

Synergieeffekte durch thermische und biologische Abfallbehandlung an integrierten Standorten

Athmann Uwe, Bauer Werner P., Kroner Thomas, Meier Gerhard, Quicker Peter

Zusammenfassung

Bioabfallbehandlungsanlagen sind bisher wenig beachtete Quellen der kritischen Treibhausgase Methan und Lachgas. Die europäische Abfallrahmenrichtlinie sowie der aktuelle Arbeitsentwurf des Kreislaufwirtschaftsgesetzes lassen erwarten, dass sich diese Problematik mit zunehmenden Kapazitäten weiter verschärft, da Bioabfälle verstärkt getrennt gesammelt werden sollen.

Vor diesem Hintergrund hat die Arbeitsgemeinschaft der Betreiber thermischer Abfallbehandlungsanlagen in Bayern e.V. (ATAB) im Herbst 2009 das Konsortium ia GmbH, München und Qonversion, Bamberg mit der vorliegenden Studie „Optimierung der Ökoeffizienz von Vergärungsanlagen durch Integration in die thermische Abfallverwertung“ beauftragt. Das Projekt wurde vom Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit finanziert.

Ziel des Projektes war es, die Integration von Bioabfallvergärungsanlagen (BGA) in den Betrieb und die Infrastruktur bestehender Abfallheizkraftwerke hinsichtlich der Ökoeffizienz zu prüfen.

Im Fokus der durchgeführten Untersuchungen standen die Minimierung der klimaschädlichen Treibhausgase Methan und Lachgas aus Bioabfallvergärungsanlagen, die Effizienzsteigerung der Bioabfallvergärung sowie die Optimierung des BGA-Betriebs hinsichtlich einer optimalen Kraft-Wärme-Kopplung durch gemeinsame Nutzung der Infrastruktur und der technischen Einrichtungen eines Abfallheizkraftwerks (AHKW).

Modellhaft wurden drei Standorte von unterschiedlich großen Abfallheizkraftwerken in Bayern mit einer auf die jeweiligen lokalen Besonderheiten abgestimmten Vergärungsanlage überplant. Nach der detaillierten Untersuchung dieser drei Anlagen lässt sich eine Verbesserung der Ökoeffizienz eindeutig belegen:

- Die Treibhausgasemissionen einer in ein AHKW integrierten Vergärungsanlage können signifikant reduziert werden. Im Vergleich mit einer allein stehenden Anlage („grüne Wiese“) kann eine Reduktion zwischen 53% und 69% erreicht werden.
- Das Zusammenspiel von Kosten und Erlösen zeigt beim integrierten Betrieb Einsparungen gegenüber einer Referenzanlage auf der „Grünen Wiese“ von im Mittel über 25%.

Es hat sich für alle drei betrachteten Beispiele herausgestellt, dass der integrierte Betrieb einer Vergärungsanlage in einem AHKW generell Vorteile bringt. Sofern eine neue Vergärungsanlage errichtet werden soll und dabei die Nutzung eines bestehenden AHKW Standortes möglich ist, wird diese Realisierungsvariante auch aus Gründen der Akzeptanz bei der Bevölkerung mit Nachdruck empfohlen.

1 Einführung und Aufgabenstellung

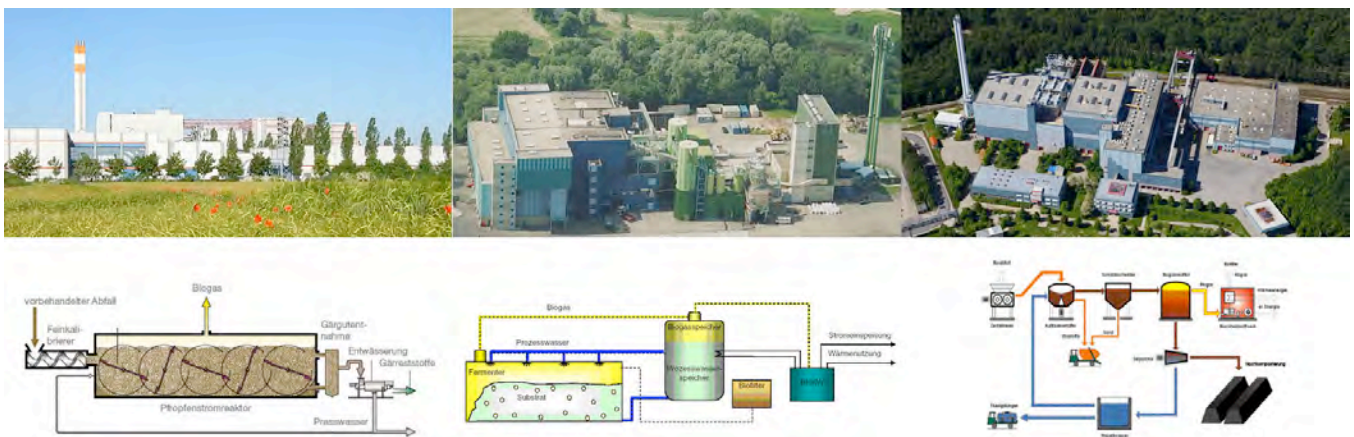
Seit den ersten Ideen einer getrennten Sammlung von Abfallfraktionen im Jahr 1983 standen die Protagonisten der herkömmlichen Abfallbehandlung denen, die stofflich verwerten wollten, konkurrierend gegenüber.

Mittlerweile gibt es viele Gründe diese konträren Positionen aufzuheben und Synergien zwischen Anlagenkonzepten der thermischen und der stofflichen Verwertung anzudenken. Den letzten Anstoß hierfür gibt sicher die rechtliche Entwicklung in der Europäischen Union im Einklang mit den nationalen Zielen einer stärker am Klima- und Ressourcenschutz ausgerichteten Abfallwirtschaft.

Die Aufgabestellung erforderte einerseits eine anlagentechnische Evaluierung der beteiligten Abfallverbrennungsanlagen, um der Studie eine fundierte praxisrelevante Basis zu geben, und andererseits eine Untersuchung und Bewertung der im europäischen Anlagenmarkt konkurrierenden Vergärungstechnologien im Rahmen eines detaillierten Vergleichs. Die Evaluierung der beteiligten AHKW erfolgte in enger Absprache und Diskussion mit den Betreibern der Anlagen, um die Besonderheiten des jeweiligen Standortes zu erfassen und für diesen, im Dialog mit den Fachleuten vor Ort, gemeinsam fundierte Ansätze hinsichtlich möglicher Standortsynergien zu entwickeln.

