

# Optimierter Umgang mit gewerblichen Abfällen

Florian Knappe, Regine Vogt

IFEU-Institut Heidelberg

## Optimised Handling of Commercial Waste

### Abstract

For many elements of commercial waste, recycling the material brings on advantages from an ecological point of view. This also goes for plastics – especially when they can be used as recycled granules, thus able to be used as an intermediate good in the plastics industry. Plants for sorting and converting commercial waste into fuels should therefore also be able to generate such products in addition to sorting out PVC. In view of the situation on the waste disposal market and the risks involved in constructing substitute fuel power plants, a material-specific disposal of commercial waste could provide an important contribution to overcoming bottlenecks regarding waste disposal.

### Zusammenfassung

Für viele Bestandteile des Gewerbeabfalls ist eine werkstoffliche Verwertung aus ökologischer Sicht vorteilhaft. Dies gilt auch für Kunststoffe insbesondere dann, wenn sie als Regranulat und damit als Zwischenprodukt in der Kunststoffindustrie eingesetzt werden können. Anlagen zur Sortierung und Aufbereitung von Gewerbeabfällen zu Brennstoffen sollten daher neben der PVC-Ausschleusung auch derartige Sortierfraktionen erzeugen können. Angesichts der Situation auf dem Entsorgungsmarkt und der Risiken der Errichtung von Ersatzbrennstoffkraftwerken kann eine stoffspezifische Gewerbeabfallentsorgung einen wichtigen Beitrag zur Überwindung von Entsorgungsengpässen liefern.

### Keywords

Energetische Verwertung, Ersatzbrennstoff, Gewerbeabfall, Kunststoff, PM10-Risiko, stoffliche Verwertung, Treibhauseffekt,

Commercial waste, greenhouse effect, material recycling, plastics, PM10-risk, refuse derived fuels, thermal recycling,

## 1 Hintergrund

Seit Mitte 2005 hat sich die Restabfallentsorgung grundlegend gewandelt. Mit dem Verbot der Ablagerung unbehandelter Siedlungsabfälle auf Deponien mussten für die Restabfall-Stoffströme neue Entsorgungswege gefunden werden. Dies trifft insbesondere die gewerblichen Abfälle zu.

Es zeigt sich, dass die allseits propagierte Lösung einer Brennstoff-Erzeugung und deren Vermarktung in Zementwerken oder Kraftwerken bislang nicht in der gewünschten Form funktioniert und die deutlich gewachsenen Abfallmengen nicht bewältigen kann. Dies hat mehrere Gründe:

- Die ursprüngliche Idee, die an Sortieranlagen oder auch an einer MBA gewonnenen heizwertreichen Fraktionen direkt als Brennstoff zu vermarkten, ließ sich nicht umsetzen. Ohne weitere Aufbereitung erfüllen diese heizwertreichen Abfälle nicht die Anforderungen, die Abnehmer an einen Brennstoff stellen. Die abgetrennten heizwertreichen Fraktionen weisen weder definierte und gleichbleibende Brennstoff-Eigenschaften auf, noch sind sie ausreichend von Schadstoffen bzw. anderen für die Anlagen bzw. Verbrennung problematischen Stoffen abgereichert.
- Zudem gibt es bislang noch zu wenige Sortier- und Aufbereitungsanlagen bzw. zu geringe Anlagenkapazitäten, die aus heizwertreichen Sortierfraktionen oder gemischten Gewerbeabfällen durch weitere Aufbereitungsschritte hochwertige definierte Brennstoffe erzeugen könnten.
- Viele weitere müssen umgerüstet oder neu konzipiert werden, um mittels einer Positivauslese die Abfallbestandteile (Papiere, Kunststoffe etc.) aus dem Massenstrom zu separieren, von denen man weiß, dass sie die gewünschten Brennstoffeigenschaften (heizwertreich, schadstoffarm) aufweisen. Sind die Anlagen im Gegensatz so konzipiert, dass aus einem großen Massenstrom problematische Abfallbestandteile aussortiert werden (Negativauslese), sind die Qualitätsanforderungen nach bisherigen Erfahrungen nicht oder nicht ausreichend sicher einzuhalten.

Nach Einschätzung von BKB (KAUFMANN 2007) werden nur wenige Kohlekraftwerke eine langfristige Mitverbrennung von Ersatzbrennstoffen aus Siedlungs- und Gewerbeabfällen durchführen. Meist sind es Steinkohlekraftwerke mit Schmelzkammerfeuerung, die aufgrund der geringen Effizienz in den nächsten 15 Jahren stillgelegt werden. Die Mitverbrennung in Zementwerken wird sich nach dieser Einschätzung auf spezifische Fraktionen wie bspw. Papierschlämme und damit produktionsspezifische Abfälle konzentrieren.

Seit Mitte 2005 gibt es daher längerfristige Fehlkapazitäten bei der energetischen Verwertung von heizwertreichen Abfällen und dabei sowohl für mittel- sowie auch für hochkalorische Abfälle. Diese Situation führt dazu, dass derzeit große Mengen heizwertreicher Abfälle entweder auf den Grundstücken der Entsorger selbst oder auf genehmigten Zwischenlagern (teilweise auf den ehemaligen Siedlungsabfalldeponien) gelagert werden.

Als Lösung aus dem Entsorgungsdilemma wird derzeit die Errichtung von Ersatzbrennstoffkraftwerken propagiert, d.h. die Abfallwirtschaft baut sich ihre eigenen Energetischen Verwertungsanlagen. Derzeit bestehen nur 10 dieser Anlagen mit einer Gesamtkapazität von 660.000 Jahrestonnen bei einem mittleren Heizwert von 11 bis 16 MJ/kg.

Diese Strategie wurde bereits für das als Brennstoff eher problematische Trockenstabilat verfolgt. Es handelt sich bei diesen "Kraftwerken" meist um Rostfeuerungsanlagen (gelegentlich auch Wirbelschichtverbrennungsanlagen) mit umfassender Rauchgasreinigung und damit um Anlagen vergleichbar zu Müllverbrennungsanlagen. Nicht alle diese Anlagen lassen sich zudem in ein optimales Energienutzungskonzept (Wärmenutzung) einbinden. Im Vordergrund steht nicht selten eher der Gedanke der Entsorgung der Abfälle (Brennstoffe).

