



INSTITUT FÜR SIEDLUNGSWASSERWIRTSCHAFT UND ABFALLTECHNIK
UNIVERSITÄT HANNOVER
Fachgebiet Abfallwirtschaft
Prof. Dr.-Ing. habil. H. Doedens

Haase Energietechnik AG

BMBF-Verbundvorhaben

Erprobung einer nichtkatalytischen thermischen Oxidation zur Behandlung von Abluft aus der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung

Teilvorhaben 1:

Verfahrenstechnische Überprüfung der Anlagenkonzeption
Förderkennzeichen: 0330240

Teilvorhaben 2:

Untersuchungen zur Führung des Abluftmanagements
Förderkennzeichen: 03361257

Abschlussbericht

Projektleiter (ISAH)

Prof. Dr.-Ing. habil. H. Doedens

Bearbeiter (ISAH)

Dipl.-Ing. Dipl.-Chem.
J. Stockinger

Projektleiter (Haase)

Dr. R. Kahn

Bearbeiter (Haase)

Dipl.-Ing. (FH) B. Eng. (Hons)
J. Glüsing

Unter Mitarbeit von:

Dr. C. Cuhls, Dr. J. Clemens
(GEWITRA, Ingenieurgesellschaft für Wissenstransfer, Bonn)

Dr. J. Suhlmann, D. Bendick
(Niedersächsisches Landesamt für Ökologie, Hannover)

Dipl.- Geogr. M. Kühle-Weidemeier, Dipl.-Ing. U. Langer
(Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik der Universität Hannover)

Inhaltsverzeichnis



1	Einleitung	1-1
1.1	Allgemeines zum Thema	1-1
1.2	Kenntnisstand bzgl. Abluft aus MBA vor 2001	1-1
1.3	30. Bundesimmissionsschutzverordnung (30. BImSchV)	1-4
1.4	Österreichische Richtlinie für die mechanisch-biologische Behandlung von Abfällen	1-5
1.5	TA Luft ⁰² (Neufassung vom 24. Juli 2002)	1-6
1.6	Anlagenkonzepte zur regenerativen thermischen Oxidation	1-8
	1.6.1 Allgemeines	1-8
	1.6.2 Regenerativ thermische Oxidation mit Brennkammer	1-8
	1.6.3 Regenerativ thermische Oxidation ohne Brennkammer	1-10
1.7	Literaturübersicht ab 2001	1-11
2	Aufgaben und Anlagenbeschreibung	2-1
2.1	Anlass / Hintergrund	2-1
2.2	Auftraggeber und Beteiligte	2-1
2.3	Versuchsumfang und Ziele des Vorhabens	2-3
2.4	Anlagen und -standorte	2-4
	2.4.1 Anlagen- und Funktionsbeschreibung VocsiBox [®] (Verfasser: Haase Energietechnik AG)	2-4
	2.4.1.1 VocsiBox [®]	2-4
	2.4.1.2 Puffertank zur Unterdrückung von Emissionsspitzen bei der Haase-VocsiBox [®]	2-5
	2.4.2 Messstellen an der VocsiBox [®]	2-8
	2.4.3 RABA Bassum	2-9
	2.4.3.1 Konzeption der RABA Bassum	2-10
	2.4.4 Laborrotte	2-14
	2.4.4.1 Allgemeines	2-14
	2.4.4.2 Bezug der Versuche mit der Laborrotte zu den Projektzielen (Allgemeines)	2-14
	2.4.4.3 Prinzip der Laborrotte	2-18
	2.4.5 Containerrotteversuch der AWS Schaumburg (Doedens/Kühle-Weidemeier, 2001)	2-22
	2.4.5.1 Vorbemerkung	2-22

2.4.5.2	Mechanische Behandlung	2-22
2.4.5.3	Biologische Behandlung	2-23
3	Mess- und Analyseverfahren	3-1
3.1	Messtechnik für kontinuierliche Messungen an der VocsiBox [®] und Laborrotte (ISAH)	3-1
3.1.1	Gesamtkohlenstoffanalysator (FID)	3-1
3.1.2	Gasanalyse der Laborrotte (NDIR)	3-1
3.1.3	Messung einzelner Komponenten im Abgasstrom der VocsiBox [®] (FTIR)	3-1
3.2	Allgemeine Emissionsmessungen der Firma TÜV Nord (Hannover)	3-2
3.2.1	Toxische Staubinhaltsstoffe Schwermetalle und PCDD/F	3-2
3.2.2	Sonstige Messkomponenten	3-2
3.3	Keime (Labor für Arbeits- und Umwelthygiene Dr. Missel, Hannover)	3-5
3.3.1	Keimmessungen mit dem Impinger	3-5
3.3.2	Untersuchte Mikroorganismen	3-5
3.3.3	Keimzahlbestimmung	3-6
3.4	Bestimmung der Geruchsemissionen	3-6
3.4.1	Allgemeines	3-6
3.4.2	Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration durch Olfaktometrie	3-7
3.4.3	Geruchsintensität	3-8
3.4.4	Hedonik	3-8
3.4.5	Elektronische Nasen	3-8
3.4.6	Problembereiche der Geruchsmessung	3-9
3.4.6.1	Verfahren zur Geruchsminderung und –beseitigung: (Hübner, 1996)	3-9
3.4.7	Firma ERGO	3-10
3.4.7.1	Bestimmung der Geruchsemissionen	3-10
3.4.8	Firma Öko-Control	3-13
3.4.8.1	Ermittlung der Abgasrandbedingungen	3-13
3.4.8.2	Geruchsemissionen	3-13
3.4.8.3	Beschreibung des Probandenkollektives	3-15
3.4.8.4	Beurteilung der Proben	3-18
3.4.8.5	Anzahl der Messreihen	3-18
3.4.8.6	Darbietungszeiten	3-18
3.4.8.7	Pausenzeiten des Probandenkollektives	3-18
3.4.9	Firma TÜV Nord (Hannover)	3-18
3.4.9.1	Geruchsemissionen	3-18
3.4.9.2	Mess- und Analyseverfahren, Geräte	3-19
3.4.9.3	Beschreibung des Probandenkollektives	3-20

3.4.9.4	Beurteilung der Proben	3-21
3.4.10	Firma TÜV Nord (Hamburg)	3-21
3.4.10.1	Ermittlung der Abgasrandbedingungen	3-21
3.4.10.2	Geruchsemissionen	3-21
3.4.10.3	Probandenkollektiv	3-22
3.4.10.4	Beurteilung der Proben	3-23
3.4.10.5	Anzahl der Messreihen	3-23
3.4.10.6	Darbietungszeiten	3-23
3.4.10.7	Pausenzeiten des Probandenkollektivs	3-23
3.5	Diskontinuierliche Bestimmung der Stickstoff- und Kohlenstoffkomponenten (Gewitra GmbH)	3-23
3.5.1	Untersuchte Abgasparameter im Roh- bzw. Reingas	3-23
3.5.2	Ammoniak und Gesamtstickstoff (diskontinuierlich)	3-23
3.5.3	Kontinuierliche Bestimmung der Ammoniak-Konzentrationen	3-24
3.5.4	Bestimmung der N ₂ O- und CH ₄ -Konzentrationen (diskontinuierlich)	3-24
3.5.5	Kontinuierliche Bestimmung der N ₂ O-Konzentrationen	3-24
3.5.6	Bestimmung der Stickstoffmonoxid- und Stickstoffdioxid-Konzentrationen	3-25
3.5.7	Kontinuierliche Bestimmung der Kohlenmonoxid-Konzentrationen	3-25
3.5.8	Bestimmung der Konzentrationen von Schwefelwasserstoff und Schwefeldioxid	3-25
4	Ergebnisse und Diskussion	4-1
4.1	Gesamt-C _{org.} - und N ₂ O-Messungen gemäß 30. BImSchV	4-1
4.1.1	Versuchsplanung	4-1
4.1.2	Ermittelte Gesamtkohlenstoffkonzentrationen und –frachten	4-2
4.1.2.1	Vorbemerkung	4-2
4.1.2.2	Variante Propangas-3 Belüftungsfelder	4-2
4.1.2.3	Variante Propangas-3 Belüftungsfelder-Gesamt-C _{org.} -Erhöhung	4-4
4.1.2.4	Variante Propangas-5 Belüftungsfelder	4-6
4.1.2.5	Variante Biogas	4-8
4.1.3	Ermittelte Lachgaskonzentrationen und –frachten	4-8
4.1.4	Zusammenfassung der Gesamt-C _{org.} - und N ₂ O-Messungen	4-9
4.2	Geruchsmessungen	4-12
4.2.1	Ergebnisse des Vorhabens	4-12
4.2.2	Zusammenfassung der Geruchsmessungen und Empfehlungen	4-22
4.3	Messung der Stickoxid-, Lachgas-, Schwefelwasserstoff- und Schwefeldioxidemissionen der RABA Bassum (Verfasser: GEWITRA)	4-24
4.3.1	Einleitung und Aufgabenstellung	4-24
4.3.2	Probenahmestellen	4-24

