

Erhöhung der Energieeffizienz bei Abfallverbrennungsanlagen durch Prozessführung und Anlagenschaltung



Dipl.-Ing. Reinhard Schu,
EcoEnergy Gesellschaft für
Energie- und Umwelttechnik mbH
Walkenried

Waste to Energy
9. – 10. Mai 2007, Bremen

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG	3
2	REDUZIERUNG DES LUFTÜBERSCHUSSES	3
3	ERHÖHUNG DER DAMPFPARAMETER	6
4	ENTWICKLUNG EINES GEEIGNETEN ÜBERHITZERS	6
5	WASSER-DAMPF-KREISLAUF BIFUELCYCLE	7

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Maßnahmen zur Rauchgashomogenisierung verschiedener Hersteller	4
Abbildung 2: Optimiertes Feuerungskonzept BiFuelCycle	5
Abbildung 3: Verfahrensschema BiFuelCycle mit Keppel-Seghers-Prisma und Tetratubes (NEM), alternativ für die letzte Stufenluftzugabe ECOTUBE	7
Abbildung 4: Aufteilung Brennstoffe, Verdampfung, Energie	8

1 Einleitung

Der Beitrag zeigt Wege zur Erhöhung der Energieeffizienz der thermischen Abfallbehandlung für die Rostfeuerungstechnologie auf, die zu einem Nettowirkungsgrad der Stromerzeugung aus Abfallverbrennungsanlagen von über 35% im Vergleich zu heute üblichen 24% führen:

1. Reduzierung der Abgasverluste durch Senkung der Luftzahl auf $< 1,25$ durch unterstöchiometrische Prozessführung auf dem Rost und mehrstufige Verbrennung des Brenngases in der Nachbrennkammer.
2. Wirkungsgradsteigerung der Energieumwandlung durch Erhöhung der Dampfparameter durch externe Dampfüberhitzung.
3. Reduzierung der Wärmeverluste durch Restwärmenutzung nach der Rauchgasreinigung z. B. durch Frischluftvorwärmung, Kondensatvorwärmung oder Fernwärmeauskopplung mit Rauchgaskondensation.

Alle drei Varianten der Wirkungsgradsteigerung wurden mit guten Erfahrungen bereits an einzelnen Anlagen großtechnisch umgesetzt.

Bei der Anhebung der Dampfparameter wird heute zur externen Überhitzung Erdgas bzw. Frischdampf zur Zwischenüberhitzung eingesetzt. Der Einsatz von Erdgas als Spitzenlastbrennstoff ist jedoch für Grundlastkraftwerke wie Abfallverbrennungsanlagen oder Biomassekraftwerke langfristig nicht wirtschaftlich.

In dem Beitrag wird dargestellt, dass eine externe Überhitzung auch mit Braunkohle oder Steinkohle mit dem neu entwickelten BiFuelCycle-Konzept möglich ist.

Der Umfang der resultierenden Wirkungsgradsteigerung wird rechnerisch durch Verbrennungsrechnung und Berechnung des Wasser-Dampf-Kreislaufes nachgewiesen.

Der für die BiFuelCycle-Anlage berechnete elektrische Nettowirkungsgrad von $> 35\%$ liegt ca. 25% bis 50% über dem Wirkungsgrad bereits in Betrieb befindlicher moderner Abfallverbrennungsanlagen und genügt damit schon ohne zusätzliche Wärmeauskopplung der in Abstimmung befindlichen EU-Abfallrahmenrichtlinie.

2 Reduzierung des Luftüberschusses

Der Kesselwirkungsgrad von Kohleverbrennungsanlagen liegt bei über 93% während Abfallverbrennungsanlagen lediglich einen Kesselwirkungsgrad von ca. 83% aufweisen. Das ist begründet durch den üblicherweise hohen Luftüberschuss sowie hohe Rauchgastemperaturen am Kesselende. Zur Vermeidung der Überhitzung der Roststäbe wird eine Luftvorwärmung über einen Rauchgasluftvorwärmer häufig nicht genutzt. Die Minimierung der Luftzahl ist verfahrenstechnisch begrenzt. Generell gilt: Je inhomogener ein Brennstoff ist, desto höher ist die erforderliche Luftzahl und desto größer sind die Abgasverluste und Anlagengrößen.

