



ideas full of energy!

**Standardkessel
Baumgarte**

TONNENWEISE ENERGIE!

**ENERGIEGEWINNUNG AUS ENTSORGUNGSSTOFFEN:
EFFIZIENT & UMWELTFREUNDLICH.**

Die Kosten für Energie steigen und steigen. Umso wichtiger wird es für Unternehmen und Kommunen, nach günstigen Brennstoff-Alternativen zur Energieversorgung zu suchen. Wir kennen sie: Haus- und Gewerbemüll, Industrie-Reststoffe oder Ersatzbrennstoffe. Und seit vielen Jahren beweisen wir, wie sich aus ihnen über thermische Verwertungsprozesse Nutzenergie zur Erzeugung von Strom, Prozessdampf oder Fernwärme gewinnen lässt.

Mehr Infos und Referenzen unter: www.standardkessel-baumgarte.de



Standardkessel Baumgarte – Kraftwerksanlagen, Industrie-Anlagen-Service und Dienstleistungen rund um die Gewinnung von Strom, Dampf und Wärme aus Entsorgungsstoffen, Primärbrennstoffen, Abhitze und Biomasse.



Ersatzbrennstoff-Kraftwerke in Deutschland und Österreich

Stephanie Thiel

1.	Ersatzbrennstoff-Kraftwerke in Deutschland.....	837
1.1.	Entwicklung der Anzahl und Kapazität der EBS-Kraftwerke	838
1.2.	Status quo in Deutschland	840
1.3.	Charakterisierung der Anlagen.....	842
1.4.	Eingesetzte Ersatzbrennstoff-Arten und Anforderungen an die Qualität	844
2.	Ersatzbrennstoff-Kraftwerke in Österreich.....	848
2.1.	Status quo in Österreich	848
2.2.	Charakterisierung der Anlagen	849
2.3.	Eingesetzte Ersatzbrennstoff-Arten	850
3.	Zusammenfassung	850
4.	Quellen und weiterführende Literatur	851

Unter der Bezeichnung Ersatzbrennstoff-Kraftwerke werden im Folgenden Kraftwerke, Heizwerke und Heizkraftwerke zur Erzeugung von Strom, Dampf und/oder Fernwärme zusammengefasst, in denen Ersatzbrennstoffe aus Siedlungs- und Gewerbeabfällen – gegebenenfalls zusammen mit anderen Abfallarten – verbrannt werden.

1. Ersatzbrennstoff-Kraftwerke in Deutschland

Den nachfolgenden Ausführungen liegt eine Recherche [7] zu Grunde, die wiederholt aktualisiert wurde. Darin sind wesentliche Informationen zu den Ersatzbrennstoff-Kraftwerken in Deutschland zusammengetragen, unter anderem zu Betreiber, Energieabnehmer, gegebenenfalls weiteren Projektbeteiligten, Feuerungssystem, Art der Brennstoffe, Feuerungswärmeleistung und Kapazität.

Hinsichtlich der Kapazitäten der Ersatzbrennstoff-Kraftwerke wird zwischen der Gesamtkapazität – Summe aller Brennstoffe – und der Kapazität für Ersatzbrennstoffe aus Siedlungs- und Gewerbeabfällen differenziert. Dies ermöglicht einen genaueren Überblick über die Kapazitäten, die für Ersatzbrennstoffe aus der mechanisch (-biologisch)en Abfallbehandlung und aus der Aufbereitung von Gewerbeabfällen zur Verfügung stehen.

Die Auslegungsheizwerte und die Heizwerte der Einsatzstoffe der EBS-Kraftwerke weisen große Schwankungsbreiten auf. Die Gesamtkapazitäten der Anlagen sind daher sowohl massenbezogen – in Tonnen pro Jahr – als auch energiebezogen – in Gigajoule pro Jahr – ausgewiesen.

Bild 1 zeigt die Verteilung der Anlagenstandorte im Bundesgebiet.



Bild 1:

Standorte der Ersatzbrennstoff-Kraftwerke in Deutschland – Stand Dezember 2012

1.1. Entwicklung der Anzahl und Kapazität der EBS-Kraftwerke

Als erstes Ersatzbrennstoff-Kraftwerk ging 1999 die Herhof-Demonstrationsanlage in Aßlar mit einer Kapazität von 15.000 Tonnen pro Jahr in Betrieb. 2002 folgte das Heizwerk Mindener Industriehafen mit Energos-Feuerungstechnologie und einer Kapazität von 35.000 Tonnen pro Jahr. In der zirkulierenden Wirbelschichtfeuerungsanlage Premnitz, die ursprünglich als Teil des Teppich-Recyclingwerks Polyamid 2000 zur Verbrennung zerkleinerter Altteppiche diente, wurde 2003 der Versuchsbetrieb zum Einsatz von heizwertreichen Fraktionen aus Siedlungs- und Gewerbeabfällen begonnen, später folgte der Dauerbetrieb (100.000 Tonnen pro Jahr).

Im Zuge der auslaufenden TASI-Übergangsfrist wurden in den Jahren 2004 und 2005 an sechs weiteren Standorten Kapazitäten für siedlungs- und gewerbeabfallstämmige Ersatzbrennstoffe von insgesamt knapp 400.000 Tonnen pro Jahr in Betrieb genommen: Neu errichtet wurden die Ersatzbrennstoff-Kessel in Amsdorf und Neumünster. In Bremen-Blumenthal wurde das dortige Industrieheizkraftwerk von Steinkohle auf die Verbrennung von Ersatzbrennstoffen umgerüstet. Das Biomasse-Kraftwerk Meuselwitz-Lucka, das ursprünglich zur Verbrennung von Altholz diente, wurde nach einer Änderungsgenehmigung und Nachrüstung der Abgasbehandlung gemäß der Siebzehnten Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (17. BImSchV) für den Einsatz von aufbereiteten Siedlungs- und Industrieabfällen umgebaut.

Außerdem gab es zwei als Sonderfälle zu bezeichnende Anlagen, in denen hochkalorische Brennstoffe – die als Beimischung zur Entsorgung heizwertarmer Abfälle dienten – durch Ersatzbrennstoffe aus Siedlungs- oder Gewerbeabfällen ersetzt wurden: Zum einen wurde in der Wirbelschichtfeuerungsanlage Werdohl-Elverlingsen zur Verbrennung von entwässertem Klärschlamm die zuvor als Stützbrennstoff eingesetzte Steinkohle durch aufbereiteten Siedlungsabfall substituiert. Zum anderen wurde in der Wirbelschichtfeuerungsanlage Lünen zur Verbrennung von Fleischbrei das zur Heizwerterhöhung eingesetzte Tiermehl u.a. durch aufbereiteten Gewerbeabfall ersetzt.