4.3.3	Ergebnisse	4-24
4.3.3.1	Dosierung von NH ₃ in Umgebungsluft bei Propanbetrieb der VocsiBox [®]	4-25
4.3.3.2	Dosierung von NH ₃ in Rohgas der RABA bei Propanbetrieb der VocsiBox [®]	4-26
4.3.3.3	Dosierung von NH ₃ in Rohgas der RABA bei Biogasbetrieb der VocsiBox [®]	4-28
4.3.3.4	Dosierung von NH ₃ in Umgebungsluft bei Biogasbetrieb der VocsiBox [®]	4-30
4.3.3.5	Dosierung von H ₂ S in Rohgas der RABA bei Propanbetrieb der VocsiBox [®]	4-31
4.3.3.6	Dosierung von H ₂ S in Rohgas der RABA bei Biogasbetrieb der VocsiBox [®]	4-32
4.3.3.7	Dosierung von NH ₃ und H ₂ S in Rohgas der RABA bei Propanbetrieb der VocsiBox [®]	4-34
4.3.3.8	Dosierung von H ₂ S und NH ₃ in Rohgas der RABA bei Biogasbetrieb der VocsiBox [®]	4-35
4.3.3.9	Dosierung von H ₂ S und NH ₃ in Umgebungsluft bei Propanbetrieb der VocsiBox [®]	4-36
4.3.4	Zusammenfassung der Dosierversuche	4-37
4.4	Sonstige Abluftinhaltsstoffe	4-39
4.4.1	Allgemeines	4-39
4.4.2	Staub und gasförmige anorganische Abluftinhaltsstoffe	4-39
4.4.3	Metalle	4-40
4.4.4	BTXE und Aldehyde/Ketone	4-43
4.4.5	Dioxin-/Furanbestimmung	4-44
4.4.6	Keime	4-46
4.4.7	Siloxanbestimmung	4-47
4.5	Laborrotte	4-48
4.5.1	Rahmenbedingungen	4-48
4.5.1.1	Versuchsablauf	4-48
4.5.1.2	Untersuchtes Material	4-49
4.5.2	Durchgeführte Versuche	4-50
4.5.2.1	Berechnungsgrundlage für die Abbaugrade von Feucht- und Trockensubstanz	4-50
4.5.2.2	Versuchsreihe 1	4-50
4.5.2.3	Versuchsreihe 2	4-52
4.5.2.4	Versuchsreihe 3	4-54
4.5.2.5	Einzelversuch	4-56
4.5.3	Ergebnisse und Auswertung	4-58
4.5.3.1	Grundlagen der AT ₄ -Bewertung	4-58
4.5.3.2	Abbauleistung Laborrotte	4-58

4.5.3.3	Abbaubeiwerte der Versuche	4-59
4.5.3.4	Methanbildung	4-64
4.5.4	Aussagen auf der Basis der Laborergebnisse	4-65
4.6	Großtechnische Containerrotte (Schaumburg)	4-67
4.6.1	Rotteversuch Schaumburg: 13 Vol.-% Sauerstoff in der Abluft	4-67
4.6.2	Rotteversuch Schaumburg: 16 Vol.-% Sauerstoff in der Abluft	4-71
4.6.3	Organische Kohlenstoffemission im Rotteabgas	4-74
4.6.3.1	Vorbemerkung	4-74
4.6.3.2	Gesamtkohlenstoff- und Methanmessungen im Rohgas der Containerrotte	4-76
4.6.4	Lachgas-, Ammoniak- und Siloxanmessungen im Rohgas	4-80
4.6.5	Zusammenfassung der Emissionsmessergebnisse bei der Containerrotte Schaumburg	4-83
4.7	Projektteil Haase Energietechnik (Verfasser: Haase Energietechnik AG)	4-84
4.7.1	Umsetzung der Projektziele für das BMBF-Teilvorhaben 1: Verfahrenstechnische Überprüfung der Anlagenkonzeption	4-84
4.7.2	Kostenbetrachtung	4-86
4.7.2.1	MBA-Abluftbehandlung	4-86
4.7.2.2	Kostenübersicht	4-89
5	Fazit und Empfehlungen	5-1
5.1	Zusammenfassung	5-1
5.2	Emissionsmessungen	5-1
5.2.1	Wesentliche Erkenntnisse	5-1
5.2.2	Handlungs-/Forschungsbedarf	5-4
5.3	Groß- und labortechnische Rotteversuche	5-5
5.3.1	Wesentliche Erkenntnisse	5-5
5.3.2	Empfehlung für die Rottesteuerung und Rottekonzepte	5-6
5.4	Auswirkungen auf MBA-Konzepte	5-6
6	Literaturverzeichnis	6-1
7	Anhang	7-1
7.1	Anhang – Ergebnisse der Laborrotteversuche	7-1
7.1.1	AT ₄ -Verläufe	7-1
7.1.2	Standardabweichung der Analyseergebnisse	7-7
7.1.3	Methanbildung	7-9

Abkürzungsverzeichnis

<u>Symbol</u>	<u>Bedeutung</u>
a	Jahr
AbfAbIV	Abfallablagerungsverordnung
AOX	Adsorbierbare organisch gebundene Halogene
AWG	Abfallwirtschaftsgesellschaft
AWS	Abfallwirtschaftsgesellschaft des Landkreises Schaumburg
Bh	Betriebsstunden
BHKW	Blockheizkraftwerk
BImSchG	Bundesimmissionsschutzgesetz
BImSchV	Bundesimmissionsschutzverordnung
BMLFUW	Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (Österreich)
BMU	Bundesumweltministerium
BTXE	Kurzbezeichnung für Benzol, Toluol, Xylol und Ethylbenzol
CH ₄	Chemische Formel für Methan
CKW	Chlorierte Kohlenwasserstoffe
CO	Chemische Formel für Kohlenmonoxid
CO ₂	Chemische Formel für Kohlendioxid
Fa.	Firma
F/CKW	Fluorierte und chlorierte Kohlenwasserstoffe
Fe	Chemisches Zeichen für Eisen
FID	Flammenionisationsdetektor
g	Gramm
GE	Geruchseinheit
Ges.-C _{org.}	Summe organischer Kohlenstoffkomponenten
Gesamt-C _{org.}	Summe organischer Kohlenstoffkomponenten
GV ₀	Glühverlust (Versuchsbeginn)
GV _e	Glühverlust (Versuchsende)
h	Stunde
HCl	Chemische Formel für Chlorwasserstoff
HCN	Chemische Formel für Cyanwasserstoff
HF	Chemische Formel für Fluorwasserstoff
H ₂ S	Chemische Formel für Schwefelwasserstoff