Wird in einer Rostfeuerung die Primärverbrennung unterstöchiometrisch durchgeführt (teilweise Vergasung) und der Gasausbrand in die Nachbrennkammer verlagert, so ergeben sich für die Gesamtanlage Luftzahlen zwischen 1,1 bis 1,2 bei den folgenden Optimierungsmaßnahmen:

- Angepasste Feuerungsleistungsregelung
- Rauchgashomogenisierung durch Eindüsung von Stufenluft, Rezigas oder Dampf oder durch Einbauten wie statische Rauchgasmischer mit zusätzlicher Luftdüsung (siehe Abb. 1).

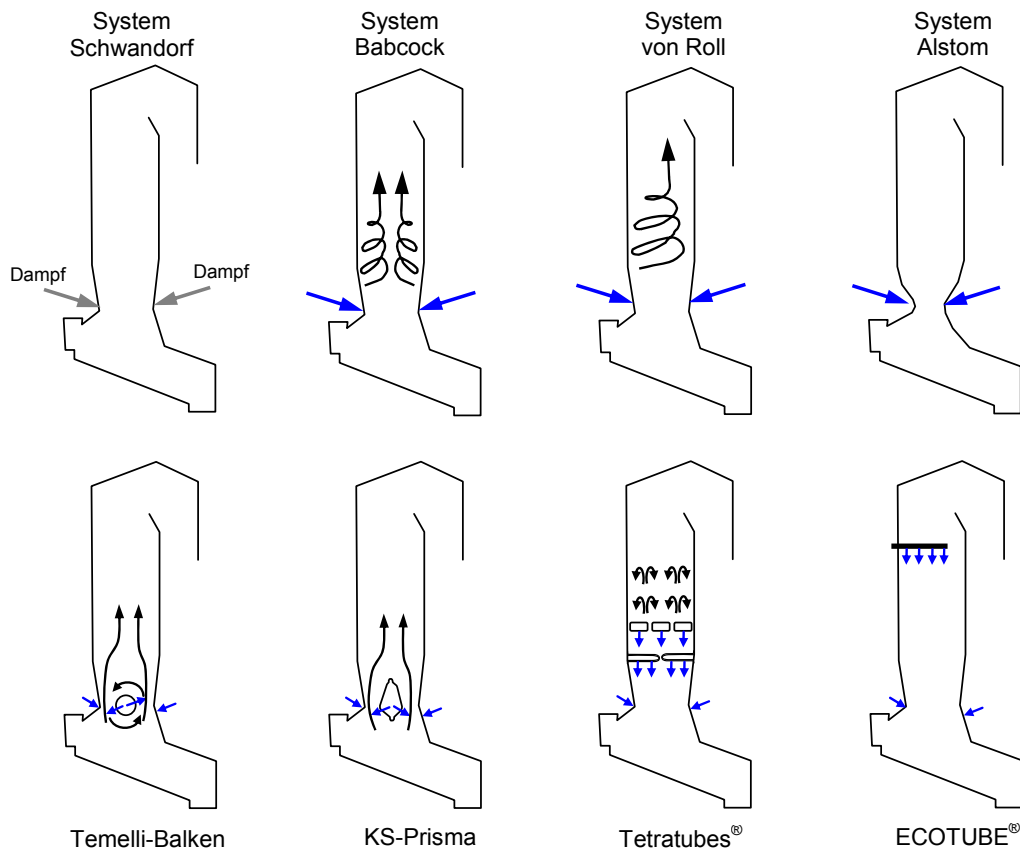


Abbildung 1: Maßnahmen zur Rauchgashomogenisierung verschiedener Hersteller

Unter Berücksichtigung der dargestellten Optimierungsmöglichkeiten, die mit einer unterstöchiometrischen Prozessführung erreichbar sind, wird die BiFuelCycle-Anlage nach folgenden Gesichtspunkten ausgelegt:

- Reduzierung des Gesamtluftüberschusses auf $\lambda < 1,25$ und damit geringere Rauchgasmenge
- Reduzierung von Korrosion und Verschlackung trotz erhöhter Dampfdrücke und damit erhöhten Verdampfungstemperaturen durch Vergleichmäßigung des Temperaturverlaufs im 1. Zug
- Verbesserung des Gesamtwirkungsgrades
- Flexibles Heizwertband bis zu einem Heizwert von 32.000 kJ/kg
- Reduzierung der Flugstaubmenge
- Verbesserung der Schlackequalität (Ausbrand, Versinterung)
- Reduzierung der Rohgasemissionen
- Reduzierung der Betriebsmittel durch NO_x-arme Verbrennung

