

# **Niedertemperatur-Tunnelrockner zur optimierten Wertstoffgewinnung**

**Reinhard Schu**

EcoEnergy Gesellschaft für Energie- und Umwelttechnik mbH, Walkenried

## **Low Temperature Drying as Key Technology for Waste Recycling**

### **Abstract**

Recycling and energy recovery from waste and biomass are more and more important in waste management as well as global energy supply.

Recycling materials from waste are recovered increasingly by automatic sorting technologies for example by Near infrared technology. The efficiency of these technologies increases significantly with better pre-treatment of the waste. The treatment for automatic sorting can be optimized by drying to get a better recovery rate and quality. High temperature Industrial dryers with short retention time and high drying temperature are already in use for waste drying. The material has to be shredded to a particle size of < 60 mm. The relatively small particle size makes recycling of the material extremely difficult. The paper presents a new process for low temperature drying of waste, using a waste adapted belt dryer with recirculating air. The dryer can process material with a particle size up to 400 mm which makes it ideal as pre-treatment for automatic sorting systems. The dryer is heated with low temperature industrial waste heat at only 95 °C.

### **Zusammenfassung**

Wertstoff- und Energiegewinnung aus Abfall und Biomasse spielen bei der Abfallwirtschaft und globalen Energieversorgung eine immer wichtigere Rolle. Zur Wertstoffgewinnung werden zunehmend automatische Sortiertechniken wie z. B. die Nahinfrarottechnik eingesetzt. Diese arbeiten umso effektiver, je besser die vorgeschaltete Abfallaufbereitung erfolgt. Durch eine Trocknung des Abfalls kann die Aufbereitungstechnik optimiert werden und damit die Sortierquote und -qualität der Wertstoffe wesentlich verbessert werden.

Intensivrockner mit kurzen Verweilzeiten und hohen Trocknungstemperaturen werden bereits zur Abfalltrocknung eingesetzt. Das Material ist für Intensivrockner auf eine Korngröße < ca. 60 mm zu zerkleinern. Aufgrund der notwendigen Zerkleinerung ist eine anschließende Wertstofftrennung kaum noch möglich. Mit dem innovativen Niedertemperatur-Tunnelrockner kann der Abfall in der für die anschließende automatische Sortierung optimalen Kongrößenverteilung von 40 mm – 400 mm getrocknet werden. Für die Trocknung reicht ein Abwärmeniveau von 95°C aus.

### **Keywords**

Abfalltrocknung, Wertstoffgewinnung, Recycling, automatische Sortierung, NIR, Trommelrockner, Tunnelrockner, Niedertemperaturtunnelrockner, Bandrockner, Trockenstabilisierung

## 1 Einleitung

Die separate Sammlung von Wertstoffen wie Papier, Glas, Metall, Elektronikschrott und Bioabfall zur stofflichen Verwertung ist allgemein anerkannt; heiß diskutiert wird demgegenüber die Sinnhaftigkeit der getrennten Sammlung von Verpackungsabfällen.

Die positive Entwicklung der werkstofflichen Verwertung von Abfällen ist zum einen der rasanten technischen Entwicklung von automatischen Abfallsortiersystemen wie der Nah-Infrarot-Sortiertechnik (NIR) zur Erzeugung sortenreiner Kunststoffe und zum anderen der Ölpreisentwicklung zu verdanken.

Sortenreine Fraktionen für eine werkstoffliche Verwertung können zwar grundsätzlich auch ohne vorherige Trocknung durch optische Sortiersysteme gewonnen werden, wesentlich für die Funktion der NIR-Technik bzgl. Abscheidegrad und Sortenreinheit ist jedoch die Vorbehandlung. Schlüsseltechnologie der Erzeugung von werkstofflich verwertbaren, sortenreinen Abfallfraktionen ist neben den automatischen Sortiersystemen die Trocknungstechnik mit angepasster Aufbereitung zur Erzeugung von geeigneten Vorprodukten.

## 2 (Werk)stoffliche versus energetische Verwertung

Eine optimierte stoffliche Verwertung von Abfällen weist eine wesentlich höhere Energierückgewinnung auf als eine Müllverbrennung.

Die weitere Differenzierung in rohstoffliche und werkstoffliche Verwertung steht im Zusammenhang mit der Struktur und der Produktion von Kunststoffen.

**Zur Produktion von 1 kg Kunststoff werden ca. 1,8 l bis 2,3 l Rohöl als Rohstoff und Energieäquivalent benötigt. Der Brennwert von Rohöl liegt bei 41 MJ/kg**

Die Produktionsenergie entfällt zum größten Teil auf die Synthese von Monomeren durch Polymerisation oder Polykondensation. Bei der werkstofflichen Verwertung bleibt diese Strukturenergie erhalten, während bei der rohstofflichen Verwertung diese Energie vernichtet wird. 70 % bis 90 % der Prozessenergie gehen bei der rohstofflichen gegenüber der werkstofflichen Verwertung als Strukturenergie verloren. Ohne eine angepasste Vorbehandlung kann eine automatische Sortierung diesen Ansprüchen nicht gerecht werden. Abfälle mit Oberflächenfeuchte und Schmutzanhaftungen lassen sich zwar über NIR- und Röntgentechnik erkennen, die Erkennungsquote und Sortenreinheit lässt sich jedoch mit einer Trocknung bzw. Waschung mit

anschließender Trocknung und angepasster Aufbereitung vor der automatischen Sortierung wesentlich verbessern.