hwr	heizwertreich
i.w.	im wesentlichen
kg	Kilogramm
LARA	Luft-Aufbereitungs- und Reinigungs-Anlage
m ³	Kubikmeter
MBA	Mechanisch-biologische Abfallbehandlungsanlage
MBV	Mechanisch-biologische Vorbehandlungsanlage
mg	Milligramm
Mg	Mega-Gramm (entspricht Tonne)
Mg _{Abfall}	Mega-Gramm (entspricht Tonne) Abfall
Mg _{MBA-Input}	Mega-Gramm (entspricht Tonne) Abfallinput in die MBA-Anlage
Mg _{Rotte-Input}	Mega-Gramm (entspricht Tonne) Rotteinput
mm	Millimeter
MVA	Müllverbrennungsanlage
ng TE	Nanogramm toxikologische Äquivalente (Äquivalenzfaktoren sind in der entsprechenden BImSchV fixiert)
NH ₃	Chemische Formel für Ammoniak
Nm ³	Normkubikmeter
NMVOG	Non methane volatile organic carbon (Nichtmethan-Kohlenwasserstoffe)
NO	Chemische Formel für Stickstoffmonoxid
N ₂ O	Chemische Formel für Distickstoffmonoxid (Lachgas)
NO ₂	Chemische Formel für Stickstoffdioxid
NO _x	Chemische Formel für Summe aller Stickoxide
PCDD/F	Polychlorierte Dibenzop-dioxine / -furane
RABA	Restabfallbehandlungsanlage
RTO	Regenerative thermische Oxidation
SO ₂	Chemische Formel für Schwefeldioxid
TA Luft ⁰²	Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (vom 24.07.2002)
TA Luft ⁸⁶	Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (vom 27.02.1986)
TASi	Technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen (TA Siedlungsabfall)
TRO	Thermisch-regenerative Oxidation (entspricht RTO)
TS	Trockensubstanz
TÜV	Technischer Überwachungsverein
u.a.	unter anderem

UBA	Umweltbundesamt
VDI	Verband Deutscher Ingenieure
VOC	Volatile organic carbon (flüchtige Kohlenwasserstoffe)
WG ₀	Wassergehalt (Versuchsbeginn)
WG _e	Wassergehalt (Versuchsende)
zzgl.	zuzüglich
µg	Mikrogramm

5 Fazit und Empfehlungen

5.1 Zusammenfassung

Im August 2000 wurde das Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik der Universität Hannover (ISAH) (FKZ 03361257) und die Firma Haase Energietechnik AG (FKZ 0330240) vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (PT Jülich) beauftragt, das vorliegende Forschungsprojekt zu bearbeiten. Zu dieser Zeit lagen bereits die ersten Verordnungsentwürfe zur späteren 30. BImSchV vor. Biofilter, die damals Stand der Technik an MBA waren, können die dort vorgeschriebenen Grenzwerte nicht erreichen. Daher wurde die RTO-Technologie hinsichtlich ihrer Einsetzbarkeit als Abluftbehandlungstechnik an MBA geprüft. Dazu wurde eine VocsiBox[®] der Firma Haase Energietechnik AG für den Einsatz an MBA umgebaut und die Anlagenkonzeption an die spezifischen Emissionsanforderungen angepasst. Diese VocsiBox[®] wurde dann an einen Abluftteilstrom (Mietenbodenabsaugung) der RABA Bassum angebunden und mit zahlreichen Emissionsmessungen begleitet. Neben den in der 30. BImSchV geregelten Emissionsparametern wurden, zur Prüfung, ob von dieser Technologie schädliche Umweltbeeinträchtigungen ausgehen, weitere als möglicherweise emissionsrelevant erachtete Abluftkomponenten (vgl. Kapitel 2.3) von zugelassenen Instituten (§ 26 BImSchG) gemessen.

Parallel zu den Emissionsmessungen wurden im Rohgas unterschiedliche Belastungszustände hinsichtlich verschiedener Abluftinhaltsstoffe eingestellt. Dabei wurde versucht, die Kohlenstoff-, Ammoniak- und Schwefelwasserstoffgehalte zu variieren. Außerdem wurden die Emissionen bei Nutzung unterschiedlicher Stützgasarten zur Aufrechterhaltung der Behandlungstemperaturen (> 800°C) überprüft. Zum Einsatz kam Propangas sowie Biogas, das aus der Teilstromvergärung an der RABA Bassum gewonnen wird.

Neben dieser emissionstechnischen Begleitung der VocsiBox[®] wurden umfangreiche Rotteversuche in einer Laborrotte am ISAH und in einer großtechnischen Tunnelrotte auf dem Gelände der Deponie Sachsenhagen durchgeführt. Vor dem Hintergrund der Frachtbegrenzung für Gesamt-C_{org.} und Lachgas durch die 30. BImSchV sowie aus wirtschaftlichen Gründen wurden die Möglichkeiten zur Reduzierung der Abluftmengen aus der aeroben biologischen Behandlung von Restabfällen ermittelt. Ein weiterer Schwerpunkt bei den Rotteversuchen war die Untersuchung der Rahmenbedingungen, die zur verstärkten Produktion von Methan in der Rotte führen. Damit sollen insbesondere Ansatzpunkte zur Minderung des Bedarfs an Stützenergie gefunden werden.

5.2 Emissionsmessungen

5.2.1 Wesentliche Erkenntnisse

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurden drei Versuchsphasen á 3 Wochen zwischen März 2001 und August 2001 sowie ein ergänzender NH₃- und H₂S-Dosiersversuch im Dezember 2001, der von Geruchsmessungen begleitet wurde, durchgeführt. Hierbei sollte die Reinigungsleistung einer regenerativ-thermischen Oxidation (VocsiBox[®] der Fa. Haase-Energietechnik) für die Abgasreinigung bei MBA in unterschiedlichen Betriebs- (Propangas-/Biogasstützfeuerung) und Belastungszuständen (niedrige, mittlere und hohe Rohgasgehalte) getestet werden.

Die Kohlenstoffrohgasgehalte variierten in den Versuchsphasen zwischen 20 mg/m^3 und 164 mg/m^3 . Eine Erhöhung der Kohlenstoffrohgasgehalte auf Werte, wie sie u.a. bei den Versuchen mit einem Rottetunnel in Schaumburg gemessen wurden ($> 500 \text{ mg/m}^3$), konnte nicht erreicht werden, weil die Eingriffsmöglichkeiten in die Prozesssteuerung der RABA Bassum . begrenzt waren. Die Abluftreinigung mittels VocsiBox[®] erbrachte in optimalem Betrieb Minderungsgrade für organischen Kohlenstoff von $> 99 \%$. Die Gesamt-C_{org.}-Reingasgehalte lagen im Regelbetrieb $< 6 \text{ mg/m}^3$. Infolge der hohen Luftmengen (80.000 m^3), die in Bassum zur Aufrechterhaltung des biologischen Abbaus der Abfälle benötigt werden, wurde an 3 von 68 Tagen der Frachtgrenzwert der 30. BImSchV von $55 \text{ g/Mg}_{\text{MBA-INPUT}}$ überschritten. Die Abluftmengen aus Anlieferung und Mechanik wurden nicht mitbehandelt, da für diesen Bereich keine Absaugung existiert.

