkeit der Restabfallentsorgung zu gewährleisten. Für eine Reduzierung der Gasemissionen und der organischen Sickerwasseremissionen des Deponiekörpers ist eine Stabilisierung, d.h. eine Oxidation der organischen Fracht des Restabfalls vorzunehmen. Die Stabilisierung kann sowohl über eine Verbrennung als auch über einen biologischen Abbau der organischen Substanz erfolgen. Neben der Stabilisierung kann die Vorbehandlung auch Maßnahmen zur energetischen und/oder stofflichen Nutzung des Restabfalls oder einzelner Bestandteile umfassen. Die Verwertungsmöglichkeiten für Restabfälle liegen im stofflichen Bereich in einer Rückführung verbleibender Wertstoffe in die Produktionsprozesse sowie im energetischen Bereich in der Oxidation der fossilen und nativ-organischen Bestandteile mit dem Ziel der Bereitstellung von elektrischer und thermischer Energie (vgl. Abbildung 1). Während für die energetische Verwertung der fossilen Organik nur thermische Verfahren wie die Müllverbrennung (MVA) in Frage kommen, kann die nativ-organische Fraktion auch in sogenannten mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen (MBA) abgebaut werden, auf aerobem Wege in Rotteverfahren oder auf anerobem Wege in der Vergärung.

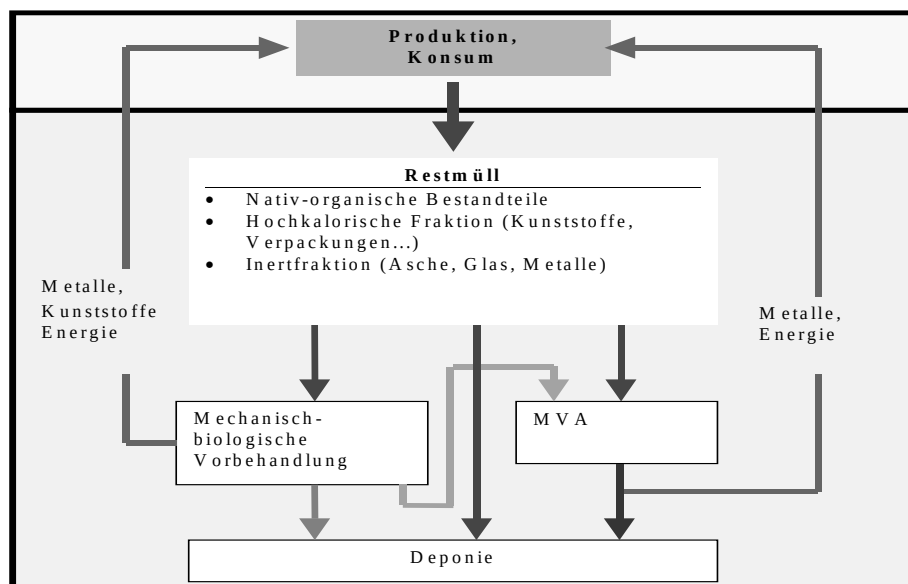


Abb. 1 Stoffstromoptionen der Restabfallbehandlung

Ziel einer nachhaltigen Restabfallentsorgung muss es sein, aus der Vielzahl der potenziellen Entsorgungsoptionen zu einem Entsorgungskonzept zu finden, das unter den gegebenen abfallwirtschaftlichen, infrastrukturellen und stoffwirtschaftlichen Rahmenbedingungen in der Gesamtbilanz die geringsten Umweltbelastungen und hinsichtlich der Energie- und Ressourceneffizienz die größten Vorteile aufweist. Als hilfreiches Werkzeug für die ökologische Analyse und Bewertung hat sich die Methodik der Ökobilanzierung erwiesen. Die ökobilanzielle Betrachtung erlaubt es, die möglichen Umweltwirkungen der betrachteten Entsorgungsoptionen systematisch zu analysieren und zu quantifizieren und Hinweise auf Schwachstellen und Optimierungspotentiale aufzuzeigen. Damit können den Entscheidungsträgern in der Abfallwirtschaft dringend benötigte Entscheidungsgrundlagen für eine nachhaltige Restabfallentsorgung an die Hand gegeben werden. Im Folgenden werden die im Rahmen einer solchen Vorgehensweise ermittelten Ergebnisse zur ökologischen Gesamtbewertung und zur stoffstromspezifischen Optimierung der häuslichen Restabfallentsorgung unter besonderer Berücksichtigung mechanisch-biologischer Verfahren vorgestellt.

Ökobilanzieller Bewertungsansatz

Die wesentlichen Schritte einer ökobilanziellen Betrachtung sind

- die Festlegung von Ziel und Untersuchungsrahmen,
- die Sachbilanz,
- die Wirkungsabschätzung
- und die Auswertung.