**Tabelle 1** Energiebedarf bei der Produktion von Verpackungen, verändert nach (GUA GESELLSCHAFT FÜR UMFASSENDE ANALYSEN ET AL., 2004)

Material	Gesamtenergiebedarf (inkl. Rohstoffenergie) MJ/kg Produkt	Material	Gesamtenergiebedarf (inkl. Rohstoffenergie) MJ/kg Produkt
LDPE Folie	91,81	Weißblech	35,79
HDPE Folie	99,80	Aluminium	193,27
PP Spritzguss	118,84	Weißglas	12,74
PVC Folie	66,25	Wellpappe	19,82
PS (high impact)	91,81	Papier, Karton	44,79
PET Flasche	101,44	Verbunde Papierbasis	55,80
PET Folie	109,19	Holz	17,67

### 3 Abfalltrocknung

Aus dem Stand der Technik ist es bekannt, zur weitgehenden Aufbereitung von Abfällen diese zunächst einer Trocknung zu unterziehen. Die Trocknung verbessert die Qualität der Aufbereitung und die Verwertungsmöglichkeiten für die zu separierenden Teilfraktionen. Darüber hinaus kann durch eine Trocknung auch der Heizwert des getrockneten Gutes angehoben werden. Bekannte Verfahren zur Abfalltrocknung sind biologische Trockenstabilisierungsverfahren und thermische Verfahren, ausgeführt als Trommeltrockner und Bandrockner. Bisher ist keine kommerzielle Anwendung eines Trocknungsverfahrens als Konditionierung vor einer sortenreinen Fraktionierung zur werkstofflichen Verwertung bekannt.

#### 3.1 Trockenstabilisierungsverfahren

Trockenstabilisierungsverfahren in Restabfallbehandlungsanlagen wurden in der Vergangenheit von den Firmen Herhof Umwelttechnik GmbH, Lentjes GmbH, Nehlsen GmbH & Co. KG, Wehrle Umwelt GmbH und Herhof GmbH realisiert.

Trockenstabilisierungsverfahren eignen sich grundsätzlich zur Vorbehandlung vor einer automatischen Sortierung, wie dies auch die Versuche mit Trockenstabilat unter

Begleitung des Dualen Systems Deutschland AG 2004 gezeigt haben (CHRISTIANI, 2005), (JUNG, 2005).

Positiv zu bewerten für eine nachfolgende Wertstoffsartierung ist der geringe erforderliche Zerkleinerungsgrad gegenüber anderen Trocknungssystemen von < 150 mm und teilweise < 250 mm.

Über den Rotteprozess werden ca. 60 kg Biomasse pro Tonne Abfall verbraucht, das entspricht ca. 300 kWh/Mg Abfallinput.

Pro Tonne Einsatzmaterial werden ca. 300 kg Wasser verdampft. Im Weiteren werden die Kenndaten des Trockners auf die Wasserverdampfungsleistung normiert:

**Tabelle 2** Trockenstabilisierung nach und eigenen Berechnungen

Parameter	pro t Wasserverdampfung*
Temperatur	Eintritt: 20 °C - Austritt 60 °C
Abluftemissionen:	10.000 - 16.500 Nm <sup>3</sup> /t
Stromverbrauch:	120 - 180 kWh/t
Erdgasverbrauch RTO:	80 - 150 kWh/t
Wärmeeinsatz (aus Rotteprozess):	850 – 1.000 kWh/t

\*Bezug ist nur der Anteil des Verfahrens, der für die Abfalltrocknung benötigt wird

**Tabelle 3** Trockenstabilisanlagen nach (ASA E.V., 2007) und eigenen Berechnungen

	Abfalldurchsatz t/a	theor. Leistung t H <sub>2</sub> O/h
<b>Trockenstabilat-Verfahren Herhof</b>		
MBS ZAB Nuthe-Spree (Niederlehme)	135.000	5,50
MBS Aßlar	155.000	6,40
MBS Osnabrück	90.000	3,70
MBS Westerwald (Rennerod)	100.000	4,00
MBS Trier-Mertesdorf	180.000	7,40
BMA Dresden	105.000	4,30
<b>Trockenstabilisierung Lentjes</b>		
MBA Wetterau	49.000	2,00
<b>Trockenstabilisierung Nehlsen</b>		
MBV Lübben Ratsvorwerk/Niederlausitz	28.000	1,20
MBS Vogtland	65.000	2,30
MBV-/EBS Anlage Stralsund	70.000	2,70
<b>Trockenstabilisierung Wehrle Umwelt</b>		
MBA Kahlenberg (100.000 t/a gesamt)	55.000	3,00

### 3.2 Trommeltrockner

Alle in Deutschland betriebenen Trommeltrocknungsanlagen für die Ersatzbrennstoffkonfektionierung wurden von der Firma Vandebroek geliefert.

**Tabelle 4** Trommeltrockner zur EBS-Konfektionierung in Deutschland nach eigenen Berechnungen

	Abfalldurchsatz t/a	Leistung t H <sub>2</sub> O/h
<b>Trommeltrockner Vandebroek</b>		
SBS ECOWEST, Ennigerloh	160.000	2,5 - 3,5
MPS Chemnitz (2 Trockner)	143.000	(2x) 4,5
MPS Berlin-Reinickendorf	160.000	5 - 7
MPS Berlin-Pankow	160.000	5 - 7

Neben den oben genannten Trocknern wurden noch weitere Trommeltrockner in Lünen von der Firma Remondis (FENDEL; 2002) und in Hoyerswerda von der SVZ zur Brennstoffaufbereitung betrieben, sind aber heute nicht mehr in Betrieb.

**Tabelle 5** Trommeltrocknerkenndaten nach (HOFFMANN ET AL., 2001), (KRAGTING ET AL., 2002, 2004 UND 2006) und eigenen Berechnungen

Parameter	pro t Wasserverdampfung
Temperatur	Eintritt: 350 °C - Austritt 105 °C
Abgasemission	3.000 – 4.000 Nm <sup>3</sup> /t
Stromverbrauch	40 – 80 kWh/t
Erdgasverbrauch RTO	25 - 50 kWh/t
Wärmeinsatz Trocknung (Erd-, Bio- oder Deponiegas)	850 kWh/t

Trommeltrockner mit Inputspezifikationen < 60 mm Korngröße sind als Vorschaltanlage vor einer optischen Sortierung zur Erzeugung sortenreiner Werkstoffe nur bedingt geeignet. Weiterentwicklungen der Trommeltrockner für gröbere Abfallfraktionen und eine angepasste Sortiertechnik können die Eignung der Trommeltrocknung für die Gewinnung sortenreiner Werkstoffe verbessern.

### 3.3 Bandtrockner

Neue Klärschlamm-trockner werden heute zunehmend entweder als Bandtrockner oder als solare Trocknungsanlagen installiert. Hauptgrund für diese Trendwende ist die Möglichkeit zur Nutzung von Abwärme bzw. Umgebungswärme oder solarer Energie.