Vor diesem Hintergrund und anstehender Investitionsentscheidungen stellt sich die Frage, ob nicht zumindest Teilfraktionen aus den gewerblichen Abfällen eher werkstofflich anstatt energetisch werden sollten. Auch Gewerbeabfallsortieranlagen lassen sich technisch so ausrüsten und konzipieren, dass sie bspw. über Kunststoffarten hochwertige Sortierfraktionen zur werkstofflichen Verwertung bereit stellen können. Vorbild sind hier die entsprechenden Sortieranlagen aus dem Bereich der Leichtverpackungen.

Für viele Stoffe aus dem Gewerbeabfall ist eine werkstoffliche Verwertung ökologischer und nachhaltiger, wie die nachfolgenden Ausführungen zeigen sollen. Inwieweit eine werkstoffliche Verwertung von gewerblichen Abfällen im Vergleich zu den Entsorgungsalternativen rohstoffliche Verwertung und energetische Verwertung bzw. Entsorgung über Müllverbrennungsanlagen aus ökologischer Sicht sinnvoll ist, soll nachfolgend anhand zweier Teilfraktionen aus dem Bereich der Kunststoffabfälle aufgezeigt werden.

Kunststoffe bestimmen wesentlich den Heizwert der gewerblichen Abfälle und damit auch die Eignung dieser Abfälle als Brennstoff. Die Frage der Sinnhaftigkeit einer werkstofflichen Verwertung von gewerblichen Abfallbestandteilen muss sich daher insbesondere bei dieser Abfallfraktion zeigen.

## **2 Entsorgungsalternativen für Kunststoffe**

Die nachfolgende Bilanzierung und Bewertung der Entsorgungsalternativen unterstellt, dass der Aufwand für Sammlung, Sortierung und Transport vor den jeweiligen Entsorgungsansätzen immer gleich ist. Diese Aufwendungen liegen daher außerhalb der Systemgrenzen, d.h. sie fanden keinen Eingang in die Bilanzierung und vergleichende Bewertung. Ebenfalls nicht mit einbezogen ist konsequenterweise auch die Frage der Entsorgung von Sortierresten, d.h. unterstellt wurde, dass die Sortier- und Aufbereitungsverfahren für die Herstellung von Brennstoffen oder werkstofflich verwertbaren Fraktionen in etwa die gleichen Mengen und Zusammensetzungen an Sortierresten aufweisen.

Die Diskussion wird anhand von 2 Beispielen geführt: PE (Polyethylen) bspw. aus Verpackungsfolien und sogenannte Mischkunststoffe, wie sie auch bei der Verwertung von Leichtverpackungen als Sortierfraktion anfallen. Letztere bringen die schlechtesten Vor-

aussetzungen für eine werkstoffliche Verwertung mit, PE als Kunststoffart als Sortierfraktion mit die besten.

PE-Folie lässt sich unter anderem mit einem Wassergehalt von 16%, einem Heizwert von 30,5 MJ/kg, einem Inertanteil von 1% und einem Gehalt an  $C_{\text{fossil}}$  von 717 g/kg beschreiben. Mischkunststoff wird mit einem Wassergehalt von 21%, einem Heizwert von 35 MJ/kg und einem Inertanteil von 4,5 % angenommen. Der Gehalt an fossilem Kohlenstoff liegt bei 786 g/kg.

Um die grundsätzlichen Stärken und Schwächen einer werkstofflichen oder einer energetischen Verwertung dieser Kunststoffe im Vergleich diskutieren zu können, wurden folgende Verwertungsansätze beispielhaft herangezogen:

- Extrusion zu technischen Folien (keine Option für MKS)
- Kompaktierung zu Thermoplasten (Substitution von Holz bzw. Beton)
- Rohstoffliche Verwertung im Hochofen
- Rohstoffliche Verwertung über Vergasung
- Energetische Verwertung im Zementwerk
- Energetische Verwertung im Kraftwerk
- Thermische Behandlung in einer MVA

Die werkstoffliche Verwertung erfolgt zum einen durch Granulierung der PE-Folie, wodurch diese Primär-PE-Granulat bei der Produktion neuer Folien ersetzen kann. Grundsätzlich wird von einer technischen Gleichwertigkeit des regranulierten PE mit Primär-PE ausgegangen, so dass eine Substitution zu 100% bezogen auf die Granulatmasse angerechnet wird. Als Primär PE wird jeweils zur Hälfte PE-HD (high density) und PE-LD (low density) angerechnet. Die Umweltbelastungen aus der Primärherstellung sind dabei bei PE-LD in der Regel etwas höher als bei PE-HD. Die Informationen zur Herstellung von PE-HD und PE-LD aus Primärrohstoffen beruhen auf veröffentlichten Daten des Europäischen Verbands der Kunststoffhersteller (APME).

Eine weitere Form der werkstofflichen Verwertung ist die Kompaktierung zu Formteilen. Der Energieaufwand dieses Recyclingweges unterscheidet sich nicht von dem der Granulierung, auch hier fallen definitionsgemäß keine weiteren Aufbereitungsverluste an. Die hergestellten Kunststoffformteile ersetzen Produkte aus Nicht-Kunststoffen wie z.B. Holz- und Beton-Palisaden. Bei der Berechnung der Substitutionsfaktoren muss folgendes berücksichtigt werden: Die Dichte von Beton ist 2,6-fach höher, als die von Kunststoff, hingegen ist die Dichte von Holz nur das 0,75-fache der Dichte von Kunststoff. Zudem haben die verschiedenen Anwendungen der Holzersatzprodukte aus Recycling-

Kunststoff eine Lebensdauer, die bis hin zum 4-fachen der Lebensdauer der Holzprodukte reicht (z.B. Seewasserbau). Im Mittel wird von der 2,5-fachen Lebensdauer ausgegangen. Aus den genannten Faktoren ergibt sich ein Substitutionsfaktor von 2,6 für den Ersatz von Beton, für den Ersatz von Holz errechnet sich dieser zu  $0,75 * 2,5 = 1,875$ .

