

Abbauleistung und Abluftemissionen bei trockenen, einstufigen Vergärungsverfahren mit nachgeschalteter Rotte am Beispiel des KOMPOGAS-Verfahrens

Klaus Fricke, René Leisner und Rainer Wallmann

In: Abluftbehandlung bei MBA und Deponiebetrieb – Konsequenzen für die - Praxis, Schriftenreihe des ANS 42, Orbitverlag, Weimar, 2001, S: 67-94

1 EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG

Die Arbeitsgemeinschaft IGW/LWI (Ingenieurgesellschaft Witzenhausen Fricke & Turk GmbH und Leichtweiß-Institut der TU Braunschweig) wurde im Mai 2000 von der KOGAS GmbH beauftragt, die wissenschaftlich-technische Begleitung eines Versuches zur Vergärung und Nachrotte von Restmüll auf dem Gelände der MBA Kufstein/Tirol durchzuführen.

Ziel der Untersuchung war die Überprüfung und Optimierung des Vergärungs- und Nachrotteprozesses sowie der Materialaufbereitung und Konfektionierung im Hinblick auf die Minimierung von Stoffflüssen in die energetische Verwertung bzw. thermische Behandlung. Im Rahmen des Vorhabens wurden folgenden Themenkomplexe bearbeitet:

- Massenbilanz,
- Abbauleistung,
- Gasertrag und Gasqualität,
- Qualität der zu deponierenden Abfälle (biologische Stabilität und Heizwert),
- Abluftemissionen,
- Prozesssteuerung.

Leistungsdaten der Verfahren sollten als Planungsgrundlagen bereitgestellt und vor dem Hintergrund der aktuellen rechtlichen Rahmenbedingungen bewertet werden.

Zur Ermittlung der relevanten Daten wurden Versuchsdurchgänge mit unterschiedlichen Korngrößen als Fermenter-Inputmaterial (< 15 mm und < 50 mm) und unterschiedlichen Fermenteraufenthaltszeiten (11 und 21 Tage) gefahren. Mit den jeweiligen Gärrückständen erfolgten Nachrotteversuche mit unterschiedlichen Belüftungsintensitäten.

2 MATERIAL UND METHODEN

2.1 VERSUCHSANLAGEN

Die in der MBA Kufstein/Tirol mechanisch aufbereiteten Restabfälle aus Haushalten wurden in einer nach dem KOMPOGAS-Verfahren konzipierten Versuchs-Vergärungsanlage behandelt. Die Nachrotte der abgepressten Gärreste erfolgte in isolierten Kleinrotteboxen der ARGE IGW/LWI. Dabei wurden Varianten mit unterschiedlichen Rotteintensitäten im Hinblick auf Belüftung und Umsetzen untersucht. Zur Bewertung der Untersuchungsvarianten erfolgten umfangreiche Feststoff- und Abluftanalysen im Rotteverlauf.

2.1.1 BESCHREIBUNG DES ABFALLBEHANDLUNGSZENTRUMS KUFSTEIN/TIROL

Das von der Fa. Thöni Umwelttechnik seit 1995 betriebene Abfallbehandlungszentrum Kufstein/Tirol besteht aus den Bereichen Bioabfallkompostierung und Mechanisch-biologische Restabfallbehandlung (MBA). Jährlich werden derzeit ca. 4.000 Mg Bioabfall und Grünschnitt zu Kompost verarbeitet und ca. 10.000 Mg Restmüll, Sperrmüll und gewerblicher Restmüll behandelt. In der MBA werden die Restabfälle nach intensiver Zerkleinerung in einem Trommelsieb mit 15 mm Lochung (Quadratloch, entspricht der Fläche von ca. 17 mm Rundloch und weist in der Diagonalen einen maximalen Durchgang von ca. 21 mm auf) in eine heizwertreiche (Siebüberlauf > 15 mm) und eine organikreiche bzw. heizwertarme Fraktion (Siebdurchgang < 15 mm) getrennt. Der Siebüberlauf gelangt nach ca. 2-wöchiger biologischer Trocknung zur thermischen Behandlung bzw. energetischen Verwertung in die MVA in Lenzing, während die Feinfraktion (< 15 mm) nach ca. 8-wöchiger Intensivrotte in belüfteten Rottemodulen (mit Bewässerung und Umsetzen) auf der Deponie Riederberg bei Kufstein abgelagert wird.

2.1.2 VERSUCHSANLAGE – VERGÄRUNG

Die in der MBA Kufstein/Tirol mechanisch aufbereiteten Restabfälle aus Haushalten wurden in einer nach dem KOMPOGAS-Verfahren konzipierten einstufig-trocknen Versuchs-Vergärungsanlage mit einer täglichen Verarbeitungskapazität von 600 - 700 kg behandelt. Die Vergärungsanlage wurde im thermophilen Temperaturbereich (ca. 55 °C) betrieben. Die KOMPOGAS Versuchsanlage ist wie eine großtechnische Anlage aufgebaut. Sie umfasst sämtliche Anlagenteile von der Materialanmischung bis hin zum Abpressen und der Gasverwertung.

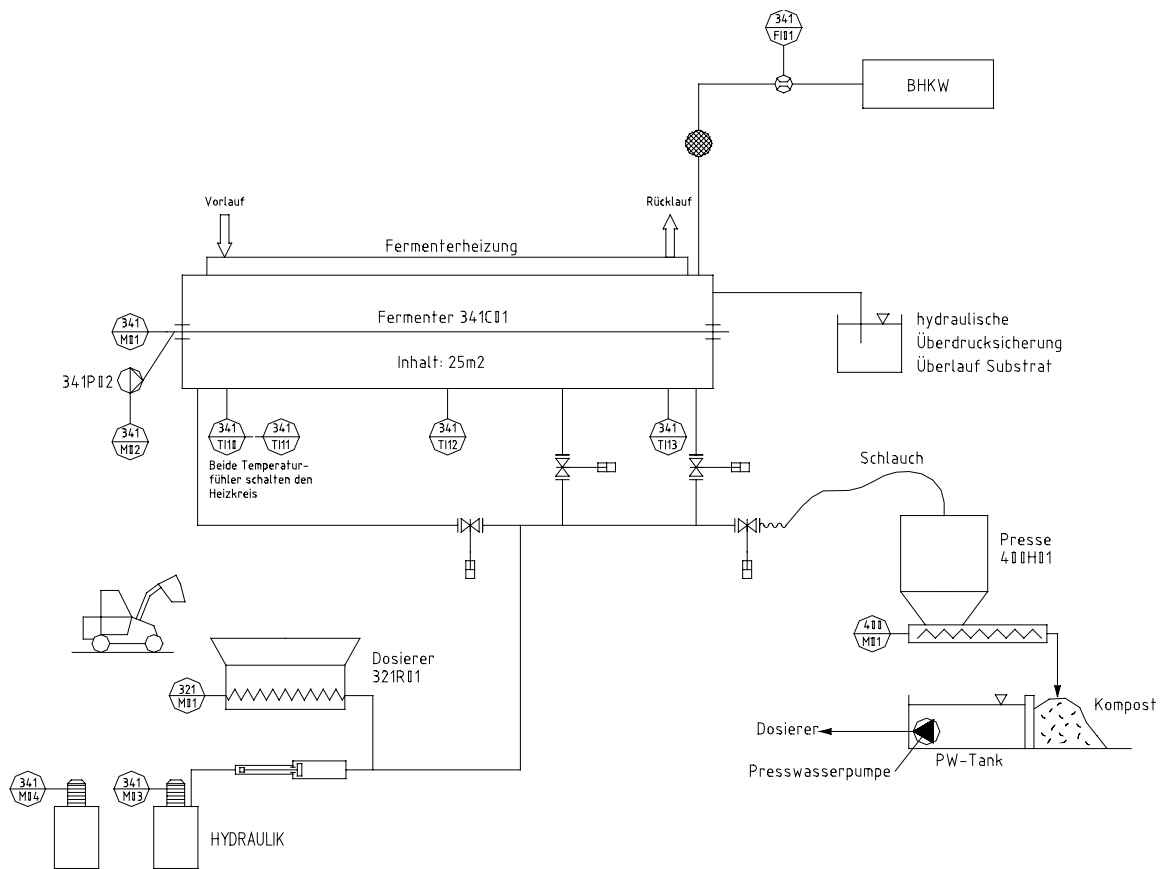


Abbildung 1: Schema der KOMPOGAS Versuchsanlage

Beschickung

Als Aufbereitungs-/Mischelement dient ein Mischertrog mit Schneckenförderer von ca. 1,2 m³ Inhalt. Hier wird der aufbereitete Restmüll mit einem Radlader aufgegeben und mit Presswasser gemischt, um eine pumpfähige Mischung zu erzeugen und den erforderlichen TS Gehalt einzustellen. Die aufbereitete Charge wird anschließend mittels der unter dem Mischer angeordneten Kolbenpumpe über eine Förderleitung in den Fermenter eingetragen. Die Beschickung erfolgt täglich (7 Tage pro Woche). Ein Wärmetauscher zur Erwärmung des Inputmaterials existiert nicht. Die Leitungsdimensionen liegen bei 250 mm.

Fermenter

Herzstück der Anlage ist der liegende KOMPOGAS-Fermenter. Er umfasst ein Nutzvolumen von 22 m³ und entspricht in den relevanten Geometrien den KOMPOGAS-Fermentern der Großanlagen. Das Rührwerk und die Beheizung des Fermentermantels ist mit der Großanlage identisch. Der Gärprozess im Fermenter basiert auf einer anaerob-thermophilen Trockenvergärung bei einer Temperatur von ca. 55 °C.

Pressentwässerung

Das Gärsubstrat wird mit einer Kolbenpumpe zur Pressentwässerung gepumpt und auf ca. 40 - 50 % TS entwässert - ein Teilstrom wird zum Animpfen rezirkuliert.

Biogasverwertung

Das anfallende Biogas wird in einem Zündstrahl-BHKW verbrannt und daraus elektrische Energie und Wärme produziert. Die Wärme wird zur Beheizung der Anlage verwendet, mit dem produzierten Strom die Entlüftung der Rottehalle betrieben.

