

Ökologische Potentiale der Wertstoffausschleusung

M. Koller, D. Thrän, T. Hermann, S. Plickert, K. Soyez

82 Einleitung

Der Restabfall enthält eine Reihe von Stoffen oder Fraktionen, die während der mechanisch-biologischen Vorbehandlung im Rahmen eines Stoffstrommanagements ausgeschleust und stofflich oder energetisch genutzt werden können (Abbildung 1). Bereits weitgehende Praxis in der MBV ist das bei der Fe-Fraktion. Die Ausschleusung einer hochkalorischen Fraktion gewinnt als Sekundär-brennstoff zunehmend an Bedeutung; ihr Einsatz kann in MVAs, in Kraftwerken und in industriellen Feuerungsanlagen (z. B. Zementwerken) erfolgen. Eine eindeutige Tendenz zeichnet sich hier bislang noch nicht ab. NE-Metalle werden in der Regel nicht ausgeschleust, und auch bei Kunststoffen für eine stoffliche Wieder- oder Weiterverwertung gibt es bislang nur Versuchsanlagen. Zukünftig werden diese Maßnahmen allerdings einen höheren Stellenwert erhalten, da sie als Maßnahme der Ressourcenschonung zur Einsparung nicht-erneuerbarer Stoffe beitragen, was politisches Ziel der Bundesregierung ist und die Bestrebungen des Bundesumweltministeriums unterstützt, bis zum Jahr 2020 die Deponierung von Abfällen einzustellen (BMU 1999). Wirtschaftlich positive Effekte sind zu erwarten..

Grundsätzlich lassen sich Maßnahmen der stoffstromorientierten Abfallbehandlung einzeln realisieren oder kombinieren. In Hinblick auf die ökologischen Effekte ist entscheidend, welchen Beitrag zur Minderung von Umweltbelastungen sie leisten. Zu fordern ist, daß der ökologische Nutzen der Maßnahme den ökologischen Aufwand übersteigt. Dazu sind alle Einflußgrößen zu berücksichtigen und kumulierte Bewertungsgrößen heranzuziehen. Im folgenden wird mit Hilfe von Methoden aus der Ökobilanzierung abgeschätzt, welchen Einfluß die Umsetzung dieser Maßnahmen auf die ökologische Gesamtbewertung der MBA hat und welche Faktoren ggf. den ökologischen Nutzen der Maßnahmen bestimmen.

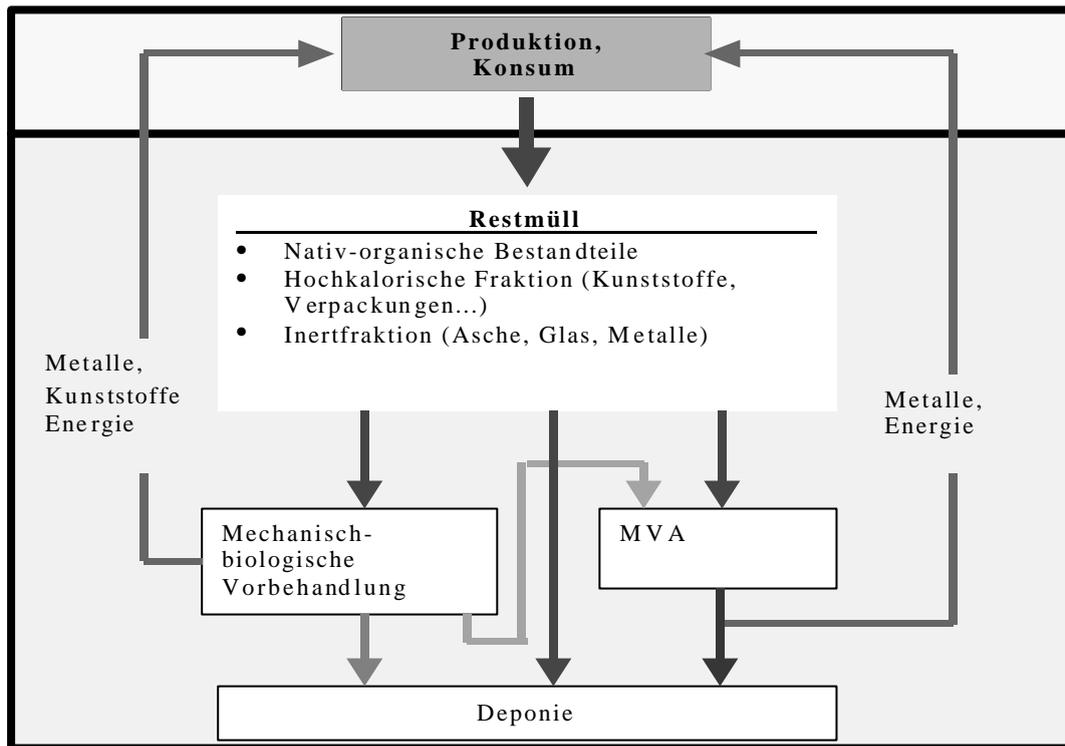


Abb. 1 Stoffstromoptionen der Restabfallbehandlung

83 Vorgehensweise

83.1 Methodik

Für die ökologische Bewertung wurde eine Vorgehensweise gewählt, die sich an die Methodik der Ökobilanzierung (nach ISO EN 14040) anlehnt. Eine solches Vorgehen hat sich in den letzten Jahren bei der Bewertung von Abfallentsorgungsoptionen in zahlreichen Studien bewährt und durchgesetzt (SOYEZ et al.1999, KOLLER et al. 1999).

