

Verfahrenstechniken für das Recycling

Karl J. Thomé-Kozmiensky

- 1. Abfallwirtschaft in Deutschland 51
- 2. Abfallverwertung..... 55
- 3. Verwertung von Leichtverpackungsabfällen 57
- 4. Verfahrenstechniken für die Abfallverwertung 59
- 5. Literatur 64

1. Abfallwirtschaft in Deutschland

Eigentlich könnten wir hinsichtlich des Niveaus der Abfallwirtschaft in Deutschland sehr zufrieden sein. Die Abfallentsorgung weist, wie aus der deutschen und europäischen Abfallstatistik ersichtlich, sowohl absolut als auch im Vergleich mit den Ländern Europas ein hohes Niveau auf. Sie gehört dank der Entwicklung und Umsetzung der Gesetzgebung, der Verfahrenstechnik und der Abfallbehandlung zur Spitzengruppe der Länder, die die Beseitigung durch Verwertung ersetzen. (Bild 1)

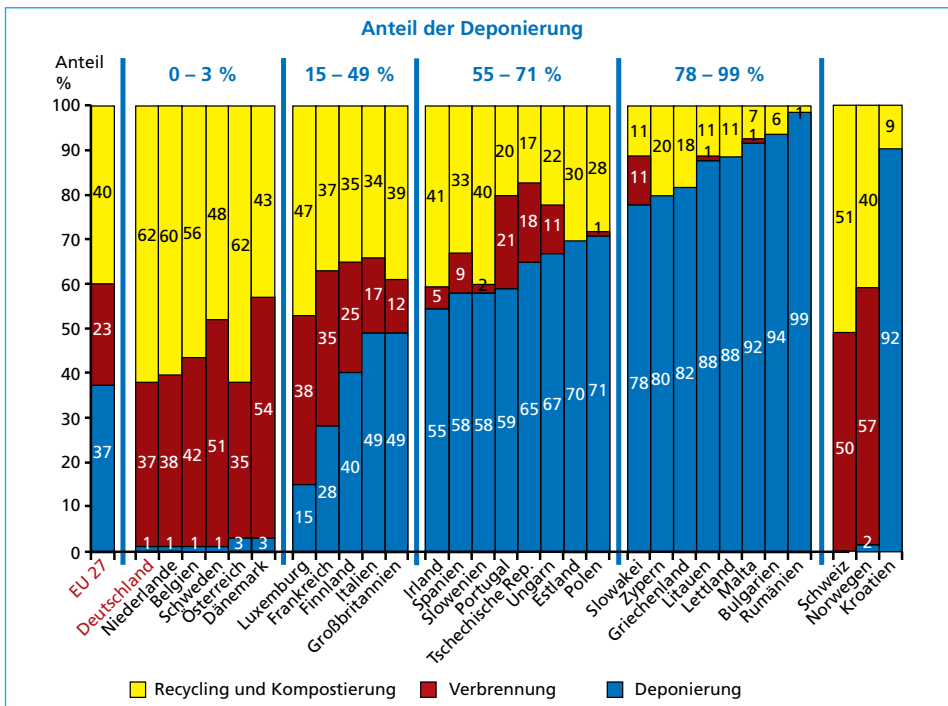


Bild 1: Siedlungsabfallbehandlung in der EU-27, der Schweiz, Norwegen und Kroatien

Quelle: eurostat 2011

Deutschland verfügt über eine Siedlungsabfallentsorgung auf hohem technischen und organisatorischen Niveau, die gleichermaßen hygienische und ökologische, aber auch wirtschaftliche und soziale Aspekte berücksichtigt und auch für die Bürger bezahlbar bleibt.

Allerdings sind auch Fehler und Missverständnisse in den offiziellen Darstellungen sowie Fehlentwicklungen in der Rechtssetzung, der Organisation und der praktischen Durchführung offensichtlich. Beispiele sind die offiziellen Statistiken des Abfallaufkommens und der Entsorgungswege, die Zuordnung von Verfahrenstechniken zu Rangfolgestufen der Abfallhierarchie, die Ermittlung der Verwertungsquoten sowie der Verwaltungsaufwand und die Kosten [13] sowohl bei den Behörden als auch bei den Unternehmen. Die Bewertung einzelner Maßnahmen für die Verwertung bedarf ebenfalls der Korrektur.

Abfallaufkommen

In Deutschland betrug das Abfallaufkommen im Jahr 2011 etwa 343 Millionen Tonnen (blaue Kurve in Bild 2). Mit der roten Kurve wird das Abfallaufkommen einschließlich der Abfälle aus Abfallbehandlungsanlagen dargestellt. Damit wird der Anschein erweckt, dass das gesamte Abfallaufkommen in 2011 sogar 387 Millionen Tonnen betrug. Dieser Eindruck ist falsch.

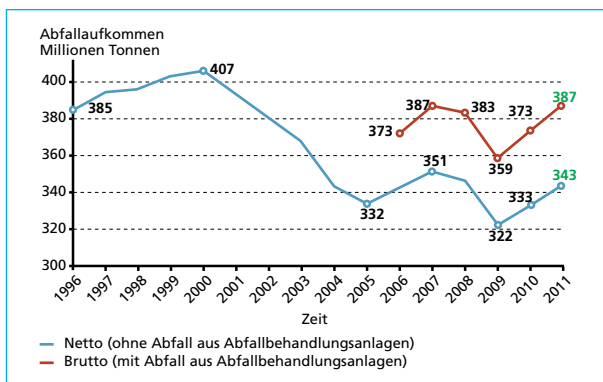


Bild 2:

Abfallaufkommen in Deutschland von 1996 bis 2011, getrennt nach Brutto- und Nettoaufkommen

Quelle: Statistisches Bundesamt, Juli 2013 (vorläufige Angabe)

Bei den Vorgängen zur Abfallverwertung handelt es sich um komplexe Gesamtprozesse, die in Teilprozesse untergliedert sind, die meistens an unterschiedlichen Orten und häufig auch in verschiedener Zuständigkeit ablaufen. Beispielhaft sei der Gesamtprozess der Rückgewinnung von Eisen aus gemischten Abfällen betrachtet:

Die erste Stufe – die Abtrennung des Schrotts aus dem Abfallgemisch – kann mit Magnetscheidern in einer mechanischen Aufbereitungsanlage oder alternativ in einer Abfallverbrennungsanlage mit Magnetscheidern aus der Asche durchgeführt werden.

Der Gesamtprozess mit dem *kalten Teilprozess* am Beginn des Gesamtprozesses kann in folgenden Teilprozessen ablaufen:

- mechanische Aufbereitung des gemischten Abfalls mit Ausschleusung der Schrottfraktion durch Magnetscheider,

- mechanische Abtrennung der anhaftenden Kunststoff- und Papierabfälle,
- Zusammenstellung verschiedener Schrotte als Vorstufe für das Schmelzen im Lichtbogenofen,
- Schmelzen im Lichtbogenofen mit Austragen von Stahl und Schlacke,
- Verarbeitung des Rohstahls zu Rohmaterial,
- Verarbeitung des Stahls in der Güterproduktion.