Der Lachgasfrachtgrenzwert von 100 g/Mg wurde bei einer von 15 diskontinuierlichen Messungen überschritten. Die Dosierversuche mit Ammoniak und die parallel erfolgten Roh- und Reingasmessungen von Ammoniak und den Stickoxiden NO, N₂O und NO₂ haben deutlich gezeigt, dass Lachgas durch eine RTO i.d.R. nicht abgebaut werden kann. Somit werden Grenzwertüberschreitungen immer dann zu erwarten sein, wenn Lachgas in der Rotte entsteht und dadurch bereits die Rohgasgehalte erhöht sind, und / oder wenn Lachgas infolge hoher Ammoniakrohgasgehalte in der Rohluft durch Oxidationsprozesse gebildet wird. Bis zu 16% des im Rohgas vorhandenen Ammoniakstickstoffs wurden in den Versuchen zu Lachgasstickstoff umgesetzt. In einem Fall wurde auch eine Lachgasminderung festgestellt.

Die Dosierversuche mit Ammoniak zeigten, dass Ammoniak zum großen Teil in NO und NO₂ umgewandelt wird. Die Mengenverhältnisse dieser Stickoxide variierten abhängig von der Oxidationstemperatur und zusätzlichen C-Quellen, die die Oxidation zu Stickstoffdioxid fördern. Bei der Umsetzung in der VocsiBox[®] wurde in einem Dosierversuch (07.05.01: Dosierung in RABA-Abluft/Stützgas: Biogas) ein Abbau von Lachgas von bis zu 41% festgestellt. In den übrigen Versuchen wurde eine Lachgasbildung von bis zu 16% durch die Oxidation von Ammoniakstickstoff gemessen. Ein Ammoniak-schlupf von bis zu 72% wurde bei NH₃-Konzentrationen von $< 50 \text{ mg(NH}_3\text{-N)/m}^3$ festgestellt, bei Konzentrationen $> 50 \text{ mg(NH}_3\text{-N)/m}^3$ war ein Schlupf von $11\text{-}36 \%$ zu messen. Dies bedeutet, dass beispielsweise die österreichische Richtlinie mit einem Ammoniakgrenzwert von 20 mg/m^3 bei Rohgaskonzentrationen zwischen $55\text{-}182 \text{ mg/m}^3$ überschritten sein kann und eine NH₃-Ausschleusung für Anlagen in Österreich notwendig ist. Aus Gründen des Umweltschutzes und zur Minderung des Eutrophierungspotentials, das von MBA-Anlagen mit Ammoniakrohgasgehalten über 80 mg/m^3 (in Anlehnung an den Emissionswert der TA Luft⁰²: 30 mg/m^3) ausgeht, ist auch in Deutschland eine saure Wäsche bei Anlagen mit entsprechend hohen Ammoniakgehalten empfehlenswert.

Schwefelwasserstoff, der ebenfalls ins Rohgas zudosiert wurde, wandelt sich größtenteils zu SO₂ um. Bei geringen Rohgasgehalten dieser Substanz ($< 6 \text{ mg(H}_2\text{S-S)/m}^3$) wurde ein relativer Schlupf von 24% , bei höheren Gehalten ein Schlupf von $0\text{-}8 \%$ festgestellt.

An 13 Tagen wurde der Metallgehalt im Roh- und Reingas bestimmt. Mit einer Ausnahme lagen alle Werte (z.T. deutlich) unter den Emissionswerten der TA Luft⁰². An einem der 13 Messstermine lagen die Analysenwerte für Quecksilber mit $0,084 \text{ mg/m}^3$ und $0,076 \text{ mg/m}^3$ über dem TA Luft⁰²-Emissionswert von $0,05 \text{ mg/m}^3$.

Die Analysen der Substanzgruppen BTXE und Aldehyde zeigten im Reingas bei Propangasbetrieb der VocsiBox[®] niedrigere Werte als bei Biogasbetrieb. Da die spätere Prüfung der Betriebsbedingungen der VocsiBox[®] auf einen instabilen Zustand der RTO hinweisen, kann dieser Befund nicht auf das Stützgas (Biogas) zurückgeführt werden.

Dioxine und Furane wurden an 6 Tagen im Rein- und Rohgas bestimmt. Dabei ergaben 4 Reingasmesswerte $0,001 \text{ ng/m}^3$, ein Reingasmesswert lag bei $0,008 \text{ ng/m}^3$ und ein Reingasmesswert wurde mit $0,067 \text{ ng/m}^3$ angegeben. Alle Werte liegen unterhalb des Grenzwertes von $0,1 \text{ ng/m}^3$.

Keimgehalte wurden i.d.R. unterhalb der Nachweisgrenze gefunden. Ein einzelner Wert einer Dreifachbestimmung lag bei 1.200 KBE/m^3 . Die Ursache für die Keimbefunde wird in einer Reinfektion (Keime der Umgebung) der feuchten und warmen Abgasleitung vermutet.

Eine Verblockungsgefahr, die von Siloxanen ausgehen kann, ist auf der Basis der gemessenen Rohgasgehalte der RABA Bassum für Siloxane kaum zu erwarten. Auch bei den Messungen während der Schaumburger Versuche wurden noch keine Siloxanwerte gefunden, die zu deutlichen Standzeitverkürzungen führen können. Allerdings müssen Siloxanbelastungen des Rohgases für jede MBA und deren Rahmenbedingungen (Abfallzusammensetzung) gemessen werden, da die hier ermittelten Werte nur für die entsprechende Anlage und den entsprechenden Zeitpunkt repräsentativ sind. Allerdings müssen die Siloxankonzentrationen auch immer in Verbindung mit den Volumenströmen betrachtet werden, da letztlich die absolute Fracht die Standzeit negativ beeinflusst. Bedenkt man nun, dass bei erheblich reduzierten Luftmengen aus MBA die Auslegung der RTO-Aggregate entsprechend kleiner erfolgt, kann bei gleicher Fracht die Standzeit einer für kleinere Volumenströme ausgelegten RTO und vergleichbarer Ausführung der Wärmespeicherkörper geringer sein.

Die Staubmessungen ergaben Emissionswerte deutlich unter 1 mg/m^3 . Die zeitgleich gemessenen gasförmigen anorganischen Abgasinhaltsstoffe sind deutlich unter den Emissionswerten der TA Luft⁰².

Bei ersten Geruchsmessungen im Reingas der VocsiBox[®] konnte der Grenzwert von 500 GE/m^3 nicht eingehalten werden. Erst das Vorschalten eines sauren Wäschers erbrachte Geruchsmesswerte $< 500 \text{ GE/m}^3$. Die in einer Versuchsphase im Dezember 2001 messenden 4 Institute, die für solche Messungen nach § 26 BImSchG zugelassen waren, erzielten bei identisch entnommenen Proben und VDI-konformer Messprozedur keine vergleichbaren Ergebnisse. Eine Korrelation zwischen den Ergebnissen vergleichbarer Proben konnte lediglich bei zwei Instituten mit gleichem Olfaktometer (TO 6) gefunden werden. Dies bestätigte sich auch beim Vergleich der Messwerte des ISAH mit denen eines Institutes, das ein Olfaktometer gleicher Baureihe (TO 7) eingesetzt hat. Die Geruchsemissionen, die im Dezember ermittelt wurden, wurden bei unterschiedlichen Rohgasbelastungszuständen (NH_3 bis $> 300 \text{ mg/m}^3$, H_2S bis $> 10 \text{ mg/m}^3$) bestimmt. Dabei wurden im Reingas 85 Messwerte $< 500 \text{ GE/m}^3$, 4 Messwerte zwischen 500 GE/m^3 und 650 GE/m^3 sowie 10 Messwerte über 900 GE/m^3 ermittelt. Bei den Versuchen konnte der Geruchsgrenzwert von 500 GE/m^3 nur bei Einsatz eines sauren Wäschers zur NH_3 -Abscheidung eingehalten werden.