Auf Basis der dabei gewonnen Erkenntnisse und unter Berücksichtigung der mittels Fragebögen erfassten grundlegenden Rahmenbedingungen der einzelnen AHKW erfolgte die Auswahl der jeweils optimalen Vergärungstechnologie für die im Modellvorhaben mitwirkenden Abfallverbrennungsanlagen. Im Hinblick auf eine möglichst optimale Ökoeffizienz durch Nutzung vorhandener Bausubstanz wurden für die Untersuchung folgende Anlagenkombinationen gewählt:

- GfA Geiselbullach: diskontinuierliche Trockenfermentation
- ZAS Burgkirchen: Nassfermentation
- AVA Augsburg: kontinuierliche Trockenfermentation



Abbildungen 1-6 im Uhrzeigersinn: AVA Augsburg, GfA Geiselbullach, ZAS Burgkirchen, BTA international GmbH, Lock Biogassysteme GmbH, Strabag Umwelanlagen GmbH

Bei der planerischen Integration der Vergärungsanlagen waren vor allem die folgenden Punkte ausschlaggebend:

- Behandlung der Abluftströme aus der BGA in der Feuerung der AHKW
- Räumliche Situation zur Bewältigung der anstehenden bzw. potenziell verfügbaren Bioabfälle
- Einsatzmöglichkeiten von flüssigem Gärrest bzw. Überschusswasser
- Energienutzung und -verfügbarkeit

2 Bilanzierung der Anlagen

Die wichtigsten Daten der betreffenden AHKW, die während der Ortstermine erhoben wurden, sind in Tabelle 1 in Kurzform dargestellt.

	GfA Geiselbullach	ZAS Burgkirchen	AVA Augsburg
Abfalleinsatz [Mg/a]	100.745	228.000	~200.000
Anzahl der Ofenlinien	2 (+1)	2	3
Energieabgabe an Dritte			
- Strom [MWh/a]	48.143	75.000	78.085
- Wärme [MWh/a]	13.511	-	38.008
- Prozessdampf [MWh/a]	-	73.000	-
Art der Abgasreinigung (AGR)	Trockene AGR mit Bikarbonat und Gewebefilter, SCR mit Erdgasbrennern	Elektrofilter, 3-stufige Wäsche, SCR mit Dampfbeheizung, Gewebefilter mit Aktivkoks	Elektrofilter, 2-stufige Wäsche, SCR mit Dampfbeheizung, Gewebefilter mit Aktivkohle
Im AHKW zusätzlich einsetzbare Menge an Flüssigkeit [m ³ /a]	~4.500	~15.000	7.000 - 15.000

Tabelle 1: Kurzübersicht AHKW

Gemeinsam mit den Anlagenbetreibern wurde das vorhandene Bioabfallpotenzial in den Einzugsgebieten der jeweiligen Anlagen abgeschätzt. Nachfolgende Tabelle 2 zeigt die wesentlichen Kenngrößen auf deren Grundlage die Verfahrenszuordnung erfolgte.

Standort		Geiselbullach	Burgkirchen	Augsburg
Gewähltes Verfahren	-	Trockenfermentation Boxen	Nassfermentation Einstufig	Trockenfermentation Propfenstrom
Durchsatz Bioabfall	Mg/a	15.000	25.000	45.000
Flächenverfügbarkeit auf Betriebsgelände	-	ja	ja	ja
Flüssiger Gärrest / Überschusswasser aus BGA	m ³ /a	800	9.500	13.800

Fester Gärrest aus BGA	Mg/a	12.300	10.300	18.300
Erzeugbare Menge (Roh-) Biogas	m ³ _N /a	1.337.000	2.550.000	4.208.000
Biogasnutzung	-	BHKW, Fernwärme	Aufbereitung zur Einspeisung ins Erdgasnetz	BHKW, Fernwärme

Tabelle 2: Übersicht der wesentlichen Kenngrößen der ausgewählten Vergärungstechnologien

Bei der Erhebung der Anlagendaten der am Projekt beteiligten AHKW, waren die einsetzbaren Mengen an Flüssigkeit, der Einsatz bzw. die Verfügbarkeit von Wärmeenergie sowie die integrierbaren Abluftmengen die wichtigsten Parameter.

Um die Synergieeffekte des integrierten Betriebs der BGA an einem AHKW-Standort aufzeigen zu können, wurde für jede zu integrierende Vergärungsanlage ein Anlagenlayout für die „grüne Wiese“ entwickelt und eine Emissions- und Wirtschaftlichkeitsbetrachtung unter vergleichbaren Rahmenbedingungen durchgeführt. Als Grundlage für die Emissionsberechnungen innerhalb dieser Studie wurden die Emissionsfaktoren aus [Cuhls; 2009 und Cuhls, 2010] verwendet.

3 Integration der Vergärungsanlagen an den AHKW-Standorten

3.1 Umsetzung der BGA an den jeweiligen Standorten

Um die Synergieeffekte durch den integrierten Betrieb im Detail darstellen zu können, wurde die planerische Umsetzung der Integration des jeweiligen Vergärungsverfahrens an den Standorten der Abfallheizkraftwerke Geiselbullach, Burgkirchen und Augsburg durchgeführt. Zusätzlich zum integrierten Anlagenlayout wurden die Trassenverläufe für die Anbindung von Abluft, Wärme, flüssigem Gärrest und Biogas an das jeweilige AHKW überplant.

Aus dem Anlagenlayout ergeben sich darüber hinaus die Abluftmengen, die im AHKW bzw. im Biofilter behandelt werden.

3.1.1 GfA Geiselbullach

Nach Verlegung der Bahnstromleitung kann das Boxenverfahren mit einer Kapazität von 15.000 Mg pro Jahr im Bereich des derzeitigen Ballenlagers auf dem Gelände des AHKW Geiselbullach integriert werden. Das Anlagenlayout weist folgende wesentliche Teilbereiche des Verfahrens auf: die Annahme- und Aufbereitung mit den gekapselten Bioabfall- und Grüngutlagern, den Anmischbereich, die Fermentertunnel sowie die Rottetunnel für die Hygienisierung des Gärrests. Die Konfektionierung des Frischkomposts nach der Hygienisierung erfolgt nicht am Standort, sondern durch Dritte.

Neben der Halle sind der Biofilter und die Schwachgas- bzw. Notfackel situiert. Das BHKW zur Biogasverwertung befindet sich etwa 80 m entfernt neben der Fernwärmezentrale. Die Einbindung der Abluft in die Feuerung des AHKW erfolgt über das Einbringen der Abluft in die Primärluftabsaugung im Bunker. Die Nutzwärme wird über die Fernwärmezentrale direkt in das Fernwärmenetz eingespeist. Der flüssige Gärrest wird über eine Druckleitung der benachbarten Kläranlage zugeführt.