Die Unterschiede ergeben sich für die beiden Kunststoffarten aus der unterschiedlichen Zusammensetzung. So wird z.B. bei der Kompaktierung zur Herstellung von Formteilen bei den MKS in Folge des höheren Wassergehaltes 10% des eingehenden Materials als Wasser abgespalten. Entsprechend niedriger fällt das massenäquivalente Substitutionspotenzial aus. Des Weiteren ist der Strombedarf zur Herstellung von Formteilen für MKS geringer (350 kWh/t anstatt 1.000 kWh/t bei PE).

Unter die rohstofflichen Verwertungsverfahren fallen diejenigen, in denen in einem Produktionsprozess fossile Rohstoffe entweder als Betriebsmittel oder als Produkt eines Verfahrens ersetzt werden.

Im Hochofenprozess substituiert die PE Folie oder der MKS schweres Heizöl zur Erzeugung des nötigen Redoxpotenzials bei der Stahlherstellung. Die Verrechnung der äquivalenten Menge erfolgt über den jeweiligen Energiegehalt (Heizwert).

Auch bei der rohstofflichen Verwertung unterscheidet sich der Verwertungsweg von MKS gegenüber dem für PE-Folien etwas. Hier muss aus dem vergleichsweise feuchten MKS zunächst Agglomerat hergestellt werden. Dies ist mit einem entsprechenden Energiebedarf (Strombedarf 330 kWh/t) sowie mit einem zusätzlichen Transport verbunden. Überschüssiges Wasser (11% des Input) wird in Form von Wasserdampf freigesetzt. Erst das aufbereitete MKS-Agglomerat gelangt schließlich in die rohstoffliche Verwertung über Hochofen und Vergasung.

Durch die Vergasung wird Methanol erzeugt, als Nebenprodukt fällt thermische Energie an. Für letztere wird angenommen, dass diese zu 70% ein tatsächlich nutzbares Dampfpotenzial aufweist. Das aus PE-Folie erzeugte Methanol substituiert 1:1 synthetisch hergestelltes Methanol, das in Deutschland üblicherweise zu 75% aus Erdgas, zu 15% aus Braunkohle und zu 10% aus Schweröl erzeugt wird.

Die nutzbare Wärme ersetzt in Deutschland im Mittel zu 82,6% Fernwärme und zu 17,4% Prozesswärme (abgeleitet nach ITAD 2002). Der Mix der Prozessdampferzeugung in Deutschland (ohne Abfallverbrennung) leitet sich ebenfalls nach (ITAD 2002) ab zu:

**Tabelle 1** Mix der Prozessdampferzeugung in Deutschland

Formen der Prozessdampferzeugung	Anteil in %
Steinkohlekessel	21,3%
Braunkohlekessel	4,2%
Leichtölkessel	7,5%
Schwerölkessel	9,2%
Gaskessel	57,8%

Fernwärme dient der Raumwärmeerzeugung in privaten Haushalten und ersetzt derzeit vor allem dezentrale Heizungssysteme (zu 88,5%, neben 1,5% Nahwärme und 10% Fernwärme aus Kraftwerken) und dabei vorwiegend Heizöl befeuerte (zu 85%, neben 10% Gasheizungen, die derzeit durch Fernwärme nur marginal substituiert werden und 5% Stromheizungen).

Die energetischen Verwertungsverfahren beinhalten Verfahren, bei denen Kunststoffe zur Erzeugung von Energie eingesetzt werden. Beim Einsatz von Kunststoffen in einem Zementwerk wird derzeit Steinkohle ersetzt, die Verrechnung des Substitutionspotenzials erfolgt über den jeweiligen Energieinhalt (Heizwert). Die Mitverbrennung von Abfallstoffen in Kraftwerken erfolgt ausschließlich in Kohlekraftwerken, entsprechend wird durch den Einsatz von PE-Folie oder MKS Kohle ersetzt und wiederum erfolgt die Verrechnung des Substitutionspotenzials über den jeweiligen Energieinhalt (Heizwert).

Für die Verbrennung der Kunststoffe in einer Müllverbrennungsanlage wurde von einer modernen MVA ausgegangen mit einem elektrischen Wirkungsgrad von 10% und einem thermischen Wirkungsgrad von 30%. Durch die Stromerzeugung wird konventionell in Deutschland erzeugter Strom substituiert. In der nachfolgenden Tabelle ist der mittlere Energieträgermix zur Nettostromerzeugung dargestellt (Stand 2003, Angaben des Verbands der Elektrizitätswirtschaft VDEW 2004).

**Tabelle 2** Energieträgermix zur Nettostromerzeugung in Deutschland

Formen der Stromerzeugung	Anteil in %
Steinkohle	23,9%
Braunkohle	26,1%
Mineralöl	1,1%
Naturgase	12,3%
Kernenergie	27,8%
Wasserkraft (ohne Pumpspeicherkraftwerke)	3,6%
Windkraft	3,3%
Sonstiges	1,8%

Für die Modellierung der mittleren Stromerzeugung wurde der Beitrag durch Mineralöl wegen der geringen Bedeutung vernachlässigt. Der Beitrag aus der Abfallverbrennung (unter "Sonstiges", Anteil an gesamt etwa 0,9%) wurde der Abfallentsorgung zugewiesen. Aufwendungen und Emissionen, die sich aus der Bereitstellung der Infrastruktur von Anlagen ergeben würden, sind hier insgesamt wegen ihres untergeordneten Beitrages zu den Gesamtaufwendungen und -emissionen vernachlässigt. Die erzeugte Wärme ersetzt, wie oben zur rohstofflichen Verwertung beschrieben, Prozess- und Fernwärme. Die Gutschriftrechnung erfolgt über den dort beschriebenen Mix der Prozesswärmeerzeugung.

### **3 Ergebnisse der vergleichenden ökologischen Bewertung der Entsorgungsalternativen für Kunststoffe**

Die Ergebnisse beziehen sich auf die Entsorgung einer Tonne PE Folie bzw. einer Tonne Mischkunststoff.