Die wesentlichen Schritte einer Ökobilanz sind die

- Festlegung von Ziel und Untersuchungsrahmen
- Sachbilanz
- Wirkungsabschätzung
- Auswertung

Die Festlegung von Ziel und Untersuchungsrahmen betrifft u. a. das Ziel der ökobilanziellen Untersuchung, die funktionelle Einheit¹ des betrachteten Systems, die Systemgrenzen und weitere Festlegungen zu Annahmen und Einschränkungen, Datenanforderungen, Bewertungsgrößen und methodischen Fragen.

¹ Die funktionelle Einheit ist ein Maß für den Nutzen des Produktsystems. Sie dient hauptsächlich dazu, einen Bezug zu schaffen, auf den Input- und Outputflüsse bezogen werden. Dies ist notwendig, um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse von Ökobilanzen sicherzustellen.

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.

In der Wirkungsabschätzung werden die Ergebnisse der Sachbilanz im Hinblick auf mögliche Umweltwirkungen beurteilt und Umweltproblembereichen, sogenannten Wirkungskategorien, zugeordnet. Der Zusammenhang ist beispielhaft in Abbildung 2 veranschaulicht. 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 Schlußfolgerungen und Empfehlungen für Entscheidungen abgeleitet werden.

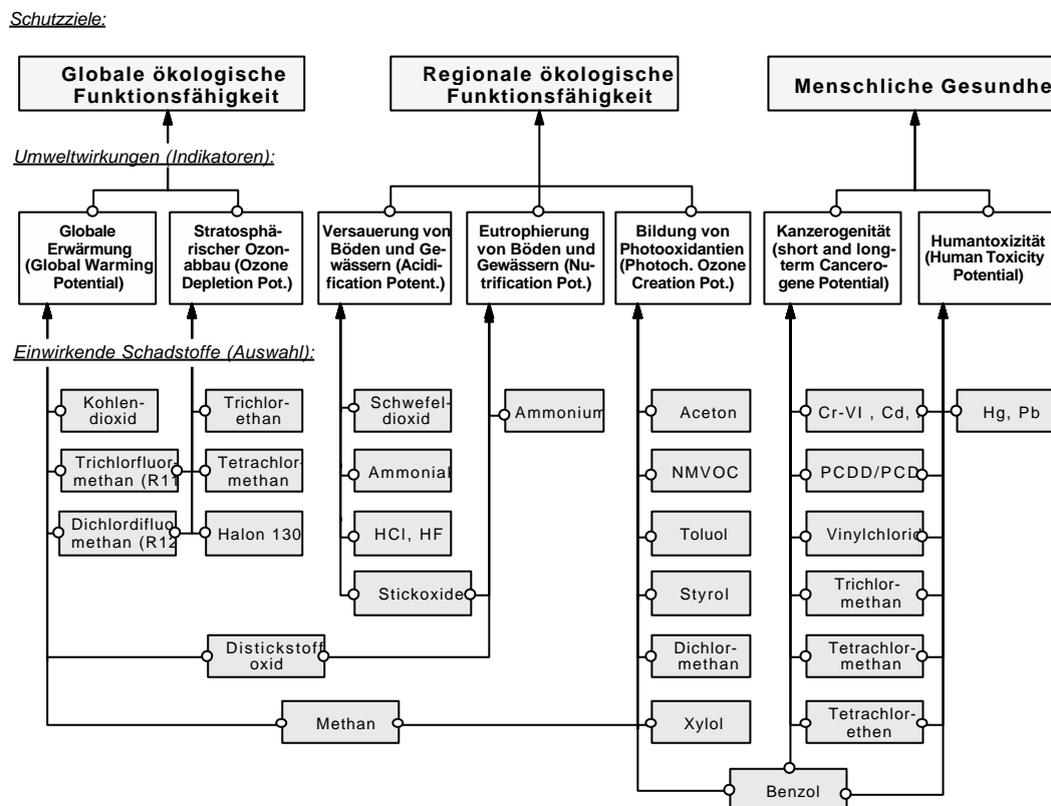


Abb. 2 Verknüpfung von Emissionen und Schutzziele

Neben der Zuordnung zu übergeordneten Schutzzielebenen lassen sich Bewertungsgrößen auch hinsichtlich ihrer ökologischen Relevanz und ihres spezifischen Beitrags charakterisieren.

Die Einschätzung der **ökologischen Relevanz** drückt aus, daß nicht jede erkannte Umweltwirkung ein gleichbedeutendes Gefährdungspotential für den Menschen oder die Natur in sich birgt. Die Umweltwirkungen unterscheiden sich z. B. hinsichtlich ihrer Reichweite, ihrer Umkehrbarkeit, ihrer zeitlichen Erstreckung und hinsichtlich des ökologischen Gefährdungspotentials (siehe Tabelle 1).