2.1.3 VERSUCHSANLAGE - NACHROTTE

Die Nachrotte der abgepressten Gärreste wurde in 4 isolierten Kleinrotteboxen der ARGE IGW/LWI mit jeweils 0,6 m³ Nutzvolumen durchgeführt. Die Belüftung der Boxen erfolgte über einen Kompressor mit Druckluftbehälter. Die Zuluft wurde von unten in die Boxen gedrückt und gelangte durch einen Abluftschlauch im Boxendeckel in die Atmosphäre. Zur gleichmäßigen Anströmung des Rottegutes waren die Boxen mit einer 10 cm starken Kiesschüttung im Boxenboden ausgestattet. Beschickung und Umsetzen erfolgte manuell.

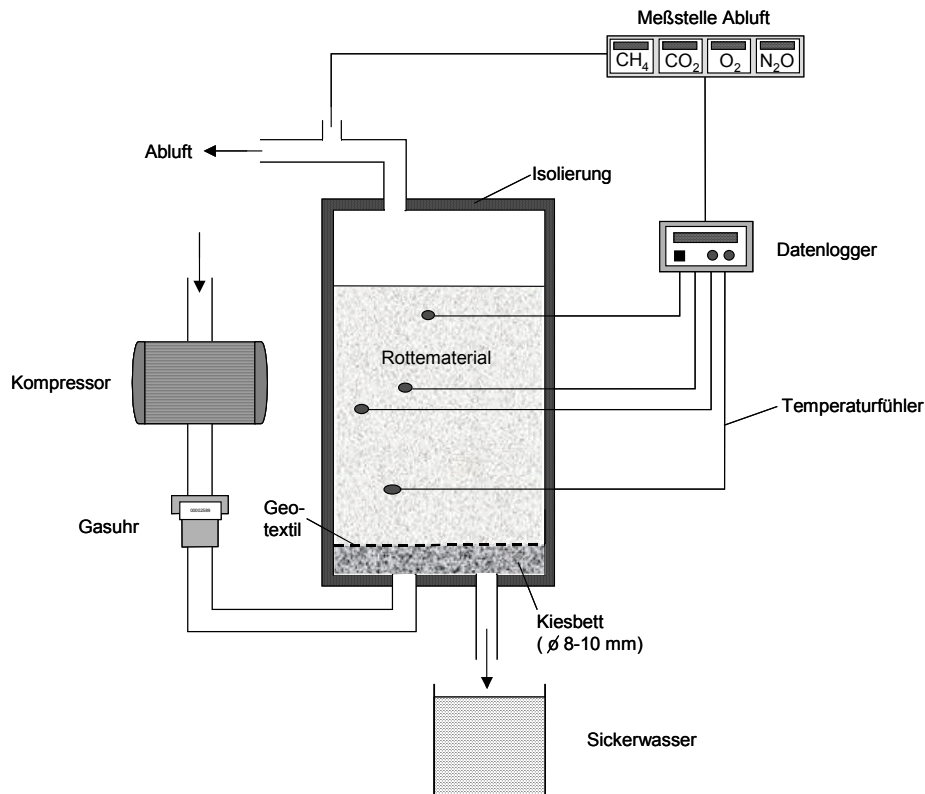


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Versuchsrotteboxen

2.2 VERSUCHSVARIANTEN

Es wurden Vergärungsversuche mit unterschiedlichen Korngrößen und Fermenterverweilzeiten durchgeführt:

- Versuch 1a Restabfallfraktion < 15mm, 11 Tage Fermenterverweilzeit;
- Versuch 1b Restabfallfraktion < 15mm, 21 Tage Fermenterverweilzeit;
- Versuch 2 Restabfallfraktion < 50mm, 11 Tage Fermenterverweilzeit.

Durch Anhebung des Siebschnittes auf 50 mm sollte der Anteil am gesamten Anlagen-Input zur biologischen Behandlung bzw. anschließend zur Deponierung gelangende erhöht werden. Die wesentlichen Versuchskenndaten sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Mit den jeweiligen Gärrückständen erfolgten Nachrotteversuche mit unterschiedlichen Belüftungsintensitäten. Je 2 Boxen wurden in den ersten Rottewochen mit einer intensiven (5- bis 6-facher Luftwechsel) und einer weniger intensiven Belüftungsrate (1- bis 2-facher Luftwechsel) betrieben.

3 ERGEBNISSE

3.1 VERGÄRUNGSSTUFE

3.1.1 GASERTRÄGE

Die zugeführten Materialmengen und die daraus gewonnene Biogasmenge ist in nachfolgender Abbildung dargestellt.

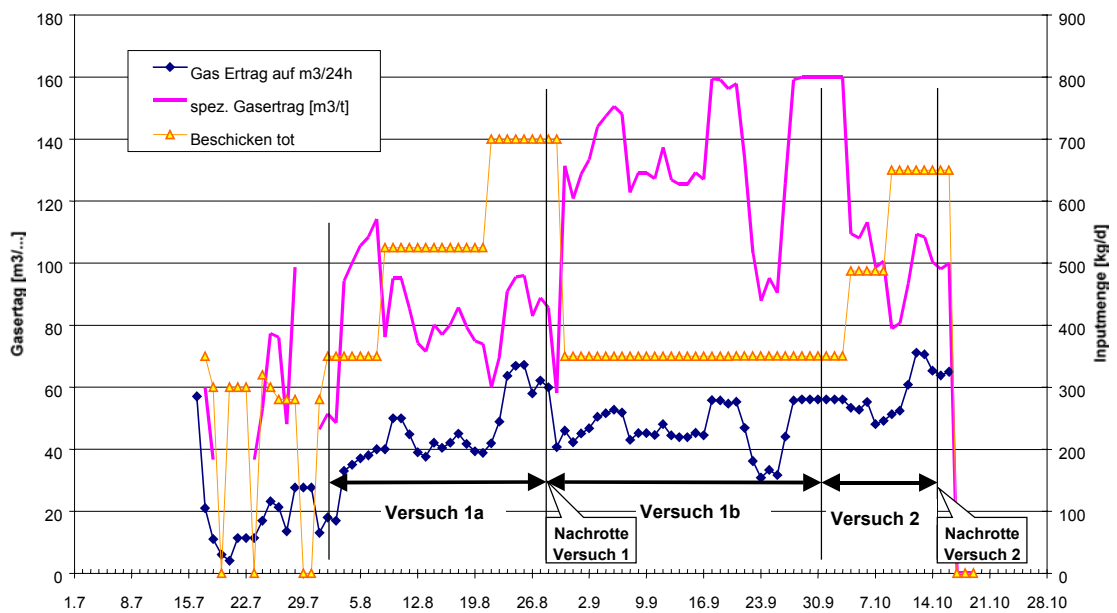


Abbildung 3: Gasertrag und spezifische Gasproduktion

Während jeder Versuchsphase konnten im Fermenter stabile Betriebszustände erreicht werden. Das Temperaturniveau bewegte sich um ca. 53 °C. Der TS Gehalt im Fermenter wurde auf ca. 25 % eingestellt. Die ermittelten Daten zur Gasproduktion zeigen, dass im Material < 50 mm (Versuch 2) ein höherer Anteil an vergärbaren Komponenten enthalten ist als in der Fraktion < 15 mm (siehe Tabelle 1). Der spezifischen Gaserträge von 296 bis 436 m³/Mg oTS für das Material < 15 mm liegen im Rahmen aus der Literatur bekannter Daten (FRICKE und MÜLLER, 1999).

Tabelle 1: Rahmendaten und Gaserträge der Versuchsdurchgänge

		Versuch 1a Mat <15mm	Versuch 1b Mat <15mm	Versuch 2 Mat <50mm
Inputmenge	kg/d	700	350	650
TS	%	54%	54%	58%
oTS	%	54,6%	54,6%	54,2%
Verweilzeit	Tage	11,5	21	11
Gasertrag	m³/d	61	45	68
Gasertrag	m³/Mg	87	129	105
	m³/Mg TS	161	238	182
	m³/Mg oTS	296	436	335

In Abbildung 4 sind die zeitspezifischen Gaserträge dargestellt. Bei einer Fermenteraufenthaltszeit (Material< 15 mm) von 10 Tagen wurden ca. 60 % der erreichbaren Gasproduktion, nach 20 Tagen ca. 90 % erreicht. Dagegen konnten bei der Verwendung des Versuchsmaterials < 50 mm während der ersten 10 Tage ca. 70 % der max. möglichen Gasproduktion erzielt werden. Dies deutet darauf hin, dass das Material < 50 mm im Vergleich zum Material < 15 mm einen höheren Anteil leichter abbaubare Bestandteile beinhaltet.

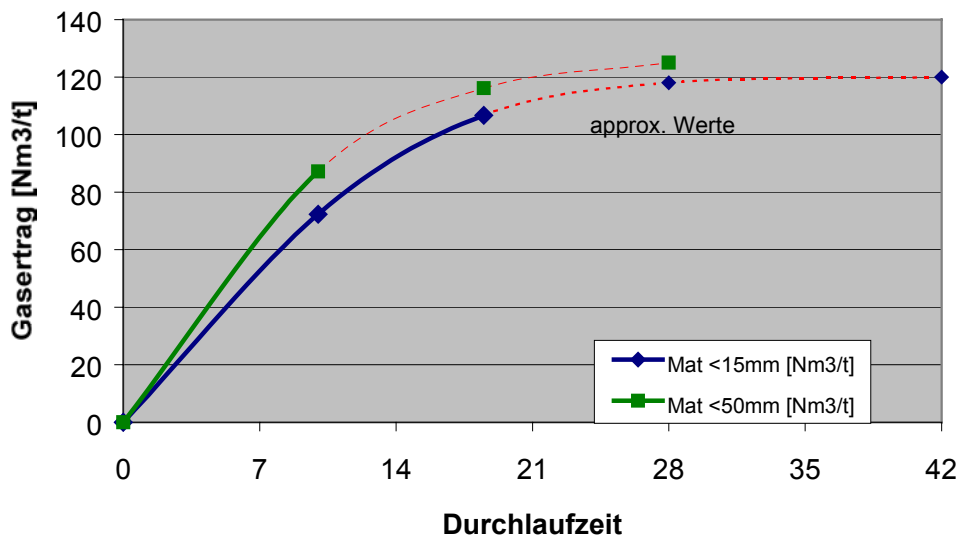


Abbildung 4 : Spezifischer Gasertrag in Abhängigkeit von der Verweilzeit

Aus der Gasbildungsdynamik kann geschlossen werden, dass die Gasproduktion nach etwa 6 Wochen Verweilzeit bei einem Endwert zwischen 120 und 130 Nm³/Mg stagniert. Aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten beschränkt sich die anaerobe Behandlung des Abfalls in Großanlagen auf den Zeitraum mit hohen Gasproduktionen je Zeiteinheit. Sie liegt bei Restabfällen zwischen ca. 12 - 20 Tagen. Erfahrungsgemäss wird der Prozess in einer Großanlage aufgrund der kontinuierlich über den Tag verteilten Beschickung und gleichmäßigeren Prozessbedingungen etwa 15 – 20 % schneller verlaufen.

