

Die Versuchsergebnisse des Labormaßstabes konnten in einem 8 m³-Reaktor, der eine maximale Schütthöhe von 2,8 m zuließ, im wesentlichen bestätigt werden: Krümel konnten sich infolge Sauerstoffmangels bei Schütthöhen über 0,65 m nicht optimal erhitzen. Bei Preßlingen war selbst bei 2,8 m Schütthöhe das Sauerstoffangebot ausreichend, wenn auch in Zonen, die durch den Befüllvorgang verdichtet worden waren, Verzögerungen im Temperaturanstieg auftraten. Der in den Laborversuchen ermittelte optimale Feuchtegehalt der Gemenge von 45 bis 55 % muß für praktische Verhältnisse, also für Schütthöhen über 1 m, auf 40 bis 48 % korrigiert werden.

5. Zusammenfassung

Eine einwandfreie Selbsterhitzung von krümeligen Gemengen aus Flüssigmist und feinkörnigen Trockenstoffen ist bei selbsttätiger Belüftung bei Schütthöhen über 0,5 m nicht möglich.

Durch Verpressen des krümeligen Gutes zu Aggregaten kann ein Gasaustausch gesichert werden, der in Rottezellen eine Selbsterhitzung noch bei Schütthöhen von 2,8 m sicherstellt.

Durch das Feststoffverfahren mit Kompostierung verpreßter Gemenge ergibt sich eine Möglichkeit, schlammförmige Abfallstoffe ohne fremde Zusatzstoffe ohne Zwangsbelüftung zu kompostieren.

Schrifttum

- [1] *Schuchardt, F.*: Einfluß des ökologischen Faktors "Struktur" auf die Kompostierung von Flüssigmist-Feststoff-Gemengen. Diss. TU Berlin 1977; erschienen in *Landbauforschung Völknerode, Sonderh. 38 (1977)*.
- [2] *Baader, W.*: Die Behandlung tierischer Ausscheidungen nach biologisch-thermischen Verfahren mit Feststoffanreicherung. Vortrag auf der VDI-Tagung am 16.11.1973 in Braunschweig.
- [3] *Baader, W.*: Möglichkeiten und Grenzen der Feststoffkompostierung organischer Rückstände in der Landwirtschaft. *Landbauforschung Völknerode Bd. 24 (1974) S. 43/48*.
- [4] *Baader, W., F. Schuchardt, H. Sonnenberg u. H. Söchtig*: Die Gewinnung eines lagerfähigen und landwirtschaftlich nutzbaren Feststoffes aus Rinderflüssigmist. *Ber. Landw.; Sonderh. 192 (1975) S. 798/835*.
- [5] *Baader, W., F. Schuchardt u. H. Sonnenberg*: Untersuchungen zur Entwicklung eines technischen Verfahrens für die Gewinnung von Feststoffen aus tierischen Exkrementen (1. Mitteilung). *Grundl. Landtechnik Bd. 25 (1975) Nr. 2, S. 33/42*.
- [6] *Baader, W., F. Schuchardt u. H. Sonnenberg*: Untersuchungen zur Entwicklung eines technischen Verfahrens für die Gewinnung von Feststoffen aus tierischen Exkrementen (2. Mitteilung). *Grundl. Landtechnik Bd. 26 (1976) Nr. 6, S. 234/44*.
- [7] *Baader, W., F. Schuchardt u. H. Sonnenberg*: Untersuchungen zur Entwicklung eines technischen Verfahrens für die Gewinnung von Feststoffen aus tierischen Exkrementen (3. Mitteilung). *Grundl. Landtechnik Bd. 27 (1977) Nr. 6, S. 184/90*.

Über die Kompostierung von Siedlungsabfällen unter Berücksichtigung mikrobieller Gesichtspunkte

Von Günter Niese, Gießen*)

DK 631.862:628.35:628.491

Durch mikrobielle Zersetzungsprozesse können organische Stoffe in Abfällen in einfache Verbindungen zerlegt werden und so wieder in den natürlichen Stoffkreislauf zurückkehren. Die aeroben Mikroorganismen, die an diesen Prozessen beteiligt sind, entwickeln ihre stärkste Aktivität bei ausreichender Versorgung mit Sauerstoff, Feuchtigkeit und Nährstoffen sowie bei günstigen Temperaturen. Für die Kompostierung stehen geeignete Verfahren zur Verfügung, die bei ordnungsgemäßer Durchführung umweltfreundlich arbeiten.

Inhalt

1. Mineralisation der organischen Substanz
2. Mikrobielle Wachstumsfaktoren und Selbsterhitzung
 - 2.1 Sauerstoff und Feuchtigkeit
 - 2.2 Nährstoffe
 - 2.3 Temperatur
3. Kompostierung von Siedlungsabfällen
 - 3.1 Müllstruktur und Selbsterhitzung
 - 3.2 Die Kompostierung von Siedlungsabfällen in Mieten
4. Zusammenfassung

1. Mineralisation der organischen Substanz

Die von den grünen Pflanzen gebildete und von Tier und Mensch umgewandelte organische Substanz wird von heterotrophen Mikroorganismen unter Sauerstoffaufnahme zu Kohlendioxid, Wasser und mineralischen Reststoffen oxidiert. Die in der organischen Substanz gebundene Energie wird von den Mikroorganismen für Stoffwechselprozesse verwendet oder als Wärme in Freiheit gesetzt. Wenn die Abgabe von Wärme an die kühlere Umgebung geringer ist als die Wärmebildung, kommt es zur Selbsterhitzung.

Korreferat zu: Einfluß der Haufwerkstruktur auf den Kompostierungsverlauf, dargestellt am Beispiel von Flüssigmist-Feststoff-Gemengen (*F. Schuchardt*).

*) Prof. Dr. Günter Niese, Institut für landwirtschaftliche Mikrobiologie der Justus Liebig-Universität Gießen.

Das Kohlendioxid und die mineralischen Reststoffe kehren in den natürlichen Stoffkreislauf zurück und stehen den Pflanzen wieder als Nährstoffe zur Verfügung. Dieser als Mineralisation der organischen Substanz bezeichnete mikrobielle Abbauprozess ist von der Stärke der mikrobiellen Aktivität, letztere wiederum von den mikrobiellen Wachstumsfaktoren, wie z.B. Sauerstoff, Feuchtigkeit, Nährstoffangebot und Temperatur, abhängig.