Mit der Inbetriebnahme der Anlagen in Erfurt-Ost, Rudolstadt-Schwarza, Stavenhagen sowie Großräschen – bei der letztgenannten Anlage wurde ein genehmigtes Biomasse-Kraftwerk in ein EBS-Kraftwerk umgewidmet – stieg die Kapazität für siedlungs- und gewerbeabfallstämmige Ersatzbrennstoffe in Deutschland bis Ende 2007 auf knapp eine Million Tonnen an.

Im Laufe des Jahres 2008 wurde diese Kapazität mehr als verdoppelt. Sie stieg durch sieben Neuanlagen – Andernach, Hürth, Korbach, Premnitz (Rost), Rüdersdorf, Weener und Witzenhausen – sprunghaft auf insgesamt 2,1 Millionen Tonnen an.

Zehn weitere Anlagen – Amsdorf (zweite Linie), Bernburg, Bitterfeld-Wolfen, Bremen-Hafen, Gersthofen/Augsburg, Gießen/Atzelbusch, Glückstadt, Hagenow, Heringen und Rostock – gingen 2009 in Betrieb, so dass sich die Kapazität für Ersatzbrennstoffe aus Siedlungs- und Gewerbeabfällen noch einmal um etwa 1,5 Millionen Tonnen pro Jahr auf insgesamt 3,6 Millionen Tonnen erhöhte.

Nach den Inbetriebnahmen in den Jahren 2010 und 2011 – Frankfurt/Höchst¹, Karlsruhe, Essen, Eisenhüttenstadt und Schwedt – gab es in Deutschland EBS-Kraftwerkskapazitäten in Höhe von 4,7 Millionen Tonnen pro Jahr.

¹ Bei der Anlage in Frankfurt/Höchst waren diverse Umbauten erforderlich, so dass 2011 nur etwa 250.000 Tonnen Ersatzbrennstoffe verbrannt werden konnten. Im August 2012 wurde die Anlage vom Betreiber übernommen. Derzeit werden Umbauarbeiten an den in die Wirbelschicht integrierten Wärmetauschern durchgeführt, die aufgrund von Verstopfungen mit Drähten und anderen Störstoffen aus dem Ersatzbrennstoff ihre vollständige Leistung nicht erbracht hatten. Diese Maßnahmen zur Optimierung der Energieausbeute sollen 2013 abgeschlossen werden. Für 2013 ist eine Steigerung des Ersatzbrennstoff-Durchsatzes auf etwa 500.000 Tonnen geplant.

Als letzte Anlage ging 2012 das Ersatzbrennstoff-Kraftwerk Spremberg/Schwarze Pumpe in Betrieb. Seit Ende November 2012 wird Ersatzbrennstoff verbrannt. Am 12.12.2012 fand die erste Netzzuschaltung statt.

Die Entwicklung der Anlagenzahl und der Kapazität für Ersatzbrennstoffe aus Siedlungs- und Gewerbeabfällen von 1999 bis 2012 zeigt Bild 2.

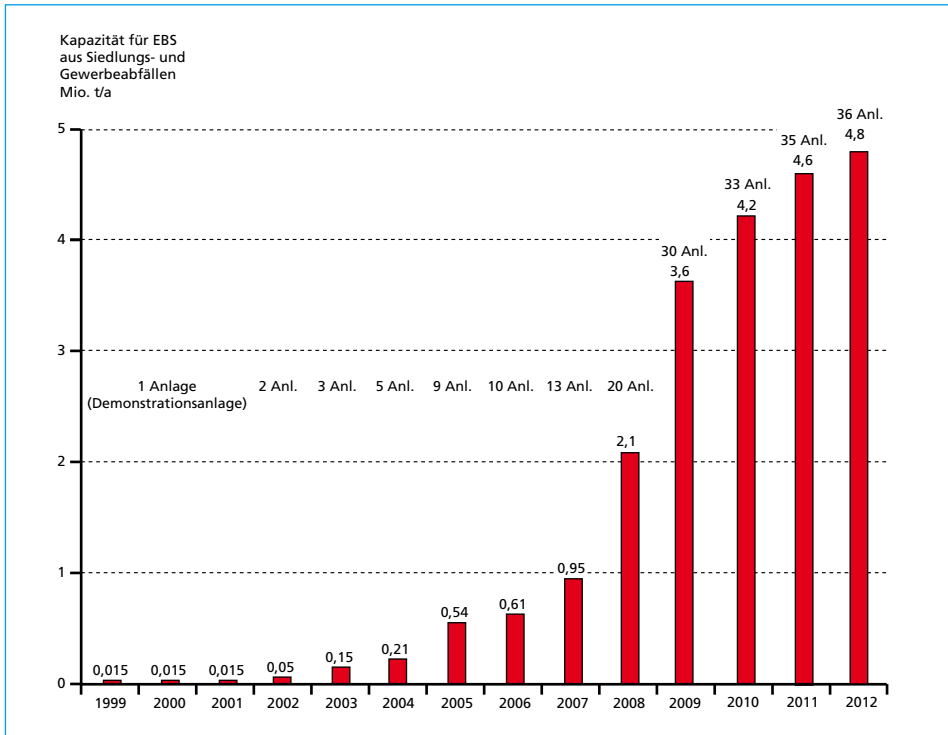


Bild 2: Ersatzbrennstoff-Kraftwerke in Deutschland – Entwicklung der Anlagenzahl und der Kapazität für Ersatzbrennstoffe aus Siedlungs- und Gewerbeabfällen von 1999 bis 2012

1.2. Status quo in Deutschland

Den Status quo der Ersatzbrennstoff-Kraftwerke in Deutschland im Dezember 2012 bezüglich Anlagenzahl, Summe der Feuerungswärmeleistung, Gesamtkapazität sowie Kapazität für siedlungs- und gewerbeabfallstämmige Ersatzbrennstoffe fasst Tabelle 1 zusammen. Die Anlagenstandorte und deren Kapazitäten sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Tabelle 1: Ersatzbrennstoff-Kraftwerke in Deutschland (Stand Dezember 2012)

Zahl der Anlagen	Feuerungswärmeleistung	Gesamtkapazität (Summe aller Brennstoffe)	Gesamtkapazität (Summe aller Brennstoffe)	Kapazität für EBS aus Siedlungs- und Gewerbeabfällen
	MW	PJ/a	Mio. t/a	Mio. t/a
36	2.761	78,57	6,27	4,83