- Die Konzeption ist aufgebaut aus den bekannten Verfahrenstechniken bzw. Komponenten:
- Kessel mit unterstöchiometrischer Verbrennung auf dem Rost entsprechend Ersatzbrennstoffverwertungsanlage Igelsta, Södertälje, Schweden mit ca. 100 MW
- Keppel-Seghers-Prisma für die erste Stufenluftzugabe in der 1. Stufe der Nachverbrennung der Brenngase aus der unterstöchiometrischen Verbrennung auf dem Rost
- Tetratubes für die weitergehende Stufenluftzugabe
- Tetratubes oder ECOTUBE für die letzte Stufenluftzugabe mit gleichzeitiger Zugabe der Betriebsmittel für die Entstickung nach dem SNCR-Verfahren im Temperaturbereich 850°C bis 950°C
- Optimierte Feuerungsleistungsregelung mit getrennter Regelung der Bereiche Rost und Nachverbrennung des Brenngases
- Optionale Dampfzugabe über die Einbauten oder Kesselwände zur Rauchgashomogenisierung

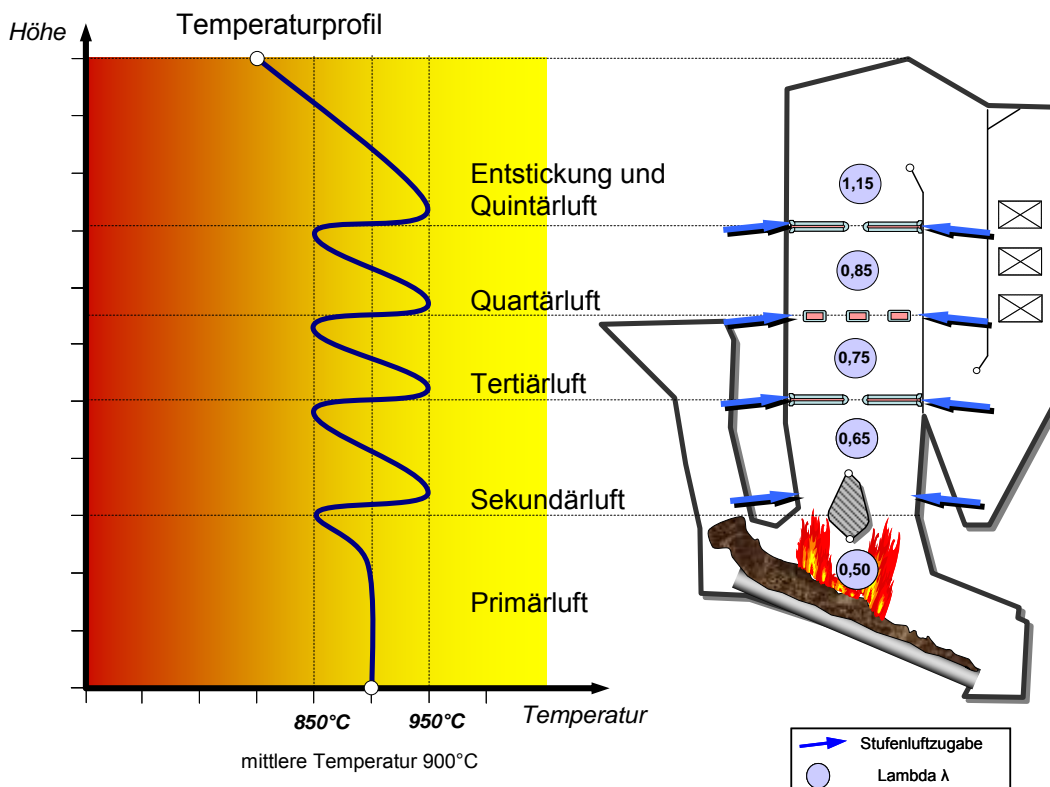


Abbildung 2: Optimiertes Feuerungskonzept BiFuelCycle

Grund für die vielstufige Luftzugabe ist die Einhaltung eines engen Temperaturfensters im ersten Zug auch bei hohen Abfallheizwerten. Durch eine Erhöhung der Dampfparameter auf z. B. 150 bis 180 bar zur Optimierung des Wasser-Dampfkreislaufes bei externer Überhitzung erhöht sich die Verdampfungstemperatur von ca. 250 °C auf ca. 350 °C. Mit der erhöhten Verdampfungstemperatur muss bei gleichem Korrosionspotential entsprechend die mittlere Rauchgastemperatur auf < 900 °C bis 950 °C gesenkt werden. Idealerweise müsste eine Temperatur mit unendlicher Luftstufung wenig über 850 °C eingestellt werden. Dies ist anlagentechnisch nicht möglich. Die Anzahl der Luftstufungen ergibt sich daher aus dem

Abfallheizwert, dem Dampfdruck, der Anlagengröße und dem Korrosionsschutzkonzept bzw. der geforderten Reisezeit und Verfügbarkeit der Anlage.