Die Festlegung von Ziel und Untersuchungsrahmen betrifft u. a. das Ziel der ökobilanziellen Untersuchung, die funktionelle Einheit des betrachteten Systems, die Systemgrenzen und weitere Festlegungen zu Annahmen und Einschränkungen, Datenanforderungen, Bewertungsgrößen und methodischen Fragen.

Die Sachbilanzierung liefert aus der Bilanzierung aller systemrelevanten Transporte, Speicherungen und Wandlungen von Stoffen und Energien eine auf das untersuchte System und die Bezugsgröße (funktionale Einheit) bezogene Zusammenstellung von Emissionen, Flächen- und Ressourcenverbräuchen. Diese Daten bilden die Grundlage für die Wirkungsabschätzung und die Auswertung.

Bei der Wirkungsabschätzung werden die Ergebnisse der Sachbilanz im Hinblick auf die (ökologischen) Schutzziele beurteilt und Umweltproblembereichen, sogenannten Wirkungskategorien, zugeordnet. Der Zusammenhang zwischen Schutzzielen, Umweltwirkungen und den hierfür verantwortlichen Schadstoffen wird in Abbildung 2 veranschaulicht.

Schutzziele:

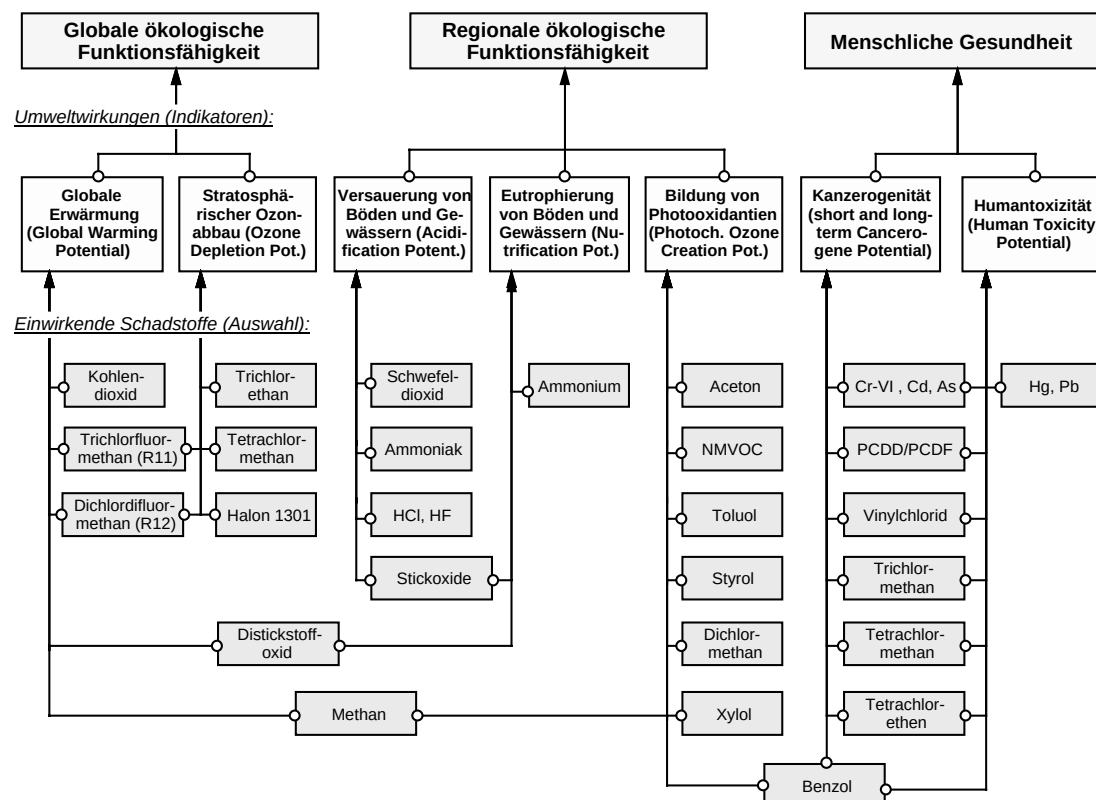


Abb. 2 Zusammenhang zwischen Schadstoffemissionen und Schutzzielen

In der Auswertung werden die Ergebnisse der Sachbilanz und der Wirkungsabschätzung entsprechend dem festgelegten Ziel und Untersuchungsrahmen zusammengefasst. Davon ausgehend können unter

Berücksichtigung von Sensitivitäts- und Optimierungsanalysen ggf. Schlussfolgerungen und Empfehlungen für Entscheidungsfindungen abgeleitet werden.