Ersatzbrennstoff-Kraftwerke in Deutschland und Österreich

Tabelle 2: Ersatzbrennstoff-Kraftwerke in Deutschland – Anlagenstandorte und Kapazitäten (Stand Dezember 2012)

Anlagenstandort	Inbetriebnahme	Feuerungssystem	Gesamtkapazität (Summe aller Brennstoffe) t/a	Kapazität für EBS aus Siedlungs- und Gewerbeabfällen t/a
Amsdorf (ST) – 1. Linie	2004	Rost	60.000	60.000
Amsdorf (ST) – 2. Linie	2009	Rost	60.000	60.000
Andernach (RP)	2008	Rost	durchschnittlich 114.000 t/a EBS und max. 14.500 t/a Produktionsabfälle der Rasselstein GmbH	114.000
Ablar (HE)	1999	Rost	15.000	15.000
Bernburg (ST)	2009	Rost	400.000	400.000
Bitterfeld-Wolfen (ST)	2009	Rost	100.000	100.000
Bremen-Blumenthal (HB)	2005	Rost	60.000	60.000
Bremen-Hafen Mittelkalorikkraftwerk (HB)	2009	Rost	226.000	226.000
Eisenhüttenstadt (BB)	2011	zirkulierende Wirbelschicht	340.000	225.000
Erfurt-Ost (TH)	2006	Rost	64.000	64.000
Essen (NRW)	2010	stationäre Wirbelschicht	26.500	26.500
Frankfurt/Höchst (HE)	2010	rotierende Wirbelschicht	575.000 bei 13,5 MJ/kg (Ausl.); max. 675.000	575.000
Gersthofen/Augsburg (BY)	2009	Rost	70.000	70.000
Gießen/Atzelbusch (HE)	2009	Rost	25.000	25.000
Glückstadt (SH)	2009	zirkulierende Wirbelschicht	254.000	135.000
Großräschen/Freienhufen (KW Sonne) (BB)	2007	Rost	240.000	240.000
Hagenow (MV)	2009	Rost	80.000	80.000
Heringen/Wintershall/Philippsthal (Werra) (HE)	2009	Rost	270.000	270.000
Hürth-Knapsack (NRW)	2008	Rost	240.000	240.000
Karlsruhe (BW)	2010	zirkulierende Wirbelschicht	535.500	22.000 (im geplanten Operationspunkt)
Korbach (HE)	2008	Rost	75.000	75.000
Lünen (NRW)	1982/2005	zirkulierende Wirbelschicht	bis zu 165.000 (in Abhängigkeit vom Heizwert)	20.000
Meuselwitz-Lucka (TH)	2005	Rost	50.000	50.000
Minden (NRW)	2002	Rost	35.000	35.000
Neumünster (SH)	2005	zirkulierende Wirbelschicht	150.000	150.000

Tabelle 2: Ersatzbrennstoff-Kraftwerke in Deutschland – Anlagenstandorte und Kapazitäten (Stand Dezember 2012) – Fortsetzung –

Anlagenstandort	Inbetriebnahme	Feuerungssystem	Gesamtkapazität (Summe aller Brennstoffe) t/a	Kapazität für EBS aus Siedlungs- und Gewerbeabfällen t/a
Premnitz (BB) (ZWS)	2001/2005	zirkulierende Wirbelschicht	100.000	100.000
Premnitz (BB) (Rost)	2008	Rost	150.000	150.000
Rostock (MV)	2009	Rost	170.000	170.000
Rüdersdorf (BB)	2008	Rost	226.000	226.000
Rudolstadt-Schwarza (TH)	2007	Rost	60.000	15.000
Schwedt (BB)	2011	zirkulierende Wirbelschicht	400.000	200.000
Spremberg/Schwarze Pumpe (BB)	2012	Rost	240.000	210.000
Stavenhagen (MV)	2007	Rost	90.000	90.000
Weener/Leer (NI)	2008	Rost	140.000	120.000
Werdohl-Elverlingsen (NRW)	2002/2004	stationäre Wirbelschicht	etwa 187.800 (Brennstoffmix 2008)	4.600 (Einsatzmenge 2008)
Witzenhausen (HE)	2008	zirkulierende Wirbelschicht	265.000	210.000

In Deutschland sind somit 36 Ersatzbrennstoff-Kraftwerke mit einer Gesamtkapazität von 6,3 Millionen Tonnen pro Jahr – dies entspricht einer energiebezogenen Kapazität von 78,6 Petajoule pro Jahr (PJ/a) – und einer Feuerungswärmeleistung von etwa 2.760 Megawatt (MW) in Betrieb. Die Kapazität für Ersatzbrennstoffe aus Siedlungs- und Gewerbeabfällen liegt bei etwa 4,8 Millionen Tonnen pro Jahr.²

1.3. Charakterisierung der Anlagen

Kapazitäten

Die Ersatzbrennstoff-Kraftwerke weisen hinsichtlich ihrer Gesamtkapazitäten eine große Schwankungsbreite auf: zu den kleinsten Anlagen zählen Aßlar (15.000 Tonnen pro Jahr), Gießen (25.000 Tonnen pro Jahr), Essen (26.500 Tonnen pro Jahr) und Minden (35.000 Tonnen pro Jahr).

Die größten Anlagen stehen in Schwedt (400.000 Tonnen pro Jahr), Bernburg (400.000 Tonnen pro Jahr), Karlsruhe (535.500 Tonnen pro Jahr) und Frankfurt/Höchst (575.000 Tonnen pro Jahr). Sie sind als Wirbelschichtfeuerungen ausgeführt, ausgenommen Bernburg (Rostfeuerung, drei Linien).

² Die Anlage im niedersächsischen Stade-Bützfleth (140.000 t/a) ist zu etwa zwei Drittel fertig gestellt, seit 2010 gibt es einen Baustopp. Es wird ein Investor gesucht, der den Bau zu Ende führt.

Energieformen und -abnahme

Für die Standortwahl von Ersatzbrennstoff-Kraftwerken ist die gesicherte kontinuierliche Abnahme der Energie von entscheidender Bedeutung. Die Nutzung der Wärme ist sowohl aus wirtschaftlichen Gründen als auch aus ökologischer Sicht – Energieeffizienz – anzustreben.