Im Boxenverfahren ist die Abluft aus den Fermentern besonders zu beachten. So kann die Fermenterabluft bei den Ab- und Anfahrvorgängen nicht vollständig dem Biogassystem des Verfahrens zugegeben werden (unterschiedlich bei den verschiedenen Verfahrensherstellern). Methanbelastete Abluft wird üblicherweise bei einem Methangehalt von 20 bis 1% der Schwachgasfackel zugeführt. Bei der integrierten Anlage kann die Fermenterabluft zwischen 5 und 1% der Verbrennung des AHKW zugeführt werden. Hierdurch können am Standort Geiselbullach ca. 14.000 m³/a Biogas zusätzlich verwertet werden.

3.1.2 ZAS Burgkirchen

Am Standort Burgkirchen erfolgt die Integration einer einstufigen Nassfermentation mit einer Kapazität von 25.000 Mg/a. Die Annahme der gesammelten Bioabfälle über die Sammelfahrzeuge, die Aufbereitung der Bioabfälle sowie die Gärrestentwässerung und Technikräume können in das derzeitige Schlackelager integriert werden. Im Bereich der Außenfläche werden die Fermentationsstufe, Gärrestlager, Biofilter, Gasaufbereitung, Hygienisierung und Notfackel situiert.

Der hygienisierte feste Gärrest kann direkt als Frischkompost in der Landwirtschaft verwertet, zur Substratherstellung verwendet oder zu Fertigkompost veredelt werden. Eine weitere Aufbereitung am Standort ist nicht vorgesehen. Es ist anzumerken, dass durch die Erweiterung der Fermentationsstufe mit einem zweiten Fermenter die Kapazität der Bioabfallvergärungsanlage (bei Zweischichtbetrieb der Aufbereitung) auf bis zu 50.000 Mg pro Jahr ausgeweitet werden kann.

Die Einbindung der Abluft in die Feuerung des AHKW erfolgt über direkte Zugabe der BGA-Abluft in die Sekundärluftabsaugung oberhalb der Nassentschlackung. Der flüssige Gärrest wird in die Feuerung eingedüst. Die Wärmeanbindung der Biogasaufbereitung erfolgt über die Niederdruckdampf-schiene des AHKW (2,5 bar, 130 °C). Das aufbereitete Biogas wird in das Erdgasnetz eingespeist.

3.1.3 AVA Augsburg

Die Annahme der Bioabfälle über die Sammelfahrzeuge sowie deren Aufbereitung wird unverändert in den bestehenden Anlagen der aktuell betriebenen Kompostieranlage fortgeführt. Die Abluft dieser Bereiche wird wie bisher als Zuluft der Rotteplatte 1 zugeführt. Die Integration des Pfropfenstromverfahrens mit einer Kapazität von 45.000 Mg/a wird im Bereich der Rotteplatte 2 des Kompostwerks durchgeführt. Über Förderbänder wird das aufbereitete Material in den Zwischenspeicher transportiert. Die Pfropfenstromfermenter sind räumlich von der Entwässerung und dem gekapselten Gärrest- und Grüngutzwischenlager getrennt. Im Außenbereich wird lediglich die Notfackel neben dem Biofilter installiert.

Nach der Entwässerung wird der feste Gärrest mit gehäckseltem Grüngut vermischt und im Bereich der Rotteplatte 1 mit der bisherigen Anlagentechnik über Intensiv- und Nachrotte zu Fertigkompost aufbereitet. Im Rahmen der Studie wurden weitere Optimierungsansätze der Integration wie alternative Nachrottekonzepte und Zubaugrößen nicht betrachtet.

Die Rohrleitung zur Einbindung des flüssigen Gärrests ist bereits als Bestand aus der äquivalenten Nutzung des Überschusswassers aus der Kompostierung vorhanden und kann weiter genutzt werden. Die Abluft- und Wärmeleitungen werden jeweils überirdisch am Baubestand entlang zum Abfallbunker bzw. zur Wärmezentrale des AHKW verlegt. Die Einbindung der Abluft in die Feuerung des

AHKW erfolgt analog der Vorgehensweise bei der GfA Geiselbullach über Eindüsung der Abluft in die Primärluftabsaugung im Bunker.

3.2 Thermische Behandlung der BGA-Emissionen

Die Ökoeffizienz der Integration einer Vergärungsanlage in die Infrastruktur eines AHKW ist wesentlich mit der Fragestellung verknüpft, ob bzw. in welchem Umfang die Inertisierung der BGA-Emissionen in der Feuerung der Verbrennungsanlage möglich ist. Dort wird neben Gerüchen vor allem das klimarelevante Schadpotenzial der emittierten Gaskomponenten eliminiert, das mit üblichen Biofiltern kaum reduziert werden kann. Die in diesem Zusammenhang wesentlichen Klimagase sind Methan (CH_4 , GWP 25) und Lachgas (N_2O , GWP 298). Diese treten in verschiedenen Bereichen der Anlage auf, z.B. bei der Lagerung, Aufbereitung und insbesondere beim Übergang von der anaeroben Phase zur aeroben Nachbehandlung.

Um eine sichere und möglichst quantitative Behandlung dieser klimarelevanten Emissionen in der Feuerung einer Müllverbrennungsanlage zu ermöglichen, sind verschiedene Fragestellungen zu klären. Diese Punkte werden in nachfolgenden Kapiteln diskutiert und anschließend die hieraus abgeleiteten technischen Umsetzungsvorschläge für die drei beteiligten Anlagen erläutert und begründet.

3.2.1 Substituierbarer Verbrennungsluftmengenstrom

Nach dem Stand der Technik erfolgt die Absaugung der Verbrennungsluft in AHKW aus dem Bunker, um dort einen Unterdruck zu erzeugen, der Geruchsemissionen aus diesem Bereich unterbindet. In der Regel wird hieraus die Primärluft der Abfallverbrennung gespeist. Die Sekundärluft wird meist aus dem Kesselhaus abgezogen. In einigen Anlagen werden über das (bzw. die) Sekundärluftgebläse weitere kritische Anlagenbereiche gezielt abgesaugt, z. B. der Bereich der Nassentschlackung, da hier beispielsweise die Entstehung von Phosphin befürchtet wird [Spiegel, 2002]. Folglich ist es nicht möglich, die vollständige Verbrennungsluft des AHKW durch kontaminierte Abluft aus der Abfallvergärungsanlage zu ersetzen.