Aufgrund der optimierten Verfahrensführung mit einer ausreichenden Verweilzeit im reduzierenden Milieu bei Luftzahlen $< 0,75$ können sowohl das Brennstoff-NO_x reduziert als auch die Precursoren bzw. Dioxin-Vorstufen, wie polychlorierte Biphenyle sicher zerstört werden. Die Genehmigungsfähigkeit der Verfahrensführung nach dem vorgestellten optimierten Feuerungskonzept ist gegeben.

3 Erhöhung der Dampfparameter

Wie dargestellt, können bei der Planung und Erneuerung von Anlagen eine Reihe von Optimierungsmöglichkeiten berücksichtigt werden, die zu einer Verbesserung der Energienutzung bei der Abfallverbrennung beitragen. Im BiFuelCycle-Konzept werden sowohl die optimierten Verbrennungsbedingungen als auch die Möglichkeiten der verbesserten Wärmenutzung berücksichtigt.

Für die Überhitzung von Dampf aus Abfallverbrennungsanlagen werden die Brennstoffe Erdgas und Öl aus folgenden Gründen als ungeeignet angesehen:

- hohe brennstoffinhärente elektrische Wirkungsgrade von über 60 % netto
- hohe adiabate Verbrennungstemperaturen und geringe brennstoffinhärente Luftzahlen
- Brennstoff für Spitzenlaststrom aufgrund der geringen Installationskosten und Infrastrukturaufwendungen

Hohe Brennstoffkosten und erwartete Brennstoffpreissteigerungen

Die Verbindung einer neuen Abfallbehandlungsanlage mit einem bestehenden Kraftwerk gestaltet sich meist sehr schwierig, da die wärmetechnische Vertrimmung des Kraftwerks nicht immer die Flexibilität für eine zusätzliche Frischdampfüberhitzung zulässt, es besteht daher nur die Möglichkeit zu einer kalten Zwischenüberhitzung, die jedoch nicht die thermodynamischen Möglichkeiten der Wirkungsgradsteigerung zulässt, die bei einer Frischdampfüberhitzung mit Zwischenüberhitzung möglich sind.

Geeignet für die Überhitzung sind feste Brennstoffe, die einen geringen brennstoffinhärenten elektrischen Netto-Wirkungsgrad aufweisen und für Grundlaststrom eingesetzt werden.

Bei Feststofffeuerungen sollten aufgrund der hohen Strahlungsanteile des Rauchgases bei z.B. Kohlefeuerungen die Rauchgastemperaturen vor den Überhitzerwärmetauschern, abhängig von den Dampfparametern, möglichst < 950 °C sein.

4 Entwicklung eines geeigneten Überhitzers

Die Entwicklungsaufgabe bestand darin, eine geeignete Technologie für einen auf die Abfallverbrennungsanlage angepassten reinen Überhitzer für feste Brennstoffe zu entwickeln, der trotz einer hohen adiabaten Temperatur bei geringen Luftzahlen von ca. 1,15 keinen Verdampfer benötigt.

Gelöst werden kann diese Aufgabe mit einer ZWS-Verbrennung mit ausgemauertem Reaktor. Über den Fließbettkühler (FBK), ausgeführt als Frischdampfüberhitzer und teilweise Zwischenüberhitzer, werden ca. 75% der Brennstoffwärme ausgekoppelt.

5 Wasser-Dampf-Kreislauf BiFuelCycle

Durch die externe Überhitzung sind die Grenzen für die wählbaren Dampfparameter Druck und Temperatur neu zu definieren. Für das BiFuelCycle-Verfahren (BFC-Verfahren) ergeben sich die wählbaren Dampfparameter aus:

- dem maximal zulässigen Dampfdruck in der thermischen Abfallverbrennungsanlage, hier genannt Ersatzbrennstoffverwertungsanlage (EVA), begrenzt durch:
 - Korrosionspotential des Ersatzbrennstoffes,
 - Art der Prozessführung der Feuerung
 - korrosionsmindernde Sekundärmaßnahmen
- den am Markt verfügbaren Dampfturbinen, abhängig von der Anlagengröße.