Die Ersatzbrennstoff-Kraftwerke dienen

- teils zur Energieversorgung einer einzelnen Anlage, eines einzelnen Werks oder Unternehmens, z.B. von Papierfabriken, in der Lebensmittel- und Pharmaindustrie sowie bei der Kali-, Soda-, Zement-, Weißblech- und Reifenproduktion,
- teils zur Energieversorgung eines Industrie- oder Gewerbeparks, z.B. Industrie- und Gewerbepark Premnitz, Industriepark Frankfurt/Höchst, Industriepark Gersthofen, Chemiapark Knapsack, Chemiapark Bitterfeld-Wolfen sowie
- teils zur öffentlichen Energieversorgung z.B. durch Stadtwerke, Beispiele sind Erfurt, Neumünster und Großräschen.

Es existieren aber auch Mischformen – zum Beispiel aus der Energieversorgung eines Industrie- und Gewerbeparks einerseits und der öffentlichen Strom- und Fernwärmeversorgung andererseits (z.B. Premnitz).

Die überwiegende Zahl der Anlagen wird in Kraft-Wärme-Kopplung betrieben. Die Wärme wird z.B. in Form von Prozessdampf, Nah- oder Fernwärme genutzt. Die reine Fernwärmeerzeugung ist die Ausnahme: lediglich die Anlage in Gießen gibt die gewonnene Energie ausschließlich in Form von Warmwasser ins Fernwärmenetz der Stadtwerke Gießen ab. Schließlich gibt es vereinzelt auch Ersatzbrennstoff-Kraftwerke mit reiner Stromerzeugung (z.B. Rüdersdorf, Meuselwitz-Lucka), in deren Nähe kein Wärmeabnehmer gefunden werden konnte.

Feuerungssystem

Hinsichtlich des Feuerungssystems ist bei den Ersatzbrennstoff-Kraftwerken die Rostfeuerung mit einem Anteil von etwa siebzig Prozent bezogen auf die Anlagenzahl vorherrschend. Je nach Kapazität bestehen die rostgefeuerten Anlagen aus bis zu drei Linien.

Die Entscheidung für die Wirbelschicht als Feuerungssystem ist häufig durch Art, Konsistenz und Heizwert der Brennstoffe bedingt:

Von den acht Ersatzbrennstoff-Kraftwerken, die mit zirkulierender Wirbelschichtfeuerung (ZWS) ausgeführt sind, befinden sich fünf Anlagen am Standort einer Papierfabrik, wo sie neben der Energieversorgung zugleich zur Entsorgung der überwiegend heizwertarmen Abfälle aus der Papierproduktion dienen. Hauptzweck der ZWS-Anlage in Lünen ist die Entsorgung von Fleischbrei. Die zirkulierende Wirbelschichtfeuerungsanlage Premnitz wurde als Teil des Teppich-Recyclingwerks Polyamid 2000 ursprünglich für die Verbrennung zerkleinerter Altteppiche ausgelegt. Auch für die Anlage Neumünster zur energetischen Verwertung heizwertreicher Fraktionen aus Hausmüll wurde die zirkulierende Wirbelschichtfeuerung gewählt.

Eine stationäre Wirbelschichtfeuerung wurde an zwei Standorten realisiert: in Werdohl-Elverlingsen mit dem Hauptzweck der Entsorgung von entwässertem Klärschlamm und in Essen zur Verbrennung von Sortierresten aus dem Recycling.

Die rotierende Wirbelschichtfeuerung – ein Sonderfall der stationären Wirbelschichtfeuerung – wurde ausschließlich beim Ersatzbrennstoff-Kraftwerk im Industriepark Frankfurt/Höchst ausgeführt. Mit einer Kapazität von 575.000 Tonnen pro Jahr ist es zugleich das größte Ersatzbrennstoff-Kraftwerk in Deutschland und besteht aus drei Linien.

Wesentliche Vor- und Nachteile der beiden wichtigsten Feuerungssysteme für Ersatzbrennstoff-Kraftwerke sind im Folgenden kurz zusammengefasst:

Die Rostfeuerung stellt geringere Anforderungen an die Aufbereitungstiefe der Ersatzbrennstoffe. Sie bietet die höhere Verfahrenssicherheit, erzielt dabei aber eine etwas geringere Energieausbeute. Die Investition ist – bei gleicher Verbrennungskapazität – für eine rostgefeuerte Anlage in der Regel geringer als bei einer Anlage mit zirkulierender Wirbelschichtfeuerung.

Für zirkulierende Wirbelschichtfeuerungen sind die Anforderungen an die Ersatzbrennstoff-Qualität und damit an die Aufbereitungstiefe höher. Durch die Fluidisierung von Bettmaterial und Brennstoff ist der Energieverbrauch zunächst höher, insgesamt ergibt sich jedoch aufgrund des höheren erzielbaren Wirkungsgrads eine höhere Energieeffizienz im Vergleich zur Rostfeuerung. Eine besondere Stärke der zirkulierenden Wirbelschicht ist ihre Flexibilität hinsichtlich des Heizwertbandes und des einsetzbaren Brennstoffspektrums: So ist zum Beispiel einerseits die Mitverbrennung von sehr feuchten, heizwertarmen Schlämmen möglich, andererseits kann bei mangelnder Verfügbarkeit von Ersatzbrennstoffen die kontinuierliche Versorgung des Energieabnehmers auch durch den Einsatz fossiler Brennstoffe wie Steinkohle sichergestellt werden. (vergleiche [8])

1.4. Eingesetzte Ersatzbrennstoff-Arten und Anforderungen an die Qualität

In der Mehrzahl der Ersatzbrennstoff-Kraftwerke werden ausschließlich Ersatzbrennstoffe aus der Aufbereitung von Abfällen aus Haushalten und/oder Gewerbe – mechanisch(-biologisch)e Abfallbehandlung und Gewerbeabfallaufbereitung – eingesetzt. Darüber hinaus werden in einigen Anlagen auch Ersatzbrennstoffe aus Sperrmüll, geeigneten Baumischabfällen, Sortierresten aus dem Recycling sowie Industrieabfällen verbrannt.

Dagegen werden bei Ersatzbrennstoff-Kraftwerken an Produktionsstandorten zum Teil neben den siedlungs- und gewerbeabfallstämmigen Ersatzbrennstoffen auch produktionspezifische Abfälle aus dem benachbarten Industriebetrieb eingesetzt.

