



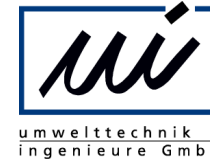
R1-Faktor zur Energieoptimierung von Müllverbrennungsanlagen in der praktischen Umsetzung

Dipl. -Ing Daniel Depta
umwelttechnik & ingenieure GmbH
Wöhlerstraße 42
30163 Hannover

Kassel, 13.04.2011



Gliederung



1. - Einleitung
2. - Rahmenbedingungen
3. - R1-Faktor und dessen thermodynamische Bedeutung
4. - Technische Möglichkeiten zur Erhöhung des R1-Faktors
5. - Schlusswort



1. Einleitung



- Erhöhung der Energieeffizienz von Neubauprojekten im europäischen Ausland z.B. (Polen, England, etc.) und Retrofitprojekten in Deutschland
- Zur Beurteilung der Energieeffizienz wird der R1-Faktor genutzt, der in der europäischen Abfallrahmenrichtlinie beschrieben ist.
- Folgende Ziele sind von den Betreibern von Abfallverbrennungsanlagen zu erreichen:

1. Erhöhung:

1. der Verfügbarkeit
2. des Kesselwirkungsgrades
3. des elektrischen Wirkungsgrades
4. des thermischen Wirkungsgrades
5. der Flexibilität gegenüber der Brennstoffzusammensetzung
6. der Flexibilität in der Betriebsweise



1. Einleitung



2. Verminderung

1. des spezifischen Brennstoffverbrauchs
 2. des Zusatzbrennstoffs (Zünd- und Stützfeuerung)
 3. der Ausfallzeiten (Revisionszeiten)
 4. der Anlagen internen Verluste (Wärmeverluste)
- Durch die Optimierung der Anlagentechnik wird die Wirtschaftlichkeit erhöht.
 - Technische und planerische Maßnahmen werden u.a. im folgenden dargestellt und hinsichtlich der Auswirkungen auf den R1-Faktor bewertet.



2. Rahmenbedingungen



umwelttechnik &
ingenieure GmbH

2. Rahmenbedingungen



2. Rahmenbedingungen



- Anhang 2 der europäischen Abfallrahmenrichtlinie enthält eine ausführliche Liste von Verwertungsverfahren. Darin ist u.a. das Verwertungsverfahren R1 definiert.
- Bei diesem Verwertungsverfahren muss der Abfall zur Energieerzeugung genutzt werden. Verbrennungsanlagen die feste Siedlungsabfälle behandeln fallen nur dann darunter, wenn unter Verwendung folgender Formel ein gewisser Wert erreicht wird.

Erzeugte Energie (Strom, Wärme)
 $E_p = 2,6 \times P_{el} + 1,1 \times Q_{th}$

Input Energie zur Erzeugung von Dampf

Importierte Energiemenge

$$\text{Energieeffizienz} = \frac{E_p - (E_f + E_i)}{0,97 \times (E_w + E_f)}$$

Energieverluste durch Rost- und Kesselasche

Energiemenge im Abfall (H_u)



3. R1-Faktor und dessen thermodynamische Bedeutung



umwelttechnik &
ingenieure GmbH

3. R1-Faktor und dessen thermodynamische Bedeutung



3. R1-Faktor und dessen thermodynamische Bedeutung



- Energieeffizienz muss gleich sein:
 - **0,6** für in Betrieb befindliche Anlagen (Genehmigung vor 01.01.2009)
 - **0,65** Genehmigung nach dem 31.12.2008
- Aufgrund der genannten Zusammenhänge wird die Energieeffizienz auch R1-Kennzahl oder **R1-Faktor** genannt
- Im R1-Faktor sind Werte für den elektrischen und thermischen Wirkungsgrad vorhanden (E_p). Des Weiteren sind die Verminderung des Brennstoffeinsatzes anderer Brennstoffe sowie die Flexibilität der Anlage und die spezifisch bessere Ausnutzung des Brennstoffs enthalten (E_i , E_f).
- All diese Größen sind nicht neu und können aus der Kombination bereits vorhandener und technisch genutzter Größen und Wirkungsgrade ermittelt werden.