Erst mit der Verwendung des Stahls im Produktionsprozess ist der Kreislauf geschlossen; aus der Stahlproduktion kann die Recyclingquote ermittelt werden. Beim alternativen Gesamtprozess mit dem *warmen Teilprozess* am Beginn wird der Metallschrott aus gemischten Abfällen mit einer Abfallverbrennungsanlage mit Aussortierung des Schrotts aus der Verbrennungasche separiert. Hier dient der Abfallverbrennungsprozess sowohl der energetischen als auch der stofflichen Verwertung. Die organischen Abfallbestandteile werden zu Wärme und/oder elektrischem Strom – also energetisch – verwertet. Die anorganischen Bestandteile werden in weitere Teilprozesse überführt, an deren Ende die stoffliche Verwertung – als Metall oder Baustoff – steht.

Bei der Bewertung des Prozesses mit der Abfallverbrennung als ersten Teilprozess kann nicht eindeutig festgelegt werden, ob dieser erste Teilprozess der stofflichen oder der energetischen Verwertung, also der zweiten oder dritten Hierarchiestufe zuzuordnen ist. Wird eine derartige Unterscheidung als notwendig erachtet, müssen alle Abfälle und Nebenprodukte, die bei den Teilprozessen entstehen, einzeln betrachtet werden.

Herkunft und Entorgung der Abfälle

In Bild 3 wird die Herkunft der Abfälle in Deutschland dargestellt. Der größte Teil des Abfallaufkommens wird in Gewerbe und Industrie erzeugt und von der Wirtschaft in eigener Verantwortung, d.h. privatwirtschaftlich entsorgt, in erster Linie verwertet.

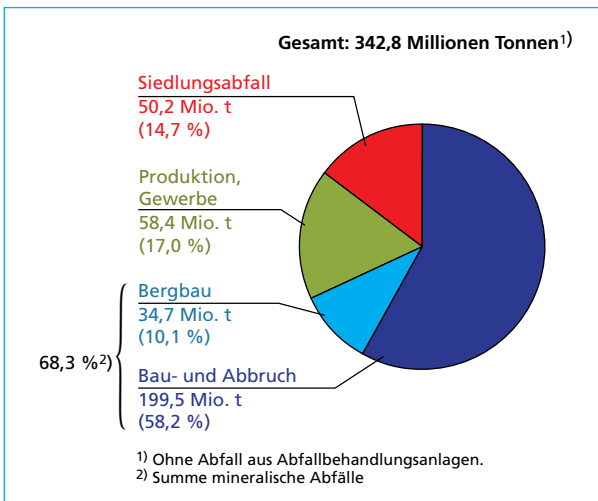


Bild 3:

Herkunft der Abfälle in Deutschland im Jahr 2011

Quelle: Statistisches Bundesamt, Mai 2013 (vorläufige Angaben)

Tabelle 1: Anlagen zur Abfallentsorgung in Deutschland im Jahr 2012

Art der Anlage	Entsorgungsanlagen		Input gesamt	
	t			
	2012*	2011	2012*	2011
Deponien	1.138	1.180	36.933.000	36.899.000
Thermische Abfallbehandlungsanlagen	168	167	24.187.000	24.479.000
Feuerungsanlagen mit energetischer Verwertung	687	668	20.512.000	20.277.000
Chemisch-physikalische Behandlungsanlagen	550	536	9.230.000	8.829.000
Bodenbehandlungsanlagen	114	118	3.516.000	3.896.000
Biologische Behandlungsanlagen	1.977	2.029	14.158.000	14.163.000
Mechanisch (-biologische) Abfallbehandlungsanlagen	60	61	4.144.000	4.474.000
Demontagebetriebe für Altfahrzeuge	1.323	1.349	486.000	479.000
Schredderanlagen-Schrottscheren	722	662	14.225.000	14.582.000
Sortieranlagen	1.077	1.031	24.243.000	24.624.000
Zerlegeeinrichtungen für Elektro- und Elektronikaltgeräte	316	298	850.000	818.000
sonstige Behandlungsanlagen	721	616	21.249.000	24.510.000
Abfallentsorgungsanlagen insgesamt	8.853	8.715	173.733.000	178.028.000

*vorläufige Zahlen

Quelle: Statistisches Bundesamt

Tabelle 2: Behandlungsanlagen für Siedlungsabfälle in Deutschland

Anzahl	Art der Abfallbehandlungsanlagen
1.077	Sortieranlagen (Stand 2012, vorläufige Angabe) ¹
252	Bioabfallkompostierungsanlagen (Stand 2010) ²
672	Grünabfallkompostierungsanlagen (Stand 2010) ²
800 bis 900	Vergärungsanlagen mit Genehmigung für Bioabfall ³
61	mechanisch(-biologische) Abfallbehandlungsanlagen ⁴
67	Abfallverbrennungsanlagen mit strengen Emissionsgrenzwerten ⁴
1	Pyrolyseanlage ⁴
36	Ersatzbrennstoffkraftwerke in Betrieb (Stand 12/2012) ⁴
346	Deponien waren es vor dem 1. Juni 2005, dem Inkrafttreten der Abfallablagerversordnung
196	Deponien der Klasse II seit 2006, die nur noch für vorbehandelte Abfälle zugelassen waren
158	Deponien der Klasse II (Stand 2011) ²

¹ Statistisches Bundesamt: Abfallentsorgung, vorläufiger Ergebnisbericht für ausgewählte Entsorgungsanlagen, erschienen im Februar 2014

² Statistisches Bundesamt: Fachserie 19, Reihe 1, erschienen am 5. Juli 2013

³ Fachverband Biogas, telefonische Auskunft vom 27.2.2012

⁴ eigene Recherche

Vom Gesamtaufkommen waren etwa fünfzig Millionen Tonnen Siedlungsabfälle; das sind ungefähr fünfzehn Prozent, wofür in erster Linie die Kommunen – die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger – zuständig sind. Die Kommunen erledigen die Entsorgung selbst oder vergeben sie unter Beibehaltung ihrer Verantwortung nach öffentlicher Ausschreibung an private Unternehmen oder an Public-Privat-Partnership-Unternehmen.

Einen Eindruck vom Stand der Abfallentsorgung in Deutschland vermitteln die Aufstellung der fast neuntausend Abfallbehandlungsanlagen in Deutschland (Tabelle 1) sowie die in dieser Zahl enthaltenen etwa 3.500 Anlagen für die Behandlung von Siedlungsabfällen (Tabelle 2).