3.1.2 GASQUALITÄT

Die Gasqualität im Versuchsablauf wurde wöchentlich gemessen. Der CO₂-Gehalt lag zwischen 38 und 42 %, der Methangehalt entsprechend bei ca. 58 - 62 %. Das Biogas wies einen H₂S-Gehalt zwischen 100 und 200 ppm auf.

3.2 NACHROTTE DER GÄRRÜCKSTÄNDE

Im folgenden Kapitel sind die Ergebnisse der Nachrotteversuche zusammenfassend dargestellt. Im ersten Abschnitt werden zunächst Aussagen zum Rotteprozess und zu den Produktanforderungen für die spätere Deponierung getroffen. Der zweite Abschnitt umfasst den Themenkomplex Abluftemissionen

3.2.1 TEMPERATUR

Die Temperaturentwicklung im Rottegut stellt eine wesentliche Kenngröße für die Intensität der mikrobiellen Abbauprozesse dar. Hohe Abbauleistungen werden nach allgemeingültigem Wissensstand bei Temperaturen zwischen 45 und 60°C erzielt (GLATHE, 1985; FRICKE, 1988). Oberhalb dieses Temperaturniveaus nehmen die Abbauleistungen stark ab. Eine Inaktivierung findet in der Regel bei Temperaturen oberhalb 75°C infolge der Proteindenaturierung statt (BIDLINGMAIER und DENEKE, 1998). Weiterhin nimmt die Temperatur entscheidenden Einfluss auf den Wasseraustrag durch Verdunstung.

Die Temperaturen stiegen in der ersten 14 Rottetagen auf 50 - 65 °C im Zentrum des Rottegutes. Während nach dem ersten Umsetzen - nach 1 Woche - ebenfalls Temperaturen um 50 - 60 °C erreicht wurden, fielen die Werte im weiteren Rotteverlauf deutlich ab und lagen nach 4 Rottewochen mit 20 - 30 °C geringfügig über den Zulufttemperaturen von 10 - 20 °C. Es konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den mehr bzw. weniger belüfteten Varianten festgestellt werden.

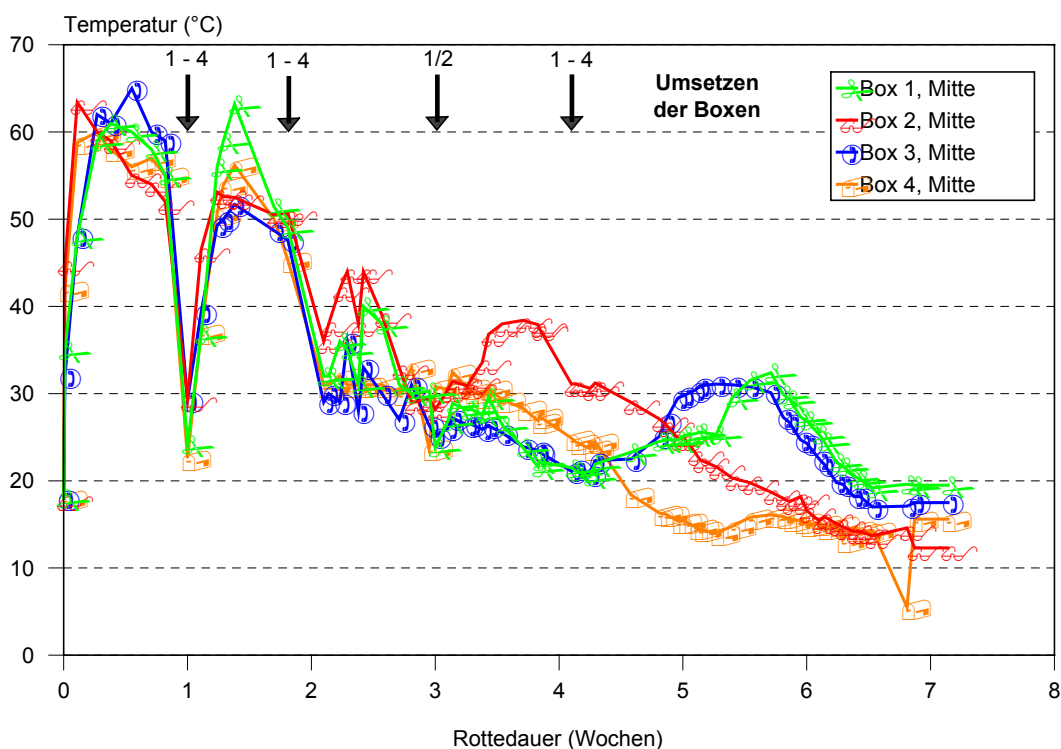


Abbildung 5: Temperaturen in der Boxenmitte im Verlauf der Nachrotte

3.2.2 WASSERHAUSHALT

Für den Deponieeinbau sollte ein Endwassergehalt eingestellt werden, der auf dem trockenen Ast der Proctorkurve liegt. Dieser Wert muss im Einzelfall ermittelt werden. Der Toleranzbereich für den optimalen Einbauwassergehalt ist vergleichsweise groß (in der Regel größer als 5 %-Punkte). Nach jetzigem Kenntnisstand sollte ein Endwassergehalt von ca. 35 % angestrebt werden.

Die Wassergehalte konnten im Verlauf der Nachrotte lediglich von 50 auf 45 % gesenkt werden. Allerdings muss berücksichtigt werden, dass, versuchsbedingt, zum Abschluss keine gezielte Trocknungsphase gefahren wurde.

3.2.3 MASSENREDUKTION

Die Massenreduktion während der biologischen Behandlung wird bestimmt durch die Abnahme des Wassergehaltes und der Trockensubstanz. Ausschlaggebend für die Gewichtsabnahme durch Wasserverluste ist die Differenz zwischen Anfangsgehalt und gewünschtem Wassergehalt im Endprodukt. Entscheidend für die Verringerung der Masse an Trockensubstanz ist der Abbaugrad der biologisch abbaubaren organischen Substanz und deren prozentualer Anteil in der TS.

Die Reduktion der Frischmasse in der Vergärungsstufe lag in der Größenordnung zwischen 6 - 8 und in der Nachrottestufe zwischen 12 - 15 % (siehe auch Abbildung 12). Ausschlaggebend für die Massenreduktion bei der Nachrotte ist der Wasseraustrag.

3.2.4 STABILISIERUNG UND KONFEKTIONIERUNG

Seit dem 1. März 2001 ist in *Deutschland* die Artikelverordnung rechtswirksam. Bestandteil der Artikelverordnung ist die Abfallablagerungsverordnung (AbfAbIV). Sie definiert Zuordnungskriterien für die Beschaffenheit von Siedlungsabfällen vor der Ablagerung und regelt die Ausstattung und Betriebsweise von Deponien. In § 4 werden die Anforderungen an die Ablagerung mechanisch-biologisch behandelter Abfälle formuliert. Neben zahlreichen Eluatkriterien und Festigkeitsparametern enthält der Anhang 2 Regelgrößen für die Verwertung und die biologische Stabilität (Tabelle 2). Es wird unterschieden zwischen Deklarationsanalysen, die der Besitzer von Abfällen aus mechanisch-biologischen Behandlungsanlagen je 2.000 Mg angeliefertem Abfall durchführen muss, und Kontrollanalysen, die vom Deponiebetreiber stichprobenhaft durchzuführen sind. Während bei der Deklarationsanalyse lediglich 3 Parameter gemäß der jeweiligen Zuordnungswerte

des Anhangs 2 eingehalten werden müssen ($\text{TOC}_{\text{Feststoff}}$ oder oberer Heizwert H_o , Atmungsaktivität (AT_4) oder Gasbildungsrate im Gärtest (GB_{21}) und der TOC im Eluat ($\text{TOC}_{\text{Eluat}}$), wird für die Kontrollanalysen die Einhaltung des gesamten Anhangs 2 gefordert. Gleiches gilt auch für die Kontrollanalysen.

Neben umfangreichen Vorgaben zur einzusetzenden Analytik wird in Anhang 4 u.a. die Bewertung der Messergebnisse erläutert, wobei die strengen Grenzwerte des Anhang 2 zumindest teilweise relativiert werden. Demnach gilt bei Kontrollanalysen für mechanisch-biologisch behandelte Abfälle die Einhaltung der Zuordnungswerte nach Anhang 2 noch als gegeben, wenn bei einer Kontrollanalyse der obere Heizwert H_o über 7.000 kJ/kg, der $\text{TOC}_{\text{Feststoff}}$ über 21 %, der $\text{TOC}_{\text{Eluat}}$ über 300 mg/l liegt, wenn die genannten Werte bei den 4 vorangegangenen Kontrollen unterschritten wurden. Ähnliches gilt für die Bewertung der Ergebnisse der Deklarationsanalysen. Die Anforderungen der Verordnung sind erfüllt, wenn 80 % der Messwerte unterhalb 7.000 kJ/kg (H_o), 21 % ($\text{TOC}_{\text{Feststoff}}$) bzw. 300 mg/l ($\text{TOC}_{\text{Eluat}}$) sowie gleichzeitig 50% der Messwerte der letzten 12 Monate unterhalb 6.000 kJ/kg, 18 % und 250 mg/l liegen. Dabei gilt ebenfalls, dass entweder der H_o oder der $\text{TOC}_{\text{Feststoff}}$ eingehalten werden muss.

