



Masterarbeit

Emissionsminderungspotentiale einer Bioabfallbehandlungsanlage

Am Beispiel der Trockenvergärungsanlage
mit nachgeschalteter Kompostierung in Augsburg

erstellt für

Thöni Industriebetriebe GmbH

Vorgelegt von:

Michael Gaggl
Matrikelnummer:
0735304

Betreuer/Gutachter:

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.-Ing. Markus Lehner (MU Leoben)
Dipl.-Ing. Dr. Markus Ellersdorfer (MU Leoben)
Dipl.-Ing(FH) Michael Krismer (Thöni Industriebetriebe)

Leoben, am 15.05.2013

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Masterarbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche erkenntlich gemacht habe.

AFFIDAVIT

I declare in lieu of oath, that I wrote this thesis and performed the associated research myself, using only literature cited in this volume.

Kurzfassung

Emissionsminderungspotentiale einer Bioabfallbehandlungsanlage

Am Beispiel der Trockenvergärungsanlage mit nachgeschalteter Kompostierung in Augsburg

Seit den jüngsten Gesetzesänderungen in Deutschland wird nicht nur eine getrennte Sammlung und Behandlung von biogenen Abfällen zwingend, sondern es wird auch eine stoffliche als auch energetische Verwertung gefordert. Obwohl eine Erzeugung von Biogas viele Vorteile mit sich bringt, wird immer öfter auf die entstehenden Emissionen hingewiesen. Damit ist vor allem die organisch belastete Abluft, die bei der Lagerung der flüssigen Gärreste sowie der Kompostierung der festen Gärrückstände ausgeht, gemeint. Neben diesen gasförmigen Emissionen entstehen zusätzlich flüssige Emissionen in Form von Prozess- und Abwässern.

Im Zuge der Arbeit wurden speziell in emissionstechnischer Hinsicht alle relevanten Teile der zukünftigen Anlage in Augsburg untersucht und mit anderen Abfallbehandlungsverfahren biogener Abfälle verglichen. An der betrachteten Anlage in Augsburg werden die hochbelasteten Abluftströme, die aufgrund ihrer großen Mengen an Ammoniak durch die Reinigung im Biofilter zu Lachgasemissionen führen würden, als Primärluft für den Verbrennungsprozess im Abfallheizkraftwerk genutzt. Die Abwässer, welche bei anderen Anlagen gereinigt werden müssten, können ebenfalls in den Brennraum eingedüst und somit durch die vor dem Kamin des Kraftwerkes befindliche Abgasreinigung unschädlich gemacht werden.

Dadurch kann sich die zukünftige Anlage durch ihre einzigartige Verfahrensweise klar von den anderen Behandlungsmethoden biogener Abfälle abheben und wird deshalb sicherlich einige ähnliche Projekte hervorrufen.

Abstract

Emissions-reduction-potential of an treatment plant for organic waste

**On the example of a dry fermentation plant
with subsequent composting in Augsburg**

As recent legislative changes in Germany require a separate collection and treatment of organic waste, different methods are discussed in the waste industry. Although the process of fermentation has certainly many benefits on account of its material and energy recycling, there continues to be a rise of attention in its disadvantages, one of them being the thereby produced emissions. Thereby special focus has to be laid onto the organically polluted air that is emitted from the storage of liquid digestate and the composting of solid digestate. In addition to these gaseous emissions, liquid emissions also arise in the form of process- and wastewater.

In this paper particular focus has been laid upon the treatment of the emissions produced by the future plant in Augsburg. It must be mentioned that the innovations of this project are further emphasized by a comparison to other plants in regards to the treatment of organic waste, which was also subject to this paper. At the considered plant in Augsburg the highly contaminated air stream which would result to nitrous oxide emissions through the biofilter due to large amounts of ammonia is used as air for the combustion process in the thermal plant. Furthermore, the wastewater, which in other plants would have to be cleaned, is injected into the combustion chamber, thereby being rendered harmless by the exhaust gas treatment before leaving the plant through the chimney.

It can therefore be assumed that the innovative treatment of organic waste in the Augsburg plant is not only unique but can also clearly be set apart from the ways of treatment in other current plants which also makes it safe to conclude that this project will initiate others to follow.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 EINLEITUNG	3
1.1 Problemstellung.....	3
1.2 Zielsetzung	5
2 RECHTLICHE RAHMENBEDINGUNGEN	6
2.1 Europäische Abfallrahmenrichtlinie.....	7
2.2 Kreislaufwirtschaftsgesetz	8
2.3 Richtlinie 2009/28/EG zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen.....	9
2.4 Erneuerbare-Energien-Gesetz.....	11
2.5 Richtlinie 2010/75/EU über Industrieemissionen	14
2.6 Bundesimmissionsschutzgesetz.....	16
2.7 Sonstige relevante Gesetze.....	19
Umweltverträglichkeitsprüfung.....	19
Verordnung über den Zugang zu Gasversorgungsnetzen.....	20
3 ABFALLVERWERTUNGSANLAGE AUGSBURG	22
3.1 Geschichte, Zahlen, Daten und Fakten der AVA	22
3.1.1 Abfallheizkraftwerk	23
3.1.2 Schlackeaufbereitung.....	23
3.1.3 Restmüllsplitting	24
3.2 Die bestehende Kompostierungsschiene	24
3.2.1 Entladehalle	25
3.2.2 Verfahrenshalle	26
3.2.3 Rottehalle	26
3.2.4 Bisheriges Kompostlager.....	27
3.2.5 Bisheriger Biofilter	27
3.2.6 Abwasserbehandlung.....	27
3.3 Die neue Verwertungsschiene für Bioabfall	28
3.3.1 Grobaufbereitung	28
3.3.2 Zwischenspeicher.....	31
3.3.3 Mischer inkl. Eintragspumpe.....	32
3.3.4 Fermenter.....	34
3.3.5 Entwässerungspresen und Dekanter mit Flüssigkeitstanks	36

3.3.6	Östliche Rottehallenhälfte mit Absetz- und Lagerbecken.....	40
3.3.7	Westliche Rottehallenhälfte mit Intensiv- und Nachrotte.....	42
3.3.7.1	Intensivrotte.....	43
3.3.7.2	Nachrotte.....	51
3.3.7.3	Zu erwartende Abluftzusammensetzung aus Intensiv- und Nachrotte.....	54
3.3.8	Feinaufbereitung	56
3.3.9	Zukünftiges Kompostlager.....	56
3.3.10	Säurewäscher	57
3.3.11	Zukünftiger Biofilter	59
4	DISKUSSION DER INNOVATIVEN ASPEKTE DIESES PROJEKTS	66
4.1	Nicht-emissionstechnische Aspekte	66
4.1.1	Genehmigungstechnischer Aspekt	66
4.1.2	Ökonomischer Aspekt	66
4.1.3	Ökologischer Aspekt	69
4.2	Abwassertechnischer Aspekt.....	69
4.3	Ablufttechnischer Aspekt	69
5	ZUSAMMENFASSUNG.....	75
6	VERZEICHNISSE	I
6.1	Literatur	I
6.2	Abkürzungsverzeichnis.....	VII
6.3	Tabellen.....	VIII
6.4	Abbildungen.....	VIII
ANHANG.....	I
A1:	Liste UVP-pflichtiger Vorhaben in diesem Kontext	I
A2:	Messergebnisse von Abluftströmen verschiedener Anlagen mit ähnlichem Verfahrensablauf	V
A3:	Prinzipverlauf Luftleitungen	VIII

1 Einleitung

Nach dem Deponierungsverbot unbehandelter Siedlungsabfälle im Jahre 2005 wurde letztes Jahr nun auch das Kreislaufwirtschaftsgesetz die biogenen Abfälle betreffend novelliert. Dies bedeutet einen weiteren gravierenden Eingriff in die Abfallwirtschaft Deutschlands. Ab dem 1. Januar 2015 wird die getrennte Sammlung des Bioabfalls verpflichtend. Des Weiteren wird die Bundesregierung im Zuge dessen ermächtigt festzulegen, wie die Behandlung des Bioabfalls zu erfolgen hat. In den kommenden Jahren werden deshalb zu diesem Thema detailliertere Rechtsverordnungen in den einzelnen Bundesländern folgen.

Dadurch entsteht bei der Energiewende im Bereich der Biomasse nach der Tank-oder-Teller-Diskussion eine neue Debatte. Es wird geklärt werden müssen, ob man den Bioabfall weiterhin hauptsächlich nur kompostieren will oder, wie es teilweise bereits gesetzlich gefordert wird, auch vergären und somit energetisch nutzen möchte. Abgesehen davon gibt es noch eine weitere Interessensgruppe rund um die Abfallwirtschafts-Koryphäe Thomé-Kozmiensky, welche die rein thermische Verwertung befürwortet, um eine Schadstoffsenke zu erzeugen. Da die Verbrennung vor dem Hintergrund knapper werdender Ressourcen wie beispielsweise Phosphor und die Kompostierung aufgrund langfristig deutlich steigender Energiepreise kritisch zu hinterfragen ist, wurde in der letzten Zeit eine Reihe von Studien zu diesem Thema veröffentlicht, welche die verschiedenen Verfahren ökobilanziell miteinander vergleichen.

1.1 Problemstellung

Als eines der 69 [1] Abfallheizkraftwerke¹ Deutschlands, welche neben den Abfallsammlern und -behandlern von dieser Gesetzesänderung ebenfalls betroffen sind, reagiert die Abfallverwertung Augsburg GmbH² auf diese. Es ist davon auszugehen, dass in Zukunft nur mehr Anlagen genehmigt werden, die neben einer stofflichen auch eine energetische Nutzung des getrennt vorliegenden Bioabfalls ermöglichen. Je nach Gesetzeslage kann es auch vorkommen, dass bereits bestehende Anlagenstandorte darauf Rücksicht nehmen müssen.

Aus diesen Gründen erweitert die AVA ihre ebenfalls am Betriebsgelände vorhandene Kompostierungsanlage um eine Fermentationsanlage und nützt somit die Energie der organischen Substanz in Form von Biogas. Daraus ergibt sich einerseits eine Innovation auf technischer Ebene, andererseits steht das Projekt nicht mit kommenden Gesetzesänderungen in Konflikt. Als Generalunternehmer wurde die Firma Thöni beauftragt, welche lange Erfahrung mit biologischen Abfallbehandlungsanlagen, sowohl mit anaerober als auch aerober Verfahrensführung, besitzt.

¹ Wird im weiteren Text mit AHKW abgekürzt.

² Wird im weiteren Text mit AVA abgekürzt.



Bei der technischen Realisierung der Anlage kann bzw. soll auf das bestehende Abgasrohrleitungsnetz zurückgegriffen werden, wobei dieses adaptiert werden muss. Weitere bestehende Anlagenteile in diesem Zusammenhang, wie ein Biofilter, der in Zukunft die gering belastete Abluft reinigen wird, sollen ebenfalls in den neuen Anlagenverbund eingebettet werden. Die organisch hochbelastete Luft aus der Entwässerungshalle, den Zwischenspeichern und den eingehausten Absetzbecken wird als Zuluft für die Intensivrotteboxen verwendet und anschließend in das angrenzende Müllheizkraftwerk geleitet.

Die 75.000 t Bio- und Grünabfälle pro Jahr werden künftig vorerst auf 45.000 t/a reduziert, um sich an den veränderten Verfahrensablauf zu gewöhnen, wobei auch eine mögliche spätere Erweiterung mitberücksichtigt bzw. vorgesehen wurde. Der dabei erwartete Gasertrag beläuft sich auf jährlich 4,3 Mio. Nm³, welche nicht wie bei den meisten Biogasanlagen vor Ort mittels Blockheizkraftwerken¹ verstromt, sondern auf Erdgasqualität aufbereitet und in das öffentliche Netz eingespeist werden. Der feste Gärrest wird zu ca. 10.000 t Qualitätskompost pro Jahr weiterverarbeitet und gemeinsam mit den ca. 11.500 m³ flüssigen Gärrest, die als Flüssigdünger in der Landwirtschaft ihren Absatz finden, vermarktet.

Dabei können einige Synergien genutzt werden, die das Projekt noch zusätzlich besonders wirtschaftlich, jedoch nicht minder anspruchsvoll in der Planung machen. Beispielsweise müssen bis auf den Fermenter keine weiteren Hallen errichtet werden. Die bestehende Maschinenteknik muss – obwohl diese trotz ihrer 20 Jahre Laufzeit noch voll funktionsfähig ist – umgebaut werden, da sie nicht mehr in das neue Anlagenkonzept passt.

Der größte potentielle Nutzen geht von dem AHKW am selben Standort aus. Da dessen Leitwarte das ganze Jahr rund um die Uhr besetzt ist, soll auch die Steuerung der Fermentations- und Kompostierungsanlage von dort erfolgen.

Wie bereits dem Titel der Arbeit zu entnehmen, liegt das Hauptaugenmerk auf den Emissionen, die hauptsächlich vom flüssigen aber auch festen Gärrest nach der Fermentation ausgehen. Aus diesem Grund gilt es beispielsweise die organisch hoch belastete Abluft, welche von dem flüssigen und festen Gärrest kurz nach dem Fermenter austritt, als Verbrennungsluft für das AHKW zu verwenden und somit ohne großen zusätzlichen Aufwand zu reinigen.² Als eine weitere Herausforderung für die Planung gilt es die weniger belastete Abluft, die von dem bereits halbfertigen Kompost mit einem Rottegrad von Stufe III und höher ausgeht, getrennt zu erfassen. Dieser Abluftstrom kann ohne weitere Vorbehandlung dem bestehenden Biofilter zugeführt werden.

¹ Ab hier kurz BHKW.

² Da das MHKW jährlich einer ca. zweiwöchigen Revision unterzogen werden muss, wird in dieser Zeit eine anderwärtige Abluftreinigung notwendig.



1.2 Zielsetzung

Einerseits ist es ein Ziel der Arbeit, auf die veränderten Gesetzesbestimmungen zu diesem Thema und den daraus resultierenden Auswirkungen auf die Abfallwirtschaft hinzuweisen (siehe Kapitel 2 „Rechtliche Rahmenbedingungen“). Andererseits soll an die in letzter Zeit vermehrt auftretenden Studien zum Thema Emissionen bei Vergärungs- und Kompostierungsanlagen angeknüpft werden. Eine klare Abgrenzung zu den bestehenden Studien wird dadurch erreicht, dass in diesem Projekt die Koppelung der Vergärung und Kompostierung an ein Müllheizkraftwerk erfolgt und somit Synergien in puncto Abgasreinigung entstehen. Deshalb wird im Kapitel 3 „Abfallverwertungsanlage Augsburg“ diese in Hinblick auf ihre Emissionsfaktoren ausführlich beschrieben um in Kapitel 4 „Diskussion der innovativen Aspekte dieses Projekts“ einen anlagenübergreifenden Vergleich anzustellen und die emissionstechnischen Vorteile zusammenzufassen.

2 Rechtliche Rahmenbedingungen

Um einen guten Einblick in die Entwicklungen der Abfallbranche zu diesem Thema zu bekommen, werden vorab die legislativen Grundpfeiler aufgezeigt. Dies ermöglicht die derzeitige Situation besser zu verstehen, gleichzeitig aber auch Trends zu erkennen, welche zukünftigen Ziele sowohl innerhalb der Europäischen Union als auch in Deutschland¹ verfolgt werden. Um zu verstehen, wie es zu den entsprechenden Gesetzen gekommen ist, werden in diesem Kapitel sowohl die übergeordneten Rahmengesetze der EU, sowie die untergeordneten Bundesgesetze auf die wesentlichen Punkte diese Arbeit betreffend zusammengefasst (siehe Abbildung 1).

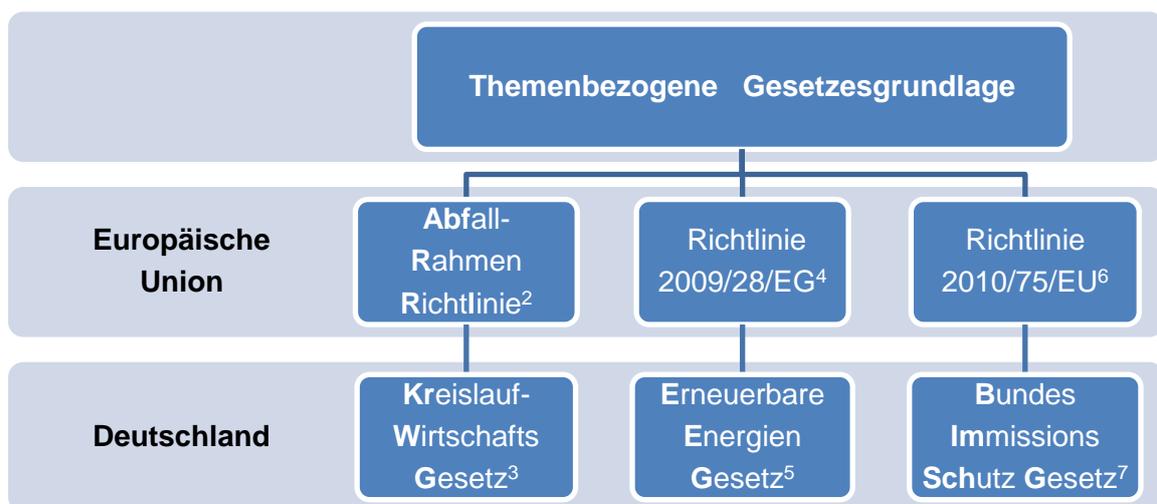


Abbildung 1: Übersicht der themenbezogenen Gesetzestexte

Um den Fokus immer schärfer auf das Thema der Arbeit zu richten, wird wie in der ersten Säule dargestellt, mit den Gesetzen begonnen, die den Anstoß für die getrennte Sammlung von Bioabfällen geben. Die gesetzlichen Rahmenbedingungen der zweiten Säule sind für die Wirtschaftlichkeit des Projekts von großer Relevanz. Die Richtlinie 2010/75/EU und das Bundesimmissionsschutzgesetz hingegen haben große Auswirkungen auf die Emissionsgrenzwerte und in weiterer Folge den Genehmigungsprozess.

¹ Die deutsche Gesetzeslage wird deshalb genauer betrachtet, da sich der Standpunkt des betrachteten Projektes in Augsburg befindet. Hin und wieder wird auch der Vergleich zu Österreich angestellt, wobei generell - aufgrund der gemeinsamen Ausrichtung nach den EU Richtlinien - eine große Ähnlichkeit besteht.

² Ab hier kurz AbfRRL.

³ Ab hier kurz KrWG.

⁴ EU Richtlinie 2009/28/EG zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien 2001/77/EG und 2003/30/EG.

⁵ Ab hier kurz EEG.

⁶ EU Richtlinie 2010/75/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 24. November 2010 über Industrieemissionen (integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung).

⁷ Ab hier kurz BImSchG.

2.1 Europäische Abfallrahmenrichtlinie

Die AbfRRL ist innerhalb der EU die Grundlage aller den Abfall betreffender Gesetze. Einer der wichtigsten Punkte der Richtlinie ist die Abfallhierarchie¹ (siehe Abbildung 2). Auch wird dezidiert darauf hingewiesen, dass im Sinne der Ressourcenschonung die stoffliche Verwertung im Vergleich zur energetischen immer vorrangig zu betrachten ist.

Präambel (7): „[...] dass die Abfallvermeidung die oberste Priorität der Abfallwirtschaft sein sollte und die Wiederverwendung und **stoffliches Recycling den Vorzug vor der energetischen Verwertung von Abfällen haben** sollten, wenn und soweit dies unter Umweltschutzgesichtspunkten die besten Optionen sind.“ [2]



Abbildung 2: Abfallhierarchie nach EU-AbfRRL [1]

Wie sich im weiteren Verlauf dieser Arbeit zeigen wird, muss die Entscheidung nicht zwangsweise auf eine der beiden Varianten fallen, sondern es können sehr wohl durch Kombination von stofflicher und energetischer Verwertung die Vorteile beider Verfahren genützt werden. In Absatz 35 steht ein weiterer in diesem Zusammenhang sehr wichtiger Punkt.

Präambel (35) „Es ist wichtig, im Einklang mit der Abfallhierarchie und **zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen**, die durch die Abfallbeseitigung auf Abfalldeponien entstehen, **die getrennte Sammlung und die ordnungsgemäße Behandlung von Bioabfällen zu fördern**, um umweltverträgliche Komposte und andere Materialien aus Bioabfällen zu erzeugen. Die Kommission wird nach einer Bewertung der Bewirtschaftung von Bioabfällen Vorschläge für Rechtssetzungsmaßnahmen vorschlagen, sofern dies zweckmäßig ist.“ [2]

Es werden zum ersten Mal die Emissionen angesprochen, die von Abfällen ausgehen können. Bioabfälle, die ohne Behandlung deponiert werden, sind dabei hervorzuheben, da sie einerseits Treibhausgase verursachen, andererseits diese durch eine vergleichsweise kostengünstige Vorbehandlung leicht vermieden werden könnten. In Deutschland wurde deshalb mit der TA Siedlungsabfall und der Abfallablagerungsverordnung eine Deponierung unbehandelter Siedlungsabfälle ab dem 1.1.2005 [3], in Österreich mit der Deponieverordnung 2004 [4] ab dem 1.1.2009, beschlossen.² Die EU geht mit der Abfallrahmenrichtlinie noch einen Schritt weiter und

¹ Präambel (6) „... Die Abfallpolitik sollte auch auf die Verringerung der Nutzung von Ressourcen abzielen und die praktische Umsetzung der Abfallhierarchie fördern.“ [2]

² Diese beiden Stichtage bildeten die Deadline, ab der in beiden Ländern keine Ausnahmegenehmigungen mehr erlaubt wurden. Das Deponierungsverbot war jedoch bereits früher – in Österreich (exklusive Tirol) beispielsweise mit 1.1.2004 - in Kraft getreten. [3] [4]

fordert die getrennte Sammlung **und** Behandlung von Bioabfällen. In Kapitel 3 Artikel 22 wird diese Forderung noch weiter präzisiert.

„Die Mitgliedstaaten treffen geeignete Maßnahmen im Einklang mit den Artikeln 4 [betrifft die Abfallhierarchie, Anm.] und 13 [über den Schutz der menschlichen Gesundheit und der Umwelt, Anm.], um Folgendes zu fördern:

*a) **die getrennte Sammlung von Bioabfällen zu dem Zweck, sie zu kompostieren und vergären zu lassen,***

b) die Behandlung von Bioabfällen auf eine Art und Weise, die ein hohes Maß an Umweltschutz gewährleistet, sowie

c) die Verwendung von umweltverträglichen Materialien aus Bioabfällen.

Die Kommission führt eine Bewertung der Bewirtschaftung von Bioabfällen durch, damit sie erforderlichenfalls einen Vorschlag unterbreiten kann. Bei der Bewertung ist zu prüfen, ob Mindestanforderungen für die Bewirtschaftung von Bioabfällen und Qualitätskriterien für Kompost und Gärrückstände aus Bioabfällen festgelegt werden sollten, um ein hohes Niveau des Schutzes der menschlichen Gesundheit und der Umwelt sicherzustellen.“ [2]

Ob und wenn ja welche weiteren Mindestanforderungen in den nächsten Jahren folgen werden, ist derzeit noch nicht klar absehbar. Um diesen Stand der Technik definieren und auf mögliche Fehlentwicklungen reagieren zu können, verpflichtet die EU die Mitgliedsstaaten deshalb in regelmäßigen Abständen der Kommission einen Bericht vorzulegen. Das folgende Kapitel zeigt, dass die Mitgliedsstaaten bereits jetzt in ihren nationalen Gesetzen die Forderungen der EU nach einer konkreten Regelung über die Verwertung von Bioabfall umsetzen.

2.2 Kreislaufwirtschaftsgesetz

Im Kreislaufwirtschaftsgesetz Teil 1 § 3 Abs. 7 werden die Begriffsbestimmung der EU, welche ihrerseits in der AbfRRL Kapitel 1, Artikel 3, Absatz 4 verankert wurden, um einen vierten Punkt erweitert. Somit wird die primär **herkunftsbereichsbezogene** Definition der AbfRRL mit der eher **einsatzstoffbezogenen** Definition aus § 2 Nr. 1 der deutschen Bioabfallverordnung kombiniert. [5]

„Bioabfälle im Sinne des Gesetzes sind biologisch abbaubare pflanzliche, tierische oder aus Pilzmaterialien bestehende

1. Garten- und Parkabfälle,

2. Landschaftspflegeabfälle,

3. Nahrungs- und Küchenabfälle aus Haushaltungen, aus dem Gaststätten- und Cateringgewerbe, aus dem Einzelhandel und vergleichbare Abfälle aus Nahrungsmittelverarbeitungsbetrieben sowie

4. Abfälle aus sonstigen Herkunftsbereichen, die den in den Nummern 1 bis 3 genannten Abfällen nach Art, Beschaffenheit oder stofflichen Eigenschaften vergleichbar sind.“ [5]

Die Forderung nach einer getrennten Erfassung von biologischen Abfällen ist in der deutschen Gesetzgebung wie folgt in § 11 des KrWG verankert:

*(1) „Soweit dies zur Erfüllung der Anforderungen nach § 7 Absatz 2 bis 4 und § 8 Absatz 1 erforderlich ist, sind Bioabfälle, die einer Überlassungspflicht nach § 17 Absatz 1 unterliegen, spätestens **ab dem 1. Januar 2015** getrennt zu sammeln.“ [5]*



Die in obiger Textpassage vorkommenden Verweise (§ 7 Absatz 2 bis 4 und § 8 Absatz 1) auf andere Gesetzesteile wiederholen die Leitsätze der AbfRRL. Besonders wird dabei die vorrangige Verwertung von Abfällen im Vergleich zur Beseitigung gefordert, soweit dies technisch möglich und wirtschaftlich zumutbar ist. Die erwähnte Überlassungspflicht (§ 17 Absatz 1) wird im weiteren Gesetzestext konkretisiert und verpflichtet „Erzeuger oder Besitzer von Abfällen aus privaten Haushaltungen“ [5] „diese Abfälle den nach Landesrecht zur Entsorgung verpflichteten juristischen Personen [öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger¹, Anm.] zu überlassen“ [5]. Des Weiteren sind die privaten Haushalte nicht befugt, die biologischen Abfälle in eigenen Anlagen zu beseitigen, sofern öffentliche Interessen für die Überlassung der Abfälle an den örE sprechen. [5] In diesem Fall wird die in § 7 Abs. 2 angeführte Verwertungs- bzw. in § 15 Abs. 1 festgelegte Beseitigungspflicht nichtig.

Die genannten Neuerungen bedeuten für die Bevölkerung keine großen Veränderungen, außer dass Speisereste und andere biologische Abfälle zukünftig ebenfalls in einem eigenen Behälter zu beseitigen sind. Gewerbliche Einrichtungen, die nach dem neuen KrWG zur Verwertung dieser Abfälle gezwungen werden, haben aufgrund der meist zu geringen Mengen, die ein wirtschaftliches Verwerten unmöglich machen, weiterhin das Recht ihre Abfälle an den örE zu übergeben. Für die „nach Landesrecht zur Entsorgung verpflichteten juristischen Personen“ [5], die örE, bedeutet dies hingegen eine gravierende Mehrbelastung. Am Ende der Entsorgungskette stehen nach den Abfallsammlern und -behandlern die Abfallwirtschaftszentren, die mit der Verwertung dieser Abfälle beauftragt sind. Das KrWG beschreibt den Stand der Technik für das Recycling und die Rückgewinnung organischer Stoffe im Anhang 2 R3 als Kompostierung, Vergasung oder Pyrolyse.

Um sicher zu gehen, dass diesen Forderungen nachgekommen wird, hat sich die deutsche Bundesregierung in einer Protokollerklärung zum KrWG verpflichtet, „das Gesetz binnen eines Jahres daraufhin zu überprüfen, ob die Zielsetzung der Stärkung des Wettbewerbs und einer Verbesserung der Qualität und Quantität des Recyclings erreicht worden ist. Sollte dies nicht der Fall sein, werden unverzüglich die gesetzlichen Maßnahmen zur Zielerreichung eingeleitet“ [6].

2.3 Richtlinie 2009/28/EG zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen

Die bis dato unzureichende Nutzung erneuerbarer Energiequellen, das Bestreben die Versorgungssicherheit zu erhöhen und die Voraussetzungen für die Erreichung der Kyoto-Zielvorgaben zu schaffen, waren die Hauptbeweggründe der EU gegen Ende des 20. Jahrhunderts in diesem Bereich einzugreifen. Bereits im Jahr 1997 veröffentlichte die Kommission ein Weißbuch der erneuerbare Energieträger. Mit einem Anteil von

¹ Ab hier kurz örE.



durchschnittlich nur 5,4 % [7] des Bruttoinlandsverbrauchs¹ der Mitgliedsstaaten war die Pflicht zum Handeln unabdingbar. Die Kommission entschied sich deshalb, bis 2010 12 % [8] erneuerbare Energien zu fordern.

Vier Jahre später folgte die Richtlinie 2001/77/EG zur Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen im Elektrizitätsbinnenmarkt, 2003 eine weitere spezifischere Richtlinie „zur Förderung der Verwendung von Biokraftstoffen oder anderen erneuerbaren Kraftstoffen im Verkehrssektor“ und 2005 ein Aktionsplan für die energetische Nutzung von Biomasse. Da jedoch vorherzusehen war, dass die 12 %-Schwelle im Jahre 2010 nicht erreicht werden konnte², beschloss die EU 2008 ein neues Energie- und Klimapaket, das im darauffolgenden Jahr zur derzeit aktuellsten Richtlinie in diesem Bereich führte. Diese Richtlinie 2009/28/EG setzte mit Ende 2012 auch die oben angeführten Richtlinien von 2001 und 2003 außer Kraft.

Das neue Ziel der EU – mit neuem Stichjahr 2020 – heißt nun 20 % alternative Energien.³ [9] Die Definition, welche Energiequellen als alternativ gelten, wurde gegenüber der Richtlinie von 2001 ebenfalls geringfügig geändert.

Artikel 2 a) „Energie aus erneuerbaren, nichtfossilen Energiequellen, das heißt Wind, Sonne, aerothermische, geothermische, hydrothermische Energie, Meeresenergie, Wasserkraft, Biomasse, Deponiegas, Klärgas und Biogas,“ [9]

An dieser Stelle muss der Unterschied zwischen Biomasse und Biogas noch genauer ausgeführt werden. Die Richtlinie 2009/28/EG versteht unter Biomasse:

Artikel 2 e) „[...] den biologisch abbaubaren Teil von Erzeugnissen, Abfällen und Reststoffen der Landwirtschaft mit biologischem Ursprung (einschließlich pflanzlicher und tierischer Stoffe), der Forstwirtschaft und damit verbundener Wirtschaftszweige einschließlich der Fischerei und der Aquakultur sowie den biologisch abbaubaren Teil von Abfällen aus Industrie und Haushalten“

Dies wird meist als ökologischer Biomasse-Begriff verstanden, neben dem parallel ein energietechnischer Biomasse-Begriff – obwohl viel spezifischer – ebenfalls sehr weit verbreitet ist. Letzterer zielt auf eine energetische Nutzung ab, die unterschiedlich erfolgen kann. Aufgrund der derzeit zunehmenden Anzahl von Biomasse-Heizkraftwerken – beispielsweise für die Fernwärmenutzung oder auch den KWK⁴-Betrieb – wohl am bekanntesten ist die Verbrennung. Daneben stehen mit der Pyrolyse, Vergärung, Kompostierung oder der Bio-Treibstoffherstellung noch eine Reihe weiterer energetischer Nutzungsmöglichkeiten zur Verfügung. Biogas ist das Endprodukt der Vergärung von

¹ Damit ist der Gesamtenergieverbrauch gemeint. Nicht zu verwechseln mit dem reinen Stromverbrauch, für den eigene Zielwerte festgelegt wurden, welche in dieser Arbeit jedoch nicht näher ausgeführt werden.

² Der Global Status Report für Erneuerbare aus dem Jahr 2011, der in seinen Zahlen für 2010 auf 9 % kam, bestätigte dies. [7]

³ Zusätzlich zu den 20 % alternative Energien beschloss der Rat der Europäischen Union in seinen 20-20-20-Zielen ebenso die Senkung des Primärenergieverbrauchs der EU um 20 % bzw. die verbindliche Verringerung der Treibhausgasemissionen um 20 %. [69]

⁴ Kraft-Wärme Kopplung



Biomasse und sollte deshalb differenziert – und nicht wie in dem vorher zitierten Artikel 2 a) auf derselben Ebene – betrachtet werden (dies zeigt Abbildung 3). Im energiewirtschaftlichen Sinn zählt die Biomasse zu den Primär-, Biogas hingegen zu den Sekundärenergien.

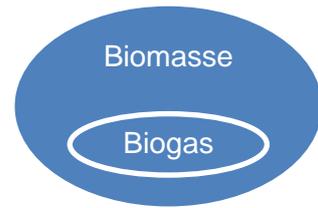


Abbildung 3: Zusammenhang von Biomasse und Biogas

2.4 Erneuerbare-Energien-Gesetz

Das Deutschland betreffende Erneuerbare-Energien-Gesetz beschreibt im dritten Absatz des ersten Paragraphen, das Ziel „den Anteil erneuerbarer Energien am gesamten Bruttoenergieverbrauch bis zum Jahr 2020 auf mindestens 18 Prozent zu erhöhen“. [10] Interessanterweise strebt Deutschland darin nicht wie die EU die 20 Prozent-Grenze an. In § 2 wird erwähnt, dass dieses Ziel durch die Vergütung der Einspeisung von Strom aus erneuerbaren Energien erreicht werden soll.

In den Begriffsbestimmungen werden zwei wichtige Bezeichnungen vor der späteren Verwendung unterschieden:

- „[...]“
 2b. „Biogas“ Gas, das durch anaerobe Vergärung von Biomasse gewonnen wird,
 2c. „Biomethan“ Gas oder sonstige gasförmige Biomasse, das oder die aufbereitet und in das Erdgasnetz eingespeist worden ist, [...]“ [10]

Der Begriff „erneuerbare Energien“ wird in Punkt 3 neben Wasser-, Wind-, Sonnenenergie und Geothermie als „Energie aus Biomasse einschließlich Biogas, Biomethan, Deponiegas und Klärgas sowie aus dem biologisch abbaubaren Anteilen von Abfällen aus Haushalten und Industrie“ [10] definiert. Im weiteren Gesetz wird jedoch strikt zwischen Biomasse und Biogas differenziert, weshalb es wie in der im vorigen Kapitel vorgestellten Richtlinie 2009/28/EG zu leicht zu Missverständnissen kommen kann. Paradoxerweise gilt nach der deutschen Biomasseverordnung § 2 Absatz 3 Punkt 2 „durch anaerobe Vergärung erzeugtes Biogas“ [11] ebenfalls als Biomasse, weshalb eine Unterscheidung unmöglich wird. Im Laufe dieses Kapitels wird deshalb auf einige Textpassagen hingewiesen, bei denen es in diesem Zusammenhang zu Problemen führen könnte.

Eine weitere für diese das Zustandekommen dieser Masterarbeit sehr wichtige Textpassage befindet sich im § 6 „Technische Vorgaben“:

- (4) „Anlagenbetreiberinnen und Anlagenbetreiber von Anlagen zur Erzeugung von Strom aus Biogas müssen sicherstellen, dass bei der Erzeugung des Biogases
1. ein neu zu errichtendes Gärrestlager am Standort der Biogaserzeugung **technisch gasdicht abgedeckt ist und die hydraulische Verweilzeit in dem gasdichten und an eine Gasverwertung angeschlossenen System mindestens 150 Tage beträgt** und
 2. zusätzliche Gasverbrauchseinrichtungen zur Vermeidung einer Freisetzung von Biogas verwendet werden.“¹ [10]

¹ Diese Anforderungen aus Punkt 1 gelten nicht für Biogasanlagen, die ausschließlich Gülle als Inputmaterial verwenden. [10]

Klar ist jedoch, dass dieser Passus erst mit der letzten Novelle 2011 dem Gesetz hinzugefügt wurde, da bisher die Emissionen von Gärrestlagern unterschätzt bzw. ihnen zu wenig Aufmerksamkeit geschenkt wurde.

Durch den § 20 „Absenkungen von Vergütungen und Boni“ bereitet man die stufenweise Senkung der Zuschüsse in den nächsten Jahren vor.¹ Die deutsche Bundesregierung ahnte nämlich bereits im Jahr 2011, dass die EEG-Hilfsgelder – trotz ihrer Notwendigkeit für das Gelingen der Energiewende – auf lange Sicht von den Bürgern nicht akzeptiert werden würden und zu einem Anstieg des Strompreises führen könnten.

In Abschnitt 2 „Besondere Vergütungsvorschriften“ § 27 „Biomasse“ wird schlussendlich der tatsächliche Wert der Vergütung genannt (siehe Tabelle 1). Je nach eingesetzter Biomasse und installierter Leistung erhöht sich dieser Betrag um ca. 40 %. Wird Biogas erzeugt und verstromt, so gelten diese Vergütungen nur für Anlagen unter 750 kW Leistung² und sofern 60 % des Stroms im KWK-Verfahren erzeugt wurden.

Tabelle 1: Vergütung von Strom aus Biomasse nach EEG § 27 [10]

Bemessungsleistung bis einschließlich	Vergütung
kW	€ Cent/k h
150	14,3
500	12,3
5.000	11,0
20.000	6,0

Prinzipiell sei noch erwähnt, dass es drei unterschiedliche Stufen für die Förderung von Biogasanlagen gibt:

- | | |
|--|---------------------|
| 1. Biogasanlagen für NaWaRo | Vergütungsklasse I |
| 2. Biogasanlagen für Gülle und Mist | Vergütungsklasse II |
| 3. Biogasanlagen für die Vergärung von Bioabfällen | |

Der § 27a „Vergärung von Bioabfällen“ geht das erste Mal genauer auf die in dieser Arbeit betrachtete Vergärung von Bioabfällen vor der Kompostierung ein. In nachfolgend zitiertem Absatz 1 werden sogar die einzelnen Abfallschlüssel angeführt, sodass es zu keinen Unklarheiten kommen kann:

„Für Strom aus Anlagen, die Biogas einsetzen, das durch anaerobe Vergärung von Biomasse im Sinne der Biomasseverordnung mit einem Anteil von getrennt erfassten Bioabfällen im Sinne der Abfallschlüssel Nummer 20 02 01, 20 03 01 und 20 03 02 der Nummer 1 des Anhangs 1 der Bioabfallverordnung in dem jeweiligen Kalenderjahr von durchschnittlich mindestens 90 % gewonnen worden ist, beträgt die Vergütung

- 1. bis einschließlich einer Bemessungsleistung von 500 Kilowatt 16,00 Cent pro Kilowattstunde und*
- 2. bis einschließlich einer Bemessungsleistung von 20 Megawatt 14,00 Cent pro Kilowattstunde.“ [10]*

¹ Diese erfolgt jährlich zum 1. Januar und beträgt für Biomasse zwei Prozent. Im Vergleich: Wasserkraft ein Prozent, Offshore-Windanlagen sieben. [10]

² Diese Begrenzung betrifft Anlagen, die nach dem 31.12.2013 in Betrieb genommen werden. Da die in der vorliegenden Arbeit betrachtete Anlage mit 2,8 MW (Berechnung siehe Seite 14) von dieser Einschränkung betroffen wäre, ist es für die Wirtschaftlichkeit dieses Projektes äußerst wichtig, dass die Anlage noch dieses Jahr in Betrieb geht.