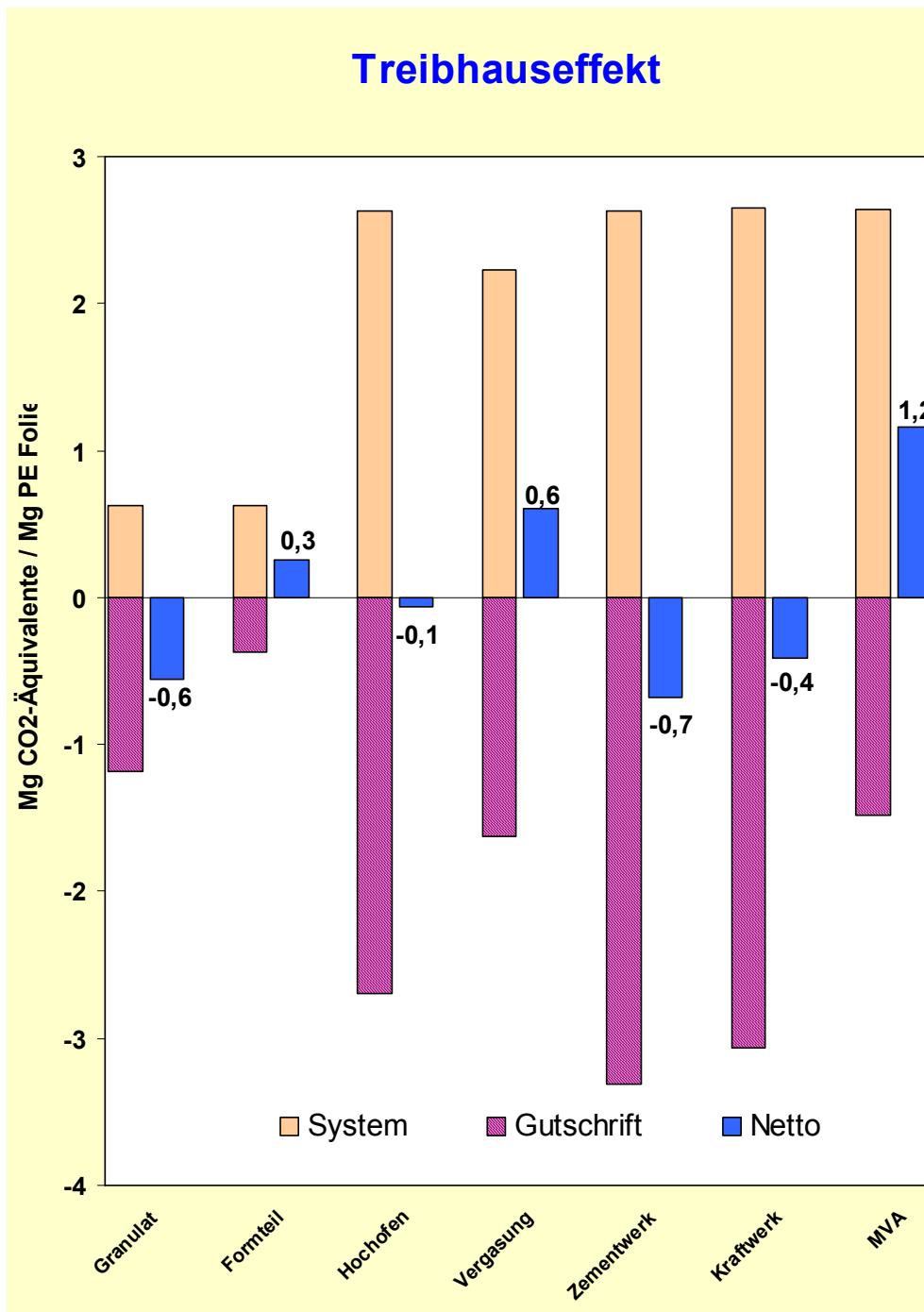
Betrachtet man sich zunächst die Ergebnisse für PE-Folie, so zeigt sich folgendes Bild:

Die Ergebnisse für den Treibhauseffekt (siehe Abbildung 1) werden in allen Verwertungsoptionen durch Emissionen von Kohlendioxid fossilen Ursprungs bestimmt. Die Emissionen resultieren bei den energetischen Verfahren und beim Einsatz im Hochofen aus der vollständigen thermischen Oxidation der PE Folie, beim Vergasungsverfahren ebenfalls aus der anteiligen Oxidation der PE Folie sowie der anteiligen Oxidation und der Bereitstellung der im Verfahren eingesetzten Steinkohle. Die Belastungen sind gegenüber den zuvor genannten Verfahren um den Kohlenstoffanteil geringer, der im produzierten Methanol gebunden wird.

Bei den werkstofflichen Verfahren resultieren die Emissionen an fossilem Kohlendioxid aus dem benötigten Energiebedarf. Die Gutschriften aus den Äquivalenzprozessen der energetischen und rohstofflichen Verwertung bedingen sich durch den energetischen Wirkungsgrad der Prozesse bzw. durch den jeweils ersetzten fossilen Rohstoff und dessen, auf den Energiegehalt bezogenen, spezifischen Kohlenstoffgehalt.

Unter dem Gesichtspunkt der potenziellen Beiträge zur Versauerung ergibt sich die höchste Gutschrift für die werkstoffliche Verwertung zu Regranulat für die Folienherstellung. Sie wird jeweils zur Hälfte durch  $\text{NO}_x$ - und  $\text{SO}_2$ -Emissionen aus der Primär-PE-Herstellung bestimmt. Auch bei der werkstofflichen Verwertung zu Formteilen wird die Gutschrift je etwa zur Hälfte durch  $\text{NO}_x$ - und  $\text{SO}_2$ -Emissionen bestimmt, vorwiegend resultierend aus der Zementklinkererzeugung, sie fällt im Vergleich allerdings deutlich niedriger aus. Beim Einsatz im Hochofen, der Vergasung und Zementwerk werden die Gutschriften vorwiegend durch vermiedene  $\text{SO}_2$ -Emissionen bestimmt, beim Einsatz im

Kraftwerk v.a. durch NO<sub>x</sub>-Emissionen, bei der Verbrennung in einer MVA wiederum durch SO<sub>2</sub>-und NO<sub>x</sub>-Emissionen.