Tab. 1 Ökologische Relevanz der Bewertungskriterien

Wirkungskategorie	Schutzziel	Ökologische Relevanz Vorschlag des Umweltbundes- amtes (UBA 1995)
Treibhauseffekt	Globale Funktionsfähigkeit	sehr große Bedeutung
Ozonabbau	Globale Funktionsfähigkeit	keine Angabe
Sommersmog	Regionale Funktionsfähigkeit	große Bedeutung
Versauerung	Regionale Funktionsfähigkeit	mittlere Bedeutung
Eutrophierung	Regionale Funktionsfähigkeit	mittlere Bedeutung
Beeinträchtigung der Gesund- heit des Menschen	Menschliche Gesundheit	(Bewertung einzelner Stoffe oder Stoffgruppen)

Mit der Angabe der **spezifischen Beiträge** werden die für das betrachtete System ermittelten Werte der Sachbilanz und/oder der Wirkungsabschätzung auf ein definiertes Vergleichssystem (z. B. Stadt, Region, Land) bezogen, d. h. in Bezug zu den Gesamtemissionen bzw. Gesamtwirkungspotentialen dieses Vergleichssystems gesetzt. Der spezifische Beitrag spiegelt demnach den Anteil wider, den das ermittelte Wirkungspotential an dem gesamten Wirkungspotential in dem Bezugssystem hat. Die Angabe kann als Prozentsatz erfolgen. In den folgenden Abbildungen wurden als Bezugssystem die nationalen Gesamtemissionen gewählt.

83.2 Modellierung

Die Bilanzierung beginnt mit dem Anfall der Restabfälle an der Behandlungsanlage und endet mit der Deponierung. Die Bereitstellung und Ausschleusung von Stoffströmen für eine stoffliche und/oder energetische Nutzung wird in Form von Gutschriften für die substituierten Primärstoffe bzw. Energieträger berücksichtigt. Aufwendungen für die Ausschleusung und Aufbereitung einschließlich zusätzlicher Transportaufwendungen werden diesen Gutschriften gegengerechnet.

84 Bewertung der Stoffstromoptionen

84.1 Vergärung einer Teilfraktion

Vergärungsverfahren können nicht nur zur Behandlung von organischen Abfällen, sondern auch im Rahmen der mechanisch-biologischen Vorbehandlung von Restmüll eingesetzt werden. Der Restmüll enthält – auch bei getrennter Bioabfallerfassung – noch erhebliche Mengen abbaubarer organischer Substanz. Sie bietet gegenüber der aeroben Behandlung die in Tabelle 2 dargestellten Vor- und Nachteile.

Tab. 2 Vor- und Nachteile der anaeroben gegenüber den aeroben Verfahren zur Restabfallbehandlung

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> • Möglichkeit einer vorgeschalteten Naßtrennung ermöglicht bessere Stoffstromtrennung • bessere Steuerbarkeit der Prozeßbedingungen ⇒ kürzere Behandlungsdauer • geringerer Flächenbedarf • Nutzbarkeit des entstehenden Biogases als hochwertiger Energieträger ⇒ positive Energiebilanz • keine Belüftung ⇒ keine Wärmeverluste ⇒ keine Abluftemissionen 	<ul style="list-style-type: none"> • hohe Störemfindlichkeit der Rühr- und Pumpwerke ⇒ gute Störstoffabtrennung erforderlich • höherer verfahrens- und regelungstechnischer Aufwand • Lignine werden anaerob kaum abgebaut ⇒ zur Gewährleistung eine weitgehenden Abbaus der organischen Substanz ist i. d. R. eine aerobe Behandlungsstufe erforderlich (Nachrotte) • Geruchsbelastung der Vergärungsrückstände • mangels Verdunstung fällt Überschußwasser als Abwasser an, das gereinigt werden muß

Der Beitrag einer Vergärungsstufe zur ökologischen Optimierung der MBV hängt von der Effizienz der Vergärungsstufe, charakterisiert z.B. durch Biogasausbeute und Energieverbrauch, sowie von den Nutzungsmöglichkeiten des erzeugten Biogases ab. In Abbildung 3 sind verschiedene Varianten hierzu dargestellt:

- (a) Intensiv-MBA ohne Vergärung
- (b) MBA wie in a) aber mit einer Vergärungsstufe, Gasausbeute 65 Nm³ / Mg Input in die MBA, Methangehalt: 61,5 %, elektrischer Wirkungsgrad der Biogasverstromung: 35%, Energiebedarf der Vergärungsstufe: 20 kWh/Mg MBA-Input (WALLMANN 1999)
- (c) MBA wie in b) aber mit Abwärmenutzung bei der Biogasverstromung, Wirkungsgrad der Abwärmenutzung: 42%

Verbesserungen sind insbesondere in den Kriterien Globale Erwärmung, Versauerung und Sommersmog festzustellen. In der Gesamtbilanz können die Beiträge zum Versauerungspotential durch eine Vergärungsstufe vollständig neutralisiert werden, die Eutrophierungs- und die kurzfristigen kanzerogenen Potentiale legen nahezu bei Null. Weiterhin sind hinsichtlich der Emissionen, die zum Ozonabbau beitragen (insbesondere FCKW), Verbesserungen zu erwarten. Im Modell ist das noch nicht berücksichtigt sind, da diese Emissionen, die bislang nahezu unvermindert über Intensivrotte und Biofilter die Anlage verlassen, bei der Verstromung des Biogases zumindest teilweise zerstört werden. Die Abbildung zeigt auch, daß der Nutzen der Vergärung wesentlich davon abhängt, ob die Abwärme bei der Biogasverstromung genutzt werden kann.