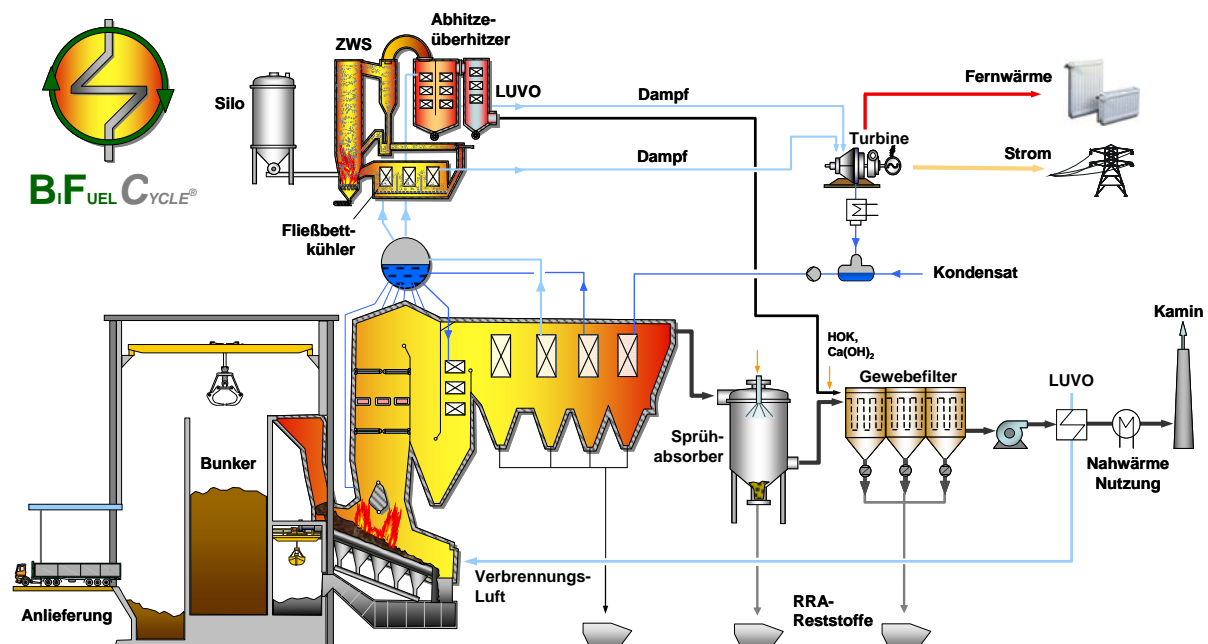


Abbildung 3: Verfahrensschema BiFuelCycle mit Keppel-Seghers-Prisma und Tetratubes (NEM), alternativ für die letzte Stufenluftzugabe ECOTUBE

Ausgehend von einer Prozessführung mit einer unterstöchiometrischen Verbrennung auf einem Rost mit mehrfacher Luftstufung und korrosionsmindernden Maßnahmen nach dem Stand der Technik, wie Cladding, hinterlüftete Platten, thermisches Spritzen etc. und den Erfahrungen aus der Praxis können Dampfdrücke bis 180 bar und eine Verdampfungstemperatur von 357 °C gewählt werden. Die Drücke sollten jedoch so gewählt werden, dass noch ein Naturumlauf möglich ist, dies ist bei Dampfdrücken an der Turbine von 150 bar gesichert. Berücksichtigt man die Druckverluste von Kessel und externem Überhitzer von ca. 10% des Turbinendruckes, ergeben sich ca. 165 bar Dampftrummeldruck, ein Naturumlauf kann unter diesen Bedingungen beibehalten werden.