2. Abfallverwertung

Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes wurden in 2011 etwa 77 Prozent der Abfälle verwertet und etwa 23 Prozent beseitigt. Der Verwertungsanteil verteilt sich nach dieser Statistik zu 71,3 Prozent auf die stoffliche und zu 5,8 Prozent auf die energetische Verwertung (Bild 4).

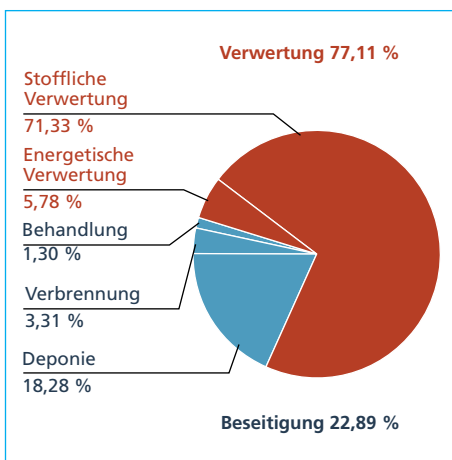


Bild 4: Verwertungs- und Beseitigungsquoten für Deutschland in 2011

Quelle: Statistisches Bundesamt

44 Millionen Tonnen Siedlungsabfälle aus Haushalten wurden getrennt gesammelt und in der offiziellen Statistik zum größten Teil der stofflichen Verwertung, also dem Recycling, zugeordnet (Bild 5).

Die offiziellen Angaben der Abfallstatistik zu den Mengen der recycelten Abfälle beziehen sich jedoch nur auf den Input in die ersten Stufen des mehrstufigen Gesamtprozesses, der sich jedoch – in Abhängigkeit von Inputmaterial und von den gewünschten Endprodukten – aus mehr oder weniger zahlreichen Einzelprozessen zusammensetzt. Für Recyclingprozesse für Siedlungsabfälle ist der erste Einzelprozess in der Regel eine Sortieranlage, also eine Anlage, in der der Abfallinput mehr oder weniger grob für die folgenden Einzelprozesse in Abhängigkeit von

der beabsichtigten späteren Verwertung vorsortiert, jedoch noch nicht recycelt wird. Wirklich recycelt, also stofflich verwertet, werden nur die Anteile der Abfälle, die nach ihrer Abtrennung für die vorgesehene stoffliche Verwertung brauchbar sind und tatsächlich in den Stoffkreislauf zurückgeführt werden.

Zum Verständnis: Der Weg zur stofflichen Verwertung ist als Gesamtprozess zu betrachten, der aus verschiedenen Einzelprozessen besteht, mit denen aus dem Abfallinput

einzelne Bestandteile für die vorgesehene Verwertungsart in möglichst hoher Qualität ausgeschleust werden. Der Gesamtprozess ist erst abgeschlossen, wenn die gewonnenen Sekundärrohstoffe primäre Rohstoffe und die gewonnenen Ersatzbrennstoffe primäre Brennstoffe – also auch Rohstoffe – ersetzen.

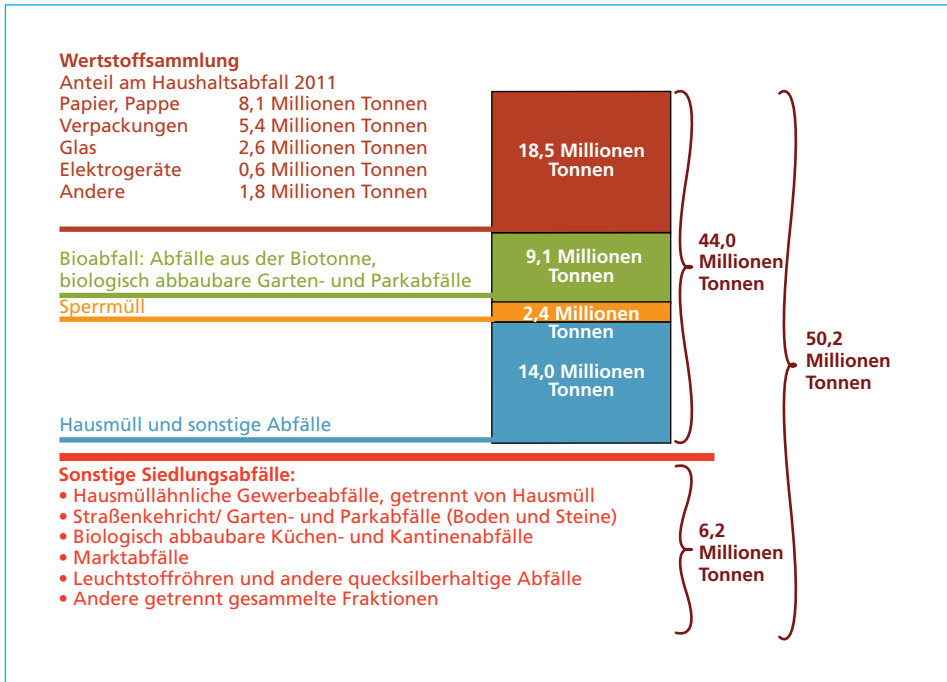


Bild 5: Abfalltrennung in Deutschland im Jahr 2011

Quelle: Statistisches Bundesamt, Mai 2013 (vorläufige Angaben)

Das dem gesamten Verwertungsprozess zugeführte nicht stofflich verwertete Material wird entweder als Restabfall in Abfallverbrennungsanlagen oder Deponien beseitigt oder als Ersatzbrennstoff in Ersatzbrennstoff- oder Kohlekraftwerken oder in Zementwerken energetisch verwertet.

Wie hier dargelegt, sind die Angaben über die recycelten Abfallanteile in der amtlichen Statistik irreführend, weil schon die der ersten Stufe des Gesamtprozesses zugeführten Abfälle der stofflichen Verwertung zugerechnet werden, auch wenn ein großer oder sogar der größte Teil des Abfalloutputs in die energetische Verwertung oder sogar in die Abfallbeseitigung geht. Hier wird Brutto mit Netto verwechselt. Für die korrekte Angabe über das Recycling, also über die in den Stoffkreislauf rückgeführten Abfälle, muss das nicht stofflich verwertete Material, das zu Verbrennungsanlagen oder zu Deponien gebracht wird, von den derzeit offiziellen Angaben der statistischen Ämter über das Recycling abgezogen werden. Die amtliche Statistik ist der Objektivität und Transparenz verpflichtet. Daher darf nur das wirklich stofflich verwertete Material der

Hierarchiestufe *Recycling* zugeordnet werden. Die Abfälle, die energetisch verwertet oder beseitigt werden, müssen den entsprechenden Kategorien zugeordnet werden, also der *sonstigen Verwertung* oder der *Beseitigung*.

Hochwertige Verwertung

Der Begriff *hochwertige Verwertung* wird im Kreislaufwirtschaftsgesetz nicht präzise definiert. Es handelt sich also um einen unbestimmten Rechtsbegriff.