2. Mikrobielle Wachstumsfaktoren und Selbsterhitzung

2.1 Sauerstoff und Feuchtigkeit

Unter den Bedingungen der Kompostierung von Abfallstoffen sind in erster Linie aerobe Mikroorganismen an der Mineralisation der organischen Substanz beteiligt. Für ihre Aktivität ist die Anwesenheit von Sauerstoff im Substrat unbedingte Voraussetzung. Eine erfolgreiche Kompostierung hängt somit davon ab, ob das mikrobiell produzierte Kohlendioxid aus dem rottenden Material entweichen und durch sauerstoffreiche Frischluft ersetzt werden kann. Die Durchlüftung von Kompostmieten ist von ihrer Größe, insbesondere von ihrer Höhe, sowie von der Sperrigkeit und dem Wassergehalt des Kompostmaterials abhängig.

Die Frage, bei welchem Wassergehalt der mikrobielle Abbau der organischen Substanz in Abfallstoffen am günstigsten verläuft, kann nur dahingehend beantwortet werden, daß ein hoher Wassergehalt die Aktivität aerober Rotteorganismen dann nicht beeinträchtigt, wenn den Mikroorganismen ständig ausreichend Sauerstoff zur Verfügung steht. So kann auch in flüssigen Substraten, wie z.B. Gülle, bei geeigneter Belüftung eine starke mikrobielle Aktivität erzielt werden. Die Mikroorganismen stellen aber ihre Aktivität praktisch ein, wenn ein minimaler Wassergehalt unterschritten wird. In diesem Fall wird die Lagerfähigkeit eines organischen Materials erreicht. Die Wassergehalte liegen dann für

Getreide, Kraftfutter unter 12–14 %,

Heu, Rohfutter " 20 %,

Müllkompost " 20 %.

Im Zusammenhang mit der Beurteilung der Beziehungen zwischen Wassergehalt und Sauerstoffversorgung von Komposten aus Abfallstoffen ist zu beachten, daß die Löslichkeit von Sauerstoff in Wasser mit steigender Temperatur abnimmt, Tafel 1.

Temperatur °C	Volumen (unter Normbedingungen) des bei 1,013 bar Teildruck des O ₂ gelösten Sauerstoffs (Rein-O ₂)		Gelöste Sauerstoffmenge [1] bei einem Teildruck des O ₂ von ca. 0,213 bar (Luft von 1,013 bar)	
	ml/ml	bez. auf Wert für 20 °C %	mg/l	bez. auf Wert für 20 °C %
5	—	—	12,7	140
20	0,03103	100	9,1	100
45	0,02187	71	5,9	65
60	0,01946	63	4,6	51
70	0,01838	59	—	—
80	0,01761	57	—	—

Tafel 1. Löslichkeit von Sauerstoff in Wasser in Abhängigkeit von der Wassertemperatur.

2.2 Nährstoffe

In feuchtem Heu, Stallmist, Müll und anderen organischen Stoffen kommt es zur Selbsterhitzung, wenn diese Stoffe in größeren Mengen aufgehäuft werden. Im Gegensatz hierzu erhitzt sich feuchter, nährstoffarmer Weißtorf nicht, auch dann nicht, wenn

er durch Zusatz von CaCO₃ auf einen pH-Wert von ca. 6,5 gebracht wird [2]. Wenn jedoch aufgekalkter Torf mit Heu vermischt und angefeuchtet wird, erhitzt sich dieses Gemisch in Abhängigkeit von der Menge des zugesetzten Heues. Die in Laborversuchen erreichten Maximaltemperaturen betragen in Gemischen von

1 Teil Torf + 1 Teil Heu (pH 6,3): 73 °C,

2 Teile Torf + 1 Teil Heu (pH 6,3): 68 °C,

5 Teile Torf + 1 Teil Heu (pH 6,3): 60 °C.

Mit abnehmenden Gehalten an Heu nahm die Selbsterhitzungsfähigkeit der Gemische ab.

Auch durch Vermischung von Torf mit nährstoffreichem Klärschlamm kann eine Selbsterhitzung erzielt werden, wie die Herstellung von Torf-Klärschlamm-Komposten zeigt.

Zum Nachweis der Beziehungen zwischen mikrobiell verwertbaren Nährstoffen und Selbsterhitzung wurde Torf mit unterschiedlich zusammengesetzten Nährlösungen angefeuchtet und der Selbsterhitzung überlassen. Bild 1 gibt den Temperaturverlauf der Selbsterhitzung von Torf nach Anfeuchten mit Nährlösungen wieder, deren Zusammensetzung in Tafel 2 angegeben ist. Nach Zusatz der sehr reichhaltig zusammengesetzten Nährlösung Nr. 1 erhitzte sich der Torf auf ca. 70 °C. Durch Verminderung der Nährstoffkonzentration um 50 % (Nährlösung Nr. 2) wurde die Selbsterhitzungsfähigkeit nicht eingeschränkt. Dagegen erhitzte sich Torf, dem mit Nährlösung Nr. 3 nur 10 % der Nährstoffe der Nährlösung Nr. 1 zugesetzt wurden, nicht höher als 39,3 °C.

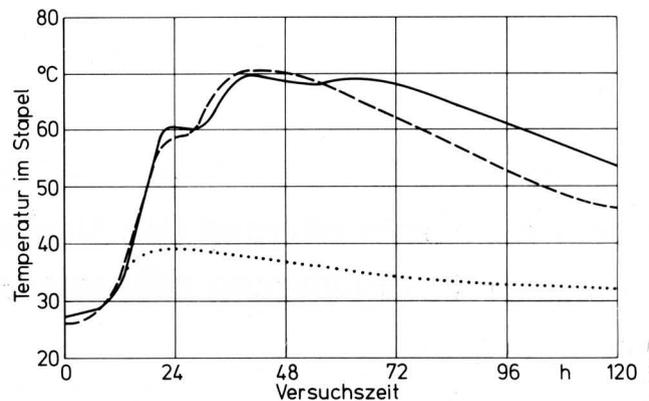


Bild 1. Temperaturverlauf bei der Selbsterhitzung von Torf mit Zusatz verschiedener Nährlösungen (Zusammensetzung in Tafel 2).

— Nährlösung Nr. 1, pH 6,4
 --- Nährlösung Nr. 2, pH 6,3
 ... Nährlösung Nr. 3, pH 6,4

	Nährlösung Nr.		
	1	2	3
Stärke	3,53	1,97	0,40
Glukose	3,53	1,97	0,40
Maltose	3,53	1,97	0,40
Xylose	0,85	0,47	0,095
Fruktose	3,39	1,89	0,38
Trockenpektin (Opekta)	8,46	4,32	0,95
Pepton	5,02	2,80	0,56
≙ N	0,79	0,44	0,09
NaCl	3,73	2,08	0,42
Hefeextrakt (Difco)	0,85	0,47	0,095
Na ₂ HPO ₄	2,54	1,42	0,29
KH ₂ PO ₄	0,95	0,53	0,11
KCl	1,13	0,63	0,13
KNO ₃	0,87	0,49	0,098

Tafel 2. Nährstoffgaben [g] bezogen auf eine Torftrockensubstanz von 100 g bei Zugabe der verschiedenen Nährlösungen [2].