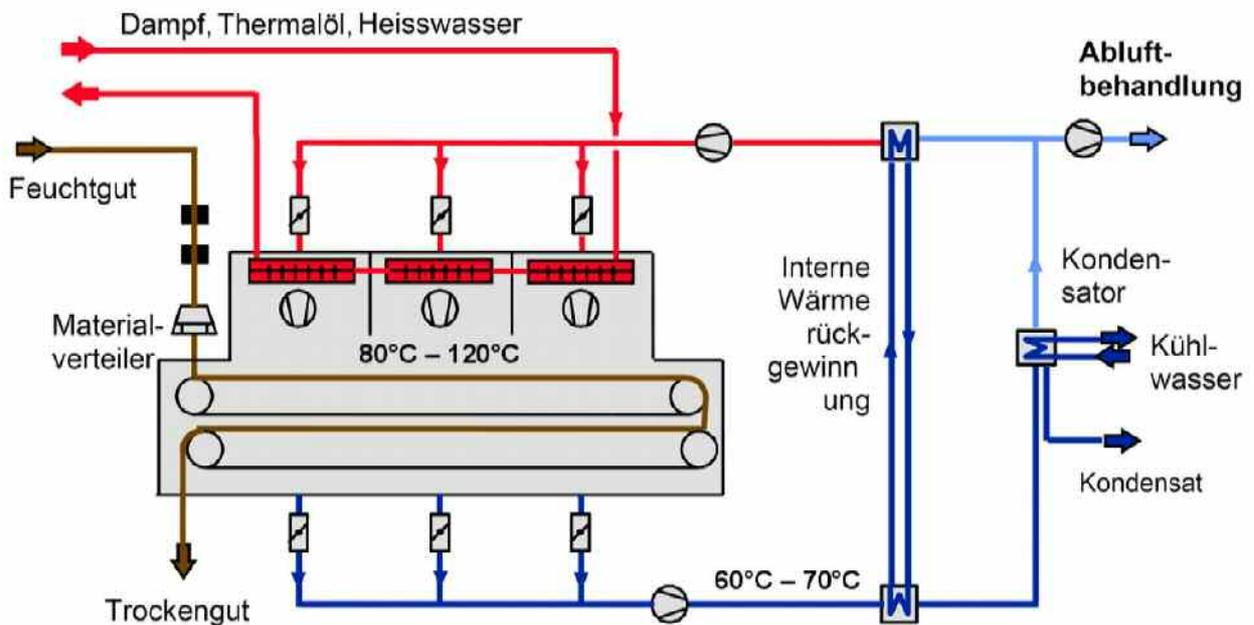
Die Energiekosten betragen mehr als 50 % der gesamten Trocknungskosten und stellen ein hohes Optimierungspotential, sowohl bzgl. der Energiemenge als auch des Energieniveaus dar.

Bandrockner werden zunehmend auch für die Abfalltrocknung eingesetzt, die heutigen Systeme sind jedoch auf eine Korngröße < 40 mm angewiesen.

**Tabelle 6** Bandrockner für Siedlungsabfälle in Deutschland nach (KLEIN ABWASSER- UND SCHLAMMTECHNIK GMBH, 2007), (SCHRÖDER, 2004), (SEVAR ENTSORGUNGSANLAGEN GMBH, 2007)

	Abfall-durchsatz t/a	Leistung t H <sub>2</sub> O/h	Temperatur- Heizmedium	Energiebedarf therm./elektr. kWh/ t H <sub>2</sub> O	Abluft- menge Nm <sup>3</sup> / t H <sub>2</sub> O
<b>Amandus Kahl GmbH &amp; Co. KG</b>					
EBS-Aufbereitungsanlage Wilmsdorf	100.000	2,5 – 3	Dampf 120°C	900/50	10.000
<b>Klein Abwasser- und Schlammtechnik GmbH</b>					
MBA Wiefels	113.500	2,4	Abgas BHKW 485 °C	895/45	3.500
MBA Sachsenhagen (Schaumburg)	75.000	1		700/80	2.000
<b>Sevar Entsorgungs- anlagen GmbH</b>					
MBA Südniedersachsen (Deiderode)	133.000	2,25	Abgas BHKW	835/62	350

Bemerkenswert sind die Maßnahmen zur Abluftminimierung und Wärmerückgewinnung bei den Bandtrocknungssystemen.



**Abbildung 1** Verfahrensschema Bandrockner der Fa. Sevar Entsorgungsanlagen GmbH (SEVAR ENTSORGUNGSANLAGEN GMBH, 2007)

## 4 Trocknung zur optimierten Wertstoffgewinnung

Automatische optische Sortiersysteme haben die Möglichkeiten der sortenreinen Werkstoffgewinnung revolutioniert. Wesentlich für die automatische Sortierung ist dabei eine angepasste Aufbereitung und Dosierung.

In den folgenden Aufbereitungstechniken sind trockene Abfälle besser geeignet und es wird ein besseres Trennergebnis erzielt:

- Siebtechnik
- Windsichtung
- Ballistischer Sichter
- Vereinzelung

Die Trocknung von Abfällen mit hohen Restfeuchtegehalten, wie Siebüberlauf aus der Restabfallbehandlung und Gewerbeabfälle, stellt die effektivste Optimierung der optischen Sortiertechnik dar. Die sortierten Wertstoff-Fractionen sind zudem trocken, geruchsarm und hygienisiert.

Die wesentlichen Kenndaten der bisher eingesetzten Trocknungssysteme sind in der nachfolgenden Tabelle gegenübergestellt.