Erschwerend kommt hinzu, dass die Verbrennungsanlagen mehrere Wochen (durchschnittlich etwa 8–12) im Jahr aufgrund von Revisionen nicht im Vollastbetrieb arbeiten. Eine oder mehrere Verbrennungslinien werden hierzu heruntergefahren und außer Betrieb genommen. In manchen Anlagen kommt es sogar zum vollständigen Stillstand, d.h. alle Linien werden außer Betrieb genommen. Dies ist allerdings die Ausnahme und erfolgt nur für kurze Zeit, nicht länger als eine Arbeitswoche.

Die genannten Rahmenbedingungen und Restriktionen führen dazu, dass die verfügbaren Verbrennungsluftkapazitäten in der Regel nicht ausreichen, um die Abluft einer Abfallvergärungsanlage vollständig thermisch zu behandeln. Es ist daher nötig, die besonders kontaminierten Abluftströme der Vergärungsanlagen gesondert zu erfassen und nur diese der thermischen Behandlung zuzuführen. Die mit Geruchsstoffen beladene Abluft kann über einen Biofilter behandelt werden, der so auszulegen ist, dass in Stillstandszeiten der gesamte Abluftstrom behandelt werden kann. Die klimarelevanten Komponenten werden hierbei nicht abgebaut. Hierdurch ergeben sich aufgrund der kurzen Revisionszeiten in der Jahresbilanz untergeordnete klimarelevante Frachten. Bei BGA nach Stand der Technik (Referenzanlagen „Grüne Wiese“) erfolgt die gesamte Abluftbehandlung über Biofilter.

Die Ermittlung der maximal durch BGA-Abluft substituierbaren Verbrennungsluftmenge gestaltete sich schwierig, da auf Seiten der Betreiber hierzu keinerlei Erfahrungswerte vorliegen. Für die Auslegung wurde daher die übereinstimmende Aussage der Betreiber zugrunde gelegt, dass auch beim Betrieb von nur einer einzigen Verbrennungslinie die benötigten Luftmengen ausreichen, um die Absaugung der kritischen Bereiche zu gewährleisten. Daher wurde grundsätzlich die Primärluftmenge einer Linie als ausreichende Absaugmenge für den Bunkerbereich angesetzt. Für die Absaugung der Nassentschlacker wurden konkrete Werte in Absprache mit den Betreibern festgelegt.

Die Übertragung der Ergebnisse dieser Studie, die auf der Grundlage der drei untersuchten Anlagen beruht, ist auf weitere Anlagen möglich. Hierzu kann zur Abschätzung der für die Behandlung der BGA-Abluft zur Verfügung stehenden Luftmengen der nachfolgende Ansatz verwendet werden:

$$\dot{V}_{BGA} = (n-1) \cdot \dot{V}_{Primär} + n \cdot \dot{V}_{Sekundär} - \dot{V}_{Entschlacke}, \text{ mit}$$

\dot{V}_{BGA}	= maximal behandelbare Abluftmenge aus BGA	$\dot{V}_{Sekundär}$	= Sekundärluftmenge pro Linie
$\dot{V}_{Primär}$	= Primärluftmenge pro Linie	$\dot{V}_{Entschlacke}$	= Absaugung Entschlackung
n	= Anzahl der in Betrieb befindlichen Verbrennungslinien		

Über diese Kapazitäten hinaus anfallende Abluftströme aus der BGA müssen über einen Biofilter gereinigt werden. Die Absaugung an den emissionsrelevanten Stellen der Biogasanlagen sollte daher möglichst konzentriert erfolgen, um die klimarelevanten Komponenten in großem Umfang der thermischen Behandlung zuzuführen.

3.2.2 Verhalten der Gaskomponenten in der Feuerung

Die Abluft aus Bioabfallvergärungsanlagen enthält verschiedene umwelt- und klimarelevante Schadgase, insbesondere Methan, Kohlenwasserstoffe (VOC), Ammoniak und Lachgas. Im Fall von Methan (CH_4 , GWP 25) dem dominierenden Schadgasbestandteil der abgesaugten BGA-Abluft ist die Verminderung des Treibhausgaspotenzials (GWP) offensichtlich, da es in der Feuerung sicher zu Kohlendioxid (CO_2 , GWP 1) und Wasser oxidiert wird. Neben der signifikanten Verringerung des Treibhausgaspotenzials kann der Feuerung bei sehr hohen Methankonzentrationen evtl. sogar ein geringer Teil an zusätzlicher Energie zugeführt werden. Dies gilt insbesondere dann, wenn bei diskontinuierlichen Boxenvergärungsverfahren auch das Schwachgas in der Feuerung behandelt wird, das zu Beginn der anaeroben Phase oder als Spülgas vor dem Wechsel des Fermenterinhaltens anfällt. Auch höhere Kohlenwasserstoffe (NMVOC) werden in der Feuerung sicher und vollständig zu Kohlendioxid und Wasser umgesetzt.

In der Abluft von Biogasanlagen sind auch Stickstoffkomponenten wie Ammoniak und Lachgas enthalten. Über die Absaugung von Feststoffpartikeln oder Flüssigkeitströpfchen ist darüber hinaus der Eintrag von Harnstoff in die Feuerung denkbar. Es ist bekannt, dass Lachgas beispielsweise in thermischen Oxidationseinrichtungen von MBA-Anlagen ernstzunehmende Probleme bei der Verbrennung bereiten kann. Das Verhalten von Harnstoff und Ammoniak hängt wesentlich von der Konzentration, vom Ort der Zugabe und der dort herrschenden Temperatur ab. Prinzipiell kann Am-

moniak zur Minderung von Stickoxiden beitragen (Reduktion zu Stickstoff beim SNCR-Verfahren¹), als sog. „Schlupf“ die Feuerung passieren oder sogar zu NO_x oxidiert werden.

Im Fall der Abluftbehandlung von Biogasanlagen in Müllfeuerungen wird die BGA-Abluft als Primär- oder Sekundärluft in die Feuerung eingebracht und somit auf höhere Temperaturen erhitzt, als sie in Wirbelschichtfeuerungen oder im SNCR-Bereich von Rostfeuerungen vorliegen. Es ist also davon auszugehen, dass die enthaltenen Lachgasbestandteile zunächst zu NO oxidiert werden und in der anschließenden Entstickungseinrichtung (SNCR oder SCR) zu Stickstoff umgesetzt werden. Auch der vorhandene Ammoniak sollte keine Probleme bereiten, da selbst im günstigen Temperaturbereich hieraus nur sehr geringe Anteile an N₂O gebildet werden. Werden über die BGA-Abluft dagegen erhöhte Konzentrationen an Harnstoff in die Feuerung eingebracht, ist eine Bildung von Lachgas im entsprechenden Temperaturfenster nicht auszuschließen.