Bei den erwähnten Bioabfällen handelt es sich um biologisch abbaubare Abfälle (20 02 01), die im Zuge der Landschaftspflege von Gärten und/oder Parkanlagen entstehen, um gemischte Siedlungsabfälle (20 03 01) aus der Biotonne – sogenannte getrennt erfasste Bioabfälle – und um pflanzliche Marktäfte (20 03 02). Auch für die Vergärung von Bioabfällen gilt dieselbe Einschränkung wie für Biomasse, weshalb Anlagen, die nach 2013 in Betrieb genommen wurden, nur unter diese Vergütungsregelung fallen, wenn sie eine Leistung kleiner 750 kW aufweisen. Des Weiteren besteht nach Absatz 3 nur ein Anspruch auf diese EEG Zulage: „wenn die Einrichtungen zur anaeroben Vergärung der Bioabfälle **unmittelbar mit einer Einrichtung zur Nachrotte der festen Gärrückstände verbunden sind** und die nachgerotteten Gärrückstände stofflich verwertet werden“. [10] Damit werden in Zukunft wohl nur mehr sehr selten Biomüllvergärungsanlagen ohne eine nachfolgende Kompostierung realisiert werden.

Schlussendlich wird in der derzeit aktuellen Fassung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes darauf eingegangen, wie der Betrieb einer Anlage subventioniert wird, wenn die Sekundärenergie Biogas nicht vor Ort verstromt, sondern in das bestehende Erdgasnetz eingespeist wird. In diesem Fall muss eine Gaskonditionierung erfolgen, damit die Qualitätsanforderungen – beispielsweise an den Methan- oder Wassergehalt – erfüllt werden. Dies verursacht weitere Kosten¹, welche zusätzlich durch den sogenannten Gasaufbereitungs-Bonus im Anhang 1 des EEG geregelt werden. Wie die anderen Vergütungen ist auch diese an gewisse Randbedingungen gebunden:

„1. Anspruchsvoraussetzungen

Der Anspruch auf den Gasaufbereitungs-Bonus nach § 27c Absatz 2 besteht für Strom, der in Anlagen mit einer Bemessungsleistung bis einschließlich 5 Megawatt erzeugt wird, soweit das Gas nach § 27c Absatz 1 eingespeist und vor der Einspeisung in das Erdgasnetz aufbereitet wurde und nachgewiesen wird, dass folgende Voraussetzungen eingehalten wurden:

- a) Methanemissionen in die Atmosphäre bei der Aufbereitung von höchstens 0,2 Prozent,*
- b) ein Stromverbrauch für die Aufbereitung von höchstens 0,5 Kilowattstunden pro Normkubikmeter Rohgas,*
- c) **Bereitstellung der Prozesswärme für die Aufbereitung und die Erzeugung des Deponie-, Klär- oder Biogases aus erneuerbaren Energien, Grubengas oder aus der Abwärme der Gasaufbereitungs- oder Einspeiseanlage ohne den Einsatz zusätzlicher fossiler Energie** und*
- d) eine Nennleistung der Gasaufbereitungsanlage von höchstens 1.400 Normkubikmeter aufbereitetem Deponiegas, Klärgas oder Biogas pro Stunde.“ [10]*

Punkt a zielt erneut wie der bereits zitierte § 6 auf einen emissionsarmen, Punkt b auf einen effizienten Betrieb der Anlage ab. Die Bedingung, dass die Prozesswärme für die Aufbereitung, vor allem aber die Erzeugung des Biogases, durch regenerative, also nicht-fossile Energien bereitgestellt werden muss (Punkt c), führt in diesem Projekt in Augsburg zu einer verfahrenstechnischen Einschränkung. Da am Standort aufgrund des AHKW bereits ein Wärmeüberschuss vorhanden ist, würde es sich sehr anbieten, diese Energie unter anderem auch für die Beheizung des Trockenfermenters zu verwenden.

¹ Laut Empl (2013) macht die Gasaufbereitung – egal welcher Fermentertyp bzw. welches Verfahren betrieben wird – den größten Teil der Betriebskosten aus. [68]



Aus diesem Grund wurde bereits von der AVA, gemeinsam mit anderen Betroffenen, bei der Clearingstelle¹ ein Antrag auf einen Sonderpassus für solche Fälle gestellt.

Tabelle 2 listet die Höhe des Gasaufbereitungs-Bonus, der abermals nach Anlagengröße gestaffelt, ausgeführt ist. Das in dieser Arbeit betrachtete Projekt sieht eine Rohbiogas-Produktion von ca. 4.300.000 Nm³ pro Jahr vor. Unter Berücksichtigung des unteren Heizwertes von einem Kubikmeter Biogas aus Bioabfall, der im Mittel bei 5,7 kWh/m³ liegt, entspricht dies rund 24.500.000 kWh pro Jahr. [12]

Tabelle 2: Höhe des Gasaufbereitungs-Bonus nach EEG Anhang 1 [10]

Normkubikmeter aufbereitetes Biogas	Vergütung
Nm ³ /h	€ Cent/kWh
bis 700	3,0
bis 1.000	2,0
bis 1.400	1,0

So kann bei einer kontinuierlichen Produktion rund um die Uhr – und einer sich daraus ergebenden Anlagenstandzeit von jährlich 8766 Stunden – eine Leistung von 2,8 MW angenommen werden. Daraus errechnet sich eine EEG-Vergütung von 3.430.000 € pro Jahr (0,14 €/kWh * 24.500.000 kWh/a) plus ein Gasaufbereitungs-Bonus von 735.000 € (0,03 €/kWh² * 24.500.000 kWh/a).

In Kapitel 2.3 dieser Arbeit wird erwähnt, dass der Druck auf die Ausweitung der alternativen Energien hauptsächlich auch deshalb sukzessive erhöht wird, da man kein anderes Mittel mehr sieht, den weltweiten Anstieg von Treibhausgasen und in weiterer Folge eine globalen Erderwärmung zu mindern.

2.5 Richtlinie 2010/75/EU über Industrieemissionen

In diesem und dem nächsten Kapitel wird die dritte und letzte Säule aus Abbildung 1 behandelt, deren Gesetze auf europäischer und deutscher Ebene Grenzwerte für Umwelteinflüsse eines Projektes festlegen. Bei deren Überschreitung ist eine Genehmigung Pflicht, wodurch eine „Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung infolge industrieller Tätigkeiten“ [13] bewirkt werden soll. Damit wird das Fundament für weitere Regulierungen gelegt, sodass negative Umwelteinflüsse zukünftig minimiert werden können. Einen wesentlichen Grundpfeiler dafür bilden die Referenzdokumente für die besten verfügbaren Techniken³. Diese wurden bereits in der ersten EU-Richtlinie 96/61/EG zu diesem Thema eingeführt und erweisen sich seither als ein sehr hilfreiches Werkzeug, um „den effizientesten und fortschrittlichsten Entwicklungsstand der Tätigkeiten und entsprechenden Betriebsmethoden“ zu beschreiben“ [13]. Fortan sollten den Genehmigungsaufgaben immer diese

¹ Eine Kraft dieses Gesetzes vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit beauftragte juristische Person des öffentlichen Privatrechts, welche der Klärung von Fragen und Streitigkeiten zur Anwendung dieses Gesetzes beauftragt wurde. [10]

² Mit 490 Nm³/h (4.300.000 Nm³/a bzw. 8766 Bh/a) fällt diese Anlage noch unter die höchstsubventionierte (siehe Tabelle 2).

³ Ab hier kurz BVT.



BVT-Merkblätter beigelegt werden. Interessenvertreter aus den entsprechenden Bereichen stehen seither in einem Informationsaustausch, um diese Referenzdokumente zu erstellen, überprüfen bzw. gegebenenfalls zu aktualisieren. Mit derzeit 33 Hilfswerken, die beispielsweise wie das „Merkblatt über die besten verfügbaren Techniken für Abfallbehandlungsanlagen“ 632¹ Seiten umfassend sind, kann wirklich von sehr detaillierten Nachschlagewerken gesprochen werden.

Diese Richtlinie 2010/75/EU unterscheidet in weiterer Folge – aufbauend auf den BVT-Merkblättern, welche für alle Industriebereiche gelten –, ob konkrete Emissionsgrenzwerte festgeschrieben werden oder ob es den zuständigen Behörden der Mitgliedsstaaten selbst überlassen wird. Diese Limits werden in den Anhängen 5-8 für

- Feuerungsanlagen im Allgemeinen,
- Abfallverbrennungs- und Abfallmitverbrennungsanlagen,
- Anlagen und Tätigkeiten, bei denen organische Lösungsmittel verwendet werden und
- Titandioxid produzierende Anlagen angeführt. [13]

Alle anderen Industriebereiche, bei denen während ihres Betriebs mit Emissionen zu rechnen ist, sind in Anhang 1 der Richtlinie angeführt und in sechs Gruppen zusammengefasst:

- Energiewirtschaft
- Herstellung und Verarbeitung von Metallen
- Mineralverarbeitende Industrie
- Chemische Industrie
- Abfallbehandlung
- Sonstige Tätigkeiten [13]

Für diese Sektoren sollten die Grenzwerte der Behörden in den Genehmigungsaufgaben so gewählt werden, dass sie unter normalen Betriebsbedingungen und unter Verwendung der besten verfügbaren Techniken nicht überschritten werden. [13] Ob ein Betrieb aus einen dieser Industriesektoren jedoch genehmigungspflichtig ist oder nicht, hängt wiederum davon ab, ob gewisse Schwellenwerte überschritten werden oder nicht.

*Nach Punkt 5.3 b) des Anhangs I dieser Richtlinie unterliegen Anlagen für die „**Verwertung - oder eine Kombination aus Verwertung und Beseitigung - von nichtgefährlichen Abfällen** mit einer Kapazität **von mehr als 75 t pro Tag** im Rahmen einer der folgenden Tätigkeiten [...]*

i) biologische Behandlung, [...] der Genehmigungspflicht.

Besteht die einzige Abfallbehandlungstätigkeit in der anaeroben Vergärung, so gilt für diese Tätigkeit ein Kapazitätsschwellenwert von 100 t pro Tag.“ [13]

¹ Stand August 2006.



Im Falle der AVA, die eine Anlage für die anaerobe bzw. aerobe Behandlung von 45.000 t/a¹ oder 123 t/Tag plant, würde dies auf jeden Fall den Zusatzaufwand des Genehmigungsantrags bedeuten. Selbst wenn man mit der Menge des zu vergärenden Abfalls unter der genehmigungspflichtigen Schwelle liegen würde, muss die AVA jede weitere Anlagenvergrößerung auf ihrem Standort genehmigen lassen. Laut Anhang 1 der Richtlinie 2010/75/EU müssen die Mengen, welche in den betroffenen Anlagen erzeugt, behandelt oder vernichtet werden, addiert werden und sind mit dem bestehenden AHKW deshalb bereits weit übertroffen. Welche Punkte bei einem solchen Genehmigungsprozess zu berücksichtigen sind, wird in Artikel 12 beschrieben:

- a) „Anlage sowie Art und Umfang ihrer Tätigkeiten;
- b) Roh- und Hilfsstoffe, sonstige Stoffe und Energie, die in der Anlage verwendet oder erzeugt werden;
- c) Quellen der Emissionen aus der Anlage;
- d) Zustand des Anlagengeländes;
- e) gegebenenfalls einen Bericht über den Ausgangszustand gemäß Artikel 22 Absatz 2²;
- f) Art und Menge der vorhersehbaren Emissionen aus der Anlage in jedes einzelne Umweltmedium sowie Feststellung von erheblichen Auswirkungen der Emissionen auf die Umwelt;
- g) vorgesehene Technologie und sonstige Techniken zur Vermeidung der Emissionen aus der Anlage oder, sofern dies nicht möglich ist, Verminderung derselben;
- h) Maßnahmen zur Vermeidung, zur Vorbereitung, zur Wiederverwendung, zum Recycling und zur Verwertung der von der Anlage erzeugten Abfälle;
- i) sonstige vorgesehene Maßnahmen zur Erfüllung der Vorschriften bezüglich der allgemeinen Prinzipien der Grundpflichten der Betreiber gemäß Artikel 11³;
- j) vorgesehene Maßnahmen zur Überwachung der Emissionen in die Umwelt;
- k) die wichtigsten vom Antragsteller geprüften Alternativen zu den vorgeschlagenen Technologien, Techniken und Maßnahmen in einer Übersicht.“ [13]

Neben dieser verpflichtenden Einführung der Genehmigung werden die Mitgliedstaaten auch zur Überwachung, ob die Bestimmungen von Seiten der Anlagenbetreiber während des Betriebs eingehalten werden, aufgefordert. Dafür wurde ein System für Umweltinspektionen vorbereitet, das bei Nichteinhalten auch eine Stilllegung der Anlage mit sich bringen kann.

2.6 Bundesimmissionsschutzgesetz

Als deutsches Pendant zur Richtlinie 2010/75/EU werden im Bundesimmissionsschutzgesetz nahezu dieselben Ziele, nämlich die Vermeidung von industriellen Einwirkungen auf die Umwelt, angestrebt. Emissionserzeugende Betriebe sind prinzipiell dazu veranlasst, diese Einwirkungen unter Zuhilfenahme des „Standes der Technik“⁴ so gut als möglich zu minimieren. Obwohl der Bau und Betrieb einer

¹ Es muss an dieser Stelle vorweggegriffen werden, dass die AVA eine Anlage für 45.000 t/a baut, sich jedoch eine für 55.000 t/a genehmigen ließ, da eine spätere Erweiterung auf bis zu 65.000 t/a geplant ist.

² Es gilt hauptsächlich den Stand der Boden- und Grundwasserverschmutzung zu ermitteln. [13]

³ Kann als Verwendung der BVT zusammengefasst werden.

⁴ Entspricht dem in der Richtlinie 2010/75/EU deklarierten Begriff BVT und wird ab hier kurz SdT.



Biogasanlage in jedem Fall einer baurechtlichen Genehmigung¹ bedarf, muss geprüft werden, ob sie im Sinne des Bundesimmissionsschutzgesetzes genehmigungspflichtig ist oder nicht. Auf dies wird auch ausdrücklich in § 35 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes verwiesen:

KrWG: „(1) Die Errichtung und der Betrieb von Anlagen, in denen eine Entsorgung von Abfällen durchgeführt wird, sowie die wesentliche Änderung einer solchen Anlage oder ihres Betriebes bedürfen der Genehmigung nach den Vorschriften des Bundesimmissionsschutzgesetzes.“ [5]

Wie in der entsprechenden EU-Richtlinie wird die Genehmigungspflicht durch einen Grenzwert – je nach Kapazität oder Leistung der Anlage – festgelegt. Diese Schwellenwerte werden in einer eigenen Verordnung² tabellarisch angeführt, wobei zwischen Spalte 1 und Spalte 2 Kriterien unterschieden wird. Welche Auswirkungen es hat, ob eine Anlage „Spalte 1 oder Spalte 2 genehmigungspflichtig“ ist, zeigt folgende Textpassage aus § 1 der 4. BImSchV:

(3) „Die im Anhang bestimmten Voraussetzungen liegen auch vor, wenn mehrere Anlagen derselben Art in einem engen räumlichen und betrieblichen Zusammenhang stehen (gemeinsame Anlage) und zusammen die maßgebenden Leistungsgrenzen oder Anlagengrößen erreichen oder überschreiten werden. Ein enger räumlicher und betrieblicher Zusammenhang ist gegeben, wenn die Anlagen

- 1. auf demselben Betriebsgelände liegen,*
- 2. mit gemeinsamen Betriebseinrichtungen verbunden sind und*
- 3. einem vergleichbaren technischen Zweck dienen.*

(4) Gehören zu einer Anlage Teile oder Nebeneinrichtungen, die je gesondert genehmigungsbedürftig wären, so bedarf es lediglich einer Genehmigung.“ [14]

Wie man sieht regelt das BImSchG sehr viel detaillierter als die EU-Richtlinie über Industrieemissionen, unter welchen Bedingungen die maßgebenden Leistungsgrenzen oder Anlagengrößen addiert werden. Die Tatsache, dass der Neu- bzw. Umbau in Augsburg einer eigenen Genehmigung bedurfte, zeigt, dass die Betriebseinrichtungen, obwohl sie auf demselben Betriebsgelände stehen, weit genug voneinander entfernt sind und das Verbindungsrohr, welche die hochbelastete Abluft aus der Kompostierung zum AHKW leitet, nicht als gemeinsame Betriebseinrichtung gilt. Es könnte aber auch damit argumentiert werden, dass ein Müllheizkraftwerk (energetische Abfallverwertung/-beseitigung) und eine Vergärungs- bzw. Kompostierungsanlage (energetische bzw. stoffliche Abfallverwertung/-beseitigung) nicht dieselbe Absicht verfolgen.

Nach dem ersten Schritt der Klärung, welche Einflussgrößen in die Bestimmung, ob eine Anlage genehmigungspflichtig ist oder nicht einfließen, muss über die Auswirkungen einer Schwellenwertüberschreitung gesprochen werden. Diese werden in § 2 des 4. BImSchV festgelegt:

¹ Der baurechtliche Teil wird in dieser Arbeit nicht berücksichtigt, da er ohnedies bei jedem größeren Neubau zu beachten ist.

² 4. Verordnung zum Bundesimmissionsschutzgesetz (4. BImSchV).



„Zuordnung zu den Verfahrensarten

(1) Das Genehmigungsverfahren wird durchgeführt nach

1. § 10 des Bundes-Immissionsschutzgesetzes für

a) Anlagen, die in Spalte 1 des Anhangs genannt sind,

b) Anlagen, die sich aus in Spalte 1 und in Spalte 2 des Anhangs genannten Anlagen zusammensetzen,

c) Anlagen, die in Spalte 2 des Anhangs genannt sind und zu deren Genehmigung nach dem Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung¹ ein Verfahren mit Umweltverträglichkeitsprüfung durchzuführen ist,

*2. § 19 des Bundes-Immissionsschutzgesetzes im **vereinfachten Verfahren** für in Spalte 2 des Anhangs genannte Anlagen.“ [14]*

Sowohl ein förmliches als auch ein vereinfachtes Verfahren kann neben einem Neubau auch in zwei weiteren Fällen verpflichtend werden. Einerseits, wenn durch eine bauliche Änderung eine Steigerung bestimmter Mengen bewirkt wird, die zu einer Grenzwertüberschreitung führen, andererseits wenn durch eine entsprechende Novelle der 4. BImSchV Schwellenwerte nach unten korrigiert werden. Letzteres ist eine Besonderheit des BImSchG und soll eine nachhaltige Bauweise bewirken.

Die wesentlichen Punkte eines Genehmigungsantrags wurden ja bereits im vorigen Kapitel mit Hilfe des EU-Vorschlags aufgezeigt und sollen deshalb an dieser Stelle nicht eigens für Deutschland wiederholt werden, da große Überschneidungen zu verorten sind. Erwähnt werden sollte allerdings der Unterschied eines vereinfachten Verfahrens, der sich hauptsächlich dadurch auszeichnet, dass die Paragraphen „10 Abs. 2, 3, 4, 6, 7 Satz 2 und 3, Abs. 8 und 9 sowie die §§ 11 und 14 (Anm.: aus dem BImSchG) nicht anzuwenden“ [15] sind. Dies betrifft hauptsächlich den Umfang der Antragsunterlagen und die Veröffentlichungspflicht².

Wie die bereits des Öfteren erwähnten Schwellenwerte, welche im Anhang der 4. BImSchV gelistet werden, für das in dieser Arbeit betrachtete Projekt im Detail aussehen, wird nachfolgend kurz zusammengefasst. Der erste relevante Schwellenwert ist in Kategorie 1 „Wärmeerzeugung, Bergbau, Energie“ in Punkt 1.2 und betrifft Anlagen zur Erzeugung von Strom, Dampf, Warmwasser und vor allem Prozesswärme. Diese Energie ist für das Beheizen der Fermenter unumgänglich, um einen konstanten Betrieb zu gewährleisten.³ Wird dafür Biogas verwendet, so ist die Anlage erst ab einer Feuerungswärmeleistung von 10 bis 50 Megawatt nach Spalte 2 genehmigungspflichtig. Die Tatsache, dass in den meisten Biogasanlagen ein Produkt mit einem Energiegehalt von weit weniger als 10 MW erzeugt wird, lässt diese Klausel nebensächlich werden. Punkt 1.4 b), der Verbrennungsmotoranlagen gasförmiger Brennstoffen wie Biogas mit einer Feuerungswärmeleistung von 1-10 MW in Spalte 2 reglementiert, betrifft jedoch

¹ Anm.: Wird im Kapitel 2.7 behandelt und ab hier mit UVP abgekürzt.

² Es muss bedacht werden, dass ein Verfahren, vor allem durch die Einbeziehung der näheren Nachbarschaft, massiv in die Länge gezogen werden kann, sollten öffentliche Interessen dagegen sprechen.

³ Ebenso könnte in diesem Projekt, wenn es der laufende Betrieb verlangt, in der Nachrotte extern zugeführte Wärme benötigt werden. Auf solche verfahrenstechnischen Details wird jedoch erst in Kapitel 3.3 genauer eingegangen.



bereits einen beachtlichen Anteil der Biogasbetreiber, die ein BHKW dieser Größe am Standort betreiben.¹

Kategorie 8 „Verwertung und Beseitigung von Abfällen und sonstigen Stoffen“ bewirkt bei Anlagen, die eine Fermentation und eine Kompostierung kombinieren, nahezu in jedem Fall eine Genehmigungspflicht². Beabsichtigt man Kompostierungsanlagen (Punkt 8.5) zu bauen, so tritt diese Genehmigungspflicht bereits ab 3.000 Jahrestonnen nach Spalte 2, ab 30.000 Jahrestonnen nach Spalte 1 in Kraft. Bei Anlagen zur biologischen Behandlung von nicht gefährlichen Abfällen (Punkt 8.6) gilt dies ab 10 Tagestonnen nach Spalte 2, ab 50 Tagestonnen nach Spalte 1.³

Dass man jedoch nicht unbedingt nur wegen hohen Durchsatzmengen, sondern auch aufgrund von Lagerkapazitäten nach Spalte 2 betroffen sein kann, zeigt Punkt 8.12. Demnach führen „Anlagen zur zeitweiligen Lagerung von nicht gefährlichen Abfällen, [...] mit einer Gesamtlagerkapazität von 100 Tonnen oder mehr oder bei Anlagen zur Lagerung von Gülle und Gärresten mit einem Fassungsvermögen von 6.500 Kubikmetern oder mehr“ [14] zumindest zu einem vereinfachten Genehmigungsverfahren.⁴

2.7 Sonstige relevante Gesetze

Um das Kapitel „Rechtliche Rahmenbedingungen“ abzuschließen, werden im Folgenden noch zwei weitere Gesetze kurz zusammengefasst, die bei einer Anlagenkombination wie in Augsburg zu beachten sind.

Umweltverträglichkeitsprüfung

Eine UVP wird von Projektleitern aus einer Reihe von Gründen gefürchtet, da sie meist mit einem erheblichen Aufwand und oft auch mit zusätzlichen Umweltschutzmaßnahmen einhergeht, wodurch sie zuerst zu einer Bauverzögerung und in der Folge zu einem Kostenanstieg führen kann. Prinzipiell ist ein Vorhaben UVP-pflichtig wenn ein Größen- oder Leistungswert – oder mehrere verschiedene kumuliert – überschritten werden.⁵ Der Träger des Um- oder Neubauvorhabens hat demnach bei der zuständigen Behörde einen Antrag, ob eine Verpflichtung zur Durchführung einer UVP besteht, zu stellen. Daraufhin sollte von der Behörde auf „Grundlage geeigneter Angaben zum Vorhaben sowie eigener

¹ Da man sich bei dem Projekt in Augsburg jedoch für eine Gasaufbereitung mit nachfolgender Einspeisung geeinigt hat, ist auch dieser Punkt nicht von Relevanz.

² Bei diesen Anlagen kann aufgrund der ansonsten nicht gegebenen Wirtschaftlichkeit von einer gewissen Mindestanlagengröße ausgegangen werden. Die geplante Bioabfallbehandlungsanlage der AVA ist beispielsweise unter anderem deshalb nach Spalte 1 genehmigungspflichtig.

³ Bei der Ermittlung der relevanten Durchsatzleistung wird nicht ausschließlich auf den Abfallmengenstrom sondern auf den Gesamt-Input-Strom geachtet. Das bedeutet, dass es für eine Anlage, der täglich 10 Mg oder mehr zugeführt werden unerheblich ist, ob es sich bei diesen 10 Mg zu einem oder zu 100 Prozent um Bioabfälle handelt. [67]

⁴ Es sei vorweg erwähnt, dass die drei Endlager für den flüssigen Gärrest in dem betrachteten Projekt 8.595 m³ betragen werden.

⁵ Hier besteht eine große Ähnlichkeit zwischen dem UVP-Gesetz und dem BImSchG. Da letzteres jedoch enger mit der EU-Richtlinie über Industrieemissionen verknüpft ist, wurde das UVP-Gesetz nicht in die dritte Säule der Abbildung 1 aufgenommen.



Informationen“ [16] unverzüglich darüber entscheiden und das Ergebnis der Prüfung der Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden (§ 3a).

§ 6 des UVPG regelt die Auswahl und den Umfang der einzureichenden Unterlagen. Darin werden in erster Linie die entscheidungserheblichen Unterlagen über die Umweltauswirkungen des Vorhabens gefordert, dessen Inhalt und Umfang der Unterlagen „sich nach den Rechtsvorschriften, die für die Entscheidung über die Zulässigkeit des Vorhabens maßgebend sind“ [16] richtet. Dabei muss bedacht werden, dass eine nichttechnische Zusammenfassung beigefügt werden muss und die Unterlagen auch Dritten eine Beurteilung der Umweltauswirkungen dieses Projektes ermöglichen müssen. Im Gegensatz zu einer Genehmigung nach BImSchG sind bei einer UVP, eines relevanten Um- oder Neubaus in Grenznähe, auch jegliche umweltrelevante Auswirkungen auf das Nachbarland zu eruieren, was in einigen Fällen zu zusätzlichen Komplikationen führen kann. [16]

In Anhang A1 der vorliegenden Arbeit sind in einer Tabelle alle relevanten Grenzwerte angeführt, welche in Zusammenhang mit diesem Thema zu einer UVP führen könnten. Des Weiteren wird auf jeden einzelnen Punkt im Detail eingegangen, ob und weshalb der jeweilige Grenzwert bei dem Umbau in Augsburg überschritten wird. Es sei nur vorweggenommen, dass bei dem besprochenen Projekt nach Zeile 1.11.2, aufgrund der Aufbereitung eines erwarteten Gasertrags von ca. 5,4 Mio. Nm³ jährlich (> 2 Mio. Nm³/a) eine allgemeine Vorprüfung durchgeführt werden muss. Selbiges erfordert auch Zeile 8.4.2 wegen des täglichen Durchsatzes von 123 t (> 50 t/Tag) nicht gefährlicher Abfällen, die der biologischen Behandlung unterzogen werden.

Diese Vorprüfung wurde im Zuge des immisionsschutzrechtlichen Genehmigungsantrages auch durchgeführt und ergab, dass es durch die zusätzliche Fermentation vor der Kompostierung – unter Berücksichtigung der vorgesehenen Abluftbehandlung –, zu einer Verringerung der Umweltemissionen kommen wird. Somit muss die bestehende UVP des AHKW, wegen des Umbaus am Standort nicht erweitert werden. [17]

Verordnung über den Zugang zu Gasversorgungsnetzen

Die Gasnetzzugangsverordnung¹ regelt im Sinne des Energiewirtschaftsgesetzes

„die Bedingungen für eine effiziente Kapazitätsausnutzung mit dem Ziel, den Netzzugangsberechtigten diskriminierungsfreien Netzzugang zu gewähren, sowie die Verpflichtungen der Netzbetreiber, zur Erreichung dieses Ziels zusammenzuarbeiten“ [18].

Dies soll unter anderem die Biogas-Einspeisung bis 2020 von 6 Mrd. m³, bis 2030 von 10 Mrd. m³ ermöglichen (§ 31).

Die Netzanschlusskosten sind zu 75 Prozent vom Netzbetreiber und zu 25 Prozent vom Anschlussnehmer² zu tragen. Des Weiteren hat der Netzbetreiber die Verfügbarkeit des

¹ Ab hier kurz GasNZV.

² Die Beteiligung des Netzanschlussnehmers beträgt maximal 250 000 € außer die Verbindungsleitung weist eine Länge von über 10 km auf. [18]



Netzanschlusses zu mindestens 96 Prozent zu garantieren und für die Kosten von Wartung und Betrieb des Anschlusses aufzukommen (§ 33). Eine zusätzliche Einspeisung darf nur in jenen Fällen verweigert werden, bei denen sehr hohe Kosten für den Netzbetreiber entstehen würden (§ 34). Der Biogas-Einspeiser hat dafür zu sorgen, dass die Anforderungen an die Gasqualität aus den Arbeitsblätter G 260 und G 262 des Deutschen Vereins des Gas- und Wasserfachs e. V. (Stand 2007) erfüllt werden. [18] Dem Netzbetreiber gegenüber muss durch eine staatlich zugelassene Stelle beglaubigt werden, dass

„bei regelmäßigem Betrieb der Anlage bei der Aufbereitung des Biogases auf Erdgasqualität die maximalen Methanemissionen in die Atmosphäre den Wert von 0,5 Prozent bis zum 30. April 2012 nicht übersteigen. Danach darf die maximale Methanemission den Wert von 0,2 Prozent nicht übersteigen.“ [18]

Die Verantwortung und Kosten für die Odorierung und die Messung der Gasbeschaffenheit trägt der Netzbetreiber (§ 36). [18]

Zusammenfassend kann aus dem Kapitel 2 geschlossen werden, dass auch die aktuellen Gesetzesänderungen wieder bedeutende Einwirkungen auf die Abfallwirtschaft haben werden. Abgesehen von den Vorschriften, welche in jedem Fall einzuhalten sind, gibt es noch weitere Auflagen, die für das Erlangen einer erneuerbare-Energien-Vergütung notwendig sind.



3 Abfallverwertungsanlage Augsburg

Um in Kapitel 4 auf die Vorteile der zukünftigen Anlagenkombination in Augsburg eingehen zu können, wird im Folgenden kurz das bestehende Abfallwirtschaftskonzept der AVA beschrieben. Schließlich galt es, sofern es Sinn macht, möglichst viel der bestehenden Gegebenheiten in das neue System einzubinden. Dabei konnte sehr davon profitiert werden, dass die AVA seit jeher eine Vorzeigeorganisation im südlichen Raum Deutschlands ist und ihre Anlagen stets am Stand der Technik gebaut wurden.

3.1 Geschichte, Zahlen, Daten und Fakten der AVA

Im Jahre 1980 als "Zweckverband zur Vorbereitung der Errichtung einer zentralen Abfallbeseitigungsanlage für die Stadt Augsburg und die Landkreise Augsburg und Aichach-Friedberg" [19] gegründet, kam es erst zehn Jahre später zum Baubeginn des Abfallwirtschaftszentrums. Weitere vier Jahre dauerte es, bis die ersten Anlagenteile, die Restmüllsplitting- und die Kompostierungsanlage, ihren Betrieb aufnahmen. 1997 wurde noch das Abfallheizkraftwerk fertiggestellt, sodass in den darauffolgenden 15 Jahren auf einer Fläche von 235.000 m² der Müll von ca. 630.000 Bürgern aus Augsburg und Umgebung (siehe Abbildung 4) entsorgt wurde.



Abbildung 4: Entsorgungsgebiet der AVA [2]

Wie in Abbildung 5 ersichtlich ist, entfallen etwa je ein Fünftel des Areals der AVA auf das AHKW, die Restmüllsortierung, die Kompostierung, die Schlackenaufbereitung und eine freie Fläche, die für weitere Neubauten reserviert wurde. Am Standort sind derzeit 190 Mitarbeiter beschäftigt. Die Gesellschaft mit beschränkter Haftung ist zu 74,99 % im Besitz des öffentlich-rechtlich organisierten Abfallzweckverbandes Augsburg und zu 25,01 % eines privaten Partners. [19]



Abbildung 5: Satellitenbild der AVA; Foto: Google Earth

3.1.1 Abfallheizkraftwerk

Jährlich werden ca. 220.000 t von nicht recyclingfähigem Abfall¹ mit einem Heizwert von ca. 10.000 kJ/kg in drei Rostfeueröfen thermisch entsorgt. Der Inputstoff stammt einerseits aus Hausmüll der grauen Tonne bzw. hausmüllähnlichem Gewerbemüll und andererseits aus Sperrmüll und den abgetrennten Störstoffen aus der Kompostierung. Zwei Gasturbinen liefern daraus pro Jahr 100.000 MWh an Strom und 80.000 MWh an Fernwärme in das Augsburger Netz. Zusätzlich gibt es noch eine weitere Verbrennungsschiene für infektiöse Abfälle von Krankenhäusern oder ähnlichen Einrichtungen für 3.000 Jahrestonnen. [19]

3.1.2 Schlackeaufbereitung

Da Siedlungsabfall sehr viele Wertstoffe enthält, die im Vorhinein nicht alle ausgeschleust werden können, ist es sehr sinnvoll, diese nach der Verbrennung aus dem Outputmaterial zurückzugewinnen. Deshalb gelangt das Material in Augsburg nach einer Zerkleinerung zu einer händischen Trennung bei der unverbrannte Stücke dem Rost rückgeführt werden. Die restliche Schlacke wird mit Hilfe mehrerer Magnet- und Wirbelstromabscheider von jährlich rund 6.000 t Eisen- und NE-Metallen getrennt. In derselben Zeit werden 45.000 Tonnen aufbereiteter Schlacke per Schiene als Versatzmaterial zur Verfüllung von untertägigen Hohlräumen eines ehemaligen Steinsalzbergwerkes abtransportiert. [19]

¹ Damit ist unter den derzeitigen Bedingungen ein nicht-wirtschaftlicher Betrieb gemeint.

3.1.3 Restmüllsplitting

Ebenfalls am Standort befindet sich eine Sortierungsanlage für Siedlungsabfall, die durch eine rein mechanische Aufbereitung bestehend aus Zerkleinerung, Siebung und einer Metallabscheidung den heizwertarmen Anteil, große Folien und die verwertbaren Metalle aus dem Hausmüll abtrennt. Die dabei gewonnene heizwertreiche Fraktion wird zur Regulierung des Heizwerts mit Anteilen der abgetrennten heizwertarmen Schwerfraktion vermengt, um dem AHKW einen relativ konstanten Brennstoff liefern zu können und eine gleichmäßige Verbrennung zu gewährleisten.

Da sich nahezu der gesamte Teil des Umbau- und Erweiterungsprojektes auf dem Bereich der Kompostierung abspielt, wird diese im folgenden Kapitel ausführlicher beschrieben. Die wichtigsten baulichen Änderungen werden jeweils erwähnt. Emissionsbezogene Adaptierungen wurden an dieser Stelle noch keine erwähnt, da diese in Kapitel 3.3 gesondert beschrieben werden.

3.2 Die bestehende Kompostierungsschiene

Im Jahre 2014 wäre die Kompostieranlage der AVA 20 Jahre alt geworden. 1994 für ein Jahresdurchsatz von 75.000 t Bioabfall und Grünschnitt aus dem Gebiet Augsburg gebaut, lieferte diese Anlage bis Mitte 2013 jährlich etwa 18.000 t an Qualitätskompost. Dieser darf aufgrund ständiger Eigen- und Fremdüberwachung das Gütesiegel der "Bundesgütegemeinschaft Kompost" führen und ist bei Landschafts- und Gartenbaubetrieben sowie als Zuschlagstoff bei die Herstellung von Substraten bzw. Spezialerden, die unter der Produktgruppe "Schwabenerde" vertrieben werden, sehr beliebt. [19]

In Abbildung 6 ist eine Skizze der einzelnen Hallen der Kompostierungsschiene ersichtlich. Der Materialfluss erfolgt von rechts nach links.

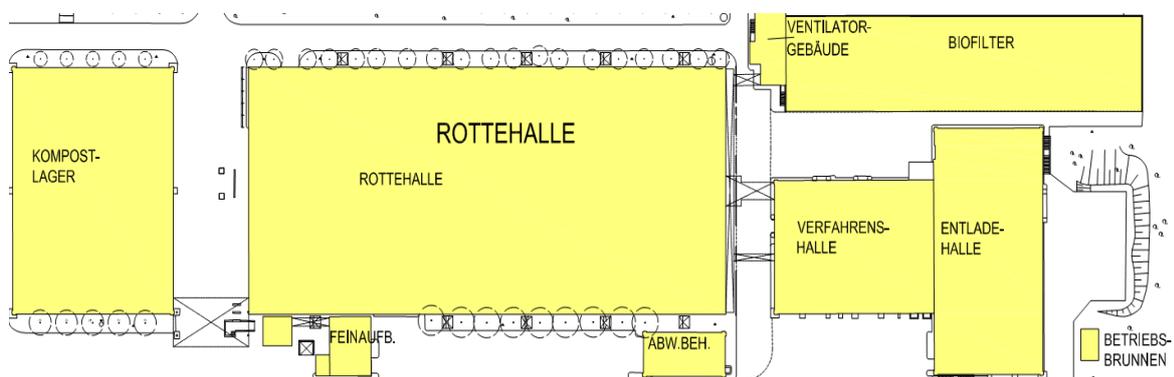


Abbildung 6: Überblick der bestehenden Kompostierungsanlage [20]

3.2.1 Entladehalle

Hier wurden und werden in Zukunft von Montag bis Freitag Abfälle aus der Biotonne sowie Grünschnitt angeliefert. War die Entladehalle, welche gleichzeitig als kleiner Puffer diente, bereits sehr ausgelastet, bestand vor der Halle zusätzlich die Möglichkeit Grünschnitt kurzzeitig zwischenzulagern. Abbildung 7 zeigt einen Vorzerkleinerer, der das angelieferte Material auch in Zukunft auf eine einheitliche Korngröße bringt.



Abbildung 7: Bestehende Anliefer- und Entladehalle mit mobilem Aufbereitungsaggregat (links) bzw. Lagerfläche für Grünschnitt (rechts)

Die in Abbildung 8 ersichtliche Verbindung zur Verfahrenshalle wird entfernt und unter Berücksichtigung der geänderten Anforderungen neu errichtet. Im Zuge der Bautätigkeiten werden auch sämtliche Aufbereitungsaggregate aus dem nächsten Gebäude, der Verfahrenshalle, entfernt. Einerseits aus Gründen der sich unterscheidenden Anforderungen an das Ausgangsmaterial einer Vergärung im Vergleich zu einer Kompostierung, andererseits aus Platzgründen, da die Verfahrenshalle im neuen Systemverbund für andere Anlagen gebraucht wird. In Zukunft ist deshalb die gesamte Aufbereitung in dieser Entladehalle untergebracht.



Abbildung 8: Aufgabetrichter und Förderband zwischen Entlade- und Verfahrenshalle

3.2.2 Verfahrenshalle

Eine ebenfalls mobil ausgeführte Siebtrommel trennte Störstoffe größer 80 mm aus dem Inputmaterial ab. Diese wurden entweder über Förderbänder retour in die Entladehalle oder in einen Container gekippt, mit dem das Material anschließend in den Anlieferbunker des AHKW geliefert wurde. Wie in Abbildung 9 zu erkennen ist, erfolgte in der Verfahrenshalle auch die Abtrennung der Wertstoffe Eisen- und NE-Metalle. Auch diese wurden dem Container, der zum AHKW gebracht wurde zugeführt und nach der Verbrennung abermals aus der Schlacke mittels Metallabscheidern abgetrennt. Dieser Verfahrensschritt mit dem positiven Effekt der Hygienisierung wird auch bei der neuen Anlage notwendig sein, um die Wertstoffe wieder in den Kreislauf rückführen zu können.