Vergleichende Betrachtung der Umweltrelevanz der Restabfallentsorgung

Beschreibung der Standardvarianten

Für eine vergleichende Betrachtung der Umweltrelevanz der Restabfallentsorgung wurden 5 typische Entsorgungsoptionen ausgewählt und auf der Basis durchschnittlicher Leistungswerte berechnet. Die Varianten direkte Deponierung (Dir_Dep) und MVA stellen dabei die Grenzen bezüglich des Abbaus der organischen Materie dar, innerhalb derer sich die verschiedenen Optionen der mechanisch-biologischen Vorbehandlung (MBV) bewegen und dienen als Vergleichsmaßstab für die Einordnung der mechanisch-biologischen Verfahren. Während bei der direkten Deponierung überhaupt kein Organikabbau vor der Deponie stattfindet, wird bei thermischen Behandlung die Organik nahezu vollständig vor der Deponie umgesetzt.

Innerhalb dieser Grenzen bewegt sich die MBV, die in der biologischen Stufe einen Teil der biologisch zugänglichen Organik abbaut und darüber hinaus häufig einen Teil der fossilen Organik für stoffliche oder thermische Verwertung ausschleust. Die Extensivvariante (Ext_MBA) steht als Vertreter für Verfahren, die bei geringem baulichen Aufwand auf eine Intensivierung des Rotteprozesses verzichten, und die in der Regel weder eine umfangreiche mechanische Behandlung mit dem Ziel der Ausschleusung von verwertbaren Fraktionen noch eine Fassung und Reinigung der Abluft vorsehen. Hier ist mit Behandlungszeiten von mindestens 52 Wochen zu rechnen. Die zwei Intensivvarianten (Int_MBA; erw. Int_MBA) repräsentieren Anlagen der mechanisch-biologischen Vorbehandlung, in denen durch eine intensive mechanische Vorbehandlung (Zerkleinerung, Homogenisierung, Sichtung etc.) und durch eine Zwangsbelüftung eine Optimierung des Rotteprozesses und damit ein beschleunigter Abbau erreicht wird. Diese Anlagen sind mit einer Abluftfassung und -reinigung ausgestattet. Die beiden Varianten unterscheiden sich hinsichtlich des Ausmaßes, in dem einzelne Fraktionen des Restmülls für eine stoffliche oder energetische Nutzung aufbereitet und ausgeschleust werden. Während in Variante Int_MBA nur eine Abscheidung der Fe-Fraktion vorgenommen wird, beinhaltet die Variante erw. Int_MBA auch eine Vergärungsstufe für die organische Feinfraktion und die Ausschleusung einer hochkalorischen Fraktion für die Verwertung in industriellen Feuerungsanlagen (Zementwerk).

In den Untersuchungen berücksichtigt sind die betrieblichen Aufwendungen für Vorbehandlung und Deponie, soweit sie Energieträger betreffen (z. B. Öl und Gas für die Stützfeuerung in MVAs) und deren Emissionen, sowie (je nach Entsorgungslinie) Gutschriften für eine stoffliche und/oder energetische Nutzung bzw. Verwertung von Fraktionen des Restmülls. Bezugsgröße für die Bewertungsergebnisse ist die jährlich in Deutschland zu entsorgende Restabfallmenge.

Die Ergebnisse zeigen, dass kein Entsorgungsweg in allen obengenannten Bewertungskriterien eindeutig vorteilhaft ist, vielmehr zeigen sich im Vergleich untereinander Vor- und Nachteile. Dieser Sachverhalt ist in Abbildung 3 anhand der spezifischen Beiträge zu den Bewertungskriterien dargestellt. Allerdings ist auch zu erkennen, dass die direkte Deponierung und die Extensivvariante in keinem Kriterium Umweltvorteile erzielen, während die Intensiv-MBA, besonders wenn Stoffströme für eine Verwertung ausgeschleust werden und die MVA in einzelnen Kriterien auch Entlastungseffekte für die Umwelt aufweisen.