Am häufigsten wurde diese Kombination aus Energie-Versorgung und Abfall-Entsorgung bei Papierfabriken realisiert. In Deutschland wurden sieben Ersatzbrennstoff-Kraftwerke am Standort einer Papierfabrik errichtet: in Eisenhüttenstadt, Glückstadt, Karlsruhe, Rudolstadt-Schwarza, Schwedt, Weener und Witzenhausen. Bei allen genannten Anlagen umfasst der Brennstoff-Mix auch Abfälle aus der Papierherstellung wie Rejekte, Spuckstoffe, Papierfaserreststoffe, Deinking-Schlämme, Vorklär- und Bioschlamm aus der fabrikeigenen Abwasserbehandlungsanlage sowie Rinden.

Tabelle 3: Ersatzbrennstoff-Spezifikationen verschiedener Ersatzbrennstoff-Kraftwerke

Einsatzbereiche		Rostfeuerung ³⁾	Rostfeuerung	Rostfeuerung		Wirbelschicht
Quelle		Firmeninformation	Eckardt	Scheuß		Eckardt
	Einheit	Maximalwert	Maximalwert	80. Perzentil-Wert	Maximalwert	Maximalwert
1. Chemische Eigenschaften ⁴⁾						
Wassergehalt	Ma.-% OS	30	30	Ausl.: 25	30	30
Aschegehalt	Ma.-% TS	36	22	Ausl.: 25 ⁷⁾	30 ⁷⁾	20
Schwefel	Ma.-% TS	0,5	1,7	90. P.: 0,25	0,3	k.A.
Chlor	Ma.-% TS	1,0	1,4	90. P.: 1,2	1,8	0,7
Fluor	Ma.-% TS	0,05	1,4			k.A.
Stickstoff	Ma.-% TS				0,5	
Aluminium element.	Ma.-% TS				0,1 Ma.-% OS	
Schwermetalle						Summe: 2.000
Cadmium	mg/kg TS	50	107	9	10	8
Thallium	mg/kg TS	40	14	2	10	
Quecksilber	mg/kg TS	4	7	1,2	2	0,8
Arsen	mg/kg TS	30	21	13	25	-
Kobalt	mg/kg TS	20	k.A.	12	25	-
Nickel	mg/kg TS	400	429	50 ¹⁾ /160 ²⁾	200	-
Selen	mg/kg TS		k.A.	5	10	-
Tellur	mg/kg TS		k.A.	5	10	-
Antimon	mg/kg TS	40	857	60	100	-
Blei	mg/kg TS	1.500	2.857	200 ¹⁾ /- ²⁾	200	-
Chrom	mg/kg TS	500	9.286	120 ¹⁾ /250 ²⁾	200	-
Kupfer	mg/kg TS	1.250	37.143	- ¹⁾ /- ²⁾	200	-
Mangan	mg/kg TS	800	857	100 ¹⁾ /160 ²⁾	200	-
Vanadium	mg/kg TS	40	186	25	50	-
Zinn	mg/kg TS	400	357	70	100	-
Zink	mg/kg TS		k.A.		150	-
Beryllium	mg/kg TS		k.A.	2	4	-
Natrium + Kalium	mg/kg TS				200	
Aschezusammensetzung			k.A.			k.A.
Ascheschmelzverhalten			k.A.			k.A.
2. Mechanische Eigenschaften						
maximale Korngröße	mm	500x100x100	200 ⁴⁾	95 Ma.-% TS < 250, und/oder Lochblech 150; 3 Ma.-% TS < 400=a+b+c		150 ⁵⁾
Anlieferungsform/Schüttdichte						
flugfähiges Material (Fluff)	t/m ³		k.A.	unverpresst: > 0,15		k.A.
anpeltiertes Material	t/m ³		k.A.	Bereich: 0,12 bis 0,18		k.A.
Störstoffe			< 0,5 Ma.-% (Metalle < 40 mm)	Summe Metalle, Glas, Inertstoffe Maximalwert: 1,8 Ma.-% ⁶⁾		< 1 Ma.-% (Fe-, NE-Metalle)
Staubgehalt				2,5 Ma.-% TS < 1mm		
3. Kalorische Eigenschaften						
Mindestheizwert	MJ/kg	Bereich: 11 – 18	10 – 14	Bereich: 11 bis 16		11 – 18
Durchschnittsheizwert	MJ/kg		12	Median: 11,25		14 – 15

Tabelle 3: Ersatzbrennstoff-Spezifikationen verschiedener Ersatzbrennstoff-Kraftwerke – Fortsetzung –

Einsatzbereiche		stationäre Wirbelschicht ⁹⁾		rotierende Wirbelschicht	zirkulierende Wirbelschicht
Quelle		Firmeninformation		Firmeninformation	Puchelt
	Einheit	maximale Dauerlast	max. Halbstundenmittelwert	Auslegungswert (Bandbreite)	Grenzwert
1. Chemische Eigenschaften					
Wassergehalt	Ma.-% OS	Ausl.: 17	Bereich: 15 – 35	20 (10 – 30)	
Aschegehalt	Ma.-% TS	Ausl.: 20,5	Bereich: 12 – 46	25 (11 – 43)	
Schwefel	Ma.-% TS	0,63	1,25		0,6
Chlor	Ma.-% TS	1,25	1,78		1,5
Fluor	Ma.-% TS	0,05	0,09		0,07
Stickstoff	Ma.-% TS				
Aluminium element.	Ma.-% TS	2,24 ¹¹⁾	-		
Schwermetalle					
Cadmium	mg/kg TS	13,24	26,47	~ 10	11
Thallium	mg/kg TS				0,6
Quecksilber	mg/kg TS	2,21	4,41	~ 3,75	2
Arsen	mg/kg TS			~ 5	15
Kobalt	mg/kg TS				
Nickel	mg/kg TS				200
Selen	mg/kg TS				
Tellur	mg/kg TS				
Antimon	mg/kg TS				
Blei	mg/kg TS	2.647	4.412		350
Chrom	mg/kg TS	Cr+Zn+Pb: 5.368	Cr+Zn+Pb: 8.088	~ 250	300
Kupfer	mg/kg TS	Sb + As + Pb +	Sb + As + Pb +		1.000
Mangan	mg/kg TS	Cr + Co + Cu +	Cr + Co + Cu +		
Vanadium	mg/kg TS	Mn + Ni + V +	Mn + Ni + V +		
Zinn	mg/kg TS	Sn: 2.647	Sn: 4.412		
Zink	mg/kg TS	4.044	6.250	~ 1.875	
Beryllium	mg/kg TS				
Natrium + Kalium	mg/kg TS				
Aschezusammensetzung	Ma.-%	P: 3,5; K: 3; Na: 4; K + Na: 6; Mg: 2 ¹⁰⁾	maximal 6 ¹¹⁾	Aluminium max. 6	
Ascheschmelzverhalten				Aschesinterpunkt ⁹⁾ > 950 °C	
2. Mechanische Eigenschaften					
maximale Korngröße	mm	a: 20, b: 400 (gemäß Sieblinie) Einzelstücke max. 800 mm			a, b, c: < 80 a+b+c: ≤ 250 ¹²⁾
Anlieferungsform/Schüttdichte					
flugfähiges Material (Fluff)	t/m ³	Richtwerte – Packstoffe, Siebüberlauf: 0,08 – 0,2 – Reject, Altholz: 0,12 – 0,25 – Klärschlamm, Rechengut: 0,9 – 1,0		Anlieferung in Presscontainern oder Kantballen; ≥ 0,2	Min.: 0,2 Max.: 0,6
anpeltiertes Material	t/m ³				
Störstoffe		Grobteile max. 0,5 Ma.-%		Fe-Metalle ≤ 1 Ma.-% NE-Metalle ≤ 0,6 Ma.-%	Keramik, Steine, Porzellan, Glas, Metalle ¹³⁾
Staubgehalt					
3. Kalorische Eigenschaften					
Mindestheizwert	MJ/kg	Bereich: 8 – 18		Bandbreite: 8,5 – 15	Bereich: 11 – 20
Durchschnittsheizwert	MJ/kg	Auslegung: 11,5		Auslegung: 11	