Abbildung 9: Verfahrens- und Ersatzteillagerhalle

In der Verfahrenshalle bot sich aber auch Platz zur Lagerung von Ersatzteilen oder ähnlichem. Die Steuerungswarte, von der aus dieses Foto aufgenommen wurde, war eher klein ausgeführt, da von der Leitzentrale des AHKW, welche täglich 24 h besetzt ist, ebenfalls auf die gesamte Kompostierung eingegriffen werden konnte. Dies wird auch in Zukunft der Fall sein und speziell bei der ablufttechnischen Anbindung der neuen Anlage an das AHKW von großem Vorteil sein. Ab Sommer 2013 werden in dieser Halle die Zwischenspeicher bzw. das Entwässerungsgebäude samt Dekanter und Tanks untergebracht sein.

3.2.3 Rottehalle

In der 134 m x 60 m großen Kompostierungshalle waren der Länge nach zwei große offene Rottebecken untergebracht, die jeweils mit einem vollautomatischen Umsetzgerät (siehe Abbildung 10) ausgestattet waren. Die Belüftung erfolgte von unten durch zehn Ventilatoren, die in Summe 45.000 m³ Frischluft pro Stunde bei einem Druck von 1.000 Pa durch die 2.800 m² großen Tafelmieten drückten. In der neuen Anlage werden auf einer Hälfte vier Intensivrotte- und acht Nachrottebecken Platz finden. Auf der anderen Seite werden jeweils drei Absetz- und drei Endlagerbecken für den flüssigen Dünger, der ebenfalls vermarktet wird, zur Verfügung stehen.



Abbildung 10: Blick auf eine Rottehälfte mit Umsetzer Wendelin®

3.2.4 Bisheriges Kompostlager

Die nachgeschaltete Feinaufbereitung bleibt ebenso wie die Lagerflächen für den fertigen Kompost (siehe Abbildung 12) unverändert. Ein bestehender Aufgabetrichter wird übernommen und etwas adaptiert, da dessen Beschickung nicht mehr automatisch mittels Förderband, sondern in Zukunft mittels Radlader erfolgen wird. Es kann sein, dass der Betreiber seine große Produktpalette etwas verkleinern wird, weshalb auch die im überdachten Freibereich gelagerten Substrate, welche zur Herstellung von Erdenmischungen benötigt wurden, reduziert werden können.



Abbildung 11: Lagerflächen für verschiedene Substrate



Abbildung 12: Lagerflächen für den fertigen Kompost

3.2.5 Bisheriger Biofilter

Auf 102 m Länge und 22 m Breite entfernen Mikroorganismen in ca. 3.400 m³ Biomasse einen Großteil der organischen Geruchstoffe aus der Abluft. Dafür wurden bisher hauptsächlich geschreddertes und zerklebertes Wurzelholz eingesetzt, welches auch weitergenutzt werden kann, obwohl sich die Verfahren und deshalb auch die Abluftzusammensetzung ändern werden.¹ Um einen optimalen natürlichen Abbau und somit eine biologische Reinigung der auf dem festen Trägermaterial angesiedelten Mikroorganismen zu ermöglichen, wurde der Abluftstrom vorher durch einen neutralen Wäscher bis zur Sättigung befeuchtet. Auch dieser Wäscher bleibt bestehen, muss allerdings durch die hinzukommende Fermentation, um einen sauren Wäscher ergänzt werden.

3.2.6 Abwasserbehandlung

Da die Abwasserbehandlungsanlage der Kompostierung² außerhalb der Rottehalle angebracht ist, beeinflusst sie die baulichen Veränderungen nicht, weshalb sie auch weiterhin verwendet werden kann. Sie besteht hauptsächlich aus einigen Filtern und drei

¹ Auf solche und weitere Details der neuen Anlage wird in Kapitel 3.3.11 eingegangen.

² Im Betrieb bzw. ab hier kurz ABA Komp genannt.

kleinen Speichertanks und ermöglicht das bequeme Entsorgen der organisch belasteten Abwässer, welche in das AHKW eingedüst werden können (siehe Abbildung 6). Als Folge des neuen Kreislaufwirtschaftsgesetzes wird der biogene Anteil im Restabfall in den nächsten Jahren kontinuierlich sinken, was wiederum als Folge des höheren TS-Gehaltes einen Anstieg des Heizwertes bewirkt. Durch das Einsprühen des Abwassers kann die Verbrennungstemperatur am Rost geregelt und so auf mögliche Brennwertschwankungen des heterogenen Inputs Siedlungsabfall reagiert werden. Dadurch wird der neuen Anlagenkonstellation erlaubt, überschüssige Prozesswässer, die beispielsweise in den Wintermonaten als Flüssigdünger keinen Absatz finden werden, kostenneutral zu entsorgen. Ist die Entsorgung über diesen Weg aus irgendeinem Grund nicht möglich, so müssen die Abwässer zur öffentlichen Kläranlage der Stadt Augsburg weitergeleitet werden.



Abbildung 13: Blick in die ABA Kombi

3.3 Die neue Verwertungsschiene für Bioabfall

In diesem Kapitel werden die einzelnen Bestandteile der zukünftigen Vergärungs- und Kompostierungsanlage unter die Lupe genommen. Der Fokus wird dabei auf die emissionstechnischen Aspekte gelegt, um den innovativen Charakter dieser Anlagenkonstellation zu unterstreichen.

3.3.1 Grobaufbereitung

Wie bereits erwähnt wird die Aufbereitung künftig bereits in der Anlieferhalle erfolgen. Da jedoch das bestehende Zerkleinerungsaggregat auch zuvor schon in dieser Halle war und zusätzlich nur Siebe¹ und Metallabscheider hinzukommen, wird sich an der Emissionszusammensetzung bis auf einen etwas höheren Staubanteil² nichts ändern. Hauptausschlaggebend dafür ist, dass die Müllzusammensetzung unverändert bleibt und sich weiterhin aus den Kategorien 20 02 01 biologisch abbaubare Abfälle, 20 03 01 gemischte Siedlungsabfälle und 20 03 02 Marktabfälle nach Abfallverzeichnisverordnung³

¹ In Zukunft wird nicht wie bisher bis 80 mm sondern bis 60 mm abgesiebt werden, um eine bessere Aktivität im Fermenter zu garantieren. Die übrig gebliebene Fraktion größer 60 mm, welche vor allem aus Folienanteilen besteht, wird weiterhin in einem Container gesammelt und per Lkw zum Müllbunker des AHKW transportiert, wo die Störstoffe thermisch behandelt werden.

² Dieser wird am Ende der Verfahrenshalle mittels Filter abgetrennt um nicht zu einer Schlamm- oder Schmutzbildung im neutralen Wäscher oder einer möglichen Verschmutzung des Biofilters zu führen. Die von der 30.BImSchV [44] bzw. TA-Luft [55] reglementierten Staubemissionen von 10 mg/m³ im Tagesmittelwert bzw. 30 mg/m³ im Halbstundenmittelwert können somit unterschritten werden.

³ Zur Erinnerung: Das war in Kapitel 2.4 auch die Voraussetzung, um einen Anspruch auch die EEG-Umlage zu haben.

zusammensetzen wird. Der Grobkorn- und Störstoffgehalt des angelieferten Bioabfalls in Form von Plastikfolien oder Metallen beträgt etwa fünf Gewichtsprozent. [21]

Deshalb muss zusätzlich zu der bestehenden Hallenluftabsaugung keine weitere Lufttechnik vorgesehen werden. Das Gegenteil ist der Fall und so können die Luftmengen sogar reduziert werden. Da man bei der Planung und beim Bau der Anlage Ende der 90er-Jahre definitiv auf der sicheren Seite sein wollte, um ja keine Geruchsbelästigungen in die Nachbarschaft zu emittieren, waren die Luftmengen mit 70.000 m³/h am Tag und knapp 30.000 m³/h in der Nacht immer schon etwas überdimensioniert.¹ Da die neue Anlage in Zukunft zusätzlich mit einem geringeren Abfalldurchsatz betrieben wird, sollte somit aus Gründen der Wirtschaftlichkeit die Ventilatorleistung ebenfalls etwas reduziert werden. Für die rund 17.000 m³ große Halle würde ein zweifacher Luftwechsel pro Stunde und somit eine Absaugleistung von 34.000 m³/h mehr als ausreichen. Es wird auch wie bisher getaktet entlüftet werden, um Energiekosten zu sparen.² Begünstigend kommt hinzu, dass bei der Zufahrt zur Halle Schnellauftore angebracht sind, die den Luftaustausch der sich im leichten Unterdruck befindenden Halle mit der Umgebung minimieren. Diese dürfen nach der Genehmigung vom 28.01.1991 sowie nach der aktuellen Genehmigung für das Umbauprojekt jedoch nur zum Ein- und Ausfahren der LKW für das Entladen geöffnet werden. [12] Selbiges gilt für das Abholen der Störstoffcontainer welches früher in der Verfahrenshalle, in Zukunft aber ebenfalls in der Anlieferhalle der Fall sein wird. Zusätzliche Plastikschrürzen oder sogar eine LKW-Schleuse sind alleine schon deshalb nicht notwendig, da selbst in der Halle nur eine sehr geringe Geruchsbelästigung vorherrschen wird.

Des Weiteren sind über den Emissionsschwerpunkten wie beispielsweise dem Zerkleinerungsaggregat Absaugstutzen mit Prallplatten angebracht. Diese könnten in Zukunft, um den Effekt weiter zu verstärken, noch mit Essen ausgestattet werden, mit denen die Abluft noch besser gebündelt werden kann. Die Tatsache, dass der biologische Abfall in der neu gestalteten Anlieferhalle nur aufbereitet und nicht für längere Zeit zwischengelagert werden wird, führt zu einer weiteren Reduktion der Abluftbelastung als bisher.³ Dies geschieht aus zwei Gründen. Einerseits wird der Platz in der Halle durch die zusätzliche Aufbereitungstechnik samt Förderbändern, welche früher in der nachfolgenden Verfahrenshalle stationiert waren, dezimiert. Andererseits ist eine Zwischenspeicherung beispielsweise im Falle eines Eintragsstops des Fermenters an dieser Stelle nicht notwendig, da in der Verfahrenshalle drei eigene Zwischenspeicher errichtet werden. Im Genehmigungsverfahren wurde von der Regierung von Schwaben noch darauf aufmerksam

¹ Da bisher bei jedem größeren Umbau auf dem Gelände von Umweltaktivisten vor den Toren protestiert wurde, versucht die AVA tunlichst jegliche Angriffsfläche ihrerseits zu vermeiden.

² Wie das Verhältnis von Ventilator-AN zu Ventilator-Pause im Detail aussieht, war zu diesem Zeitpunkt noch nicht genau definiert und kann auch vom Betreiber während des Betriebs je nach Geruchsbelästigung nahezu nach Belieben verändert werden.

³ Wie groß der emissionstechnische Unterschied quantitativ ist, ob frische Bio- und Grünabfälle nur kurz zwischengelagert werden, oder bis zu mehreren Tagen in der Anliefer- oder Bunkerhalle verweilen, zeigen Messungen von Cuhls. Erfolgt je Arbeitstag ein vollständiger Materialdurchsatz, so werden 18 g CH₄ und 1,4 g N₂O je Mg Abfall emittiert. Verbleiben diese Abfälle über Nacht, so steigen die Belastungen auf 64 g CH₄ und 14 g N₂O je Mg, bei einer Lagerung über mehrere Tage bis auf 230 g CH₄ und 20 g N₂O je Mg. [26]

gemacht, dass nach der Technischen Regel für Biologische Arbeitsstoffe TRBA 214 Nr. 5.4 „Abfallbehandlungsanlagen einschließlich Sortieranlagen in der Abfallwirtschaft“, Radlader oder ähnliche bemannte Maschinen bzw. Fahrzeuge zur Bewirtschaftung des Anlieferbereichs über eine geschlossene, klimatisierte Kabine mit Schutzbelüftungsanlage verfügen müssen. [17] Dasselbe gilt übrigens auch für das Umsetzen in der aeroben Nachbehandlung. Da aber auch hier auf bestehende Gerätschaften zurückgegriffen werden kann, welche bereits mit diesen Umbauten versehen sind, entstehen keine weiteren Kosten für zusätzliche Anschaffungen.

Die gesamte erfasste Abluft aus dieser Halle wird über die bestehende Rohrleitungstechnik in die angrenzende Halle geleitet, in der weitere leicht belastete Abluftströme hinzukommen werden. Wie bereits in der Problemstellung in Kapitel 1.1 kurz angedeutet, kann diese weniger mit organischen Bestandteilen versehene Luft direkt den bestehenden Reinigungsweg über den neutralen Wäscher zum Biofilter gehen. Die gesondert eingehausten Förderbänder führen direkt in die nächste Halle, die Verfahrenshalle, in der sie, je nach Füllstand, einen der drei Zwischenspeicher befüllen. Anfallendes Abwasser aus der Anlieferhalle wird durch Gullis abgezogen und gemeinsam mit dem Abwasser aus der Verfahrenshalle der ABA Komp zugeführt. Bevor in den folgenden Kapiteln der Weg des Substrats weiter verfolgt wird, zeigt Abbildung 14 (ein Ausschnitt aus Anhang A3) sehr detailliert die neue Aufteilung der Verfahrenshalle, in der sich von nun an die Zwischenspeicher und das Pressegebäude befinden. Des Weiteren sind im Pressegebäude neben den Entwässerungspresen auch der Dekanter und drei kleine Speichertanks für Press-, Zentrat- und Perkolatwasser untergebracht.

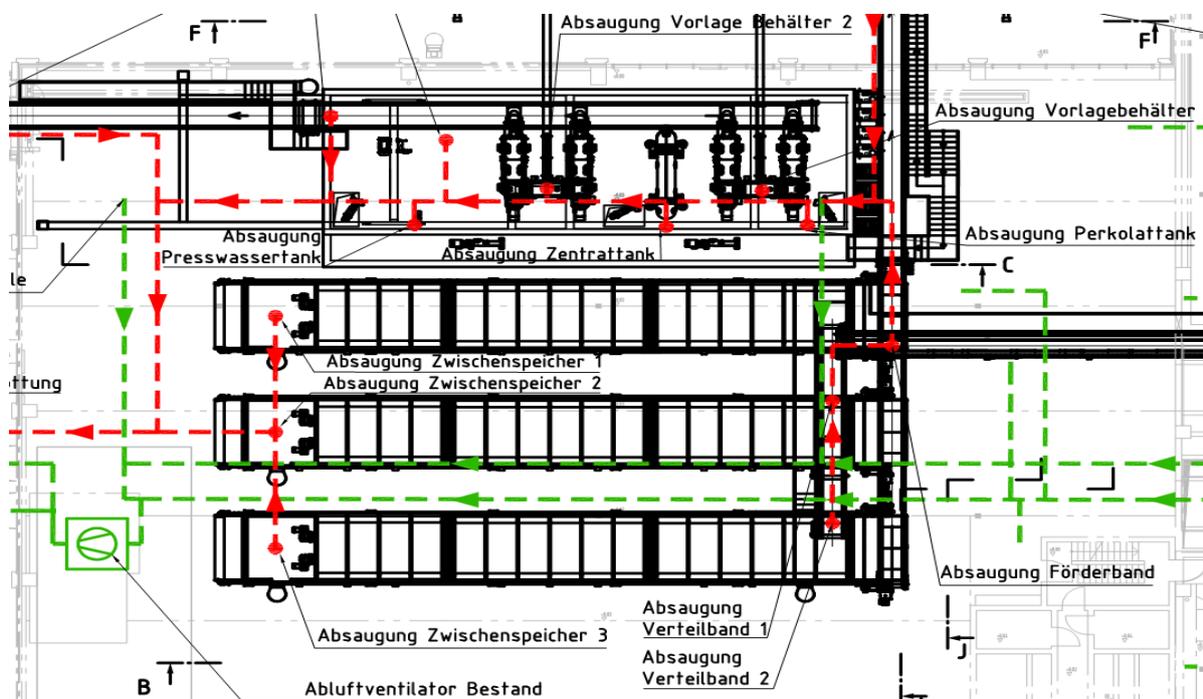


Abbildung 14: Übersichtsplan der Verfahrenshalle mit angedeuteter Ablufttechnik (grün = Bestand, rot = neu)

3.3.2 Zwischenspeicher

Diese drei Zwischenspeicher mit einem Speichervolumen von je 200 m³ sind deshalb unumgänglich, weil sie ein kontinuierliches Füttern der Vergärung auch an Wochenend- und Feiertagen gewährleisten. Ausgehend von den 45.000 t pro Jahr, für welche die Anlage primär ausgelegt wird, entspricht dies abzüglich von ca. 3.500 t an Störstoffen pro Jahr einer täglichen Menge von ca. 115 t

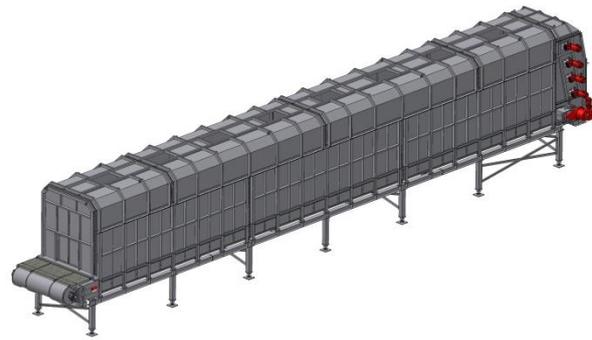


Abbildung 15: Schaubild eines TBM-200

bzw. 150 m³. Bezieht man jedoch eine gewisse Sicherheit in die Rechnung mit ein und berücksichtigt die mögliche Erweiterung auf 65.000 t/a, so macht ein 200 m³ großer Speicher Sinn. Mit Speichern kann auch eine etwas längere anlieferlose Zeit, wenn beispielsweise Wochenenden und Feiertage aufeinandertreffen, überbrückt werden. Dadurch entsteht im Wesentlichen eine Entkopplung der Anlagenteile „Aufbereitung“ und „Vergärung“, womit die arbeitstäglich anfallende Abfallmenge gleichmäßig über 24 Stunden pro Tag und 365 Tage pro Jahr in die Fermenter dosiert werden kann.

Die einzelnen Zwischenspeicher bestehen aus:

- Schneckenegalisatoren zum Verteilen des Inputs
- Fräskopf mit Abfräswalzen (bei dem Schaubild in Abbildung 16 nicht erkenntlich)
- Kratzerkette durch Mitnehmer verbunden
- Unterkonstruktion für waagerechte bzw. schräge Aufstellung [12]

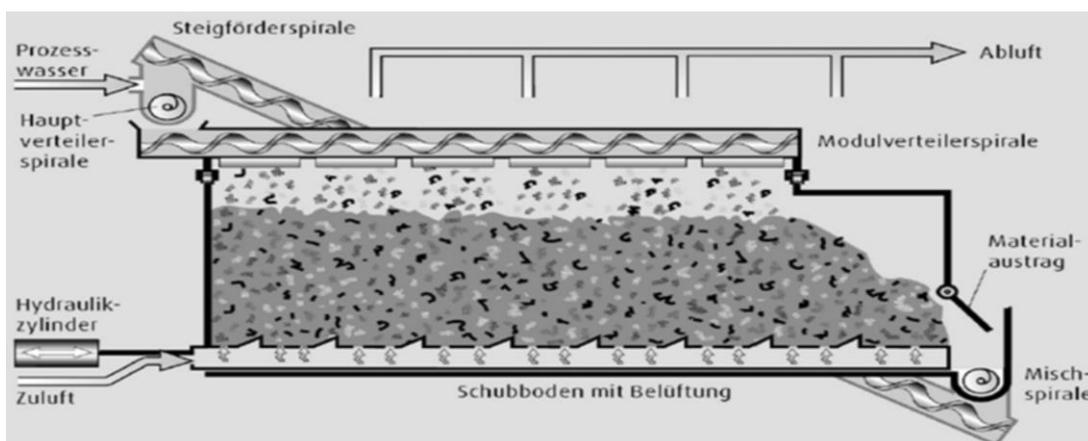


Abbildung 16: Skizze eines ähnlichen Zwischenspeichers in der Seitenansicht [22]

Mit dieser Technik, die es auch erlaubt den Speicher gleichzeitig befüllen und entleeren zu können, weisen die Speicher je nach Bedarf einen unterschiedlichen Füllstand auf. In den Wintermonaten, in denen auf Grund des fehlenden Grünschnitts die Abfallmengen generell geringer sind, kann es auch von Vorteil sein, einen oder sogar zwei Speicher komplett zu leeren. Der Grund dafür ist, dass ein gereinigter unbenützter Speicher nicht durch Einfrieren

zu Verstopfungen führen kann. Bei dem kontinuierlichen Betrieb nur eines Speichers, tritt selbst durch den teilweise gefrorenen Bioabfall kein Einfrieren der beweglichen Teile im Speicher ein. Die Tatsache, dass die Hallen in Augsburg alle beheizt sind, gibt dafür weitere Sicherheit.

Die Zwischenspeicher sind gekapselt und an das Abluftsystem angeschlossen. Der Bereich der Materialübergabe von der Grobaufbereitung zu den Zwischenspeichern ist mittels Übergabetrichtern geschlossen. Die Abluft wird an diesen Übergabetrichtern gefasst, wodurch auch die Zwischenspeicher an sich im Unterdruck gehalten werden. Untersuchungen des bifa-Umweltinstitutes aus dem Jahre 2002¹ belegen für den Müllbunker einer Vergärungsanlage von 35.000 t Bioabfall pro Jahr eine Geruchsbelastung von 3.000 Geruchseinheiten² pro abgesaugtem Kubikmeter Luft. [23] Dieser Geruchsstrom wurde bei einem Abluftvolumenstrom von 5.000 m³/h gemessen, wodurch von einer Geruchsbelastung von 15 Mio. GE/h ausgegangen werden kann. Bei unserem Jahresdurchsatz von 45.000 t/a würde dies bei einem angenommenen proportionalen Verhalten einer Belastung von ca. 19,3 Mio. GE/h gleichkommen. Bei der Auslegung der Lufttechnik wurde ein Abluftstrom von 400 m³ pro Stunde und Zwischenspeicher berücksichtigt. Dies entspricht einem doppelten Luftwechsel, wenn der Speicher nahezu leer ist bzw. einem 20-fachen Luftwechsel, wenn dieser zu 90 % gefüllt ist. Obwohl eine solche Umrechnung mit einer hohen Ungenauigkeit verbunden ist, kann davon ausgegangen werden, dass sich die durchschnittliche Geruchsbelastung der 1.200 m³/h welche aus den Zwischenspeichern abgesaugt werden, auf ca. 16.000 GE/m³ beläuft.

Die dafür notwendigen Abluftrohre müssen ebenfalls neu errichtet werden, wie die Absaugleitungen, die den abgedeckten Substratförderbändern von diesem Punkt an folgen. Sie führen vom Zwischenspeicher zu den Mischern und saugen jeweils an den höchsten Stellen punktuell ab. Je nach Materialbeschaffenheit (Temperatur, Feuchte) kann bei einem etwas längeren Verbleib im Speicher bereits ein Zersetzungsvorgang eingeleitet werden. Somit bilden sich in der Abluft bereits größere Mengen an Ammoniak, welches im Biofilter zu dem extrem klimaschädlichen Lachgas mit einem Treibhauspotential von 298 [24] führen würde. Deshalb zählt diese Abluft bereits zu der höher belasteten, welche ins AHKW geleitet wird.

Das in den Zwischenspeichern bereits anfallende Perkolatwasser wird in den im Entwässerungsgebäude, vorhandenen Perkolatwassertank geleitet und kann in weiterer Folge je nach Belieben dem Mischer zugegeben werden.

3.3.3 Mischer inkl. Eintragspumpe

Der Mischer (siehe Abbildung 17) dient, wie der Name schon sagt, zum Homogenisieren der Inputmaterialien, um dem Fermenter eine konstante Beschickung zu ermöglichen und somit für einen optimalen Betriebsablauf zu sorgen. Dies ist gerade bei Bioabfallvergärungsanlagen umso wichtiger, da diesen im Vergleich zu den konventionellen NaWaRo-Biogasanlagen

¹ Diese Untersuchungen wurden für die Erstellung des bifa Blatts 3475 durchgeführt.

² Ab hier kurz GE.



keine gleichbleibenden Substrate geliefert werden. Der Befüllungsablauf erfolgt chargenweise zeit- und gewichtsgesteuert¹. Je nach Bedarf wird von der Anlagensteuerung der richtige Mix aus festem Abfall und Press-, Perkolat- oder Zentratwasser ermittelt. Die Untersuchungen zum VDI Blatt 3475 haben ergeben, dass im Vergleich zur aeroben Kompostierung bei der Vergärung von Bioabfällen das Luftporenvolumen keine Rolle spielt und daher kein zusätzliches Strukturmaterial erforderlich ist. [23]



Abbildung 17: Mischer samt Plattenschieber [23]

Eine eigenständige Verfahrensführung bedarf jedoch viel Erfahrung, weshalb der Betreiber in die vom Anlagenbauer vordefinierte Steuerung erst einige Monate nach der Inbetriebnahme eingreifen sollte. Trifft jedoch jener Fall ein, dass alle drei Flüssigkeitstanks leer sind, kann natürlich auch Frischwasser verwendet werden. Dies beeinträchtigt allerdings die Aktivität der Vergärung im Vergleich zu dem mit Organik angereicherten Wasser und würde auf Dauer zu höheren Betriebskosten führen. Durch die Hinzugabe von Press-, Perkolat- oder Zentratwasser entstehen im Mischer bereits deutlich höhere Geruchsemissionen als in den Zwischenspeichern. Deshalb werden auch die ca. 3 m³ großen Mischer mit einem zehnfachen Luftwechsel pro Stunde abgesaugt und diese Luft zu der Sammelleitung in der Verfahrenshalle geleitet.

Während des Dosierens und in der Nachlaufzeit sind die Mischschnecken in Betrieb und wechseln zyklisch die Drehrichtung, um ein pumpfähiges Gemisch zu erzeugen. Nach der Aufbereitung einer Charge fördern die Mischschnecken das Substrat über den Austragsstutzen (siehe Abbildung 18) und die Eintragspumpe beginnt mit dem Beschicken des Fermenters. Der Mischer wird dabei nie ganz entleert, damit der Luftabschluss zum Eintrag sichergestellt ist. Zusätzlich zu dem Frischmaterialhub wird immer wieder ein Impfhub eingeschoben. Dabei zieht die Kolbenpumpe zuerst fertig fermentiertes Material am anderen Ende des Fermenters ab und drückt es im nächsten Zyklus am vorderen Ende wieder hinein. Dies garantiert ein schnelleres Starten der Hydrolyse und somit eine kürzere Mindestlaufzeit des Materials. Obwohl die Plattenschieber und auch die Eintragspumpe gelegentlich geringe Leckagen haben, sind idR keine flüssigen oder gasförmigen Emissionen zu erwarten.²



Abbildung 18: Eintragspumpe [79]

¹ Der Mischer steht auf Wiegezellen.

² Laut bifa sollten im Bereich der Einspeisepumpe Geruchsemissionen von bis zu 50.000 GE/m³ vorherrschen. [32] Bei den eigenen Anlagenbesuchen konnte dies jedoch nicht bestätigt werden.

3.3.4 Fermenter

Entgegen den früher sehr gerne verwendeten diskontinuierlich betriebenen Nassfermentern folgt man bei der Firma Thöni Industriebetriebe dem Trend der kontinuierlichen Trockenfermentation, welche sich durch einen TS-Gehalt von 20-30 % – also ca. dem doppelten Wert im Vergleich zur Nassfermentation – charakterisiert. Die dritte Entscheidungsmöglichkeit, ob der Betrieb ein- oder zweistufig erfolgt, wird einem bei dieser Bauform zu Gunsten der einstufigen Fahrweise abgenommen. Dadurch, dass der Fermenter, wie in Abbildung 19, zu erkennen ist, liegend ausgestaltet ist, entsteht in Kombination mit der hohen Viskosität des Gärsubstrats annähernd ein Pfropfstrom.

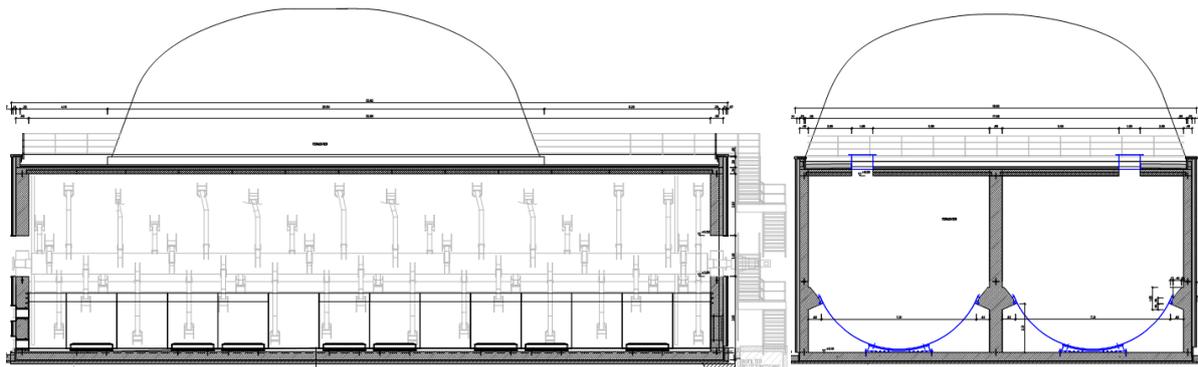


Abbildung 19: Fermenter in zwei Seitenansichten

Gelingt es mit Hilfe von konstruktiven und verfahrenstechnischen Maßnahmen das Entstehen von Kurzschlussströmen sicher zu vermeiden und sorgt man für eine ausreichende Verweilzeit, so finden nach der Hydrolyse auch gleich die säurebildende Phase (Acido- bzw. Acetogenese) und die Methanogenese statt, wodurch ein weiterer Nachfermenter eingespart werden kann. Man entschied sich in Augsburg nur deshalb für einen Doppelfermenter mit jeweils 1.600 m³ Nutzvolumen, da man ansonsten die 45.000 t/a nicht garantieren hätte können. Wie in Abbildung 20 (siehe nächste Seite, Ausschnitt aus Anhang A3) zu sehen ist, wurde an einer Seite noch Platz vorgesehen, damit an dieser Stelle, bei einer späteren Kapazitätserweiterung auf 65.000 t/a, ein baugleicher dritter Fermenter errichtet werden kann. Wenn man diese Skizze mit Abbildung 6 vergleicht, so sieht man, dass die beiden Fermenter zum Großteil auf dem Grund des ehemaligen Biofilters stehen, welcher in der neuen Anlagenkonstellation nur mehr halb so groß ausgeführt ist. Aufgrund der Reduktion des Abfalldurchsatzes von früher 75.000 t/a und der Tatsache, dass 30.000 m³/h an hochbelasteter Abluft in das AHKB eingeleitet werden dürfen, wird der Biofilter auch in Zukunft für den Abbau der biologischen Abluftbestandteile ausreichend dimensioniert sein. Auf der durchgehend betonierten und mit 20 cm Isolierung ausgestatteten Decke des Fermenters erfolgt eine strikte Trennung zwischen Fermenter und Gasspeicher. Dieser ist als ein 1.500 m³ großer Doppelmembrangasspeicher ausgeführt und zusätzlich gummiert, da ansonsten Zitrusfrüchte und andere Substrate Probleme infolge möglicher aggressiver Gase verursachen könnten. Durch diese Sicherheitsmaßnahmen wird eine Lebensdauer von acht Jahren gewährleistet. Sämtliche andere Oberflächen, welche dem Biogas ausgesetzt sind, werden beschichtet, weshalb auch hier, bei regelmäßiger Kontrolle, ein Gasaustritt nahezu ausgeschlossen werden kann.

Natürlich werden die Fermenter nach Stand der Technik mit Über-/Unterdrucksicherungen in Form von Berstscheiben an der Decke ausgestattet. Da aber ein solch schwerwiegender Störfall im Normalfall äußerst selten eintritt, darf die Luft im Falle eines Blowout in die Atmosphäre entweichen und es müssen keine weitere Sicherheitseinrichtung zum Fassen dieses Luftstoßes vorgesehen werden. Im Zuge der kontrollierten Biogasentnahme sind natürlich keine Emissionen zu erwarten. Als Sonderfall muss das Befüllen des Fermenters angesehen werden, bei dem die im Fermenter befindliche Luft verdrängt wird. Obwohl dieser Vorgang im Leben eines Fermenters meist nur einmal erfolgt, sollte die Luft über einen Wäscher und Biofilter gereinigt werden. In der Praxis ist dies doch leider nur äußerst selten der Fall. Der vierte und letzte Parameter der bei der Planung und beim Betrieb einer Vergärungsanlage variiert werden kann, ist die Temperatur im Inneren.

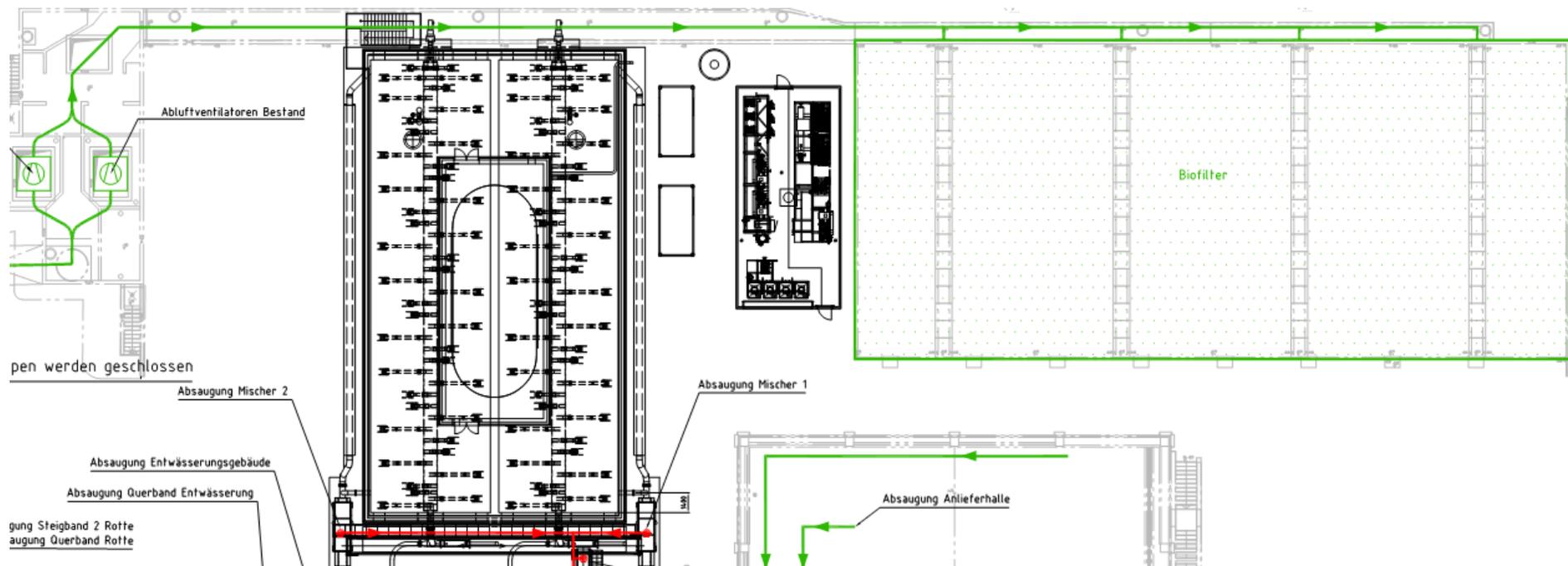


Abbildung 20: Draufsicht auf den Fermenter und verkleinerten Biofilter

Prinzipiell kann der Fermenter meso- (32 bis 38°C [23]) oder thermophil (50 bis 55°C [23]) betrieben werden, wobei letzterers den großen Vorteil mit sich bringt, dass dann bereits in der anaeroben Stufe eine Hygienisierung¹ ermöglicht wird. In unserem Fall verbleibt das Gärsubstrat für 18-21 Tage im Gärraum des Fermenters und wird durch eine Gastherme konstant im thermophilen Betriebstemperaturniveau von mindestens 50°C gehalten. Prinzipiell gilt, je konstanter die Substrattemperatur, desto besser gelingt die Anpassung der Mikroorganismen. Dadurch werden laut Plöchl von der BioenergieBeratungBornim GmbH „in Abhängigkeit von Verweilzeit, Raumbelastung und Substrat im Fermenter jedoch nur 60 bis 90 % des maximalen Methanbildungspotenzials ausgeschöpft“ [25]. Die optimale Betriebsweise eines anaeroben Verfahrens ist von einer Reihe von verschiedenen Rahmenbedingungen abhängig. Die beteiligten Organismengruppen müssen in ausgewogenem Verhältnis und in ausreichender Zahl vertreten sein. Dies kann durch eine langsame Warminbetriebnahme des Fermentationszykluses erreicht werden. Obwohl ein Fermenter dieser Größe als ein relativ träges System angesehen werden kann, sind die Zwischenspeicher und die Mischer, die eine relativ konstante Substratzusammensetzung gewährleisten, von äußerst großer Wichtigkeit. Eine Störung des Gleichgewichts der verschiedenen Teilreaktionen, wie es beispielsweise bei einer pH-Wert-Absenkung infolge einer Anreicherung von organischen Säuren der Fall ist, hemmt die methanogenen Bakterien in ihrer Aktivität, sobald pH-Werte unter 6,5 erreicht werden. [23]

Demzufolge kann bei einer Überlastung der Mikrobiologie ein unvollständiger anaerober Abbau eintreten, welcher zusätzliche Geruchsstoffemissionen aus dem Gärprodukt verursacht. Unabhängig davon kann davon ausgegangen werden, dass es selbst bei optimaler Verfahrensführung auch bei den nachgeschalteten Anlagen zu Ausgasungen kommen wird. Aus diesem Grund ist der Bereich der Schneckenpressen und des Dekaners, welche oberhalb der Entwässerungstanks angebracht sind, gesondert eingehaust und somit lufttechnisch von der übrigen Verfahrenshalle getrennt.