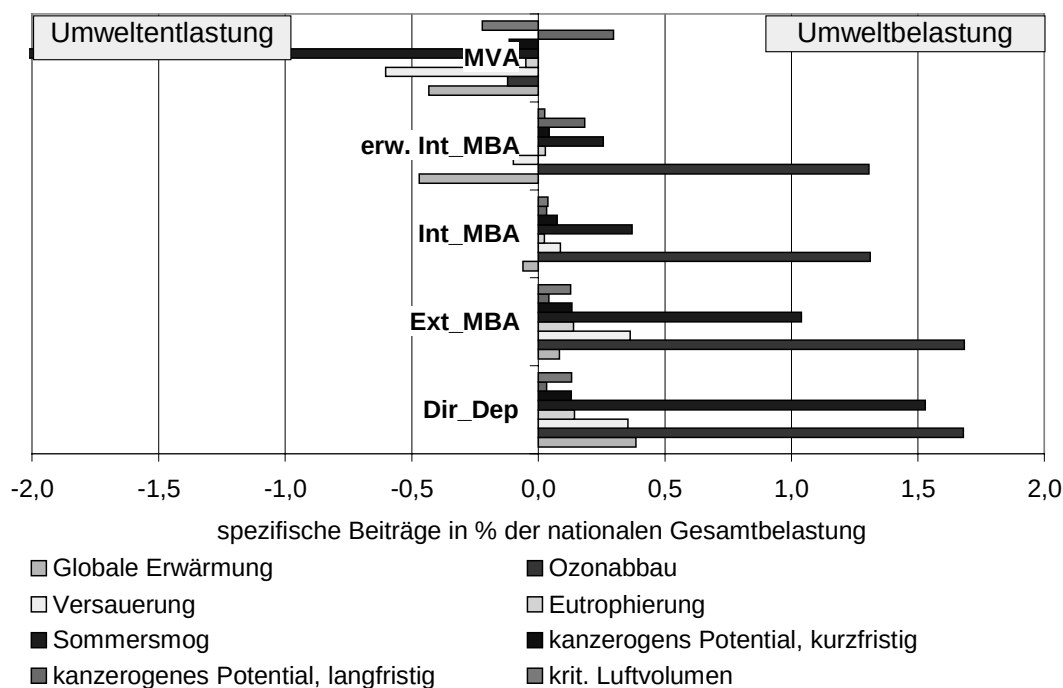


Abb. 3 Entsorgungswege im Vergleich

Ökologische Charakterisierung

Globale Erwärmung. Wesentliche Einflussgrößen bezüglich der globalen Erwärmung sind die CO₂ und CH₄-Emissionen bzw. –Gutschriften. Es zeigen sich Vorteile für die Varianten, die Stoffströme für eine energetische oder stoffliche Verwertung ausschleusen. Die Beiträge zum globalen Erwärmungspotenzial bei der direkten Deponierung (*Dir_Dep*) resultieren im wesentlichen aus den Methanemissionen aus der Deponie. Die Gutschriften für die energetische Verwertung des Deponiegases gleichen diese Belastungen bilanziell nicht aus. Die mechanisch-biologische Vorbehandlung in einer extensiven Anlage ohne Stoffstromausschleusung (*Ext_MBA*) kann zwar die potenziellen Methanemissionen aus der Deponie und damit mögliche Beiträge zur Globalen Erwärmung reduzieren, aber die verbleibenden Methanemissionen und die mit dem Energieverbrauch verbundenen klimarelevanten Emissionen werden aufgrund fehlender Verwertungsmaßnahmen nicht ausgeglichen. Die Intensiv-MBA-Varianten (*Int_MBA*, *erw. Int_MBA*) und die thermische Behandlung (*MVA*) weisen in der ökobilanziellen Gesamtbetrachtung eine Umweltentlastung auf. Diese resultieren aus der Minderung der Inanspruchnahme fossiler Ressourcen (bzw. der mit ihrer Inanspruchnahme verbundenen Umweltbelastungen).

Ozonabbau. Das Ozonabbaupotenzial wird fast ausschließlich durch die FCKW R11, R12 gebildet, die in den üblichen Ablufteinigungsanlagen von MBAs (Biofilter bzw. Biowäscher) kaum zurückgehalten bzw. abgebaut werden, während sie bei der thermischen Behandlung zerstört werden. Im Vergleich zur thermischen Restabfallbehandlung weisen daher alle Verfahren der mechanisch-biologischen Behandlung und die direkte Deponierung ein höheres Ozonabbaupotenzial auf. Mit der Umsetzung des Montreal-Abkommens von 1989 und dem schrittweisen Ausstieg aus Produktion und Verwendung von FCKW ist für die nächsten Jahre aber ein Rückgang der FCKW-Belastung von Restabfällen und damit der bei der Entsorgung emittierten Frachten zu erwarten.

Sommersmog. Das Sommersmogpotenzial der mechanisch-biologischen Verfahren wird im wesentlichen durch eine Reihe leichtflüchtiger Kohlenwasserstoffe (LCKW) gebildet, die bei der Vorbehandlung freigesetzt werden und durch die (auch) nach der Vorbehandlung verbleibenden Methanemissionen aus der Deponie. Die derzeit in MBAs eingesetzten Biofilter reduzieren die Emissionen leicht-

flüchtiger Kohlenwasserstoffe nur teilweise. Nur bei einer Intensiv-MBA mit weitgehenden Verwertungsmaßnahmen (*erw. Int_MBA*) werden diese Emissionen durch entsprechende Gutschriften in der Gesamtbilanz ausgeglichen. Bei der thermischen Abfallbehandlung werden dagegen die LCKW nahezu vollständig zerstört. Hieraus und aus der höheren Energieausschleusung resultiert der Vorteil gegenüber den anderen Varianten.