Eine definitive Vorhersage zum Verhalten der Stickstoffkomponenten bei der Behandlung der BGA-Abluft in der Feuerung ist aufgrund der Komplexität des Systems und der schwankenden Reaktionsbedingungen auf theoretischem Wege nicht zu treffen. Das Vorherrschen der Stickstoffkomponente Ammoniak in der BGA-Abluft und die üblicherweise sehr hohen Temperaturen bei Zugabe als Primär- oder Sekundärluft lassen die Bildung oder den Schlupf von Lachgas in signifikanten Konzentrationen aber als unwahrscheinlich erscheinen. Gewissheit über diese Fragestellung könnte letztlich aber nur durch eine entsprechende experimentelle Überprüfung, unter wechselnder Ammoniak-, Harnstoff- und Lachgaszugabe im Primär- und Sekundärluftbereich einer Müllfeuerungen, erzielt werden.

3.2.3 Anlagenspezifische Betrachtung

Die erreichbare Reduktion der Treibhausgasemissionen aus den Biogasanlagen durch Behandlung der Abluft in den beteiligten AHKW wurde anlagenspezifisch betrachtet. Die thermisch behandelbaren Abluftmengen wurden quantifiziert und die hierdurch erreichbare Reduktion an klimaschädlichen Gasen berechnet. Die Ergebnisse sind in Kapitel 6 dargestellt. Die Berechnung erfolgte jeweils unter der Annahme, dass die im AHKW behandelte Menge an Methan und Lachgas in der Feuerung vollständig oxidiert wird. Die in Kapitel 5.2.2 diskutierte denkbare Lachgasbildung aus Harnstoff oder Ammoniak wurde dabei nicht berücksichtigt, da ein solcher Effekt, wie erläutert, bei den vorherrschenden Temperaturen als sehr unwahrscheinlich angesehen wird. Selbst wenn dieser Effekt in signifikantem Umfang auftreten sollte, könnten Ammoniak und Harnstoff aus der Absaugluft der Biogasanlagen vor Einbringung in die Feuerung in einem Wäscher abgeschieden werden.

3.3 Optimierte Energienutzung im Verbund

Die Ergebnisse der Untersuchungen zur Steigerung der Energieeffizienz mittels Energieverbund von AHKW und BGA sind im Folgenden dargestellt.

¹ SNCR: Selective Non-Catalytic Reduction; Nicht-katalytisches Verfahren zur Reduktion von Stickoxiden mittels Eindüsung von Ammoniak oder Harnstoff in den Feuerraum einer Verbrennungsanlage

Die beim Betrieb des AHKW anfallende Wärme kann für die Beheizung der Fermenter genutzt werden. Dieser Ansatz kann generell dann gewählt werden, wenn, wie z.B. in Burgkirchen, die Gaseinspeisung beabsichtigt, also kein Blockheizkraftwerk (BHKW) installiert wird. Da am Standort Burgkirchen ein genereller Wärmeüberschuss vorliegt, wird die Stromerzeugung in einem BHKW in Kraft-Wärme-Kopplung als nicht sinnvoll betrachtet. Hierdurch würde nur ein Teil des erzeugten Biogases (ca. 40 Prozent) energetisch genutzt, während der Großteil der Energie in Form von nicht nutzbarer Abwärme anfiel. Für das AHKW Burgkirchen wurde aus diesem Grund die Einspeisung des Biogases in das Erdgasnetz projektiert.

Die Biogasaufbereitung auf Erdgasqualität ist nur für größere Anlagenkapazitäten lohnend. Im direkten Vergleich der Aufbereitungsverfahren wird deutlich, dass die Aminwäsche das Verfahren mit dem geringsten Methanschluß, der höchsten Reinheit des Produktgases und mit dem geringsten Strombedarf ist. Da für die Regeneration ein vergleichsweise hoher Wärmebedarf besteht, ist in diesem Fall unproblematisch, da hierfür verfügbare Abwärme aus dem AHKW genutzt werden kann. Aus diesem Grund wurde es im Rahmen dieses Projekts am Standort Burgkirchen ausgewählt und ein Verfahren projektiert, dessen Regenerationsstufe mit einem Temperaturniveau von 120 °C betrieben werden kann. Die Bereitstellung dieser Prozesswärme kann am Standort Burgkirchen über die Niederdruckdampfschiene erfolgen. Die Bereitstellung der thermischen Energie kann in Form einer Kaskadennutzung erfolgen. Die Beheizung der BGA und der Hygienisierung wird demnach ganz bzw. zu wesentlichen Teilen mit der Abwärme der Biogasaufbereitung gedeckt (ca. 74%), um den Bedarf an Niederdruckdampf aus dem AHKW möglichst gering zu halten

In den Fällen, in denen ein BHKW errichtet wird (Geiselbullach und Augsburg), besteht die Möglichkeit, die Abwärme des Verbrennungsmotors in das Wärmenetz des AHKW einzukoppeln. Als erweiterte Möglichkeit der Abwärmenutzung kann die Hochtemperaturwärme aus dem Abgasvolumenstrom des BHKW innerhalb des AHKW beispielsweise zur Speisewasservorwärmung oder zur vermehrten Dampferzeugung genutzt werden. Dieser Dampf könnte dann in die Mittel- oder Niederdruckdampfschiene des AHKW eingespeist werden. Durch dieses Vorgehen könnte die Stromerzeugung des AHKW erhöht werden, da weniger Dampf von der Turbine z.B. für die Vorwärmung des Speisewassers oder die Bereitstellung von Fernwärme ausgekoppelt werden muss.

Die hierdurch dem AHKW zusätzlich zur Verfügung stehenden Energiemenge beträgt im Jahresmittel für die Standorte Geiselbullach und Augsburg jeweils etwa 20 Prozent der an Dritte abgegebenen Wärmeenergie.

3.4 Produkte und Reststoffe

Aus dem in den Bioabfallvergärungsanlagen angelieferten Bioabfall lassen sich qualitativ hochwertige Dünger erzeugen, die insbesondere in der Landwirtschaft, bei Gartenbaubetrieben und Erdenwerken eingesetzt werden können. In Gegenden mit intensiver landwirtschaftlicher Nutzung kann Fertigkompost und Gärrest während der Düngeperiode gut vermarktet werden. Der hygienisierte Gärrest am Standort Burgkirchen kann während der Düngeperiode direkt in der Landwirtschaft verwertet werden.

Die direkte energetische Verwertung der Gärreste, bzw. des holzigen Überkorns aus der Aufbereitung der BGA, stellt bei Volllastung des AHKW derzeit keine wirtschaftliche Alternative dar, da die An-

nahmepreise für Abfälle zur energetischen Verwertung deutlich über den Entsorgungskosten dieser holzigen Fraktion (energetische Verwertung in Biomasseheizkraftwerken) liegen. Nur in Zeiten geringer Auslastung kommt diese Variante in Frage.