Fußnoten zu Tabelle 3:

- 1) Für Sekundärbrennstoff aus produktionsspezifischen Abfällen
- 2) Für Sekundärbrennstoff aus den heizwertreichen Fraktionen von Siedlungsabfällen
- 3) Von der Annahme ausgeschlossen sind Abfälle,
 - die nach der Abfallverzeichnisverordnung als gefährlich einzustufen sind
 - die die Betriebssicherheit gefährden
 - die eine oder mehrere der folgenden Eigenschaften aufweisen:
infektiös, schlammförmig, flüssig, staubförmig, explosionsgefährlich, ätzend, radioaktiv
- 4) Maximalwerte

PCB gesamt	≤ 50 mg/kg TS	
PCP	≤ 5 mg/kg TS	
PAK	≤ 100 mg/kg TS	
- 5) max. 5 Ma.-% > 100 mm; max. 50 Ma.-% > 50 mm; max. 10 Ma.-% < 10 mm
- 6) Metalle, gesamt: Maximalwert: 0,9 Ma.-%
 davon Fe-Metalle: Maximalwert: 0,5 Ma.-%
 davon metallisches Aluminium: Maximalwert: 0,1 Ma.-%
 davon sonstige NE-Metalle in metallischer Form: Maximalwert: 0,3 Ma.-%
 Glas > 5 mm Maximalwert: 0,5 bis 1 Ma.-%
 Inertstoffe > 5 mm Maximalwert: 0,5 Ma.-%
- 7) Aschegehalt bei 815 °C in Ma.-%
- 8) Aschesinterpunkt der Einzelbrennstoffe sowie Mischungen
- 9) die Angaben beziehen sich auf den Mischbrennstoff, insbesondere aus den Abfallarten Verpackungsabfälle, Siebüberlauf, Rejacte, Altholz, Klärschlamm, Rechengut (in beliebiger Mischung)
- 10) erwartete maximale Konzentrationen im Ascherückstand
- 11) Gehalt an elementarem Aluminium: entweder 2,24 Ma.-% TS maximale Dauerlast oder maximal 6 % vom Rohaschegehalt im Input (je nachdem welcher Wert kleiner ist)
- 12) Statistische Verteilung: 95 % < 80 x 80 x 30 mm
 Folien und Bänder: 100 % < 300 mm
- 13) Keramik, Steine, Porzellan, Glas: Median 5 Ma.-% OS, Max. 7 Ma.-% OS
 Fe-Metalle, frei von Eisenbändern: Median 1 Ma.-% OS, Max. 2 Ma.-% OS
 Aluminium: Median 1 Ma.-% OS, Max. 2 Ma.-% OS
 Glas: Median 1 Ma.-% OS, Max. 2 Ma.-% OS
- 14) 90 %: < 150 mm; 100 %: < 200 mm, max. Stückvolumen: 300 cm³

Quellen:

Eckardt, S.: Anforderungen an die Aufbereitung von Siedlungs- und Produktionsabfällen zu Ersatzbrennstoffen für die thermische Nutzung in Kraftwerken und industriellen Feuerungsanlagen. Dissertation an der Technischen Universität Dresden im kooperativen Verfahren mit der Hochschule Bremen, Beiträge zu Abfallwirtschaft/Altlasten Band 41. Pirna: Eigenverlag des Forums für Abfallwirtschaft und Altlasten e.V., 2005, S. A76

Puchelt, A.: Die Brennstoffaufbereitungsanlage Weidenhausen – EBS-basierte Energieversorgung des Papierwerks der SCA-Witzenhausen. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Energie aus Abfall, Band 5. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2008, S. 149-160

Scheuß, G.: Dezentrale industrielle Energieversorgung mit Ersatzbrennstoffen – ein Modell der Zukunft? Firmenunterlagen MVV Energie Industrial Solutions

Im Ersatzbrennstoff-Kraftwerk Andernach, das Dampf und Strom für die ansässige Weißblechfabrik erzeugt, werden außer mechanisch aufbereiteten Abfällen aus Haushaltungen, Gewerbe und Industrie auch dort anfallende Produktionsabfälle – Altwalzöl, ölhaltiger Schlamm, Pressenschlamm – verbrannt.³

³ Zudem gibt es zwei als Sonderfälle zu bezeichnende Anlagen (siehe oben):

Werdohl-Elverlingsen: In der Wirbelschichtfeuerungsanlage zur Verbrennung von entwässertem Klärschlamm wird seit November 2004 aufbereiteter Siedlungsabfall mitverbrannt, er substituiert dort die zuvor als Stützbrennstoff eingesetzte Steinkohle. Aufgrund verfahrenstechnischer Probleme wurde die Ersatzbrennstoff-Zuführung inzwischen deutlich verringert. Im Gegenzug wird Braunkohle als zusätzlicher Stützbrennstoff eingesetzt, seit Oktober 2008 werden auch Altöl und Heizöl extra leicht mit eingedüst.