In weiteren Versuchen wurde nachgewiesen, daß sich Torf auch nach Zusatz erheblich geringerer Nährstoffmengen, als sie die Nährlösung Nr. 2 enthielt, noch selbst erhitzte. Aus den in der Tafel 3 wiedergegebenen Ergebnissen war abzuleiten, daß die in der Nährlösung Nr. 80 angewandten geringen Nährstoffmengen den Bedarf der Mikroorganismen für eine Aktivität deckten, die unter den gegebenen Versuchsbedingungen stark genug war, Torf in der verhältnismäßig kurzen Zeit von 4–5 Tagen auf Maximaltemperaturen über 70 °C zu erhitzen.

Unter der Voraussetzung, daß im Laborversuch stärkere Wärmeverluste des Versuchsmaterials durch die Schaffung weitgehend adiabatischer Verhältnisse verhindert werden [2, 3], kann festgestellt werden, daß die Höhe der Maximaltemperatur der biologischen Selbsterhitzung in erster Linie von den in einem Kompostmaterial vorhandenen, mikrobiell verwertbaren Nährstoffen abhängig ist.

Nährlösung Nr.	Nährstoffmengen in Gramm / 100 g Torf-Trockensubstanz							
	76		78		80		77	
Stärke	1,13		1,08		0,85		0,70	
Glukose	1,42		1,34		1,07		0,70	
Trockenpektin (Opekta)	1,60		1,53		1,00		1,05	
Pepton	1,36		1,30		1,01		1,00	
≙ N	0,21		0,20		0,16		0,16	
NaCl	1,01		0,97		0,75		0,75	
Selbsterhitzung Vers. Nr.	Max.-Temp. °C		Vers.-Dauer h		Max.-Temp. °C		Vers.-Dauer h	
107/I–VI	73,5	97						
110/I–VI	73,2	111						
111/I–VI	73,2	120						
113/I–VI			74,0	114				
119/I					73,0	111		
109/I–VI							66,5	182 (138-219)

Tafel 3. Nährstoffgaben, Maximaltemperaturen und Versuchsdauer bei Versuchen zur Selbsterhitzung von Torf [2].

2.3 Temperatur

Die Temperatur ist ein wesentlicher Wachstumsfaktor für Mikroorganismen. *Rippel-Baldes* [4] führte hierzu aus: "Innerhalb der das Leben eines Organismus umfassenden Temperaturspanne fördert steigende Temperatur die Lebenstätigkeit nach dem *van't Hoff*schen Gesetz, wonach eine Temperatursteigerung um 10 °C die Reaktionsgeschwindigkeit verdoppelt bis verdreifacht."

Unter Berücksichtigung der arttypischen Wachstumstemperaturen kann die Mikroflora in drei Gruppen eingeteilt werden:

	Wachstumstemperaturen		
	Minimum	Optimum	Maximum
Psychrophile Organismen	- 5– 0 °C	10–15 °C	15–20 °C
Mesophile Organismen	10–15 °C	20–35 °C	40–45 °C
Thermophile Organismen	30–35 °C	50–60 °C	70–80 °C

Mit dem Überschreiten der maximalen Wachstumstemperatur wird ein Mikroorganismus inaktiviert. Arten, die keine widerstandsfähigen Dauerformen bilden, wie die meisten Krankheitserreger, werden durch die Einwirkung von Temperaturen, die höher sind als die maximalen Wachstumstemperaturen, abgetötet.

Die durch Selbsterhitzungsprozesse bedingte Temperatursteigerung fördert den Ablauf biologischer und biochemischer Prozesse in

den für Mikroorganismen gültigen Temperaturgrenzen. Durch Messungen im Warburg-Gerät konnte eine Steigerung der mikrobiellen Sauerstoffaufnahme in Frischkompost bis etwa 58 °C nachgewiesen werden [5, 6], **Bild 2**.

Die Untersuchung von Selbsterhitzungsprozessen unter den Bedingungen der Praxis ist mit Schwierigkeiten verbunden, die für Laborversuche nicht bestehen. Es muß jedoch von Fall zu Fall entschieden werden, in welchem Maße die Ergebnisse von Laborversuchen auf die Praxis übertragen werden können. Selbsterhitzungsversuche im Labor führen aber nur dann zum vollen Erfolg, wenn die thermischen Bedingungen die Erhitzung relativ kleiner Mengen von Untersuchungsmaterial bis zur möglichen Maximaltemperatur gestatten. Die Selbsterhitzungsversuche, über die hier berichtet wird, wurden in einer Versuchsapparatur durchgeführt, die die Außentemperatur automatisch der Temperatur der untersuchten organischen Stoffe nachführte [2, 3, 7].

In Laborversuchen kann die Temperatur ohne Verzögerung oder in einzelnen Phasen ansteigen. **Bild 3** und **4** geben hierfür einige Beispiele wieder. Wenn man die einzelnen Phasen des Temperaturanstieges verbindet, ergibt sich die in **Bild 5** wiedergegebene Modellkurve.

Die Phasen im Temperaturanstieg sind als Wachstumskurven mikrobieller Populationen anzusehen, die sich durch die Höhe ihrer maximalen Wachstumstemperatur unterscheiden.

Zu Beginn der Selbsterhitzung wird die Wärme von einer sehr artenreichen mesophilen Mikroflora gebildet. Bei etwa 45–50 °C wird die maximale Wachstumstemperatur der mesophilen Arten erreicht. Diese Mikroorganismen stellen jetzt ihre Aktivität und damit die Wärmebildung ein.