Durch die Integration der Bioabfallvergärung in die thermische Abfallbehandlung besteht generell die Möglichkeit, die Abwässer der Vergärung in der Feuerung oder Rauchgasreinigung der AHKW zu nutzen und damit neben der umweltgerechten Entsorgung auch geringere Kosten zu realisieren. Die drei beteiligten AHKW praktizieren diesen Entsorgungsweg bereits seit langem und wirtschaftlich sehr erfolgreich für externe Deponiesickerwässer und Industrieabwässer. Aufgrund der im Überschusswasser enthaltenen Schwebstoffe hat sich die Eindüsung von flüssigem Gärrest in die Rauchgaszüge bei den untersuchten AHKW als nicht praktikabel erwiesen.

3.5 Infrastruktur

Nach Angabe der Anlagenbetreiber kann die für die Logistik bestehende Infrastruktur (Waage, Reinigungsanlagen, Anfahrtswege, Betriebsflächen etc.) der AHKW problemlos auch für die anzuliefernden Bioabfallmengen genutzt werden, wodurch eine Minimierung der Flächenversiegelung und Investitionskosten eines Neubaus erzielt werden kann.

Ebenfalls können die Bioabfallvergärungsanlagen in die vorhandene Gas-, Wasser- und Stromversorgung der AHKW-Standorte eingebunden werden. Da das Biogas aus Vergärungsanlagen im Schwarzfall (kompletter Ausfall des Stromnetzes) normalerweise direkt in die Atmosphäre abgegeben wird, können über die gemeinsame Nutzung der an den AHKW-Standorten vorhandenen Notstromversorgung Emissionen von klimarelevantem Biogas bei Stromausfall verhindert werden.

Bei der Betrachtung von Synergieeffekten im Bereich der Infrastruktur spielt auch das Betriebs- und Wartungspersonal eine wichtige Rolle. An einem gemeinsamen Standort können übergeordnete Betriebs- und Verwaltungsaufgaben sowie Urlaubs- und Krankheitsansätze über das bereits vorhandene Personal optimiert werden. Ebenso können Elektro- und Schlosserarbeiten in den Gesamtbetrieb integriert werden.

4 Synergieeffekte und Optimierung der Ökoeffizienz

4.1 Ökologie

Bei der Integration von BGA an den drei untersuchten Standorten können zwischen 53% und 69% der Treibhausgasemissionen in CO₂-Äquivalenten vermieden werden. Hierbei ist zu beachten, dass in den Verfahrensbereichen „Anlieferung und Aufbereitung“, „Abpressen Gärrückstand, Gärrückstand, Bereitstellung fester Gärrest“ und „Lagerung Gärprodukt flüssig“ die Treibhausgasemissionen (umgerechnet in CO₂-Äquivalente) mit einer Reduzierung zwischen 89% und 98% fast vollständig vermieden werden können.

Da aufgrund der standortspezifischen Rahmenbedingungen die Aufbereitung des festen Gärrests an den einzelnen Standorten nur in unterschiedlichem Maße möglich ist, liegt die Emissionsminderung im Verfahrensbereich „Nachrotte, Hygienisierung und Stabilisierung Gärrest“ zwischen 0% und 37%.

In nachfolgender Abbildung sind die gesamten Treibhausgasemissionen der Referenzanlagen auf der „Grünen Wiese“ denen des integrierten Anlagenkonzeptes als CO₂-Äquivalente gegenübergestellt.

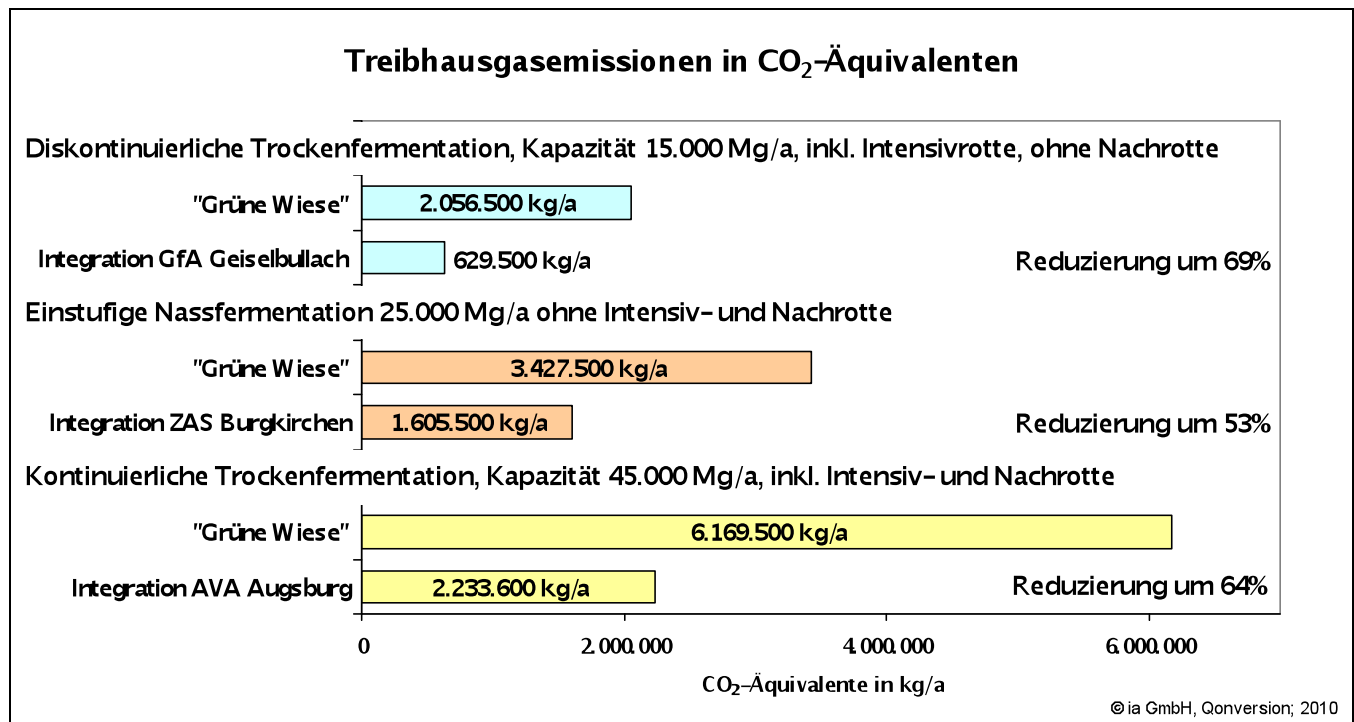


Abbildung 7: Treibhausgasemissionen in CO₂-Äquivalenten

4.2 Ökonomie

Auf Grundlage der in der Studie ermittelten Kosten und Erlöse lassen sich an den Standorten Geiselbullach und Burgkirchen Einsparungen im integrierten Betrieb im Vergleich zur Referenzanlage auf der „Grünen Wiese“ zwischen 19% und 43% erzielen. Am Standort der AVA Augsburg ist aufgrund der Vertraulichkeit der Betriebskosten des Kompostwerks ein direkter Vergleich der beiden Anlagen nicht möglich. Ergebnis der Studie ist hier, dass durch die Integration einer BGA in das bestehende Kompostwerk Augsburg Mehrkosten in Höhe von 11,5 EUR/Mg entstehen.