**Tabelle 7** Vergleich der bestehenden Trocknungssysteme für Rest- und Gewerbeabfall

Parameter	pro t/H <sub>2</sub> O	Trocken-stabilisierung	Trommel-Trockner (Brenngas)	Trommel-Trockner (Abwärme)	Bandtrockner (Abwärme)
Inputspezifikation		< 200 mm, biogener Anteil	< 60 mm	< 40 mm (Gärrest)	< 40 mm (Gärrest)
Verweilzeit		6 – 10 Tage	10 – 20 min.	10 – 20 min.	10 -20 min.
Heizmedium		Rotte (Biomasse)	Erdgas	Abwärme	Abwärme
Temperatur Trocknungsluft Eintritt/Austritt		20 °C/ 60 °C	350 °C/ 105 °C	350 °C/ 105 °C	80 - 120°C/ 40 - 80°C
Abgasemission	Nm <sup>3</sup>	10.000 – 16.500	3.000 - 5.000	3.000 - 4.000	350 – 3.500
Stromverbrauch	kWh	160 – 180	40 - 80	40 - 80	40 - 80
Erdgasverbrauch RTO	kWh	80 -150	25 - 50	25 - 50	7 - 70
Wärmeeinsatz Trocknung	kWh	850	850	850	700 - 900
Elektr. Energieäquivalent	kWh	420 – 480	470 - 530	140 - 195	154 - 205
Kondensat zur Entsorgung	kg	0	0	0	0 - 1.000

Da unterschiedliche Energieträger eingesetzt werden, wurde ein elektrisches Energieäquivalent definiert. Je nach Energieträger sind nach dem Stand der Technik unterschiedliche Nettowirkungsgrade bei der Verstromung möglich.

Es wurden folgende Annahmen getroffen:

Erdgas: 50% elektrischer Nettowirkungsgrad in GuD Kraftwerken

Biomasse: 26% elektrischer Nettowirkungsgrad in Biomassekraftwerken

Abwärme: 10% elektrischer Nettowirkungsgrad in einer Dampfturbine bei Dampf (3 bar/133 °C)

Nach energetischen Kriterien und aus emissionstechnischer Sicht ist bei thermischen Trocknungssystemen ein Abwärmenutzungskonzept zu präferieren.

Die Inputkriterien der thermischen Trocknung erschweren jedoch bisher noch eine effektive Wertstoffsartierung, da die Wertstoffe vor der thermischen Trocknung entweder aufgrund der kurzen Verweilzeiten oder um einen störungsfreien Betrieb zu gewährleisten auf Korngrößen < 40 mm bzw. < 60 mm zerkleinert werden müssen.

## **5 Niedertemperatur-Tunnelrockner**

Bei dem Niedertemperatur-Tunnelrockner handelt es sich um einen an den Abfall adaptierten, kontinuierlichen Bandrockner im Umluftbetrieb, als Band wird ein belüftbares Pendelbodensystem eingesetzt.

Zur Beheizung wird Niedertemperaturabwärme verwendet. Im Trockner kann Material bis zu einer Korngröße von 400 mm verarbeitet werden. Die Fraktion sollte aus einem Siebschnitt 80 mm bis 300 mm und grob zerkleinertem Siebüberlauf > 300 mm bestehen, um eine möglichst geringe Zerkleinerungswirkung zu haben.

Folgende technische Daten für einen Durchsatz von 100.000 t/a Gewerbeabfall wurden angesetzt:

Tabelle 8 Auslegungsdaten Tunnelrockner

Parameter		Daten
Wasserverdampfungsleistung	t/h	3
Verweilzeit im Tunnel	Std.	8 - 24
Inputspezifikation	mm	40 - 300
Dichte Abfallinput	kg/m <sup>3</sup>	70 - 200
Heizmedium	Abwärme	> 95°C
Temperatur Trocknung Eintritt/Austritt		85°C/45°C-50°C
Abluftemissionen Trocknung	Nm <sup>3</sup> /t H <sub>2</sub> O	350 - 700
Stromverbrauch Trocknung	kWh/t H <sub>2</sub> O	80
Erdgasverbrauch RTO	kWh/t H <sub>2</sub> O	7 - 14
Wärmeeinsatz Trocknung	kWh/t H <sub>2</sub> O	1.000
Elektr. Energieäquivalent	kWh/t H <sub>2</sub> O	190
Kondensat zur Entsorgung	kg/t H <sub>2</sub> O	0
Anzahl Tunnel	Stück	2
Schütthöhe im Tunnel	m	ca. 6,0
effektive Breite Belüftung Tunnel	m	10,0 m
Beheizungslänge	m	30,0 m
Kühlänge	m	4 m
Fläche Belüftungsboden Beheizung	m <sup>2</sup>	2 x 300
Flächenbelastung Trocknungsgut	Kg/m <sup>2</sup>	800
Belastung Belüftungsboden Beheizung	Nm <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> xh)	350

Die Zuführung in den Tunnel erfolgt mit einem Schachtzuführsystem, wobei das Trockengut gleichzeitig eine Abdichtung gegenüber dem Zuführsystem darstellt. Die Schütthöhe im Tunnelrockner muss zur optimalen Wasserdampfsättigung der Umluft möglichst hoch gewählt werden und beträgt ca. 6 m.

Zur Einstellung der Schütthöhe kann ein deckenseitig angeordneter verstellbarer Abstreifer eingesetzt werden. Zur Förderung des Trocknungsgutes durch den Tunnelrockner wird ein Pendelbodensystem eingesetzt, das einen Massenfluss des durch das System getragenen Trockengutes erlaubt.

Das getrocknete Material aus dem Tunnelrockner wird ausgetragen mit einem Pendelbodensystem sowie einer Pendelklappe am Austrag, die zusätzlich mit einem Haspelsystem zum dosierten Austrag aus dem Tunnel versehen ist und gleichzeitig einen Luftabschluss gegenüber dem Austrittssystem darstellt. Auf diese Weise wird der Einbruch an Falschluff minimiert und Abluft vermieden.

Der Einsatz von Dosier-einrichtungen zur Dosierung des Materialaustrags erlaubt einen effektiven und störungsfreien Betrieb der nachfolgenden Aufbereitungsaggregate.

Die folgenden Abbildungen zeigen Schnitt und Draufsicht des Tunneltrockners für einen Durchsatz von 100.000 t/a Gewerbeabfälle bzw. einer Trocknungsleistung von ca. 3 t/h Wasserverdampfung.