Versauerung. Zum Versauerungspotenzial tragen vor allem SO_2 , NO_x und NH_3 -Emissionen bei. Es ergeben sich relative Vorteile für die Varianten, die Anteile des Restabfalls einer energetischen Nutzung zuführen. Die Gutschriften für eingesparte SO_2 , NO_x und NH_3 -Emissionen führen in der Gesamtbilanz allerdings nur bei der MVA und bei der Intensiv-MBA mit Stoffstromausschleusung und -verwertung (*erw. Int_MBA*) zu ökologischen Entlastungen.

Eutrophierung. Die Eutrophierungspotenziale werden vor allem durch Ammoniak/Ammonium- und Stickoxidemissionen verursacht. Sie bewegen sich für alle Entsorgungssysteme in einem vergleichsweise niedrigen Bereich mit Vorteilen für die Intensiv-MBA-Varianten und die MVA.

Die Bilanzen zum kanzerogenen Potenzial zeigen für alle betrachteten Systeme vergleichsweise niedrige spezifische Beiträge an den nationalen Gesamtbelastungen, in der Regel deutlich unter 0,5%. Das **langfristige kanzerogene Potenzial** wird von den Schwermetallen Nickel, Chrom VI und Cadmium dominiert. Diese werden bei den Verfahren, die den gesamten Restabfall oder Fraktionen einer energetischen Nutzung zuführen, in höherem Maße mobilisiert, als bei der Deponierung, bei der mit einer überwiegend langfristigen Festlegung zu rechnen ist. Die thermische Behandlung oder Verwertung von Restabfall oder Restabfallfraktionen in MVAs, Kraft- oder Zementwerken führt daher (auch bei Berücksichtigung von Strom- und Wärmegutschriften) zu insgesamt höheren Schwermetallemissionen und einem größeren langfristigen kanzerogenen Potenzial (Varianten *erw. Int_MBA*, *MVA*). Zum **kurzfristigen kanzerogenen Potenzial** trägt eine Reihe leichtflüchtiger Kohlenwasserstoffe bei, die während der Vorbehandlung emittiert werden. Angesichts der Unsicherheiten bei der Sachbilanzierung zeigen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Entsorgungswegen.

Die **kritischen Luftvolumina** werden von einer Vielzahl organischer und anorganischer Schadstoffe geprägt mit relativ hohen Anteilen von SO_2 und NO_x . Hier zeigen sich Vorteile für die Verfahren, die in größerem Umfang thermische oder elektrische Energie bereitstellen.

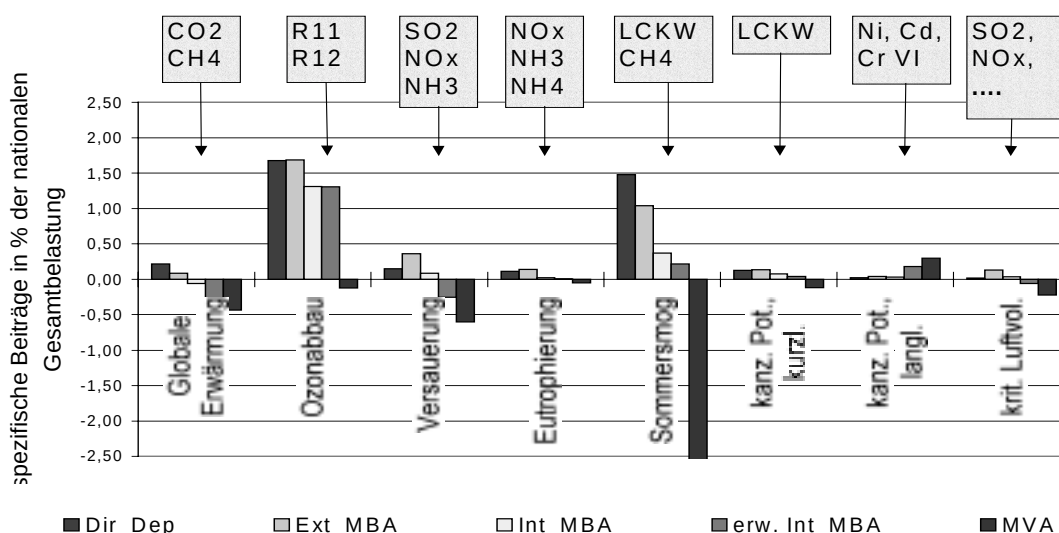


Abb. 4 Ökologische Charakterisierung unterschiedlicher Entsorgungsoptionen für Restabfall