3.3.5 Entwässerungspressen und Dekanter mit Flüssigkeitstanks

Der neben dem Biogas in der Prozesskette anfallende Gärrückstand ist ein Gemisch aus Wasser, nicht abgebauter zellulosereicher organischer Substanz sowie nicht organischen Bestandteilen wie z.B. Sand. Um zusätzlich zu dem auf Erdgasqualität aufbereitetem Gas auch das zweite Ziel – einen Qualitätskompost mit Rottegrad IV bis V und einem TS-Gehalt von 60 % – zu erreichen, muss dieser Gärrest vor der Kompostierung entwässert werden. Deshalb wird er im Anschluss an die Vergärung mit einer Kolbenpumpe über die

¹ Aufgrund der deutschen Bioabfallverordnung (kurz BioAbfV) hat der Betreiber einer Behandlungsanlage biogener Abfälle für deren Hygienisierung zu sorgen. Diese ist für die Fermentation in Anhang 2 der Verordnung wie folgt festgelegt: Thermophiler Temperaturbereich über mehrere Wochen (anlagenspezifisch und nicht starr festgelegt); hohe biologische Aktivität bei günstigen Feuchte- (> 40%) bzw. Nährstoffverhältnissen sowie eine optimale Struktur und Luftführung (des Biogases) gewährleistet. [63]



Austragsleitung zu jeweils zwei Doppel-Schneckenpressen gepumpt (siehe Abbildung 22). In diesen wird dem Gärreststoff zirka ein Siebtel seines Wassers mechanisch abgetrennt, wodurch ein Presskuchen mit etwa 55 bis 60 % Restfeuchte und Presswasser entsteht. Das abgetrennte Wasser kann anschließend entweder direkt in die Absetz- und in weiterer Folge in die Endlagerbecken in der Rottehalle, in



Abbildung 21: Blick auf ein Schneckenpressenpaar

den Presswassertank oder in den Dekanter gepumpt werden. Dieses dekantierte Wasser wird im weiteren Verlauf als Zentratwasser bezeichnet und kann in dem eine Ebene tiefer zu findenden Tank zwischengespeichert werden. Die weiteren möglichen Verwendungswege der einzelnen Prozesswässer werden im Zuge dieser Arbeit nicht weiter vertieft. Es sei nur erwähnt, dass in diesem Zusammenhang der Raum, in dem sich die Pressen und der Dekanter befinden, sämtliche Förderbänder, der Press-, Zentrat- und Perkolatwassertank mit entsprechenden Quellenabsaugungen für die Abluft versehen sind.

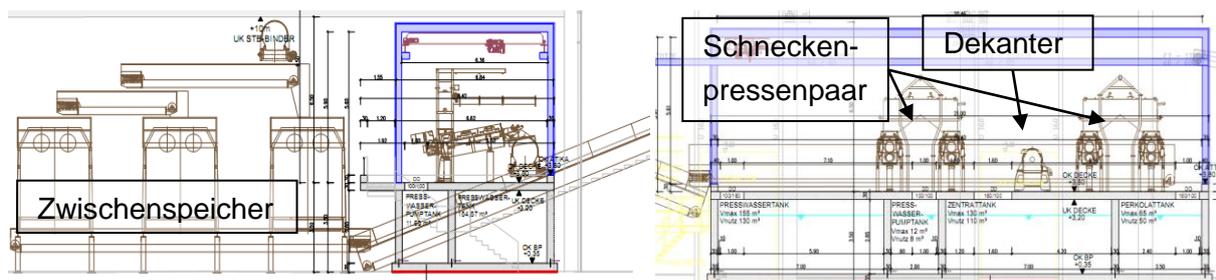


Abbildung 22: Zwei Seitenansichten des Pressengebäudes in der Verfahrenshalle

Absaugung hochbelasteter Abluft im Pressengebäude

Als bisher einzig bekannte Quelle untersuchte Cuhls 2008¹ neben den Abluftgesamtströmen vor bzw. nach dem Biofilter auch die separat erfasste Abluft, aus der Abpressung des Gärückstandes. Das Ergebnis lautet 2.500 g CH₄/Mg Abfall, 90 g NH₃ und 15 g N₂O.² [26] Im Detail wurden Emissionsspitzen an Gesamtkohlenstoff und Methan mit bis zu 700 mg/m³ Abluft gemessen. Diese Werte stammen aus Nachtzeiten bzw. Wochenenden und stehen in keinem Verhältnis zu den arbeitstäglichen Aktivitäten, bei denen aufgrund

¹ Da folgend mehrmals auf diese Studie Bezug genommen wird und sie auch Auslöser für den in diesem Kontext ebenfalls sehr bedeutenden bifa-Text Nr. 47 ist, muss erwähnt werden, dass die Ergebnisse nach dessen Veröffentlichung sehr kontrovers diskutiert wurden. Deshalb soll es beispielsweise im Frühjahr oder Sommer 2013 zu einer überarbeiteten Version des bifa-Text Nr. 47 mit neuen Messwerten kommen. Diese konnten leider bei der Erstellung dieser Arbeit aufgrund der Abgabefrist für die Masterarbeit nicht mehr berücksichtigt werden.

² Cuhls wies explizit darauf hin, dass entsprechende Untersuchungen zum ersten Mal durchgeführt wurden und daher mit großen Unsicherheiten verbunden sind. Dies drückt sich auch in den großen Spannweiten der Messwerte aus.

offener Hallentore viel niedrigere Werte detektiert wurden.¹

In der Arbeit wird der Fokus deshalb auf die Methan-, Ammoniak- und Lachgasemissionen gelegt, da sie von den vorkommenden Abluftbestandteilen das höchste Global Warming Potential² aufweisen³. Das GWP, welches in regelmäßigen Abständen von dem Intergovernmental Panel on Climate Change veröffentlicht wird, sieht für CH₄ ein GWP von 25, für N₂O ein GWP von 298 – also einen etwa 12 Mal stärkeren Treibhausgaseinfluss – vor.⁴ Es entsteht während des Bioabfallverarbeitungsprozesses natürlich auch CO₂, welches allerdings im Laufe der Wachstumsphase des Inputmaterials von der Umwelt verstoffwechselt wurde und deshalb als neutral angesehen werden kann.

Um die Geruchsbelastung, welche von der Gärrückstandsentswässerung ausgeht, besser einschätzen zu können, sei erneut der Vergleich zu der bifa-Studie aus dem Jahre 2002 angestellt. Deren Ergebnis, woraus nicht klar erkenntlich ist, ob es sich nur um die Entwässerung an sich oder auch um die Gärresttanks handelt, sieht eine Geruchsbelastung von 43.000 GE/m³ bei einem Abluftstrom von 800 m³/h vor. [23] Bezieht man diese 34,4 Mio. GE/h wieder auf die 45.000 Jahrestonnen, welche in Augsburg zukünftig durchgesetzt werden, so kommt man auf eine Geruchsbildung von ca. 44,2 Mio. GE/h. Dividiert man diesen Betrag durch die 6.200 m³/h, die aus dem Entwässerungsgebäude samt den 300 m³ großem Flüssigkeitstanks abgesaugt werden, erhält man einen durchschnittlichen Geruchsstrom von ca. 7.100 GE/m³. Diese Abluftmenge ergibt in Summe mit dem ebenfalls neu zu fassenden hochbelasteten Abluftströmen aus den Zwischenspeichern eine Menge von 7.700 m³/h, die über die bestehende Rohrbrücke in die Rottehalle geleitet werden.⁵

Bevor nun auch die zweite Halle abgeschlossen und die Situation in der Rottehalle näher betrachtet wird, muss kurz auf die bisherige Luftführung eingegangen werden. Schließlich gilt es ja aus Gründen der Wirtschaftlichkeit dieses Projektes so viel als möglich der bestehenden Infrastruktur weiterzuverwenden. Bisher wurden in der Anlieferhalle 70.000 m³/h an Abluft erfasst, welche in der Verfahrenshalle um weitere 20.000 m³ erhöht wurden. Bevor diese über die bereits angesprochene Rohrbrücke in die Rottehalle eingeblasen wurde, durchlief sie noch einen Filter (siehe Abbildung 23), der den Großteil des Staubes entfernte. Das Einblasen dieser sehr gering belasteten Abluft, welche

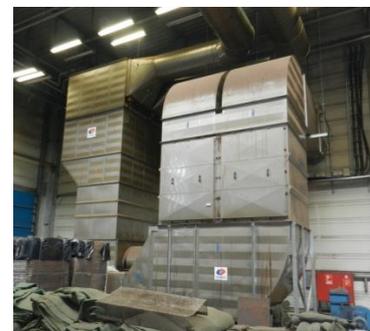


Abbildung 23: Blick auf den schallgedämmten Ventilator mit nachgeschaltetem Filter

¹ Dies zeigt, inwiefern sich das Offenhalten der Tore auf die sehr hohen und meist unterschätzten Emissionen bei einem nicht ordnungsgemäßen Betrieb der Anlagen auswirkt.

² Ab hier kurz GWP.

³ NH₃ selbst ist kein Treibhausgas, wird allerdings durch verschiedene biologische Prozesse zu N₂O oxidiert.

⁴ Für den Kohlendioxidäquivalent wird der Fourth Assessment Report (AR4) herangezogen. [65]

⁵ Diese Rohrleitungsbrücke wird zusätzlich mit einer bestehenden Ablufttechnik um 10.000 m³/h in die Rottehalle entlüftet.

nichtsdestotrotz gereinigt werden musste, hatte den Sinn, dass sie auf diesen Weg doppelt genützt werden konnte und in weiterer Folge der Biofilter nicht noch größer ausgelegt werden musste. Abbildung 24 zeigt den Anfang des rechten Rottebeckens. Abgesehen von



Abbildung 24: Blick auf die Einblas- und Absaugrohrleitungen in der Rottehalle

der bereits erwähnten äußeren Belüftung mit niedrig vorbelasteter Luft, wurden die beiden 110 m langen und 25 m breiten Tafelmieten zusätzlich von unten mittels 46.000 m³/h Frischluft beaufschlagt. Diese Außenluft wird durch zehn Ventilatoren mit jeweils 3 kW Leistung durch eine 40-60 cm dicke Kies- bzw. eine 10 cm dicke Hartholzschnitzelschicht in die Miete gedrückt. Die Lüftungshäuschen (siehe Abbildung 25) rechts und links außerhalb der Halle werden inklusive Ansaugfilter und Ventilatoren entsorgt, da dafür keine weitere Verwendung gefunden wurde. Über jeweils zehn Stichleitungen (eine davon versteckt sich in Abbildung 24 zur Hälfte hinter dem Hallenträger) auf beiden Seiten der Halle werden stündlich 206.500 m³ an Abluft abgesaugt. Dies bedeutet, dass zusätzlich zu den 136.000 m³/h, welche in die Halle gedrückt werden, weitere 70.500 m³/h, die durch die ebenfalls in Abbildung 25 ersichtlichen Nachströmgitter angesaugt werden, Richtung Biofilter geleitet werden. In Zukunft wird diese Halle längs der Mitte, wo sich derzeit ein Gang und alle sieben Meter ein Stützpfiler befinden, durch einfache Blechplatten aus verzinktem Stahl abgetrennt. Somit ist die neue Rotte auf der linken Seite von den Absetz- und Endlagerbecken auf der rechten Seite luftdicht abgetrennt, weshalb einerseits die Abluftabsaugung auf der Rotteseite erleichtert wird und andererseits es auf der Lagerbeckenseite zu keinen übermäßigen Staubablagerungen kommt.



Abbildung 25: Außenansicht der Rottehalle mit Belüftungshäuschen und Ansauggittern

3.3.6 Östliche Rottehallenhälfte mit Absetz- und Lagerbecken

Da die zukünftige Bioabfallverwertungsanlage einerseits einen geringeren Durchsatz verzeichnen wird und andererseits durch die zusätzliche Fermentation eine kürzere Rottedauer ermöglicht wird, besteht nicht mehr derselbe Platzbedarf für die Kompostierung wie früher. Deshalb wird die östliche Rottehallenhälfte (siehe Abbildung 26; ein Ausschnitt aus Anhang A3) dafür genützt, um die Absetz- und Lagerbecken für den flüssigen Gärrest unterzubringen. Das in Kapitel 2.4 vorgestellte EEG fordert als Bedingung für den Erhalt einer Förderung die gasdichte Lagerung des potentiellen Düngers für mindestens 150 Tage. Obwohl die Tanks nicht zwingend noch zusätzlich eingehaust sein müssen, bot es sich aus zweierlei Gründen an: Erstens, weil der Platz in der Halle ansonsten frei stehen würde und der nächstgelegene Platz im Freien ca. 100 m entfernt wäre. Zweitens, weil die Behälter für den Fall einer Havarie in einer Auffangwanne stehen müssen, welche mindestens den Inhalt eines Behälters aufnehmen kann. Deshalb wird die Rottehalle nach der Entkernung von ihrer Hartholzschnitzel- und Kiesdecke befreit und mit einem beschichteten Betonboden ausgestattet. Die unter der Kiesschicht vorhandene zweilagige Folienabdichtung bleibt bestehen, um zusätzliche Sicherheit zu geben. Da man somit den Hallenboden etwas absenken kann, reicht das entstandene Auffangbecken aus, um bei einer Leckage ein Ausdringen des flüssigen Gärrestes in die Umwelt ausschließen zu können.

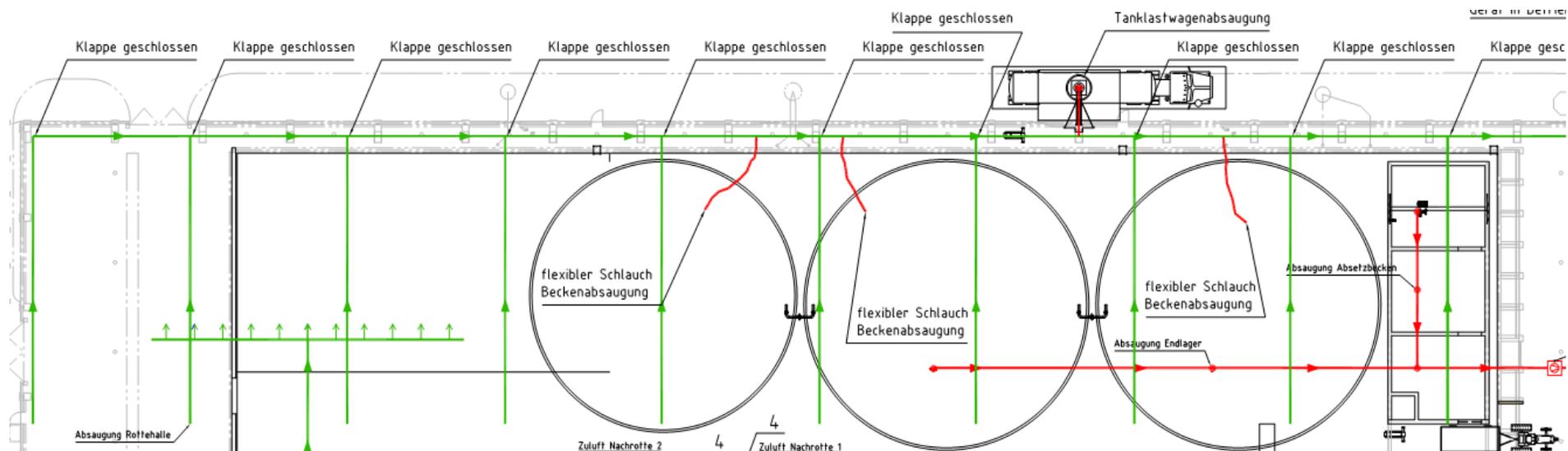


Abbildung 26: Skizze der östlichen Rottehallenhälfte mit angedeuteten Abluftleitungen

Um als gütegesicherter Flüssigdünger für die landwirtschaftliche Nutzung weiterverwendet werden zu können, muss das überschüssige Prozesswasser alle RAL-Qualitätskriterien¹ aufweisen, um das RAL-Gütezeichen 245 führen zu dürfen. Dieses Produkt soll an einer neu zu errichtenden Tankstelle östlich außerhalb der Rottehalle errichtet werden. Während der Befüllung muss der Tank des Tanklastwagens gegengesaugt und die Abluft in das Leitungsnetz für hochbelastete Luft der Rottehalle eingeleitet werden. Nach der derzeitigen Düngeverordnung 2012 existiert jedoch eine Sperrfrist für das Ausbringen von Düngern auf Äckern vom 01.11. bis 31.01. bzw. vom 15.11. bis 31.01. auf Grünlandflächen. [27] Deshalb wird in dieser Zeit auch kein Dünger abgeholt werden, weshalb die Endlagerbecken mit einem Gesamtfassungsvermögen von 8.600 m³ geplant sind.² Sollte im Winter dennoch einmal mehr Presswasser anfallen, als für den eigenen Gebrauch benötigt wird, bzw. durch die Endlagertanks gespeichert werden kann, so ist dieses Wasser genauso wie das Perkolatwasser in die betriebseigene ABA Komb einzuleiten. Dieses Wasser wird von dort weiter zum AHKW geleitet, um in die Brennkammer eingedüst zu werden. Für den äußerst unwahrscheinlichen Fall, dass die Abfallverbrennung in dieser Zeit aufgrund einer Revision außer Betrieb ist, wird das belastete Wasser zum Wasserwirtschaftsamt Donauwörth geliefert, um dort gereinigt zu werden. [17]

Absaugung hochbelasteter Abluft aus der östlichen Rottehallenhälfte

Für die Auslegung der Entlüftungstechnik von Endlager- und Absetzbecken wurde angenommen, dass die Endlagerbecken im Durchschnitt halb voll sind. Eine festgelegte Abluft-Absaugmenge von 1.500 m³/h, welche durch Rückschlagklappen aus der Halle angesaugt wird, ergibt einen stündlichen Luftwechsel von etwas mehr als eins. Diese 4.500 m³/h werden in weiterer Folge entgegen dem Verlauf des Wassers in das letzte Absetzbecken und von dort durch die angrenzenden Absetzbecken geleitet, um erneut eine Mehrfachnutzung der Abluft zu gewährleisten. Damit auch in diesen Becken wiederum ein Unterdruck herrscht, sind sie genauso mit Rückschlagklappen³ ausgestattet und saugen weitere 750 m³/h aus der Halle an. Die resultierenden 5.250 m³/h⁴, werden in weiterer Folge in eine Sammelleitung mit den 7.700 m³/h hochbelasteter Luft aus der Verfahrenshalle gesaugt, um gemeinsam als Zuluft für die Intensivrotte des festen Gärrestes ein weiteres Mal verwendet werden zu können. Sollte die Zuluftabnahme der Intensivrotte nicht ausreichend groß sein, wird die überschüssige Luftmenge über einen Bypass direkt dem Abluftstrom der Intensivrotte zugeführt.

¹ Die RAL ist eine gemeinnützige GmbH, die unter anderem das Qualitätskennzeichen „Blauer Engel“ oder das „EU Ecolabel“ vergeben.

² Für den Fall der Kapazitätserweiterung der Anlage auf 65.000 t/a ist der Platz für einen vierten Lagertank in der Halle bereits berücksichtigt.

³ Da die Entlüftung der Lager- und Absetzbecken nicht konstant, sondern mit einem Intervall von ca. fünf Minuten erfolgt, müssen nicht zwangsweise Rückschlagklappen eingesetzt werden, um ein Ausströmen der belasteten Luft aus dem Tank zu verhindern. Automatisch gesteuerte Klappen beispielsweise, die je nach Entlüftungsintervall öffnen und schließen, wären genauso denkbar.

⁴ Dieser Wert kann minimal höher sein, wenn in dieser Zeit ein Tanklastwagen während seiner Befüllung mit Gülle gegengesaugt werden musste.



3.3.7 Westliche Rottehallenhälfte mit Intensiv- und Nachrotte

Neben der anaeroben Vergärung bildet die aerobe Kompostierung das zweite Kernelement des betrachteten Umbauprojektes. In diesem Bereich haben die Auftraggeber der AVA bereits 20 Jahre Erfahrung, wobei natürlich der Stand der Technik in der Zwischenzeit verbessert wurde. Anders als bisher wird die neue Rottetechnik in Augsburg nicht mehr durch eine offene Tafelmiere, sondern wie in Abbildung 27 (ein Ausschnitt aus Anhang A3) zu erkennen ist, durch eine geschlossene Intensiv- und zwei offene Nachrottephasen bestimmt. Die einzelnen Rotteelemente bestehen aus jeweils vier 20 m langen, 4,85 m breiten und 4 m hohen Boxen, welche nicht mehr automatisch wie bisher umgeschlagen werden. In den folgenden beiden Kapiteln wird auf die Intensiv- bzw. Nachrotte im Detail eingegangen, da deren Betriebsführung einen beträchtlichen Einfluss auf die Abluftmenge aber auch –zusammensetzung hat.

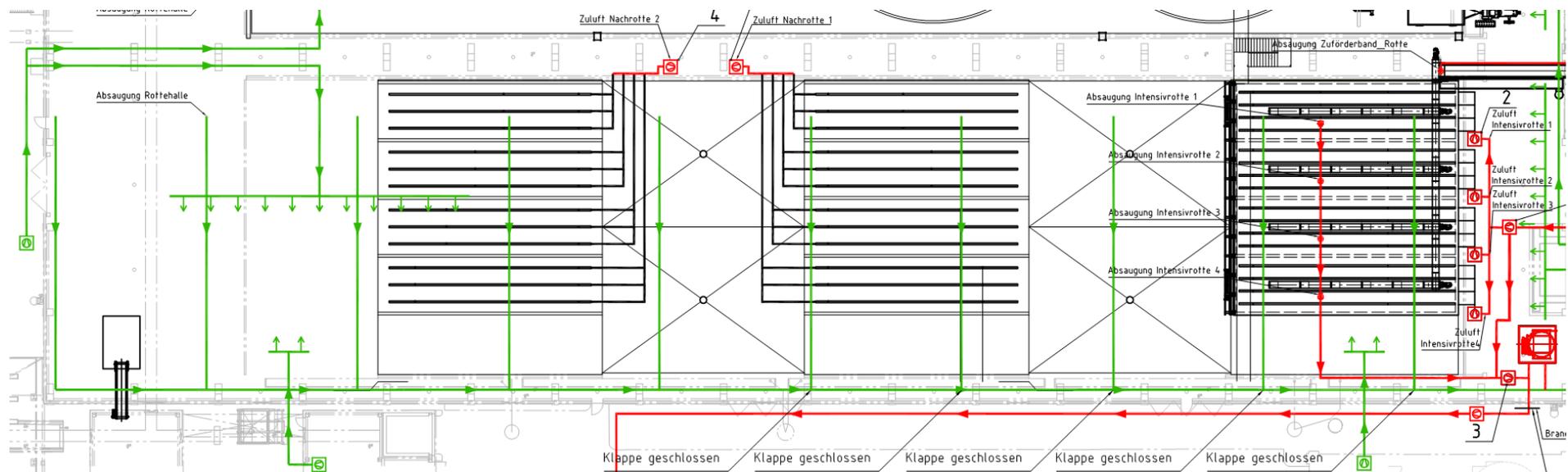


Abbildung 27: Skizze der westlichen Rottehallenhälfte mit angedeuteten Abluftleitungen

3.3.7.1 Intensivrotte

Nach dem Pressvorgang wird der entwässerte Gärrest, welcher bereits Rottegrad II und einen TS-Gehalt von 40-45 % besitzt, über Schneckenförderer der weiteren aeroben Nachbehandlung zugeführt, mit dem Ziel nach den 14 Tagen Verweildauer in den Intensivrotteboxen einen Rottegrad III bis IV zu erreichen.

Befüllung der Intensivrotte

Bereits die Art der Intensivrotteboxen-Beschickung hat große Auswirkungen auf den weiteren Rotteverlauf. Neben der Befüllung mittels Radlader, welche jedoch im Falle einer vorgeschalteten Fermentation nur bei Containerfermentern der Fall ist, sind die dafür gängigsten Varianten einerseits eine frei an der Decke angebrachte Förderschnecke bzw. eine eingehauste Schnecke mit Falltüren (siehe Abbildung 28).



Abbildung 28: Fotos einer Rottebox mittels Beschickung durch eine freie Schnecke (links) bzw. durch eine eingehauste Schnecke mit Falltüren (Mitte bzw. rechts)

Bei der ersten Methode fällt das Material bei der Schneckenöffnung solange zu Boden, bis die Box bis zur Decke kegelförmig befüllt ist. Erst dann schiebt die Schnecke den Keil langsam horizontal nach vorne, bis die Rotte nach ca. vier Tagen¹ gefüllt ist (Abbildung 29).

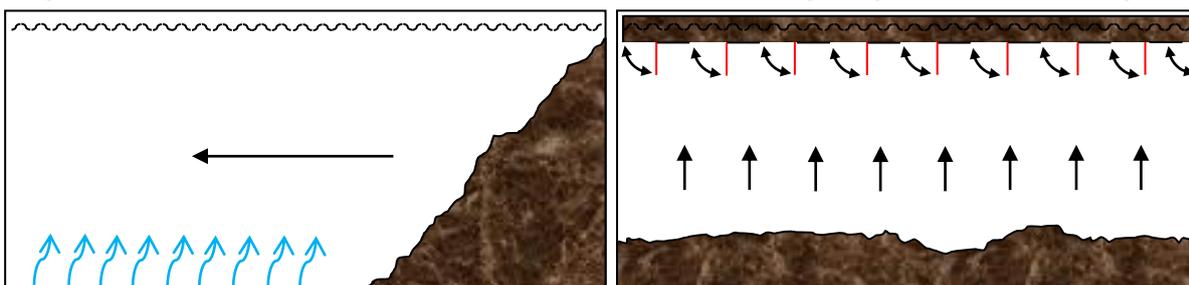


Abbildung 29: Vor und Nachteile der Beschickung einer Rottebox mittels freier Schnecke (links) bzw. mittels eingehausten Schnecke mit Falltüren (rechts)

Der Vorteil dieser Befüllungstechnik ist, dass der Abfall nur ganz zu Beginn von der Hallendecke vier Meter nach unten fällt, der Rest der Box hingegen den Keil herabrieselnd vollgefüllt wird. Dadurch bleibt das Schüttgut äußerst locker und eine Belüftung durch die

¹ Die exakte Befülldauer muss bei den ersten Malen mittels Guckloch festgelegt und manuell beendet werden. Im laufenden Betrieb, kann dieses Beschickungsintervall sehr genau eingestellt werden, sodass sich immer annähernd dieselbe Masse an festem Gärrest in der Box befindet und keine Überfüllung auftritt.

Belüftungsschienen¹ vom Boxenboden aus wird begünstigt. Nachteilig bei dieser Praxis ist jedoch, dass es bis zur vollendeten Beschickung zu einer Kurzschlussströmung kommt und die Luft immer den Weg des geringsten Widerstandes gehen wird, weshalb in den ersten Tagen keine gleichmäßige Belüftung möglich ist. Es wurde bereits angedacht den Lochdurchmesser der airpipes² weiter zu verringern, um so den Eigenwiderstand der Belüftungsschiene, ähnlich wie bei der Primärluftzufuhr einer Rostfeuerung, zu erhöhen, damit der Einfluss der darüber liegenden Schütthöhe minimiert wird. Die zweite in Abbildung 28 vorgestellte Technik besteht aus derselben Förderschnecke, welche in diesem Fall jedoch eingehaust ist. Somit wird der gesamte Förderschacht bis zum Ende befüllt und nach Auslösen eines Sensors durch das Öffnen von Fallklappen wieder entleert. Dadurch entstehen die genau gegensätzlichen Vor- bzw. Nachteile zum vorigen Verfahren. Das Material wird einerseits von Beginn weg über die gesamte Länge verteilt, liegt allerdings um einiges kompakter in der Box, da das Herabrieseln erst viel später einsetzt, wenn sich bereits eine sehr große Miete aufgebaut hat. Bevor auf Seite 46 näher auf die airpipes und die Belüftung der Intensivrotte im Allgemeinen eingegangen wird, werden zuerst die prinzipiellen Einflussfaktoren auf den Rotteverlauf vorgestellt.

Einflussgrößen auf den Erfolg der Kompostierung

Scholwin fokussierte sich in seiner Dissertation „Durch Prozessregelung zum Rotteerfolg“ sowohl auf alle vom Betreiber steuerbaren Parameter als auch auf die nicht regelbaren. [28] Es wird auch darauf eingegangen, welche der einzelnen Punkte einen direkten und welche einen indirekten Einfluss auf die Kompostierung haben. Abbildung 30 fasst die wichtigsten Faktoren zusammen, wobei die Temperatur und die Sauerstoff-Konzentration nochmals hervorzuheben sind. [28] Laut Scholwin sind dies auch die relativ einfach regelbaren Parameter mit direktem Einfluss auf den Rotteerfolg im Vergleich zu den schlechter steuerbaren wie der Wasserhaushalt oder die chemischen Eigenschaften des biologischen Abfalls. Von den indirekt wirksamen Größen gilt die CO₂-Freisetzung als einfacher zu bewerkstelligen als die Luftfeuchte, die physikalischen Materialeigenschaften oder die biologische Diversität des zu kompostierenden Materials.

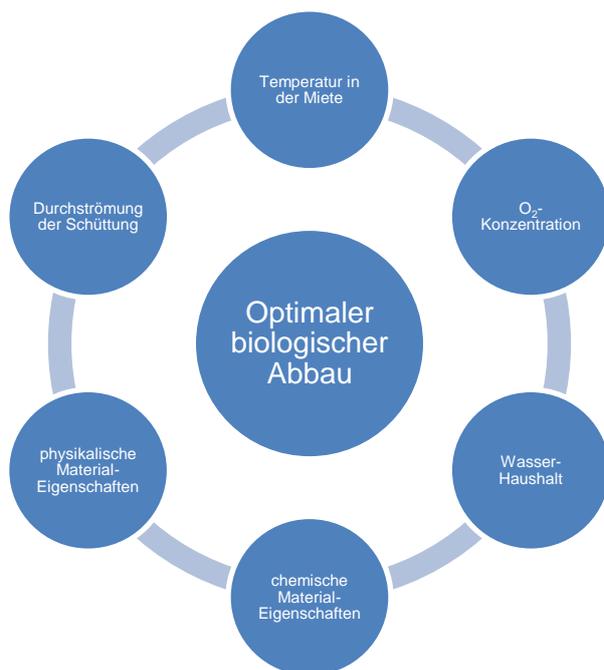


Abbildung 30: Wichtige Einflussfaktoren für einen optimalen biologischen Abbau während der Kompostierung

¹ Näheres dazu auf Seite 46

² Patentierte Name für die von der Fa. Thöni entwickelten Belüftungsschienen.

Temperaturregelung

Um auf die wichtigsten Einflussfaktoren der Reihe nach einzugehen, wird folgend der Temperaturverlauf während der Rottephase genauer betrachtet. Abbildung 31 zeigt das Ergebnis einer Untersuchung von Kranert, die sehr anschaulich verdeutlicht, dass es zu Beginn der Kompostierung zu einem signifikanten Anstieg der Temperatur auf bis zu 70 °C, gefolgt von einem ebenfalls nahezu linearen, jedoch viel langsameren Abkühlen kommt. Es sei darauf hingewiesen, dass es bei dem betrachteten Versuch kein Mischungs- oder Wendevorgang des Materials durchgeführt wurde.

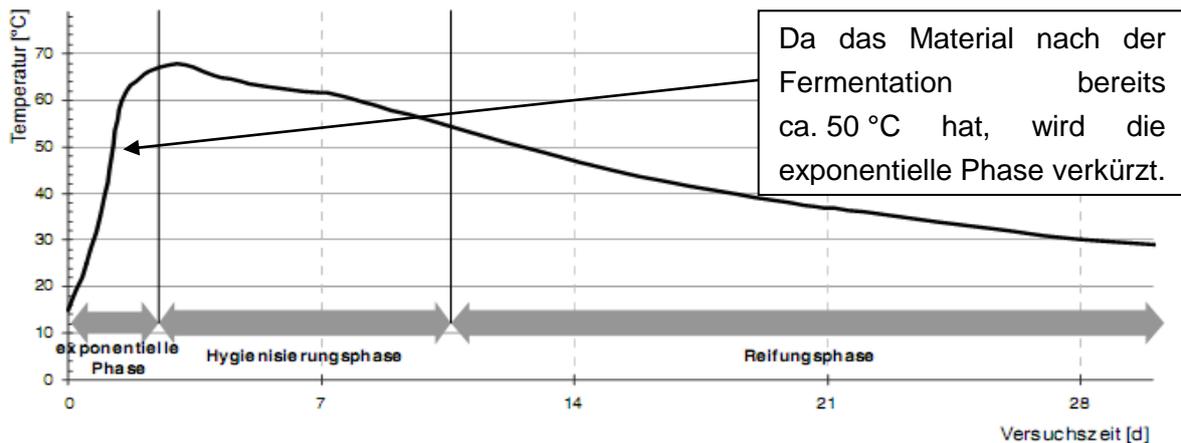


Abbildung 31: Schematischer zeitlicher Verlauf der Temperatur während der Kompostierung [29]

Erfahrungsgemäß ist nach einer Umwälzung des Rotteguts mit einem erneuten Temperaturanstieg zu rechnen. In unserem Fall verlässt das Material den Fermenter bereits mit über 50 °C und kühlt aufgrund der beheizten Hallen während des ca. fünfminütigen Transports zur Intensivrottebox nur minimal ab. Obwohl zu diesem Sonderfall explizit noch keine ähnlichen Studien bekannt sind, kann aus Erfahrung durch bereits realisierte Anlagen der Firma Thöni davon ausgegangen werden, dass der weitere

Temperaturverlauf ähnlich dem in Abbildung 31 eintreffen wird. Hoitink und Kuter haben bereits 1983 herausgefunden, dass es bei der Kompostierung auch zu deutlichen Temperaturunterschieden von bis zu 30 °C innerhalb der Mieten kommen kann. [30] Ihre Untersuchungen beweisen, dass während der Hygienisierungsphase nur ca. 70 % des Materials Temperaturen von über 55 °C aufweisen. [30]

Abbildung 32 zeigt, dass es bei einer von unten mittels Lochboden belüfteten Schüttung in der oberen Mitte zu den höchsten Temperaturen kommt. Je nach Isolierung der Rottebox kann dieser Effekt variieren, wobei auch unschwer zu erkennen ist, dass es im Bereich des Lufteinlasses zu einer deutlichen Abkühlung auf annähernd jene Temperatur der

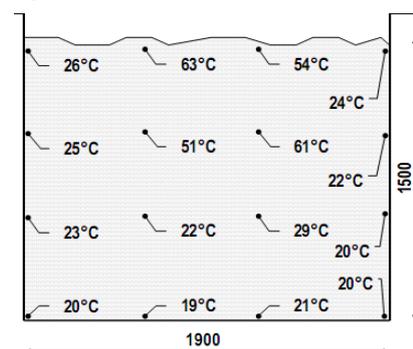


Abbildung 32: Temperaturverteilung in einem von unten zwangsbelüfteten Containerkompostierungssystem [28]

eingeblassenen Luft kommt. Bei den Intensivrotteboxen, welche in Augsburg errichtet werden, kann diese ungleiche Temperaturverteilung noch eklatanter ausfallen, da deren Schüttungen mehr als doppelt so groß sind wie in Abbildung 32. Während des Betriebes ist eine Temperatursenkung meist nur durch eine Steigerung der Belüftungsintensität oder durch eine Erhöhung des biologisch inaktiveren Strukturanteils möglich. Ein Umsetzen der Miete, wie es in Augsburg in den Nachrottefeldern der Fall ist, hat den Vorteil einer Vergleichmäßigung der Temperatur. Um der Kompostierung Wärmeenergie zu entziehen, ist hingegen eine zusätzliche Bewässerung am effektivsten.

Prinzipiell gilt noch anzumerken, dass eine Maximierung des Biogasertrages per se mit einer Verringerung der Restaktivität des abgepressten Gärrestes einhergeht. [31] Daraus ergibt sich für die anschließende Nachrotte eine geringere Selbsterhitzung als erwünscht. Wie später noch näher ausgeführt wird, führt ein Anklingen der Temperatur in der Miete zu höheren Lachgasemissionen.

Belüftung der Intensivrotte

Als nächster Punkt, dessen genauere Betrachtung genauso essenziell ist, wird in der Folge der Sauerstoffgehalt, welcher durch die Belüftung eingestellt wird, näher analysiert. Es sei darauf hingewiesen, dass bei allen Rotte-Systemen, neben einer Temperatur- auch eine O₂-Überwachung äußerst sinnvoll ist. Der minimale O₂-Gehalt liegt dabei volumetrisch zwischen 13 und 15 % [32] und wird üblicherweise in der Mietenabluft oder im Optimalfall mittels Lanze in der Mitte der Schüttung gemessen. In Augsburg sieht man von einem Sauerstoff-Monitoring ab, da die Firma Thöni bereits viel Erfahrung in diesem Bereich vorweisen kann.

Die Gründe der Belüftung des zu kompostierenden Materials sind vielfältig, da sie nahezu alle Kriterien des Rotteprozesses beeinflusst. Einerseits brauchen die unterschiedlichen Bakterien- und Pilzpopulationen, deren Populationsdichte und Artenzusammensetzung sich im Verlaufe der Rotte verändert [33], ausreichend Sauerstoff, um die mikrobiellen Abbau- und Umbauprozesse durchführen zu können. Studien belegen, dass bei passiv belüfteten Kompostierungssystemen – welche rein durch regelmäßiges Umsetzen für eine natürliche Belüftung sorgen – der Sauerstoff binnen Minuten aufgebraucht ist und somit anaerobe Methanbildner gebildet werden. [34] Zum anderen können über das Ausblasen bzw. Ansaugen von Wasserdampf unter Ausnutzung der Verdampfungsenthalpie dieser exothermen Reaktionen partielle Überhitzungen vermieden werden. Mit der dadurch ermöglichten Temperaturregelung wird natürlich auch indirekt der Wasseranteil beeinflusst. Je nach Intensität der Belüftung kann es in Teilbereichen, oder im schlimmsten Fall dem gesamten Rottekörper, zur Austrocknung kommen.¹ Zusätzlich förderlich für den mikrobiellen Abbau ist, dass mit dem Wasserdampf parallel das Stoffwechselprodukt CO₂ ausgetragen wird. Dadurch hängen auch die Emissionen, sei es im gasförmigen oder flüssigen Milieu, sehr von der Art der Lüftungstechnik ab. Die oben beschriebenen Faktoren

¹ Näheres dazu siehe „Emissionstechnische Folgen einer schlechten Prozessführung bzw. Planung“ auf Seite 49.



beeinflussen ihrerseits nämlich wiederum die Zusammensetzung und Menge der Abluft bzw. des Sicker- und Kondenswassers. ¹ Schlussendlich bestimmt die Wahl der Belüftung auch bautechnische Faktoren der Rottetechnik.

Prinzipiell muss zwischen verschiedenen Prozessführungen, wie in Abbildung 33 visualisiert wurde, unterschieden werden. Bei der natürlichen Variante erzeugt der Temperaturunterschied zwischen dem Rottematerial und der Luft oberhalb der Schüttung einen konvektiven Strom. Bei kleineren Dreiecksmieten mit einer Breite kleiner als 3 m und einer Höhe kleiner als 1,5 m [31], kann dies jedoch bereits ausreichend sein. Voraussetzung dafür ist allerdings ein ausreichender Volumenanteil des Strukturmaterials in der Rottemischung von

mindestens 20 %. Deutlich höhere Luftwechsel lassen sich freilich mittels zusätzlichen Ventilatoren, welche in der Regel drehzahl geregelt und getaktet betrieben werden, verwirklichen. Bei den meisten Anlagen wird die Luft dabei nicht im Kreis geführt, um ebendiese vorhin besprochenen Vorteile der zusätzlichen Sauerstoffversorgung ausnützen zu können. Egal ob man eine offene oder geschlossene Art der Kompostierung wählt, hat man zwei weitere Möglichkeiten der Belüftung. Entweder man saugt durch die Miete nach unten ab (siehe Abbildung 34 links), oder drückt die Luft in entgegengesetzter Richtung durch die Schüttung nach außen (Abbildung 34 Mitte bzw. rechts), wie es bei dem betrachteten Projekt in Augsburg geplant ist.