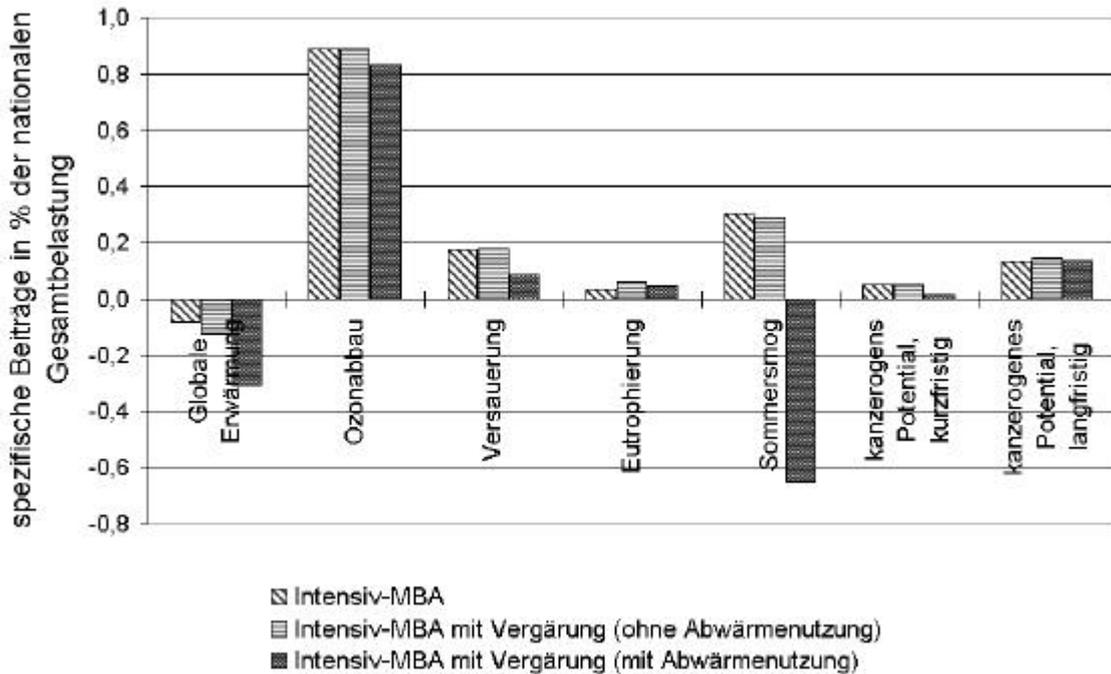


Abb. 3 Ökologisches Potential der Vergärungsstufe

Der Effekt der Vergärung ist abhängig vom Gasertrag und der Nutzung der Abwärme bei der Biogasverstromung. Die Umwelteffekte unterschiedlicher Abschöpfungsraten zeigt Abbildung 4 beispielhaft für die Wirkungskategorie Globale Erwärmung. Beim Gasertrag wurde anhand von Literaturangaben ein Wertebereich von 27,5-96,6 m³/Mg MBA-Input und beim thermischen Nutzungsgrad ein Bereich von Null (keine Abwärmenutzung) bis 55 % („ideales“ BHKW nach WALLMANN (1999)) angenommen.

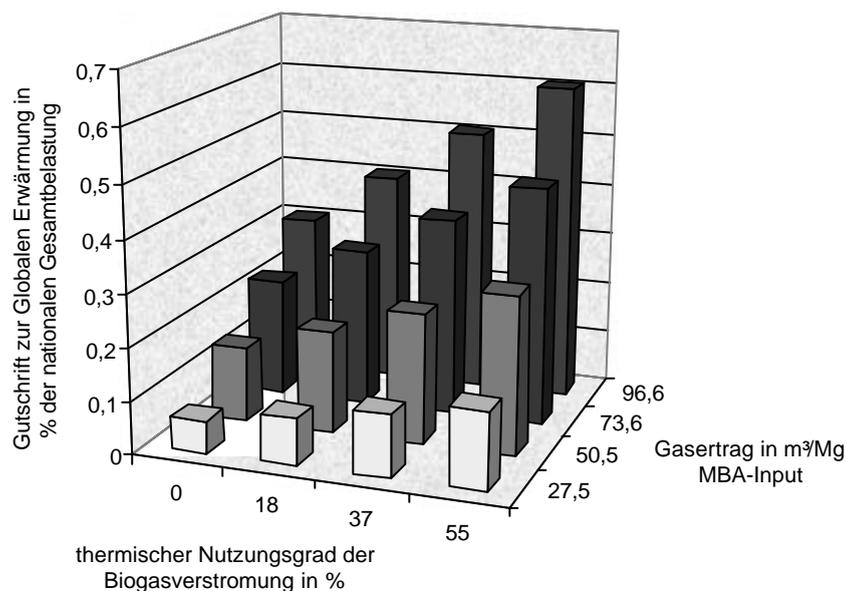


Abb. 4 Gutschriften bezüglich des Treibhauspotentials gegenüber der Standardvariante ohne Vergärung in Abhängigkeit von Gasertrag und thermischem Wirkungsgrad der Biogasverstromung (Koller 2000)

Es zeigt sich, daß die Beiträge zum Klimaschutz in Abhängigkeit von den Rahmenbedingungen um den Faktor 6 variieren können. Da die Gasausbeute pro Anlageninput und der thermische Nutzungsgrad nicht miteinander konkurrieren, sollten - soweit technisch und ökonomisch sinnvoll - beide Größen für eine ökologische Optimierung der Vergärungsstufe maximiert werden.