Als ein unbestimmter Rechtsbegriff wird ein Merkmal innerhalb einer gesetzlichen Bestimmung bezeichnet, die vom Gesetzgeber nicht genau festgelegt worden ist. Aus sprachlicher Sicht scheint dieses Merkmal keinen eindeutigen Inhalt zu besitzen. Damit sich ein gewisser Sinn ergibt, bedarf es der Auslegung dieses Merkmals. Bei der Auslegung ist zu beachten, dass sämtliche individuelle Umstände bewertet und berücksichtigt werden müssen.

Quelle: Juraforum: Unbestimmter Rechtsbegriff

Der Gesetzgeber hat es bislang versäumt, den Begriff der hochwertigen Verwertung zu konkretisieren. Dennoch wird der Begriff von interessierter Seite regelmäßig zu Werbezwecken verwendet. Für die hochwertige Verwertung sollten Voraussetzungen definiert werden, z.B.:

- Der Recyclingprozess muss insgesamt umweltverträglich, mindestens umweltverträglicher als mögliche Alternativen sein.
- Die Produkte aus als hochwertig bezeichneten Behandlungsprozessen sollten qualitativ mit Produkten aus primären Rohstoffen vergleichbar, zumindest höherwertiger sein, als Produkte aus alternativen Recyclingprozessen. Eine gute Annäherung zur Konkretisierung des Begriffs der Hochwertigkeit eines Recyclingsproduktes kann seine qualitative Vergleichbarkeit mit Produkten aus primären Rohstoffen sein.

3. Verwertung von Leichtverpackungsabfällen

Der Fehler bei der derzeitigen Zuordnung zu den verschiedenen Kategorien der Abfallhierarchie kann am Beispiel der Leichtverpackungen weiter verdeutlicht werden: Die Leichtverpackungsabfälle werden für die erste Behandlung mechanischen Aufbereitungsanlagen zugeführt, in denen sie in hauptsächliche Stoffströme aufgeteilt werden. Nach Durchlaufen dieses ersten Teilprozesses^[3] gelangen etwa:

- dreißig Prozent zu Anlagen, in denen sie für die stoffliche Verwertung konditioniert werden,
- sechzig Prozent als Ersatzbrennstoffe zu Kraft- oder Zementwerken, in denen sie – ggf. nach einem Konfektionierungsprozess – energetisch verwertet werden,
- zehn Prozent als Restabfall in Beseitigungsanlagen, z.B. in Abfallverbrennungsanlagen oder Deponien.

Obwohl nur ein geringer Teil des Anlageninputs nach Durchlaufen des ersten Teilprozesses weiteren Teilprozessen und schlussendlich der stofflichen Verwertung zugeleitet wird, wird der gesamte Anlageninput in der Statistik fälschlich der stofflichen Verwertung zugerechnet.

Wichtiger ist jedoch die Antwort auf die Frage, ob die zur Zeit ihrer Einführung notwendige Verpackungsverordnung weiterhin in der praktizierten Organisationsform für die ressourcenschonende Abfallwirtschaft sinnvoll [6, 8, 14] und ob die Aufrüstung zu einer *Wertstofftonne* für den Ressourcenschutz zweckmäßig ist.

Zum Ende der achtziger Jahre des vergangenen Jahrhunderts drohte das Fehlen von Abfallbehandlungskapazitäten den Kollaps der Abfallwirtschaft herbeizuführen. Diese Entwicklung schien auch wegen des Widerstandes der Bevölkerung gegen den Bau von Deponien und Abfallverbrennungsanlagen unaufhaltsam. Die Politik sah sich genötigt, durch Maßnahmen zur Vermeidung weiterer Umweltbeeinträchtigungen das Kapazitätsproblem zu bewältigen. Für die mittelfristige Problemlösung wurde das Abfallbeseitigungsgesetz vom 7. Juni 1972 durch das Gesetz über die Vermeidung und Entsorgung von Abfällen vom 27. August 1986 ersetzt. Ziele waren unter anderem die Abfallvermeidung sowie der Bau und die Erhöhung der Akzeptanz von Entsorgungsanlagen. Diese auf Langfristigkeit ausgelegten programmatischen Vorhaben konnten jedoch den sich abzeichnenden *Entsorgungsnotstand* nicht verhindern.

Bei der Analyse des Restabfallaufkommens wurde deutlich, dass ein erheblicher Anteil des Abfalls aus Haushalten und Gewerbe aus Verpackungsabfällen bestand. Mit einem *Kunstgriff* wurden die Kommunen von der Verantwortung für die Verpackungsabfälle befreit. Die Verantwortung für deren Entsorgung wurde mit der Verpackungsverordnung in der Fassung vom 12. Juni 1991 mit der Zielformulierung *Produkt- oder Produzentenverantwortung* von den Kommunen genommen und der Wirtschaft – den Herstellern und Inverkehrbringern der Verpackungen – übertragen. Diese konnten nun ihre Verantwortung – in unterschiedlichen Organisationsformen – Dritten übertragen. Die Organisation und Durchführung der Verpackungsabfallentsorgung obliegt seither privatwirtschaftlichen Unternehmen, für die die Erledigung dieser Aufgabe sich zu einem lukrativen und dank der planwirtschaftlich anmutenden Randbedingungen zu einem dauerhaften Geschäft entwickelte, um das inzwischen die zahlreichen Beteiligten mit allen in einem Rechtsstaat erlaubten Mitteln kämpfen.

Heute stellt sich die Verpackungsentsorgung in Deutschland wie folgt dar:

- Das Verpackungsaufkommen und damit das Verpackungsabfallaufkommen haben seit der ersten Verpackungsverordnung zugenommen.
- Die mit der Verpackungsverordnung beabsichtigte Stabilisierung von Mehrwegsystemen hat nicht stattgefunden.
- Die ursprünglich als überparteiische Clearingstelle zur Organisation der logistischen und aufbereitungstechnischen Aufgaben sowie zur Vermarktung der erzeugten Sekundärrohstoffe vorgesehene Gesellschaft DSD AG hat sich zu einem mächtigen Wirtschaftsunternehmen entwickelt, das nicht nur die ursprünglich

vorgesehenen Aufgaben wahrnimmt, sondern darüber hinaus in Konkurrenz zu den von ihr beauftragten Entsorgungsunternehmen tritt und diesen das Eigentum an den Produkten aus den Aufbereitungsprozessen streitig macht [10]. Die inzwischen gegründeten neuen Unternehmen, die im Wettbewerb zur DSD AG stehen sollen, organisieren kaum die Hälfte des ursprünglich von der DSD AG als Monopolist wahrgenommenen Geschäfts.