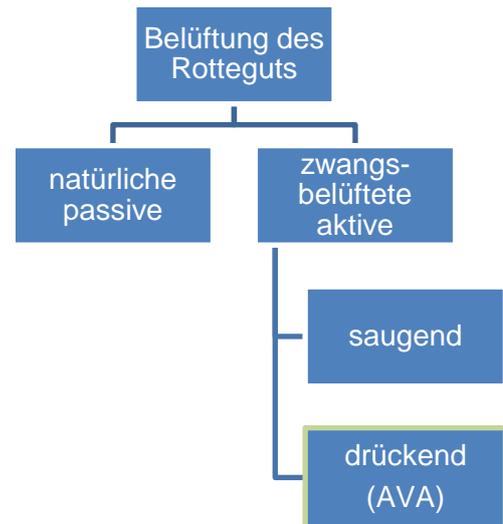


Abbildung 33: Mögliche Arten der Belüftung einer Rotte

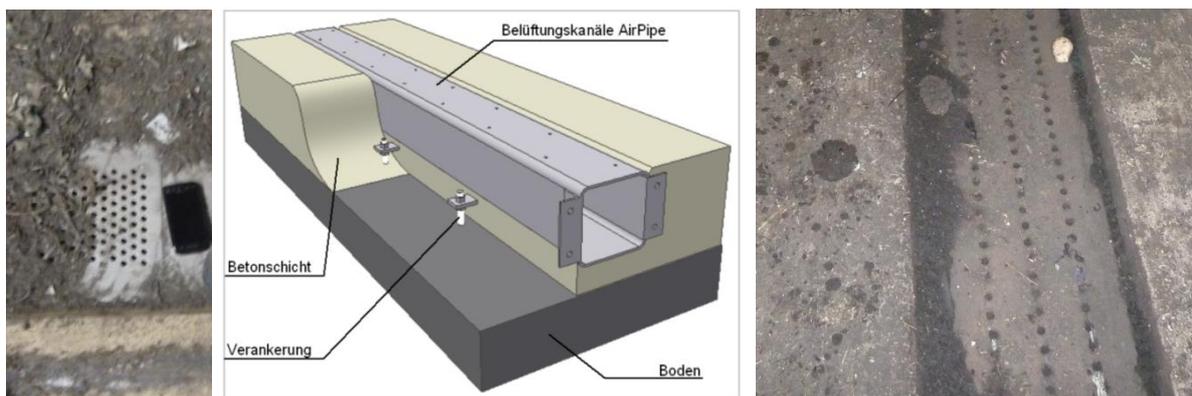


Abbildung 34: Beispiele von saugenden (links) bzw. drückenden (Mitte bzw. rechts) Rotte-Belüftungsvarianten

Unabhängig von der Arte der Zwangsbelüftung muss auf jeden Fall eine ca. 20 cm dicke Schicht an Strukturmaterial aufgebracht werden, bevor das eigentliche Rottegut darüber geschüttet werden kann. Dafür bietet sich aus drei Gründen der Siebüberlauf des fertigen Komposts an. Es werden dadurch keine Störstoffe eingebracht, welche nachfolgend wieder

¹ Näheres dazu siehe Kapitel 3.3.7.3.

entfernt werden müssen; das Material ist bereits biologisch nahezu vollständig abgebaut weshalb es zu keiner weiteren Verdichtung kommt und drittens wird durch die größeren Kompostteilchen das Verstopfungsrisiko der Belüftungsschienen vermindert. Wie wichtig gerade der dritte Punkt ist, kann man in dem rechten Bild von Abbildung 34 erkennen. Der Grund für das Zupacken der Bohrungen lag in diesem Fall an dem fehlenden Strukturmaterial kombiniert mit einem zu geringen Bohrlochdurchmesser. Die Verwendung eines Glockenbodens wie bei einer Destillationskolonne würde einen zu großen Reinigungsaufwand und somit höhere Betriebskosten bei zugleich niedrigerem Durchsatz verursachen. Abgesehen davon könnte es zu Problemen bei der Entleerung der Rotte kommen, welche vielerorts mittels Radladern durchgeführt wird.

Wie bereits zuvor angesprochen wurde, muss, unabhängig von der Art der aktiven Belüftung, darauf geachtet werden, welche Temperatur die angesaugte oder durchgeblasene Luft hat, um kein Auskühlen des Rottekörpers hervorzurufen. Da in unserem Fall alle Hallen beheizt sind und keine Luft direkt von außerhalb der Hallen in die Intensivrotteboxen angesaugt wird, besteht dahingehend keine Gefahr. Wäre dies nicht der Fall, müsste die Luft dementsprechend auf eine Mindesttemperatur von ca. 15°C vorgeheizt werden. Da bei der Zwangsbelüftung ein je nach Schütthöhe sehr großer Bettwiderstand überwunden werden muss, liegen die von den Ventilatoren aufzubringenden Drücke bei 6.000 bis 7.000 Pa. Deshalb musste man sich bei dem Projekt in Augsburg, am Ende der airpipes gegen Siphone und für einfache Schieber¹ in der Abwasserführung entscheiden. Würde man nämlich Siphone verwenden, so müssten diese bei dem anstehenden Luftdruck mindestens 70 cm hoch sein. Dies wäre jedoch auf Grund des beschränkten Platzangebotes im Abwasserschacht nicht möglich gewesen. Ein unterdimensioniertes Siphon hätte zum Austritt des Belüftungsstroms über den Abwasserkanal und somit zu einem nicht funktionierenden Rotteprozess bzw. massiven Emissionen in die Umwelt geführt.

Um den Vergleich von Druck- und Saugbelüftungen abzuschließen, sei darauf hingewiesen, dass bei letzterem deutlich mehr Sickerwasser – auch durch Kondensation der nahezu gesättigten Abluft² – bzw. eine verstärkte Verschmutzung des Leitungssystems auftritt. Bei der Druckbelüftung hingegen kann das Sickerwasser nur während den Pausenintervallen der Ventilatoren durch die Belüftungsleitung abgeführt werden. Sind diese Pausen zu kurz gewählt besteht die Gefahr, dass dieses Wasser ständig im unteren Mietenbereich auf- und absteigt (siehe Abbildung 35). Somit ist die Wahl zwischen Drücken und Saugen auch ausschlaggebend

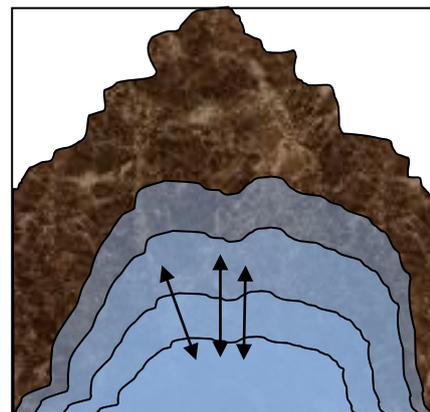


Abbildung 35: Mögliches Problem bei der Druckbelüftung

¹ Diese Schieber öffnen und schließen in demselben Intervall wie die Ventilatoren ein- bzw. ausgeschaltet werden.

² Theoretischen Berechnungen bzw. Messungen zufolge kann von einer 95-100 prozentigen Sättigung im und über dem Material ausgegangen werden. [64]

für die Wartungsintensität, die Betriebssicherheit und Flexibilität der Rotteführung.

Steuerung des Wasserhaushaltes

Ein Abbau organischer Substanzen durch Mikroorganismen ist nur dann möglich, wenn diese die Zellwand passieren können [35], was wiederum nur in wässrigen Medien ermöglicht werden kann [28]. Wasser dient den Mikroorganismen darüber hinaus auch als Transportmedium für gelöste Nährstoffe und ermöglicht die Abführung von Stoffwechselprodukten bzw. die weitere Ausbreitung von Mikroorganismen und Enzymen. [23] Zu hohe Wassergehalte können hingegen kaum zu Problemen führen, außer dass durch die Porenfüllung der Weg für den Sauerstoff versperrt und somit die Abbautätigkeit gemindert wird, was im Extremfall zu anaeroben Verhältnissen führt. [28] Im Optimalfall beläuft sich der Wassergehalt während der gesamten Rotte auf ca. 50 bis 55 Massenprozent und wird erst in der letzten Phase – meistens kurz vor der Feinaufbereitung – auf 30 bis 40 % gesenkt. [23] Sind die Mieten also zu nass, sollte Strukturmaterial untergemischt werden bzw. dessen Anteil erhöht werden. Dabei muss jedoch darauf geachtet werden, dass ein Vermengen des Schüttguts mit Strukturmaterial nachteilige Auswirkungen auf die Emissionsbildung haben kann.¹ Ein verstärktes Einblasen oder Absaugen von Luft kann den Wasseranteil, wie bereits erwähnt, ebenfalls senken und eine Versauerung vermeiden.

Liegt der gegenteilige Fall vor und das Rottegut ist zu trocken, so wäre es natürlich auch möglich zusätzlich Wasser einzudüsen, was bei den konventionellen Stand-Alone-Kompostierungsanlagen auch durchaus der Fall ist. Da bei einer vorgeschalteten Fermentation jedoch bereits ein großer Teil der biologischen Abbauarbeit erledigt ist und der Wasseranteil trotz der Entwässerungspresen noch sehr hoch ist, reicht dieses verbleibende Wasser für die gesamte Kompostierung aus. Gegen Ende der Rottephase gilt es vielmehr die für den handelsüblichen Kompost geforderten 60 % an Trockensubstanz zu erreichen.

Emissionstechnische Folgen einer schlechten Prozessführung bzw. Planung

Wie bereits auf den vorigen Seiten beschrieben wurde, darf man das relativ einfach anmutende System, bei dem ausschließlich feuchtes biologisches Material und Luft eingebracht, Kompost, Wärmeenergie und Abluft bzw. Sickerwasser mit Abbauprodukten ausgebracht werden, nicht unterschätzen. Gerade die von sehr vielen Parametern abhängenden biologischen Prozesse und die Tatsache, dass der Inputstoff nicht nur saisonal beding äußert heterogen auftritt, erfordern für einen erfolgreichen Betrieb der Anlagen jede Menge Erfahrung und Fingerspitzengefühl.

Obwohl die Besitzer einer Kompostierungsanlage hauptsächlich an einem verkaufsfähigen Endprodukt mit möglichst gleichbleibender Qualität interessiert sind, ist es ebenso wichtig, keine geruchsbelasteten Emissionen in die Umgebung entkommen zu lassen, um nicht Probleme mit Anwohnern und in weiterer Folge mit den Behörden zu bekommen.

¹ Näheres dazu im Unterkapitel Zu erwartende Abluftzusammensetzung auf Seite 54.



Im Folgenden werden mögliche Fehlerquellen, welche zu vermeidbaren Emissionen führen, etwas detaillierter erläutert. Im bereits angesprochenen VDI Blatt 3475 mit dem Titel „Emissionsminderung Biologische Abfallbehandlung“ wurden beispielsweise erhöhte Geruchsemissionen auf Bereiche mit zu hohen Temperaturen zurückgeführt. [23] Prinzipiell kann auch davon ausgegangen werden, dass eine unterdimensionierte Kompostierungsschiene und ein daraus resultierender zu hoher Durchsatz zu einem schlechteren Rottegrad – es wird in diesen Fällen kaum das Stadium IV oder V erreicht – führt. Meist gehen damit zu hohe Mieten einher, wodurch es infolge anaerober Zonen innerhalb der Schüttung, neben erhöhten Geruchsemissionen, zu erneuter Faulgasbildung kommen kann. Ein weiterer relativ einfach handzuhabender und zugleich sehr wirksamer Faktor ist die Sauberkeit am Gelände. Durch arbeitstägliche Reinigungen von Fahrwegen oder anderen Flächen im Freien können ebenfalls sehr viele diffuse Quellen vermieden werden. Im Speziellen ist, es wie etwa bei dem Projekt in Augsburg, wichtig, dass der Radlader, nach dem Umschichten des Materials von einer Rottephase auf die nächste¹, gesäubert wird, da er auch für andere Tätigkeiten außerhalb der Halle verwendet wird. Dazu braucht es ausreichend Personal, damit es durch mangelnde Kontrolle und Wartung der Geräte bzw. Anlagenteile nicht zu Störfällen kommt, die ebenfalls zu unkontrollierten Emissionen führen könnten. Die Zugabe von bereits abgebautem Siebüberlauf hätte, zusätzlich zu der Möglichkeit den Wasserhaushalt regeln zu können, bei einer Schüttung mit einem zu hohen Stickstoffanteil, den Vorteil, dass dieser relativ einfach gesenkt werden könnte. Je mehr stickstoffhaltige Verbindungen im Rottegut vorhanden sind, desto höher ist auch dessen Anteil in der späteren Abluft, wie im Kapitel 3.3.7.3 bzw. 3.3.11 ausgeführt wird. Meist besteht wie auch bei den Nährstoffen Phosphor, Kalium, Schwefel, Magnesium und Kalzium eine Überversorgung von Stickstoff. Das optimale Verhältnis von Kohlenstoff zu Stickstoff liegt, je nach Art des Substrates, bei etwa 20 bis 40. [36] Die anaerobe Bedingungen im Fermenter bewirken einen Kohlenstoffaustrag in Form von Biogas und erzeugen indirekt eine Anreicherung des organisch gebundenen Stickstoffs bzw. Ammoniums im Gäraustrag. Grund dafür ist der fehlende Sauerstoff, der eine Nitrifikation im Fermenter verhindert. [31] Abgesehen von der Anlagenführung können natürlich auch bei der Planung Fehler auftreten, die vermeidbare Emissionsquellen entstehen lassen können. Am eklatantesten würden sich solche Mängel bei der Lüftungstechnik auswirken. Die häufigsten Fehler dabei sind, dass entweder der Abluftstrom zu gering gewählt wurde und es am Ort der Gasbildung zu Emissionen führt, oder aber, dass die Saugleistungen zu hoch sind und der Biofilter überlastet oder größer ausgelegt werden muss als notwendig wäre. Achtet man nicht auf die Kondensatbildung, die bei einer nahezu gesättigten Abluft, wie sie bei einer Kompostierung durchaus üblich ist, so kann dies bei den Ventilatoren zu einer Schaumbildung und im worst case zum Vereisen im Winter führen, wodurch die Lüftungstechnik nicht mehr funktionstüchtig wäre. Bei der Materialwahl muss die Aggressivität der mit organischen Bestandteilen versetzten Abluft bedacht werden. Bei Verwendung von Kunststoffrohrleitungen aus beispielsweise Polypropylen ist man genauso auf der sicheren Seite wie bei Edelstahlleitungen, die jedoch deutlich teurer sind. Die etwas

¹ Intensivrotte auf Nachrotte I bzw. Nachrotte I auf Nachrotte II.



preiswerteren verzinkten Stähle eignen sich genauso für diese Abluftströme, sind aber nicht so langlebig wie Edelstahl.

Absaugung hochbelasteter Abluft in der Intensivrotte

Prinzipiell stehen für die Belüftung der Intensivrotte, wie schon genannt, rund 13.000 m³/h an hochbelasteter Abluft aus den Endlager- bzw. Absetzbecken und dem Pressegebäude zur Verfügung. Thermodynamische Berechnungen ergaben allerdings, dass unter diesen Temperatur- und Feuchtebedingungen des Rottematerials bzw. der Zuluft, in etwa 3.250 m³/h benötigt werden, um am Ende der Kompostierungsschiene den gewünschten Output garantieren zu können. Da immer abwechselnd zwei der vier Rotteboxen belüftet werden und die anderen beiden Ventilatoren in dieser Zeit pausieren, ergibt sich in der Folge eine benötigte Luftmenge von stündlich 6.500 m³/h. Daraus kann wiederum geschlossen werden, dass nur die Hälfte der hochbelasteten Zuluft dafür verwendet werden kann und die andere Hälfte über einen Bypass an der Intensivrotte vorbeigeleitet werden muss. Um natürlich die vollen 30.000 m³/h an hochbelasteter Abluft, welche an das AHKW geleitet werden dürfen auszunutzen, bleiben somit noch 23.500 m³/h, welche zusätzlich aus der Intensivrotte abgesaugt werden. So können diese Boxen zu der ebenfalls im leichten Unterdruck befindlichen Halle zusätzlich noch einmal nach außen emissionstechnisch abgeschirmt werden. Diese Zuluft wird durch Rückschlagklappen von der westlichen Rottehallenhälfte angesaugt. Die Abluft aus der Intensivrotte wird gemeinsam mit der Bypassluft über eine neu zu errichtende Leitung in Richtung Abfallheizkraftwerk geleitet. Sollte der Abluftstrom nicht im Abfallheizkraftwerk verbrannt werden können¹, wird dieser über einen Säurewäscher² konditioniert und dem Biofilterabluftstrom beigemischt. Es liegt am Betreiber, ob er den sauern Wäscher nur in dieser Zeit betreiben will, oder aber die 30.000 m³/h immer etwas vorreinigen will. Dies würde eine geringere Belastung für die Verbindungsleitung zum Anlieferbunker der Müllverbrennungsanlage und somit eine deutlich längere Lebensdauer bedeuten. Die Zusammensetzung der besprochenen hochbelasteten Abluft wird, nach dem folgenden Kapitel, gemeinsam mit der geringer belasteten Abluft aus der Nachrotte, in Kapitel 3.3.7.3. analysiert.

3.3.7.2 Nachrotte

In diesem Kapitel wird nicht mehr so detailliert auf die einzelnen Prozessfeinheiten eingegangen, da vieles was in der Intensivrotte angesprochen wurde, natürlich auch für die offene Nachrotte gilt. Eingbracht durch einen Radlader verbleibt das Material in der ersten Nachrottephase für ca. 14 Tage. Diese Felder bestehen, wie die Intensivrotte, aus vier 20 m langen und 4,85 m breiten Becken, welche bei der Nachrotte allerdings nur durch die Längsseitenwände gebildet werden. Nach dieser Zeit wird das Material in den zweiten Nachrotteabschnitt umgeschichtet, in der das Material der in Summe fünften und sechsten Woche dem aeroben Abbau unterzogen wird. Auch in der Nachrotte wird die Strategie der

¹ Dies tritt ca. alle 18 Monate für 2-3 Wochen ein, wenn das AHKW gewartet werden muss.

² Näheres dazu siehe Kapitel 3.3.10.



aktiven Druckbelüftung mittels airpipes verfolgt. Im Gegensatz zu einem geschlossenen System entstehen an dieser Stelle durch das Ausblasen der feuchten Luft neue Problemstellungen. Die Tatsache, dass in erster Linie die gesamte Halle gegen Korrosion geschützt werden muss, gilt in Augsburg allerdings nur für alle neu zu errichtenden Anlagenteile, da das Gebäude an sich komplett aus Edelstahl gebaut wurde und bereits 20 Jahre an offener Kompostierung ohne Schäden überstanden hat. Die gravierende Nebelbildung, welche beim Transportieren des Rotteguts von einer Stufe in die nächste entsteht, bedarf hingegen zusätzlicher Maßnahmen, um primär die Sichtbarkeit des Radladerfahrers und somit des in der Halle arbeitenden Personals nicht zu gefährden.¹ Dazu wird lediglich ein kleiner aber sehr wirksamer Eingriff in die bestehende Lüftungstechnik vorgenommen, wie in Kapitel „Absaugung niedrigbelasteter Abluft in der Nachrotte“ auf Seite 53 beschrieben wird.

Neben der Abfallverwertung und möglichst exergiereichen Energieumwandlung ist die Herstellung eines Fertigkompostes, der weiterhin alle Qualitätskriterien nach RAL-Gütezeichen erfüllt, ein weiteres erklärtes Ziel des Projektes. Prinzipiell sind für die Herstellung des Kompostes mit einem Rottegrad von IV oder V neun bis zwölf Wochen einzukalkulieren, sofern das Material umgesetzt wird. Verzichtet man auf das Umsetzen und belüftet die Mieten stattdessen aktiv, so dauert es nach Erfahrung 12-16 Wochen. Ohne Umsetzen bzw. Belüftung muss mit 20-25 Wochen gerechnet werden. [37] Obwohl die AVA in Zukunft mit sechs Wochen deutlich kürzer als empfohlen kompostiert, wird sich dank der vorgeschalteten Fermentation, die ihrerseits bereits einen Großteil der biologischen Aktivität in Biogas umsetzt, trotzdem der erhoffte Erfolg einstellen. Dennoch muss der Kompost vor dem Verkauf einen TS-Gehalt von in etwa 60 % aufweisen. Aus

diesem Grund wird in der Nachrotte – im Gegensatz zur Intensivrotte – in regelmäßigen Abständen umgesetzt. In Abbildung 36 ist ein Beispielfoto eines solchen Umsetzfahrzeugs ersichtlich. Das Vermischen trägt indirekt durch Homogenisierung des Materials von feuchter bzw. trockener, nährstoffarmer bzw. nährstoffreicher Zonen und die Schaffung neuer Oberflächen für Mikroorganismen zu einem zusätzlichen Temperaturanstieg bei. Da bei zu kurzen Umsetzintervallen die Gefahr des Austrocknens der Miete besteht und in weiterer Folge die Abbauleistung des Rotteverlaufs darunter leiden würde, sollte die Häufigkeit der Umsetzvorgänge erst gegen Ende der Kompostierung gesteigert werden. Für den Fall, dass im Laufe des Betriebs und trotz aller Maßnahmen, nicht der entsprechende Trockensubstanzanteil im Produkt



Abbildung 36: Mögliches Umsetzfahrzeug für die Nachrottefelder [69]

¹ Aus diesem Grund ist für eine nicht zusätzlich eingehauste Kompostierung innerhalb einer Halle die Saugbelüftung zu präferieren. Die Fa. Thöni entschied sich bei diesem wichtigen Projekt jedoch dafür, die Druckbelüftung beizubehalten, da sie damit deutlich mehr Erfahrung hat.

gewährleistet werden kann, besteht die Möglichkeit durch Erwärmen der Zuluft für die zweite Rottephase den Trocknungsprozess verstärkt voranzutreiben. Eine Beibehaltung der Temperatur in der Nachrottemiete von über 45 °C würde auch eine Umwandlung von NH_3 zu N_2O vermeiden (siehe Kapitel 3.3.11). [38]

Absaugung niedrigbelasteter Abluft in der Nachrotte

Aus denselben Gründen wie vorhin kann in der letzten Rottephase von einer deutlich geringeren Emissionsbildung als beispielsweise vom frischen Gärrest ausgeht, gerechnet werden. Deshalb kann diese Luft mit Hilfe der bestehenden Ablufttechnik direkt zum Biofilter geleitet werden. Die bisher abgesaugten 206.500 m^3/h könnten einerseits durch den verkleinerten Biofilter nicht mehr entsprechend gereinigt werden und sind andererseits aber auch nicht mehr notwendig. Die Klappen der Stichleitungen in der östlichen Rottehallenhälfte verbleiben den Großteil des Jahres geschlossen, weshalb auf der westlichen Seite 110.000 m^3/h^1 zur Verfügung stehen. Früher wurden am südlichen Ende der Rottehalle die Abluft aus der Anliefer- und Verfahrenshalle (90.000 m^3/h) eingeblasen. Als Resultat der Abluftmengenhalbierung in der Anlieferhalle – von 70.000 m^3/h auf ca. 35.000 m^3/h – werden in Zukunft nur mehr rund 55.000 m^3/h eingeleitet werden. Durch das Schließen der südlichen fünf bis sechs Klappen vor den Stichleitungen wird die gesamte Luft der westlichen Halle an ihrem nördlichen Ende abgezogen, wodurch eine Strömung über die Rottebecken hinweg entsteht und der Austrag des Nebels gewährleistet wird. Die restlichen 55.000 m^3 , welche auf die 110.000 m^3 fehlen, die stündlich zum Biofilter geleitet werden, können auf mehrere Arten bereitgestellt werden. Im einfachsten Fall werden sie durch die in Abbildung 25 zu erkennenden Ansauggitter in die Halle gezogen. Wie in Abbildung 27 angedeutet, muss die ABA Komp jedoch mit bis zu 10.000 m^3/h abgesaugt werden. Da diese Abluft bisher immer in die Rottehalle eingeblasen wurde, bietet es sich an dies beizubehalten, um nicht zusätzliche Lüftungsrohre verlegen zu müssen. Dasselbe gilt für die Feinaufbereitung, die bisher mit 7.200 m^3/h entlüftet wurde. Für den Fall, dass in der Rottehalle eine Wartung oder ein Service am Umsetzgerät Wendelin durchgeführt werden musste, bestand die Möglichkeit 10.000 m^3/h an Frischluft in die Halle zu blasen. Auch diese Option könnte der Betreiber nützen, um neben einem angenehmen Hallenklima für eine nebelfreie Atmosphäre zu sorgen. Würde die Nachrotte nur überdacht oder sogar komplett im Freien stattfinden, so wären noch eine Reihe weiterer Punkte betreffend der Abluft zu beachten, auf die in dieser Arbeit jedoch nicht eingegangen wird.

Das Immisionsgutachten ergab, dass unter Berücksichtigung der schnelllaufenden Tore, welche bei allen Eingängen zur Halle installiert sind, es trotz Unterdruck in der Halle, zu einer austretenden Restemission von belasteter Abluft, im Ausmaß von 10 % der mittleren Mieten Quellenstärke, ausgegangen werden kann. [39] Woraus sich diese Abluft im Detail zusammensetzt und wie hoch das Ausmaß laut diesem Gutachten wirklich ist, wird im folgenden Kapitel behandelt. Sollten im späteren Betrieb wider Erwarten

¹ Dies entspricht der Kapazität des halbierten Biofilters, wenn man die 30.000 m^3/h , welche im Revisionsfall des AHKW ebenfalls in den Biofilter eingeleitet werden, abzieht.



Emissionsgrenzwerte überschritten werden oder Anrainerbeschwerden wegen Geruchsbelästigungen bei der Geschäftsleitung der AVA eintreffen, so könnten nachträglich Tor-Kaltschleieranlagen nachgerüstet werden. Dies fordert der Bescheid vom 28.01.1991, auf den sich auch bei der aktuellen Genehmigung wieder berufen wurde. [12]

3.3.7.3 Zu erwartende Abluftzusammensetzung aus Intensiv- und Nachrotte

Prinzipiell ist bei der Kompostierung von getrennt gesammelten organischen Materialien wie Bioabfall und Grünschnitt nicht mit einer nennenswerten Emission von gesundheitsschädlichen Luftschadstoffen zu rechnen. [23] Die Tatsache, dass der Gärrest nach den knapp drei Wochen Verweildauer im Fermenter bereits hygienisiert ist, führt zu einer weiteren Verminderung. Da das Inputmaterial für die Kompostierung jedoch direkt aus der anaeroben Phase kommt, darf nicht von derselben Abluftzusammensetzung wie üblich ausgegangen werden. Studien ergaben, dass die Aerobisierungsphase bei einer Druckbelüftung, je nach Intensität variierend, trotzdem bis zu 48 Stunden dauert. [23] In dieser Zeit treten deutlich mehr als die rund 680 [40] bis 1.100 g [41] Methan je Tonne Bioabfall¹, die in der Regel während des Hauptrottestadiums gebildet werden, aus. Angegeben als Massenkonzentrationen an Gesamtkohlenstoff und Methan in der Abluft werden in der Literatur Werte zwischen 200 und 450 mg/m³ angegeben. [26]

Interessant in Bezug auf Methan ist, dass ein konträres Bildungspotential im Vergleich zu Lachgas festgestellt werden kann (siehe Abbildung 37).

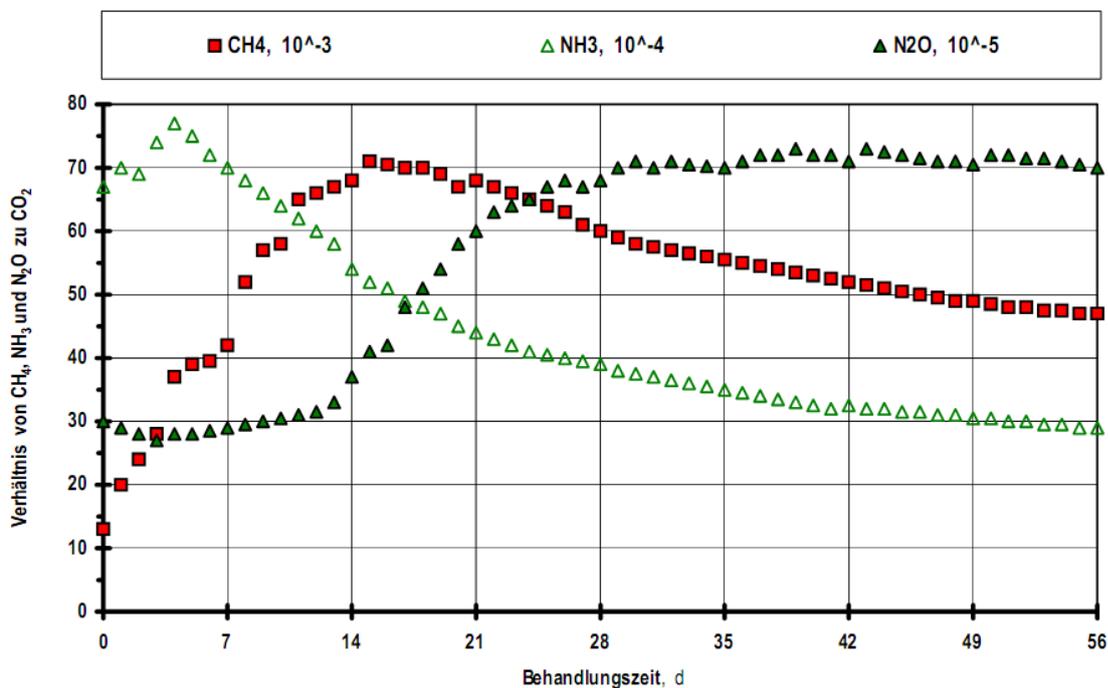


Abbildung 37: Verlauf der Methan-, Ammoniak- und Lachgasemissionen einer Stallmistkompostierung in Abhängigkeit von der Rottezeit [42]

¹ Cuhls fand sogar noch weiter gestreute Werte in der Literatur von 80 g/Mg (Tauw, 2008) bis (1.900 g/Mg Yasuyuki). [26]

Begünstigt das Rottemilieu zu Beginn eher die Methanbildung, so entsteht im Gegensatz dazu erst gegen Ende der Rottephase vermehrt Distickstoffmonoxid. Vielfach wird für das an dieser Stelle gebildete Gas der Begriff „primäres Lachgas“ verwendet.¹ Da die Graphen nur das Verhältnis der einzelnen Abluftbestandteile zu Kohlendioxid widerspiegeln, der Verlauf von CO₂ jedoch nicht bekannt ist, kann keine Aussagen über den absoluten Wert von Methan, Ammoniak und Lachgas aus dem Diagramm getroffen werden. Bedeutsam ist jedoch, dass in der in Augsburg als hochbelastet bezeichnete Abluft, die der Intensivrotte, also den ersten 14 Tagen, abgezogen wird, mehr als 20-mal so viel Ammoniak wie Lachgas zu erwarten ist. In der niedrig belasteten Abluft, welche aus der Nachrotte (Tag 15 bis 42) abgesaugt wird, vermutet man nur mehr ein NH₃ zu N₂O Verhältnis von fünf. Die Tatsache, dass in dem betrachteten Projekt zwölf Rotteboxen mit in der Regel unterschiedlichen Rottegraden betrieben werden, führt dazu, dass in der Abluft alle Bereiche des Diagramms gleichzeitig auftreten und es somit zu einer gleichmäßigen Belastung des Biofilters kommt. Später im Kapitel 3.3.11 wird im Detail darauf eingegangen, wie sich dieses Verhältnis durch den Biofilter noch weiter in Richtung Lachgas entwickelt. Allgemein gilt, dass bei der Kompostierung der festen Gärreste einer Trocken- oder Nassfermentation mit höheren Emissionsbelastungen zu rechnen ist, als bei einer Verrottung von frischem Bioabfall. Dies liegt hauptsächlich an den höheren Stickstoffgehalten, welche in der Folge aufgrund einer Kette von Reaktionen zu treibhausschädlichen Stickoxiden führen.

Die ausführlichsten und am häufigsten diskutierten Messungen zu diesem Thema wurden 2008 von Cuhls [26] durchgeführt. Es wurden neben zwölf reinen Kompostierungsanlagen fünf weitere untersucht, denen jeweils eine Trockenfermentation vorgeschaltet war. An diesen Anlagen mit Vergärung wurden 1,5-280 mg NH₃/m³ Abluft und 0,9-19 mg N₂O/m³ Abluft bestimmt. Die detaillierten Messergebnisse sind – genauso wie die Verfahrensbeschreibungen – der Anlagen in Anhang A2 zu finden.

Abschließend sei auch noch die Geruchsbelastung in der westlichen Rottehalle erwähnt. Dazu konnte aus der Literatur allerdings nur ein Wert für die gesamte Kompostierung gefunden werden, der keine Aufteilung in Intensiv- und Nachrotte zulässt.² Bei einer Anlage mit ca. 6.000 t Jahresdurchsatz wurden im Mittel 420 GE/s detektiert. Wurde zum Zeitpunkt der Messung gerade umgeschichtet, so konnte dieser Wert auf bis zu 640 GE/s ansteigen. [23] Zusätzlich muss noch angeführt werden, dass diese Untersuchungen an einer Anlage getätigt wurden, der keine Fermentation vorgeschaltet war und deren Intensiv- als auch Nachrotte nur halb so lange dauerte als bei dem in dieser Arbeit betrachteten Projekt. Die Auswirkungen dieser beiden Abweichungen können nur vermutet werden. Durch den zuvor angesprochenen höheren Ammoniakanteil in einer Rotteabluft fester Gärreste, kann wegen des stark beißenden Geruchs von Ammoniak von einer

¹ Dieser Begriff gilt unabhängig davon, ob an der Reaktion Nitrifikanten oder Denitrifikanten vorhanden sind. Im Gegensatz wird das im Zuge des Abbauprozesses im Biofilter gebildete Gas als meist als „sekundäres“ Lachgas titulierte.

² Die Geruchsbelastung spielt sowieso nur bei der geringbelasteten Abluft eine Rolle, da bei der hochbelasteten durch die anschließende Verbrennung nahezu alle Geruchsstoffe vernichtet werden.



höheren Geruchsbelastung ausgegangen werden. Dem gegenüber steht die doppelt so lange Rottedauer und somit der höhere Rottegrad, der sicherlich eine senkende Einwirkung auf die Geruchsbildung hat. Für die weitere Berechnung wurde deshalb mit einem Wert von ca. 400 GE/s für die Intensivrotte bzw. hochbelastete Abluft und 600 GE/s¹ für die gering belastete Nachrotteabluft angenommen. Bezieht man den höheren Abfalldurchsatz von 45.000 t/a anstelle von 6.000 t/a mit ein, kommt man auf einen stündlich freigesetzten Geruchsstrom von ca. 11 Mio. GE in der Intensivrotte bzw. 16 Mio. GE in der Nachrotte. Ein Nichterreichen von Rottegrad IV oder V würde natürlich nicht nur zu Problemen bei der Vermarktung des Produktes, sondern auch zu vermeidbaren Emissionen führen.

3.3.8 Feinaufbereitung

Die Feinaufbereitung befindet sich, wie in Abbildung 6 zu erkennen ist, an der nordwestlichen Ecke der Rottehalle und besteht neben dem Aufgabetrichter aus Abbildung 38 aus einem Trommelsieb und der zugehörigen Fördertechnik. Sie bleibt, wie bereits in Kapitel 3.2 erwähnt, bestehen und bedarf keiner weiteren emissionsschutztechnischen Maßnahme, da ihre Abluft den Weg über die Rottehalle zum Biofilter geht. Diese Abluft ist nach all den vorherigen Verfahrensschritten allerdings nur mehr minimal riechend. Die Messung des bifa-Umweltinstitutes bei derselben Kompostierungsanlage wie im vorigen Kapitel bestätigte dies. Dort wurden 28 GE/s gemessen, welche hochgerechnet auf die 45.000 t/a 210 GE/s ergeben [23].



Abbildung 38: Aufgabetrichter vor der Feinaufbereitung

3.3.9 Zukünftiges Kompostlager

Auch das Lager für den fertigen Qualitätskompost bleibt bestehen und bedarf keiner Umbauten. Da es nicht eingehaust und nur durch ein Flachdach vor Niederschlag geschützt ist, würde eine Abluftabsaugung keinen Sinn machen. Abgesehen vom Einbringen in das Lager kann aber auch von keinen nennenswerten Geruchsbelastungen ausgegangen werden – die mechanische Aufbereitung erfolgt ja in der Feinaufbereitungshalle. Sicherlich sinnvoll ist hingegen, dass bei ungünstiger Wetterlage wie starkem Wind, der Ein- oder Austrag von Material vermieden wird. Zusätzlich sollte im Sommer der fertige Kompost je nach Bedarf hin und wieder bewässert oder abgedeckt werden; um eine Staubbildung zu vermeiden. Das sich bildende Sickerwasser wird durch die bestehende Neigung von mindestens 2 % zur Sickerwasserdrainage abgeleitet. [17]

¹ Dieser Wert ist deshalb höher als jener der Intensivrotte, da die Ammoniakbildung - wie in Abbildung 37 beschrieben wurde – erst in der Nachrottephase merklich ansteigt.

3.3.10 Säurewäscher

Wie bereits des Öfteren erwähnt muss für den Revisionsfall des AHKW die Reinigung der hochbelasteten Abluft ebenfalls durch den Biofilter erfolgen. Da es ohne zusätzliche Maßnahme zu einer massiven Lachgasbildung kommen würde, muss dem Filter ein saurer Wäscher vorgeschaltet werden. Dieser wird in der südwestlichen Ecke der bestehenden Rottehalle untergebracht und kann somit je nach Klappenstellung von der hoch- oder der geringbelasteten Abluft durchströmt werden. Somit liegt es dem Betreiber offen, ob er den Wäscher im Bedarfsfall¹ oder permanent benutzt. Einerseits könnte durch eine dauerhafte Verwendung die aggressive hochbelastete Abluft vor dem Weg zum Anlieferbunker des AHKW etwas vorgereinigt werden, um die Belastung für die Rohrleitung zu verringern und somit deren Lebensdauer zu verlängern. Andererseits könnte bei einer Vorbehandlung der gering belasteten Abluft deren Emissionsbelastung noch weiter verringert werden, da ebenfalls bereits erläutert wurde, dass gerade in der Nachrotte ein erhöhtes Lachgas-Bildungspotential besteht. Zusätzlich würde neben Ammoniak vor allem auch leicht lösliche organische Verbindungen und Keime abgebaut werden. [43]

Zur Funktionsweise des sauren Wäschers sei gesagt, dass der Abluftstrom die Kolonne entgegen der mit Schwefelsäure versetzten Waschflüssigkeit durchströmt. Um den Effekt der Absorption zu verstärken, befinden sich im Inneren des Wäschers Füllkörper, welche für eine größere Austauschfläche bzw. eine längere Verweilzeit sorgen. Aus einem in einer Auffangwanne befindlichen 250 Liter fassenden Schwefelsäuretank wird pH-Wert-gesteuert, kontinuierlich überwacht und vollautomatisch genau so viel Säure zu dosiert, dass die Reaktion $2 \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ stöchiometrisch erfolgt und das Salz Ammoniumsulfat gebildet wird. Dieses ist unproblematisch handzuhaben und deshalb als Düngemittel sehr beliebt. Selbiges gilt für die angereicherte Waschlösung, weshalb sie in die in der östlichen Rottehallenhälfte befindlichen Endlagertanks der flüssigen Gärreste gepumpt und ebenfalls verkauft wird.