Im Temperaturbereich über 50 °C wird die zur Selbsterhitzung erforderliche Wärme von thermophilen Mikroorganismen gebildet. Aus **Bild 5** kann entnommen werden, daß im Temperaturbereich zwischen 45 °C und ca. 75 °C vier Phasen auftreten:

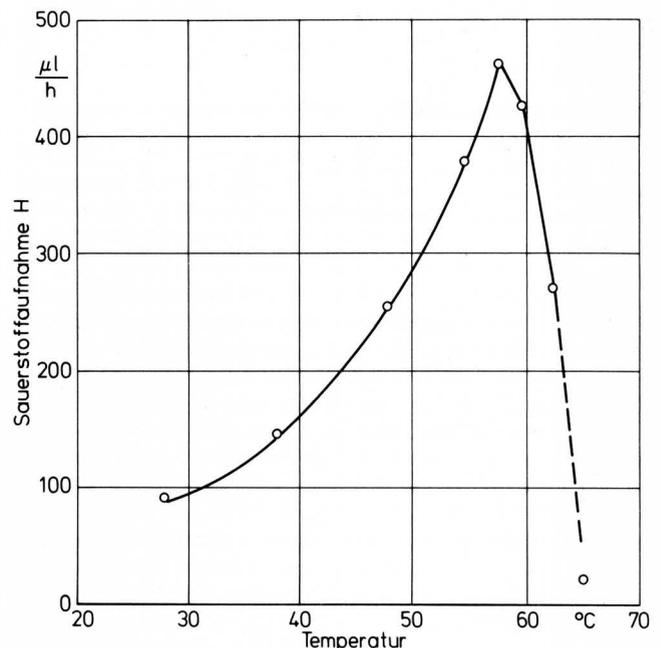


Bild 2. Einfluß der Temperatur auf die maximale Sauerstoffaufnahme von Frischkompost [5, 6].

- I. 45/50 °C bis 58/60 °C,
- II. 58/60 °C " 65 °C,
- III. 65 °C " 70 °C und
- IV. 70 °C " ca. 75 °C

als obere Grenze der biologischen Selbsterhitzung.

Die oberen Grenztemperaturen der einzelnen Phasen stimmen mit maximalen Wachstumtemperaturen von einzelnen Arten thermophiler Mikroorganismen überein. Das bedeutet, daß der Abschluß jeder Phase durch die Inaktivierung einer Gruppe von thermophilen Mikroorganismen ausgelöst wird.

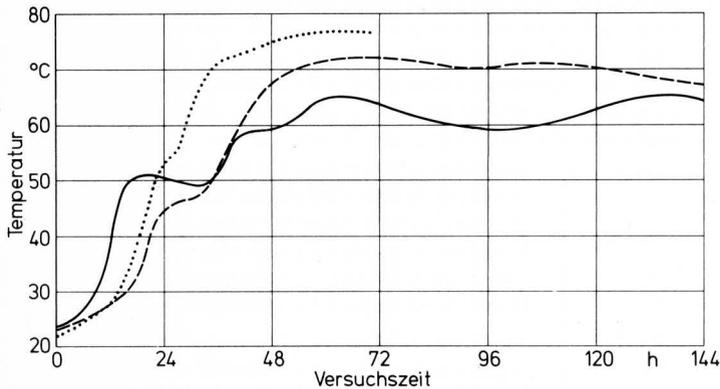


Bild 3. Temperaturverlauf bei der Selbsterhitzung verschiedener organischer Stoffe [6].

- Gras
- - - Stroh
- ... Heu

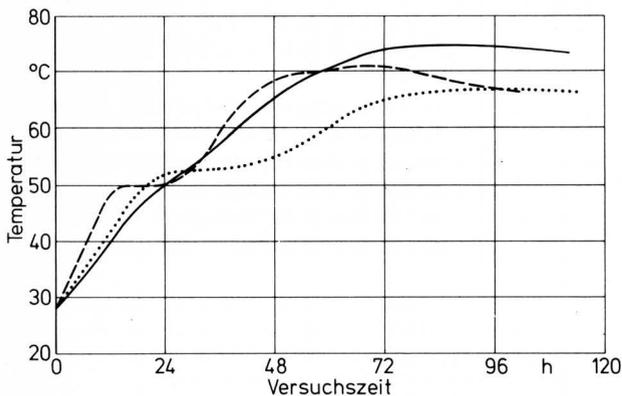


Bild 4. Temperaturverlauf bei der Selbsterhitzung verschiedener Müllproben [6].

- Entnahme im Kompostwerk um 8⁰⁰ Uhr
- - - Entnahme im Kompostwerk um 12⁰⁰ Uhr
- ... Entnahme im Kompostwerk um 16⁰⁰ Uhr

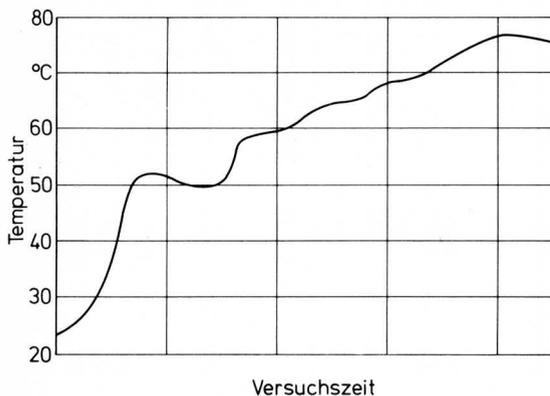


Bild 5. Modell des Temperaturverlaufes bei der Selbsterhitzung organischer Stoffe durch verschiedene Mikroorganismenpopulationen.

Die Frage, warum bei der Selbsterhitzung des einen Materials verschiedene unterscheidbare Phasen im Temperaturanstieg auftreten und bei Verwendung eines anderen Materials nicht, kann z.Zt. noch nicht abschließend beantwortet werden. Es muß angenommen werden, daß unterscheidbare Phasen vorwiegend dann registriert werden, wenn das Ausgangsmaterial der Kompostierung verhältnismäßig keimarm ist. Die einzelnen Verzögerungen im Temperaturanstieg müssen als Inkubationsphasen angesehen werden, in denen sich die Mikroorganismen mit jeweils höheren Wachstumtemperaturen auf eine Keimdichte vermehren, bei der ihre Aktivität so stark wird, daß wieder ausreichend Wärme für den weiteren Temperaturanstieg gebildet wird.

Der phasenartige Verlauf der Selbsterhitzung, der nur durch die Inaktivierung einzelner Gruppen von Mikroorganismen erklärt werden kann, ist als Beweis dafür anzusehen, daß auch bei Temperaturen über 55 °C Wärme durch die Stoffwechsellätigkeit von Mikroorganismen gebildet wird.

3. Kompostierung von Siedlungsabfällen

Wie bereits oben ausgeführt wurde, werden organische Abfallstoffe bei Anwesenheit von Sauerstoff durch aerobe Mikroorganismen unter Freisetzung von Energie zu CO₂, Wasser und mineralischen Resten abgebaut. Bei Sauerstoffmangel geht die aerobe Kompostierung von Siedlungsabfällen in anaerobe Faulprozesse mit der Bildung übelriechender Zwischenprodukte über. Das betrifft nicht die ordnungsgemäße anaerobe alkalische Faulung von Klärschlamm mit der Bildung von Methan.

Zur Vermeidung unerwünschter Faulprozesse müssen alle Verfahren zur Kompostierung von Abfallstoffen so durchgeführt werden, daß die Be- bzw. Entlüftung der rottenden Abfälle nicht behindert wird. Zu diesem Zweck müssen insbesondere Mietenhöhe (Schichthöhe) und Zerkleinerungsgrad (Struktur) der Abfälle den jeweiligen Erfordernissen und technisch-wirtschaftlichen Möglichkeiten angepaßt werden.