- Sammlung, Aufbereitung, Vermarktung und Verwertung von Altglas [12] und Altpapier verlaufen – von einigen Ärgernissen abgesehen – im Wesentlichen ohne nennenswerte Probleme, wenn man vom Anspruch der Duales System Deutschland GmbH am Eigentum des aufbereiteten Altpapiers absieht.
- Zwischen den dualen Systemen wird über die Verteilung des Geldes gestritten, wie die Kündigung der Clearingverträge zeigt.
- Die Verwertung der mit gelben Säcken und Abfallgefäßen erfassten Leichtverpackungsabfälle ist problematisch, sie ist teuer und die Ergebnisse der Aufbereitungsvorgänge sind trotz erheblicher Fortschritte der Technik hinsichtlich der Produktqualität unbefriedigend [1, 5].
 - * An den Metallschrottfractionen haften Papier- und Kunststoffabfälle, so dass für die Schrotte geringere Erlöse erzielt werden, als für den Schrott aus Abfallverbrennungsanlagen.
 - * Von den aufbereiteten Leichtverpackungen wird nur ein geringer Teil stofflich verwertet; die hauptsächliche Menge wird entweder in Abfallverbrennungsanlagen oder in eigens dafür errichteten Industriekraft- oder in Kohlekraft- oder in Zementwerken als Ersatzbrennstoffe energetisch verwertet [15].
 - * Die zur stofflichen Verwertung vorgesehenen sortieren Kunststoffabfälle [5] werden entweder exportiert oder im Inland zu Produkten verarbeitet, die größtenteils kaum als hochwertig bezeichnet werden können.

4. Verfahrenstechniken für die Abfallverwertung

Für die meisten Verwertungsprozesse müssen mehrere Teilprozesse mit unterschiedlichen Verfahrenstechniken angewandt werden, bis aus Abfällen Sekundärrohstoffe oder Ersatzbrennstoffe werden. Das sind z.B. mechanische, chemische, biologische und thermische Prozesse.

Neben anderen Verfahren kann der Abfallverbrennungsprozess – Abfallverbrennung mit Ascheaufbereitung – ein erster Teilprozess im gesamten Recyclingprozess sein (Bild 6). Die Metallschrottfractionen können den verschiedenen Hüttenprozessen und die Aschen mit dem Klinker aus dem Brennprozess den Zementmühlen zur Herstellung von Zement zugeführt werden. Ein Gesamtprozess zur Verwertung, an dessen Anfang die Abfallverbrennung steht, kann für einzelne Sekundärrohstoffe bessere Ergebnisse für das Recycling zeitigen als ein Gesamtprozess mit einem Teilprozess mit mechanischer Aufbereitung am Beginn. Zum Beispiel kann das Ausbringen von Metallschrotten aus der Abfallverbrennung größer als das von Schrotten aus der mechanischen Sortierung

von Mischabfällen sein. Auch die Qualität einzelner Schrotte aus der Abfallverbrennung kann höher sein als aus der mechanischen Aufbereitung. Für die aus den Aschen aus-sortierten Schrotte werden höhere Preise erzielt als für Schrotte aus der mechanischen Sortierung von gemischten Abfällen, also auch von Leichtverpackungsabfällen. Anders ist die Situation von organischen Verpackungsabfällen zu bewerten. Werden diese verbrannt, werden daraus Wärme und elektrischer Strom gewonnen, der anorganische Anteil des Abfalls fällt als Asche an, die stofflich verwertet werden kann. Auch mit der energetischen Verwertung werden Rohstoffe eingespart.

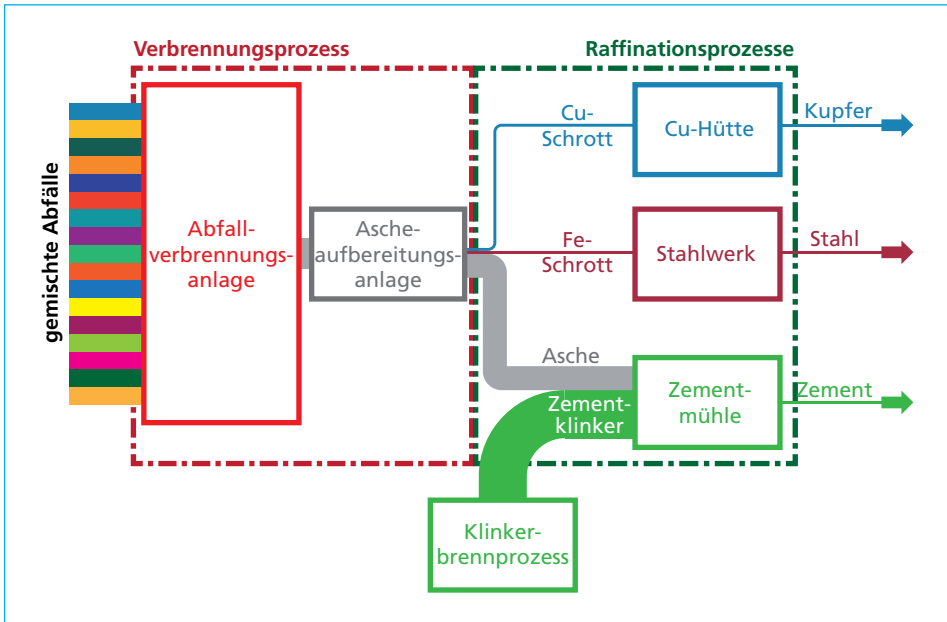


Bild 6: Möglicher erster Teilprozess für die Verwertung von Rest- und Leichtverpackungsabfällen

Jedoch geht der größte Teil des Anlageninputs in die mechanische Aufbereitung als ersten Teilprozess der Behandlung von Leichtverpackungsabfällen in die energetische Verwertung. Nach unterschiedlichen Berechnungsverfahren gelangen nur zwanzig bis dreißig Prozent des Anlageninputs in die stoffliche Verwertung.

Konkurrenz der Verfahren innerhalb von Recyclingprozessen

In der öffentlichen Wahrnehmung gilt es als feststehendes Erkenntnis, dass Gesamtprozesse mit einer mechanischen Aufbereitung als erstem Teilprozess ökologisch und ökonomisch günstiger sind als solche mit einer Abfallverbrennung am Beginn. Das ist nicht in jedem Fall richtig.

Nicht nachvollziehbar ist die Behauptung interessierter Kreise, dass ein Abfallbehandlungsprozess, in dem ein Verbrennungsverfahren integraler Teilprozess ist, nicht Bestandteil von Recyclingverfahren sein könne, obwohl die Rückgewinnung eines

Rohstoffs oder mehrerer Rohstoffe Bestandteil des Gesamtprozesses ist. Werden z.B. Metalle und Baustoffe für die Rückführung in den Stoffkreislauf mit einem Gesamtprozess gewonnen, dessen erster Teilprozess die Abfallverbrennung mit mechanischer Aufbereitung der Aschen darstellt, ist der Gesamtprozess sowohl ein energetischer Verwertungsprozess als auch ein Recyclingprozess. Die im Abfall gebundene chemische Energie wird in Wärme und in elektrischen Strom gewandelt, die anorganischen Bestandteile – Metalle und mineralische Materialien – werden stofflich verwertet.