3. R1-Faktor und dessen thermodynamische Bedeutung



- elektrischer Wirkungsgrad $\eta_{el} = \frac{P_{el}}{\dot{Q}_B} = \frac{(E_p - 1,1 \times P_Q)}{2,6 \times (E_w + E_f)}$
- thermischer Wirkungsgrad $\eta_{th} = \frac{P_Q}{\dot{Q}_B} = \frac{(E_p - 2,6 \times P_e)}{1,1 \times (E_w + E_f)}$
- Brennstoffinput $= \dot{Q}_B = E_w + E_f$



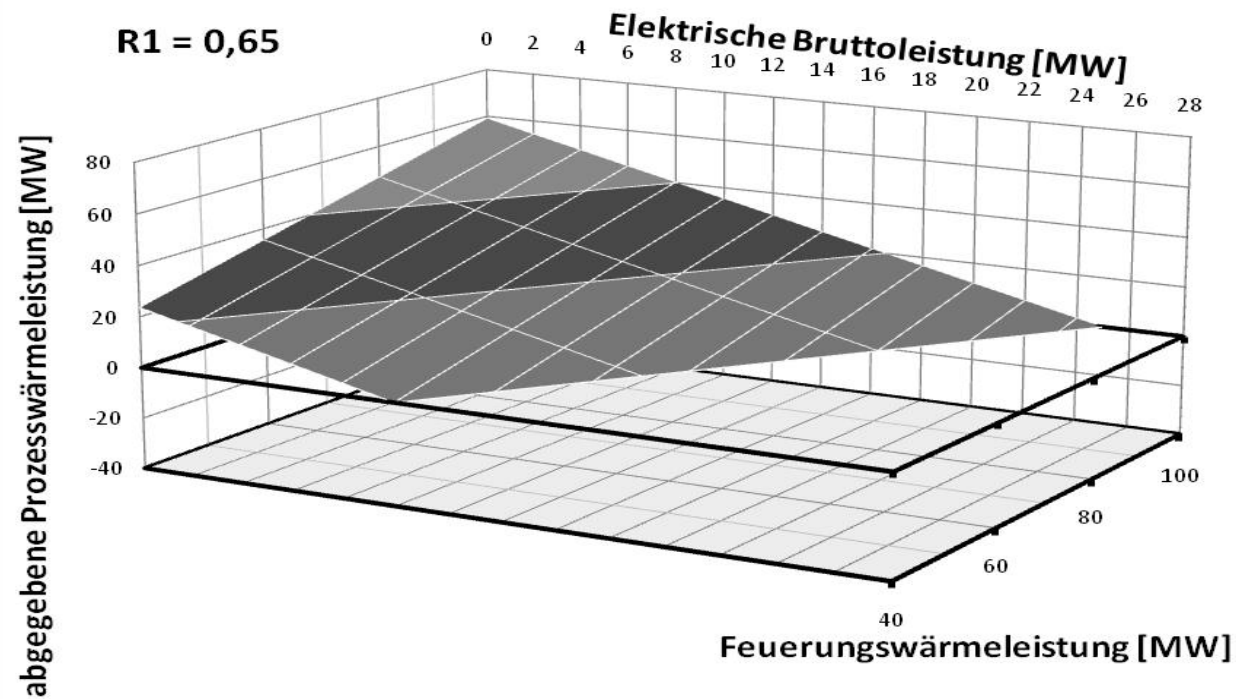
3. R1-Faktor und dessen thermodynamische Bedeutung



- Um den **R1-Faktor** zu erhöhen müssen die Ergebnisse im Zähler erhöht und die im Nenner vermindert werden. Eine Berechnung der Formel für eine fiktive Abfallverbrennungsanlage macht deutlich wie der R1-Faktor zu Stande kommt.
- **Fiktive Abfallverbrennungsanlage**
 - Feuerungswärmeleistung: 100/ 60/ 40 MW
 - unterer Heizwert: 10,5 MJ/kg
 - zusätzliche Energie zur Dampferzeugung: 1,5 %
 - Verfügbarkeit: 7.900 h/a
 - importierte Energiemenge: 0,5 % der Abfallenergiemenge
- Für die nachfolgende Grafik wurden die oberen Werte genutzt. Dabei sind die elektrische- und die ausgekoppelte Prozesswärme die Variablen.