In Österreich ist der entsprechende rechtliche Rahmen für die Ablagerung mechanisch-biologisch vorbehandelter Abfälle im Entwurf der Deponieverordnung vom 10.04.1996 definiert. Die Anforderungen unterscheiden sich von der deutschen AbfAbIV in wesentlichen Punkten (siehe Tabelle 2). Gemäß § 5, Absatz 7 f) darf MBA-Output in gesonderten Bereichen von Massenabfalldeponien abgelagert werden, wenn der obere Heizwert H_o , analog zum deutschen Grenzwert, ≤ 6.000 kJ/kg beträgt. Den $\text{TOC}_{\text{Feststoff}}$ als Alternativparameter für den H_o und den GB_{21} als Alternativparameter für den AT_4 sowie eine Abweichregelung, wie in der deutschen AbfAbIV formuliert, sieht der österreichischen Entwurf nicht vor.

In der Schweiz ist die Deponierung von Siedlungsabfällen und Klärschlamm gemäß der Technischen Verordnung über Abfälle (TVO) vom 10.12.1990 seit dem 1.1.2000 grundsätzlich verboten (Artikel 32) und die Verbrennung vorgeschrieben (Artikel 11). Auf Reststoffdeponien dürfen in der Schweiz nur Stoffe abgelagert werden, die u.a. einen $\text{TOC}_{\text{Feststoff}}$ unter 5 % TS aufweisen.

Tabelle 2: Versuchsergebnisse im Vergleich zu den relevanten Grenzwerten für die Ablagerung mechanisch-biologisch behandelter Abfälle

Parameter	Einheit	Versuchsergebnisse		Grenzwerte		
		Versuch 1 ¹⁾	Versuch 2 ²⁾	Deutschland ³⁾	Österreich ⁴⁾	Schweiz ⁵⁾
Atmungsaktivität (AT ₄)	mg O ₂ /g TS	1 - 3	1 - 3	5 (10)	7	-
Gasbildung (GB ₂₁)	NI/kg TS	2 - 5	0,5 - 1	20 (30)	20	-
TOC _{Eluat}	mg/l	110 - 170	70 - 130	250 (300)	-	-
Oberer Heizwert (H _o)	kJ/kg TS	5.900 - 11.300	3.700 - 4.800	6.000 (7.000)	6.000	-
TOC _{Feststoff}	% TS	10 - 20	7 - 9	18 (21)	-	5 ⁶⁾

¹⁾ 14 Tage Vergärung (einstufig, trocken, thermophil) und 7 Wochen Nachrotte (belüftet mit Umsetzen)

²⁾ 10 Tage Vergärung (einstufig, trocken, thermophil) und 7 bzw. 8 Wochen Nachrotte (belüftet mit Umsetzen)

³⁾ Verordnung über die umweltverträgliche Ablagerung von Siedlungsabfällen (AbfAbIV) vom 01.03.2001

Mediane müssen Grenzwerte einhalten (50 %), 80 % Perzentil-Werte müssen Grenzwerte in Klammern einhalten

⁴⁾ Richtlinie für die mechanisch-biologische Behandlung von Abfällen (Entwurf vom Februar 2001)

Mittelwerte müssen Grenzwerte einhalten

⁵⁾ Technische Verordnung über Abfälle (TVO) vom 10.12.1990

Verbrennungspflicht (Art. 11) bzw. Deponierungsverbot (Art. 32) für Siedlungsabfälle, Klärschlamm und andere brennbare Abfälle

⁶⁾ auf Reststoffdeponien dürfen nur Stoffe abgelagert werden, die u.a. < 5 % TOC aufweisen

3.2.4.1 TOC im Feststoff (TOC_{Feststoff})

Zu Beginn der Nachrotte lagen die Werte für TOC_{Feststoff} bei 20 - 25 % der TS. Im Verlauf der Nachrotte erfolgte eine Reduktion auf 10 - 20 %. Die Ergebnisse des Versuches zeigen, dass der Grenzwert aus der AbfAbIV von ≤ 18 % TS bereits nach 4 Wochen Nachrotte eingehalten werden kann, in Einzelfällen sind Grenzwertüberschreitungen jedoch nicht auszuschließen. Unter Berücksichtigung der Abweichregelung (AbfAbIV Anhang 4) kann der TOC_{Feststoff}-Grenzwert jedoch sicher eingehalten werden.

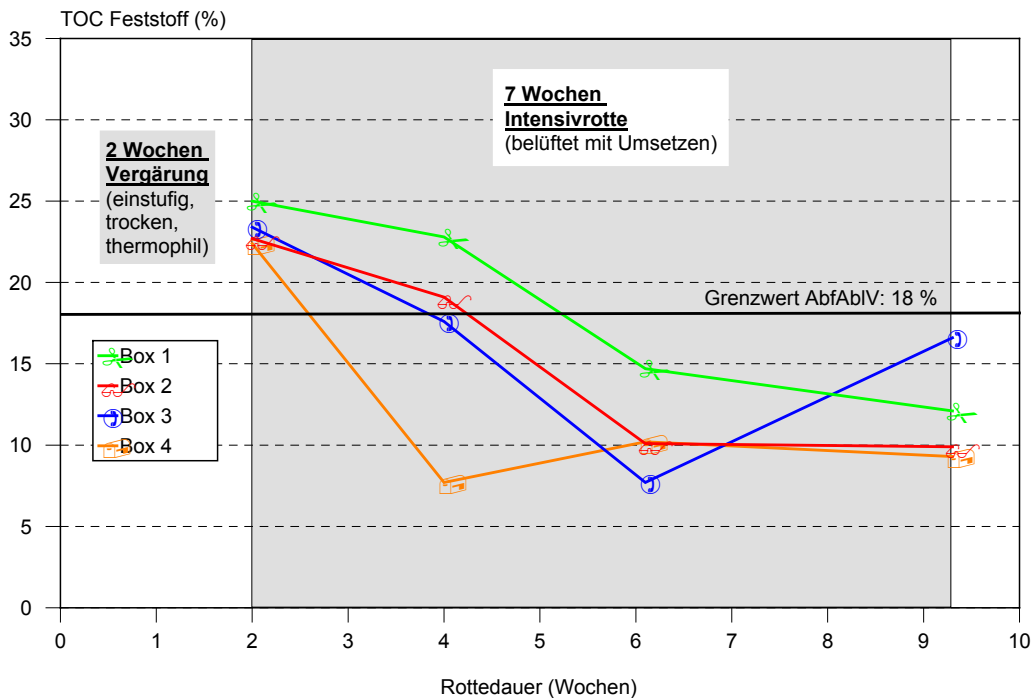


Abbildung 6: TOC_{Feststoff} im Verlauf der Nachrotte

3.2.4.2 Oberer Heizwert (H_o)

Der obere Heizwert H_o wurde im Verlauf der Nachrotte im Versuch 1 von im Mittel ca. 11.000 auf ca. 8.000 kJ/kg TS und in Versuch 2 von auf 3.700 - 4.800 kJ/kg TS reduziert. Der Grenzwert $H_o \leq 6.000$ kJ/kg kann bei der verwendeten Aufbereitungs- und Konfektionierungstechnik nicht sicher eingehalten werden.

Orientierende Untersuchungen zeigen, dass stabilisierte Restabfälle mit einem TOC_{Feststoff} ≤ 18 % oberhalb 7.000J/kg TS aufweisen (Fricke et al. 2001). Bei den sogenannten Verwertungsparametern hat sich der TOC_{Feststoff} ≤ 18 % in der deutschen AbfAbIV als der weichere Parameter herauskristallisiert. Die Anforderungen aus der deutsche AbfAbIV gelten trotz Überschreitung des Grenzwertes H_o als erfüllt, da der alternativ verwendbare Grenzwert TOC_{Feststoff} eingehalten wird.

Da der TOC_{Feststoff} als Alternativparameter sowie eine Abweichregelung im Entwurf der österreichischen Verordnung, wie sie in Deutschland in der AbfAbIV formuliert ist, nicht enthalten sind, ist die Einhaltung des geforderten Heizwertes H_o , zumindest bei der verwendeten Aufbereitungs- und Konfektionierungstechnik nicht sicher einzuhalten. In Österreich wird zurzeit diskutiert, den Grenzwert evtl. auf ≤ 6.600 kJ/kg anzuheben.

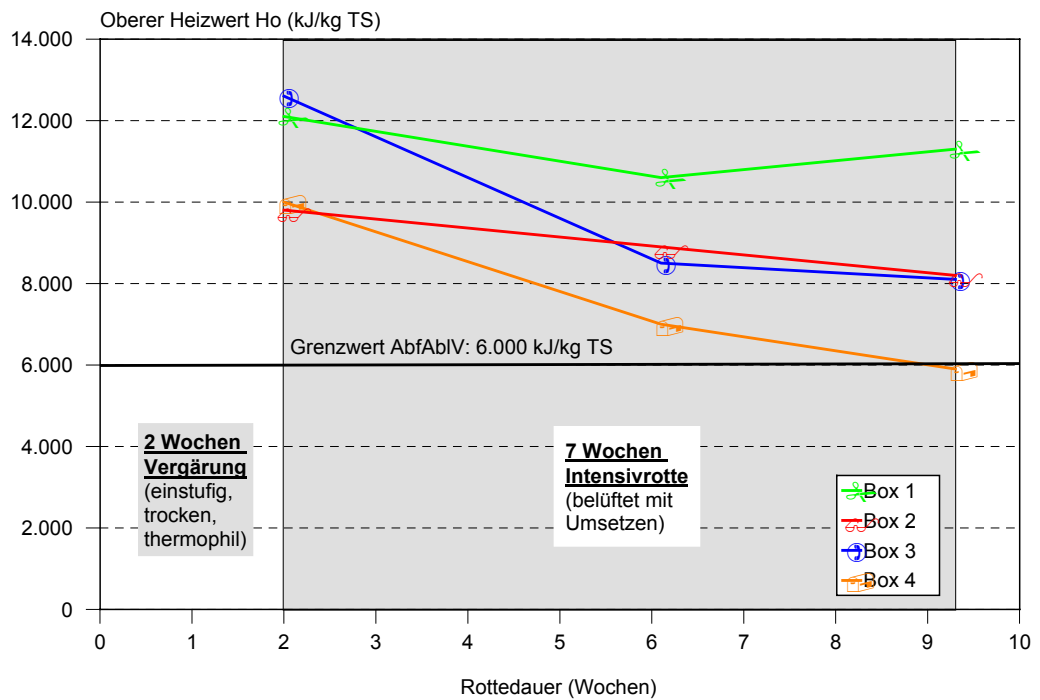


Abbildung 7: Oberer Heizwert H_o im Verlauf der Nachrotte

3.2.4.3 TOC im Eluat

Während für den Fermenter-Input in Versuch 1 ein mittlerer Wert für den TOC_{Eluat} von ca. 2.700 mg/l und in Versuch 2 von ca. 2.200 mg/l ermittelt wurde, lag dieser nach 11-tägiger Vergärung bei ca. 1.000 mg/l in Versuch 1 bzw. 200 mg/l in Versuch 2. Bereits nach 4 Wochen Nachrotte konnte der Grenzwert der Abfallablagerungsverordnung (250 mg/l) deutlich unterschritten werden. Im weiteren Verlauf der Nachrotte blieb dieser Wert weitestgehend konstant.