3.1 Müllstruktur und Selbsterhitzung

Über die Zusammenhänge zwischen Müllstruktur, Mietenhöhe und Selbsterhitzung führte Pöpel [8] wörtlich aus: "Die Intensität der Durchlüftung des zu verrottenden Mülls ist aber auch, wie Bild 6 erkennen läßt, sehr eng mit der Größe seiner Körnung verknüpft. Gleich große Körner mit großen Durchmessern haben größere Hohlräume als kleinere. Bei großen Hohlräumen kann die durch aeroben Stoffwechsel der Kleinlebewesen erwärmte Luft leichter und schneller aufsteigen und durch nachströmende Frischluft ersetzt werden als bei kleineren. Deshalb wurden auch die Aerobier in Mieten aus grobkörnigem Rohmüll besser mit Sauerstoff versorgt als in Mieten aus Mittelmüll (8–40 mm) und Feinmüll (< 8 mm). Infolge der besseren Durchlüftung der Rohmüllmieten erwärmen sich diese etwas mehr und vor allem schneller als die Mieten aus Mittelmüll und Feinmüll. Zu einer großen und schnellen Wärmeentwicklung führt auch ein Umsetzen der Mieten. Es werden dadurch nicht nur die rottenden Massen von neuem gründlich durchlüftet, sondern auch von allen das Wachstum der

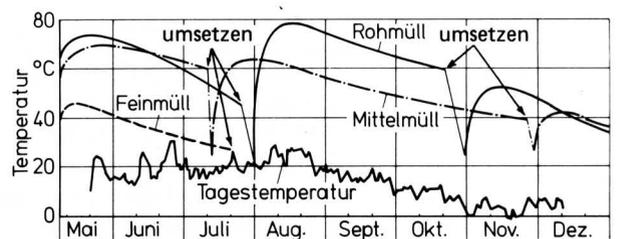


Bild 6. Die Selbsterwärmung von Müll mit unterschiedlich großer Körnung (nach Pöpel [8]).

Aerobier hemmenden Stoffwechselprodukten befreit. Ferner wird die bereits stark vermehrte Masse der Kleinlebewesen mit neuen abzubauenen Nahrungsstoffen in Berührung gebracht. Beide Maßnahmen fördern die Tätigkeit der Aerobier in sehr großem Ausmaß und beschleunigen den Verlauf der Rotte."

Die schwache Selbsterhitzung des Feinmülls ist neben dem Einfluß der Korngröße auf seinen geringen Gehalt an organischen Stoffen von weniger als 10 % zurückzuführen. Der Mittelmüll dagegen enthielt ca. 30 % organische Stoffe.

3.2 Die Kompostierung von Siedlungsabfällen in Mieten

Die zur Kompostierung von Siedlungsabfällen entwickelten Verfahren und Einrichtungen wurden von Jäger [9, 10, 11] sowie von Jäger und Ferber [12] ausführlich beschrieben. Hier soll nur beispielhaft auf die Kompostierung von nicht zerkleinertem und zerkleinertem Müll in unterschiedlich großen Mieten oder Halden eingegangen werden.

In Wijster und Mierlo wird unzerkleinerter Rohmüll, der noch alle sperrigen Stoffe enthält, zu ca. 6 m hohen Mieten aufgeschüttet. In diesen sehr hohen Mieten erhitzt sich der Müll auf Temperaturen über 75 °C. Die starke Selbsterhitzung muß als Zeichen dafür gewertet werden, daß die Durchlüftung des sperrigen Mülls ausreichend gesichert ist. Ein- oder zweimaliges Umsetzen der Großmieten fördert Durchlüftung und Mischung des Rotte-gutes. Nach 4–6 Monaten Rotte werden die unverrotteten und sperrigen Stoffe von dem Kompost abgiebt.

In dem nicht mehr praktizierten Kompostierungsverfahren Baden-Baden wurde unzerkleinerter Hausmüll nach einer groben Auslese von Altstoffen mit eingedicktem Faulschlamm in einwohnergleichen Mengen angefeuchtet und auf ca. 3,5 m hohe Mieten aufgeschüttet. Nach 8–10 Tagen Rotte nahm die Mietenhöhe infolge natürlicher Setzung auf ca. 3 m und nach 4 Wochen auf ca. 2,75 m ab. Durch gelochte Betonrohre am Boden der Mieten wurde die Durchlüftung des rottenden Mülls verbessert. An diese Betonrohre konnte ein Sauggebläse angeschlossen werden, das die Luft aus den Mieten absaugte. Als Folge dieser Entlüftung drang von außen wieder sauerstoffreiche Luft in die Mieten ein. Die Kompostmieten wurden im normalen Verfahrensablauf nicht umgesetzt. Durch fahrbare Dächer konnten die Mieten gegen Regen oder starke Sonnenbestrahlung geschützt werden. Die Rotte-dauer betrug gewöhnlich 3 Monate. Nach der Rotte erfolgte eine Nachzerkleinerung in einer Hammermühle auf ca. 10 mm Korngröße [13].

Die Gehalte der Stapelluft an Sauerstoff und Kohlendioxid wurden in Versuchsmieten, die den Betriebsmieten entsprachen, jedoch nicht entlüftet wurden, gemessen [14], Bild 7. Zu Beginn der Rotte, d.h. in den ersten Stunden oder Tagen, erfolgte ein sehr schneller Anstieg des Kohlendioxidgehaltes im Innern der Kompostmieten auf z.T. sehr hohe Werte, Volumengehalt an CO₂ 60–70%, vereinzelt auch auf 80 %. Der Sauerstoffgehalt der Mietenluft war bei den hohen Kohlendioxidgehalten sehr gering. In den ersten Wochen der Kompostierung konnten gewöhnlich kein Sauerstoff oder nur sehr geringe Mengen in der Mietenluft nachgewiesen werden. Der in die Miete einströmende Luftsauerstoff mußte also sofort von den Rotteorganismen aufgenommen worden sein. Am Meßpunkt 1, an dem Luft von außen leicht eindringen konnte, sowie an den nach innen gelegenen Meßpunkten 3 und 6 stiegen die Mientemperaturen gewöhnlich nach 1–2 Wochen auf über 70 °C an. In den unteren, verhältnismäßig schlecht durchlüfteten Teilen der Mieten war die Selbsterhitzung verzögert, die Temperatur stieg aber auch hier nach mehreren Wochen Rotte-dauer auf Werte über 60 °C an.