3. R1-Faktor und dessen thermodynamische Bedeutung

Äquienergieeffizienzfläche für einen R1-Wert von 0,65





4. Technische Möglichkeiten zur Erhöhung des R1-Faktors



- Technische Möglichkeiten die Effizienz einer Abfallverbrennungsanlage zu erhöhen.
- Gliederung nach:
 - Feuerung und Kessel/ Dampferzeuger
 - Wasser-Dampfsystem
 - Abgasreinigung
 - Energienutzung
 - Allgemeine Maßnahmen/ Nebenaggregate



4. Technische Möglichkeiten zur Erhöhung des R1-Faktors



4.1 Feuerung und Kessel/Dampferzeugung



4. Technische Möglichkeiten zur Erhöhung des R1-Faktors



- **Absenken der Abgastemperatur hinter dem Kessel**
 - Auslegung häufig bei 200 °C – 220 °C
 - wenn möglich auf 190 °C – 180 °C absenken
 - Erhöhung des Kesselwirkungsgrades um bis zu 2,5 %
 - Umbau bei den Eco-Paketen
 - Erhöhung der Dampfproduktion
- **Erhöhung der Frischdampfparameter**
 - abhängig von Korrosivität der Rauchgase (Chlorgehalt)
 - Frischdampftemperaturen liegen häufig bei 380 °C
 - anheben der Frischdampftemperaturen auf 400 °C
 - Umbau bei den Überhitzern, ggf. Korrosionsschutz modifizieren
 - evtl. Steigung der Wartungs- und Instandhaltungskosten



4. Technische Möglichkeiten zur Erhöhung des R1-Faktors



- **Rostwärme in das System zurückführen**
 - bei Wasserrostkühlung sollte die Wärme in den Hauptkondensatmassenstrom mittels Wärmetauscher eingekoppelt werden
 - Vermeidung der Wärmeabgabe an die Umgebung mittels Tischkühler, etc.
- **Umrüstung Verbrennungsluftgebläse**
 - häufig werden Drall-geregelte Verbrennungsluftgebläse eingesetzt
 - Umrüstung mit Frequenzumrichter
 - Teillastbetrieb wird verbessert
- **Optimierung der Kesselreinigung**
 - Erhöhung der Verfügbarkeit durch effektive Abreinigung der Wärmetauscherflächen
 - ggf. Einsatz einer Sprengreinigung
 - eine bessere Abreinigung bedeutet einen geringeren Rauchgas seitigen Druckverlust.



4. Technische Möglichkeiten zur Erhöhung des R1-Faktors



- **Feuerleistungsregelung**

- Altanlagen haben FL-Regelung die in der Regel veraltet sind und träge reagieren
- häufiger Einsatz von Stützfeuerung, Öl- Erdgasverbrauch steigt
- Erneuerung der Mess- und Diagnosesystems sowie die Anpassung der Softwaresysteme
- Kombination mit Erneuerung der Stützbrenner kann die Betriebskosten erheblich senke



4. Technische Möglichkeiten zur Erhöhung des R1-Faktors



4.2 Wasser-Dampfsystem



4. Technische Möglichkeiten zur Erhöhung des R1-Faktors



- **Kondensation der Brüden**
 - Wärme der Brüden aus dem Entgaser wird häufig nicht genutzt
 - je nach Anlagengröße bis zu 250 kW_{th} Kondensationswärme die in den Kondensatmassenstrom zurückgeführt werden können.

- **Leck- und Sperrdampfcondensator**
 - häufig keine Nutzung für Leck- und Sperrdampf der Turbine
 - ggf. Möglichkeit die Kondensationsenergie zu Nutzen und in den Hauptkondensatmassenstrom einkoppeln



4. Technische Möglichkeiten zur Erhöhung des R1-Faktors



- **Umrüstung der Speisewasserpumpen**
 - Einsatz von Frequenzumrichter geregelten Speisewasserpumpen

- **Deionatvorwärmung**
 - Deionatmassenstrom 1 – 2 % des Dampfmassenstroms
 - Aufwärmen mittels der Wärme die sonst in das Nebenkühlsystem eingekoppelt wird