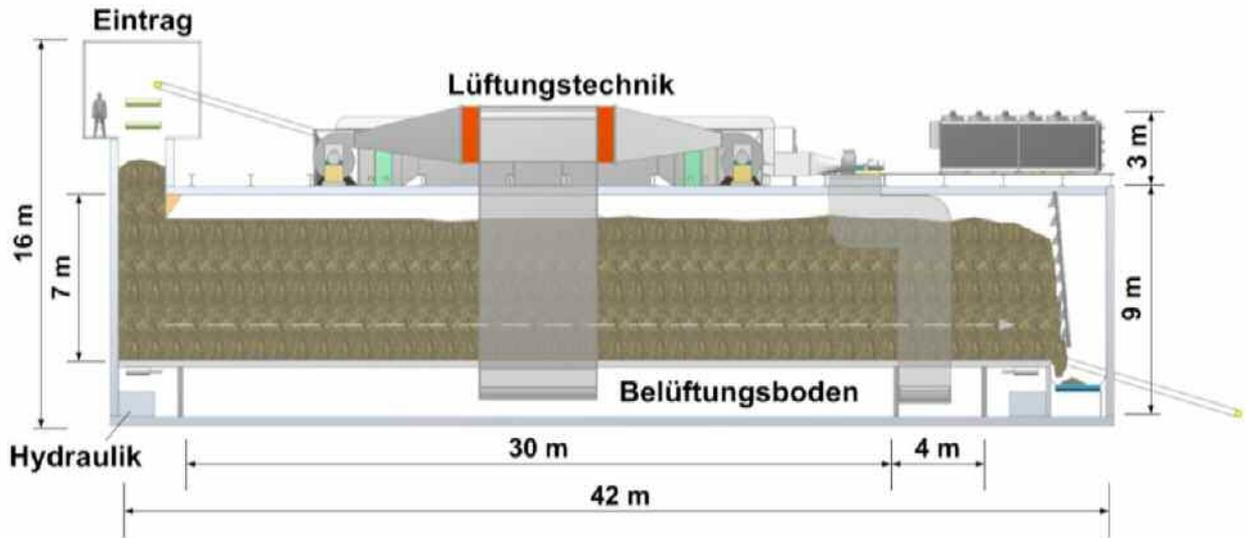


Abbildung 2 Schnitt des Tunneltrockners

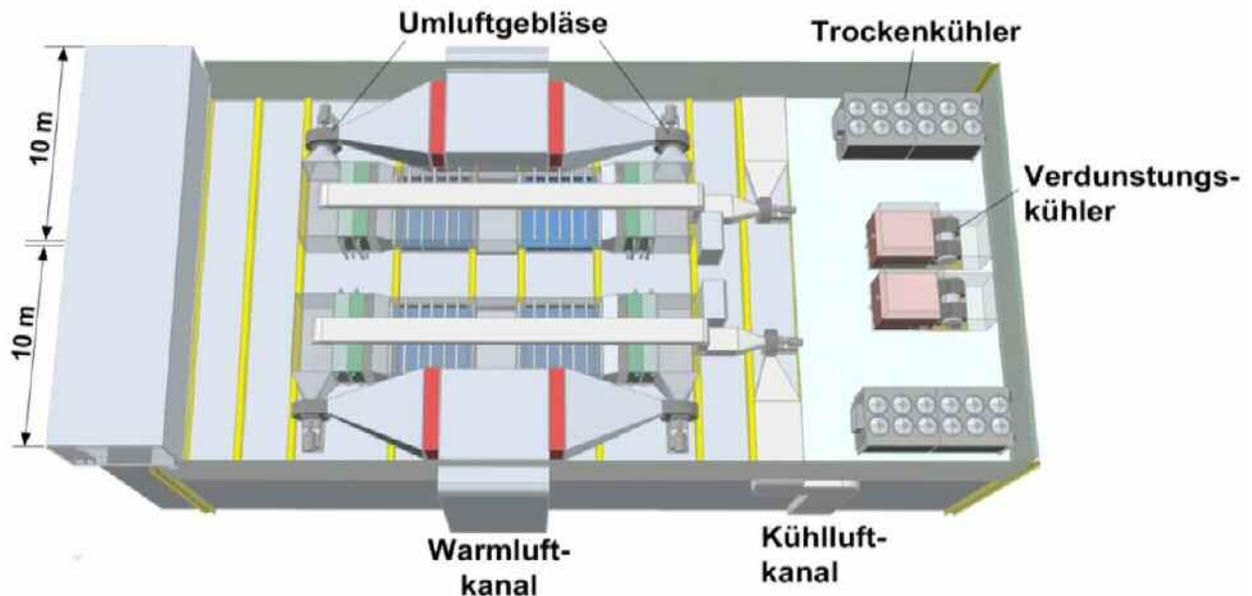


Abbildung 3 Draufsicht des Tunneltrockners

### Aufbereitung nach der Trocknung

Die der Windsichtung vorgeschaltete Siebung bei 40 mm dient der Abtrennung des Feingutes, da dieses die Sauberkeit der Flugfraktion verschlechtern würde. Die Windsichtung kann ein- oder zweistufig ausgeführt werden. Als zweite Sichterstufe kann auch ein ballistischer Sichter eingesetzt werden, der durch die 1. Windsichterstufe