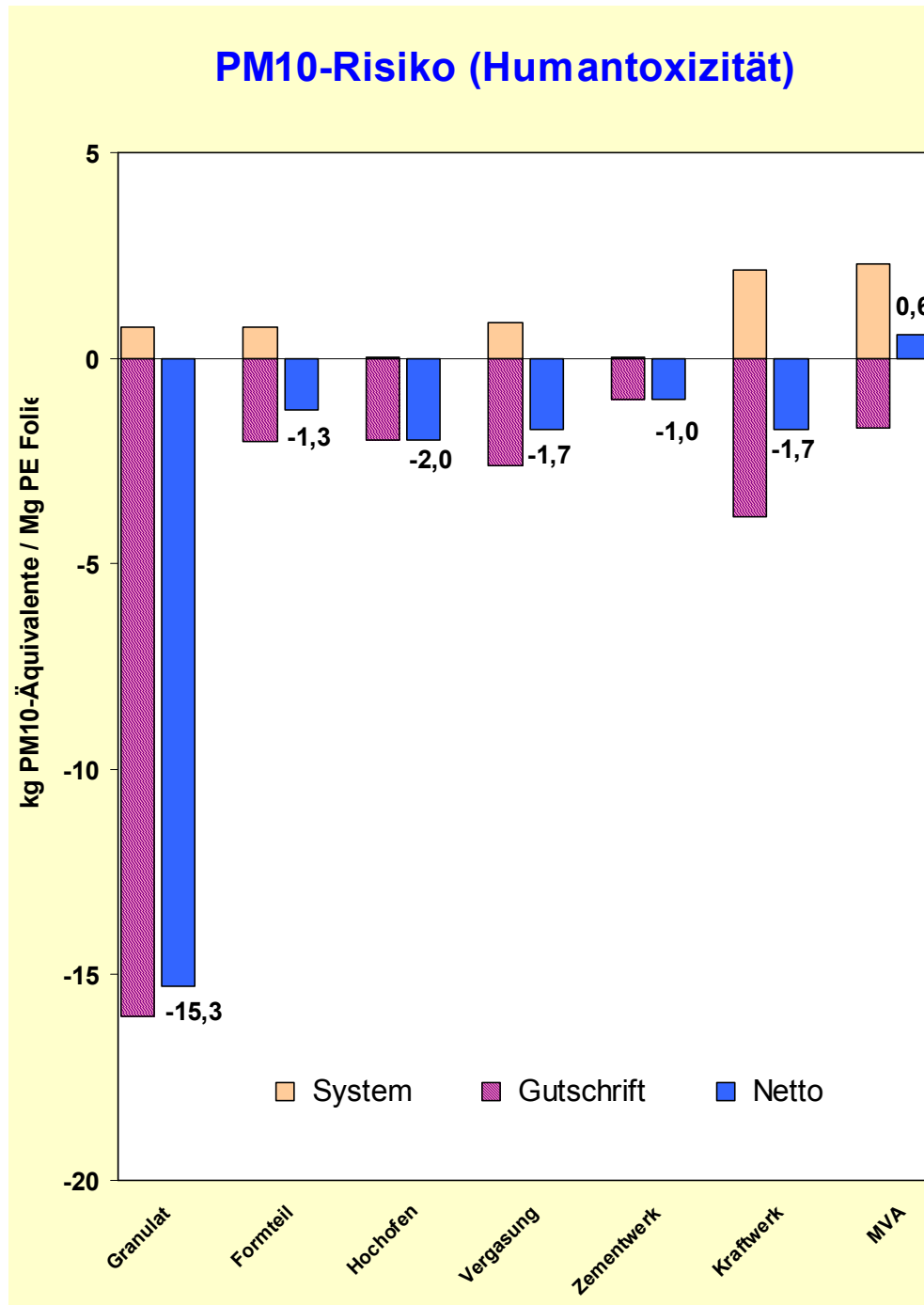


**Abbildung 1** Ergebnisse der vergleichenden Bewertung der Verwertung von PE-Folie - Treibhauseffekt

Die vergleichsweise hohen Gutschriften beim Krebsrisiko aus den Äquivalenzprozessen der Vergasung und Verbrennung in MVA ergeben sich in beiden Fällen aus der Substitution von Wärme, bei der MVA nahezu vollständig, bei der Vergasung zu etwa 65% (Rest durch entsprechende Emissionen der Methanolherstellung). Hinsichtlich der