Um neben Ammoniak auch noch den Anteil von Kohlenstoffverbindungen², Dioxinen bzw. Furanen, Keimen oder der Geruchbelastung [43] zu mindern, bietet sich eine regenerative thermische Oxidation³ an. Obwohl im besprochenen Projekt vorerst auf diese Technik verzichtet wird, sei eine kurze Beschreibung ihrer Funktionsweise erlaubt. Der Abgasstrom durchläuft einen auf ca. 1.000 °C [43] vorgeheizten Reaktor, wodurch die organischen Bestandteile flammenlos und ohne das Vorhandensein eines Katalysators hauptsächlich zu CO₂ oxidiert werden. Bei Vorhandensein größerer Anteile an Ammoniak im Rohgas würden diese großteils zu Lachgas reagieren, weshalb bei der Verwendung einer RTO ein vorgeschalteter saurer Wäscher unabdingbar ist. Die Gründe für die Bildung von N₂O sind ähnlich wie bei einem konventionellen Verbrennungsprozess, wobei der mit dem Brennstoff bzw. in diesem Fall mit der Abluft eingebrachte Stickstoff – durch seine Oxidation – den

¹ Beim Biofilter oder aber auch Biowäscher würde diese Option nicht bestehen, da für einen akzeptablen Abbau durch Mikroorganismen eine gleichmäßige „Fütterung“ gewährleistet sein muss.

² Wird meist als total organic carbon oder kurz TOC subsumiert.

³ Ab hier kurz RTO.



größten Anteil ausmacht. Prompte Stickoxide werden dank der fehlenden Flammenfront¹ genauso kaum gebildet wie thermische Stickoxide, da die dafür benötigten Temperaturen von über 1.200 °C im Normalfall nicht erreicht werden.

Da bei einer solch biologisch belasteten Abluft, deren in Wärme umgewandelte innere Energie aufgrund des geringen Kohlenstoffanteils meist nicht ausreicht, um den Prozess autotherm² fortzuführen, muss in der Regel ein zusätzlicher Brennstoff zugegeben werden. Nichtsdestotrotz muss der TOC-Wert nach der 30.BImSchV auf 20 mg Kohlenstoff pro Kubikmeter im Tagesmittelwert bzw. 30 mg C/m³ im Halbstundenmittelwert Abluft und 55 g Kohlenstoff pro verarbeiteter Tonne Abfall gesenkt werden. [44] Mit gängigen RTO-Anlagen wird heutzutage eine Verminderung des TOC auf unter 5 mg/m³ garantiert³, weshalb ein Einhalten der Grenzwerte nur mehr an einer zu hohen Gesamtbelastung der Abgasreinigungsanlage scheitern könnte. [43] Dieser garantierte Wert von 5 mg/m³ würde einen maximalen Abluftstrom von 11.000 m³/Mg Abfall bedeuten. Auf das betrachtete Vorhaben projiziert würde dies bei 45.000 t pro Jahr oder etwa 5 t/h 55.000 m³/h bedeuten. Abbildung 39 visualisiert, dass bei einem Stillstand des AHKW auch weiterhin die erforderliche Senkung des TOC-Wertes der hochbelasteten Abluft gewährleistet wäre.

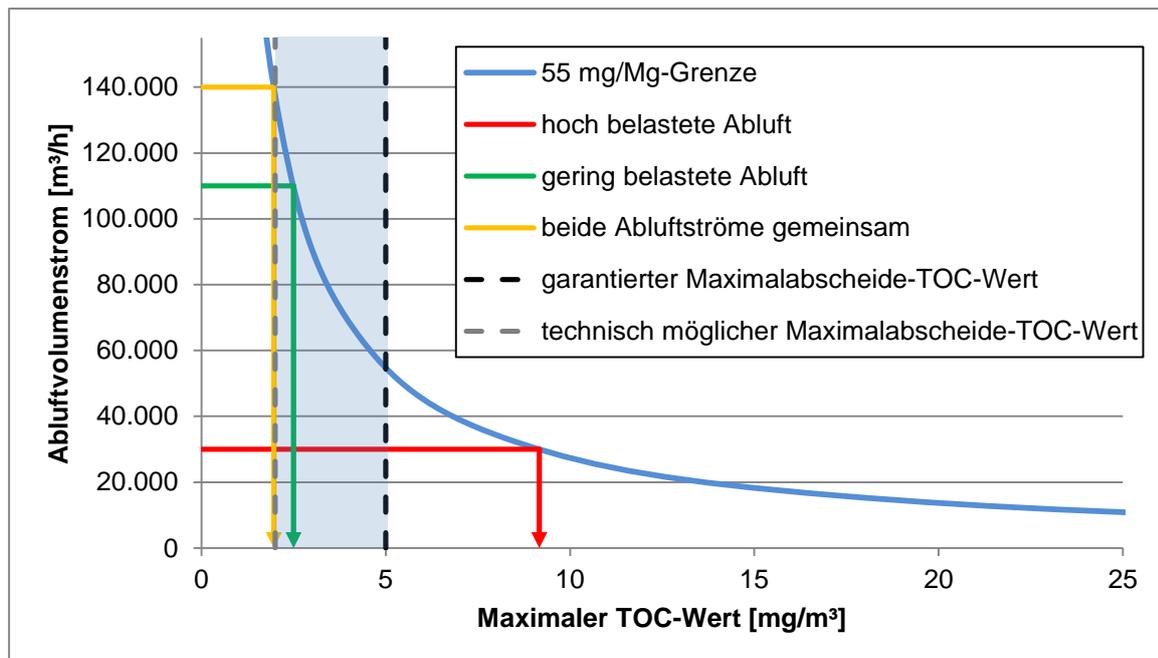


Abbildung 39: TOC-Grenzwert in Abhängigkeit des Abluftvolumenstroms bezogen auf die verarbeitete Abfallmenge von ca. 5 t/h nach [43]

Bei der niedrig belasteten Abluft bzw. beider Abluftströme zusammen befindet man sich im – von den Wäscherlieferanten nicht garantierten – Bereich. Da der Grenzwert von

¹ Der molekulare Luftstickstoff würde durch CH-Radikale zu Cyanwasserstoff (HCN) und dann weiter zu Stickoxiden reagiert. [31]

² Zusätzlich förderlich für die Effektivität des Verfahrens wäre eine möglichst hohe Eintrittstemperatur der Abluft, welche aber hinsichtlich des vorangestellten Wäschers nicht realisierbar wäre.

³ Laut Herstellerangaben werden in der Regel sogar Reinigungserfolge bis 2 mg/m³ erreicht. [43] Dies hängt natürlich entscheidend von der Konzentration im Rohgas, den Reaktionstemperaturen, und den Verweilzeiten ab.

55 mg/Mg als Monatsmittelwert bestimmt werden muss, kann von einer Einhaltung ausgegangen werden.

3.3.11 Zukünftiger Biofilter

Trotz der geänderten Verfahrensweise kann – dank der Erfahrung welche sich die Firma Thöni in den letzten Jahren angeeignet hat und angesichts der zunehmenden Studien zu diesem Thema – die Abluftzusammensetzung mittlerweile sehr gut abgeschätzt werden. Dies ermöglicht eine Dimensionierung bzw. Auslegung des Biofilters ohne jegliche Pilotversuche im Vorhinein durchführen zu müssen. Solche müssten neben den zu ermittelnden chemischen Summenparametern, welche in der Regel nur unspezifisch Rückschlüsse auf die gesamte organische Substanz ermöglichen, auch aus biologischen Testverfahren bestehen. Damit kann nämlich auch die Reaktivität der organischen Bestandteile beurteilt werden, welche das Langzeitverhalten in Hinblick auf die Emissionsbildung ermitteln lässt. Aus Untersuchungen im anaeroben Milieu lässt sich das Potential, im aeroben Milieu die tatsächliche Aktivität ableiten. [45] Obwohl für die Auslegung des Filters auf Versuche verzichtet wird, muss nach der Inbetriebnahme eine sogenannte Funktionsprüfung erfolgen, um feststellen zu können, wie sich die Mikroorganismen an die veränderte Abluftzusammensetzung angepasst haben.

Die bereits nahezu gesättigte Abluft wird vor dem Biofilter durch den bestehenden neutralen Wäscher noch zusätzlich befeuchtet, damit durch die Abkühlung im offenen Filterbett definitiv mit auskondensierender Flüssigkeit gerechnet werden kann. Dennoch muss auf Bescheid der Regierung von Schwaben eine weitere Bewässerungsmöglichkeit in Form einer Oberflächenberieselung installiert werden [17], um auch in den Sommermonaten den optimalen Wassergehalt des biogenen Schüttgutes zwischen 40 und 60 % [46] halten zu können. Das anfallende Sickerwasser darf nicht im Kreis gefahren und erneut für die Befeuchtung verwendet werden, da es zu vermeidbaren Geruchsemissionen führen würde. [17] Deshalb wird dieses Wasser auch weiterhin in die ABA Komb eingeleitet werden. Bezüglich der anzustrebenden Eintrittstemperatur des Rohgases empfiehlt das VDI Blatt 3475 den mesophilen Bereich zwischen 20 und 35 °C [23], um die Bildung von thermophilen Mikroorganismen, welche den Wirkungsgrad des Biofilters senken würden, zu hemmen. Sollte sich im laufenden Betrieb herausstellen, dass die Reingastemperatur nach dem Biofilter in den Wintermonaten unter + 5 °C liegt, ist eine entsprechender Wärmetauscher nachzurüsten. [17] Obwohl die Filterflächenbelastung nicht als Auslegungsparameter herangezogen werden darf, sollte ein Volumenstrom von 50 [47] bis 150 m³ [23] Rohgas pro m² Filterfläche nicht überschritten werden. Die Gründe liegen zum einen an den sich mit der Zeit aufbauenden Drücken und zum anderen natürlich an der höheren Abbauleistung, welche sich bei einer höheren Filterflächenbelastung massiv verschlechtern würde. Durch die Halbierung des Biofilters im Zuge des Umbaus auf 1.100 m² durchströmen im Normalbetrieb ca. 100 m³ und wenn sich das AHKW in Revision befindet 127 m³ an Abluft durch einen Quadratmeter des Filters. Da neben Kontrollmöglichkeiten auch ausreichende Filterbodenöffnungen durch die speziellen Belüftungssteine bestehen, welche gelegentlich mit einem Hochdruckreiniger frei gespült



werden können, gibt es diesbezüglich von Seiten der Projektleitung keine Bedenken. Ein erhöhter Staubanteil kann durch den in der Verfahrenshalle befindlichen Filter ausgeschlossen werden. Lediglich große Mengen an fetthaltigen oder toxischen Abluftbestandteilen könnten die Funktion des Biofilters massiv gefährden, werden aber aufgrund der Fermentation bzw. der verwendeten Inputstoffe weitgehend ausgeschlossen.

In Bezug auf die Reinigungswirkung von Biofiltern liegt der Hauptnutzen überwiegend auf der geruchsmindernden Seite. Um von den Mikroorganismen abgebaut werden zu können, müssen die zu entfernenden Abluftinhalstoffe zumindest eine gewisse Wasserlöslichkeit [47] besitzen und natürlich vor allem biologisch abbaubar sein. Der organische Energieträger Methan wird beispielsweise nur bis zu 20 % verstoffwechselt und bei stark vernässten oder ungleichmäßig durchlüfteten Biofiltern sogar noch zusätzlich gebildet. [47] Bartels und Kruse stellten in ihren Untersuchungen fest, dass flüchtige organische Verbindungen¹ hingegen bis zu 90 % abgebaut werden können. [48] Selbst bei den sehr gut funktionierenden Biofiltern werden durch den Eigenabbau und die Vererdung des Biofilterfüllmaterials immer eine geringe Grundbelastung von wenigen mg Kohlenstoff je m³ vorherrschen. [47]

Erneut auf die Studie von Cuhls [26] zurückzukommend, werden in der Folge die Messergebnisse einer bestimmten Anlage näher analysiert, da sie sich am besten als Vergleichsobjekt für die zukünftigen Verfahrenskombination in Augsburg eignet. Um die Ähnlichkeit der beiden Anlagen herauszustreichen, wird das untersuchte Objekt kurz näher beschrieben:

Von den biogenen Inputstoffen werden ca. 30 % in acht Fermenter diskontinuierlich beschickt und verbleiben dort für 21 Tage. Der restliche noch frische Abfall gelangt gemeinsam mit dem festen Gärrest in dreizehn Intensivrotte-Tunnel, welche über die Behandlungszeit von drei bis vier Wochen aktiv belüftet und einmal umgesetzt werden. Die Nachrotte erfolgt auf 13 überdachten Mietenfeldern mit ansonsten gleichen Bedingungen wie in der Hauptrotte. Sowohl die Pressen für den Gärückstand als auch die Presswasser-Speicherung sind eingehaust, wobei letztere Emissionen nicht in die Abluftbilanz einfließen. Die Abgasreinigung erfolgt mit einem Luftbefeuchter, einem sauren Wäscher und einem Biofilter nahezu ident wie im Revisionsfall des AHKW bei dem vorliegenden Projekt, außer dass der Befeuchter mit Prozesswasser anstelle von frischem Wasser betrieben wird. Das Verhältnis von Abluftvolumenstrom zu durchgesetztem Abfall liegt mit 15.000 m³/Mg deutlich unter den 22.000 m³/Mg bei Normalbetrieb bzw. 28.000 m³/Mg, wenn die Abluft gerade nicht durch das AHKW gereinigt werden kann. Selbiges gilt für die Biofilter-Flächenbelastung von 72 m³/(h*m²) im Vergleich zu den 100 bzw. 127 m³/(h*m²). [40]

Zusammenfassend bleibt ungeachtet der vielen Parallelen eine gewisse Diskrepanz zwischen dem untersuchten und dem geplanten Objekt, weshalb nicht mit Sicherheit behauptet werden kann, bei welchem die Emissionen nach dem Biofilter höher sein werden. Abbildung 40 zeigt die gemessenen Halbstundenmittelwerte der vorhin beschriebenen Anlage. Interessanterweise wurde bei den beiden in Cuhls Studie

¹ Ab hier kurz NMVOC (non methane volatile organic compounds).



untersuchten Trockenfermentationsanlagen – ohne Nachrotte der festen Gärreste – eine Minderung von Methan, bei den dreien mit nachgeschalteter Kompostierung eine Zunahme festgestellt. Der zu Beginn leicht reduzierte Anteil an NMVOC wird gegen Ende der Messungen sogar leicht erhöht und lässt somit keine weiteren aussagekräftigen Schlussfolgerungen zu dieser Verbindung zu.

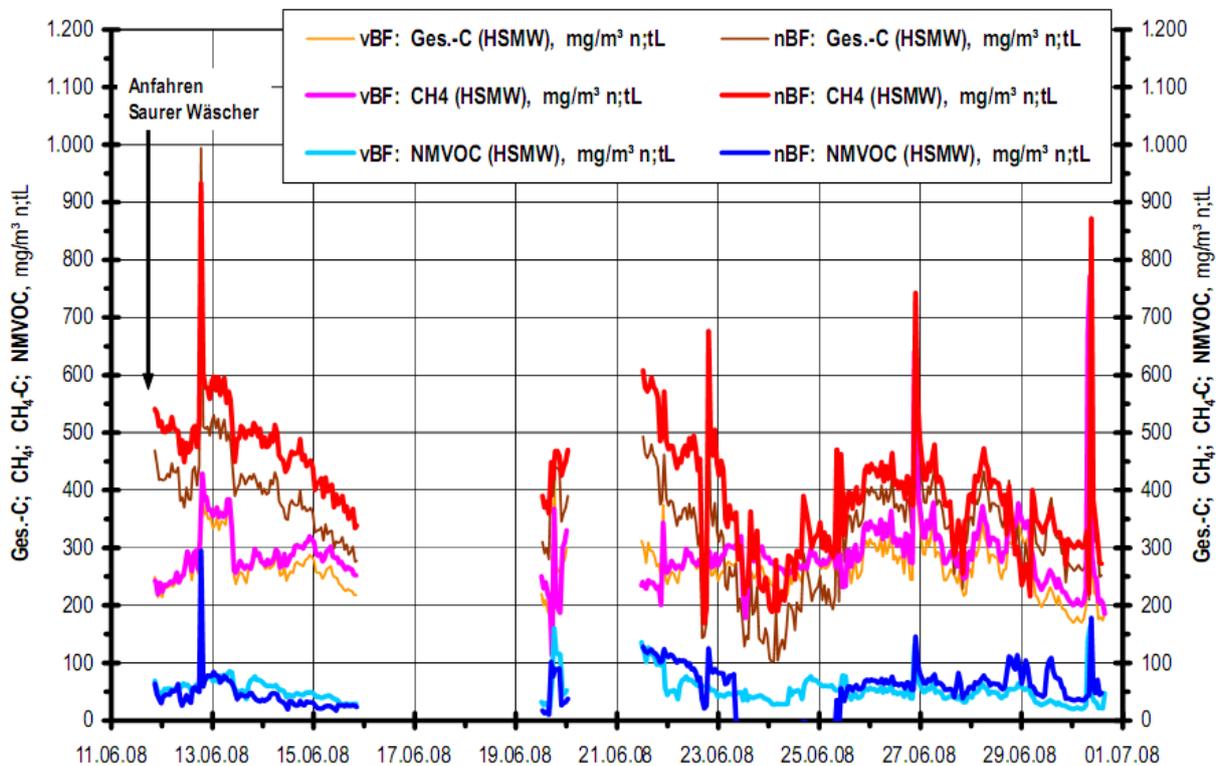


Abbildung 40: Massenkonzentrationen an Ges.-C, CH₄ und NMVOC im Rohgas vor Biofilter (vBF) und Reingas nach Biofilter (nBF) [40]

Die neben den kohlenstoffhaltigen Abluftbestandteilen genauso interessanten Stickstoffverbindungen wurden in dieser Arbeit bereits mehrfach angesprochen. Ausgehend von stickstoffhaltigen organischen Substanzen wie beispielsweise Aminosäuren oder Harnstoff entstehen zunächst – sowohl in der aeroben Rotte als auch im Biofilter – Ammoniak bzw. in Abhängigkeit vom pH-Wert Ammonium. [31] Verschiedene Untersuchungen stellten eine relative Ammoniak-Abbauleistung von ca. 60 % [49] im Vergleich zur Ausgangsmasse fest. Diese kann bei hohen Rohgasgehalten sogar noch etwas höher ausfallen. Tritt jedoch eine Überlastung ein, so führen ungewollte Stoffwechselprodukte zu einer Versauerung bzw. Versalzung des Biofilters. In der Folge werden aus den Ammoniumionen Wasserstoffprotonen frei, die den pH-Wert des Biofilters senken. Als sehr einfach zu bestimmender Indikator für den Stickstoffhaushalt, sollte der pH-Wert immer gemessen werden und so gut als möglich im neutralen Bereich gehalten werden.

In Tabelle 3 sind Schritt für Schritt die Stationen der Nitrifikation bzw. Denitrifikation samt unerwünschter Nebenreaktionen, welche in solchen Fällen unvermeidbar sind, angeführt. Beginnend mit dem aeroben Weg zur Zwischenstation des Stickstoffkreislaufes – dem Nitrat – bildet sich zuerst Hydroxylamin, von dem wiederum das extrem

treibhauschädliche Lachgas als Nebenprodukt abgespalten und freigesetzt wird. [31] Danach folgt der Weg der Nitrifikation mit Hilfe von Nitrosomonas [31] zu Nitrit und schlussendlich zu Nitrat, der höchsten Oxidationsstufe des Stickstoffs.

Da in biogenen Schüttungen und auch in Biofiltern regional immer wieder anoxische Zonen ohne gelösten Sauerstoff auftreten können, wird im Gegenzug die Denitrifikation von Nitrat begünstigt. [50] Als Zwischenstufen zum elementaren gasförmigen Stickstoff werden dabei zuerst Stickoxid und dann Lachgas [26] im Verhältnis von ca. zwei zu eins. [49] gebildet. Das Ausmaß und der Ablauf dieser Reduktion von Stickstoff ist vom pH-Wert, dem Gehalt an verfügbarem Kohlenstoff bzw. Nitrat, der Temperatur, Durchlüftung und dem Wassergehalt des Materials abhängig. [51] Dabei wurde festgestellt, dass die Denitrifikation in Zonen mit hohem Wassergehalt katalysiert wird, wobei in sehr trockenen Poren eher die Wahrscheinlichkeit einer Nitrifikation steigt. [52] Obwohl bei der biologischen Abfallbehandlung permanent für feuchte Umgebungen gesorgt wird, ist mittlerweile bekannt, dass dort die Nitrifikation im Vergleich zur Denitrifikation einen größeren Beitrag zur Entstehung von N_2O leistet. [53]

Tabelle 3: Stickstoffkreislauf im Zuge der biologischen Abbauprozesse vor, während und nach dem Biofilter [31] [54]

Art des Prozesses	Prozess	Produkt	Oxidationszahl von Stickstoff
aerob/ anaerob	Ammonifikation von		
	org. gebundenem Stickstoff	Ammoniak NH_3	-III
		Ammonium NH_4^+	-III
aerobe Oxidation	Nitrifikation von		
	Ammonium	Hydroxylamin H_3NO	-I
	Hydroxylamin	Lachgas N_2O	I
	Hydroxylamin Nitritation	Nitrit NO_2^-	III
	Nitrit Nitratation	Nitrat NO_3^-	V
anaerobe Reduktion	Denitrifikation von		
	Nitrat Nitratreduktase	Nitrit NO_2^-	III
	Nitrit Nitritreduktase	Stickstoffmonoxid NO	II
	Stickstoffmonoxid NO-Reduktase	Lachgas N_2O	I
	Lachgas N_2O -Reduktase	Stickstoff N_2	0

Die in Abbildung 41 dargestellten Messergebnisse von Cuhls bestätigten die zu erwartende Lachgasbildung im Biofilter. Ein doppelter bis dreifacher Wert von Lachgas im Reingas liegt sogar noch im unteren Bereich. Aus vergangenen Untersuchungen sind Anstiege bis um den Faktor 7,5 [31] bzw. zehn [49] bekannt.

Äußerst untypisch dazu verhält sich der Verlauf von Ammoniak während des Biofilters. Im Gegensatz zu der vorhin beschriebenen Reduktion, welche auch bei allen anderen Anlagen aus dieser Messreihe bestätigt werden konnte, signalisieren die Ergebnisse einen Anstieg von NH_3 . Dadurch werden sogar die von der TA-Luft festgelegten Grenzwerte einer Massenkonzentration von 30 mg/m^3 Abluft [55] überschritten. Betrachtet man die gesamten Messwerte (siehe Tabelle 12 in Anhang A2) so fällt auf, dass der TA-Luft-Grenzwert für den Massenstrom von $0,15 \text{ kg/h}$ [55] mit 5 kg/h noch eklatanter überschritten wurde. Ebenfalls in Tabelle 12 zu finden sind die Emissionsfaktoren, welche bei dieser Anlage $600 \text{ g NH}_3/\text{Mg}$ Abfall betragen. In der Studie selbst werden leider keine plausiblen Erklärungen oder Begründungen angeführt, weshalb es bei den Messungen an der besprochenen Anlage zu diesen hohen Werten gekommen ist. Die Dimensionierung des Biofilters kann nicht der Grund sein, da diese mit $72 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ absolut ausreichend ist.

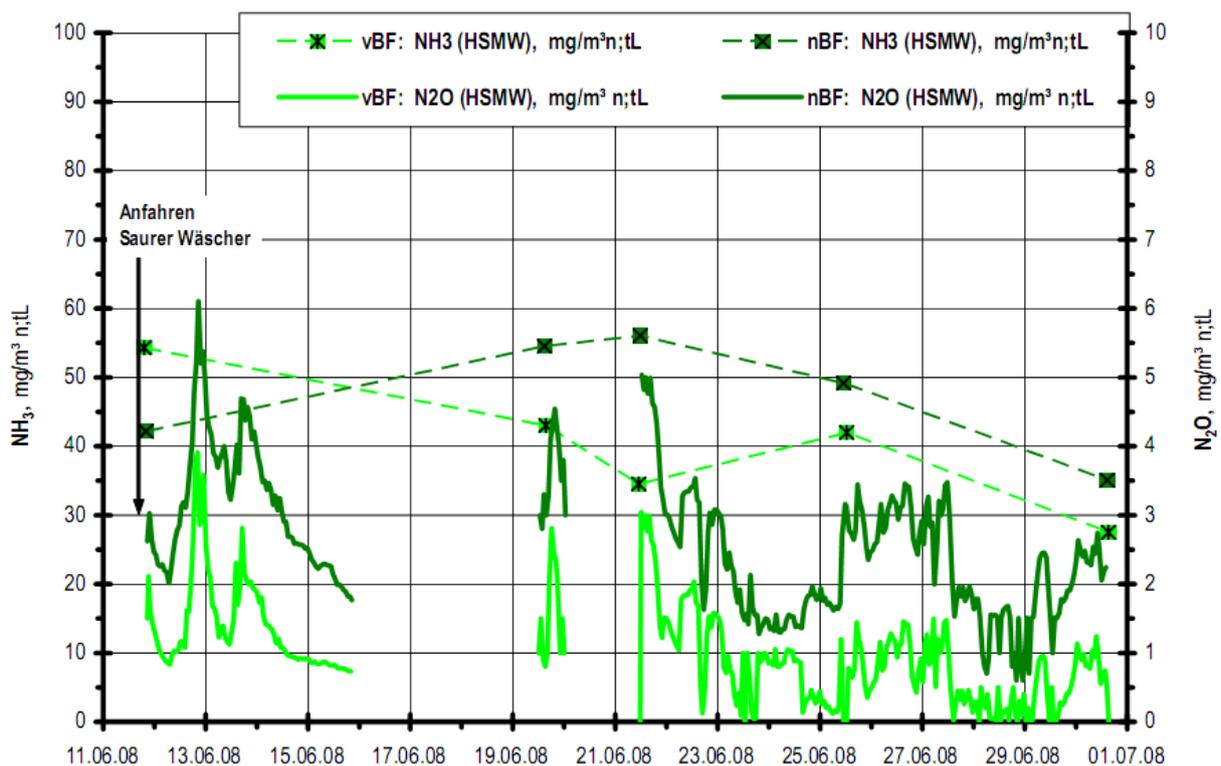


Abbildung 41: Massenkonzentrationen an NH_3 und N_2O im Rohgas vor Biofilter (vBF) und Reingas nach Biofilter (nBF) [26]

Um die Praxis in dieser Arbeit fortzusetzen, wird zuletzt noch das Thema Geruch betrachtet. Die 30.BImSchV [44] bzw. die TA-Luft [55] schreiben für die Abluft aus Biofiltern einen Grenzwert von 500 GE/m^3 Abluft vor, welcher mit dem geometrischen Mittelwert von mindestens zwölf Einzelmessungen oder sechs Messungen aus zwei Absaugungen zu vergleichen ist. [17]

In Tabelle 4 werden alle Geruchsemissionen aus den einzelnen Bereichen der neuen

Anlage in Augsburg angeführt. Konnten keine Mess- bzw. Erfahrungswerte in der Literatur für einen gewissen Bereich (z.B. Mischer/Eintrag in den Fermenter) gefunden werden, so wurde ein Näherungswert eingetragen und durch eine kursive Schreibweise kenntlich gemacht. Dies gilt auch für alle Ergebnisse von Berechnungen, in die dieser Wert einbezogen ist. Die 33.000 GE/s der hochbelasteten Abluft vor der Intensivrotte kommen beispielsweise durch Addition der einzelnen Geruchsquellen davor zustande und wurden wie alle Geruchsströme auf zwei signifikante Stellen gerundet. Der Grund dafür liegt an der immer noch relativ hohen Schwankungsbreite olfaktorischer Messungen trotz vieler verschiedener geschulter Probanden. Wie in Kapitel 3.3.7.3 erläutert wurde, sind aus einer Intensivrotte Geruchsbildungen von ca. 400 GE/s zu erwarten. Beachtet man hingegen, dass die Zuluft bereits eine sehr hohe Ausgangsbelastung von ca. 9.100 GE/m³ besitzt, ist die Geruchsbildung der Intensivrotte zu vernachlässigen.

In der Nachrotte gilt selbige Problematik der bereits vorbelasteten Zuluft. Es wird angenommen, dass unter diesen Voraussetzungen dennoch der idente Geruchzuwachs stattfindet als mit Frischluft.

Tabelle 4: Übersicht der Geruchsemissionen in den verschiedenen Teilen der Anlage

Ort	Geruchsstrom pro Zeit	Abluft-Volumenstrom	Geruchsstrom pro Volumen
	GE/s	m ³ /h	GE/m ³
Anlieferhalle	200	35.000	21
Verfahrenshalle	100	20.000	18
Feinaufbereitung	210	7.200	110
ABA Komb	100	10.000	36
geringbelastete Abluft vor Nachrotte (inkl. frischer Nachströmluft)	610	110.000	20
Nachrotte	600	110.000	20
geringbelastete Abluft vor Biofilter	1.200	110.000	40
Zwischenspeicher	5.400	1.200	16.000
Mischer/Fermentereintrag	100	50	6.900
Förderbänder etc.	50	230	790
Pressenhaus	12.000	6.200	7.100
Gärrestlager flüssig	15.000	5.250	10.000
hochbelastete Abluft vor Intensivrotte (Bypassluft bzw. IR-Zuluft)	33.000	12.930	9.100
Intensivrotte	400	16.000	90
hochbelastete Abluft vor AHKW	33.000	30.000	4.000
Revisionsfall des AHKW	43.000	140.000	1.100

Die geringbelastete Abluft unterschreitet die 500 GE/m³-Grenze nach dem Biofilter allenfalls. Bei der hochbelasteten Abluft sind aufgrund der Reinigung durch den



Verbrennungsprozess und die nachfolgende Abluftreinigung im AHKW – im Normalbetrieb – genauso keine weiteren Problemen zu erwarten. Befindet sich das AHKW in Revision, so wird der Biofilter mit 1.100 GE/m³ belastet. Da bei Biofiltern von einem Abscheidegrad an Geruchsemissionen von über 56 % [56] ausgegangen werden kann, wäre auch in diesem Fall ein gesetzeskonformer Betrieb gewährleistet.

4 Diskussion der innovativen Aspekte dieses Projekts

Zum Schluss werden in diesem Kapitel die sich durch den Um- bzw. Neubau ergebenden Möglichkeiten aus verschiedenen Blickwinkeln betrachtet. Dabei wird neben den nicht-emissionstechnischen Aspekten, welche vorab behandelt werden, vor allem ein Fokus auf die emissionsmindernden Aspekte gelegt.

4.1 Nicht-emissionstechnische Aspekte

4.1.1 Genehmigungstechnischer Aspekt

Die Genehmigungsphase für dieses mehrere €-Millionen teure Projekt dauerte lediglich von 20. September 2012 bis 20. Dezember 2012 und unterstreicht damit die gute Zusammenarbeit der Behörden mit der AVA. Schließlich mussten seit mehr als 20 Jahren in regelmäßigen Abständen kleinere bis größere Zu- oder Umbauten genehmigt werden. Obwohl für Anlagen zur biologischen Behandlung von Abfällen in der Regel die Kreisverwaltungsbehörden zuständig sind, hatte bei diesem Bauprojekt die Bezirksbehörde von Schwaben das Wort. [17] Grund dafür ist die zukünftige Verbindung zum AHKW, wodurch die neue Bioabfallvergärungsanlage zum Nebenstandort des AHKW wird. In der Folge hatte die Regierung von Schwaben im Zuge der immissionsschutzrechtlichen Genehmigung nur zu prüfen, ob zusätzlich zu der UVP des AHKW noch eine weitere für den Umbau der bestehenden Kompostierungsanlage durchzuführen war. Wie in Kapitel 2 bereits erläutert wurde, ist dies nicht der Fall. Für alle weiteren Vorhaben, ein solches Projekt am Gelände eines AHKW zu realisieren, kann somit nur die Schlussfolgerung gezogen werden, dass es in Bezug auf den Genehmigungsprozess durchaus vorteilhaft gegenüber einer Stand-Alone-Variante ist.

4.1.2 Ökonomischer Aspekt

Um die in Zukunft vor allem in Deutschland massiv ansteigenden Mengen an getrennt gesammelten Bioabfällen entsorgen bzw. verwerten zu können, stehen den Abfallsammlern und -behandlern mehrere Möglichkeiten zur Verfügung. Da von Seiten der Legislative vermehrt eine sowohl stoffliche als auch energetische Nutzung angestrebt wird, scheidet die Verbrennung unter den derzeitigen Voraussetzungen – welche noch keine wirtschaftliche Phosphorrückgewinnung aus der Schlacke ermöglichen – als Lösungsvariante aus. Am wahrscheinlichsten bietet sich deshalb eine Kompostierung, Vergärung oder Kombination der beiden Verfahren an, wobei schlussendlich natürlich auch hier die Wirtschaftlichkeit der zu tätigenen Investition entscheidend ist. Das bifa Umweltinstitut hat in ihrem 2010 veröffentlichten Text Nr. 47 „Ökoeffiziente Verwertung von Bioabfällen und Grüngut in Bayern“ neben einer Ökobilanz auch einen monetären Vergleich der drei Verfahren angestellt. Dieser führte zu dem Ergebnis, dass die Entsorgung einer Tonne Abfall in einer offenen Kompostierung 35 €, einer mit geschlossener Intensivrotte 48 € und einer komplett eingehausten Kompostierung 65 € kostet. [32] Demgegenüber stehen zu erzielende



Gewinne aus der energetischen und stofflichen Weiterverwendung der Outputstoffe. Letztere werden an dieser Stelle vernachlässigt, da aus nahezu allen biologischen Behandlungsverfahren dieselben Mengen an Outputmaterial erhalten werden. Ob die Qualität dieser Stoffe gleichwertig ist, wird in Kapitel 4.1.3 besprochen. Auch wenn das Produkt der Kompostierung – der Kompost – in den seltensten Fällen energetisch verwertet wird, kalkuliert das bifa-Institut dennoch einen Nutzen von ca. 130 kWh Strom pro Tonne Bioabfall bzw. 60 kWh Fernwärme/Mg. Dies resultiert aus der Annahme, dass 12 % des angelieferten Bioabfalls als heizwertreiche Fraktion in die Müllverbrennung gelangen.¹ Bei dem Verfahren der Vergärung mit nachfolgender Kompostierung der Gärreste werden rund 200 kWh elektrische Energie/Mg und 110 kWh Fernwärme/Mg berechnet.² [32] Leider hinkt dieser Vergleich an dieser Stelle, da vergessen wurde, dass der Inputstoff für alle Anlagen derselbe ist und deshalb auch bei der Vergärung die energetische Verwertung der abgetrennten Störstoffe zu berücksichtigen ist.

Betrachtet man rein die Umstellung der bisherigen Kompostierung auf die neue Verfahrenskonstellation, so steht ein Zuwachs des benötigten elektrischen Eigenverbrauchs von 3.350.000 kWh/a (1.850.000 kWh/a auf ca. 5.200.000 kWh/a) zu Buche. Thermisch sorgt der Fermenter samt Nebenaggregaten für einen jährlichen Zusatzbedarf von 2.000.000 kWh (850.000 kWh/a auf ca. 2.850.000 kWh/a). Den aufzuwendenden 5.350.000 kWh stehen jedoch etwa 28.000.000 kWh an Energie in Form von Biogas gegenüber und bilanzieren somit ein deutliches Plus bei Halbierung der durchgesetzten Abfallmenge. [17]

Wie die in Biogas umgewandelte Energie bestmöglich weiterverwendet wird, ist standortspezifisch zu klären, wobei die KWK-Nutzung in BHKW sicherlich die gängigste Methode darstellt. Als Alternative dazu bietet das AHKW in Augsburg eine Reihe von weiteren Einsatzmöglichkeiten an, um die Verbrennungswärme von Biogas zu nutzen. Beispielsweise könnte man den Zünd- und Stützbrenner entsprechend umbauen, das Speisewasser damit vorwärmen³ oder die Abgase vor der Stickoxidreinigung durch die selektive katalytische Reduktion wieder aufwärmen. [57] Schlussendlich besteht natürlich

¹ Plausibilitätsprobe: Für den Gesamtwirkungsgrad wurde der eines durchschnittlichen AHKW in Bayern mit 42 % [32] herangezogen. Wenn man annimmt, dass diese 120 kg einen Heizwert von ca. 12 MJ/kg bzw. 3,3 kWh/kg besitzen ergibt dies eine maximale Energie von 400 kWh/Mg Bioabfall. 130 kWh Strom/Mg würden deshalb einen elektrischen Wirkungsgrad von 32,5 %, 60 kWh Fernwärme/Mg einen thermischen von 15 % bedeuten. Daraus resultiert ein Gesamtwirkungsgrad von 47,5 % (sofern man den elektrischen Wirkungsgrad nicht – wie es gelegentlich vorkommt – höher gewichtet), wonach die bifa von einem höheren Heizwert der abgetrennten Störstoffe zugunsten der Kompostierung ausgeht.

² Plausibilitätsprobe: Aus einer Tonne Bioabfall_{feucht} lassen sich etwa 120 m³ Biogas mit einem Methangehalt von ca. 60 % - also 72 m³ reines Methan - gewinnen. Methan hat einen Heizwert von 36 MJ/m³ bzw. 10 kWh/m³ wodurch eine maximal nutzbare Gesamtenergie von ca. 720 kWh/Mg Bioabfall resultiert. Die im bifa-Text beschriebenen 200 kWh elektrisch/Mg würden demnach einen elektrischen Wirkungsgrad von 28 %, die 110 kWh Fernwärme/Mg einen thermischen von 15 % ergeben. Dieser Gesamtwirkungsgrad von 43 % (sofern man den elektrischen Wirkungsgrad nicht – wie es gelegentlich vorkommt – höher gewichtet) liegt nur etwa bei der Hälfte dessen, was mit derzeitigen BHKW erreicht werden kann und kommt deshalb in diesem Vergleich erneut den stand-alone-Kompostierungsanlagen zugute.

³ Hierzu würde sich auch die Niedrigtemperaturabwärme eines BHKW anbieten.

auch noch die Möglichkeit, einen Teil des gewonnenen Biogases dafür zu verwenden, den Eigenenergiebedarf wie z.B. die Fermenterbeheizung oder aber auch die finale Trocknung des Kompostes abzudecken. Zusammenfassend bleibt jedoch die Tatsache, dass eine Aufbereitung auf Erdgasqualität mit nachfolgender Einspeisung in das öffentliche Netz, oder die KWK-Nutzung im BHKW mit Abstand am wirtschaftlichsten sind. Grund dafür ist die EEG-Vergütung, auch wenn diese in Zukunft möglicherweise etwas reduziert wird. Welche dieser beiden verbleibenden Möglichkeiten die profitablere ist, muss für den Einzelfall separat geklärt werden. Fakt ist, dass einerseits an AHKW-Standorten ausreichend Strom¹ und Abwärme vorhanden ist, andererseits jedoch auch die Infrastruktur besteht, diese Energie zum Endverbraucher zu transportieren. Obwohl das Stichwort gerade gefallen ist, muss bevor abschließend auch auf die infrastrukturellen Vorteile des Projektes eingegangen wird, zur Vollständigkeit noch der entgegengesetzte Ansatz kurz besprochen werden. Natürlich ist es genauso möglich, neben der am Standort kostengünstig vorhandenen elektrischen Energie, die Abwärme des AHKW für die biologische Abfallbehandlung zu verwenden und das dort gewonnene Biogas ausschließlich in das öffentliche Netz einzuspeisen. Da in Augsburg eben auch Fernwärme erzeugt wird, könnte diese mit ihrem Temperaturniveau von 75 °C bis 130 °C [58] – je nach Außentemperatur – idealerweise zur Fermenterbeheizung genützt werden.²

Neben diesen beiden Energieformen steht in allen drei Hallen der biologischen Abfallbehandlungsschiene auch noch eine weitere Form – die Druckluft - zur Verfügung, welche zum Öffnen und Schließen der Eintragschieber am Fermenter genauso verwendet werden könnte wie zum Reinigen der airpipes.