Lünen: In der Wirbelschichtfeuerungsanlage zur Verbrennung von Fleischbrei werden seit Oktober 2005 u.a. Ersatzbrennstoffe aus Gewerbeabfällen zugegeben. Diese ersetzen das zuvor zur Heizwerterhöhung mitverbrannte Tiermehl.

Beispiele für die Anforderungen von Anlagenbetreibern an die Qualität der Ersatzbrennstoffe (Ersatzbrennstoff-Spezifikationen) sind in Tabelle 3 für unterschiedliche Feuerungssysteme zusammengestellt.

2. Ersatzbrennstoff-Kraftwerke in Österreich

2.1. Status quo in Österreich

Tabelle 4: Ersatzbrennstoff-Kraftwerke in Österreich (Stand Dezember 2012)

Zahl der Anlagen	Feuerungswärmeleistung MW	Gesamtkapazität (Summe aller Brennstoffe) t/a
4	257	710.000

In Österreich sind vier Ersatzbrennstoff-Kraftwerke mit einer Gesamtkapazität von 710.000 Tonnen pro Jahr und einer Feuerungswärmeleistung von etwa 257 Megawatt in Betrieb (Tabelle 4).

Bild 3 zeigt die Standorte der Ersatzbrennstoff-Kraftwerke in Österreich. Wesentliche Daten der einzelnen Anlagen sind in Tabelle 5 aufgeführt.



Bild 3: Standorte der Ersatzbrennstoff-Kraftwerke in Österreich (Stand Dezember 2012)

Als letztes ging das Ersatzbrennstoff-Kraftwerk Linz im Jahr 2012 in Betrieb. Die Anlage ist nunmehr fast ein Jahr im Probetrieb. Die Bescheidverhandlung wird voraussichtlich im Sommer 2013 stattfinden. Dann wird die Anlage für den Dauerbetrieb freigegeben.

Tabelle 5: Ersatzbrennstoff-Kraftwerke in Österreich – Anlagenstandorte und Kapazitäten (Stand Dezember 2012)

Anlagenstandort	Inbetriebnahme	Feuerungssystem	Gesamtkapazität (Summe aller Brennstoffe) t/a	Feuerungswärmeleistung MW
Lenzing (Oberösterreich)	1998/2004	zirkulierende Wirbelschicht	300.000	110
Linz (Oberösterreich)	2012	zirkulierende Wirbelschicht	200.000	66/max. 72,6
Niklasdorf (Steiermark)	2003	stationäre Wirbelschicht	100.000	40
Simmeringer Haide WSO 4 (Wien)	2003	rotierende Wirbelschicht	110.000	41

Quellen:

Hackl, A. E.: Persönliche Mitteilung, Dezember 2012

Lorber, K. E.; Staber, W.; Kneissl, P. J.: Neue Abfallverbrennungsanlagen in Österreich. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Energie aus Abfall, Band 4. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2008, S. 553-570

Mauschitz, G.; Technische Universität Wien: Persönliche Mitteilung, Januar 2013

Die Projekte in Frohnleiten (Steiermark) und Heiligenkreuz (Burgenland) sind auf Eis gelegt. Im einen Fall ist die Finanzierung bis dato nicht sichergestellt. Im anderen Fall hatte der österreichische unabhängige Umweltsenat der Anlagenerrichtung zugestimmt, allerdings gab es Einsprüche seitens der ungarischen Bevölkerung im Grenzgebiet. [3, 6]

2.2. Charakterisierung der Anlagen

Kapazitäten

Die Gesamtkapazitäten der Ersatzbrennstoff-Kraftwerke liegen zwischen 100.000 und 300.000 Tonnen pro Jahr. Von der Anlage in Linz ist bekannt, dass von der Gesamtkapazität in Höhe von 200.000 Tonnen pro Jahr etwa 150.000 Tonnen pro Jahr auf heizwertreiche Fraktionen aus der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung – dem Reststoff-Heizkraftwerk Linz ist eine Reststoff-Aufbereitungsanlage vorgeschaltet – und etwa 50.000 Tonnen pro Jahr auf Klärschlamm entfallen. Auch in den anderen drei Anlagen in Lenzing, Niklasdorf und Wien/Simmeringer Haide (WSO 4) werden Klärschlamm bzw. Schlämme eingesetzt, allerdings liegen hier keine Angaben zur Aufteilung der Gesamtkapazität vor.

Energieformen

Alle vier Standorte werden in Kraft-Wärme-Kopplung betrieben.

Im Werk Simmeringer Haide der Fernwärme Wien werden neben dem Wirbelschichtofen 4 (WSO 4) drei weitere Wirbelschichtöfen zur Verbrennung von entwässertem Klärschlamm (WSO 1-3) und zwei Drehrohröfen betrieben. Im Anlagenkomplex wird die Energie hauptsächlich in Form von Fernwärme ausgekoppelt. Darüber hinaus wird in geringerem Umfang elektrischer Strom für den Eigenbedarf produziert.

Auch beim Ersatzbrennstoff-Kraftwerk Linz wird die Energie sowohl zur Stromerzeugung als auch zur Fernwärmeversorgung genutzt.

Bei den anderen beiden Anlagen werden Strom und Prozessdampf erzeugt: In Lenzing wird der Prozessdampf für die Produktion der Lenzing AG (Viskosefaserherstellung) genutzt. In Niklasdorf dient der Prozessdampf zur Versorgung der Papierfabrik Brigl & Bergmeister.

Feuerungssystem

Die vier österreichischen Ersatzbrennstoff-Kraftwerke sind mit Wirbelschichtfeuerungen ausgeführt. In Lenzing und Linz wurde eine zirkulierende Wirbelschicht gewählt, in Niklasdorf eine stationäre Wirbelschicht und beim WSO 4 in Wien/Simmeringer Haide handelt es sich um eine rotierende Wirbelschicht.

2.3. Eingesetzte Ersatzbrennstoff-Arten

In allen vier Anlagen werden sowohl heizwertreiche Fraktionen als auch Klärschlamm⁴ bzw. Schlämme⁵ verbrannt. In Lenzing und Niklasdorf wird zudem Altholz eingesetzt. In Lenzing umfasst der Abfallinput darüber hinaus auch Rejekte, Rechengut, Packstoffe, gewerbliche Abfälle usw.

3. Zusammenfassung

In **Deutschland** werden 36 Ersatzbrennstoff-Kraftwerke mit einer Gesamtkapazität von 6,3 Millionen Tonnen pro Jahr – dies entspricht einer energiebezogenen Kapazität von 78,6 PJ/a – und einer Feuerungswärmeleistung von etwa 2.760 MW betrieben. Die Kapazität für Ersatzbrennstoffe aus Siedlungs- und Gewerbeabfällen liegt bei etwa 4,8 Millionen Tonnen pro Jahr.