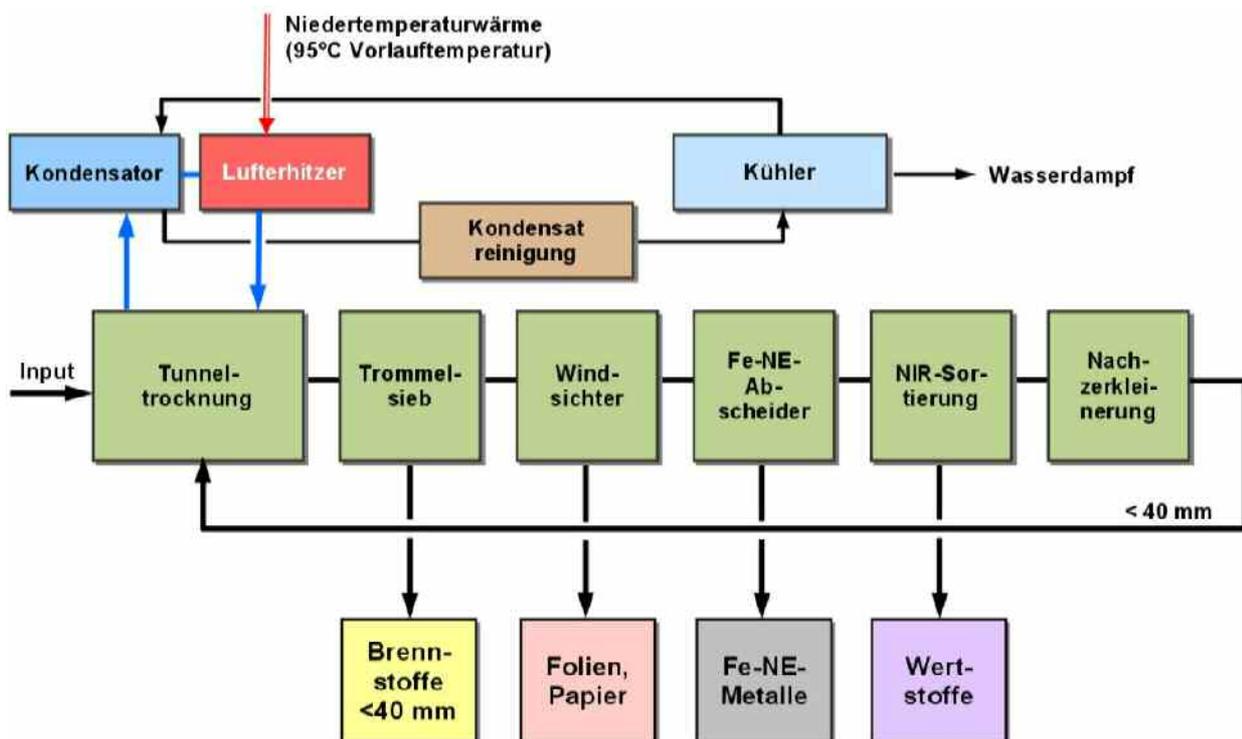
erheblich entlastet wird. Die Windsichtung und der ballistische Sichter arbeiten bei trockenen Abfällen deutlich trennschärfer als bei feuchten Abfällen.

Mit der Windsichtung werden vor allem flächige Bestandteile wie Folien und PPK abgetrennt. Die Flugfraktion ist trockenstabilisiert und kann entweder direkt energetisch oder nach einer weiteren Aufbereitung stofflich verwertet werden. Mit optischen Sortiersystemen kann diese Fraktion nach Papier und Kunststoffsorten getrennt werden.

Aus dem Schwergut werden Fe- und NE-Metalle abgeschieden. Durch Siebung und Windsichtung wird der Staubanteil der Schwerfraktion reduziert. Die staubfreie und trockene Schwerfraktion von 40 mm bis 400 mm ist ideal aufbereitet für die weitere optischen Sortierung (Nah-Infrarot, Röntgen).

Hier werden alle optisch erfassbaren Wertstoffe abgetrennt. Verwertbare Produktfraktionen werden mit einem optischen Sortiersystem in ein oder zwei Wertstofffraktionen ausgeschleust. Die weitere Aufbereitung der Wertfraktionen erfolgt effektiv in einer separaten Anlage mit mehreren kleineren optischen Sortiersystem in Reihenschaltung. Durch eine zweistufige NIR-Sortierung können höhere Reinheitsgrade erzielt werden als durch eine einstufige NIR-Sortierung aus der gesamten Schwergutfraktion.

Um eine Durchtrocknung der verbleibenden Grobstoffe zu ermöglichen, wird die nicht erkannte Schwerfraktion auf < 40 mm zerkleinert und wieder dem Trocknungsprozess zugeführt und bei der Siebung < 40 mm als Brennstofffraktion abgeschieden.



**Abbildung 4** Blockfließbild Tunneltrockner

**Lüftungstechnik**

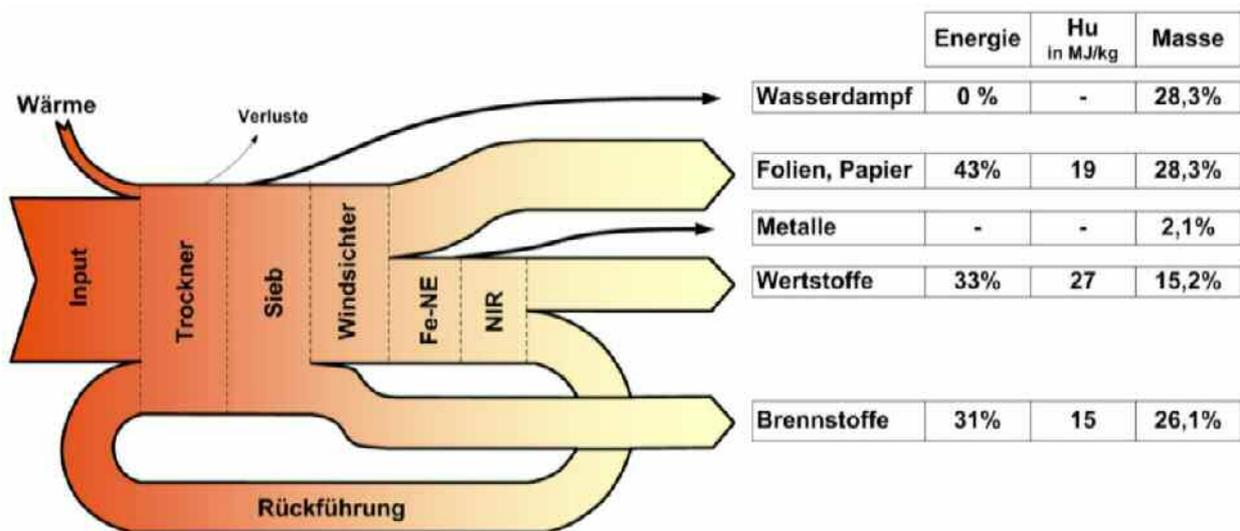
Bei dem konzipierten Niedertemperatur-Tunnelrockner wird Umluft verwendet, die im Kreislauf zur Kondensation gekühlt und wieder aufgeheizt wird. Die Aufheizung der abgekühlten Umluft wird vorrangig bis zu einem Temperaturniveau von ca. 85 °C durchgeführt, um zu hohe Temperaturen im Trocknungsgut und damit Brandgefährdungen (vgl. Richtlinie 1999/92/EG vom 16. Dezember 1999) und negative Produktveränderungen der Kunststofffraktionen zu vermeiden. Zudem kann durch das niedrige Temperaturniveau preiswerte Abwärme bei ca. 95 °C verwendet werden, beispielsweise vom BHKW oder Niedertemperaturwärme aus Kraftwerksprozessen.