4. Technische Möglichkeiten zur Erhöhung des R1-Faktors



4.3 Abgasreinigung



4. Technische Möglichkeiten zur Erhöhung des R1-Faktors



- **Umrüstung der Abgasreinigung**
 - bei Entstickung mittels SCR und Kalk-basierter Abscheidung der sauren Bestandteile im Rauchgas, besteht ggf. die Möglichkeit Natriumhydrogencarbonat (Bicar) als Absorbens zu nutzen.
 - Senkung der Abgastemperatur hinter dem Kessel
 - bei einer Umrüstung auf einen Niedertemperatur SCR kann die übrige Wärmeenergie in den Rauchgasstrom eingekoppelt werden.
- **Umrüstung der Saugzuggebläse**
 - Einsatz eines Frequenzumrichter geregelten Saugzuges



4. Technische Möglichkeiten zur Erhöhung des R1-Faktors

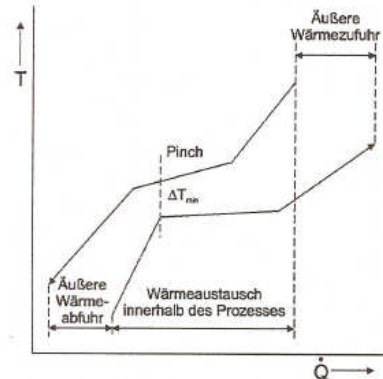


umwelttechnik &
ingenieure GmbH

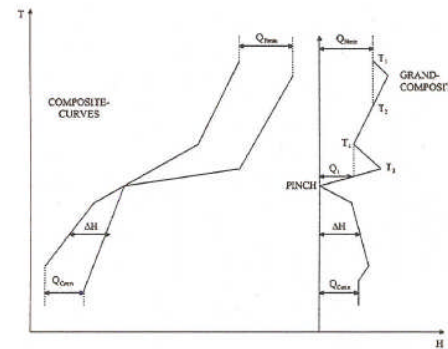
4.4 Energienutzung

4. Technische Möglichkeiten zur Erhöhung des R1-Faktors

- Standort abhängige Nutzung der Wärme und des Stroms
- neu angesiedelte Industrie oder neue Fernwärmenetze bieten Möglichkeiten die Gesamtenergieausnutzung zu steigern
- Eigenstrombedarf und interne Wärmenutzung kann bei fast allem Altanlagen optimiert werden
- Optimierung der Wärmenutzung mittels Pinch-Point-Analyse und Grand-Composite-Curves