Die Gesamtkapazitäten der Ersatzbrennstoff-Kraftwerke weisen eine große Schwankungsbreite auf: sie reichen von 15.000 Tonnen pro Jahr bei der kleinsten bis 575.000 Tonnen pro Jahr bei der größten Anlage.

Die gesicherte kontinuierliche Abnahme der Energie ist wesentlich für die Standortwahl von Ersatzbrennstoff-Kraftwerken. Die Nutzung der Wärme ist sowohl aus wirtschaftlichen Gründen als auch aus ökologischer Sicht – Energieeffizienz – anzustreben. Die Ersatzbrennstoff-Kraftwerke dienen

- teils zur Energieversorgung einer einzelnen Anlage, eines einzelnen Werks oder Unternehmens, z.B. von Papierfabriken,
- teils zur Energieversorgung eines Industrie- oder Gewerbeparks sowie
- teils zur öffentlichen Energieversorgung zum Beispiel durch Stadtwerke.

⁴ Lenzing, Linz, WSO 4

⁵ Niklasdorf

In einem Großteil der Anlagen werden ausschließlich Ersatzbrennstoffe aus der Aufbereitung von Abfällen aus Haushalten und/oder Gewerbe eingesetzt. Bei Ersatzbrennstoff-Kraftwerken an Produktionsstandorten werden darüber hinaus zum Teil auch produktionsspezifische Abfälle aus dem benachbarten Industriebetrieb eingesetzt. Am häufigsten wurde diese Kombination aus Energie-Versorgung und Abfall-Entsorgung bei Papierfabriken realisiert, wo die Ersatzbrennstoff-Kraftwerke zugleich zur Entsorgung der Abfälle aus der Papierproduktion – wie Rejekte, Spuckstoffe, Papierfaserreste, Schlämme aus der Werkskläranlage – dienen.

Bei den Ersatzbrennstoff-Kraftwerken überwiegt hinsichtlich des Feuerungssystems mit einem anlagenbezogenen Anteil von siebzig Prozent die Rostfeuerung deutlich.

Von den übrigen dreißig Prozent der Anlagen sind acht als zirkulierende Wirbelschichtfeuerung, zwei als stationäre Wirbelschichtfeuerung und eine als rotierende Wirbelschichtfeuerung ausgeführt.

In **Österreich** werden vier Ersatzbrennstoff-Kraftwerke betrieben. Diese verfügen in Summe über eine Kapazität von 710.000 Tonnen pro Jahr und eine Feuerungswärmeleistung von etwa 257 Megawatt. Die Kapazitäten der Anlagen liegen zwischen 100.000 und 300.000 Tonnen pro Jahr (Summe aller Brennstoffe).

An allen Standorten wird elektrischer Strom erzeugt, in Wien/Simmeringer Haide allerdings nur in geringem Umfang für den Eigenbedarf.

Die Wärmenutzung ist bei allen Anlagen gegeben. In Niklasdorf und Lenzing wird Prozessdampf für die Versorgung von Produktionsanlagen zur Papier- bzw. Viskosefaserherstellung bereit gestellt. In Wien und Linz wird Fernwärme erzeugt.

Der Abfallinput umfasst in allen Anlagen heizwertreiche Fraktionen und Klärschlamm bzw. Schlämme. Zudem werden zum Teil auch Altholz, Rejekte, Rechengut, Packstoffe, gewerbliche Abfälle usw. verbrannt.

Als Feuerungssystem wurde bei allen Ersatzbrennstoff-Kraftwerken die Wirbelschicht gewählt. Die Anlagen in Lenzing und Linz wurden als zirkulierende Wirbelschicht ausgeführt, in Niklasdorf handelt es sich um eine stationäre Wirbelschicht und beim WSO 4 in Wien/Simmeringer Haide um eine rotierende Wirbelschicht.

4. Quellen und weiterführende Literatur

- [1] Anderl, H.; Kaufmann, K.: Thermische Verwertung von Abfallstoffen in der Wirbelschicht – 110 MW Reststoffverwertungsanlage RV-Lenzing, Österreich. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Ersatzbrennstoffe 2. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2002, S. 171-194
- [2] Eckardt, S.: Anforderungen an die Aufbereitung von Siedlungs- und Produktionsabfällen zu Ersatzbrennstoffen für die thermische Nutzung in Kraftwerken und industriellen Feuerungsanlagen. Dissertation an der Technischen Universität Dresden im kooperativen Verfahren mit der Hochschule Bremen, Beiträge zu Abfallwirtschaft/Altlasten Band 41. Pirna: Eigenverlag des Forums für Abfallwirtschaft und Altlasten e.V., 2005
- [3] Hackl, A. E.: Persönliche Mitteilung, Dezember 2012

- [4] Hollauf, B.; Prochaska, M.; Staber, W.: Wirbelschichtöfen zur Verwertung unterschiedlicher Ersatzbrennstoffe in Österreich – Technisch-wirtschaftlicher Vergleich. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Ersatzbrennstoffe 5. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2005, S. 455-465
- [5] Lorber, K. E.; Staber, W.; Kneissl, P. J.: Neue Abfallverbrennungsanlagen in Österreich. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Energie aus Abfall, Band 4. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2008, S. 553-570
- [6] Mauschitz, G.; Technische Universität Wien: Persönliche Mitteilung, Januar 2013
- [7] Thiel, S.: Überblick über die Ersatzbrennstoff-Kraftwerke in Deutschland – Stand 30. Juni 2009. In: Bilitewski, B.; Schnurer, H.; Zeschmar-Lahl, B. (Hrsg.): Müll-Handbuch – Sammlung und Transport, Behandlung und Ablagerung sowie Vermeidung und Verwertung von Abfällen. Berlin: Erich Schmidt Verlag GmbH, Kennzahl 7101, 2009
- [8] Thomé-Kozmiensky, K. J.: Verbrennung in Wirbelschichtreaktoren. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Energie aus Abfall, Band 10. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2013, S. 3-94

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Energie aus Abfall – Band 10

Karl J. Thomé-Kozmiensky, Michael Beckmann.

– Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2013

ISBN 978-3-935317-92-4

ISBN 978-3-935317-92-4 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 2013

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: Petra Dittmann, Sandra Peters,

Martina Ringgenberg, Ginette Teske, Ulrike Engelmann, LL. M., Ina Böhme

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.