Für die Rotteperiode des Temperaturanstieges bis zur Maximaltemperatur konnten Beziehungen zwischen dem Kohlendioxidgehalt der Mietenluft und der Rotte-temperatur festgestellt werden. Mit steigender Temperatur nahm der CO₂-Gehalt der Mietenluft ab, Bild 8.

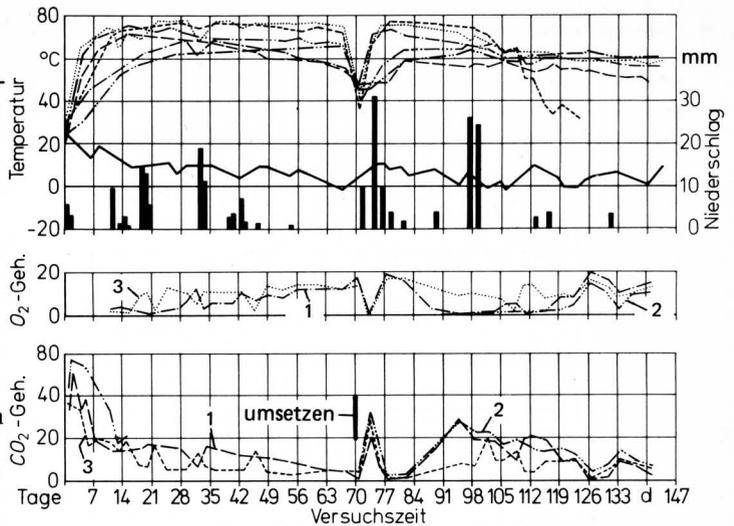


Bild 7. Verlauf der Temperaturen, der Kohlendioxid- und Sauerstoffgehalte der Luft in der Miete, der Außentemperatur und Höhe der Niederschläge bei der Kompostierung in Versuchsmieten (Kompostanlage Baden-Baden [14]).

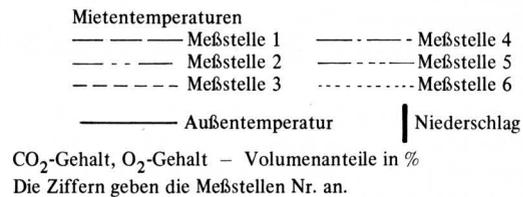


Bild 8. CO₂-Gehalt der Luft in der Miete in Abhängigkeit von der Temperatur (Baden-Baden 1958/59 [14]).

- Mittelwerte, gemessen im unteren Teil der Miete
- + Mittelwerte, gemessen im oberen Teil der Miete

In der Kompostanlage Bad Kreuznach [15] wurden Gasmessungen während der Mietenrotte von Frischkompost durchgeführt [16]. Die Versuchsmieten wurden aus einem in der Danotrommel etwa 5 Tage lang vorgerotteten Müllgemisch aus 9 Teilen Stadtmüll und 1 Teil Faulschlamm angesetzt. Nach dem Trommeldurchgang wurde der Frischkompost auf eine Korngröße von < 25 mm abgiebt. Dieser verhältnismäßig feinkörnige Frischkompost wurde zu Mieten mit einer Höhe von 1,5 m aufgeschüttet. Wie Bild 9 zeigt, erhitzen sich diese Kompostmieten rasch auf Temperaturen bis etwa 70 °C. Im Zentrum der Miete wurde zu Beginn der Rotte ein sehr hoher CO₂-Gehalt gemessen. Sauerstoff war über eine lange Zeit kaum nachweisbar. Erst nach etwa 10–11 Wochen Rotte-dauer sank der CO₂-Gehalt unter 10 % ab, während gleichzeitig der O₂-Gehalt wieder anstieg.

Die über mehrere Wochen gemessenen hohen Werte für Kohlendioxid ließen zwar auf eine erhebliche mikrobielle Aktivität schließen, sie zeigten aber auch an, daß in einem Kompostmaterial mit

einer maximalen Korngröße von 25 mm nur ein ungenügender Austausch von CO₂-reicher Mietenluft gegen O₂-reiche Frischluft erfolgt. Aus diesem Grunde bildete sich auch bereits nach 2 Wochen Rottedauer in den auf etwa 1 m Höhe zusammengesunkenen Mieten in der unteren Hälfte ein anaerober Kern aus.

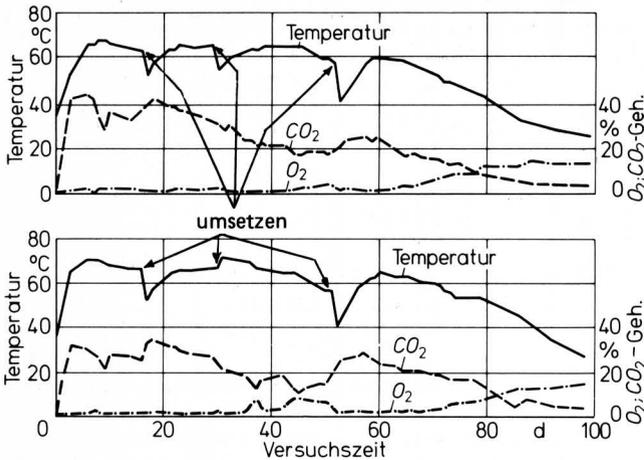


Bild 9. Temperatur, Kohlendioxid- und Sauerstoffgehalt der Mietenluft beim Kompostieren von Dano-Frischkompost (Kompostanlage Bad Kreuznach [16]).

Die Gefahr der Ausbildung von anaeroben Kernen oder Reduktionszonen in Kompostmieten aus zerkleinertem Müll kann wesentlich verringert oder beseitigt werden, wenn die Mieten nicht sofort bis zur vollen Höhe, sondern in mehreren Schritten aufgesetzt werden. Diese Möglichkeit wurde in der Vergangenheit in unterschiedlicher Weise praktiziert [17, 18, 19]. Darüber hinaus können jeweils zwei verhältnismäßig niedrige Mieten aus zerkleinertem Müll nach etwa 4 Wochen Rottedauer zu einer größeren Miete aufgesetzt werden. Von diesen werden wiederum zwei Mieten nach weiterer Rotte von 3–4 Wochen zu einer Miete vereinigt (Kompostwerk Alzey).