In nachfolgender Abbildung sind die Behandlungskosten der Referenzanlagen auf der „Grünen Wiese“ sowie der integrierten Anlagen dargestellt.

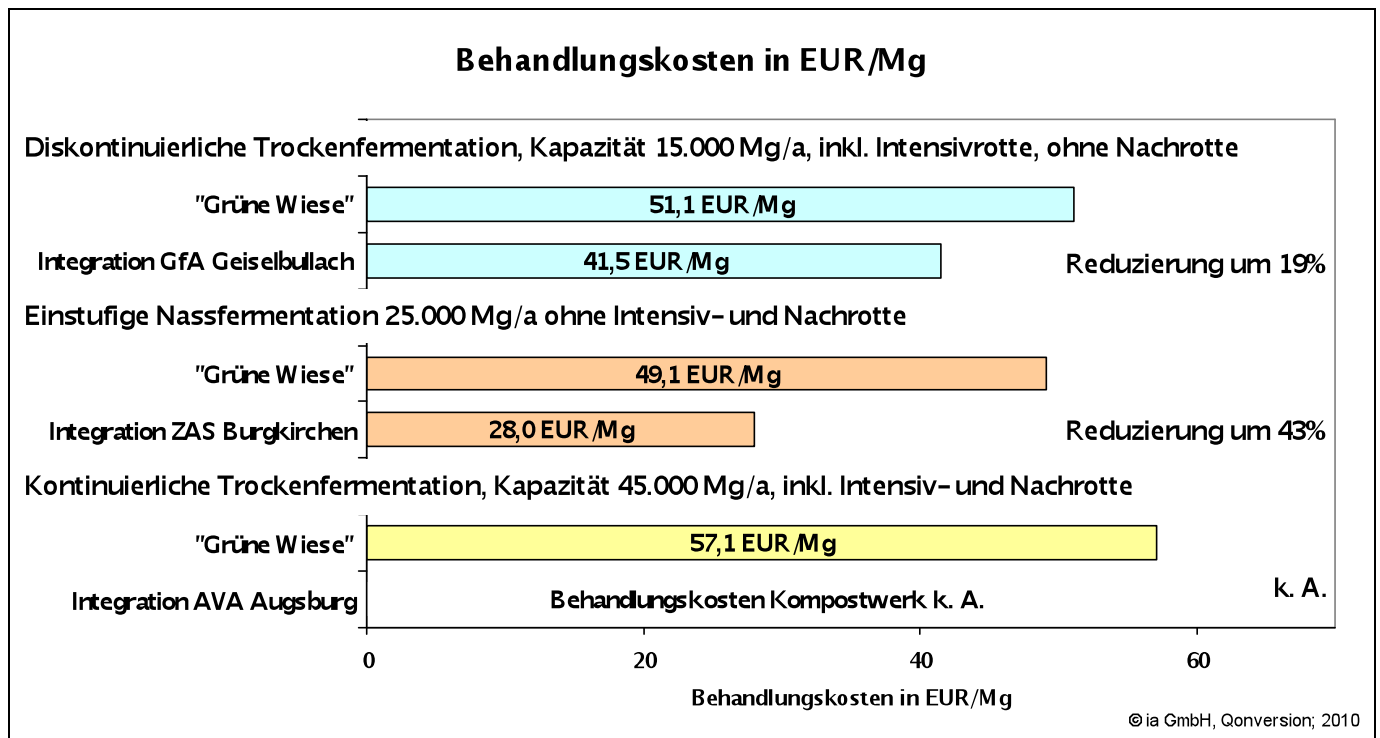


Abbildung 8: Behandlungskosten in EUR/Mg

4.3 Akzeptanz

Die Ergebnisse der vorherigen Kapitel zu den ökologischen und ökonomischen Vorteilen von Vergärungsanlagen am Standort von Abfallheizkraftwerken sollten eigentlich für sich sprechen und keine weiteren Fragen nach der Akzeptanz für diese Maßnahme aufkommen lassen.

Allerdings können die Ängste der betroffenen Bürger nicht mit Sachargumenten beseitigt werden, da sie häufig irrationalen Ursprungs sind und nur mit langwierigen vertrauensbildenden Maßnahmen aufgelöst werden können. Bürger wollen gehört werden und ihre Probleme hinreichend vorbringen. Das gilt unabhängig davon, ob der Maßnahmenträger überzeugende Argumente hat und die Maßnahme auch grundsätzlich die Werte der Bürger bedient.

Vor diesem Hintergrund ist in dem hier vertretenen Konzept der Errichtung von Vergärungsanlagen an AHKW der vorhandene Standort der Verbrennungsanlage das wohl beste Argument. Mehr noch als Kosten und geringere Emissionen gilt, dass es keine neuen Betroffenen gibt. Genehmigungsrechtlich ist das AHKW übergeordnet. In allen hier untersuchten Fällen kann die Fermentation innerhalb des bestehenden Zauns und zum Teil auch in bestehenden Gebäuden errichtet werden. Es müssen keine Grundstücke angekauft werden und keine neuen Erschließungswege trassiert und durchgesetzt werden.

Die Errichtung einer Vergärungsanlage für organische Abfälle am Standort einer Verbrennungsanlage kann sogar positiv auf die Akzeptanz der bestehenden Anlage wirken, da die oft bemühte Polarisierung zwischen Verbrennung und stofflicher Verwertung aufgelöst wird. In diesem Sinne kann die Vergärungsanlage ein wichtiger Schritt sein, den gesamten Standort der AHKW zu einem ressourcenorientierten Versorgungszentrum mit besserer Akzeptanz bei der Bevölkerung aufzuwerten.