Die grenzwertrelevanten Messdaten sind nochmals zusammenfassend in Tabelle 5-1 aufgeführt.

Tabelle 5-1: Messergebnisse und Bewertung hinsichtlich der verordnungsrelevanten Messparameter (Bereich biologische Behandlung, Rotte)

Komponente	30. BImSchV	Bewertung der bisherigen Versuchsergebnisse
Staub	TM: 10 mg/m ³ HM: 30 mg/m ³	Die Staubkonzentration liegt bei allen Messwerten auf niedrigem Niveau: << 5 mg/m³
Dioxine	Kein Mittelwert über: 0,1 ng/m ³	Die Abgaskomponenten PCDD/F wurden in sehr geringen Konzentrationen < 0,1 ng/m³ gefunden.
Gesamt-C _{org.}	TM: 20 mg/m ³ HM: 40 mg/m ³ Fracht: 55 g/Mg	Die VocsiBox [®] hält im Regelbetrieb dauerhaft ein Konzentrationsniveau von 0-6 mg/m³ und bei normalen Betriebsbedingungen mit spezifischen Abgasvolumina der Rotte der RABA Bassum von ca. 9.000 m ³ /Mg auch den Frachtwert von < 55 g/Mg ein.
Lachgas	Fracht 100 g/Mg	Die berechneten Lachgasfrachten (ermittelt mit Luftmengen der Rottehalle) liegen mit einer Ausnahme unterhalb der gesetzlich geforderten Grenze: Hohe Rohgasgehalte an Lachgas und/oder Ammoniak müssen vermieden werden!
Geruch	Alle Messwerte ≤ 500 GE/m ³	Problematisch erscheint die starre Grenzwertfestlegung "kein Wert über 500 GE/m ³ ".
Sonstige Abgaskomponenten	Nach 30. BImSchV nicht festgelegt	Die Analysenwerte, mit Ausnahme sehr weniger Einzelmessungen, liegen innerhalb der Emissionswerte der TA Luft ⁰² (relevant u.a. für Kompostwerke).

5.2.2 Handlungs-/Forschungsbedarf

Gesamtkohlenstoff und Stickstoffkomponenten Lachgas/Ammoniak

Die vorgestellten Daten stellen Emissionsdaten ausschließlich aus den Bereichen des biologischen Abbaus von Abfällen mit Rotte nach Teilstromvergärung (RABA Bassum) und Intensivrotte in Versuchs-Rottecontainern (Schaumburg) dar. Die Emissionsbeiträge anderer Anlagenteile, wie beispielsweise die Anlieferung und Mechanik einer MBA, sind bisher nur an wenigen Anlagen gemessen worden (Wallmann et al., 2002; Loidl, 2002).

Im Hinblick auf den Lachgasgrenzwert ist in erster Linie die Entstehung beim Abbauprozess der Abfälle zu vermeiden. Ein hohes Potential zur Lachgasbildung haben hierbei Abfallbehandlungsanlagen, die einen Teilstrom der Abfälle vergären und anschließend mit dem anderen Teilstrom aerob behandeln, oder Anlagen, die im Anschluss einer Vollstromvergärung eine Aerobisierungsstufe (aerobe Rotte) besitzen (Wallmann, 2001). Insbesondere an den letzt genannten Anlagen müsste der Entstehungsprozess von Lachgas näher untersucht und Prozessbedingungen entwickelt werden, die gewährleisten, dass die Lachgasbildung weitgehend unterdrückt wird. Die in einem Dosierversuch festgestellte Reduzierung der Lachgasmenge durch die VocsiBox[®] weist auf ein mögliches Minderungspotential für Lachgas hin. Die Rahmenbedingungen für Oxidationsvorgänge, die zu Lachgasminderungen führen, sollten der Focus weiterer Forschung sein. Ebenfalls nachteilig bei den Anlagen mit Teil- oder Vollstromvergärung ist die Emission hoher Ammoniakgehalte. Diese werden zu Teilen zu Lachgas umgesetzt und tragen somit zur Lachgasfracht bei. Eine saure Wäsche ist der geeignete Weg, die durch Ammoniak

erhöhten Emissionsfrachten zu reduzieren. Auch u.a. für Anlagen zur Trocknung von Abfällen (z.B. Klärschlamm) kann eine saure Wäsche gegebenenfalls notwendig sein, da Ammoniak in der TA Luft⁰² begrenzt wird.

Die Einhaltung der Frachtgrenzen wird in großem Maß von den zu behandelnden Luftmengen bestimmt. Die Reduzierungspotentiale hierbei werden im anschließenden Kapitel und die damit zusammenhängenden Anlagenkonzepte am Ende dieses Kapitels besprochen.

Geruch

Vor dem Hintergrund der Grenzwertfestlegung der 30. BImSchV – Gleiches gilt auch für die TA Luft⁰²- (kein gemessener Wert darf über 500 GE/m³ liegen) ist eine Variabilität des Meßsystems "Olfaktometrie", wie sie bei diesen Untersuchungen gefunden wurde, für Betreiber von MBA sowie als Gewährleistungswert für den Anlagenbau nicht akzeptabel. Ohne eine differenziertere Angabe von Geruchsstoffgrenzwerten in gesetzlichen Vorgaben wird eine "Selektion der Messinstitute nach dem Kriterium der Sensibilität der Probanden für derartige Fragestellungen" einsetzen. Da dies nicht im Sinne einer Verordnung wie der 30. BImSchV sein kann, sollte von Seiten des Ordnungsgebers eine Überarbeitung oder zumindest eine Erweiterung solcher Verordnungen vorgenommen werden bezüglich folgender Aspekte:

- Festlegung weiterer Rahmenbedingungen für die Durchführung von Geruchsmessungen, wie beispielsweise (grundlegende Untersuchungen) eine spezifizierte Messvorschrift;
- Vorgabe einer zusätzlichen, auf die Besonderheiten von Abgas aus MBA-Abluftbehandlungsanlagen angepassten Prüfsubstanz (neben H₂S und n-Butanol) sowie eines Meßsystems;
- Zulassung einer noch festzulegenden statistischen Streuung der Messwerte anstelle der starren Regelung "kein Messwert";
- Festlegung eines der Geruchswahrnehmung entsprechenden Grenzwertes auf der Basis einer logarithmischen Skalierung (in "dB" vergleichbar der Lärmmessung).

5.3 Groß- und labortechnische Rotteversuche

5.3.1 Wesentliche Erkenntnisse

Ziel der Laborrotteversuche war die Überprüfung der Einflüsse der Rotteparameter Sauerstoffgehalt, Rottetemperatur und Belüftung auf den Rotteprozess und somit auf die Stabilisierung der Abfälle, um daraus abzuleiten, in welchem Maße eine Reduzierung der spezifischen Luftvolumina für die biologische Behandlung möglich ist. Die Rotteparameter können, unter Berücksichtigung der vorliegenden labor- sowie großtechnischen Versuche, im folgenden Rahmen variiert werden:

- Notwendiger Sauerstoffgehalt im Rohgas für gute Abbauleistungen: > 5 Vol.-%
- Rottetemperaturen: 50-65 °C
Gefahr schlecht kompensierbarer Austrocknung bei > 70 °C

Die Emissionsmessungen der Rotteversuche zeigten darüber hinaus, dass

- Die Gesamt-C_{org.}-Gehalte im Tunnelrottesystemen mit Umluftführung deutlich höher sind (> 500 mg/m³) als bei den Hallenrotteverfahren mit Durchluftbetrieb (RABA: < 150 mg/m³);

- Methan auch unter aeroben Verhältnissen 30-40 % der Gesamtkohlenstoffemissionen ausmachen kann; in einzelnen Rottetagen bis zu 90 % und
- Lachgas in den ersten Rottetagen und u.U. unter suboptimalen Abbaubedingungen (z.B. Vernässung) entsteht.