84.2 Sekundärbrennstoffe aus Restmüll

Der Einsatz von Sekundärbrennstoffen aus Restabfall (hochkalorische Fraktionen, stabilisierter Restabfall etc.) in industriellen Feuerungsanlagen² wird aufgrund neuer Verfahrensentwicklungen in jüngerer Zeit wieder verstärkt diskutiert. Neben Vorteilen im Klimaschutz durch eine energieeffiziente Verwertung muß auch mit Nachteilen, besonders durch Schwermetallemissionen, gerechnet werden, solange Kraftwerke und industrielle Feuerungsanlagen nicht die hohen Emissionsstandards von MVAs einhalten. Sonst wäre zu befürchten, daß die ökologischen Standards der klassischen Müllverbrennung aufgeweicht werden.

Einflußgrößen auf die ökologische Bewertung sind weniger in den ökologischen Wirkungskategorien erkennbar, als vielmehr in der Emissionen von Einzelstoffen, insbesondere den Schwermetallen Quecksilber und Blei.

Bei der Mitverbrennung sind die Zusatzemissionen dieser Stoffe durch die Belastung der Leichtfraktion, die als Ersatzbrennstoff eingesetzt wird, im Verhältnis zur Belastung des substituierten Energieträgers sowie durch den Abscheidegrad der Stoffe in der Rauchgasreinigung bzw. im Produkt (z.B. Zementklinker) begründet. Der ökologische Nutzen des Einsatzes von Ersatzbrennstoffen ist umso größer, je stärker der substituierte Energieträger selbst belastet ist. Die Bezugsgröße für die Schadstoffbelastung stellt hierbei der Energieinhalt der Brennstoffe dar.

In Abbildung 5 werden die Effekte unterschiedlicher Rahmenbedingungen am Beispiel der Mitverbrennung im Zementwerk aufgezeigt. Neben dem Standardszenario (Substitution von Steinkohle mit mittlerer Schwermetallbelastung und mittlere Schwermetallabscheidung) sind fünf Varianten dargestellt:

- eine gegenüber dem Standardszenario erhöhte Schwermetallabscheidung im Zementwerk³
- eine gegenüber dem Standardszenario reduzierte Schwermetallabscheidung im Zementwerk
- Substitution einer hochbelasteten Steinkohle anstelle einer mittelbelasteten Steinkohle
- Substitution einer geringbelasteten Steinkohle anstelle einer mittelbelasteten Steinkohle
- Substitution einer hochbelasteten Braunkohle anstelle einer mittelbelasteten Steinkohle

² Darunter werden hier im folgenden neben typischen Industriefeuerungsanlagen wie z. B. Zementwerke auch speziell für Ersatzbrennstoffe ausgelegte Kraftwerke verstanden

³ insbesondere durch eine höhere Einbindung in den Klinker

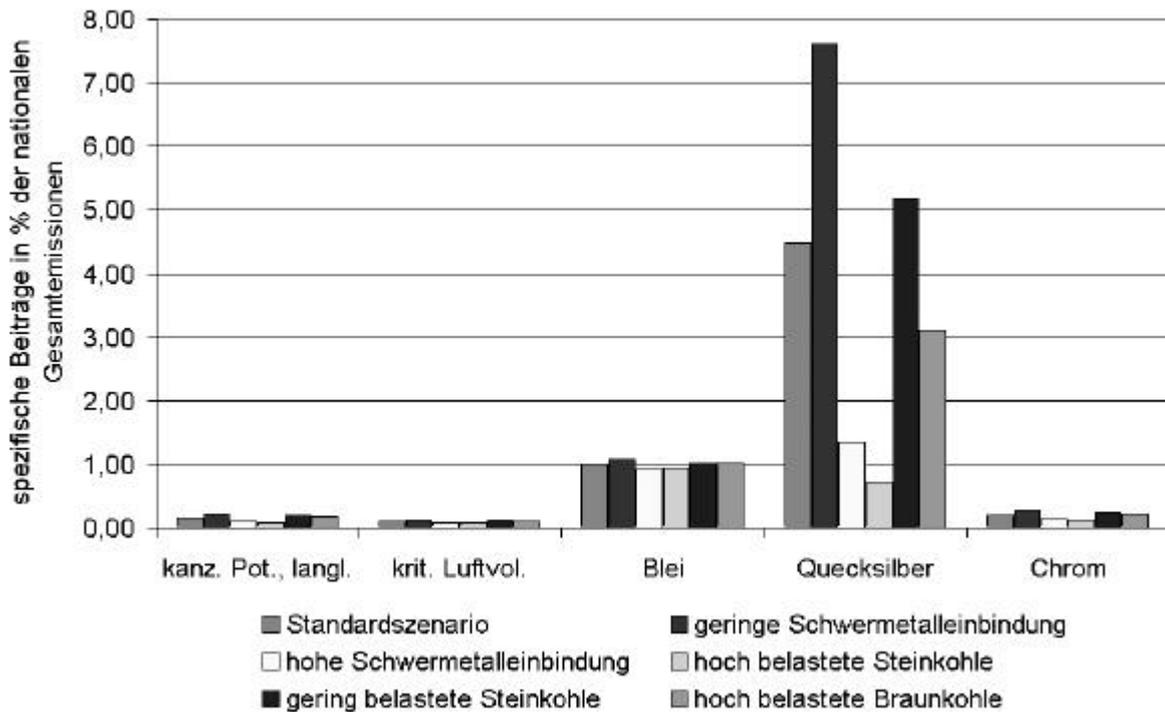


Abb. 5 Ökologische Sensitivitäten beim Einsatz von Ersatzbrennstoffen in Zementwerken