In der Kondensation wird die Umluft von etwa 45 °C bis 50 °C auf 30 °C bis 35 °C, abhängig von den klimatischen Bedingungen, abgekühlt. Dabei werden die in der Umluft enthaltenen Staub sowie Schad- und Geruchsstoffe, z. B. Ammoniak und Schwefelwasserstoff ausgewaschen. Das Kondensat/Waschwasser ist schadstoffhaltig und wird vor der Verwendung als Zusatzwasser im Kühlturm in einer Abwasserreinigungsanlage geklärt.

Durch die Kreislaufführung der Umluft kann die Trocknung weitgehend abluftfrei betrieben werden. Es entsteht gerade nur soviel Abluft, wie aus Undichtigkeitsgründen aus dem System abgesaugt werden muss.

Die Trocknung sowie die Befüllung und/oder Entleerung des Tunnelrockners wird vollautomatisch durchgeführt.

In dem folgenden Sankey-Diagramm ist eine angenommene Stoffstromverteilung aus einem Abfallinput Restabfall-Siebüberlauf > 80 mm und Gewerbeabfällen dargestellt.



**Abbildung 5** Sankey-Diagramm Tunnelrocknung mit optimierter Wertstoffgewinnung

Wie zu erkennen ist, stellen die Wertstoffe zwar einen geringen Massenanteil von ca. 15 % dar, jedoch beträgt der Energieanteil dieser Fraktion 1/3 der gesamten Abfallfraktion.

Die Fraktion Folien/Papier könnte über NIR-Sortierung weiter in werkstofflich verwertbare Folien- und Papierfraktionen getrennt werden.

In Abbildung 6 ist der erwartete Massenfluss nochmals übersichtlich dargestellt.

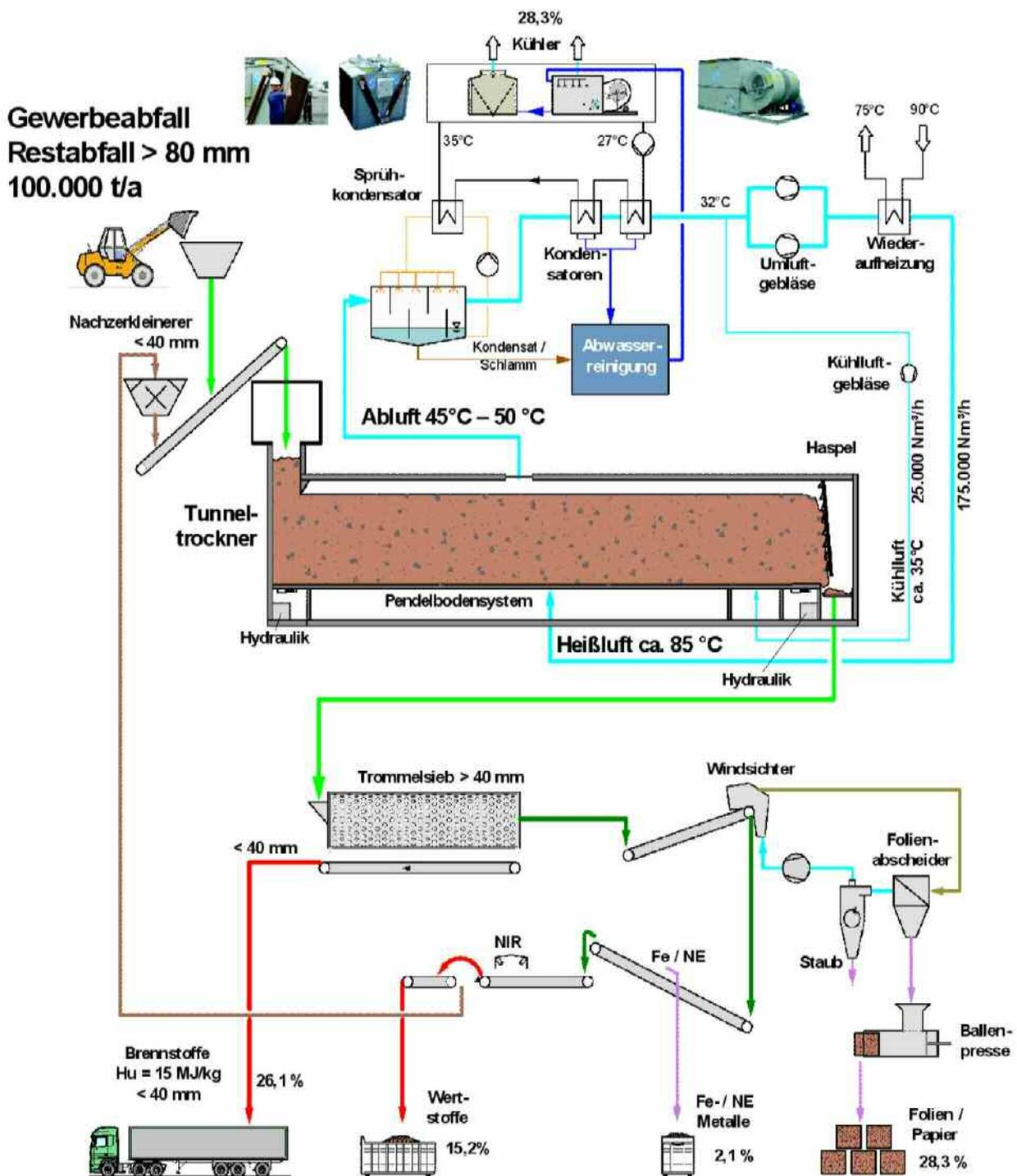
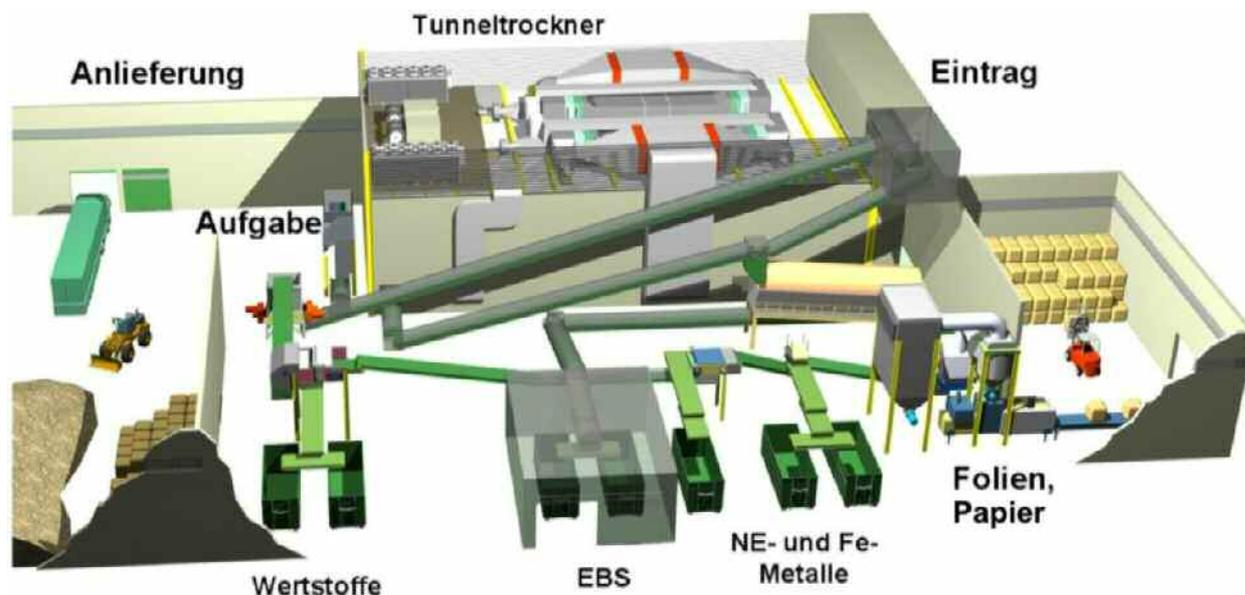