Im Kompostwerk Blaubeuren [20] wird auf 40 mm Teilchengröße zerkleinerter Müll nach Mischung mit Trockenbeetschlamm in einer stationären Rottezelle 2 Wochen vorgerottet. Danach erfolgt ein Absieben des Frischkompostes auf 20 mm. Der Siebdurchgang wird mit Hilfe eines sog. Seitenabsetzers neben der Fahrspur zunächst nur etwa 40 cm hoch aufgesetzt. Aus dieser kleinen Miete kann Kohlendioxid ungehindert abfließen und Frischluft ständig eindringen. Die aeroben Rotteorganismen finden somit ausreichend Sauerstoff für eine starke Aktivität vor. Mit dem Abklingen der intensivsten Rotteprozesse nimmt auch der Sauerstoffbedarf ab. Dann kann eine weitere flache Schicht über den ersten Austrag aufgebracht werden. Diese schichtweise Aufschüttung der Mieten bis auf eine Höhe von 1,3–1,5 m und die folgende nur seitliche Anschüttung des Frischkompostes gewährleisten eine ständig ausreichende Durchlüftung. Zwischenräume zwischen einzelnen Mieten können entfallen. Während der Nachrotte erhitzt sich der Kompost in diesen durch seitliche Anschüttung entstandenen Mieten mit trapezförmigem Querschnitt erneut bis auf Temperaturen um 70 °C.

Zerkleinerter Müll, der in Großmieten oder Halden kompostiert werden soll, muß durch Be- oder Entlüftungseinrichtungen mit Luftsauerstoff versorgt werden. Bei der Kompostierung nach dem Heidenheimer Verfahren, System Voith-Müllex [21, 22], wird zerkleinerter Müll nach Mischung mit ausgefautem Klärschlamm mäanderförmig zu etwa 2 m hohen Halden aufgeschüttet. Über Kanäle in den Kompostierungsplatten werden die Halden durch Preßluft belüftet. Hierdurch kann mit den Rottegasen nicht nur CO₂, sondern auch Wasserdampf aus dem Kompostmaterial abgeführt werden. Nach einer Rotte von etwa 2 Monaten wird der Kompost auf ebenfalls belüftbare Nachrotteplatten umgesetzt, und zwar nach Abschluß der intensivsten Rotteprozesse in etwa 4 m hohe Nachrotte- oder Lagerhalden.

Die sofortige Aufschüttung von zerkleinertem Müll in etwa 4 m hohe Tafelmieten, die anderenorts durchgeführt wurde, führte trotz Belüftung der Halden durch Absaugen der Mietenluft zu erheblichen Schwierigkeiten im Ablauf der Rotte.

4. Zusammenfassung

In Abfallstoffen bauen aerobe Mikroorganismen die organische Substanz unter Aufnahme von Sauerstoff zu Kohlendioxid, Wasser und mineralischen Reststoffen ab. Die gleichzeitig in Form von Wärme freigesetzte Energie führt zur Selbsterhitzung der rotten Abfälle. Die Stärke der Selbsterhitzung ist von der Aktivität der wärmebildenden Rotteorganismen abhängig. Wesentliche Faktoren, die diese Aktivität beeinflussen, sind Sauerstoffgehalt und Feuchtigkeit des Substrates sowie Nährstoffangebot und Temperatur.

Bei der Kompostierung von Siedlungsabfällen sind Mietenhöhe (Schichthöhe) und Zerkleinerungsgrad (Struktur) der Abfallstoffe für die Versorgung der Mikroorganismen mit Sauerstoff von Bedeutung. Nicht zerkleinerter Hausmüll kann bei lockerer Aufschüttung noch in Mieten bis zu ca. 6 m Höhe kompostiert werden. Im Gegensatz hierzu kann zerkleinerter Müll, insbesondere nach Anfeuchtung mit Klärschlamm, nur in Mieten bis ca. 1,5–1,8 m kompostiert werden. Bei höheren Mieten oder Halden müssen Be- oder Entlüftungseinrichtungen zum Austausch der mit Kohlendioxid und anderen Rottegasen angereicherten Mietenluft gegen sauerstoffreiche Frischluft eingesetzt werden.

Schrifttum

Bücher sind durch ● gekennzeichnet

- Die Abkürzung "M. u. A." steht im folgenden für das von *W. Kumpf, K. Maas u. H. Straub* begründete Werk: Müll- und Abfallbeseitigung, Handbuch über die Sammlung, Beseitigung und Verwertung von Abfällen aus Haushaltungen, Gemeinden und Wirtschaft – Müll-Handbuch – Herausgeg. v. *H. Straub, G. Hösel u. W. Schenkel*, Erich Schmidt-Verlag Berlin. Die zitierten Beiträge des Müll-Handbuches enthalten weitere Literaturangaben.
- [1] *Loll, U.*: Stabilisierung hochkonzentrierter organischer Abwässer und Abwasserschlämme durch aerob-thermophile Abbauprozesse. Diss. TH Darmstadt 1974.
 - [2] *Niese, G.*: Die Untersuchung von Torf mit Hilfe mikrobiologischer Methoden – Ergebnisse und Probleme. TELMA, Bd. 5 (1975) S. 205/25.
 - [3] *Niese, G.*: Versuche zur Bestimmung des Rottegrades von Müllkomposten mit Hilfe der Selbsterhitzungsfähigkeit. Intern. Arbeitsgem. f. Müllforschung (IAM), Informationsblatt Nr. 17, (Mai 1963) S. 3/14.
 - [4] ● *Rippel-Baldes, A.*: Grundriß der Mikrobiologie, 3. Aufl., S. 143, Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer-Verlag 1955.
 - [5] *Niese, G.*: Unterbringung von Siedlungsabfällen unter dem Aspekt des Landschaftsschutzes. Müll-Abfall-Abwasser, Staubtechnik u. Lufthygiene Bd. 4 (1969) Heft 12, S. 2/6.
 - [6] *Niese, G.*: Die Bestimmung der mikrobiellen Aktivität in Müll und Müllkomposten durch die Messung der Sauerstoffaufnahme und der Wärmebildung. Habilitationsschrift Giessen 1969.
 - [7] *Niese, G.*: Mikrobiologische Untersuchungen zur Frage der Selbsterhitzung organischer Stoffe. Arch. Mikrobiol. Bd. 34 (1959) S. 285/318.
 - [8] *Pöpel, F.*: Das Wesen der Vergärung organischer Stoffe bei der Kompostierung. M. u. A., Kennz. 5305 (1964) S. 27/29.
 - [9] *Jäger, B.*: Die hauptsächlichen Verfahren der Kompostierung. M. u. A., Kennz. 5410 (1977) S. 1/36.
 - [10] *Jäger, B.*: Nicht verfahrensgebundene technische Einrichtungen der Kompostwerke. M. u. A., Kennz. 5510 (1977) S. 1/47.