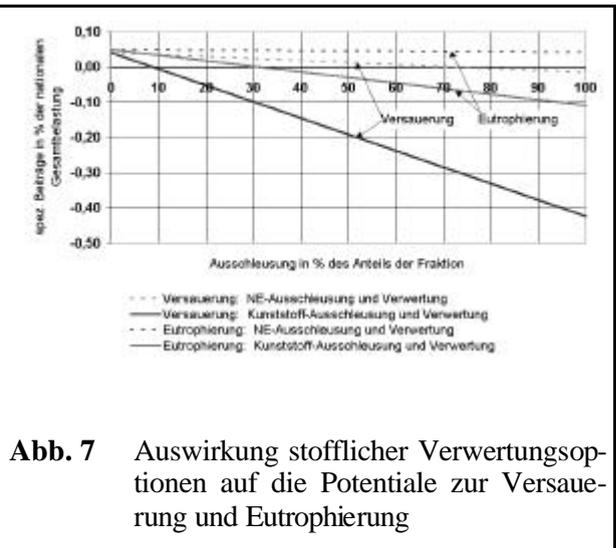
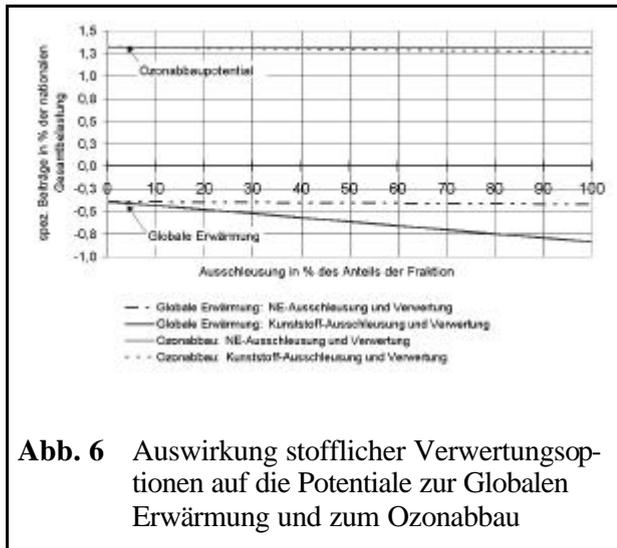
Unter den Schwermetallen fällt besonders Quecksilber mit hohen spezifischen Beiträgen und mit hohen Sensitivitäten auf. Quecksilber weist bereits im Standardszenario mit einem Anteil von über 4% an den nationalen Gesamtemissionen einen vergleichsweise hohen Wert auf. Auch die Anteile der Bleiemissionen an der nationalen Gesamtbelastung liegen mit 1% in einem nicht vernachlässigbaren Bereich. Insgesamt ist in Deutschland seit Mitte der achtziger Jahre ein deutlicher Rückgang der anthropogenen Schwermetallemissionen zu verzeichnen, der allmählich auch auf den Restabfall (und die daraus hergestellten Sekundärbrennstoffe) durchschlägt. Damit wird sich die toxikologische Problematik des Einsatzes von Ersatzbrennstoffen in industriellen Feuerungsanlagen zwar mittelfristig entschärfen, bis dahin müssen aber geeignete Emissionsminderungstechnologien die Zusatzbelastungen verhindern.

84.3 Wieder- und Weiterverwertung von NE-Metallen und Kunststoffen

Die Umwelteffekte einer weitergehenden Stoffstromtrennung und -verwertung werden für ausgewählte Wirkungskategorien abgeschätzt. Es wird angenommen, daß zusätzlich zur Vergärungsstufe und zur Verwertung der FE-Fraktion und der Leichtfraktion im Zementwerk (s.o.) Kunststoffe und NE-Metalle ausgeschleust und *stofflich* verwertet werden. Für die Abschätzung der Umwelteffekte einer stofflichen Kunststoffverwertung wurde angenommen, daß die Kunststofffraktion vollständig aus Polyethylen besteht und daß 90% davon verwertbar sind. Die Berechnungen berücksichtigen den verringerten Heizwert und die reduzierte Menge der Leichtfraktion für die Verwertung im Zementwerk im Falle einer parallelen Kunststoffeauschleusung für eine stoffliche Verwertung.

Hinsichtlich einer Verwertung der NE-Fraktion wurde entsprechend vorliegenden Abfalldaten von einem Anteil der NE-Fraktion an den Gesamtmetallen von 8,7 Gew % ausgegangen. Als wiederverwertbarer Bestandteil wurde Aluminium ausgewählt. Der Anteil beträgt 27,9%. Gutgeschrieben wird die Differenz der Emissionsinventare für die Bereitstellung von Neu- bzw. recyceltem Aluminium.

In den Abbildungen 6 und 7 ist beispielhaft dargestellt, wie eine solche zusätzliche stoffliche Verwertung die Bewertungsergebnisse beeinflussen kann. Die überschlägliche Abschätzung zeigt, daß die stoffliche Verwertung erhebliche Optimierungspotentiale bietet: die Einsparungen bzw. Gutschriften-erhöhungen können danach bis zu 0,5 % der jeweiligen nationalen Gesamtbelastung erreichen. Wie Abbildung 4 ausweist, ist damit eine Halbierung der Effekte verbunden. Welche Entlastungen eine Wiederverwertung tatsächlich erbringt, hängt von der Kunststoffzusammensetzung, den Aufwendungen für die Aufarbeitung und den tatsächlichen Substitutionswegen ab. Das muß einzelfallspezifisch untersucht werden. Die Verbesserungen durch eine Verwertung des Aluminiumanteils in der NE-Fraktion bringt dagegen geringere Vorteile.