Die Behauptung, dass es *thermisches Recycling* nicht gebe, ist nicht nachvollziehbar, da etliche Gesamtprozesse mit thermischen Verfahren eigens für die Gewinnung von Sekundärrohstoffen konzipiert sind, wie an der Behandlung folgender Abfälle gezeigt wird:

- Gemischte Abfälle, aus denen Metalle bei gleichzeitiger Überführung von organischen Abfallbestandteilen in flüchtige Verbindungen abgetrennt werden [7],
- elektronische Steuereinheiten, Leiterplatten und ähnliche Verbunde zur Abtrennung unterschiedlicher Metalle in Drehrohröfen [2],
- Getränke-Verbundverpackungsabfälle mit Aluminiumbeschichtung,
- Stahlwerksstäube zur Abtrennung von Eisen- und NE-Metallverbindungen,
- Messingspäne zur Abtrennung von Ölen und sonstigen Verunreinigungen,
- Shredderleichtfraktionen zur Rückgewinnung von Metallen, die durch die vorherige Magnet- und Wirbelstromscheidung nicht abgetrennt wurden,
- Kohlefasern zur Abtrennung von Bindemittel,
- Glasfasern zur Abtrennung der Beschichtung,
- Formsande für die Wiederverwendung,
- kontaminierte Böden zur Reinigung und zum Wiedereinbau in das Erdreich,
- Klärschlämme zur Gewinnung von Phosphaten für die Verwertung als Kunstdünger,
- Explosiv-, B- und C-Kampfstoffe zur Entsorgung und zum Metallrecycling als Nebeneffekt.

In der Definition des KrWG § 3 Abs. 25 wird nicht festgelegt, dass thermische Verfahren keine Bestandteile von Recyclingprozessen sein können. Hier werden *Recycling* und *energetische Verwertung* unterschieden; nicht jedoch werden thermische Verfahren wie Pyrolyse, Vergasung, Verbrennung oder Schmelzen als Bestandteile von Recyclingprozessen ausgeschlossen.

Hinsichtlich ihrer Bedeutung sind zu unterscheiden:

- Energetische Verwertung bedeutet die Wandlung der im Abfall gebundenen chemischen Energie im Wärme und/oder elektrischen Strom. Der Begriff gibt das Ziel, nicht die Technik des Verfahrens wieder.
- Pyrolyse, Vergasung, Verbrennung und Schmelzen bezeichnen Verfahrenstechniken, nicht jedoch das damit angestrebte Ziel.

Recycling ist **jedes** Verwertungsverfahren, durch das Abfälle zu Erzeugnissen, Materialien oder Stoffen (.....) aufbereitet werden. Bei der Anwendung thermischer Prozesse bleibt zunächst offen, ob das Ziel die Energiewandlung oder die Rückgewinnung von Stoffen und Materialien oder sowohl die Energiewandlung als auch die Rückgewinnung von Stoffen für den Stoffkreislauf ist.

Thermische Verfahren können also wie jede Verfahrenstechnik durchaus – sogar notwendige – Teilprozesse in Recyclingprozessen sein.

In der Definition des Recyclings in § 3 KrWG Absatz 25 wird für die Behandlung der Abfälle zum Zweck des Recyclings das Verb *aufbereiten* verwendet. Im deutschen Sprachgebrauch wird häufig unter *Aufbereitung* die Behandlung von Rohstoffen und Abfällen mit mechanischen Verfahren verstanden. Mit dieser Interpretation argumentieren häufig Interessensvertreter von Unternehmen, die nur über mechanische Aufbereitungsanlagen verfügen. Diese Interpretation gibt nicht die Absicht des Gesetzgebers wieder; das wird im Gesetz auch nicht behauptet.

Unter dem Begriff *Aufbereitung* werden hier alle Verfahrenstechniken zusammengefasst, mit denen Stoffe und Materialien in den Stoffkreislauf rückgeführt werden können.

Für das Recycling werden hauptsächlich folgende Verfahrenstechniken angewendet:

- **mechanische Verfahren**, z.B. Zerkleinern, Agglomerieren, Klassieren, Sortieren, Entwässern, Mischen;
- **physikalisch-chemische Verfahren**, z.B. Laugen, Entgiften, Oxidation, Reduktion, Neutralisation;
- **biologische Verfahren**, z.B. aerobe und anaerobe Behandlung, Bioleaching;
- **thermische Verfahren**, z.B. Trocknung, Pyrolyse, Vergasung, Verbrennung, Schmelzen, Destillation.

Im Sinne des Gesetzes bestehen also keine Einschränkungen oder qualitative Unterschiede hinsichtlich der Wahl der Verfahrenstechnik für das Recycling; der Ausschluss einer Verfahrenstechnik ist nicht gerechtfertigt.

Es ist im konkreten Einzelfall zu untersuchen, welche Verfahren und Verfahrenskombinationen den größten Nutzen für die Ergebnisse von Verwertungsprozessen unter Beachtung des Umwelt- und Ressourcenschutzes darstellen, wobei die Kosten und Umweltauswirkungen des Gesamtprozesses und der Wert der zu gewinnenden Stoffe zu berücksichtigen sind.

Es ist daher zu fordern, dass Ökobilanzen und wirtschaftliche Vergleiche für konkurrierende Verfahren – z.B. für die Verwertung von Leichtverpackungsabfällen und von gemischten Kunststoffabfällen – regelmäßig unter Beteiligung aller Wettbewerber durchgeführt werden. Ergebnisse derartiger Bilanzen gelten nur für den Zeitpunkt der Durchführung der Untersuchungen. Sie müssen daher bei Entwicklungssprüngen eines der im Wettbewerb stehenden Verfahren wiederholt werden. Wesentliche Verbesserungen können zum Beispiel durch die inzwischen eingeleitete Veränderung des Ascheaustrags aus Abfallverbrennungsanlagen und der Aufbereitung von trocken ausgetragenen Aschen/Schlacken erzielt werden.

Einordnung der Verbrennung in der Abfallhierarchie

Als sonstige Verwertung werden in der Abfallhierarchie der EU-Rahmenrichtlinie und des Kreislaufwirtschaftsgesetzes beispielhaft die energetische Verwertung und die Verfüllung bezeichnet. Die Zuordnung dieser beiden Verfahren in die gleiche Hierarchiestufe gibt nicht den ökologischen Stellenwert der Verfahren wieder. Die Verfüllung von Abfällen ist eindeutig geringerwertiger als die energetische Verwertung.