- [11] Jäger, B.: Verfahren und neue Technologien der Kompostierung. Giessener Berichte zum Umweltschutz, Heft 4 (1974) S. 21/40.
- [12] Jäger, B. u. M. Ferber: Beispiele ausgeführter Kompostwerke. M. u. A., Kennz. 5810 (1967–1977) S. 1/59.
- [13] Jäger, B. u. M. Ferber: Beispiele ausgeführter Kompostwerke – Kompostwerk Baden-Baden. M. u. A., Kennz. 5810 (1967) S. 3/9.
- [14] ● Straub, H. u. H. Glathe: Untersuchungen des Einflusses technischer Bedingungen bei der Verrottung von Siedlungsabfällen unter den Voraussetzungen des Werksbetriebes – Bestimmung von Kompostmodellen von Müll mit und ohne Klärschlamm unter Verwendung physikalischer, chemischer und biologischer Messungen. Arbeitsgem. kommunaler Abfallwirtschaft (AkA), Frankfurt/M.: DLG-Verlag 1961.
- [15] Jäger, B. u. M. Ferber: Beispiele ausgeführter Kompostwerke – Kompostwerk Bad Kreuznach. M. u. A., Kennz. 5810 (1967) S. 22/26.
- [16] Glathe, H., G. Farkasdi, E. Homrighausen, A. v. Klopotek, K.-H. Knoll, P. Martin, G. Niese u. D. Strauch: Bericht über die Ergebnisse von Kompostierungsversuchen mit Zusatz von Impf- bzw. Förderstoffen, Giessen 1964.
- [17] ● Howard, A.: Mein landwirtschaftliches Testament. Siebeneicher Verlag 1948.
- [18] Reichspatentamt: Patentschrift Nr. 685084, Klasse 10 c, Gruppe 6, L 95056 VI/10c, 7.12.1935.
- [19] Böhme, L.: Verhinderung von anaeroben Zonen in Kompostmieten durch StAM. Intern. Arbeitsgem. f. Müllforschung (IAM), Informationsblatt Nr. 25 (Dez. 1965) S. 19/26.
- [20] Jäger, B. u. M. Ferber: Beispiele ausgeführter Kompostwerke – Kompostwerk Blaubeuren. M. u. A., Kennz. 5810 (1973) S. 10/14b.
- [21] Jäger, B. u. M. Ferber: Beispiele ausgeführter Kompostwerke – Kompostwerk Heidenheim. M. u. A., Kennz. 5810 (1974) S. 45/51.
- [22] Hofmann, H.: Müllverwertung der Stadt Heidenheim nach dem Heidenheimer Verfahren. Städtehygiene Bd. 22 (1971) H. 6, S. 139/43.

Biologische Gesichtspunkte zur Vermeidung von Geruchsemissionen bei der Behandlung, Lagerung und Ausbringung von Flüssigmist

Von Dieter Bardtke, Stuttgart*)

DK 631.862:628.35:614.718

Bei der Behandlung von Flüssigmist soll in der Regel weniger eine Reinigung im abwassertechnischen Sinne erfolgen; im Vordergrund steht vielmehr die Beseitigung unangenehmer Gerüche vor allem durch aerobe Verfahren.

Die als belästigend empfundenen Geruchsstoffe stammen primär aus den von den Tieren abgesetzten Fäkalien. Sie entstehen bei der Verdauung, wobei als sicher gelten kann, daß die meisten von ihnen das Produkt mikrobieller Zersetzungs Vorgänge im Darm sind.

Der typische tierspezifische Fäkalgeruch setzt sich aus den verschiedensten, meist organischen Komponenten zusammen, wobei die Art der Fütterung einen zusätzlichen Einfluß auf Zusammensetzung und Intensität der Gerüche ausübt.

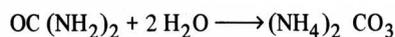
Die Anzahl der identifizierten Geruchsstoffe steigt offensichtlich parallel mit der Verbesserung der Analysetechnik, z.B. durch Kombination von Gaschromatographie und Massenspektrometrie.

Neben verschiedenen Aminen, Aldehyden, Alkoholen und niederen Fettsäuren sind Mercaptane sowie Indol und Skatol die bisher bekanntesten Bestandteile von Fäkalgerüchen.

Als anorganischer Geruchsstoff ist Schwefelwasserstoff (H_2S) zu finden, der im Gegensatz zum Vorkommen in der freien Natur hier vorwiegend organischen Ursprungs ist und als Endprodukt des mikrobiellen Abbaues von Cystin und Cystein entsteht.

Das Ammoniak ist als Endprodukt des Eiweißabbaus ebenfalls organischen Ursprungs. Der größte Teil des Ammoniaks im Flüssigmist entsteht jedoch durch Hydrolyse von Harnstoff unter Einwirkung von Harnstoffzersettern außerhalb des Tierkörpers nach

folgendem Schema, wobei mit steigendem pH-Wert und zunehmender Temperatur der Anteil von freiem Ammoniak (NH_3) ebenfalls steigt.



Eine Beseitigung der organischen und teilweise auch der anorganischen Geruchskomponenten durch chemische Behandlung der Abluft ist zwar möglich, jedoch verfahrenstechnisch oft nicht ganz einfach und zudem meist recht teuer. Oxidationsmittel wie Chlor, Ozon, Wasserstoffperoxid und Kaliumpermanganat können hierfür verwendet werden. Wenn die Anwendung dieser Mittel bei der Flüssigmistbehandlung in der Regel auch nicht in Betracht kommt, so ist eine schnelle Geruchsfreimachung durch Anwendung von technischem Wasserstoffperoxid vor der Ausfuhr von zwischengelagerter Gülle jedoch durchaus denkbar, weil hierbei die Geruchsstoffe nicht in dem Maße frei werden wie bei einer Nachbelüftung durch Oberflächenbelüfter.

Der Zusatz von fäulnishemmenden Substanzen zum Flüssigmist, z.B. Alzogur, kann die Geruchsentwicklung ebenfalls vermindern.

Wegen der einfacheren Handhabung und aus Kostengründen werden nicht nur in der Landwirtschaft in zunehmendem Maße sogenannte biologische Verfahren zur Geruchsbeseitigung bevorzugt.

Die Erfahrung zeigt, daß die in den Fäkalien enthaltenen organischen Geruchsstoffe (aber auch das H_2S) mikrobiell abbaubar bzw. oxidierbar sind. Unter bestimmten Betriebsbedingungen kann auch Ammoniak durch Nitrifikation in Nitrat überführt werden, obwohl bei der Güllebehandlung von dieser Möglichkeit aus Kostengründen kaum Gebrauch gemacht wird.

Die Bedeutung der biologischen Abluftreinigung läßt sich aus der zunehmenden Anwendung von Biowäschern und vor allem Biofiltern erkennen.

*) Prof. Dr. Dieter Bardtke ist Abteilungsleiter am Institut für Siedlungswasserbau und Wassergütewirtschaft der Univ. Stuttgart.