5 Literatur

- Anmerkung: Dieser Beitrag ist inhaltsgleich mit Athmann U., Bauer W., Kroner T., Meier G., Quicker P. Das Abfallheizkraftwerk erweist sich als ein optimaler Standort für die Errichtung einer Vergärungsanlage, In: ReSource 23 (2010), Nr. 4, S.15-20
- Åmand, 1991 L.-E. Åmand, B. Leckner, S. Anderson: Formation of N₂O in circulating fluidized bed boilers; Energy Fuels 5 (1991) S.815-823
- Bagin, 2009 Wolfgang Bagin; Klimaschutz durch Vergärung - Betriebserfahrungen; 11. Münsteraner Abfallwirtschaftstage; Februar 2009
- BMU, 2010 Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU); Offizieller Arbeitsentwurf zum Kreislaufwirtschaftsgesetz; März 2010
- Clemens, 2004 Dr. J. Clemens, „Reduktion von klimawirksamen Spurengasen in der Abluft von Biofiltern auf Bioabfallbehandlungsanlagen“; DBU, Osnabrück; Februar 2004
- Cuhls, 2008-1 Carsten Cuhls, Birte Mähl, Sven Berkau, Joachim Clemens; „Ermittlung der Emissionssituation bei der Verwertung von Bioabfällen“; UFO-Plan FKZ 206 33 326; UBA, Dessau-Roßlau; Dezember 2008
- Cuhls, 2008-2 Carsten Cuhls, Birte Mähl, Joachim Clemens; „Emissionen aus der Kompostierung und Vergärung von Bioabfällen im Vergleich“; 2. Biomasse-Forum 2008; Witzenhausen
- Cuhls, 2009 Carsten Cuhls, Birte Mähl, Joachim Clemens; „Emissionen aus der Vergärung von Bioabfällen - Neue Ergebnisse und Messdaten“; 3. Biomasse-Forum 2009; Witzenhausen
- Cuhls, 2010 Carsten Cuhls, Birte Mähl, Joachim Clemens; „Emissionen aus der Vergärung von Bioabfällen“; VKS im VKU - Landesgruppe Baden-Württemberg; Landesgruppen und Fachtagung, Mannheim, Juli 2010
- Danner, 2004 W. Danner/P. Danner; Rottaler Modell, dezentrale Biomüllverwertung; GdBII; Ausgabe 1; 2004
- EEG 2009 Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz - EEG); Ausfertigungsdatum: 25.10.2008
- GEMIS 4.2 Öko-Institut, Freiburg; Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS 4.2), Stand 16.05.2007
- Glarborg, 2002 P. Glarborg, A.D. Jensen, J.E. Johnsson: Fuel nitrogen conversion in solid fuel fired systems; Progress in Energy and Combustion Science 29 (2003) S. 89-113
- Hämäläinen, 1995 J.P. Hämäläinen, M.J. Aho: Effect of fuel composition on the conversion of volatiles solid fuel-N to N₂O and NO; Fuel; Vol. 74 (1995) No 12 S. 1922-1924
- IPPC, 2007 Intergovernmental Panel on Climate Change; Fourth Assessment Report (AR4); 2007
- Johnsson, 1994 J.E. Johnsson: Formation and reduction of nitrogen oxides in fluidized-bed combustion; Fuel 73 (1994) S.1398-1415
- Kilpinen, 1991 P. Kilpinen, M. Hupa: Homogeneous N₂O chemistry at fluidized bed conditions: a kinetic modeling study; Combust. Flame 85 (1991) S.94-104
- Kirschenhofer, 2006 Mathäus Kirschenhofer, Thomas Kroner, Ulrich Niefnecker; Durchsatzsteigerung der Vergärungsanlage Kirchstockach durch Umbau und Erweiterung der Anlagenbereiche Aufbereitung und Prozesswasserreinigung; Müll und Abfall; April 2006
- Koebel, 1992 M. Koebel, M. Elsener: Entstickung von Abgasen nach dem SNCR-Verfahren; Chem.-Ing.-Tech. 64 (1992) Nr. 10 S.934-937
- Kramlich, 1994 J.C. Kramlich, W.P. Linak: Nitrous oxide behaviour in the atmosphere, and in combustion and industrial systems; Progress in Energy and Combustion Science 20 (1994) S.149-202
- LfU, 2007 Bayerisches Landesamt für Umwelt; Infozentrum UmweltWirtschaft; http://www.izu.bayern.de/download/xls/Berechnung_CO2_Emissionen_Stand_070530.xls; 21.04.2007

- LfU, 2009 Bayerisches Landesamt für Umwelt; Informationen aus der Abfallwirtschaft, Hausmüll in Bayern - Bilanzen 2008; Augsburg; August 2008
- Molina, 2000 A. Molina; E.G. Eddings, D.W. Pershing, A.F. Sarofim: Char nitrogen conversion: implications to emissions from coal-fired utility boilers; Prog. Energy Combust. Sci. 26 (2006) S.507-531
- Nordin, 1997 J.S. Nordin, N.W. Merriam: NO_x emission produced with combustion of powder river basin coal in a utility boiler. DE-FC21-93MC30127 Task 9, Western Research Institute Laramie; April 1997; Wyoming
- PURAC, 2010 Technische Spezifikation Biogasaufbereitungsanlage; Fa. Purac Wasser GmbH, Bremen; Mai 2010
- Quicker, 2008 P. Quicker: Maßnahmen zur Stickoxidreduktion an Biomasse- und Abfallfeuerungen; ProcessNet-Tagung Werkstoff- und Energieeffizienz thermischer Prozesse zur Biomasse- und Abfallbehandlung; November 2008; Essen
- Spiegel, 2002 W. Spiegel, R. Jordan, W. Müller, K. Gruber, S. Heuss-Assbichler: Phosphin bei der Verbrennung phosphorhaltiger Abfälle; VDI-Seminar Klärschlamm/Tiermehl/Biogene Abfälle; Februar 2002; Bad Homburg
- Spliethoff, 1993 H. Spliethoff, H. Rüdiger, U. Greul, U., K.R.G. Hein: Kombinierte Minderung der NO_x-Bildung und Reduzierung von gebildeten NO_x bei der Verbrennung von Steinkohle; Forschungsbericht BMFT 0336535 C; Dez. 1993
- Tenbrink, 2009 J. Tenbrink, S. Weßeling, T. Hermann: Biogasaufbereitungsverfahren im Vergleich - Entscheidungshilfen für ein betriebswirtschaftliches Konzept, Energy 2.0-Kompodium 2009, www.energy20.net
- Urban, 2008 W. Urban, K. Girod, H. Lohmann: Technologie und Kosten der Biogasaufbereitung und Einspeisung in das Ergasnetz. Ergebnisse der Markterhebung 2007-2008. Fraunhofer Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik (Fraunhofer UMSICHT)