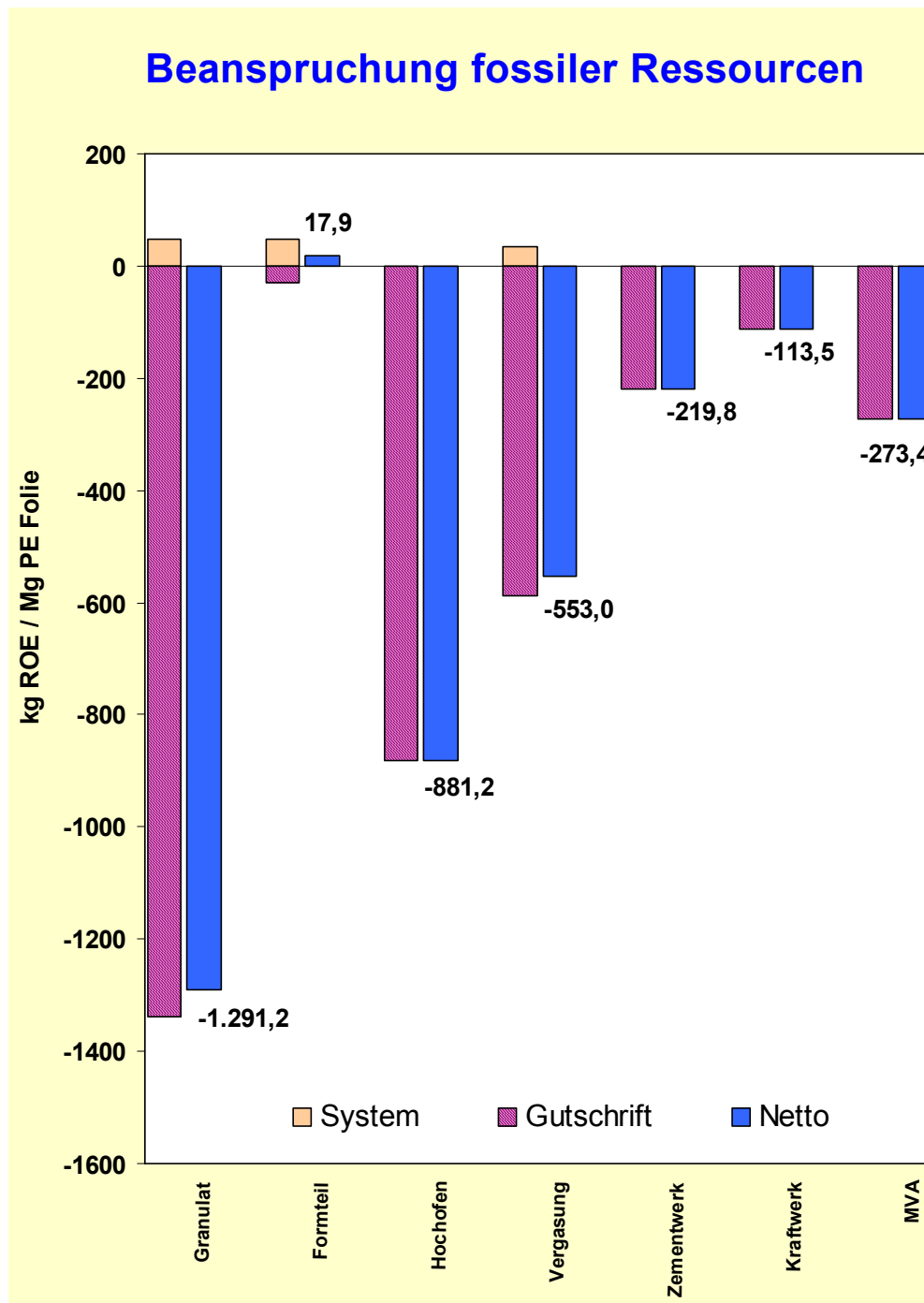
Wärmesubstitution ist festzuhalten, dass hier v.a die Substitution von Heizöl in dezentralen Heizungen entsprechende Umweltwirkungen einspart.



**Abbildung 2** Ergebnisse der vergleichenden Bewertung der Verwertung von PE-Folie – PM10-Risiko

Die Ergebnisse für die Wirkungskategorien humantoxisches Risiko durch Feinstaub (PM10) (siehe Abbildung 2) und terrestrischer Eutrophierung entsprechen in der grundsätzlichen Tendenz derjenigen, die für Versauerungspotenzial vorgestellt wurde. Sie sind bei der terrestrischen Eutrophierung fast vollständig durch die Substitution der Freisetzung von Stickoxiden bestimmt. Nur in dem Szenario Einsatz in Kraftwerken

spielt auch die Substitution von Ammoniak eine gewisse Rolle. Bei Feinstaub kommen neben diesen auch die Substitutionseffekte für Staub und Schwefeldioxid zum Tragen.



**Abbildung 3** Ergebnisse der vergleichenden Bewertung der Verwertung von PE-Folie – Beanspruchung fossiler Ressourcen

In die Beurteilung der Beanspruchung fossiler Ressourcen (siehe Abbildung 3) spielt auch die Frage der Endlichkeit der Lagerstätten der einzelnen Ressourcen rein. Entsprechend bedeutender ist die Substitution von Rohöl insbesondere gegenüber Kohle.

Die Reihenfolge der Ergebnisse unterscheidet sich je nach Wirkungskategorie. Die werkstoffliche Verwertung von PE Folie zu Regranulat weist hinsichtlich des Beanspruchung fossiler Energieträger und der Versauerung, Eutrophierung und PM10-Risiko die mit Abstand höchsten Umweltentlastungen auf und ist damit deutlich günstiger als die diskutierten Entsorgungsalternativen. Dies gilt auch für den Treibhauseffekt. Auch hier weist diese werkstoffliche Verwertung gegenüber fast allen anderen Optionen ebenfalls deutliche Vorteile auf. Eine Ausnahme bildet die energetische Verwertung über eine Mitverbrennung im Zementwerk, die wegen der angenommenen Substitution von Steinkohle eine höhere Entlastung erreicht. Hinsichtlich des Krebsrisikos wird die werkstoffliche Verwertung zu neuen Folien deutlich von der Verwertung über Vergasung und der thermischen Behandlung in MVA übertroffen. Dieses Ergebnis ist allerdings nur dem Umstand zu verdanken, dass derzeit durch produzierte Fernwärme Heizöl in dezentralen Heizungen ersetzt wird, mittel- bis langfristig werden sich diese hohen Substitutionserfolge überlebt haben.

Betrachtet man sich die Bewertungsergebnisse für Mischkunststoffe, zeigt sich folgendes Bild:

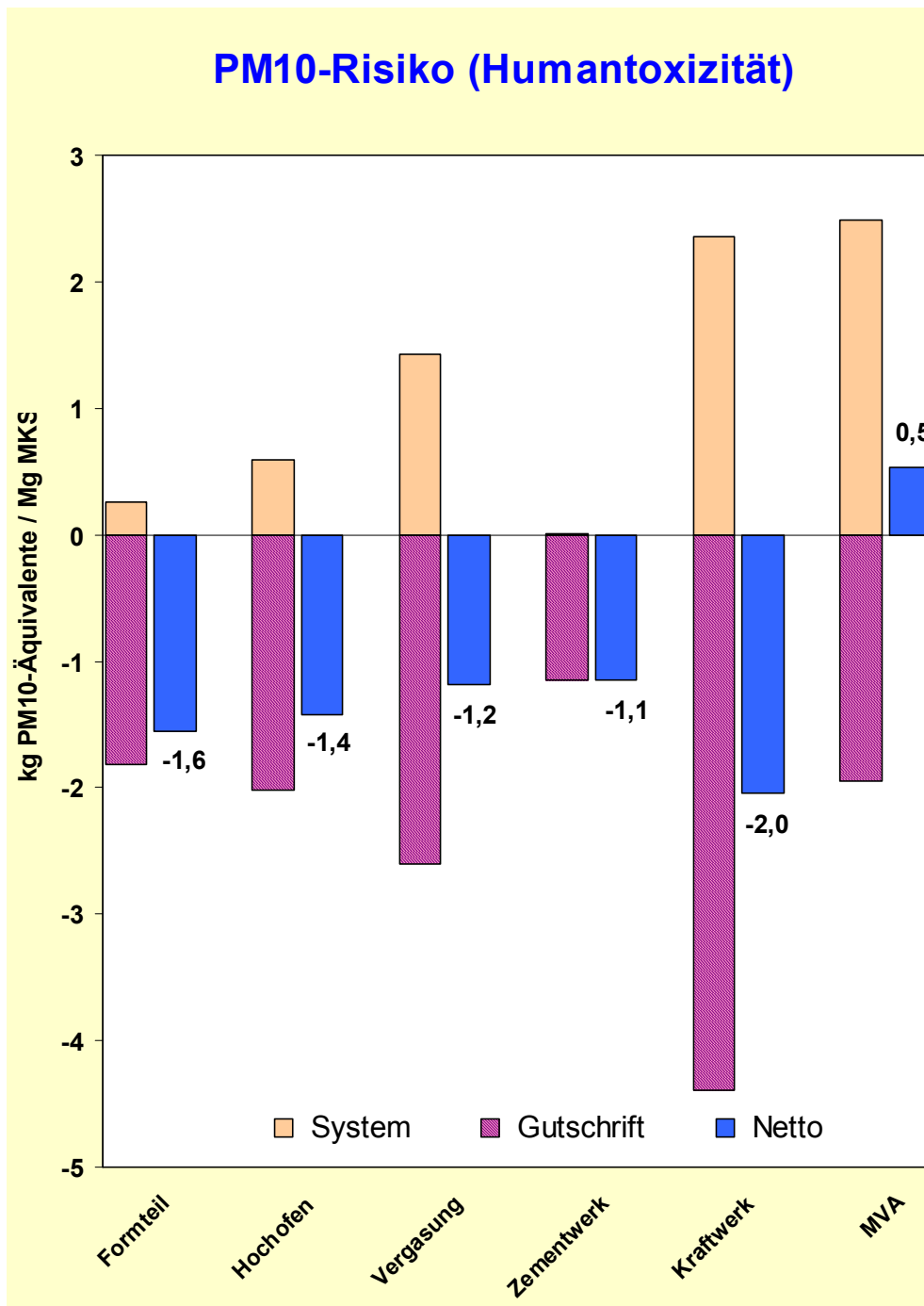
Da es sich bei der Verwertung von Mischkunststoffen um nahezu die gleichen Verwertungsverfahren handelt wie bei PE Folie, sind auch die zu PE Folie aufgeführten Erläuterungen zu den Ergebnissen weitgehend auf die der Mischkunststoffe übertragbar. So werden bspw. die Ergebnisse zum Treibhauseffekt auch hier auf die gleiche Weise wie für PE Folie beschrieben durch Kohlendioxidemissionen fossilen Ursprungs bestimmt. Im Netto-Ergebnis ist die werkstoffliche Verwertung von Mischkunststoffen positiv, d.h. die Substitutionseffekte übersteigen die mit der Entsorgung verbundenen Umweltlasten. Ein Einsatz als Ersatzbrennstoff erweist sich gegenüber einer werkstofflichen Verwertung als etwas günstiger.

Hinsichtlich der Versauerung, Eutrophierung und des PM10-Risikos (siehe Abbildung 4) kommt es durch das Fehlen der Möglichkeit einer werkstofflichen Verwertung zu Regranulat nicht zu auffällig unterschiedlichen Gutschriften durch die Äquivalenzprozesse. Für die untersuchten Optionen gelten jedoch grundsätzlich die gleichen Anmerkungen wie bei PE-Folie beschrieben. Abweichend dazu fallen die Belastungen in den rohstofflichen Verwertungsoptionen anteilig etwa höher aus als bei der PE Folie. Dies erklärt sich teilweise aus der für MKS notwendigen Aufbereitung zu Agglomerat. Im Hochofen entstehen darüber hinaus auch höhere Chlorwasserstoffemissionen als beim PE Folieneinsatz in Folge des höheren Chlorgehaltes der MKS.

Beim Krebsrisikopotenzial erklären sich die hohen Gutschriften der Vergasung und der MVA wiederum v. a. durch die substituierte Raumwärme. Die auch hier im Vergleich zur

PE Folie etwas höheren Belastungen aus dem Hochofenprozess sind auf höhere Cadmiumemissionen beim Einsatz von MKS in Folge des höheren Cadmiumgehaltes dieser Kunststoffe zurückzuführen.

Da im Hochofenprozess Schweröl substituiert wird, weist diese Verwertungsoption im Bezug auf die Schonung fossiler Ressourcen das beste Ergebnis auf.



**Abbildung 4** Ergebnisse der vergleichenden Bewertung der Verwertung von Mischkunststoffen – PM10-Risiko

## 4 Fazit

Eine stoffliche Verwertung ist für die meisten Abfallbestandteile aus ökologischer Sicht günstiger als eine rein energetische Nutzung. Dies gilt auch für Kunststoffe, die einen hohen Heizwert und daher günstige Eigenschaften für eine Energienutzung aufweisen. Erfolgt die Sortierung der Gewerbeabfälle nach Kunststoffarten, so lassen sich Sortierfraktionen erzeugen, die als Regranulat hochwertig als Zwischenprodukt in der Kunststoffindustrie eingesetzt werden können. Am Beispiel PE-Folie konnten die ökologischen Vorteile aufgezeigt werden. Sie lassen sich auf alle anderen Kunststoffarten übertragen, die sich in Sortieranlagen erzeugen lassen.

Gelingt es nicht sortenreine Kunststoffe zu separieren, so zeigt sich eine werkstoffliche Verwertung gegenüber den Entsorgungsalternativen nicht mehr grundsätzlich vorteilhaft. Erfolgt die energetische Verwertung jedoch über Ersatzbrennstoffkraftwerke, in denen nur Strom erzeugt wird und weisen diese aufgrund der Chlorbelastung der gewerblichen Abfälle (SCHU 2007) mit klassischen Müllverbrennungsanlagen vergleichbare energetische Wirkungsgrade auf, so bleibt auch hier die stoffliche Verwertung vorteilhaft. Werden diese gemischten Kunststoffe jedoch mit hohen Wirkungsgraden als Brennstoff eingesetzt, führt dies meist zu leichten ökologischen Vorteilen.