Abgesehen von den energiewirtschaftlichen Punkten beinhaltet ein solches Projekt im Vergleich zur Realisierung auf der grünen Wiese noch eine Reihe weiterer kostenminimierender Faktoren. Eine der größten Erleichterungen ist zweifelsohne, dass am Standort bereits mehrere hunderttausend Tonnen an Abfall jährlich verwertet bzw. entsorgt werden. Dadurch manifestiert sich von Seiten der Bevölkerung mit der Zeit eine steigende Akzeptanz, wohlgleich in der näheren Umgebung überwiegend Industriegebäude und keine Wohnhäuser zu finden sind. Bestehende Einrichtungen wie die Eingangskontrolle samt LKW-Waage, die Löschwasserpumpstation oder natürlich das erfahrene Personal sind nur einige wenige der zahlreichen Vorteile. Betriebstechnisch sei vielleicht noch die einheitliche Steuerung von der rund um die Uhr besetzten Leitwarte im AHKW hervorzuheben, welche in Zukunft neben der thermischen Verwertung auch von der biologischen Schiene alle 1,5 Sekunden Messwerte erheben wird. Damit es bei diesen riesigen Datenmengen so einfach wie möglich bleibt den Überblick zu bewahren, wird auch in der neuen Vergärungs- und Kompostierungsanlage das sogenannte Kraftwerks-Kennzeichnungs-System – kurz KKS – angewendet, dass allen Mitarbeitern bereits bestens bekannt ist.

¹ Zusätzlich zu den 100.000 MWh Strom/a durch das Kraftwerk werden, durch 11.000 Photovoltaikpaneele auf den Dächern der diversen Hallen, jährlich ca. 900 weitere MWh an Strom gewonnen.

² An dieser Stelle sei noch einmal auf das Kapitel 2.4 mit dem Antrag auf einen Sonderpassus im EEG verwiesen, der eine solche Nutzung, welche derzeit noch ein Ausschlussgrund für die EEG-Vergütung bedeutet, ermöglichen soll.



4.1.3 Ökologischer Aspekt

Da es bei einer ökobilanziellen Bewertung eines Verfahrens bei weitem nicht nur um die emissionstechnischen Faktoren geht, ist eine biologische Behandlung wie die Kompostierung oder Vergärung ganz klar der Verbrennung vorzuziehen. Letztere würde, wenn man rein die Emissionen zur Beurteilung der Umweltwirkung heranzieht, am besten abschneiden. Widmet man sich dem Sachverhalt der immer knapper werdenden Ressource Phosphor, so schneidet die Kompostierung einer Tonne Bioabfall mit 2,5 kg an substituiertem Erz und die Vergärung mit 2,8 kg deutlich besser ab als die Abfallverbrennung.¹ [59] Obwohl derzeit massive Forschung in dem Bereich der Phosphorrückgewinnung aus MVA-Schlacken betrieben wird, ist es unter den derzeitigen Randbedingungen noch nicht rentabel.

So bleibt nur noch zu beurteilen, ob die Endprodukte der beiden biologischen Behandlungsmethoden als gleichwertig zu erachten sind. Das bifa Umweltinstitut bezieht sich in seinem Text Nr. 47 auf Studien der Bundesgütegemeinschaft Kompost², welche den Produkten der Kompostierung durchwegs höhere Nährstoffgehalte im Vergleich zu den kompostierten Gärprodukten einräumen. [32] Begründet wird dies durch Nährstoff-Verluste auf Seiten der Vergärung, welche mit dem Prozesswasser ausgetragen werden würden. Fasst man diese jedoch wie bei der zukünftigen Anlage in Augsburg und bringt sie ebenfalls als Dünger wieder in den Stoffkreislauf ein, so sind die Produkte der beiden verglichenen Verfahren nahezu ebenbürtig zu werten.

4.2 Abwassertechnischer Aspekt

Anknüpfend an den vorherigen Punkt werden bei der AVA auch sonstige anfallende Abwässer nicht auf dem konventionellen Weg über die kommunale Kläranlage entsorgt. Die ABA Komp ist in diesem Sinne als Pendant zur Abluftreinigung im Zuge der Verbrennung zu werten und unterstreicht erneut die Innovativität des Projektes.

Im folgenden letzten Kapitel dieser Arbeit werden noch einmal die gasförmigen Emissionen beleuchtet und deren einzigartige Lösung zur Minderung dieser hervorgehoben.

4.3 Ablufttechnischer Aspekt

Um die Effektivität einzelner Maßnahmen zur Senkung der Treibhausgas³-Emissionen besser einschätzen zu können, ist es essenziell vorab die Größenordnung der Belastung zu kennen, um die Relationen besser wahrnehmen zu können. Im Jahre 2008 trug Österreichs

¹ Anschließende Ausbringung auf landwirtschaftlichen Flächen der erzeugten Komposte bzw. Gärprodukte vorausgesetzt.

² Ab hier kurz BGK.

³ Ab hier kurz THG.

Abfallwirtschaftssektor mit 2.024 Gg an CO₂-Äquivalenten zu 2,3 % der gesamten nationalen Emissionen bei (siehe Abbildung 42). [31] Dies bedeutet eine Verminderung um 44 % zum Wert 18 Jahren davor. Methan war mit 81 % 2008 der mit Abstand größte Verursacher der Klimaerwärmung gefolgt von Lachgas mit 18 und Kohlendioxid mit unter einem Prozent. Betrachtet man die THG-Emissionen nicht nach der chemischen Zusammensetzung sondern nach ihrer Herkunft innerhalb der Abfallwirtschaft, so verzeichnete die Abfallbehandlung mit 1.557 Gg an CO₂-Äquivalenten rund 77 % ihrer Branche. Leider sind in Österreich keine genaueren Aufzeichnungen über die Emissionen in den einzelnen Behandlungszweigen zu finden. Des Weiteren ist in diesem Wert noch der Anteil der Deponierung mit enthalten, welche trotz des Deponieverbotes in den nächsten Jahren sicherlich noch einen Großteil der THG verursacht. Aus unerklärlichen Gründen wurden die für das vorliegende Thema so zentralen Lachgasemissionen vom Umweltbundesamt für die Erstellung dieser Statistik, beim größten Emittenten – den Deponien – nicht berücksichtigt. [31] Der Rest der verteilte sich zu 14 % auf die Abwasserbehandlung, zu acht Prozent auf die biologische Verwertung (Kompostierung bzw. MBA) und zu unter einem Prozent auf die Abfallverbrennung. [31]

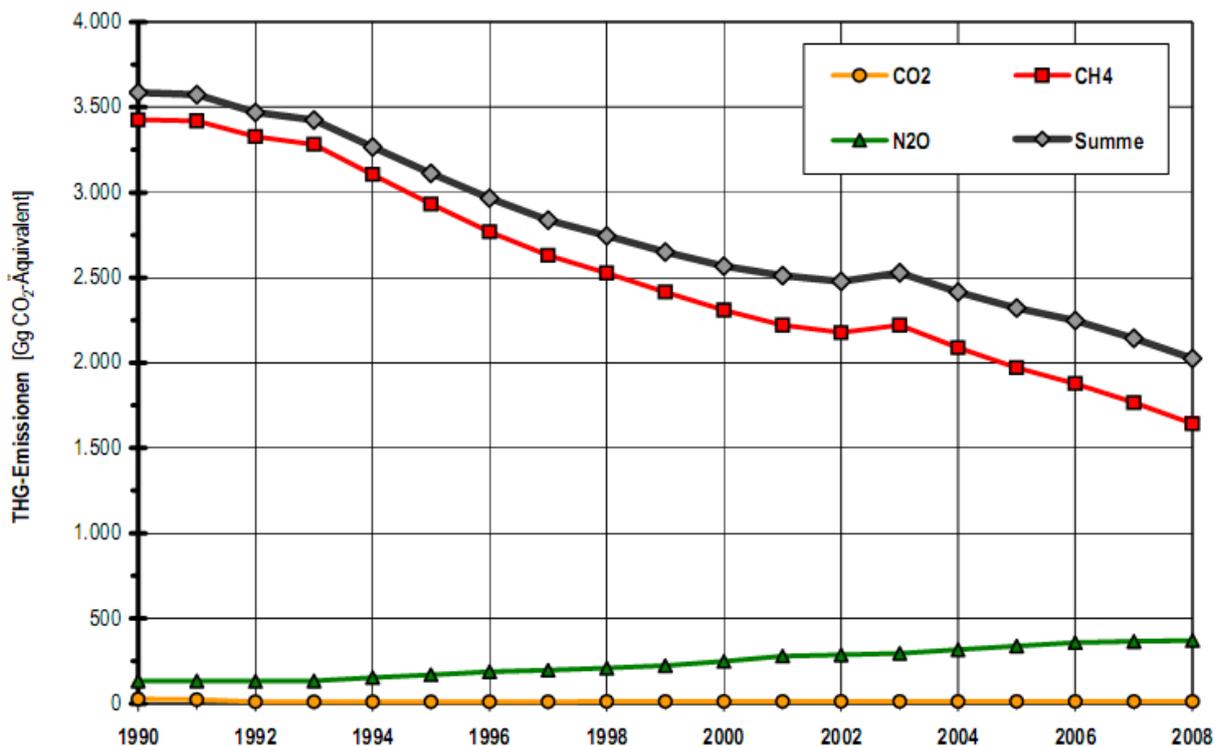


Abbildung 42: THG-Emissionen Österreichs Abfallwirtschaft von 1990 bis 2008 mit Aufschlüsselung der Anteile einzelner gasförmiger Verbindungen; aus [31]

In Abbildung 43 ist der Trend in der Abfallwirtschaft von der Deponierung hin zur Wiederverwendung am Beispiel Deutschland ersichtlich. Durch zwei unterschiedlich skalierte Ordinaten täuscht die Grafik auf den ersten Blick. Die THG-Emissionen von mechanisch biologischen Abfallbehandlungs¹ bzw. Kompostierungsanlagen haben zahlenmäßig zu Mitte des Jahres 2006 noch nicht die Emissionen aus Abfalldeponien überholt. Setzt sich dieser Verlauf jedoch in Zukunft wie zu erwarten ist fort, so sollte dieser Fall gegen 2020 eintreffen.

¹ Ab hier kurz MBA.

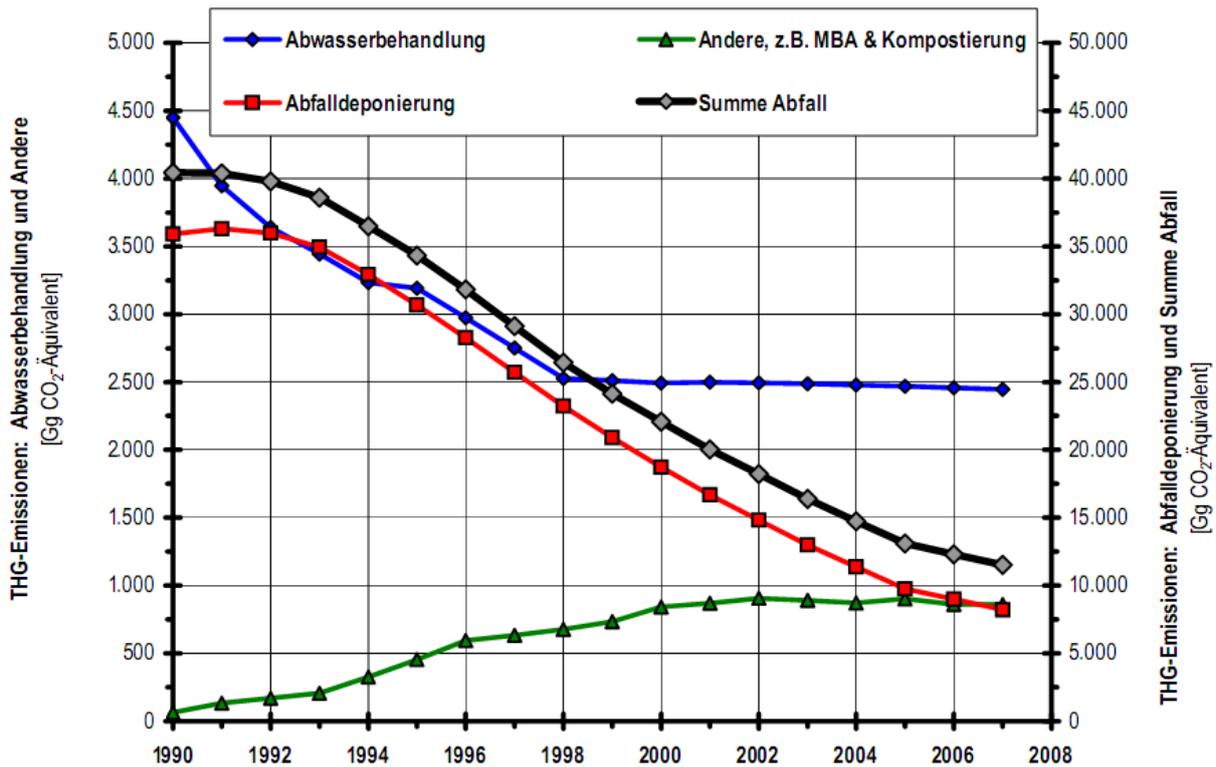


Abbildung 43: THG-Emissionen Deutschlands Abfallwirtschaft von 1990 bis 2008 mit Aufschlüsselung der Anteile einzelner Emissionsquellen; aus [31]

Als Resultat der steigenden Mengen in dem Sektor der biologischen Behandlung wird in Zukunft einem emissionsarmen Betrieb dieser Anlagen noch mehr Bedeutung verliehen. Cuhls Veröffentlichung für das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 2008 ist der bekannteste Vertreter einer Reihe von Studien zu diesem Thema. Daran anknüpfend wird in Abbildung 44 verdeutlicht, dass die Kombination aus Vergärung und Kompostierung mit einer intelligenten Verfahrensführung auch in puncto Emissionen durchaus der rein stofflichen Verwertung biogener Abfälle Paroli bieten kann. Berücksichtigt man den noch nicht vollständig stabilisierten Zustand des Frischkompostes im ersten Graphen außer Konkurrenz, so schneidet die in Augsburg Mitte 2013 realisierte Anlage in dieser Hinsicht als zweitbeste Methode ab. Zur Erklärung der in der Grafik abgebildeten Ergebnisse sei erwähnt, dass für die Anlieferung und mechanische Aufbereitung der Abfälle ein von Cuhls ermittelter Durchschnittswert von 6,1 kg CO₂-Äquivalent pro Tonne Input und für die Lagerung des Fertigkompostes 5 kg CO₂-Äquivalent/Mg angesetzt wurde. Dies gilt auch für den ersten Graphen, wobei dessen Produkt mit einem Rottegrad von II-III – im Vergleich zu den anderen Komposten mit Rottegrad IV-V – in der Regel nicht für längere Zeit am Standort zwischengelagert wird. Da solche frischen und noch unfertigen Komposte im Gegenzug dazu bis zum Ausbringen in der Landwirtschaft höhere Emissionen aufweisen, wurde in Summe dieselbe Belastung angenommen.

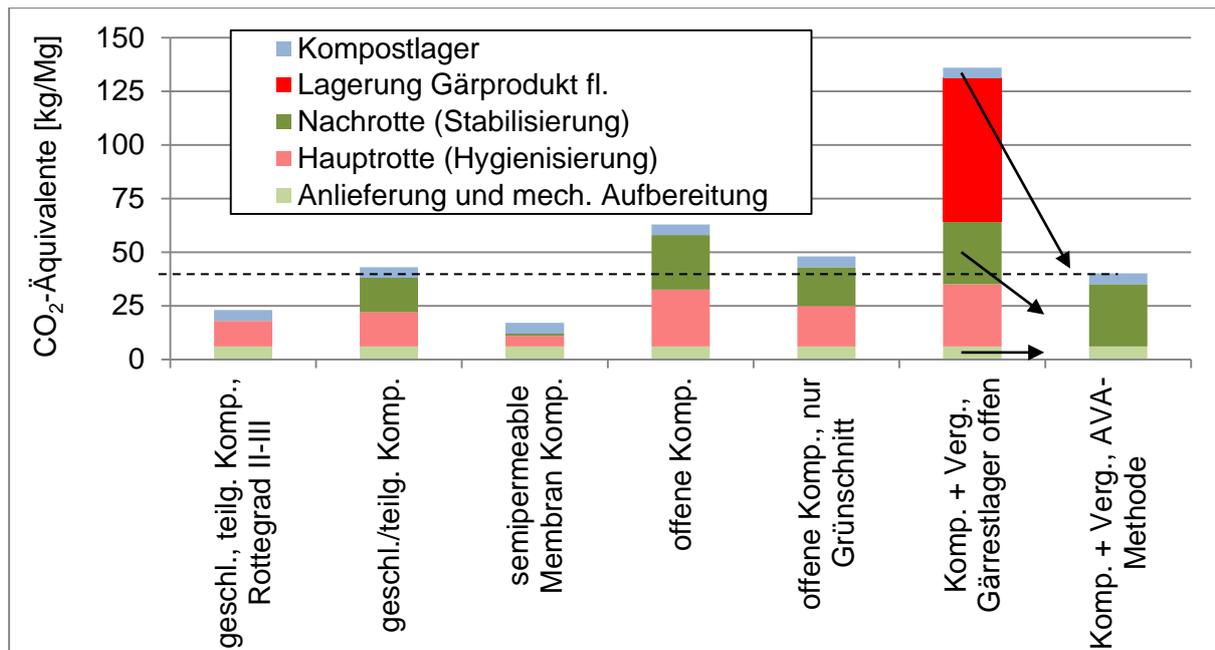


Abbildung 44: Vergleich der gasförmigen Emissionen ausgedrückt in CO₂-Äquivalenten verschiedener biologischer Abfallbehandlungsmethoden, nach [26]

Für das Zustandekommen des Balkens der die emissionstechnischen Belastungen des in dieser Arbeit betrachteten Projektes beschreibt, wurden dieselben Werte wie bei der vergleichbaren Anlage aus Cuhls Untersuchungsergebnissen herangezogen. Die hochbelasteten Abluftströme sind jedoch nicht einkalkuliert, da sie dem konventionellen Weg über den Biofilter entzogen und mit Hilfe des AHKW behandelt werden. Bevor neben der Herstellung und Lagerung auch noch die Ausbringung des Kompostes auf ihre gasförmigen Emissionen hin analysiert wird, muss noch kurz die in Abbildung 44 am ökologischsten erschienene Art der biologischen Behandlung vorgestellt werden.

Die Hauptvorteile einer semipermeablen Abdeckung liegen, wie in Abbildung 45 visualisiert ist, in der einfachen Speicherbarkeit der Feuchtigkeit bzw. der Wärme, wodurch eine kürzere Rottedauer ermöglicht wird. Durch die Möglichkeit aktiv zu belüften bzw. aus der Miete abzusaugen, wird die Prozessführung noch weiter erleichtert. Die zwischen 0,2 und

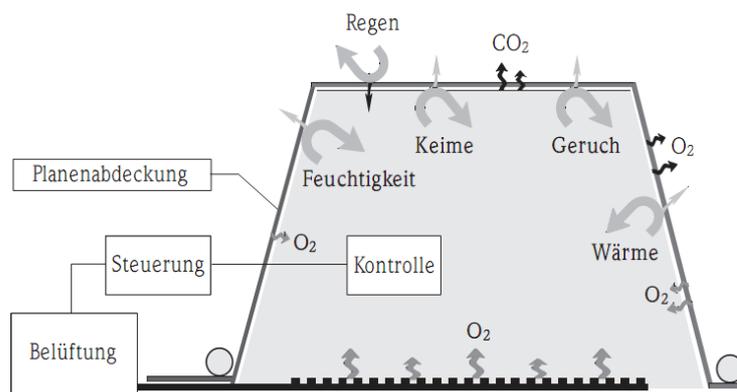


Abbildung 45: Querschnitt einer Kompostierung mit Druckbelüftung und semipermeabler Membran [60]

6 µm großen Poren hindern Wassertropfen mit einem mittleren Durchmesser von 0,1 bis 3 mm in die Miete einzudringen, weshalb bei Regen keine Vernässung zu befürchten ist. Auch für einen Großteil der Keime sollte es nicht möglich sein durch die Mikrolöcher die Membran zu passieren, obwohl einzelne Bakterien- oder Pilzsporen theoretisch einen kleineren Durchmesser aufweisen. [60] Grund dafür ist, dass sich die meisten Keime an

Staubpartikel oder Wassertröpfchen zu kleinen Mikrokolonien ansammeln. Wasserdampfmolekülen mit einem Durchmesser von ca. 0,3 nm ist das Emittieren in die Umwelt genauso möglich wie anderen gasförmigen Endprodukten, wie in Cuhls Studie auch nachgewiesen wurde. [61] Da diese Emissionen jedoch geringer ausfallen als bei allen anderen Kompostierungsmethoden, wird diese – im Vergleich zu geschlossenen Rotteboxen sehr preiswerte Technik – in Zukunft sicherlich weiter erforscht und auch immer häufiger angewandt werden. Fraglich ist jedoch, wie hoch die späteren Emissionen jenes Teils der Stickstofffracht sind, welcher durch die Membran im Material gebunden bleibt und erst beim Austrag auf landwirtschaftlichen Feldern in die Atmosphäre gelangt. Unabhängig davon stellt dieses Verfahren laut Amlinger et. al. (2005) derzeit noch eine Sonderform der Mietenkompostierung dar [47].

Die Produktausbringung darf im Vergleich zum eigentlichen Herstellungsprozess des Kompostes mit 83 % oder der Produktlagerung von lediglich 2,5 % nicht vernachlässigt werden, trägt sie doch etwas mehr als ein Achtel der Emissionen bei. [26] In Abbildung 46 ist zu erkennen, wie es dazu gekommen ist, dass – in dem umstrittenen bifa-Text Nr. 47¹ – den flüssigen Gärprodukten die höchsten Stickstoffemissionen zugerechnet wurden. Mit 865,7 g NH₃/Mg weisen sie tatsächlich die höchsten Ammoniakwerte auf, doch tragen diese im Vergleich zu Lachgas viel geringer zum Treibhauseffekt bei.

Produkt:	Produkte aus Kompostierungsanlagen				Produkte aus Trockenvergärungsanlagen mit Nachrotte		
	Frischkompost		Fertig- und Substratkompost		Gärprod. Flüssig	Gärprod. Fest	Fertigkompost KOA V+NR
Input:	Bio+Grün	Grün	Bio+Grün	Grün	Bio+Grün	Bio+Grün	Bio+Grün
CH ₄ g/Mg	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	8,0	< 1,0	< 1,0
NH ₃ g/Mg	332,5	181,0	76,2	28,5	865,7	334,4	100,1
N ₂ O g/Mg	65,6	42,1	39,3	27,3	45,4	60,6	35,1
CO ₂ -Äq. Kg/Mg	19,6	12,6	11,7	8,2	13,7	18,3	10,5
Produktmenge, Mio. Mg/a	1,2	0,63	0,06	0,59	1,2	0,17	0,34
Inputmenge, Anteil an Summe	22,2 %	11,7 %	1,1 %	10,9 %	22,3 %	25,4 %	6,4 %

Abbildung 46: Emissionen von CH₄, NH₃ und N₂O, welche durch die Ausbringung von Kompost oder flüssigen Gärresten in Deutschland entstehen; aus [40]

Im Gegenzug dazu emittiert eine Tonne ausgetragener Frischkompost die meisten N₂O-Abgase und um 20 g mehr als flüssiger Gärrest. Betrachtet man die Lachgasemissionen nicht nur Deutschlands, sondern der EU27 (siehe Abbildung 47), so wurden im Jahre 2007

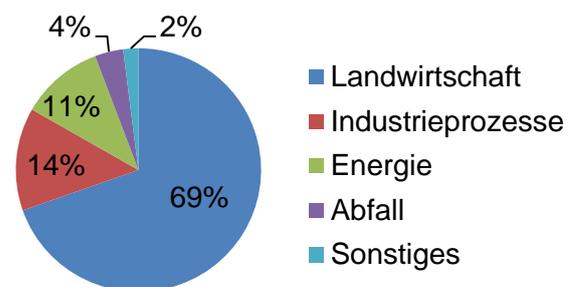


Abbildung 47: EU-N₂O-Emissionen [61]

¹ Siehe bifa-Text Nr. 47 [32] Seite 9 Tabelle 5.1.

insgesamt 374 Tg CO₂-Äquivalente (Tg = Teragramm = eine Mio. Tonnen) emittiert, welche neben den Methanemissionen ebenfalls ca. sieben bis acht Prozent der gesamten THG-Emissionen ausmachen. [62] Wie sich die Stickstoffdioxidquellen wiederum untergliedern lassen ist in Abbildung 47 visualisiert. Daraus ist zu erkennen, dass die durch den Sektor der Abfallbehandlung entstehenden Emissionen im Vergleich zu jenen, welche auf den landwirtschaftlichen Feldern gebildet werden minimal sind.

Obwohl in diesem letzten Kapitel verdeutlicht wurde, dass die THG-Emissionen aus der Abfallwirtschaft einen noch relativ geringen Anteil an den Gesamtemissionen ausmachen, wird dieser Aspekt künftig ein immer wichtigerer Entscheidungsfaktor werden, welches Abfallbehandlungsverfahren gewählt wird.

5 Zusammenfassung

Im Zuge der Arbeit wurde der Um- bzw. Neubau der Bioabfallverwertungsanlage in Augsburg in Hinblick auf eine mögliche Musteranlagenkonfiguration in mehreren Bereichen untersucht. Da die Abfallwirtschaft in Europa sehr massiv von den Richtlinien und Verordnungen der EU bzw. den daraus resultierenden Gesetzen auf Mitgliedstaatenebene gesteuert wird, wurden diese Rahmenbedingungen zu aller erst näher analysiert. Für ein solches Projekt, das sich mit seiner innovativen Emissionsminderungsmethode von den anderen Anlagen differenzieren will, wurde folgenden juristischen Themengebieten bzw. Fragestellungen nachgegangen:

Tabelle 5: Juristische Themengebiete bzw. daraus entstandene Fragestellungen

Nummer	Themengebiet	Relevanz
1	Kreislaufwirtschaft	Wie muss Bioabfall getrennt werden?
2	Erneuerbare Energien Vergütung	Wie soll die in der Organik gebundene Energie verwertet werden, um eine zusätzliche Vergütung zu erhalten?
3	Emissionstechnische Genehmigungsgrenzwerte	Ab wann liegt eine Genehmigungspflicht der Anlage vor?

Zu 1.: Durch die Novelle des Kreislaufwirtschaftsgesetzes letzten Jahres (2012) wird die getrennte Sammlung des Bioabfalls in Deutschland ab dem 1. Januar 2015 verpflichtend. Damit steigen auch die Anforderungen bezüglich der Behandlung dieses Materials und eine sowohl stoffliche als auch energetische Verwertung wird gefordert.

Zu 2.: Die energetische Nutzung von Biomasse fällt in den Bereich der erneuerbaren Energien und wird deshalb in Deutschland – wie in einer Vielzahl der EU-Mitgliedstaaten – finanziell subventioniert. Aus diesem Grund entschied man sich bei dem Projekt in Augsburg für eine Trockenfermentation, welche durch eine nachgeschaltete Kompostierung einerseits Biogas und andererseits einen weiteren verwertbaren Outputstoff – Kompost – liefert. Für das Biogas stehen in weiterer Folge zwei Möglichkeiten der Umwandlung in Endenergie zur Auswahl, die beide unter die EEG-Vergütung fallen. Zum einen kann das Gas, wie es bei den Biogasanlagen die nachwachsende Rohstoffe vergären meistens der Fall ist, in einem Blockheizkraftwerk verstromt werden und die entstehende Abwärme in einem KWK-Prozess genutzt werden. Zum anderen bietet sich je nach Gegebenheiten auch eine Aufbereitung des Biogases und nachfolgende Einspeisung in das Erdgasnetz an. Der Anlagenbetreiber AVA entschied sich gemeinsam mit dem ausführenden Anlagenbauer – der Fa. Thöni – für die zweite Variante, da am Standort ausreichend Wärme aufgrund des AHKW vorhanden ist.

Zu 3.: Im Anlagenbau müssen bei Projekten in dieser Größe immer die umweltrelevanten Produktströme betrachtet werden, welche bei Überschreiten einer Grenze – aus beispielsweise dem UVP-G oder dem BImSchG – zu einer Genehmigung verpflichten. Ein

solches Genehmigungsverfahren bedarf nicht nur der Anwendung aller Methoden nach dem SdT – welche mögliche Emissionen vermeiden oder wenn dies nicht möglich ist vermindern – sondern sorgen meist durch eine Projektverzögerung zu drastischen Folgekosten. Deshalb wurden im Zuge des Verfassens der vorliegenden Arbeit mögliche Auflagen der Behörden im Vorhinein ermittelt und in die Planung einbezogen. Ein solches Beispiel wären die gasdichten Tanks für die flüssigen Gärreste, die eine Abluftreinigung und somit Vermeidung klimarelevanter Gase ermöglichen. Somit wurden in dem Bescheid zur Genehmigung nach BImSchG keine weiteren gravierenden Auflagen gestellt, die eine Realisierung des Bauvorhabens in die Länge hätten ziehen können. Ein UVP-Verfahren war deshalb nicht vonnöten, da einerseits für den Standort und im speziellen für das AHKW bereits eines durchgeführt wurde und der Umbau der bestehenden Kompostierungsanlage aus Sicht der zuständigen Sachverständigen zu einer Emissionsminderung führt.

Im Anschluss an die Untersuchungen der rechtlichen Rahmenbedingungen galt es die bestehende Anlagenkonfiguration der biologischen Abfallbehandlung genauer zu betrachten, da so viel als möglich von der Infrastruktur übernommen werden sollte. An dieser Stelle sei noch einmal darauf hingewiesen, dass die Kompostierungsschiene ungeachtet ihrer 20 Jahre Betrieb noch einen äußerst guten Zustand aufwies. Sämtliche Metallteile waren in Edelstahl ausgeführt und hielten somit den aggressiven Bedingungen ohne jeglichen Schaden stand.

Während der Arbeit wurden speziell in emissionstechnischer Hinsicht alle relevanten Teile der zukünftigen Anlage in Augsburg untersucht und mit anderen Abfallbehandlungsverfahren biogener Abfälle verglichen. Bis auf den Trockenfermenter, der als liegender Pflropfenstromfermenter ausgeführt wurde, konnte die gesamte Maschinenteknik in den bestehenden drei Hallen (Anliefer-, Verfahrenshalle und Rottehalle) untergebracht werden. Die Aufbereitung der angelieferten Bio- und Grünschnitt-Abfälle findet in Zukunft rein in der Anlieferhalle statt, da die Verfahrenshalle für Zwischenspeicher und ein Pressenhaus benötigt werden. Durch die Bioabfallspeicher erhält der Betreiber einen Puffer um selbst in der anlieferlosen Zeit an den Feiertagen, eine kontinuierliche Beschickung des Fermenters zu ermöglichen.

Die Entwässerungsschnecken im Pressenhaus werden benötigt um den Wassergehalt des Gärrestes nach dem Fermenter von ca. 75 auf 60 % zu reduzieren.

Da ein verkaufsfähiger Qualitätskompost erzeugt werden soll, muss der TS-Gehalt jedoch noch weiter auf mindestens 60 % erhöht werden. Dies geschieht durch eine zweiwöchige Intensivrotte, welche in vier geschlossenen Boxen stattfindet, gefolgt von zwei aufeinanderfolgenden Nachrottenphasen, in denen das Material ebenfalls jeweils 14 Tage verbleibt. Sowohl die vier Intensivrotteboxen als auch die acht Nachrottefelder werden von unten durch Belüftungsschienen mit Luft versorgt um eine optimale Kompostierung gewährleisten zu können.

Da durch den Umbau der Jahresdurchsatz an Bioabfall vorerst gesenkt wurde um sich an die neuen Gegebenheiten zu gewöhnen, wird nicht mehr die gesamte Rottehalle benötigt. Deshalb entschied man sich während der Projektierungsphase die Halle zu teilen und in der anderen Hälfte die Tanks für den flüssigen Gärrest unterzubringen. Dieser weitere Puffer



wird hauptsächlich in der Winterzeit benötigt, wenn kein Dünger auf landwirtschaftlichen Flächen ausgebracht werden darf. Diese Rundbecken und die vorgeschalteten Absetzbecken sind mit einer abnehmbaren Abdeckung versehen, um die entstehende Abluft besser fassen zu können. Gemeinsam mit den aus dem Pressenhaus abgesaugten Luftmengen, welche allesamt im Biofilter zu ungewollten Lachgasemissionen bzw. einem Methanschluß führen würden, wird diese in dem Projekt als hochbelastete Abluft in einem neu zu errichtenden Leitungsnetz gesondert geführt. Die Einzigartigkeit dieses Projektes besteht darin, dass die bestehenden Lüftungsleitungen übernommen werden und die gering belasteten Abluftströme wie bisher über den Biofilter gereinigt werden. Hochbelastete Luft hingegen wird zuerst als Zuluft für die Intensivrotte verwendet und anschließend in den Anlieferbunker des AHKW geleitet, aus welchem die Primärluft für die Müllverbrennung angesaugt wird. Dadurch werden sämtliche Schad- und auch Geruchsstoffe besser entfernt, als bei anderen Biogasanlagen, die nach Stand der Technik mit einer sauren Wäscher und Biofilter reinigen. Die verbleibenden Emissionen schneiden somit im Vergleich zu den anderen gängigen biologischen Behandlungsmethoden am besten ab.¹

Durch die bisher einzigartige Kombination der Trockenfermentationsanlage mit nachgeschalteter Kompostierung und dem ebenfalls am Standort befindlichen Abfallheizkraftwerk können nicht nur Umweltbeeinträchtigungen gasförmiger Natur, sondern auch jene durch flüssige Medien drastisch verringert werden. Durch das Eindüsen der Abwässer in den Verbrennungsprozess des AHKW müssen im Regelbetrieb keine belasteten Wässer in das öffentliche Kanalnetz eingeleitet werden.

Da durch die Vergärung zusätzlich zu den gerade erwähnten ökologischen Vorteilen auch noch die während der biologischen Behandlung freiwerdende Energie in Form vom Biogas gefasst werden kann und somit bis zu 22,65 Mio. kWh an Energie jährlich gewonnen werden können, werden in Zukunft sicherlich eine Reihe ähnlicher Projekte realisiert werden.

¹ Von jenen beiden Verfahren, welche in dem in dieser Arbeit angestellten Vergleich die geringsten Emissionen aufweisen, wird an dieser Stelle abgesehen. Das in Abbildung 44 am besten dargestellte Verfahren mit der semipermeablen Membran stellt laut Amlinger et. al. (2005) noch eine Sonderform der Mietenkompostierung dar [47], welche erst weiter erforscht werden muss. Das zweitbeste biologische Abfallbehandlungsverfahren ist im Vergleich mit den anderen Anlagen ebenfalls nicht als gleichwertig anzusehen, da es keinen fertigen Kompost mit Rottegrad IV bis V liefert.