Ökologische Optimierung durch Stoffstrommanagement

Stoffstromoptionen der Restabfallbehandlung

Restabfall enthält eine Reihe von Stoffen oder Fraktionen, die im Rahmen einer stoffstromspezifischen Behandlung ausgeschleust und stofflich oder energetisch genutzt werden können. Die Abscheidung von **Eisen-Metallen** ist bereits weitgehende Praxis in MBAs. Der Anteil der Metalle im Restabfall liegt zwischen 2,5 und 10 Gew.%. Mindestens 75% davon sind der Fe-Fraktion zuzurechnen. Diese kann aus den vorzerkleinerten und homogenisierten Abfällen vergleichsweise einfach über Magnetscheider abgegriffen werden; dabei werden Abscheidegrade von über 95% erreicht.

Nichteisen-Metalle können in mechanisch-biologischen Behandlungsstufen über Wirbelstromabscheider abgetrennt werden, was in der Praxis bislang jedoch kaum erfolgt. Der Anteil an Nichteisen-Metallen im Restabfall beträgt 0,6 bis 2,5% und besteht zu 30 bis 50% aus Aluminium. Auch für die Nichteisen-Fraktion kann bei einer entsprechenden Aufbereitung und Verfahrensgestaltung mit einer Abschöpfungsrate von über 95% gerechnet werden.

Die Vergärung der **organischen Feinfraktion** bietet gegenüber der aeroben Behandlung den Vorteil, dass im Prozess Biogas entsteht, das z.B. in Blockheizkraftwerken genutzt werden kann. Man kann damit von einer energetischen Nutzung des organischen Anteils des Restabfalls sprechen. Die Vergärung von Restabfällen wird bislang überwiegend in Versuchsanlagen erprobt. Vorliegende Daten lassen spezifische Gaserträge im Bereich von 27,5 - 96,6 m³/Mg MBA-Input bei einem Methangehalt von etwa 60 % erwarten.

Die Ausschleusung einer **heizwertreichen Leichtfraktion** (Kunststoffe, Papier und Kartons, Verpackungen und Verbundstoffe) erfolgt bislang vornehmlich zum Zweck einer thermischen Verwertung bzw. Beseitigung in Kraftwerken, industriellen Feuerungsanlagen (z. B. Zementwerken) oder Müllverbrennungsanlagen. Der Einsatz von Sekundärbrennstoffen aus Restabfall in Industrief Feuerungen und in Kraftwerken wird kontrovers diskutiert: Neben Vorteilen hinsichtlich des Klimaschutzes durch die Nutzung des Heizwerts der Abfälle ist auch mit Nachteilen hinsichtlich humantoxischer Belastungen insbesondere durch zusätzliche Schwermetallemissionen zu rechnen, da Kraftwerke und industrielle Feuerungsanlagen oft nicht die hohen Emissionsstandards von MVAs einhalten. Neben der Ausschleusung für eine thermische Verwertung kommt bei den Kunststoffen auch eine stoffliche Verwertung in Betracht. Es kann mit einem Kunststoffanteil im Restmüll im Bereich von 7-15 Gew.% gerechnet werden. Für die Abschätzungen des ökologischen Potenzials wird im Folgenden angenommen, dass die Kunststofffraktion zu 80% abtrennbar ist, vollständig aus Polyethylen besteht und dass von den abgetrennten Kunststoffen 70% verwertbar sind.

Optimierungspotenziale durch Stoffstrommanagement

Die Auswertung der Bilanzierung zeigt, dass sich, auch bei verschiedenen Siedlungsstrukturen für alle zusätzlichen Varianten der Ausschleusung und Verwertung von Wertstoffen aus dem Restmüll (Stoffstromoptionen) positive Effekte einstellen. In Abbildung 6 ist dargestellt, welche ökologischen Effekte die einzelnen Stoffstromoptionen auf verschiedene Wirkungskategorien haben. Negative Werte bedeuten in der Gesamtbilanz eine Gutschrift und weisen auf eine Umweltentlastung hin. Die Umweltentlastungen entstehen dadurch, dass durch die Verwertungsmaßnahme Primärstoffe substituiert und dadurch die mit deren Herstellung verbundenen Emissionen und negativen Umwelteffekte eingespart werden. Außerdem werden bei der energetischen Verwertung der heizwertreichen Fraktion bzw. des bei der Vergärung gewonnen Biogases andere Energieträger substituiert. Mit Ausnahme der Verwertung einer hochkalorischen Fraktion in Zementwerken und der Biogasverwertung, ergeben sich bei keiner Variante zusätzliche Umweltbelastungen in den einzelnen Bewertungskriterien. Bei einer Verwertung hochkalorischer Fraktionen in Zementwerken erhöhen sich durch die Schwermetallemissionen die kritischen Volumina, das Sommersmog- und das Versauerungspotenzial. Bei der Verwertung von Biogas kann es zu geringfügigen Erhöhung beim Eutrophierungspotenzial und bei der Emission langwirkender Kanzerogene kommen.