Stellenwert der Abfallverbrennung in Verwertungsprozessen

Für die Bewertung der Abfallverbrennung, die von interessierten Kreisen regelmäßig als minderwertige Alternative zum Recycling bezeichnet wird, bedarf es einer Korrektur. Die Abfallverbrennung weist eine mehr als hundertjährige Entwicklungsgeschichte auf, sie ist mit mehr als vierhundert Anlagen in Europa das höchstentwickelte verfügbare Abfallverwertungsverfahren (Tabelle 3), mit dem organische Schadstoffe zerstört und anorganische Schadstoffe konzentriert und für die sichere Ablagerung ausgeschleust sowie Wärme und elektrischer Strom produziert werden. In der Asche von Abfallverbrennungsanlagen liegen die Metallschrotte in konzentrierter Form vor, so dass sie mit mechanischer Sortierung weitgehend ohne Anhaftung gewonnen und weiteren Teilprozessen mit dem Ziel der stofflichen Verwertung zugeführt werden können.

Tabelle 3: Profil des Abfallverbrennungsverfahrens

• weitestgehend ausgereiftes Verfahren mit mehr als hundertjähriger Geschichte
• kein Gegensatz zum Recycling, sondern notwendige Ergänzung
• Schadstoffsенke für Schadstoffe im Abfall * Zerstörung der organischen Schadstoffe im Abfall * Konzentration der anorganischen Schadstoffe in den Sekundärabfällen der Abgasreinigung
• Schadstoff-Emissionen liegen im Jahresmittel um den Faktor 100 unter den gesetzlichen Grenzwerten
• Genehmigungswerte müssen wegen der Heterogenität des Abfalls höher liegen (Emissionsspitzen)
• keine Schädigung von Menschen und Schutzgütern
• Hygienisierung des Abfalls
• keine Berührung des Betriebspersonals mit Abfall während des Betriebs
• Standortsicherung einzelner Betriebe durch Abgabe von Prozessdampf und elektrischem Strom
• Versorgung von Wohn- und Gewerbegebieten mit Fernwärme oder Fernkälte
• zurzeit ist kein konkurrenzfähiges Verfahren für Restabfälle verfügbar

Die Abfallverbrennung in Deutschland leistet zwar einen insgesamt geringen, jedoch nicht vernachlässigbaren Beitrag zur Energieversorgung in Deutschland.

In der Entwicklung des Abfallverbrennungsverfahrens gab es immer wieder Entwicklungsschübe. Zur aktuellen 6. Generation gehören die ab 2000 in Betrieb gegangenen Anlagen, die hinsichtlich des Stands der Technik bei Feuerung, Dampferzeugung, Abgasreinigung und Energienutzung erhebliche Fortschritte gegenüber der 5. Generation erfahren haben. Diese Entwicklung wurde gefördert durch das politische und wirtschaftliche Umfeld, den weiterentwickelten Stand der Technik und die veränderte Marktsituation für Abfälle:

- Die Ablagerung unbehandelter Abfälle wurde in abfallwirtschaftlich entwickelten Ländern beendet.
- Dank der Konzentration bei den Betreibern konnten weitgehend standardisierte Anlagen gebaut werden. Die Rostfeuerung – zum Teil mit Wasserkühlung – wurde weiter verbessert und ist nun Stand der Technik; die Wirbelschichtfeuerung wurde vereinzelt für die Verwertung von Ersatzbrennstoffen gebaut, durch Cladding der Wände der Dampferzeuger wurden die Reisezeiten erhöht und damit die Verfügbarkeit weiter verbessert.
- Die Grenzwerte für Schadstoffemissionen wurden mehrfach reduziert und konnten dennoch sicher eingehalten werden, meist mit den halben Grenzwerten, obwohl quasitrockene Abgasreinigungsverfahren die nassen Verfahren weitgehend abgelöst haben.
- Die Energieeffizienz wurde deutlich erhöht; die Verstromung ist bei fast allen Anlagen in Deutschland üblich, Kraft-Wärme-Kopplung wurde verstärkt umgesetzt, vorhandene Fernwärmenetze wurden ausgebaut.

Das Verfahren wird weiter optimiert werden. Hinsichtlich der Verwertung der Aschen/Schlacken werden neue Wege beschritten, um die Teilprozesse zur stofflichen Verwertung der Stoffe aus der Abfallverbrennung zu verbessern. Während in der Vergangenheit erhebliche Mittel aufgewendet wurden, um die Rückstände weitgehend zu inertisieren, liegt heute der Fokus auf deren Optimierung hinsichtlich der stofflichen Verwertung. Dafür wurde der Trockenausstrag in Verbindung mit weitgehender Zerkleinerung und Sortierung entwickelt. Nach der Feinaufmahlung der Aschen können auch NE-Metalle fast vollständig aussortiert werden. Damit verliert die Asche/Schlacke allerdings einen Teil ihrer Eignung für den Straßenbau; dafür wird sie aber für andere Anwendungen interessant, z.B. als Rohmehlersatz für die Zementindustrie oder für die Herstellung von leichten Pellets als Ersatz für groben Kies zur Herstellung von Leichtbeton.

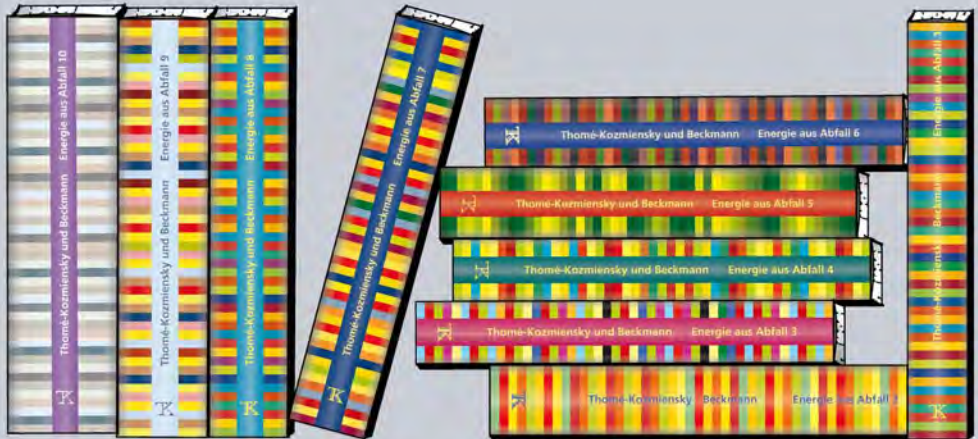
Weiteres Recyclingpotenzial liegt bei den Stäuben aus der Abgasreinigung, die hohe Metallgehalte aufweisen. Bisherige Ansätze waren zu aufwendig und damit nicht wirtschaftlich. Dennoch darf unterstellt werden, dass Forschung und Entwicklung bei weitgehender Zentralisierung der Aufarbeitung der Stäube das Potentials haben, die Abfallverbrennung zum optimalen Recyclingverfahren für Metalle aus gemischten Abfällen zu entwickeln [4].