Diese hochwertige energetische Verwertung setzt jedoch voraus, dass die gemischten gewerblichen Abfälle zu hochwertigen Ersatzbrennstoffen aufbereitet werden bzw. zumindest die PVC-Anteile bzw. Chlorgehalte deutlich gemindert werden. Dies gelingt zuverlässig nur über technische Lösungen wie bspw. NIR-Geräte. Sortierreste aus Baumischabfallsortieranlagen, von Verpackungsabfällen etc. weisen hohe Anteile an Chlor auf. Zudem gibt es bestimmte Gewerbeabfälle, die höhere PVC-Anteile oder andere chlorhaltige Kunststoffe aufweisen können. Dies bedeutet, dass gerade potenzielle Ausgangsstoffe für Ersatzbrennstoffe stark mit Chlor befrachtet sein können. Wegen steigendem PVC-Absatz werden sich diese Mengen in Zukunft noch erhöhen.

Werden die Sortieranlagen für Gewerbeabfälle entsprechend ausgerüstet, ist es nur noch ein vergleichsweise kleiner Schritt, auch andere Kunststoffarten und andere Gewerbeabfallbestandteile wie bspw. PPK zu separieren und einer werkstofflichen Verwertung zuzuführen.

In den aufgezeigten Bilanzen ist die Sortierung nicht einbezogen. Würde man unterstellen, dass der (energetische) Aufwand der Sortierung und die damit verbundenen Umweltlasten nur bei einer werkstofflichen Verwertung notwendig würden und bei der Bilanzierung zu berücksichtigen wären, hätte dies keine größeren Auswirkungen auf die dargestellten Ergebnisse. Wie Untersuchungen zur Frage der Sammelsysteme für Verpackungsabfälle für das MUNLV (IFEU, INFA 2005) zeigte, liegen diese Aufwendungen bspw. hinsichtlich Treibhauseffekt <5% der gesamten Lasten des Entsorgungssystems.

Wie aus den oben dargestellten Ergebnisse ebenfalls deutlich wird, wird das Ergebnis bei den meisten Umweltwirkungskategorien deutlich durch die erzielbaren Substitutionserfolge. Die mit der Entsorgung verbundenen Lasten sind demgegenüber deutlich geringer.

Derzeit ist die Entsorgungswirtschaft verunsichert und befürchtet Überkapazitäten bei der Ersatzbrennstoffverwertung, sie scheut langfristige Brennstofflieferverträge zu den derzeit üblichen Marktkonditionen. Die Preise liegen nach (SCHU 2007) für die Verwertung von Ersatzbrennstoffen bei 75 €/t bis zu 100 €/t. Mit der werkstofflichen Verwertung von einigen Kunststoffen lassen sich demgegenüber derzeit angesichts der Rohstoffnachfrage eher Erlöse erzielen.

Angesichts der Probleme bzw. der Engpässe bei den Entsorgungskapazitäten für gewerbliche Abfälle über eine energetische Verwertung ist der Zeitpunkt günstig, über Alternativen hierzu nachzudenken. Dazu kommt, dass mittelständische private Entsorger nicht die Finanzkraft besitzen, Ersatzbrennstoffkraftwerke selbst zu errichten und zu betreiben. Ebenso fällt es schwer, besonders für die freien Gewerbeabfälle die geforderten Bürgschaften zu erbringen, so dass der einzige Ausweg im Aufbau von Sortieranlagen mit dem Ziel der Abtrennung stofflich verwertbarer Fraktionen liegt (SCHU 2007).

## 5 Literatur

- |                                            |      |                                                                                                                                                                                                                                  |
|--------------------------------------------|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Dehoust, G., Gebhardt, P.,<br>Gärtner, St. | 2002 | Der Beitrag der thermischen Abfallbehandlung zu Klimaschutz, Luftreinhaltung und Ressourcenschonung, Studie des Öko-Institutes e.V. im Auftrag der ITAD, Darmstadt 2002                                                          |
| IFEU-Institut Heidelberg /<br>INFA Ahlen   | 2005 | Ökologische und ökonomische Bewertung von Sammelsystemen für Haushaltsabfälle in Nordrhein-Westfalen, Studie im Auftrag des MUNLV Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Düsseldorf 2005 |
| IFEU-Institut Heidelberg                   | 2007 | Ökobilanz thermischer Entsorgungssysteme für brennbare Abfälle in Nordrhein-Westfalen, im Auftrag des MUNLV Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz NRW, Veröffentlichung vorgesehen 2007   |
| Kaufmann, R., Heinemann,<br>S.             | 2007 | Stabile Marktverhältnisse in Aussicht. Bei der thermischen Behandlung von Abfällen sind in den nächsten Jahren keine Überkapazitäten zu erwarten, in Müllmagazin Nr. 1/2007, S.37-45                                             |

- |                        |      |                                                                                                                                                                                                             |
|------------------------|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Schu, R., Niestroj, J. | 2007 | Herkunft und Qualität ausschlaggebend. Anlagenauslegung, Brennstoffbeschaffung und Qualitätssicherung für Abfallverbrennungsanlagen müssen sorgfältig geplant werden, in: Müllmagazin Nr. 1/2007, S. 11- 20 |
| VDEW                   | 2004 | Verband der Elektrizitätswirtschaft: Nettostromerzeugung in Deutschland VDEW (VDEW homepage, Stand 15.3.2004)                                                                                               |

**Anschrift der Verfasser**

Dipl.-Geogr. Florian Knappe  
Dipl. Ing. Regine Vogt  
IFEU-Institut Heidelberg gGmbH  
Wilckensstraße 3  
D-69120 Heidelberg  
Telefon +49 6221 476726  
Email [florian.knappe@ifeu.de](mailto:florian.knappe@ifeu.de)  
Website: [www.ifeu.de](http://www.ifeu.de)