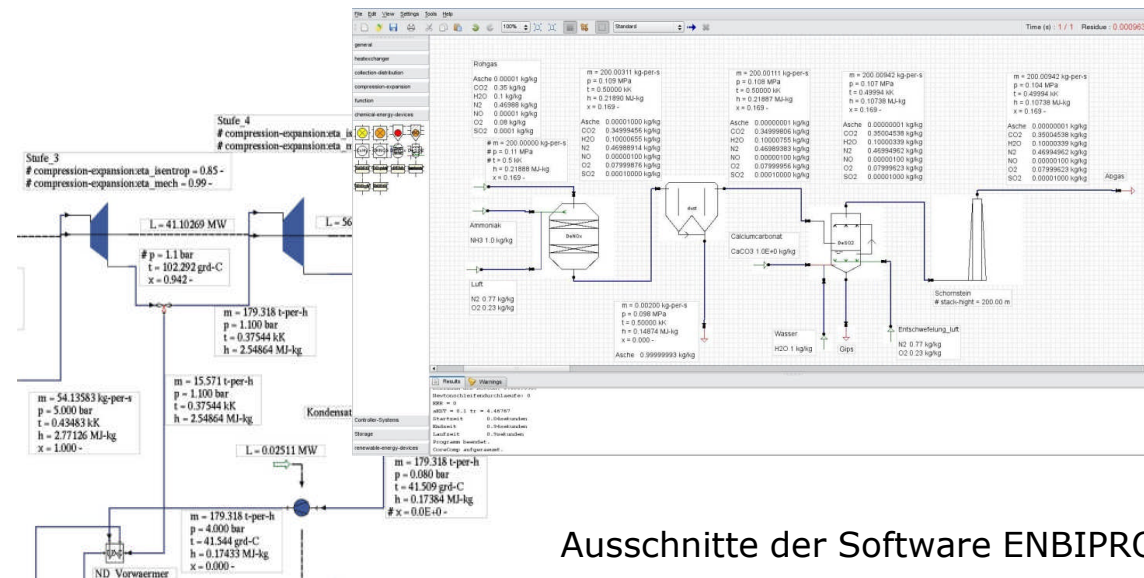
Composite Curve



Grand Composite Curve

4. Technische Möglichkeiten zur Erhöhung des R1-Faktors

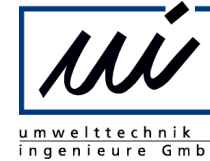
- Für die Bewertung Analyse, Dimensionierung, Berechnung und Auslegung verschiedener Komponenten die an der Energieerzeugung und -nutzung beteiligt sind, sollte auf Software-Werkzeuge zurückgegriffen werden z.B. ENBIPRO



Ausschnitte der Software ENBIPRO



4. Technische Möglichkeiten zur Erhöhung des R1-Faktors



4.5 Weitere allgemeine Maßnahmen/ Nebenaggregate



4. Technische Möglichkeiten zur Erhöhung des R1-Faktors



- **Druckluftsystem**
 - Druckluftsystem weisen oftmals viele Leck- und Verluststellen auf.
 - hoher Stromverbrauch der Druckluftkompressoren
 - Analyse des Systems und Beseitigung von Leckstellen können den Eigenstrom erheblich senken
- **Nebenkühlsystem**
 - Rückkühlung der Wärme aus verschiedenen Systemen innerhalb der Anlage (50 °C)
 - evtl. gibt es Möglichkeiten die Wärme in kalte Prozessströme einzukoppeln. (z.B. kalte Rückläufe, Erwärmung von Brunnenwasserzuläufen etc.)
- **Frequenzumrichter**
 - wie bereits bei den großen Leistungsaufnehmern erläutert, können auch bei kleineren Gebläsen und Pumpen FU eingesetzt werden.
 - dadurch können im Teillastbetrieb Betriebskosten eingespart werden.



5. Schlusswort



5. Schlusswort



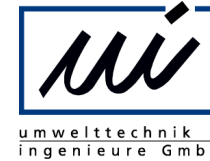
5. Schlusswort



- R1-Faktor korreliert mit vorhanden thermodynamischen Berechnungsgrößen
- Die Erhöhung des R1-Faktors und damit die Erhöhung der Energieeffizienz von Abfallverbrennungsanlagen wurde anhand einiger Maßnahmen gezeigt.
- Für einen Anlagenbetreiber bietet es sich an, untersuchen zu lassen, welche Optimierungsmaßnahmen ggf. umsetzbar sind.
- Erarbeitung eines Sanierungskonzeptes, welches bei Realisierung zu einer Erhöhung der Anlagenverfügbarkeit mit gleichzeitiger Verringerung der spezifischen Betriebskosten und Steigerung der Einnahmen für Strom und Wärme führen kann.
- Die Erfüllung oder die Überfüllung des R1-Faktors hat auch im Hinblick auf die Wirksamkeit gegenüber der Öffentlichkeit positive Auswirkungen.



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



umwelttechnik &
ingenieure GmbH

Ideen voller Energie !



Idee



Konzept



Planung



Bau

umwelttechnik & ingenieure GmbH
Wöhlerstraße 42, 30163 Hannover
Tel.: 0511/9698500
www.uigmbh.de



Literaturverzeichnis



umwelttechnik &
ingenieure GmbH

Innerhalb des Vortrages sind folgende Literaturquellen genutzt worden.

[Abfallrahmenrichtlinie] RL 2008/98/EG über Abfälle und zur Aufhebung bestimmter Richtlinien

[Baehr] Baehr, H. D., Kabelac, S.: Thermodynamik, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2009.

[ENBIPRO] Leithner, R., Schlitzberger, C. Hauschke, A., Nielsen, L., Zindler, H. Witkowski, A., Depta, D., Institut für Wärme- und Brennstofftechnik, Energiebilanzprogramm zur Berechnung von sämtlichen Kraftwerkskreisläufen

[Leithner] Leithner, R., IWBT, 2005, *Vorlesungsskript für Umweltschutztechnik*

[Linnhoff] Linnhoff, B., The institution of Chemical Engineers, Rugby 1982, *Process integration for the efficient use of energy*