5. Literatur

- [1] Baum, H. G.: Entsorgung von LVP-Haushaltsverpackungen – Brauchen wir einen neuen Ansatz? In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Entsorgung von Verpackungsabfällen. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2014, S. 115-134
- [2] Beyer, J.: Thermische Vorbehandlung von Verbundwerkstoffen. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Goldmann, D.(Hrsg.): Recycling und Rohstoffe, Band 6. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2013, S. 395-404
- [3] Christiani, J.: Auswirkungen der Wertstofftonne auf Aufbereitung und Verwertung. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Goldmann, D. (Hrsg.): Recycling und Rohstoffe, Band 4. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 276-284

- [4] Eickhoff, N.: Ist der gelbe Sack noch zeitgemäß? – Betrachtungen eines Verbrenners –. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Entsorgung von Verpackungsabfällen. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2014, S. 163-174
- [5] Franke, M.; Reh, K.; Hense, P.: Ökoeffizienz in der Kunststoffverwertung. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Entsorgung von Verpackungsabfällen. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2014, S. 65-80
- [6] Gaßner, H.: Wertstofffassung ohne duale Systeme und Produktverantwortung – Ökonomische und ökologische Umorientierung –. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Entsorgung von Verpackungsabfällen. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2014, S. 141-146
- [7] Hormes, F.: Rohstoffe zurückgewinnen – Recycling mittels Pyrolyseprozess –. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Goldmann, D. (Hrsg.): Recycling und Rohstoffe, Band 6. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2013, S. 385-394
- [8] Hülder, K.: Kommunale Werstoffentsorgung ohne DSD – Der Gelbe Sack hat ausgedient –. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Entsorgung von Verpackungsabfällen. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2014, S. 135-140
- [9] Kaßmann, M.: Funktionen von Verpackungen. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Entsorgung von Verpackungsabfällen. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2014, S. 1-10
- [10] Rehbock, E.: Wem sollen die Verpackungsabfälle gehören? In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Entsorgung von Verpackungsabfällen. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2014, S. 19-28
- [11] Scharff, C.; Löcker, H.: Recht und Praxis der Verpackungsentsorgung in Österreich. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Entsorgung von Verpackungsabfällen. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2014, S. 49-64
- [12] Scheffold, K.; Oetjen-Dehne, R.: Recycling von Hohlglas – Technik, Qualität und Wirtschaftlichkeit –. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Entsorgung von Verpackungsabfällen. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2014, S. 91-114
- [13] Schulze, S.: Kosten der Verpackungsentsorgung. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Entsorgung von Verpackungsabfällen. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2014, S. 37-48
- [14] Thärichen, H.: Die Rolle der Kommunen und der Hersteller im Rahmen der Produktverantwortung. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Entsorgung von Verpackungsabfällen. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2014, S. 29-36
- [15] Thomä, M.; Widder, T.: Ersatzbrennstoff-Herstellung aus Sortierresten – Anforderungsbasierter Vergleich ausgehend von Ausgangsmaterialien aus Werstofftonnensammlung und Leichtverpackungserfassung –. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Entsorgung von Verpackungsabfällen. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2014, S. 147-162
- [16] Thürmer, A.: Erfahrungen mit der Werstofftonne in Berlin. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Entsorgung von Verpackungsabfällen. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2014, S. 81-90

Energie aus Abfall



Herausgeber: Karl J. Thomé-Kozmiensky und Michael Beckmann • Verlag: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky

Energie aus Abfall, Band 1

ISBN: 978-3-935317-24-5
Erscheinung: 2006
Gebundene Ausgabe: 594 Seiten mit farbigen Abbildungen
Preis: 50,00 EUR

Energie aus Abfall, Band 2

ISBN: 978-3-935317-26-9
Erscheinung: 2007
Gebundene Ausgabe: 713 Seiten mit farbigen Abbildungen
Preis: 50,00 EUR

Energie aus Abfall, Band 3

ISBN: 978-3-935317-30-6
Erscheinung: 2007
Gebundene Ausgabe: 613 Seiten mit farbigen Abbildungen
Preis: 50,00 EUR

Energie aus Abfall, Band 4

ISBN: 978-3-935317-32-0
Erscheinung: 2008
Gebundene Ausgabe: 649 Seiten mit farbigen Abbildungen
Preis: 50,00 EUR

Energie aus Abfall, Band 5

ISBN: 978-3-935317-34-4
Erscheinung: 2008
Gebundene Ausgabe: 821 Seiten mit farbigen Abbildungen
Preis: 50,00 EUR

Energie aus Abfall, Band 6

ISBN: 978-3-935317-39-9
Erscheinung: 2009
Gebundene Ausgabe: 846 Seiten mit farbigen Abbildungen
Preis: 50,00 EUR

Energie aus Abfall, Band 7

ISBN: 978-3-935317-46-7
Erscheinung: 2010
Gebundene Ausgabe: 765 Seiten mit farbigen Abbildungen
Preis: 50,00 EUR

Energie aus Abfall, Band 8

ISBN: 978-3-935317-60-3
Erscheinung: 2011
Gebundene Ausgabe: 806 Seiten mit farbigen Abbildungen
Preis: 50,00 EUR

Energie aus Abfall, Band 9

ISBN: 978-3-935317-78-8
Erscheinung: 2012
Gebundene Ausgabe: 809 Seiten mit farbigen Abbildungen
Preis: 50,00 EUR

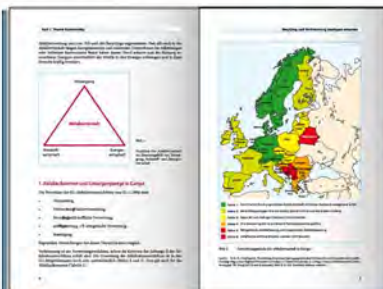
Energie aus Abfall, Band 10

ISBN: 978-3-935317-92-4
Erscheinung: 2013
Gebundene Ausgabe: 1096 Seiten mit farbigen Abbildungen
Preis: 50,00 EUR

270,00 EUR
statt 500,00 EUR

Paketpreis

Energie aus Abfall, Band 1 bis 10



Bestellungen unter www.vivis.de
oder

Dorfstraße 51
D-16816 Nietwerder-Neuruppin
Tel. +49.3391-45.45-0 • Fax +49.3391-45.45-10
E-Mail: tkverlag@vivis.de

vivis
TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Recycling und Rohstoffe – Band 7

Karl J. Thomé-Kozmiensky, Daniel Goldmann.

– Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2014

ISBN 978-3-944310-09-1

ISBN 978-3-944310-09-1 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 2014

Redaktion und Lektorat: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky,

Dr.-Ing. Stephanie Thiel, M.Sc. Elisabeth Thomé-Kozmiensky

Erfassung und Layout: Ginette Teske, Fabian Thiel, Janin Burbott, Cordula Müller,

Katrin Krüger

Druck: Mediengruppe Universal Grafische Betriebe München 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.