In Abbildung 7 werden verschiedene Varianten der Restabfallbehandlung bezüglich ihrer Umweltauswirkungen verglichen. Die zwei Intensivvarianten in der Abbildung (Intensiv-MBA bzw. optimierte Intensiv-MBA) repräsentieren in Bezug auf die Stoffausschleusung zwei gegensätzliche Entsorgungskonzepte. Während in der Variante Intensiv-MBA nur eine Abscheidung der Fe-Fraktion vorgenommen wird, beinhaltet die Variante optimierte Intensiv-MBA auch eine Vergärungsstufe für die organische Feinfraktion, die Ausschleusung von Aluminium für die Wiederverwertung, die Ausschleusung von Kunststoffen für eine Weiterverwertung und die Ausschleusung der (danach noch verbleibenden) hochkalorischen Fraktion für die Verwertung in industriellen Feuerungsanlagen (Zementwerk). Deutlich erkennbar sind Verbesserungen für die mechanisch-biologische Restabfallbehandlung, die bei einer Kombination verschiedener Verwertungsmaßnahmen erzielt werden können. Die MBV kann dadurch in fast allen Bewertungsgrößen in der Gesamtbilanz Umweltentlastungspotenziale erzielen und mit Ausnahme des Bewertungskriteriums Ozonabbau mit der MVA zumindest gleichziehen. Gegenüber der Intensiv-MBA ohne Stoffstromausschleusung kommt es nur hinsichtlich der Emission langfristig wirkender Kanzerogene zu einer Verschlechterung, die durch die vergleichsweise höheren Schwermetallemissionen bei einer Verwertung hochkalorischer Fraktionen im Zementwerk verursacht wird.

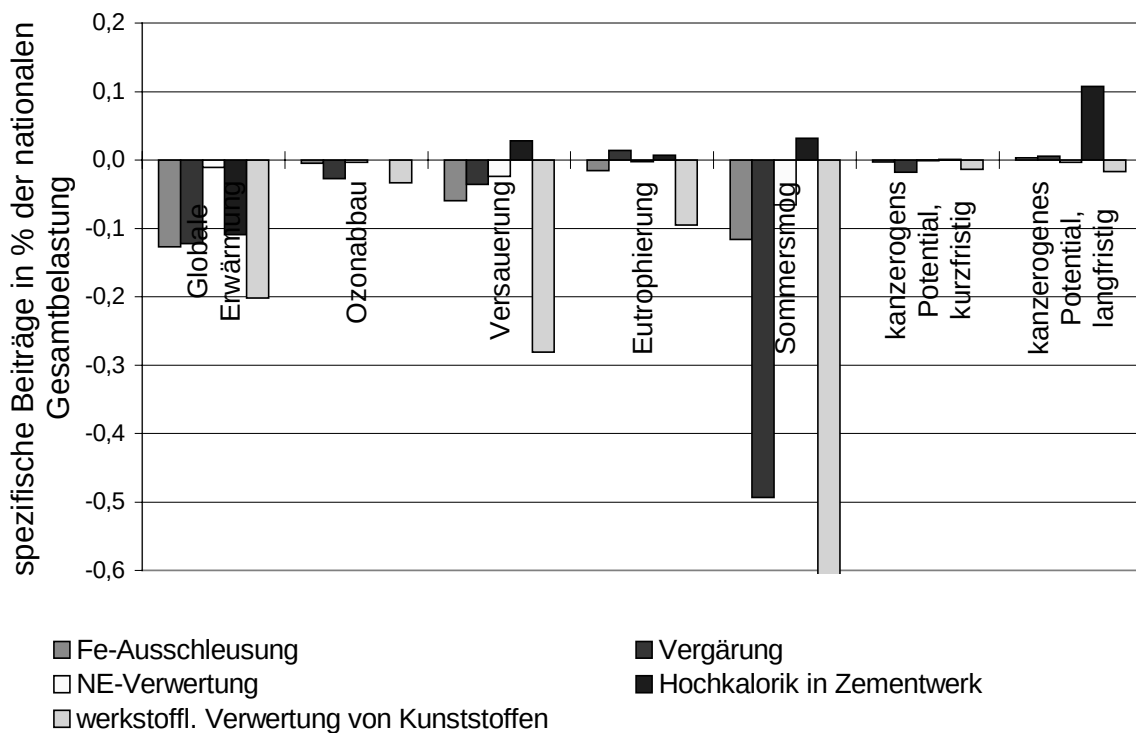


Abb. 6 Optimierungspotenziale durch stoffliche/energetische Nutzung von Restabfallfraktionen