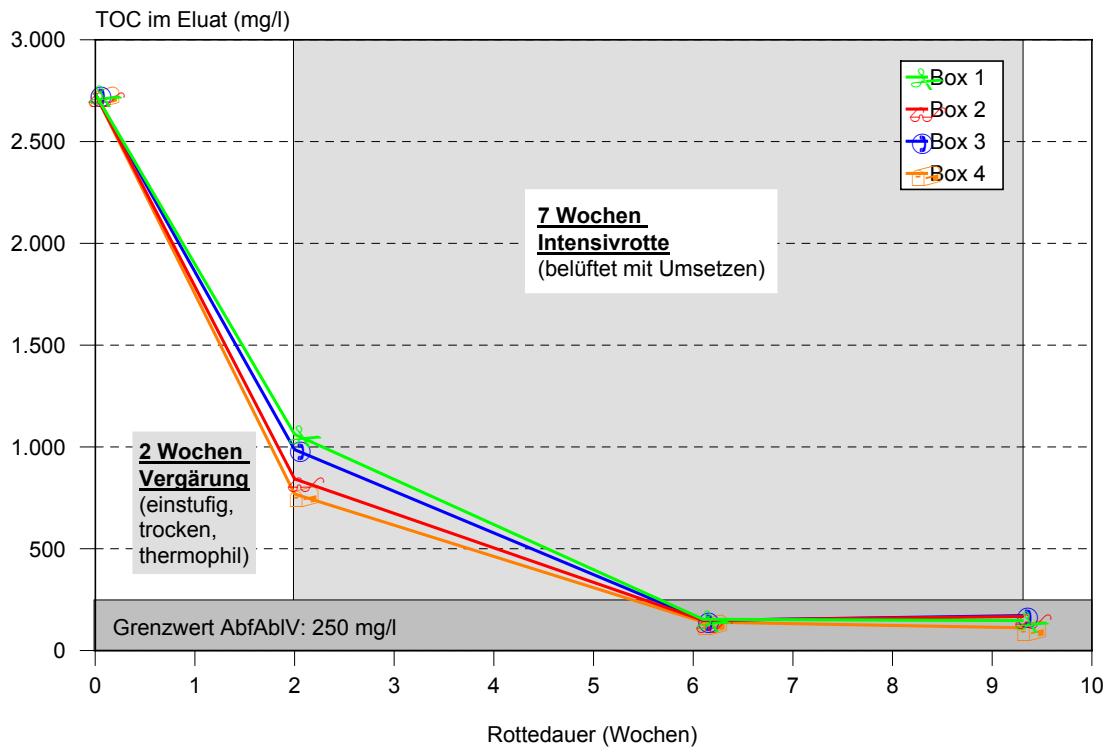


Abbildung 8: TOC im Eluat im Verlauf der Nachrotte

3.2.4.4 Atmungsaktivität (AT₄)

Durch die Vergärungsstufe wird der AT₄ in Versuch 1 von 70 auf 10 - 15 mg O₂/g TS (79 - 86 % Reduktion) und in Versuch 2 von 36 auf ca. 8 mg O₂/g TS reduziert. In der anschließenden Nachrotte erfolgte eine weitere Senkung auf ca. 2 mg O₂/g TS (97 % Reduktion). Die Grenzwerte der Abfallablagerversordnung in Deutschland (5 mg O₂/g TS) bzw. des Entwurfs der MBA-Richtlinie in Österreich (7 mg O₂/g TS) werden nach 4 Wochen sicher unterschritten.

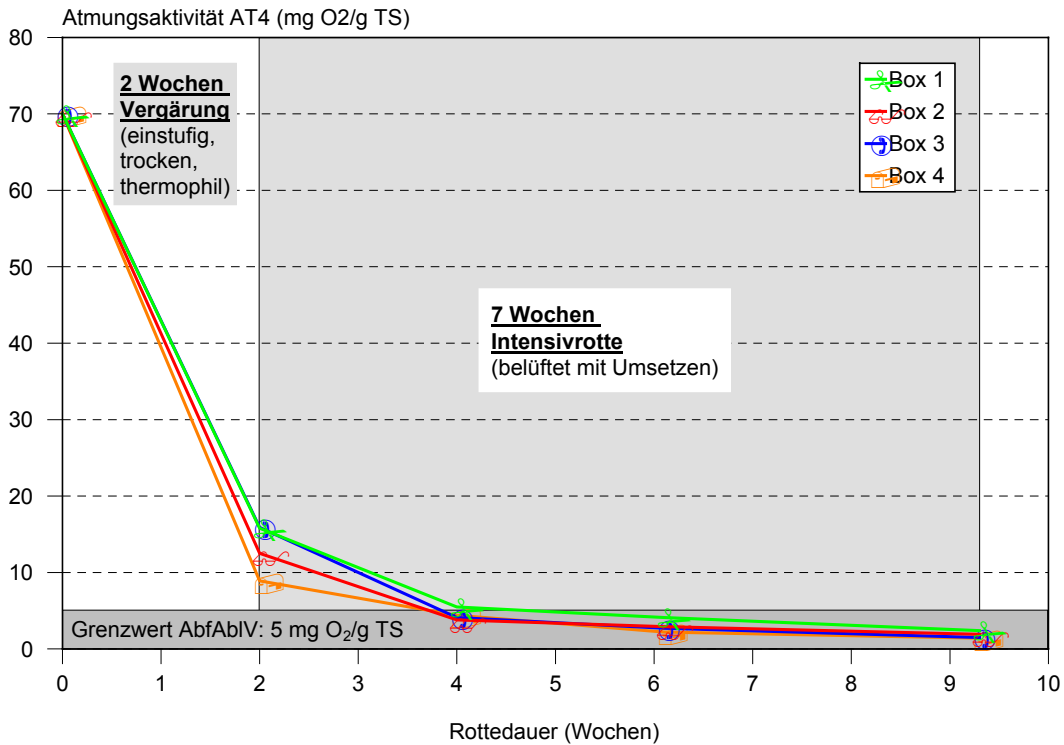


Abbildung 9: Atmungsaktivität AT₄ im Verlauf der Nachrotte

Die Höhe der Atmungsaktivität (AT₄) legt auch die Mindestanforderung zum Kapselungsumfang der Anlage fest (siehe Kapitel 3.3.2).

3.2.4.5 Gasbildung (GB₂₁)

Die AbfAbIV sowie der Entwurf der MBA-Richtlinie in Österreich enthalten als Zuordnungskriterium für die Deponierung neben der Atmungsaktivität einen Grenzwert für die Gasbildung GB₂₁ von 20 NI/kg TS. Nach 11-tägiger Vergärung der Abfälle wurden Gasbildungen (GB₂₁) von 7 - 17 NI/kg TS ermittelt. Durch die 7-wöchige Rotte konnten weitere Reduktionen auf 2 - 5 NI/kg TS erreicht werden. Der genannte Grenzwert wird demnach vom Untersuchungsmaterial in beiden Versuchen bereits zu Beginn der Nachrotte unterschritten.

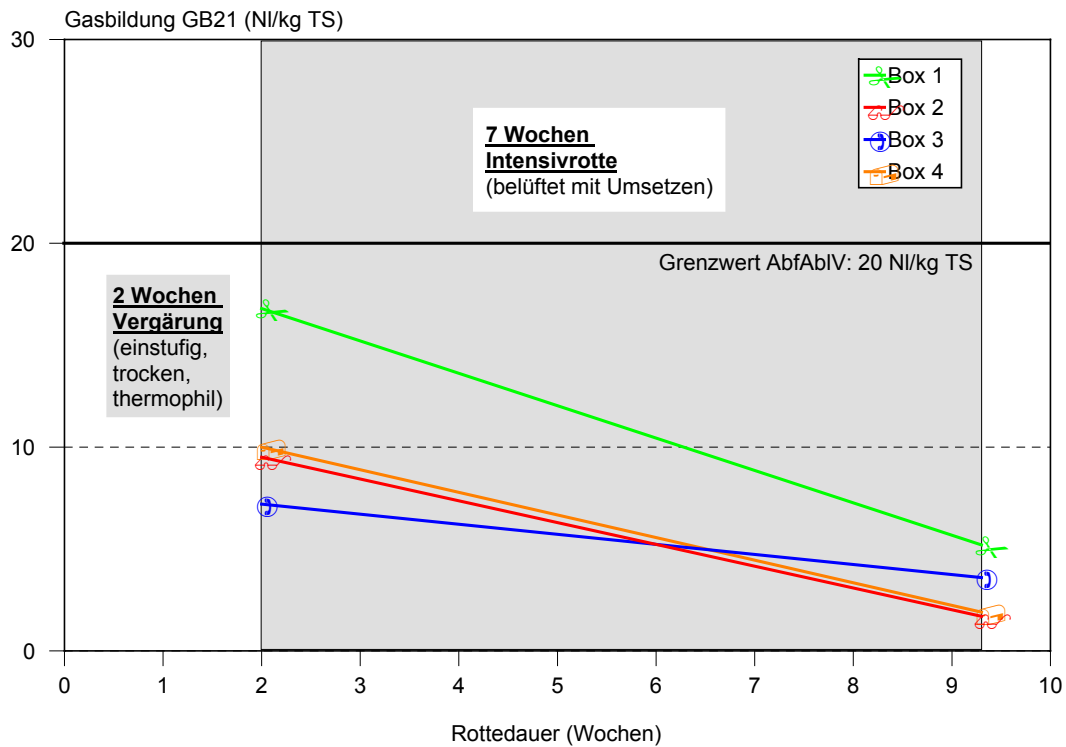


Abbildung 10: Gasbildung GB₂₁ im Verlauf der Nachrotte

3.3 ABLUFTEMISSIONEN

Einen wesentlichen Schwerpunkt der Untersuchungen stellte der Bereich der Abluftemissionen dar. Es wurden ausschließlich Rohgasemissionen während der Nachrotte in Versuch 2 betrachtet.