Abbildung 6 Fließbild Tunneltrockner



**Abbildung 7** Integration Tunnelrockner in eine Wertstoffsortieranlage

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

Die höchste Form der Energierückgewinnung aus Abfällen liegt, wenn nicht vermeidbar oder wiederverwendbar, in einer intelligenten werkstofflichen Verwertung, aber nicht um jeden Preis. Durch den Niedertemperatur-Tunnelrockner als Konditionierung der Abfälle vor einer weiteren automatischen Sortierung wird nicht nur die Erfassungsquote der Wertstoffe erhöht, sondern auch deren Qualität.

## 7 Literaturverzeichnis

- |   |      |   |
|---|------|---|
| ASA (Arbeitsgemeinschaft Stoffspezifische Abfallbehandlung) e.V.                                  | 2007 | MBA-Steckbriefe 2007/2008   |
| Christiani, J.  | 2005 | Entwicklungspotentiale der Verpackungsverwertung aus technologischer Sicht - exemplarisch anhand der Einbindung eines GiG-Konzeptes in Trockenstabilatanlagen. In: Wiemer, K.; Kern, M. (Hrsg.): Bio- und Restabfallbehandlung IX, Verlag: Witzenhausen-Institut für Abfall, Umwelt und Energie GmbH, Seite 71-75 |
| GUA Gesellschaft für umfassende Analysen GmbH; GVM Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung mbH | 2004 | Verpacken ohne Kunststoff – Auswirkungen auf Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen. Studie, Endbericht. Wien, Download: <a href="http://www.bkv-gmbh.de/site/Verpacken%202004/GUA_Kurzfassung.pdf">http://www.bkv-gmbh.de/site/Verpacken%202004/GUA_Kurzfassung.pdf</a> Stand: 01.08.2007                   |

- Jung, G. 2005 Restmüll-/LVP-Versuche in Rheinland-Pfalz - Perspektiven für die Abfallwirtschaft. In: Wiemer, K.; Kern, M. (Hrsg.): Bio- und Restabfallbehandlung IX. Verlag: Witzenhausen-Institut für Abfall, Umwelt und Energie GmbH, Seite 65-70
- Fendel, A. 2002 Umsetzung von Projekten des Hauses Rethmann zur Herstellung von Ersatzbrennstoffen. In: Thomé-Kozmiensky (Hrsg.): Ersatzbrennstoffe, Band 2. TK-Verlag, Neuruppin, Seite. 269-276
- Hoffmann, E. 2001 Trocknung - Voraussetzung für die Ersatzbrennstoffherstellung, In: Karl J. Thomé-Kozmiensky (Hrsg.): Reformbedarf in der Abfallwirtschaft, Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, Seite 411-416
- Kragting, M; Hoffmann, E. 2002 Thermische Trocknung der heizwertreichen Restabfallfraktion mit Trommeltrocknungsanlagen von Vandenbroek In: Karl J. Thomé-Kozmiensky (Hrsg.): Ersatzbrennstoffe, Band 2, Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, Seite 383-390
- Kragting, M; Hoffmann, E. 2004 Physikalische Trocknung der heizwertreichen Restabfallfraktion, Witzenhausen-Institut - Bio- und Restabfallbehandlung VIII; K. Wiemer, M. Kern Witzenhausen, Seite 600-607
- Kragting, M; Hoffmann, E. 2006 Trommeltrockner für alternative Brennstoffe, WLB „Wasser, Luft und Boden“ - Zeitschrift für Umwelttechnik, Vereinigte Fachverlage GmbH, Mainz - Ausgabe März/April 2006 (Seite 54-56)
- Klein Abwasser- und Schlammtechnik GmbH 2007 Firmeninformationen
- Schröder, P. 2004 Herstellung von Ersatzbrennstoff aus Berliner Hausmüll mit einem mechanischen Aufbereitungsverfahren. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Ersatzbrennstoffe 4: TK Verlag Neuruppin, S. 225-232
- Sevar Entsorgungsanlagen GmbH 2007 Firmeninformationen

**Anschrift des Verfassers:**

Dipl.-Ing. Reinhard Schu  
EcoEnergy Gesellschaft für Energie- und Umwelttechnik mbH  
Bei dem Gerichte 9  
D-37445 Walkenried  
Telefon +49 5525 20 96 10  
Email: Reinhard.Schu@EcoEnergy.de  
Website: www.EcoEnergy.de