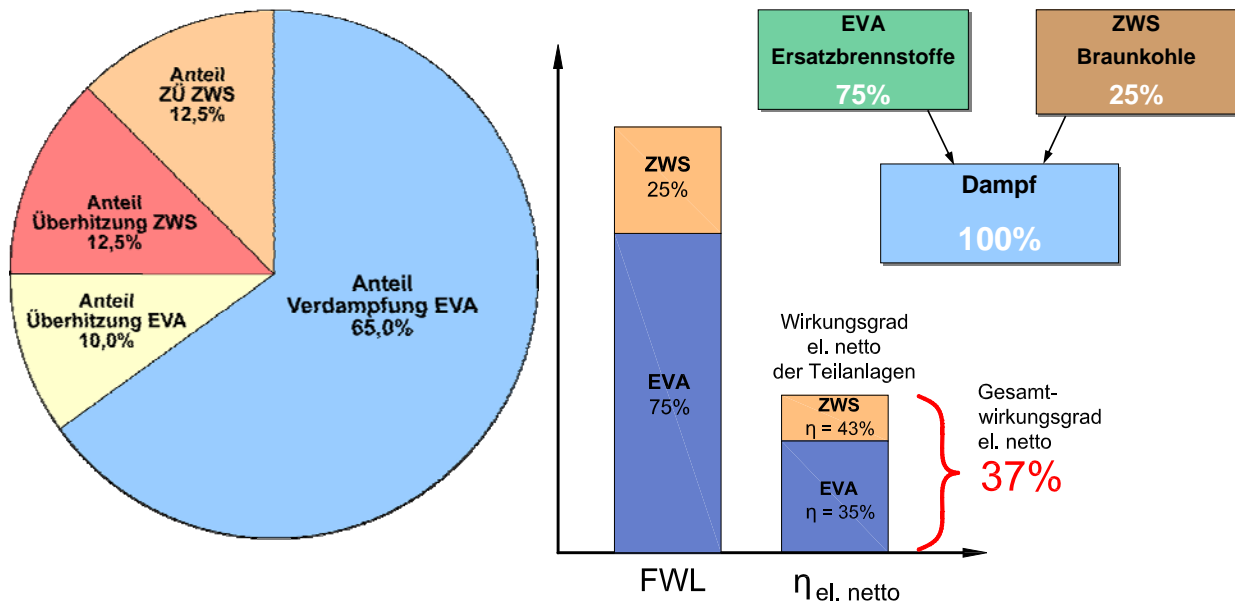


Abbildung 4: Aufteilung Brennstoffe, Verdampfung, Energie

In dem ZWS-Überhitzer, kann Steinkohle oder Braunkohle eingesetzt werden. Die Kombination von Haupt- und Nebenanlage mit unterschiedlichen Brennstoffen (BiFuelCycle) erfolgt über die Dampferzeuger-Trommel. Bei dem BiFuelCycle-Verfahren ist mindestens eine Zwischenüberhitzung, zur Wirkungsgradverbesserung sinnvoll.

Bei der gewählten Anlagenschaltung ergibt sich die in Abb. 4 dargestellte Verteilung der Brennstoffe Ersatzbrennstoff für die EVA und Wirbelschichtbraunkohle für den ZWS-Überhitzer.

Der elektrische Nettowirkungsgrad der BiFuelCycle-Anlage bezieht sich auf den gesamten Brennstoffinput. Für einen Vergleich des Wirkungsgrades bezogen auf den Abfall muss der brennstoffinhärente Wirkungsgrad von Braunkohle in einem modernen Braunkohlekraftwerk berücksichtigt werden. In Abb. 4 ist daher ein elektrischer Nettowirkungsgrad von 43% angenommen worden, es ergibt sich somit ein auf die Abfallverbrennung bezogener Nettowirkungsgrad elektrisch von 35%. Für einen Idealstandort mit Flusswasserkühlung würde sich sogar ein Nettowirkungsgrad elektrisch, bezogen auf die Abfallverbrennung von 37% ergeben. Für den Brennstoff Erdgas zur Überhitzung würde sich bei einem brennstoffinhärenten elektrischen Nettowirkungsgrad von 63% für ein modernes erdgasbetriebenes GuD-Kraftwerk, ein auf den Abfall bezogener elektrischer Nettowirkungsgrad von 28% bis 30% ergeben. Die Wahl des Brennstoffs zur Überhitzung ist maßgeblich für die Energieeffizienz der Abfallverbrennung.

Literatur:

(1) Schu, Reinhard; Born, Manfred (2006): Erhöhung der Energieeffizienz bei Abfallverbrennungsanlagen durch Prozessführung und Anlagenschaltung In: Thomé-Kozmiensky, Beckmann (Hrsg.); Optimierung der Abfallverbrennung 3, Neuruppin, TK Verlag