3.3.1 GESAMTKOHLLENSTOFF UND METHAN

Den Emissionen an Gesamtkohlenstoff (TOC) kommt eine besondere Bedeutung zu, da diese im Rahmen der 30. BImSchV in Deutschland auf 55 g/Mg MBA-Input (Fracht) bzw. 20 mg/Nm³ (Konzentration Tagesmittelwert) begrenzt sind. Der österreichischen Entwurf der MBA-Richtlinie sieht abweichend hierzu eine TOC-Frachtenbegrenzung auf 100 g/Mg MBA-Input vor.

TOC- und Methanemission - Konzentrationsverläufe und Stofffrachten - während der ersten 4 Nachrottewochen für die intensiv belüfteten Rotteboxen zeigt Abbildung 11. Die Untersuchungen der Abluftemissionen zeigen ein typisches Austragsverhalten für TOC und Methan im Rotteverlauf. Mit beginnender Erwärmung des Rottegutes stiegen die TOC- und CH₄-Konzentrationen in den ersten Rottetagen stark an. Die maximalen Kon-

zentrationen wurden nach 2 - 4 Tagen erreicht und fielen in den folgenden Tagen wieder deutlich ab. In Abhängigkeit von der Belüftungsintensität wurden in den intensiv belüfteten Rotteboxen 1 und 2 maximale TOC-Konzentrationen von bis zu 350 mg/Nm³ gemessen. In den weniger intensiv belüfteten Rotteboxen fielen die Maximalkonzentrationen mit bis zu 850 mg TOC/Nm³ deutlich höher aus.

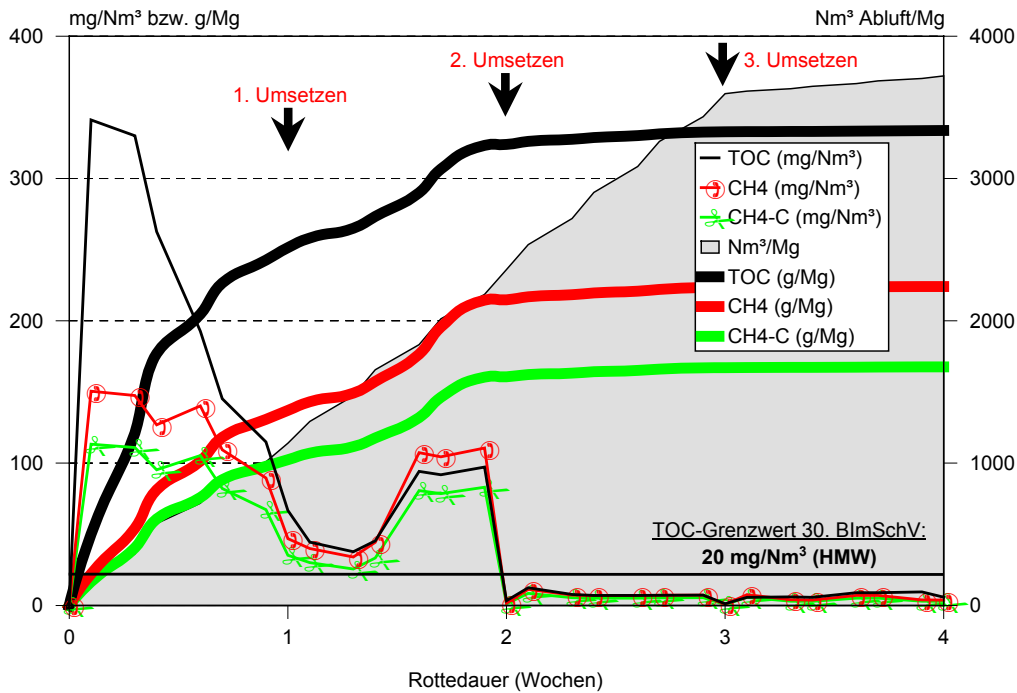


Abbildung 11: Gesamtkohlenstoff (TOC), Methan (CH₄) im Rohgas der Nachrotte

Das erste Umsetzen des Rottematerials bewirkte ein erneutes Ansteigen der Konzentrationen, jedoch auf einem erheblich niedrigeren Niveau. Die Untersuchungen zeigen sehr deutlich, dass dem Zeitpunkt des ersten Umsetzens eine besondere Bedeutung im Hinblick auf die Begrenzung der relevanten Emissionsphase zukommt. Erfolgte das erste Umsetzen bereits nach 7 Rottetagen, so war der zweite (verminderte) Emissionspeak nach 14 Rottetagen abgeschlossen und TOC-Konzentrationen unterhalb des relevanten Konzentrationsgrenzwertes aus Deutschland und Österreich von 20 mg/Nm³ erreicht. Ein Parallelversuch mit späterem Umsetzen zeigte, dass sich diese emissionsrelevante Phase verlängert.

Bezüglich der aus Konzentration und Abluftmenge resultierende Stofffracht ist festzustellen, dass aus den stärker belüfteten Boxen deutlich höhere TOC-Frachten emittierten (Faktor 2 höher) als aus den Rotteboxen mit geringerem Luftwechsel. Bezogen auf den

gesamten Anlage-Input ergeben TOC-Frachten von ca. 130 g/Mg bei der Nachrotte mit hohen Luftmengen sowie 70 g/Mg für die der Nachrotte mit geringen Luftmengen.

Die in den ersten 3 Rottewochen emittierte spezifische Abluftmenge betrug bis zu 3.700 Nm³/Mg für die intensiver belüfteten Rotteboxen mit einer TOC-Durchschnittskonzentration von ca. 100 mg TOC/Nm³ und bis zu 1.000 Nm³/Mg für die geringer belüfteten Rotteboxen mit einer TOC-Durchschnittskonzentration von ca. 180 mg TOC/Nm³.

3.3.2 KAPSELUNGSGRAD

Die §§ 4 und 5 der 30. BImSchV fordern zwar grundsätzlich die vollständige Kapselung der Anlagen. Durch § 16 wird der zuständigen Genehmigungsbehörde die Möglichkeit eröffnet, eine offene Nachrotte ohne Abluftbehandlung ab dem Erreichen einer Atmungsaktivität von 20 mg O₂/g TS im Abfall zu genehmigen. Hiermit wird dem Sachverhalt Rechnung getragen, dass bei Aerobverfahren die wesentliche Emissionsfracht während der ersten 14 Behandlungstage emittiert. Der Entwurf der österreichischen MBA-Richtlinie fordert zusätzlich eine Mindestbehandlungszeit von 4 Wochen, d.h. bei 2 Wochen Vergärung mindestens 2 Wochen geschlossene Nachrotte.

Wie Abbildung 9 zeigt, lag der AT₄-Wert bereits zu Beginn der Nachrotte unter 20 mg O₂/g TS, wodurch diese Grundvoraussetzung für den Betrieb einer offenen Nachrotte bereits nach der Vergärungsstufe erfüllt ist. Es ist jedoch davon auszugehen, dass die Genehmigungsbehörden neben dem Erreichen des geforderten Mindeststabilisierungsgrades im Rottegut, insbesondere die während der Nachrotte zu erwartenden Emissionen in einem entsprechenden Genehmigungsbescheid berücksichtigen werden.

4 BEWERTUNG DER ERGEBNISSE

4.1 ABLAGERUNGS-PARAMETER

Auf Grundlage der ermittelten Daten ist für den Bereich Feststoff-Parameter festzuhalten:

- ◆ Die Stabilitätskriterien Atmungsaktivität (AT_4), Gasbildung (GB_{21}) und TOC_{Eluat} können durch eine 10-tägige Vergärung und 4 Wochen Nachrotte mit Belüftung und Umsetzen eingehalten werden.
- ◆ Die stärker belüfteten Varianten erreichen eine geringfügig höhere TS-Reduktion, die jedoch nicht zu einem signifikanten Vorteil bei der Stabilisierung (AT_4 , GB_{21} und TOC_{Eluat}) führt.
- ◆ Im Hinblick auf die Parameter oberer Heizwert H_o und $TOC_{Feststoff}$, die als Maß für die Abscheidung heizwertreicher Substanzen herangezogen werden, sind die Bedingungen in Deutschland und Österreich differenziert zu bewerten. In Deutschland kann die Ablagerungsgenehmigung über den „weicheren“ Parameter $TOC_{Feststoff}$ sowie die für das Einhalten der Grenzwerte definierten Rahmenbedingungen (Median und 80 % Perzentil-Wert) deutlich einfacher als in Österreich erreicht werden, wo der H_o von 6.000 kJ/kg definitiv (als arithmetisches Mittel) eingehalten werden muss. Vor diesem Hintergrund ist die Aufbereitung und Konfektionierung zur Abscheidung heizwertreicher Substanzen in Deutschland und Österreich ggf. unterschiedlich zu gestalten.
- ◆ MBA-Endrottekonzepte sind in der Schweiz gemäß der Technischen Verordnung über Abfälle (TVO) nicht genehmigungsfähig. Der Kanton Tessin ist derzeit die einzige Gebietskörperschaft ohne flächendeckende Restabfallverbrennung.
- ◆ Da die in der Nachrotte der Vergärungsrückstände freiwerdende Wärmeenergie auf Grund der anaeroben Vorbehandlung vergleichsweise gering ist, muss der Rotteprozess zur Einstellung des für die Deponierung optimalen Endwassergehaltes von ca. 35 % gezielt gesteuert werden.