Aufgrund dieser Ergebnisse können die O₂-Gehalte in der Rotteabluft in erheblichem Maß gesenkt werden können. Somit steht vom Gesichtspunkt des Rotteprozesses einer Luftmengenreduzierung, wie sie sich entsprechend Bild 2-12 in Kapitel 2.4.4.2 durch die Reduktion der Sauerstoffgehalte in der Rotteabluft ergibt und wie sie durch die ebenfalls mögliche Erhöhung der Rotteablufttemperaturen erzielt werden kann, nichts entgegen. Eine weitere Erhöhung der Methangehalte und des Energiegehalts zur vollständigen Substitution des Stützgases kann durch eine Intervallbelüftung erreicht werden, wie sie beispielsweise in der MBA in Zell am See (Angerer, 2001) installiert ist.

5.3.2 Empfehlung für die Rottesteuerung und Rottekonzepte

Die Ergebnisse der Rotteversuche haben die Möglichkeiten, inwieweit man einzelne Rotteparameter verändern kann, und welche Auswirkungen dies auf die Emissionssituation und die Rottestabilisierung hat, deutlich gemacht. Ergänzend sollten für konkrete MBA-Konzepte, wie in Schaumburg geschehen, die örtlichen Rahmenbedingungen (Behandlungsart aerob und/oder anaerob, Abfallzusammensetzung, ...) berücksichtigt werden. Hierbei sollte eine Optimierung der Sauerstoffgehalte im Bereich 10-15 Vol.-% und der Temperaturen zwischen 50-65 °C angestrebt werden. Bei Rottesystemen mit Umluftführung müssen Konzepte für die Nutzung oder Beseitigung der entstehenden Sickerwässer und Kondensate entwickelt werden. Außerdem muss infolge der Aufkonzentrierung von Ammoniak in Umluftsystemen eine Ammoniakabschleusung spätestens vor dem Abluftbehandlungsaggregat installiert werden.

5.4 Auswirkungen auf MBA-Konzepte

Aus den Anforderungen der 30. BImSchV sind als wichtige Konsequenzen für das Abluftmanagement neuer MBA zu nennen:

- In den Bereichen der Abfall-Anlieferung und mechanischen Aufbereitung, wo Luftwechselraten aus Gründen des Arbeitsschutzes die Abgasvolumina bestimmen:
 - Reduzierung der Entlüftungsvolumina durch bauliche Maßnahmen (Kapselung emissionsträchtiger Aggregate) und Anpassung der Luftwechselraten an Betriebs- und Ruhezeiten (Tag / Nacht / Wochenende);
 - Differenzierung in diesen Bereichen nach unterschiedlich belasteten Abgasströmen;
 - Unterschiedliche Behandlung von hoch- und schwachbelasteten Abluft-Teilströmen;
- In der biologischen Behandlung:
 - Reduzierung der spezifischen Abluftvolumina in m³/Mg durch bedarfsminimierte Bemessung der Abgasvolumina (Restsauerstoffgehalte im Rohgas 10 bis 15 % und Rotteablufttemperaturen zwischen 50°C und 65°C) und
 - Nutzung von Abluftvolumina aus Abfallanlieferung und mechanischer Aufbereitung;

- für thermisch behandelte Abgasteilströme:
gezielte Anreicherung von Methan im Abgas der Rotte;
- Ammoniakausschleusung (saure Wäsche);
- Voraussichtlich ist eine konzentrationsdifferenzierte Abgasreinigung über RTO, Aktivkohlefilter und/oder Staubfilter sinnvoll (s. Bild 5-1);

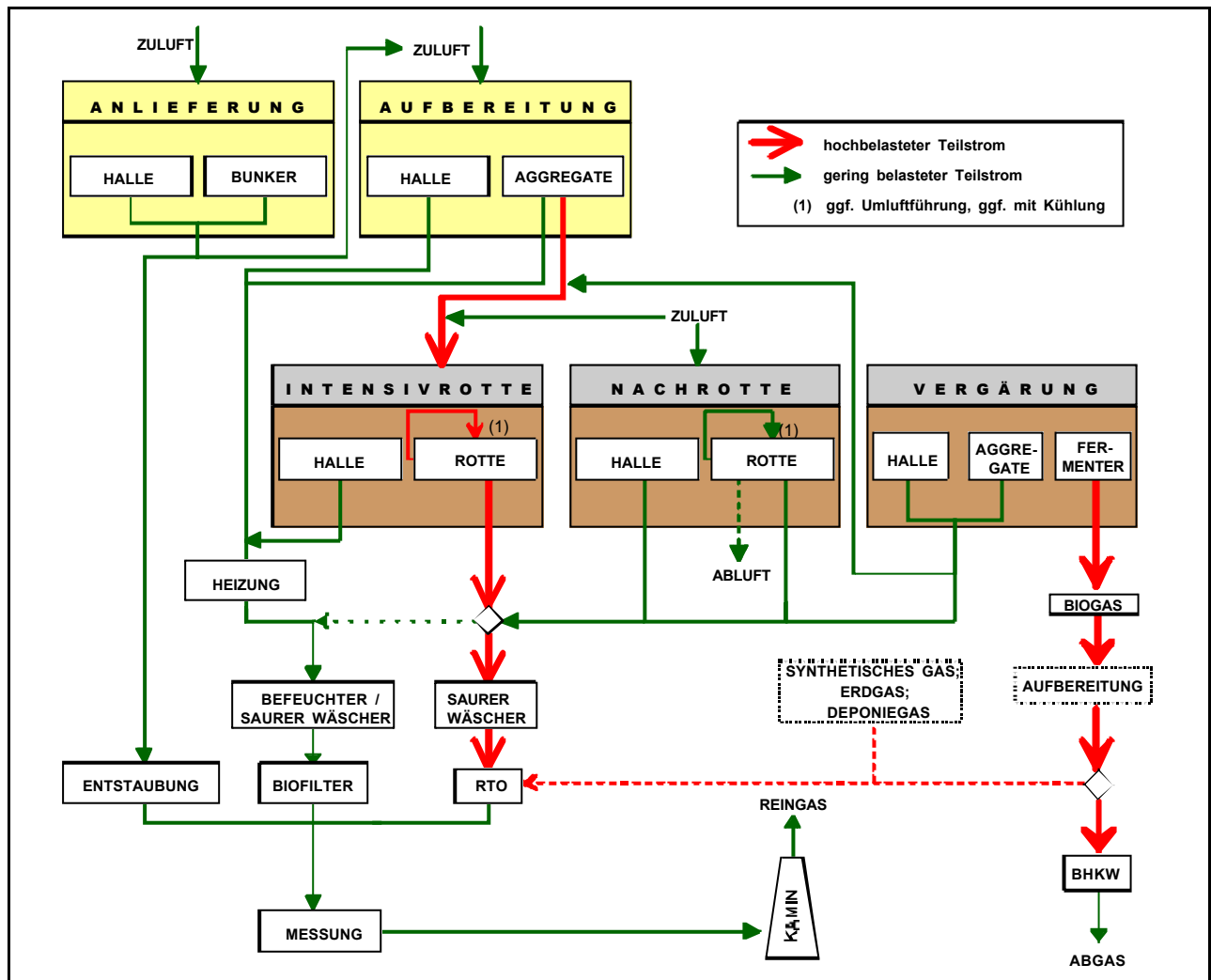


Bild 5-1: Abluft-/Abgasmanagement (verändert nach: Ketelsen et al., 2001; Doedens, 2001; Wallmann et al., 2002)