6 Verzeichnisse

6.1 Literatur

- [1] Alwast, H.; Birnstengel, B. (2008): *Der Abfallmarkt in Deutschland und Perspektiven bis 2020*. NABU (Naturschutzbund Deutschland e.V.) (Hrsg.). Berlin.
- [2] RL(EU) 2008/98/EG: *Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 19. November 2008 über Abfälle und zur Aufhebung bestimmter Richtlinien*. Stand: 22.01.2013.
- [3] Umweltbundesamt (Hrsg.) (2004): *Siedlungsabfallentsorgung 2005. Handlungsbedarf-Perspektiven*. Online im WWW unter URL: http://www.umweltbundesamt.de/abfallwirtschaft/entsorgung/dokumente/bericht_siedlungsabfallentsorgung_2005.pdf. Stand: 22.01.2013.
- [4] Umweltbundesamt (Hrsg.) (2012): *Deponierung*. Online im WWW unter URL: <http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/abfall/behandlung/deponie/>. Stand: 22.01.2013.
- [5] BGBl. I S.212 (2012): *Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz - KrWG)*. Stand: 25.01.2013.
- [6] ATEC Business Information GmbH (Hrsg.) (2013): *KrWG: "Keine Gesetzeslücken, kein Nachbesserungsbedarf"*. Online im WWW unter URL: http://www.recyclingmagazin.de/rm/news_detail.asp?ID=18091&NS=1. Stand: 26.01.2013.
- [7] El-Ashry, M. et al. (2011): *Renewables 2011 Global Status Report*. REN21 (Hrsg.).
- [8] Europäische Kommission (1997): *Energie für die Zukunft: Erneuerbare Energieträger. Weißbuch für eine Gemeinschaftsstrategie und Aktionsplan*.
- [9] RL(EU) 2009/28/EG (2009): *Richtlinie 2009/28/EG zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien 2001/77/EG und 2003/30/EG*. Stand: 28.01.2013.
- [10] BGBl. I Nr.38, S.1754 (2012): *Gesetz für den Vorrang erneuerbarer Energien. Erneuerbare-Energien-Gesetz - EEG*. Stand: 28.01.2013.
- [11] BGBl. I S. 212 (2012): *Verordnung über die Erzeugung von Strom aus Biomasse (Biomasseverordnung - BiomasseV)*. Stand: 13.03.2013.
- [12] Hektor, J. (2012): *Genehmigungsantrag gemäß § 16 BImSchG zur Errichtung und zum*

- Betrieb einer Bioabfallvergärungsanlage. AVA Abfallverwertung Augsburg GmbH (Hrsg.). Augsburg. 14.09.2012.*
- [13] *RL(EU) 2010/75/EU: EU Richtlinie 2010/75/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 24. November 2010 über Industrieemissionen. Stand: 01.02.2013.*
- [14] *BGBI. I S.1726 (2012): Vierte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen) (4.BImSchV). Zuletzt aktualisiert am 17.8.2012. Stand: 02.02.2013.*
- [15] *BGBI. I S.1421 (2012): Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz -BImSchG). Stand: 02.02.2013.*
- [16] *BGBI. I S.95 (2013): Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG). Stand: 03.02.2013.*
- [17] *Wolf, M. (2012): Bescheid zum Thema Abfall- und Immissionsschutzrecht betreffend des Genehmigungsverfahrens nach §16 Abs.1 BImSchG. Augsburg. 20.12.2012.*
- [18] *BGBI. I S.1002 (2012): Verordnung über den Zugang zu Gasversorgungsnetzen (Gasnetzzugangsverordnung – GasNZV). Stand: 03.02.2013.*
- [19] *AVA Abfallverwertung Augsburg GmbH (Hrsg.) (2013): Online im WWW unter URL: ava-augsburg.de. Stand: 02.01.2013.*
- [20] *AVA Abfallverwertung Augsburg GmbH (Hrsg.) (2012): Anlage 2 der Ausschreibung "Planung, Errichtung und Integration einer Vergärungsanlage in das bestehende Kompostwerk der AVA Augsburg GmbH. 05.04.2012.*
- [21] *Hektor, J. (2012): Leistungsbeschreibung. AVA Abfallverwertung Augsburg GmbH (Hrsg.). Augsburg. 05.04.2012.*
- [22] *Rücker, T.; Gosten, A. (2010): Das BSR Biogasverwertungskonzept. Aus der Schriftenreihe „Praktikable Klimaschutz-Potentiale in der Abfallwirtschaft“ des Fachgebietes Abfalltechnik der Universität Kassel (Hrsg.).*
- [23] *VDI 3475 Blatt 1 (2002): Emissionsminderung - Biologische Abfallbehandlungsanlagen - Kompostierung und Vergärung - Anlagenkapazität mehr als ca. 6000 Mg/a.*
- [24] *Forster, P.; et al.(2007): Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Cambridge University Press (Hrsg.). Cambridge und New York.*
- [25] *Plöchl, M. (2010): Emissionsminderung von landwirtschaftlichen Biogasanlagen VDI-Richtlinie 3475 Blatt 4. Vortrag auf der Tagung Bioenergie (Hrsg.) in Sachsen-Anhalt - "Sind wir auf dem richtigen Weg?".*

- [26] Cuhls, C.; Mähl, B.; Berkau, S.; Clemens, J. (2008): *Emissionsergebnisse und Kohlendioxidäquivalente bei der Verwertung von Bioabfällen*. gewitra mbH - Ingenieurgesellschaft für Wissenstransfer. Im Auftrag des Umweltbundesamtes (Hrsg.).
- [27] Schneichel, H. (2013): *Düngerechtliche Aspekte bei der Verwendung von Gärprodukten aus Reststoffen*. Vortrag an der 22. Biogas Jahrestagung und Fachmesse (Hrsg.). Leipzig.
- [28] Scholwin, F. (2005): *Durch Prozessregelung zum Rotteerfolg. Ein modellbasiertes Regelungskonzept für biologische aerobe Abfallbehandlungsanlagen auf der Grundlage von Fuzzy Logic*. Bidlingmaier, W.; Kranert, W. (Hrsg.). Berlin.
- [29] Kranert, M. (2000): zit. nach: Scholwin, F. (2005): *Durch Prozessregelung zum Rotteerfolg. Ein modellbasiertes Regelungskonzept für biologische aerobe Abfallbehandlungsanlagen auf der Grundlage von Fuzzy Logic*. Bidlingmaier, W.; Kranert, W. (Hrsg.). Berlin.
- [30] Hoitink, H.; Kuter, G. A. (1983): zit. nach: Scholwin, F. (2005): *Durch Prozessregelung zum Rotteerfolg. Ein modellbasiertes Regelungskonzept für biologische aerobe Abfallbehandlungsanlagen auf der Grundlage von Fuzzy Logic*. Bidlingmaier, W.; et al. (Hrsg.).
- [31] Cuhls, C.; Clemens, J. (2012): *Emissionen von Lachgas aus der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung*. gewitra GmbH. Studie erstellt im Auftrag des Lebensministeriums (Hrsg.). Troisdorf.
- [32] Pitschke, T.; et al. (2010): *Ökoeffiziente Verwertung von Bioabfällen und Grüngut in Bayern*. bifa (Hrsg.) Text Nr. 47. Erstellt für Bayerische Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit (StMUG). Augsburg. 1. Auflage.
- [33] Sundh; Rönn; Tiquia; et al. (2002, 2006): zit. nach: Körner, I. (2008): *Stickstoffhaushalt bei der Kompostierung*. Habilitationsschrift. Technische Universität Hamburg-Harburg (Hrsg.). Hamburg.
- [34] Korner, M. (1990): *Der Einfluss der Temperatur, der Feuchte und des kapillaren O₂-Gehaltes auf die Abbaurate und die Humifikation während der Hochtemperaturphase einer Walmenkompostierung*. Institut für Terrestrische Ökologie. ETH Zürich (Hrsg.).
- [35] Diekert, G. (1997): zit. nach: Scholwin, F. (2005): *Durch Prozessregelung zum Rotteerfolg. Ein modellbasiertes Regelungskonzept für biologische aerobe Abfallbehandlungsanlagen auf der Grundlage von Fuzzy Logic*. Rhombos-Verlag (Hrsg.). Berlin.
- [36] Glathe, H.; Farkasadi, G. (1966); Golueke, C. G. (1977); Bidlingmaier, W. (1985): zit. nach: Körner, I. (2008): *Stickstoffhaushalt bei der Kompostierung*. Habilitationsschrift. Technische Universität Hamburg-Harburg (Hrsg.). Hamburg.

- [37] *Bilitewski, B.; Härdtle, G.; Marek, K. (1994): Abfallwirtschaft. 2. Auflage. Springer-Verlag (Hrsg.). Berlin. Heidelberg.*
- [38] *Hellmann, B. (1995): zit. nach: Cuhls, C.; Mähl, B.; Berkau, S.; Clemens, J. (2008): Emissionsergebnisse und Kohlendioxidäquivalente bei der Verwertung von Bioabfällen. gewitra mbH-Ingenieurgesellschaft für Wissenstransfer. Umweltbundesamtes (Hrsg.).*
- [39] *Kost, W. J.; Hasel, M. (2012): Gutachtliche Stellungnahme zur Integration einer Bioabfall-Vergärungsanlage in die bestehende Kompostierungsanlage der Abfallverwertung Augsburg (AVA) GmbH in Augsburg. Gerlingen.*
- [40] *Tiedt, M. (2009): Emissionen bei der stofflichen und energetischen Verwertung von biogenen Abfällen. Aus dem Tagungsband zur Veranstaltung mit dem Thema „Biomasse aus Abfällen“. Recklinghausen.*
- [41] *Cuhls, C. (2008): Keine Klimabelastung durch Kompostierung von Biomasse? Gewitra Ingenieurgesellschaft für Wissenstransfer mbH (Hrsg.). Bonn und Hannover.*
- [42] *Hellebrand, H. J.; Kalk, W.-D. (2000): zit. nach: Cuhls, C.; Mähl, B.; Berkau, S.; Clemens, J. (2008): Emissionsergebnisse und Kohlendioxidäquivalente bei der Verwertung von Bioabfällen. Umweltbundesamtes (Hrsg.).*
- [43] *Soyez, K. (2002): Umsetzung der 30. BImSchV in modernen MBA. Vortrag am Abfallkolloquium (Hrsg.). Freiberg.*
- [44] *BGBI. I S.900 (2009): Dreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes (Verordnung über Anlagen zur biologischen Behandlung von Abfällen - 30. BImSchV). Zuletzt aktualisiert am 27.4.2009. Stand: 20.03.2013.*
- [45] *Smidt, E. (2010): Vorlesung auf der Universität für Bodenkultur Wien mit dem Titel „Chemie und Untersuchung von Abfällen“. Wien.*
- [46] *Prins, W.L.; van Ham, J. (1997): Biologische Abgasreinigung. Tagungsvortrag. Maastricht.*
- [47] *Amlinger, F.; Peyr, S.; Hildebrandt, U.; Müsken, J.; et. al. (2005): Stand der Technik der Kompostierung. Richtlinie des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (Hrsg.).*
- [48] *Bartels, P.; Kruse, H. (2002): Kompostierung - Messung und toxikologische Bewertung flüchtiger organischer Substanzen (VOC) in der Abluft von Kompostierungsanlagen. Erschienen in Heft 52 des Instituts für Toxikologie an der Universität Kiel (Hrsg.).*
- [49] *Cuhls, C. (2001): Schadstoffbilanzierung und Emissionsminderung bei der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung. Dissertation; Heft 114 der Veröffentlichungen des Institutes für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik der Univ. Hannover (Hrsg.).*

- [50] *Sich, I. (1997): 15N-Traceruntersuchungen zur Nitrifikation/Denitrifikation. Dissertation an der Mathematisch-Naturwissenschaftlich-Technischen Fakultät der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg (Hrsg.).*
- [51] *Aulakh, M. S.; Doran, J. W. (1991): zit. nach: Cuhls, C.; Clemens, J. (2012): Emissionen von Lachgas aus der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung. gewitra GmbH. Studie erstellt im Auftrag des Lebensministeriums (Hrsg.). Troisdorf.*
- [52] *Aulakh, M. S.; Rennie, D. A.; Paul, E. A. (1984): zit. nach: Cuhls, C.; Clemens, J. (2012): Emissionen von Lachgas aus der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung. gewitra GmbH. Studie erstellt im Auftrag des Lebensministeriums (Hrsg.). Troisdorf.*
- [53] *Klemedtsson, L.; Svensson, B. H.; Rosswall, C. (1988): zit. nach: Cuhls, C.; Clemens, J. (2012): Emissionen von Lachgas aus der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung. gewitra GmbH. Studie erstellt im Auftrag des Lebensministeriums (Hrsg.). Troisdorf.*
- [54] *Clemens, J.; Cuhls, C.; Kehres, B.; et al. (2010): Betrieb von Kompostierungsanlagen mit geringen Emissionen klimarelevanter Gase. Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V. (Hrsg.). 1.Auflage.*
- [55] *GMBI. 2002, Heft 25-29 (2002): Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft). Vom 24. Juli 2002. Stand: 20.03.2013.*
- [56] *Schilling, B. (2013): Erfahrungen zum Einsatz v. Biofiltern in der Abfall- u. Landwirtschaft. Landesumweltamt Nordrhein–Westfalen (Hrsg.). Online im WWW unter URL: http://www.hlug.de/fileadmin/dokumente/abfall/7_Schilling_Biofilter.pdf. Stand: 28.03.2013.*
- [57] *Altmann, U.; Bauer, W. P.; Kroner, T.; Quicker, P. (2010): Das Müllheizkraftwerk – ein optimaler Standort für die Errichtung einer Vergärungsanlage. Fachgebiet Abfalltechnik der Universität Kassel (Hrsg.). ISBN: 978-3-89958-910-8.*
- [58] *Stadtwerke Augsburg Energie GmbH (2009): Anlage 1 zu den Technischen Anschlussbestimmungen (TAB-HW) der Stadtwerke Augsburg Energie GmbH (Hrsg.).*
- [59] *Informationsdienst der BGK-Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V. (Hrsg.) (2012): Klima- contra Ressourcenschutz. Aus: Humuswirtschaft & Kompost aktuell. Ausgabe 3.*
- [60] *Böhm, A. B.; et al. (1997) zit. nach: Kühner, M. (2001): Planenkompostierung – Kompostierung unter semipermeablen Planenabdeckungen. Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (Hrsg.). Viersen.*
- [61] *Kühner, M. (2001): Planenkompostierung – Kompostierung unter semipermeablen Planenabdeckungen. Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (Hrsg.). Viersen.*

- [62] *European Environment Agency (Hrsg.) (2009): Greenhouse gas emission trends and projections in Europe 2009. Tracking progress towards Kyoto targets. Erschienen im EEA-Report 9/2009. Kopenhagen. ISBN 978-92-9213-035-0.*
- [63] *BGBI. I S.2955 (2012): Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden (Bioabfallverordnung - BioAbfV). Stand: 05.02.2013.*
- [64] *Fachverband Biogas e.V. (Hrsg.) (2009): Kriterien für die Genehmigungsbedürftigkeit nach Bundesimmissionsschutzgesetz von Biogasanlagen. Freising.*
- [65] *IPCC (2007): Fourth Assessment Report (AR4). Working Group I Report "The Physical Science Basis". Online im WWW unter URL: http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.shtml#UTBlpTCEykF. Stand: 01.03.2013.*
- [66] *Komptech (2013): Topturn 3500 G. Online im WWW unter URL: <http://www.komptech.com/de/produkte/kompostierung/umsetzer.htm>. Stand: 26.02.2013.*
- [67] *Henssen, D. (2012): Studie zur Umsetzung der Pflicht der Getrenntsammlung von Bioabfällen nach § 11 KrWG. Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V. (Hrsg.). Aachen.*
- [68] *KOM 772 (2008): Mitteilung der Kommission der Europäischen Gemeinschaften (Hrsg.). Energieeffizienz: Erreichung des 20 %-Ziels. Brüssel.*
- [69] *Empl, J. (2013): Die Biogaserzeugung als integraler Bestandteil der Bioabfallkompostierung – eine wirtschaftliche Betrachtung. Vortrag auf der 22. Biogas Jahrestagung und Fachmesse (Hrsg.). Leipzig.*

6.2 Abkürzungsverzeichnis

°C	Grad Celsius
a	Jahr
AbfRRL	Abfallrahmenrichtlinie
AHKW	Abfallheizkraftwerk
Anm.	Anmerkung
AVA	Abfallverwertung Augsburg GmbH
BGK	Bundesgütegemeinschaft Kompost
BHKW	Blockheizkraftwerk
BImSchG	Bundesimmissionsschutz-Gesetz
BImSchV	Bundesimmissionsschutz-Verordnung
BioAbfV	Bioabfallverordnung
BVT	beste verfügbare Technik
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
etc.	et cetera
Fa.	Firma
GE	Geruchseinheiten
GWP	Global Warming Potential
idR	in der Regel
KrWG	Kreislaufwirtschaftsgesetz
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
MBA	Mechanisch-biologische Abfallbehandlung
Mio.	Million
Mg	Megagramm (Equivalent für Tonne)
NaWaRo	nachwachsende Rohstoffe
NE	Nichteisen
NMVOG	non methane volatile organic compounds
örE	öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger
RTO	regenerative thermische Oxidation
SdT	Stand der Technik
TA-Luft	Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft
TASi	Technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen
THG	Treibhausgas
UVP	Umweltverträglichkeitsprüfung
z.B.	zum Beispiel

6.3 Tabellen

Tabelle 1: Vergütung von Strom aus Biomasse nach EEG § 27 [10].....	12
Tabelle 2: Höhe des Gasaufbereitungs-Bonus nach EEG Anhang 1 [10].....	14
Tabelle 3: Stickstoffkreislauf im Zuge der biologischen Abbauprozesse vor, während und nach dem Biofilter [31] [54].....	62
Tabelle 4: Übersicht der Geruchsemissionen in den verschiedenen Teilen der Anlage	64
Tabelle 5: Juristische Themengebiete bzw. daraus entstandene Fragestellungen.....	75
Tabelle 6: UVP-Grenzwerte aus dem Gebiet der „Wärmeerzeugung, Bergbau und Energie“; nach [17]	I
Tabelle 7: Fortsetzung UVP-Grenzwerte aus dem Gebiet der „Wärmeerzeugung, Bergbau und Energie“ bzw. zusätzlich aus dem Gebiet der „Verwertung und Beseitigung von Abfällen und sonstigen Stoffen“; nach [15]	II
Tabelle 8: Fortsetzung UVP-Grenzwerte aus dem Gebiet der „Verwertung und Beseitigung von Abfällen und sonstigen Stoffen“ bzw. zusätzlich aus dem Gebiet der "Lagerung von Stoffen und Zubereitungen";nach [15]	III
Tabelle 9: Fortsetzung UVP-Grenzwerte aus dem Gebiet der "Lagerung von Stoffen und Zubereitungen"; nach [15]	IV
Tabelle 10: Kompostierungsanlagen mit Trockenvergärung und Nachrotte im Vollstrom (KOA V (VS)) und Teilstrom (KOA V (TS)); aus [40]	V
Tabelle 11: Emissionsmessdaten der in Tabelle 9 beschriebenen Kompostierungsanlagen mit Trockenvergärung und Nachrotte; aus [40].....	VI
Tabelle 12: Emissionsmessdaten der in Tabelle 9 beschriebenen Kompostierungsanlagen mit Trockenvergärung und Nachrotte; aus [40].....	VII

6.4 Abbildungen

Abbildung 1: Übersicht der themenbezogenen Gesetzestexte.....	6
Abbildung 2: Abfallhierarchie nach EU-AbfRRL [1]	7
Abbildung 3: Zusammenhang von Biomasse und Biogas	11
Abbildung 4: Entsorgungsgebiet der AVA [2].....	22
Abbildung 5: Satellitenbild der AVA; Foto: Google Earth	23
Abbildung 6: Überblick der bestehenden Kompostierungsanlage [20]	24
Abbildung 7: Bestehende Anliefer- und Entladehalle mit mobilem Aufbereitungsaggregat (links) bzw. Lagerfläche für Grünschnitt (rechts).....	25
Abbildung 8: Aufgabetrichter und Förderband zwischen Entlade- und Verfahrenshalle	25

Abbildung 9: Verfahrens- und Ersatzteil-lagerhalle	26
Abbildung 10: Blick auf eine Rottehälfte mit Umsetzer Wendelin®	26
Abbildung 11: Lagerflächen für verschiedene Substrate.....	27
Abbildung 12: Lagerflächen für den fertigen Kompost	27
Abbildung 13: Blick in die ABA Komb	28
Abbildung 14: Übersichtsplan der Verfahrenshalle mit angedeuteter Ablufttechnik (grün = Bestand, rot = neu).....	30
Abbildung 15: Schaubild eines TBM-200.....	31
Abbildung 16: Skizze eines ähnlichen Zwischenspeichers in der Seitenansicht [22].....	31
Abbildung 17: Mischer samt Plattenschieber [23]	33
Abbildung 18: Eintragspumpe [79].....	33
Abbildung 19: Fermenter in zwei Seitenansichten	34
Abbildung 20: Draufsicht auf den Fermenter und verkleinerten Biofilter.....	35
Abbildung 21: Blick auf ein Schneckenpressen-paar	37
Abbildung 22: Zwei Seitenansichten des Pressengebäudes in der Verfahrenshalle	37
Abbildung 23: Blick auf den schallgedämmten Ventilator mit nachgeschaltetem Filter	38
Abbildung 24: Blick auf die Einblas- und Absaugrohrleitungen in der Rottehalle	39
Abbildung 25: Außenansicht der Rottehalle mit Belüftungshäuschen und Ansauggittern.....	39
Abbildung 26: Skizze der östlichen Rottehallenhälfte mit angedeuteten Abluftleitungen.....	40
Abbildung 27: Skizze der westlichen Rottehallenhälfte mit angedeuteten Abluftleitungen	42
Abbildung 28: Fotos einer Rottebox mittels Beschickung durch eine freie Schnecke (links) bzw. durch eine eingehauste Schnecke mit Falltüren (Mitte bzw. rechts)	43
Abbildung 29: Vor und Nachteile der Beschickung einer Rottebox mittels freier Schnecke (links) bzw. mittels eingehauster Schnecke mit Falltüren (rechts).....	43
Abbildung 30: Wichtige Einflussfaktoren für einen optimalen biologischen Abbau während der Kompostierung	44
Abbildung 31: Schematischer zeitlicher Verlauf der Temperatur während der Kompostierung [29]	45
Abbildung 32: Temperatur-verteilung in einem von unten zwangsbelüfteten Container-kompostierungssystem [28].....	45
Abbildung 33: Mögliche Arten der Belüftung einer Rotte.....	47
Abbildung 34: Beispiele von saugenden (links) bzw. drückenden (Mitte bzw. rechts) Rotte-Belüftungsvarianten.....	47

Abbildung 35: Mögliches Problem bei der Druckbelüftung.....	48
Abbildung 36: Mögliches Umsetzfahrzeug für die Nachrottefelder [69].....	52
Abbildung 37: Verlauf der Methan-, Ammoniak- und Lachgasemissionen einer Stallmistkompostierung in Abhängigkeit von der Rottezeit [42].....	54
Abbildung 38: Aufgabetrichter vor der Feinaufbereitung.....	56
Abbildung 39: TOC-Grenzwert in Abhängigkeit des Abluftvolumenstroms bezogen auf die verarbeitete Abfallmenge von ca. 5 t/h nach [43].....	58
Abbildung 40: Massenkonzentrationen an Ges.-C, CH ₄ und NMVOC im Rohgas vor Biofilter (vBF) und Reingas nach Biofilter (nBF) [40].....	61
Abbildung 41: Massenkonzentrationen an NH ₃ und N ₂ O im Rohgas vor Biofilter (vBF) und Reingas nach Biofilter (nBF) [26].....	63
Abbildung 42: THG-Emissionen Österreichs Abfallwirtschaft von 1990 bis 2008 mit Aufschlüsselung der Anteile einzelner gasförmiger Verbindungen; aus [31].....	70
Abbildung 43: THG-Emissionen Deutschlands Abfallwirtschaft von 1990 bis 2008 mit Aufschlüsselung der Anteile einzelner Emissionsquellen; aus [31].....	71
Abbildung 44: Vergleich der gasförmigen Emissionen ausgedrückt in CO ₂ -Äquivalenten verschiedener biologischer Abfallbehandlungsmethoden, nach [26].....	72
Abbildung 45: Querschnitt einer Kompostierung mit Druckbelüftung und semipermeabler Membran [60].....	72
Abbildung 46: Emissionen von CH ₄ , NH ₃ und N ₂ O, welche durch die Ausbringung von Kompost oder flüssigen Gärresten in Deutschland entstehen; aus [40].....	73
Abbildung 47: EU-N ₂ O-Emissionen [61].....	73

Anhang

A1: Liste UVP-pflichtiger Vorhaben in diesem Kontext

In nachfolgender Tabelle sind alle Stellen angeführt, bei denen man auf den ersten Blick vermuten würde, dass sie für dieses Thema relevant sind. In Fußzeilen wird auf diskussionswürdige Punkte kurz eingegangen. Die Beurteilung der Auswirkungen erfolgt jedoch im Kapitel 2.7.

Tabelle 6: UVP-Grenzwerte aus dem Gebiet der „Wärmeerzeugung, Bergbau und Energie“; nach [16]

Nr.	Vorhaben	Sp.1	Sp.2
1.	Wärmeerzeugung, Bergbau und Energie:		
1.1-1.5 ¹	Errichtung und Betrieb <ul style="list-style-type: none"> • einer Anlage zur Erzeugung von Strom, Dampf, Warmwasser, Prozesswärme oder erhitztem Abgas durch den Einsatz von Brennstoffen in einer Verbrennungseinrichtung (wie Kraftwerk, Heizkraftwerk, Heizwerk, Gasturbine, Verbrennungsmotoranlage, sonstige Feuerungsanlage), einschließlich des jeweils zugehörigen Dampfkessels • einer Verbrennungsmotoranlage zum Antrieb von Arbeitsmaschinen • einer Verbrennungsmotoranlage zur Erzeugung von Strom, Dampf, Warmwasser, Prozesswärme oder erhitztem Dampf, ausgenommen Verbrennungsmotoranlagen für Bohranlagen und Notstromaggregate • einer Gasturbinenanlage zum Antrieb von Arbeitsmaschinen • einer Gasturbinenanlage zur Erzeugung von Strom, Dampf, Warmwasser, Prozesswärme oder erhitztem Abgas, ausgenommen Anlagen mit geschlossenem Kreislauf mit einer Feuerungswärmeleistung von		
	50 bis 200 MW beim Einsatz von gasförmigen Brennstoffen (... Biogas ...)		A
	1 bis weniger als 50 MW beim Einsatz von gasförmigen Brennstoffen (... Biogas ...)		S

¹ Mit einer Feuerungsleistung von 3,5 MW wäre das Projekt in Augsburg bei einer Verstromung der durch die Fermentation in Biogas umgewandelten Energie zumindest zu einer standortbezogenen Vorprüfung des Einzelfalls verpflichtet. Man entschied sich doch, wie bereits des Öfteren erwähnt gegen ein BHKW und für eine Aufbereitung und Einspeisung des Gases.

Tabelle 7: Fortsetzung UVP-Grenzwerte aus dem Gebiet der „Wärmeerzeugung, Bergbau und Energie“ bzw. zusätzlich aus dem Gebiet der „Verwertung und Beseitigung von Abfällen und sonstigen Stoffen“; nach [15]

1.11.1 ¹ - 1.11.2 ²	Errichtung und Betrieb einer Anlage <ul style="list-style-type: none"> • zur Erzeugung von Biogas, soweit nicht durch Nummer 8.4 erfasst, mit einer Produktionskapazität von • Aufbereitung von Biogas mit einer Verarbeitungskapazität von 		
	2 Mio. Normkubikmetern oder mehr Rohgas je Jahr		A
	1,2 Mio. bis weniger als 2 Mio. Normkubikmetern Rohgas je Jahr		S
8.	Verwertung und Beseitigung von Abfällen und sonstigen Stoffen:		
8.1.2- 8.1.3 ³	Anlagen zur Beseitigung oder Verwertung fester, flüssiger oder in Behältern gefasster gasförmiger nicht gefährlicher Abfälle oder Deponiegas mit brennbaren Bestandteilen durch thermische Verfahren, insbesondere Entgasung, Plasmaverfahren, Pyrolyse, Vergasung, Verbrennung oder eine Kombination dieser Verfahren mit einem Abfalleinsatz von		
	über 3 t pro Stunde oder einem Verbrauch an Deponiegas von mehr als 1.000 m ³ pro Stunde	X	
	bis zu 3 t pro Stunde oder einem Verbrauch an Deponiegas von bis zu 1.000 m ³ pro Stunde		A

¹ 1.11.1 ist hinfällig, da das Biogas wie in 8.4 aus nicht gefährlichen Abfällen gewonnen wird. 1.11.1 wäre nur geltend, wenn NaWaRo als Substrat eingesetzt werden würden.

² Mit der Aufbereitung eines erwarteten Gasertrags von ca. 5,4 Mio. Nm³ jährlich, muss in jedem Fall eine allgemeine Vorprüfung durchgeführt werden.

³ Da die Erzeugung von Biogas nicht unter die Vergasung, sondern die Vergärung fällt, müssen diese Grenzwerte nicht weiter betrachtet werden.



Tabelle 8: Fortsetzung UVP-Grenzwerte aus dem Gebiet der „Verwertung und Beseitigung von Abfällen und sonstigen Stoffen“ bzw. zusätzlich aus dem Gebiet der "Lagerung von Stoffen und Zubereitungen"; nach [15]

8.4.1- 8.4.3 ¹	Errichtung und Betrieb einer Anlage zur biologischen Behandlung von nicht gefährlichen Abfällen, auf die die Vorschriften des Kreislaufwirtschaftsgesetzes Anwendung finden,		
	mit einer Durchsatzleistung von 50 t Einsatzstoffen oder mehr je Tag		A
	mit einer Durchsatzleistung von 10 t bis weniger als 50 t Einsatzstoffen je Tag		S
	soweit die Behandlung ausschließlich durch anaerobe Vergärung (Biogaserzeugung) erfolgt, mit einer Produktionskapazität von 1,2 Mio. Normkubikmetern je Jahr Rohgas oder mehr und einer Durchsatzleistung von weniger als 50 t Abfällen je Tag		S
9.	Lagerung von Stoffen und Zubereitungen:		
9.1.1- 9.1.4 ²	Errichtung und Betrieb einer Anlage, die der Lagerung von brennbaren Gasen in Behältern oder von Erzeugnissen, die brennbare Gase z.B. als Treibmittel oder Brenngas in Behältern enthalten, dient, mit einem Fassungsvermögen von		
	200.000 t oder mehr	X	
	30 t bis weniger als 200.000 t, soweit es sich nicht um Einzelbehältnisse mit einem Volumen von jeweils nicht mehr als 1.000 cm ³ handelt		A
	30 t bis weniger als 200.000 t, soweit es sich nicht um Einzelbehältnisse mit einem Volumen von jeweils nicht mehr als 1.000 cm ³ handelt		S
	3 t bis weniger als 30 t, soweit es sich um Behältnisse mit einem Volumen von jeweils mehr als 1 000 cm ³ handelt		S

¹ Aus dem täglichen Durchsatz von 123 Mg resultiert ebenfalls eine Notwendigkeit der allgemeinen Vorprüfung, da die Behandlung des Materials nicht ausschließlich durch anaerobe Vergärung erfolgt.

² Da in dem 1.500 m³ großen Gasspeicher weniger als 3 Tonnen an Biogas gespeichert werden können, bewirken die Punkte 9.1.1-9.1.4 keine zusätzliche Verschärfung.



Tabelle 9: Fortsetzung UVP-Grenzwerte aus dem Gebiet der "Lagerung von Stoffen und Zubereitungen"; nach [15]

9.3.1- 9.3.3. ¹	Errichtung und Betrieb einer Anlage, die der Lagerung von Chlor dient, mit einem Fassungsvermögen von		
	200 000 t oder mehr	X	
	75 t bis weniger als 200 000 t		A
	10 t bis weniger als 75 t		S

Will ein zukünftiger Betreiber einer Biogasanlage das erzeugte und aufbereitete Gas in das Erdgasnetz einleiten, ist in der Regel eine Anschlussleitung vonnöten. Obwohl der Bau einer Rohrleitung auf öffentlichem Grund nach UVPG in jenem Fall zumindest eines Planfeststellungsbeschlusses nach § 20 Abs. 1 oder einer Plangenehmigung bedarf und je nach Länge UVP-pflichtig ist, zählt dies zu den Pflichten des Netzbetreibers und bedeutet somit keinen Mehraufwand für den Bauherren. Abgesehen davon existiert bei der AVA bereits ein Anschluss an das Gasnetz, da zum Anfahren des AHKW-Kessels unter anderem auch Erdgas verwendet wird.

¹ Um mit den Grenzwerten, die über eine Notwendigkeit der UVP entscheiden abzuschließen, sei erwähnt, dass die Lagerung von Eisenchlorid keine Auswirkungen darauf hat. FeCl_3 wird während des Prozesses benötigt um den Schwefelgehalt im Fermenter regulieren zu können um somit die Biologie zu stabilisieren. Da in Punkt 9.4 explizit Schwefeldioxid - und nicht Schwefel allgemein - reglementiert wird, kann darauf geschlossen werden, dass die Lagerung von FeCl nicht UVP-pflichtig ist. Deshalb wird auch die Lagerung von H_2SO_4 nicht UVP-pflichtig sein, welche für den Betrieb des sauren Wäschers benötigt wird.



A2: Messergebnisse von Abluftströmen verschiedener Anlagen mit ähnlichem Verfahrensablauf

Tabelle 10: Kompostierungsanlagen mit Trockenvergärung und Nachrotte im Vollstrom (KOA V (VS)) und Teilstrom (KOA V (TS)); aus [40]

		KOA V (VS) 1	KOA V (VS) 2	KOA V (VS) 3	KOA V (TS) 1	KOA V (TS) 2
Vergärung	Verfahren	Trockenfermentation, Vollstrom	Trockenfermentation, Vollstrom	Trockenfermentation, Vollstrom	Trockenfermentation, Teilstrom (ca. 60 %)	Trockenfermentation, Teilstrom (ca. 30 %)
	Anzahl	3 Stapelbehälter; kontinuierlicher Betrieb	1 Fermenter; kontinuierlicher Betrieb	1 Fermenter; kontinuierlicher Betrieb	1 Fermenter; kontinuierlicher Betrieb	8 Fermenter; diskontinuierlicher Betrieb
	Behandlungszeit	10 bis 14 Tage	ca. 14 Tage	ca. 14 Tage	ca. 14 Tage	21 Tage
	Gärrückstand-Abpressung	eingehaust	offen	eingehaust (Nachrottehalle)	eingehaust (Abgasstrom Vergärung)	eingehaust
	Presswasser-Speicherung	Außenbereich, mit Plane abgedeckt	Außenbereich, offen	eingehaust (Nachrottehalle)	eingehaust (Abgasstrom Vergärung)	eingehaust
Intensivrotte	Verfahren	---	---	---	Konditionierung: Tunnel, Druckbelüftung	Tunnel, Belüftung
	Anzahl	---	---	---	2 Tunnel	13 Tunnel
	Behandlungszeit	---	---	---	2 Tage	3 bis 4 Wochen
	Umsetzen	---	---	---	kein Umsetzen	1 Mal
Nachrotte	Verfahren	Mieten, eingehaust, Belüftung	Tunnel, oben offen, eingehaust, Belüftung	Tunnel, oben offen, eingehaust, Belüftung	Tunnel, Druckbelüftung	Mieten, überdacht, Belüftung
	Anzahl	7 Mietenfelder			8 Tunnel	13 Mietenfelder
	Behandlungszeit	7 Wochen	ca. 1 Wochen	ca. 1 Wochen	10 Tage	3 bis 4 Wochen
	Umsetzen	1 Mal je Woche			kein Umsetzen	1 Mal
Abgasreinigung		Luftbefeuchter, Biofilter	Luftbefeuchter, Biofilter	Luftbefeuchter, Biofilter	Luftbefeuchter, Biofilter	Luftbefeuchter (Prozesswasser), Saurer Wäscher, Biofilter
Verhältnis Abgas-Volumenstrom zu Abfall-Input-Masse, m ³ n,tL/Mg		7.600	5.000	10.000	10.000	15.000
Biofilter-Flächenbelastung, m ³ n,tL/(h x m ²)		76	55	110	91	72
Biofilter-Volumenbelastung, m ³ n,tL/(h x m ³)		58	18	60	45	40
Messphasen, MM.JJJJ		11.2007	09.2008	09.2008	08.2008	12.2007, 06.2008



Tabelle 11: Emissionsmessdaten der in Tabelle 10 beschriebenen Kompostierungsanlagen mit Trockenvergärung und Nachrotte; aus [40]

	Massenkonzentrationen (HSMW), mg/m ³ nSL					Massenströme (HSMW), g/h					Emissionsfaktoren, g/Mg					CO ₂ -Äq. kg/Mg
	Ges.-C	CH ₄	NMVOG	NH ₃	N ₂ O	Ges.-C	CH ₄	NMVOG	NH ₃	N ₂ O	Ges.-C	CH ₄	NMVOG	NH ₃	N ₂ O	
KOA V (VS) 1; Messphase 11.2007; Rohgas, Gesamtgasstrom vor Biofilter																
MIN - MAX	160 - 410	180 - 420	11 - 93	120 - 440	0,85 - 6,7	7.250 - 18.700	8.330 - 9.250	520 - 4.280	--	39 - 310	--	--	--	--	--	--
MITTEL	260	280	52	280	3,1	12.140	13.050	2.390	12.880	140	2.010	2.160	400	2.130	23	61
KOA V (VS) 1; Messphase 11.2007; Reingas, Gesamtgasstrom nach Biofilter																
MIN - MAX	210 - 270	230 - 290	39 - 56	5,1 - 31	10,5 - 11,3	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
MITTEL	240	260	48	18,1	10,9	380	390	75	2,2	58	3.180	3.220	620	250	120	120
KOA V (VS) 2; Messphase 09.2008; Rohgas, Gesamtgasstrom vor Biofilter																
MIN - MAX	110 - 130	90 - 110	39 - 45	10 - 25	0,10 - 0,86	840 - 1.020	720 - 890	310 - 360	--	0,81 - 6,8	--	--	--	--	--	--
MITTEL	120	100	42	18	0,40	950	820	330	140	2,8	600	520	210	87	1,9	14
KOA V (VS) 2; Messphase 09.2008; Reingas, Gesamtgasstrom nach Biofilter																
MIN - MAX	100 - 120	83 - 98	42 - 48	--	--	830 - 960	660 - 780	330 - 380	--	25 - 29	--	--	--	--	--	--
MITTEL	110	91	46	1,5	--	910	720	360	11	27	570	460	230	7,2	17	16
KOA V (VS) 3; Messphase 09.2008; Rohgas, Gesamtgasstrom vor Biofilter																
MIN - MAX	340 - 450	350 - 380	120 - 170	--	2,8 - 3,0	5.680 - 7.540	5.780 - 6.360	1.930 - 2.890	--	47 - 50	--	--	--	--	--	--
MITTEL	390	360	150	18	2,9	6.600	5.970	2.440	300	49	3.960	3.580	1.460	180	29	98
KOA V (VS) 3; Messphase 09.2008; Reingas, Gesamtgasstrom nach Biofilter																
MIN - MAX	330 - 440	300 - 330	140 - 190	--	3,7 - 4,0	5.510 - 7.280	5.100 - 5.600	2.300 - 3.220	--	62 - 67	--	--	--	--	--	--
MITTEL	380	310	170	2,5	3,8	6.410	5.250	2.790	41	64	3.850	3.150	1.680	25	38	90

Tabelle 12: Emissionsmessdaten der in Tabelle 10 beschriebenen Kompostierungsanlagen mit Trockenvergärung und Nachrotte; aus [40]

	Massenkonzentrationen (HSMW), mg/m ³ n.z.					Massenströme (HSMW), g/h					Emissionsfaktoren, g/Mg					CO ₂ -Äq. kg/Mg
	Ges.-C	CH ₄	NMVOC	NH ₃	N ₂ O	Ges.-C	CH ₄	NMVOC	NH ₃	N ₂ O	Ges.-C	CH ₄	NMVOC	NH ₃	N ₂ O	
KOA V (TS) 1; Messphase 09.2008; Rohgas, Teilabgasstrom Vergärung (Abpressung Gärrückstand) vor Biofilter																
MIN - MAX	160 - 690	150 - 690	50 - 170	6,1 - 36	0 - 5,4	2280-9.770	2070-9.790	700 -2.440	--	0 - 76	--	--	--	--	--	--
MITTEL	370	380	92	18	0,90	5.290	5.320	1.300	250	13	2.280	2.300	560	70	4,2	59
KOA V (TS) 1; Messphase 09.2008; Rohgas, Teilabgasstrom Intensivrotte vor Biofilter																
MIN - MAX	420 - 680	440 - 760	74 - 140	21 - 32	0,27 - 7,5	8910-14.480	9.410-16.130	1.570 -2.990	--	5,7 - 160	--	--	--	--	--	--
MITTEL	470	510	93	25	2,5	10.020	10.750	1.980	540	54	2.830	3.040	550	150	13	80
KOA V (TS) 1; Messphase 09.2008; Reingas, Teilabgasstrom Intensivrotte nach Biofilter																
MIN - MAX	420 - 630	470 - 670	38 - 130	12 - 14	0,99 - 9,1	8850-13.290	9.910-14.260	810 -2.680	--	21 - 190	--	--	--	--	--	--
MITTEL	500	540	92	13	3,7	10.580	11.520	1.960	280	79	2.980	3.250	550	79	20	87
KOA V (TS) 2; Messphase 12.2007; Rohgas, Gesamtabgasstrom vor Biofilter																
MIN - MAX	110 - 1.140	140 - 900	0,07 - 470	56 - 66	0,31 - 5,2	6.800-91.630	7.180-72.490	7,0 -37.620	--	39 - 460	--	--	--	--	--	--
MITTEL	280	290	67	63	2,4	22.830	23.380	5.320	5.110	200	5.210	5.330	1.220	1.160	46	150
KOA V (TS) 2; Messphase 12.2007; Reingas, Gesamtabgasstrom nach Biofilter																
MITTEL	240	280	17	2,1	19	19.770	22.470	1.390	170	1.520	4.470	5.100	310	40	360	230
KOA V (TS) 2; Messphase 06.2008; Rohgas, Gesamtabgasstrom vor Biofilter																
MIN - MAX	150 - 430	110 - 430	28 - 160	28 - 43	0 - 3,9	16300-78.800	11500-81.990	2120-17.500	--	0 - 410	--	--	--	--	--	--
MITTEL	270	280	63	37	1,2	29.010	31.000	5.780	3.860	110	2.890	3.100	560	450	9,4	80
KOA V (TS) 2; Messphase 06.2008; Reingas, Gesamtabgasstrom nach Biofilter																
MIN - MAX	100 - 990	110 - 930	17 - 300	35 - 56	0,28 - 6,1	0 - 105.100	0 - 98.720	0 - 31.220	--	0 - 650	--	--	--	--	--	--
MITTEL	360	410	56	49	2,3	36.610	43.750	5.290	5.110	280	3.530	4.130	460	600	25	110

A3: Prinzipverlauf Luftleitungen