4.2 ABLUFTEMISSIONEN

Im Hinblick auf die Abluftbehandlung während der Nachrotte von Restmüll-Gärrückständen ist folgendes festzustellen:

- ◆ Der Gärrückstand unterschreitet den in der 30. BImSchV (Deutschland) und der MBA-Richtlinie (Österreich) geforderten Mindest-Stabilisierungsgrad (AT_4 von 20 mg O_2/g TS), sodass die Genehmigungsbehörde eine offene Nachrotte ohne Abluffassung und –behandlung grundsätzlich zulassen könnte. Die in Österreich zusätzlich gefor-

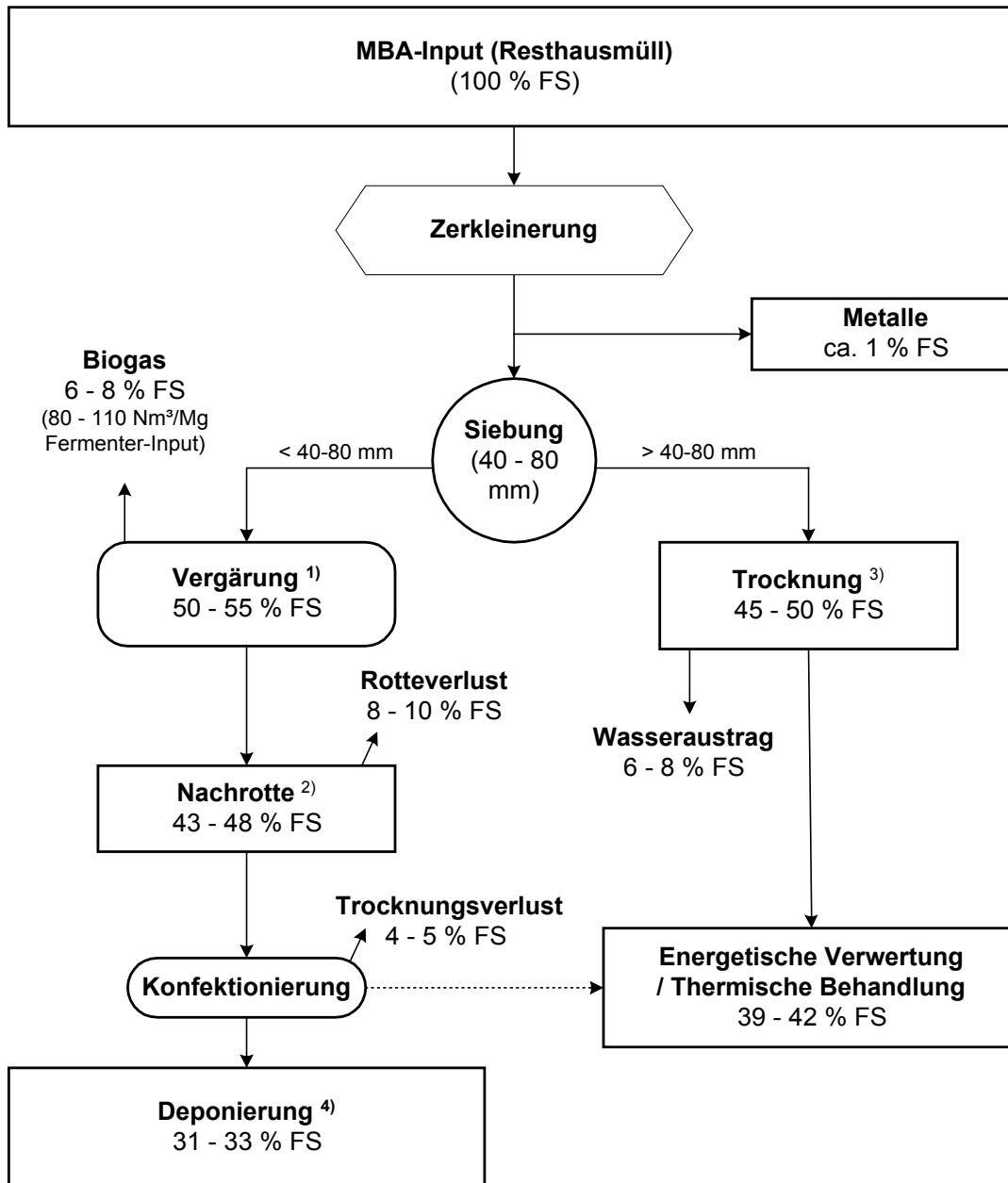
derte Mindestbehandlungsdauer im geschlossenen System von 4 Wochen erfordern bei 2-wöchiger Vergärung mindestens eine geschlossene Nachrotte für weitere 2 Wochen.

- ◆ Aufgrund der in den ersten Nachrottetagen auftretenden erheblichen Geruchsemissionen, im Wesentlichen hervorgerufen durch Ammoniak, scheint eine offene Nachrotte frisch abgepresster Gärrückstände nicht vertretbar.
- ◆ Die mittlere TOC-Konzentration im Rohgas der ersten 2 Rottewochen beträgt 100 - 120 mg/Nm³, wodurch der Konzentrationsgrenzwert von 20 mg/Nm³ (30. BImSchV sowie Entwurf der MBA-Richtlinie) deutlich überschritten wird. Innerhalb der ersten 2 Rottewochen werden über 95 % der TOC-Fracht ausgetragen, im weiteren Rotteverlauf liegen die TOC-Konzentrationen deutlich unterhalb des Konzentrationsgrenzwertes von 20 mg/Nm³.
- ◆ Im Mittel wurde eine über das Rohgas ausgetragene TOC-Fracht von ca. 100 g/Mg Anlagen-Input ermittelt. Der Frachtgrenzwert der 30. BImSchV in Deutschland von 55 g/Mg wird im Rohgas deutlich überschritten, der Grenzwertvorschlag des Entwurfs der MBA-Richtlinie aus Österreich (100 g/Mg) erreicht.
- ◆ Vor diesem Hintergrund ist eine Abluftbehandlung zumindest für die ersten 2 Rotte-wochen aller Voraussicht nach erforderlich. Ob die für die Stabilisierung erforderliche weitere Nachrotte ebenfalls geschlossen oder u.U. offen ohne Abluffassung und -behandlung stattfinden kann, ist im Einzelfall mit der zuständigen Genehmigungs-behörde abzustimmen sowie unter wirtschaftlichen Bedingungen zu betrachten.
- ◆ Aufgrund des ermittelten Methan-C-Anteils von 50 - 60 % am TOC (ca. 60 g CH₄-C bzw. 80 g CH₄/Mg Anlagen-Input) ist der Biofilter als alleiniges Abluftreinigungsag- gregat nicht geeignet, den TOC-Frachtgrenzwert von 55 g/Mg Anlagen-Input einzu- halten, da keine nennenswerte CH₄-Reduktion möglich ist.
- ◆ Demnach sind thermische bzw. thermisch-regenerative Verfahren zur Abluftbehand- lung – zumindest für Abluftteilströme – erforderlich. Zur Abscheidung von Ammoniak ist der thermischen Abluftbehandlung vermutlich eine saure Wäscherstufe vorzu- schalten.
- ◆ Im Hinblick auf ökonomische Aspekte der thermischen Abluftbehandlung sind die Varianten mit geringerer Belüftungsrate deutlich günstiger zu bewerten, da Kosten- vorteile einerseits durch geringere Abluftmengen und andererseits durch höhere Koh- lenstoffkonzentrationen und entsprechende Brennstoffersparnis bestehen.
- ◆ Als weitere Option für eine thermische Abluftbehandlung ist darüber hinaus der Ein- satz als Frischluft in Blockheizkraftwerken bei der Verstromung des anfallenden Bio-

gases in Betracht zu ziehen. In Abhängigkeit vom Arbeitsprinzip des eingesetzten Verbrennungsmotors könnten theoretisch 6 - 10 Nm³ Abluft je Nm³ Biogas, bzw. 500 - 1.000 Nm³ je Mg MBA-Input verwertet werden. Da in diesem Bereich keine Betriebserfahrungen vorliegen, sind im Rahmen weiterführender Untersuchungen technische und rechtliche Möglichkeiten dieses Ansatzes zu prüfen.

4.3 GESAMTKONZEPTION UND MASSENILANZ

Aufbauend auf den Versuchsergebnissen, ist die im Routinebetrieb zu erwartende Massen- bzw. Stoffstrombilanzierung für eine mechanisch-biologische Restabfallbehandlung nach dem KOMPOGAS-Verfahren dargestellt. Berücksichtigt ist dabei im Rahmen der mechanischen Aufbereitung eine Zerkleinerungsstufe (Langsamläufer), die Abscheidung von Fe-Metallen sowie die Abtrennung einer heizwertreichen Fraktion zur energetischen Verwertung bzw. thermischen Behandlung. Für die Stoffstromtrennung, die in engem Zusammenhang zur Art und Intensität der Zerkleinerung steht, wird von einem Siebschnitt von 40 - 80 mm ausgegangen, um die abbaubaren Komponenten weitestgehend im Siebdurchgang zur biologischen Behandlung zu leiten.



- 1) 14 Tage, einstufig trocken, thermophil
- 2) 4 Wochen geschlossen mit Abluffassung und -behandlung und ggf. 2-4 Wochen offen
- 3) 14Tage biologische Trockenstabilisierung
- 4) TS-Gehalt durch Trocknungsphase auf ca. 35 % eingestellt

Abbildung 12: Stoffstromdiagramm

Die biologische Behandlung ist in eine Vergärungsstufe nach dem KOMPOGAS-Verfahren (einstufig, trocken und thermophil) und eine anschließende belüftete Nachrotte gegliedert. Der Aufenthalt im Fermenter beträgt ca. 14 Tage, wobei 80 - 110 Nm³ Biogas je Mg FS Fermenter-Input bereitgestellt werden. In der Entwässerungsstufe wird der

Fermenter-Output abgepresst und entstehendes Presswasser zur Impfung der Rohabfälle erneut in den Fermenter eingebracht. Die Entwässerung der Gärreste ist darauf ausgerichtet, dass kein Überschusswasser zur Entsorgung ansteht. Der TS-Gehalt des Presskuchens liegt bei ca. 48 %.

Nachdem durch die anaerobe Behandlung ein wesentlicher Teil des Abbaus organischer Substanzen erreicht wird, erfolgt in der nachgeschalteten Rotte die abschließende Stabilisierung der Gärreste. Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchungen haben gezeigt, dass eine 4-wöchige Nachrotte mit Belüftung und Umsetzen ausreicht, um die für die Deponierung geforderten Stabilitätskriterien einzuhalten (Atmungsaktivität, Gasbildung und $\text{TOC}_{\text{Eluat}}$). Hiervon sind mindesten die ersten 2 Wochen gekapselt auszuführen, um die Abluft fassen und reinigen zu können. Über den Kapselungsgrad ist unter Berücksichtigung der standortspezifischen Rahmenbedingungen im Einzelfall zu entscheiden.