84.4 Gesamtoptimierung und vergleichende Einordnung

Mit Ausnahme der stofflichen und energetischen Verwertung von Kunststofffraktionen im Restmüll schließen sich die einzelnen Stoffstromoptionen nicht aus, so daß sie im Sinne einer Optimierung der MBV miteinander kombiniert werden können. Die Optionen der Abfallbehandlung werden anhand von vier Varianten in Abbildung 8 dargestellt. Die Varianten direkte Deponierung und MVA stellen dabei die Grenzen bezüglich des Abbaus der organischen Materie dar: Während bei der direkten Deponierung überhaupt kein Organikabbau vor der Deponie stattfindet, wird bei der thermischen Behandlung die Organik nahezu vollständig vor der Deponie umgesetzt. Innerhalb dieser Grenzen bewegt sich die MBV, die einen teilweisen Abbau bewirkt.

Die zwei Intensivvarianten (Intensiv-MBA bzw. optimierte Intensiv-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 Abluffassung 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 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, von Kunststoffen für eine Weiterverwertung und der (danach noch verbliebenen) hochkalorischen Fraktion für industrielle 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 energeti-

sche Nutzung bzw. Verwertung von Fraktionen des Restmülls. Bezugsgröße für die Bewertungsergebnisse ist die jährlich in Deutschland zu entsorgende Restabfallmenge. Bei der MVA wurde von einer Rostfeuerung ausgegangen, für deren Wirkungsgrade und Emissionen mittlere Werte nach neuesten Erhebungen (Wallmann 1999, AGVU 2000) zugrunde gelegt wurden.

Deutlich erkennbar sind enorme Verbesserungen für die MBV bei einer Kombination verschiedener Verwertungsmaßnahmen. Die MBV weist dadurch in fast allen Bewertungsgrößen in der Gesamtbilanz Umweltentlastungen aus und erzielt mit Ausnahme des Bewertungskriteriums Ozonabbau der MVA vergleichbare Effekte. Gegenüber der Intensiv-MBA ohne Stoffstromausschleusung kommt es nur hinsichtlich der Emission langfristig wirkender Kanzerogene zu einer Verschlechterung. Verursacht wird das durch die vergleichsweise höheren Schwermetallemissionen bei einer Verwertung hochkalorischer Fraktionen im Zementwerk.