- für den Einsatz von Biofiltern:
 - Beschränkung auf weitgehend methanfreie Abgasteilströme;
 - ungeeignet für abiotische Kohlenstoffemissionen (z.B. FCKW, etc.);
 - ungeeignet für kalte, trockene Abluftströme mit stark schwankenden Abluftkonzentrationen;
 - ungeeignet für Abluft der Intensivrotte (wegen CH_4 , NH_3)
 - ungeeignet für Abluft aus passiv oder unbelüfteter Nachrotte (wegen CH_4);
 - Eigenemission i.d.R. höher als Reingaskonzentrationen einer RTO und kann Einhaltung der Fracht erschweren oder gar verhindern;
 - Schwer kontrollierbares Abluftreinigungssystem

- Problematisch hinsichtlich Redundanz;
- Ggf. Trennung der biologischen Behandlung in geschlossene/gekapselte Verfahrensteile bis zum Erreichen einer Atmungsaktivität von $AT_4 \leq 20 \text{ mgO}_2/\text{g TS}$ mit Abluffterfassung und -behandlung und in einen offenen Nachrotteteil. Bei reiner Rotte bedeutet dies eine Kapselung der Intensivrotte von ≥ 4 bis 7 Wochen, bei reiner Vergärung eine Nachrotte (Aerobisierung) von ≥ 2 Wochen. Diffuse C_{org} -Emissionsfrachten (überwiegend Methan) aus einer nicht gekapselten Nachrotte können mit einer Rottezeilen-Absaugung wesentlich verringert werden.

Bei der Bewertung unterschiedlicher MBA-Verfahrenskonzepte führen die Anforderungen der 30. BImSchV zu folgenden Aussagen:

- Offene MBA ohne Ablufffassung sind nicht mehr genehmigungsfähig, Altanlagen entsprechend umzurüsten
- Eine weitgehende Reduzierung der Abluftmengen ist aufgrund der Frachtbegrenzung notwendig. Eine darüber hinaus gehende Minderung ist im Hinblick auf die Invest- und Behandlungskosten der notwendigen Abluftbehandlung sinnvoll. Dabei ist eine Gegenüberstellung zum ggf. notwendigen Kühlaufwand erforderlich. Begrenzend für die Abluftvolumenminimierung wirken sich die Anforderungen des Arbeitsschutzes aus.
- Für bestehende MBA mit großen Hallen für Anlieferung, Aufbereitung und Rotte (Tafelmietensysteme) ist die Einhaltung der Grenzfrachten der 30. BImSchV stark erschwert.
- Der Betrieb und die Pflege von Biofiltern, falls er beispielsweise bei vorhandenen Biofiltern von Altanlagen zum Einsatz kommt, muss wesentlich verbessert werden, um langwierige Betriebsstörungen auszuschließen. Dazu müssen u.a. Steuerungskonzepte für den Biofilterbetrieb entwickelt werden.
- Neue bzw. zukünftige MBA mit optimiertem Abluftmanagement, geringen Hallenvolumina und optimiertem Behandlungskonzept (aerob oder kombiniert anaerob und aerob) besitzen die besten Voraussetzungen, die gesetzlichen Regelungen einzuhalten. Dabei müssen folgende Punkte berücksichtigt werden:
 - Die Bauart von Anlieferung und Aufbereitung muss mit dem Ziel der Minderung der Hallenvolumina verändert werden;
 - Statt großer Anlieferhallen werden vermutlich vermehrt gekapselte Systeme umgesetzt, wie beispielsweise Abwurfunker;
 - Die Aggregate der Abfallaufbereitung vor und ggf. nach der biologischen Stufe werden sinnvollerweise gekapselt und die Abluft gesondert genutzt bzw. behandelt;
 - Die Entkopplung von Bereichen, in denen Abfälle gelagert oder behandelt werden, von solchen, in denen sich Personal befindet, ist anzustreben;
 - Ein zeitlich differenziertes Luftmanagement, das die Arbeitszeiten des Personals berücksichtigt (Tag-/Nacht- sowie Wochentag-/Wochenend-Betrieb), sollte umgesetzt werden;
 - Der Aufwand für die weitergehende Abluftreinigung ist bei den geschlossenen Systemen mit geringen Entlüftungsvolumina (Tunnel, Boxen, Container) am geringsten. Wegen der

hohen Investitionen und Betriebskosten für diese Systeme sind sie jedoch vorzugsweise für die Zeitphase der vorgeschriebenen Abluffassung einsetzbar und können danach bis zur Erreichung der Deponiekriterien mit kostengünstigen offenen Systemen kombiniert werden;

- Bei differenzierter Behandlung unterschiedlich belasteter Teilströme ist ggf. eine Beheizung der Rohluft (beispielsweise aus den Hallenbereichen) vor einem Biofilter notwendig, um eine gute Reinigungsleistung zu gewährleisten.
- Die Vergärung hat überwiegend geringere Abluftemissionen, erfordert jedoch zur Fassung von Geruchs-, NH_3 - und CH_4 -Emissionspeaks nach der Vergärung auch eine 2-wöchige Abluffassung und -behandlung in der aeroben Nachbehandlung.
- Umluftführung und Mehrfachnutzung der Abluft führt zu stark erhöhten Kohlenstoffgehalten, so dass hierdurch bereits eine Einsparung der Stützgasmenen erreicht wird.
- Sollen darüber hinaus zusätzliche Methanmengen als Energieträger generiert werden, kann dies anlagentechnisch durch eine Intervallbelüftung umgesetzt werden, wie sie in der MBA in Zell am See (Angerer, 2001) installiert ist.

6 Literaturverzeichnis

- | | | |
|--|-------|--|
| Angerer T. | 2001 | Versuche zur Abgasreinigung an der MBA-Anlage in Zell am See, Hamburger Berichte 17: Abluft 2001 – Dokumentation der Fachtagung vom 05.-06.11.2001 in Hamburg, Stegmann/Doedens/Hensel (Hrsg.), Verlag Abfall <i>aktuell</i> , Stuttgart |
| Angerer T. | 2001b | Versuche zur Abgasreinigung an der MBA-Anlage in Zell am See, mündliche Aussage bei Vortrag: Abluft 2001 – Fachtagung vom 05.-06.11.2001 in Hamburg |
| Bartels P., Kruse H. | 2002 | Kompostierung - Messung und toxikologische Bewertung flüchtiger organischer Substanzen (VOC) in der Abluft von Kompostieranlagen, Schriftenreihe des Instituts für Experimentelle Toxikologie, Universitätsklinikum Kiel, Heft 52, ISSN 1618-9965, Kiel 2002 |
| Bidlingmaier W., Denecke M. | 1998 | Grundlagen der Kompostierung; Müllhandbuch, MuA Lfg. 11/98, KZ 5305 |
| BMU | 2001 | Pressemitteilung: Abfallwirtschaftspolitik aktuell – Auswirkungen neuer europäischer Richtlinien und Stand der Umsetzung abfallrechtlicher Projekte in Deutschland, 01. März 2001 |
| Cuhls C. | 2001 | Schadstoffbilanzierung und Emissionsminderung bei der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung, Dissertation, Veröffentlichung des ISAH, Heft 114, Hannover 2001 |
| Doedens, H. | 2001 | Abgas aus mechanisch-biologischer Abfallbehandlung, Hamburger Berichte 17: Abluft 2001 – Dokumentation der Fachtagung vom 05.-06.11.2001 in Hamburg, Stegmann/Doedens/Hensel (Hrsg.), Verlag Abfall <i>aktuell</i> , Stuttgart |
| Doedens H. | 2001 | persönliche Mitteilung |
| Doedens H., Cuhls C. | 2000 | Abluftemissionen aus MBA und Anforderungen an die Abluftreinigung, Fresenius Fachtagung 19./20.06.2000 |
| Doedens H., Cuhls, C. | 2000 | Bewertung der Emissionen aus mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen im Hinblick auf die neue BImSchV.
Vortrag bei 12. Kasseler Abfallforum "Biologische Abfallbehandlung", Kassel, 11.-13.04.2000 und veröff. in: Bio- und Restabfallbehandlung IV (2000), in der Reihe "Abfallwirtschaft - Neues aus Forschung und Praxis", Baeza-Verlag, Witzenhausen, S. 607-629 |
| Doedens H., Cuhls C., Mönkeberg F., Levsen K. et al. | 1999 | Bilanzierung von Umweltchemikalien bei der biologischen Vorbehandlung von Restabfällen; Phase 2: Emissionen, Schadstoffbilanzen, und Abluftbehandlung.
Enderbericht zum BMBF-Vorhaben FKZ: 149 09 59 A3 |