Darüber hinaus sollte bei der Planung der Nachrotte von Gärrückständen eine zusätzliche Rottekapazität von 2 - 4 Wochen unter offener Überdachung ohne Abluffassung und -behandlung berücksichtigt werden, die ggf. zur weitergehenden Stabilisierung bzw. als Zwischenlager genutzt werden kann.

Die während der Rotte entstehenden Abluftmengen sind durch Kreislaufführung zu minimieren und zur Einhaltung der in Deutschland und Österreich geforderten Grenzwerte zu behandeln. Zumindest für Teilströme kann dabei auf thermisch-regenerative Verfahren nicht verzichtet werden, insbesondere um den TOC-Grenzwert von 55 bzw. 100 g/Mg MBA-Input einzuhalten. Vor dem Hintergrund der hohen Ammoniakkonzentrationen in den ersten beiden Rottewochen ist die Integration einer sauren Wäsche sowohl vor einer thermisch-regenerativen als auch vor einer eventuellen Abluftbehandlung im Biofilter erforderlich.

Vor dem Hintergrund der durchgeführten Untersuchungen sollten während der Nachrotte von Vergärungsrückständen – zumindest nach der ersten Aerobisierungsphase – durchschnittliche Luftwechsel von 1 - 2 angestrebt werden, da gegenüber höherer Belüftungsintensität Kostenvorteile bei der thermischen Abluftbehandlung einerseits durch geringere Abluftmengen und andererseits durch höhere Kohlenstoffkonzentrationen und entsprechende Brennstoffersparnis bestehen.

Vor der Deponierung sind die stabilisierten Abfälle einer weitergehenden Konfektionierung im Hinblick auf den für die Ablagerung erforderlichen Wassergehalt sowie die Einhaltung der geforderten Grenzwerte für Heizwert und/oder $\text{TOC}_{\text{Feststoff}}$ zuzuführen. Die Trocknung der Abfälle auf einen Wassergehalt von ca. 35 % kann entweder durch eine in die Nachrotte integrierte Trocknungsphase mit intensiver Belüftung mit vorgewärmter Luft

oder eine rein technische Trocknung mittels Trommel- oder Bandtrockner erfolgen. Zur Senkung des Heizwertes sowie des $\text{TOC}_{\text{Feststoff}}$ ist ggf. eine weitergehende Abscheidung heizwertreicher Komponenten durch z.B. Windsichtung erforderlich.

Gemäß der dargestellten Massenbilanz gelangen 31 - 33 % der angelieferten Abfälle zur Deponierung und 39 - 42 % zur energetischen Verwertung bzw. thermischen Behandlung.

5 ZUSAMMENFASSUNG

Die Arbeitsgemeinschaft IGW/LWI wurde von der KOGAS GmbH beauftragt, die wissenschaftlich-technische Begleitung eines Versuches zur Vergärung und Nachrotte von Restmüll auf dem Gelände der MBA Kufstein/Tirol durchzuführen.

Ziel der Untersuchung war die Überprüfung und Optimierung des Vergärungs- und Nachrotteprozesses sowie der Materialaufbereitung und Konfektionierung im Hinblick auf die Minimierung von Stoffflüssen in die energetische Verwertung bzw. thermische Behandlung. Leistungsdaten der Verfahren sollten als Planungsgrundlagen bereitgestellt und vor dem Hintergrund der aktuellen rechtlichen Rahmenbedingungen bewertet werden.

Zur Ermittlung der relevanten Daten wurden Versuchsdurchgänge mit unterschiedlichen Korngrößen als Fermenter-Inputmaterial ($< 15 \text{ mm}$ und $< 50 \text{ mm}$) und Fermenteraufenthaltszeiten (11 und 21 Tage) gefahren. Mit den jeweiligen Gärrückständen erfolgten Nachrotteversuche mit unterschiedlichen Belüftungsintensitäten.

Vergärung

In der Vergärungsanlage konnten sowohl mit der Fraktion $< 15 \text{ mm}$ (Versuch 1) als auch mit der Abfallmischung $< 50 \text{ mm}$ (Versuch 2) stabile Verhältnisse mit einer durchschnittlichen Biogasproduktion von 80 - 110 Nm^3/Mg Fermenter-Input erreicht werden. Die technische Funktionsfähigkeit der Anlage konnte bestätigt werden.

Ablagerungs-Parameter

Die für die Deponierung relevanten Stabilitätskriterien Atmungsaktivität (AT_4), Gasbildung (GB_{21}) und $\text{TOC}_{\text{Eluat}}$ konnten durch 10 Tage Vergärung und 4 Wochen Nachrotte mit Belüftung und Umsetzen sicher eingehalten werden. Die stärker belüfteten Varianten erreichten eine geringfügige höhere TS-Reduktion, die jedoch nicht zu einem signifikanten Vorteil bei der Stabilisierung führte.

Im Hinblick auf die Parameter oberer Heizwert H_0 und $\text{TOC}_{\text{Feststoff}}$, die als Maß für die Abscheidung heizwertreicher Substanzen herangezogen werden, sind die Bedingungen in

Deutschland und Österreich unterschiedlich zu bewerten. In Deutschland kann die Ablagerungsgenehmigung über den „weicheren“ Alternativparameter $\text{TOC}_{\text{Feststoff}}$ sowie die für das Einhalten der Grenzwerte definierten Rahmenbedingungen (Median und 80 % Perzentil-Wert) deutlich einfacher als in Österreich erreicht werden, wo der H_0 von 6.000 kJ/kg definitiv (als arithmetisches Mittel) eingehalten werden muss. Vor diesem Hintergrund ist die mechanische Aufbereitung insbesondere im Hinblick auf die Wahl des Siebschnittes zur Abscheidung heizwertreicher Substanzen sowie die weitergehende Abscheidung heizwertreicher Substanzen durch z.B. Windsichtung in Deutschland und Österreich ggf. unterschiedlich zu gestalten.

In der Schweiz ist die Deponierung von Siedlungsabfällen und Klärschlamm gemäß der Technischen Verordnung über Abfälle (TVO) vom 10.12.1990 grundsätzlich verboten (Artikel 32) und in Artikel 11 die Verbrennung vorgeschrieben. Auf Reststoffdeponien dürfen in der Schweiz nur Stoffe abgelagert werden, die u.a. einen $\text{TOC}_{\text{Feststoff}}$ unter 5 % der TS aufweisen. MBA-Endrottekonzepte sind vor diesem Hintergrund derzeit in der Schweiz nicht genehmigungsfähig.

Abluftemissionen

Der Gärrückstand lag bereits zu Beginn der Nachrotte unterhalb des geforderten Mindest-Stabilisierungsgrades für den Betrieb einer offenen Nachrotte (AT_4 von 20 mg O_2/g TS). In Deutschland könnte die Genehmigungsbehörde demnach eine ausschließlich offen betriebene Nachrotte ohne Abluffassung und –behandlung im Grundsatz zulassen, während in Österreich zusätzlich eine Mindestbehandlungsdauer im geschlossenen System von mindestens 4 Wochen gefordert wird. Bei 2 Wochen Vergärung wäre eine geschlossene Nachrotte demnach mindestens für 2 Wochen erforderlich. Aufgrund der in den ersten Tagen der Nachrotte auftretenden erheblichen Geruchs- und TOC-Emissionen, scheint eine offene Nachrotte frisch abgepresster Gärrückstände jedoch kaum vertretbar.

Die TOC-Grenzwerte für Fracht und Konzentration wurden in den ersten 2 - 3 Rottewochen z.T. deutlich überschritten. Im weiteren Rotteverlauf lagen die TOC-Konzentrationen deutlich unterhalb des Grenzwertes von 20 mg/ Nm^3 .

Vor diesem Hintergrund ist eine Abluftbehandlung zumindest für die ersten 2 - 3 Rottewochen aller Voraussicht nach notwendig. Zur sicheren Einhaltung der TOC-Grenzwerte sind zumindest für Teilströme der Abluft thermische bzw. thermisch-regenerative Verfahren zur Abluftbehandlung erforderlich.

Gesamtkonzeption

Die Gesamtkonzeption der Restabfallbehandlung nach dem Verfahren der KOGAS GmbH besteht aus den nachfolgenden aufgeführten Verfahrensstufen:

- ◆ mechanische Aufbereitung mit Zerkleinerung und Abtrennung eines heizwertreichen Stoffstroms für die energetische Verwertung;
- ◆ 2 Wochen einstufig-trockene Vergärung (thermophil);
- ◆ 2 - 3 Wochen geschlossene Nachrotte mit Abluffassung und –behandlung und ggf. 2 - 4 Wochen offene Nachrotte ohne Belüftung sowie
- ◆ abschließende Konfektionierung vor der Deponierung.

Stoffstromaufteilung

Bei der beschriebenen Gesamtkonzeption gelangen ca. 32 % der angelieferten Abfälle zur Deponierung und ca. 40 % zur energetischen Verwertung bzw. thermischen Behandlung.

6 LITERATUR

FRICKE, K. und W. MÜLLER (1999): Stabilisierung von Restmüll durch mechanisch-biologische Behandlung und Auswirkungen auf die Deponierung; Endbericht zum BMBF-Verbundvorhaben „Mechanisch-biologische Behandlung von zu deponierenden Abfällen“, (<http://www.igw-witzenhausen.de>)

ATV 2001

Prof. Dr. Klaus Fricke
TU Braunschweig, Leichtweiß-Institut für Wasserbau,
Abt. Abfallwirtschaft
Beethovenstraße 51 a
D-38106 Braunschweig
Klaus.Fricke@tu-bs.de

René Leisner
KOGAS AG
Sonnenhügelstraße 3
CH-9240 Uzwil
leisner@kogas.ch

Dr. Rainer Wallmann
Ingenieurgesellschaft Witzenhausen, Fricke & Turk GmbH
Bisshäuser Aue 12
D-37213 Witzenhausen
r.wallmann@igw-witzenhausen.de