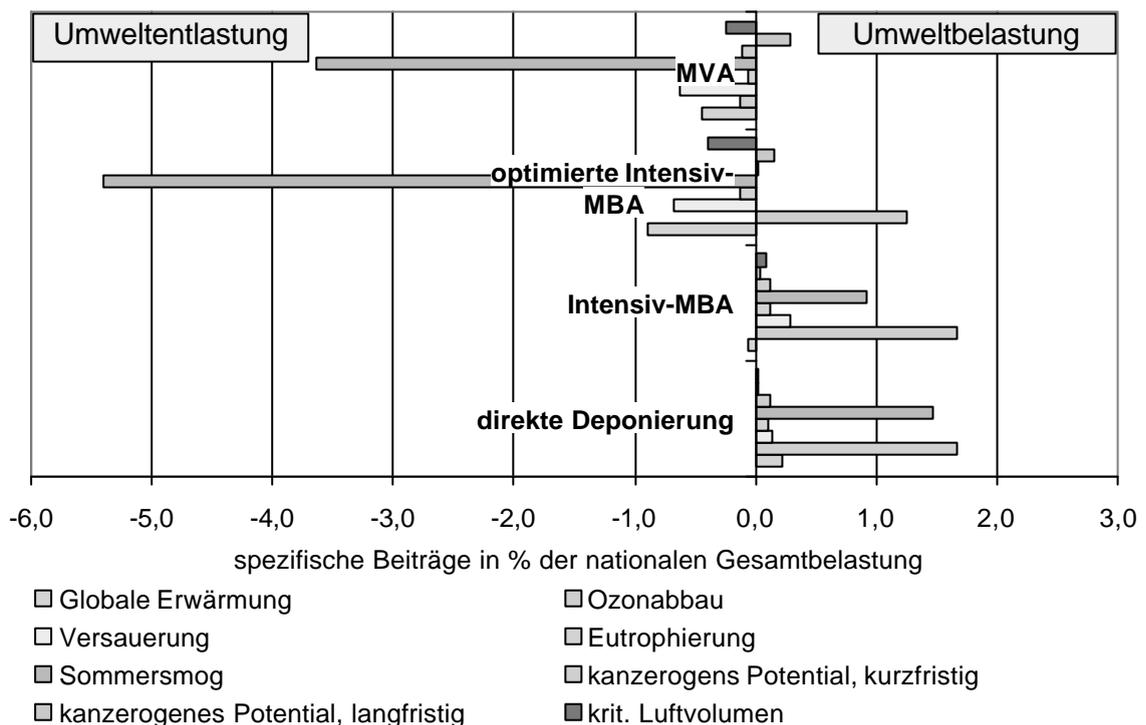


Abb. 8 Vergleich von ökologischen Auswirkungen von 4 Verwertungsvarianten

85 Ausblick

Mit Hilfe ökobilanzieller Bewertungsmethoden konnte gezeigt werden, daß die Umwelteffekte der MBV durch ein konsequentes Stoffstrommanagement deutlich reduziert werden können. Die ökologischen Entlastungen sind in allen Beispielen deutlich höher als die notwendigen Aufwendungen. Allerdings spielt die konkrete technische Ausgestaltung der Maßnahmen eine entscheidende Rolle auf das Gesamtergebnis. Für die praktische Anwendung weist dies einerseits auf erhebliche technische Optimierungspotentiale bestehender Systeme, andererseits auf die Notwendigkeit der einzelfallspezifischen Betrachtung hin. Weiterhin ist die Etablierung der stoffstromorientierten Abfallbehandlung nur möglich, wenn die entsprechenden ökonomischen und organisatorischen Rahmenbedingungen geschaffen werden, d. h. einerseits definierte Produktqualitäten erzeugt werden und andererseits eine tatsächliche Nachfrage nach diesen Wertstoffen besteht. Die Moderation dieses Prozesses stellt eine große abfallpolitische Herausforderung dar.

86 Literatur

- AGVU 1999 Dehoust, G.; Weinem, P.; Fritsche, U.; Wollny, V.: Vergleich der rohstofflichen und energetischen Verwertung von Verpackungskunststoffen, i. A. der Arbeitsgemeinschaft Verpackung und Umwelt AGVU, Darmstadt/Essen 1999
- BMU 1999 Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Pressemitteilung vom 20.08.1999
- FRICKE ET AL. 1999 Fricke, Dr. K.; Müller, Dr. W.: 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, Witzenhausen, Juli 1999
- KOLLER 1996: Koller, M.: Ansätze für eine ökologische Systembewertung - Ökobilanzen zur Restabfallbehandlung, in: Soyez, K. Hrsg. BMBF-Verbundvorhaben Mechanisch-biologische Behandlung von zu deponierenden Abfällen, Beiträge der 1. Tagung, 13./14. März 1996, Potsdam, Potsdam 1996
- KOLLER et al. 1999. Koller, M.; Thrän, D.; Herman, T. et al., Ökologische Bewertung der mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung, In: Tagungsband Ergebnispräsentation des BMBF-Verbundvorhabens, Potsdam, 7.-8.9.1999, S. 25-42
- KOLLER et al. 2000: Koller, M., M.; Thrän, D.; Herman, T., Soyez, K.: Ökologischer Stellenwert anaerober Behandlungsstufen in der mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung, in: B. Bilitewski (Hrsg.): Anaerobe biologische Abfallbehandlung, Erfahrungen – Konzepte – Produkte, Dresden, 21-22.2.2000
- MÜNSTER 1998 Dehoust, G. et al.: Sytemvergleich unterschiedlicher Verfahren der Restabfallbehandlung für die Stadt Münster, im Auftrag der Stadt Münster, Darmstadt 1998
- NIEWELER 1998 Nieweler, A.: Anlagenkonzept der mech.-biol. Restabfallbehandlungsanlage RABA Bassum. In: Arbeitsgemeinschaft stoffspezifische Abfallbehandlung Veranstalter: 2. Niedersächsische Abfalltage, Oldenburg 2.-4.März 1998, S. 310-319
- SIEVERS 1999 Sievers, Dr.-Ing. U.: Großtechnisches Pilotprojekt zur mechanisch-biologischen Abfallbehandlung des Landkreises Ravensburg. Abschlußbericht für den Ausschuß für Umwelt und Technik, Ravensburg, Mai 1997
- SOYEZ ET AL 1999 Soyez, K.; Koller, M.; Thrän, D. et al.: Systembewertung der mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung - Übersicht, In: Tagungsband Ergebnispräsentation des BMBF-Verbundvorhabens, Potsdam, 7.-8.9.1999, S. 1-24
- THRÄN ET AL 1998 Thrän, D.; Koller, M.; Soyez, K.: Einsatzmöglichkeiten der mechanisch-biologischen Vorbehandlung in einer stoffstromorientierten Abfallwirtschaft. In: Soyez, K. (Hg.): Mechanisch-biologische Restabfallbehandlung in Brandenburg. Forschungstexte des Brandenburgischen Umweltforschungszentrum. Alt-Ruppin, Januar 1998.
- VOLLMER 1999 Vollmer, G.-R.: Erschöpfende Vergärung von Restmüll mit Hygienisierung und Schadstoffabbau. Endbericht zum BMBF-Verbundvorhaben „Mechanisch-biologische Behandlung von zu deponierenden Abfällen“, Teilvorhaben 2/7, Nordhausen, März 1999
- WALLMANN 1999 Wallmann, R: Ökologische Bewertung der mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung und der Müllverbrennung auf Basis von Energie- und Schadgasbilanzen, Dissertation an der GH Kassel, 1999
- WALTER 1999 Walter, G.: Wissenschaftliche Begleitung des Restabfallbehandlungskonzeptes der Stadt Münster. In: Gallenkemper, Bidlingmaier, Doedens, Stegmann Hrsg.: 6. Münsteraner Abfallwirtschaftstage, Fachhochschule Münster, Münster 1999, S. 315-325

Anschrift der Autoren:

Matthias Koller, Daniela Thrän, Tim Hermann, Sebastian Plickert, Dr. Konrad Soyez
Universität Potsdam
Zentrum für Umweltwissenschaften, AG Ökotechnologie
Park Babelsberg 14, Haus 7, 14482 Potsdam