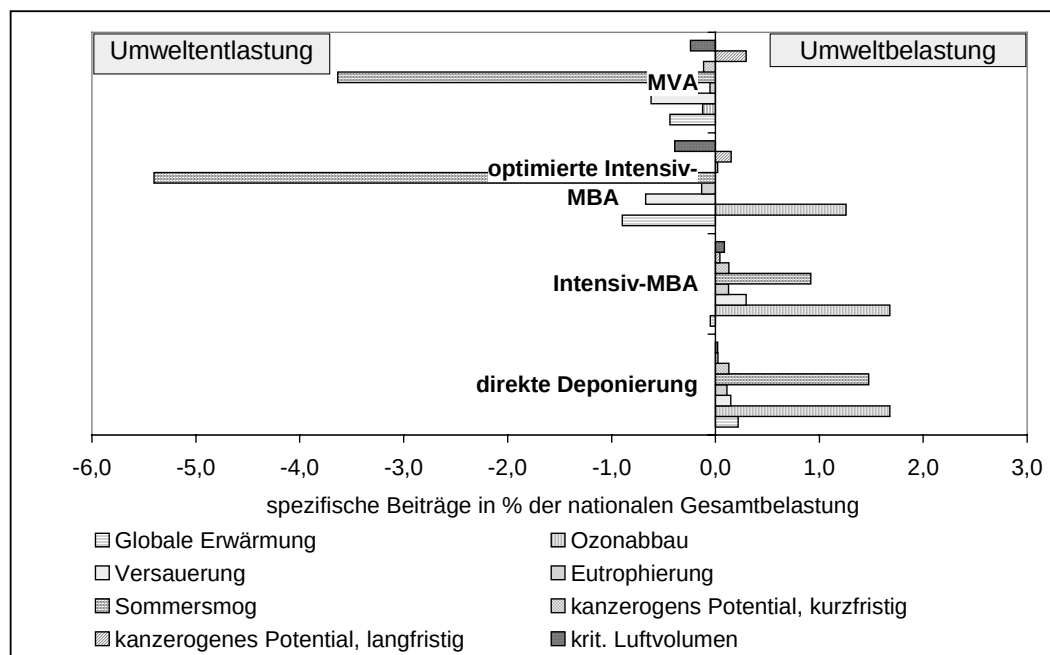


Abb. 7 Abfallentsorgungsoptionen im Vergleich

Literatur

FRICKE, K. et al. (1999): Stabilisierung von Restmüll durch mechanisch-biologische Behandlung und Auswirkungen auf die Deponierung. Kurzfassung des Endberichts zum BMBF-Verbundvorhaben „Mechanisch-biologische Behandlung von zu deponierenden Abfällen“, Teilvorhaben 2/1, Witzenhau- sen, Juli 1999

KOLLER, M. et al. (1999): Ökologische Bewertung der mechanisch-biologischen Restabfallbehand- lung, In: Tagungsband Ergebnispräsentation des BMBF-Verbundvorhabens, Potsdam, 7.-8.9.1999,. S. 25 - 42

KOLLER, M. et al. (2000): Ökologischer Stellenwert anaerober Behandlungsstufen in der mechanisch- biologischen Restabfallbehandlung. In: B. Bilitewski (Hrsg.): Anaerobe biologische Abfallbehand- lung, Erfahrungen – Konzepte – Produkte, Dresden, 21.-22.2.2000

PLICKERT, S. (1998): Ermittlung des Hausmüllaufkommens aus dem Güterumsatz : Entwicklung eines Rechenmodells unter besonderer Berücksichtigung der Einflussgrößen in den Kreisen des Landes Brandenburg. Berlin: TU, Fachbereich 06, Diplomarbeit März 1998

SOYEZ, K. et al. (1999): Testphase abgeschlossen – Zur Einsatzfähigkeit der mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung liegen jetzt umfangreiche Ergebnisse vor. In: Müllmagazin 4/1999. Rhombos- Verlag. Berlin 1999.

SOYEZ, K. et al. (1999a): Systembewertung der mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung - Übersicht. In: Tagungsband Ergebnispräsentation des BMBF-Verbundvorhabens, Potsdam, 7. - 8.9.1999, S. 1-24

Anschrift der Autoren

Matthias Koller
Tim Hermann
UP Transfer
Park Babelsberg 14, Haus 7
D - 14482 Potsdam
Tel.: 0331/977-4447, Fax: 0331/977-4433
e-mail: koller@rz.uni-potsam.de, hermann@rz.uni-potsam.de