- | | | |
|--|------|--|
| Doedens, Kühle-Weidemeier | 2001 | Wissenschaftliche Begleitung: MBA-Pilotversuche mit Abfällen aus dem LK Schaumburg in einem Containerrottetunnel auf dem Gelände der Deponie Sachsenhagen, Ergebnisbericht vom 02.05.2001 |
| Fertig J. | 1981 | Untersuchung von Wechselwirkungen zwischen Belüftung, Wärmebildung, Sauerstoffverbrauch, Kohlendioxidbildung und Abbau der organischen Substanz bei der Kompostierung von Siedlungsabfällen; Dissertation im FB Angewandte Biologie und Umweltsicherung der Justus-Liebig-Universität Gießen |
| Finstein M.S., Miller F.C., Strom P.F. | 1986 | Waste treatment composting as a controlled system; In: Biotechnology Vol. 8 (Hrsg.: Rehm H.J. und Reed G.), S.363-398, VCH Weinheim |
| GIRL | 1998 | Feststellung und Beurteilung von Geruchsimmissionen, GIRL - Geruchsimmissions-Richtlinie i. d. F. des LAI vom 13. 5. 1998 |
| Glathe H. | 1985 | Biologie der Rotteprozesse bei der Kompostierung von Siedlungsabfällen; Müllhandbuch, MuA Lfg. 2/85, KZ 5200-5290 |
| Heining, K. | 1998 | Biofilter und Biowäscher - Die Geruchseliminierung bei Kompostwerken, Hamburger Berichte 14, Economica Verlag |
| Hübner, R. | 1996 | Geruch - Messung und Beseitigung, in: Kommunaldirekt Heft 3 / 96, S. 8 / 9 und 56 / 57 |
| Kranert M. | 1988 | Freisetzung und Nutzung von thermischer Energie bei der Schlammkompostierung; In: Stuttgarter Berichte zur Abfallwirtschaft, Band 33, Erich Schmidt Verlag, Bielefeld |
| Ketelsen K., Bröker E., Fehre E. | 2001 | Auswirkungen der 30. BImSchV und AbfAbIV auf Bau und Betrieb von MBA und Deponie, Müll und Abfall, Heft 8/2001, Seiten 461-468 |
| Kühle-Weidemeier M. | 2002 | Persönliche Mitteilung |
| Loidl M. | 2002 | Mail an Prof. Doedens im Mai 2002 |
| Mannebeck H. | 2001 | Olfaktorische / olfaktometrische Messmethoden zur Bestimmung der verschiedenen Geruchseigenschaften.
VDI-Seminar Nr. 43-39-07: Gerüche in der Außenluft, Mannheim, 16./17.10.2001 |
| Nieweler A. | 2003 | Persönliche Mitteilung |
| N.N. | 2002 | Umweltgutachten des Rates von Sachverständigen für Umweltfragen, Drucksache 14/8792, 15.04.2002 |
| Schön M., Hübner R. | 1996 | Geruch - Messung und Beseitigung, 1. Auflage, Vogel-Verlag, Würzburg |
| Stockinger J., von Felde D. | 2001 | Wechselwirkung zwischen Abluftmanagement und Stabilisierung in MBA, 7. Münsteraner Abfallwirtschaftstage (Tagungsband), Münsteraner Schriften zur Abfallwirtschaft, Band4, Gallenkemper, Bidlingmaier, Doedens Stegmann (Hrsg.), Münster 2001, S. 258-265, ISBN 3-9806 149-3-X |
| Strom P.F., Morris M.L., Finstein M.S. | 1980 | Leaf composting through appropriate low-level technology; In: Compost Science / Land Utilization 21, Heft 6/1980, S. 44-48 |

- | | | |
|--|------|---|
| Trimborn M., Clemens J.,
Cuhls C., Breeger A.,
Berkem M. | 2002 | Vermeidung treibhausrelevanter Emissionen und Optimierung des VOC-Abbaus bei MBA-Abluft, WLB Wasser, Luft, Boden 9/2002, S. 46 f. |
| UBA Berlin | 1999 | Bericht zur "Ökologischen Vertretbarkeit" der mechanisch-biologischen Vorbehandlung von Restabfällen einschließlich deren Ablagerung, Juli 1999 |
| VDI 3881 Blatt 1 | 1986 | Olfaktometrie – Geruchsschwellenbestimmung, Grundlagen |
| VDI 3881 Blatt 2 | 1987 | Olfaktometrie – Geruchsschwellenbestimmung, Probenahme |
| VDI 3881 Blatt 3 | 1986 | Olfaktometer mit Verdünnung nach dem Gasstrahlprinzip |
| VDI 3881 Blatt 4
Entwurf | 1999 | Olfaktometrie – Geruchsschwellenbestimmung, Anwendungsvorschriften und Verfahrenskenngrößen |
| Wallmann R., Cuhls C.,
Frenzel J., Hake J.,
Fricke K. | 2001 | Nachrotte von Vergärungsrückständen aus dem Valorga-Verfahren, Müll und Abfall 11/2001, S. 624-628 |
| Wallmann R., Müller W.,
Cuhls C., Clemens J.,
Bahn S., Frenzel J.,
Hake J., Turk T. | 2001 | Überprüfung verschiedener Abluftbehandlungsverfahren – Ergebnisse großtechnischer Versuche aus dem ABZ Hannover, in: Abluftbehandlung bei MBA und Deponiebetrieb – Konsequenzen für die Praxis, 62. Informationsgespräch des ANS e.V. in Kaiserslautern, 25./26.09.01, S. 111-146 |
| Wallmann R., Turk T.,
Fricke K., Kleemann U. | 2002 | Nachrüstung von Altanlagen am Beispiel der MBA Linkenbach, Umweltpraxis 11/2002, S. 17-20 |
| Wengenroth, K. | 2001 | LARA – thermisch regenerative Abluftbehandlung des Trockenstabilat®-Verfahrens (Versuchsergebnisse der Anlagen in Rennerod und Aßlar); erschienen in: VDI Wissensforum, Mechanisch- Biologische- Anlagen nach neuer Rechtslage, Seminar 43-83-03, 25. - 26. Juni 2001 in Kufstein (A) |