

mit Hilfe von Strömungsmessern zu 75 m³/h Luft bei Umwälzbelüfter I und zu 165 m³/h Luft bei Umwälzbelüfter II ermittelt. Diese Luftmengen wurden bei Umwälzbelüfter I mit der 36fachen und bei Umwälzbelüfter II mit der 16fachen Wassermenge vermischt. Deshalb sind auch die Reaktionskoeffizienten für die Sauerstoffaufnahme des Reinwassers oder Belebtschlammes bei der Verwendung von Umwälzbelüfter II 1,7 beziehungsweise 2 mal größer als bei Umwälzbelüfter I. Der Umwälzbelüfter II führt also dem Reinwasser 1,7 mal und dem Belebtschlamm 2 mal soviel Sauerstoff zu wie der Belüfter I.

Der in einem 0,8 bis 1,4 m tiefen Abwasserteich mit einer fünfeckigen Oberfläche von 850 m² und einem Inhalt von 900 m³ installierte Umwälzbelüfter II erzielte bei einer Antriebsleistung von 2,2 kW eine mit Hilfe eines etwa 15 cm eintauchenden Schwimmers gemessene mittlere Oberflächenströmung von 0,2 m/s. Die Meßstrecken waren 11 bis 13 m lang. Bei einer Stärke der nach außen strömenden Wasserschicht von 0,4 m und einer Abnahme der mittleren Fließgeschwindigkeit innerhalb dieser auf 0,06 m/s würde sich am Umfang einer zylindrischen Durchflußfläche von 11,0 m Durchmesser und 0,4 m Höhe eine Förderleistung des Umwälzbelüfters II ergeben von

$$\frac{0,20}{2} + \frac{0,06}{2} : 0,4 \cdot \pi \cdot 11,0 = 1,80 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Diese Förderleistung übersteigt die in dem Versuchsbehälter gemessenen Werte. Sie wird jedoch sogar einmal bei der nach innen gerichteten Fließbewegung des Belebtschlammes erzielt. Die im Teich gemessenen Werte müssen noch durch Messungen mit WOLTMANN-Flügeln überprüft werden. Es kann jedoch erwartet werden, daß diese die Ergebnisse der Schwimmermessungen bestätigen, da die dem Wasser vom Umwälzbelüfter aufgezwungene radialgerichtete kinetische Energie im Teich erst nach einer länge-

ren Fließstrecke gewandelt wird als in dem Versuchsbehälter.

5. Schlußfolgerungen

Infolge der großen Förderleistung der Umwälzbelüfter bei kleinem Kraftbedarf wird der Behälterinhalt in kürzester Zeit immer wieder mit ausreichenden Mengen von Luftsauerstoff in Berührung gebracht. So wird beispielsweise der Versuchsbehälter mit 20 m³ Inhalt in etwa 25 s und der Abwasserteich in 8,3 min. einmal umgewälzt. Dem Behälterinhalt der 144mal in der Stunde umgewälzt wird, werden 75 m³/h Luft mit 22,5 kg Sauerstoff zugeführt. Damit können bei 100prozentiger Ausnutzung des zugeführten Sauerstoffes 5,77 kg Kohlenstoff zu 21,18 kg Kohlendioxid und 0,81 kg Wasserstoff zu 7,29 kg Wasser oxidiert werden. Da bei der Bildung von 1 Mol Kohlendioxid 94,43 kcal und bei der von 1 Mol Wasser 68,3 kcal Wärme frei werden, müssen bei den

$$\text{oben angegebenen Mengen } \frac{94,43 \cdot 5,77}{12} + \frac{0,81 \cdot 68,3}{2}$$

= 73 · 10³ kcal/h entsprechend 3 650 kcal/m³ · h erzeugt werden. Bei der aeroben Stabilisierung von einem Gemisch aus Schweinegülle und Hühnerkot wurde eine spezifische Wärmemenge von 2 850 kcal/m³/h und bei einem Versuch mit Abwasserschlamm eine solche von 2 780 kcal/m³/h erzeugt. Die theoretisch möglichen und praktisch erzielten Werte weichen also nur um 15 % voneinander ab. Durch den Einsatz von 55 Watt/m³ können also exotherme Reaktionen ausgelöst und durchgeführt werden, die eine Wärmemenge von 2 780 bis 2 850 kcal/m³/h erzeugen. Die außerordentlich günstige Kombination von Umwälzung und Belüftung bewirkt also durch den Einsatz von 1 kcal in Form von elektrischer Energie die Erzeugung einer 58 bis 60fachen Menge an Bildungswärme, die den Reaktionsverlauf beschleunigt und außerdem das zu reinigende Substrat pasteurisiert.

Selbsterwärmung bei der aeroben Reinigung hochkonzentrierter Substrate mit Hilfe von Umwälzbelüftern

Franz Pöpel

Die aeroben Bakterien des mesophilen und thermophilen Temperaturbereiches überführen die bakteriologisch abbaubaren organischen Stoffe hochkonzentrierter Substrate im Laufe ihres Stoffwechsels in neue Zellsubstanz und Stoffwechselprodukte, wie Kohlendioxid und Wasser. Bei der Oxidation von einem Mol Kohlenstoff zu einem Mol Kohlendioxid entstehen 94,43 kcal Bildungswärme. Diese beträgt bei der Oxidation von 1 Mol Wasserstoff zu einem Mol Wasser 68,3 kcal. Demzufolge werden bei dem aeroben Abbau von 1 g Kohlenstoff 94,43 : 12 = 7,869 kcal und bei dem von 1 g Wasserstoff 68,3 : 2 = 34,15 kcal Bildungswärme erzeugt. Der nicht für die Bildung neuer Zellsubstanz benötigte Teil der Energie kann — wie bei der Kompostierung von Müll — für die Erwärmung des zu behandelnden Substrates verwendet werden. Bei diesen exothermen Reaktionen werden immer ganz bestimmte Anteile Wasserstoff mit einem Teil Kohlenstoff oxidiert. Die im mesophilen und thermophilen Temperaturbereich verlaufenden Abbauprozesse liefern also um so größere Wärmemengen, je mehr Wasserstoff zusammen mit dem Kohlenstoff oxidiert wird.

Im Institut für Siedlungswasserbau und Wassergütwirtschaft der Universität Stuttgart wurde die bei der Kompostierung von Müll entstehende spezifische Bildungswärme zu 8 bis 10 kcal je g abgebautem Kohlenstoff bestimmt [1].

Die spezifische Bildungswärme, die bei der Oxidation von 1 g Kohlenstoff entsteht, wurde auch aus den Versuchen von C. L. CONNEY, D. I. C. WANG und R. I. MATELES vom Department of Nutrition and Food Science, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge über die Selbsterwärmung bei der aeroben Reinigung von Substraten aus Glukose, Melasse und Sojamehl mit Hilfe von Bakterien (E-Coli und B-Subtilis), Hefen (C. intermedia) und einem Pilz (A-Niger) auf aerobem Wege mit dem folgenden Ergebnis abgeleitet [2]:

Mikroorganismus	Substrat	Bildungswärme	
E-Coli	Glukose	12,63 kcal/g C	
	B-Subtilis	Glukose	11,63 kcal/g C
	Melasse	11,50 kcal/g C	
Hefe C-Intermedia	Sojamehl	11,41 kcal/g C	
	Glukose	9,69 kcal/g C	
	Melasse	11,17 kcal/g C	
Pilze A-Niger	Glukose	7,13 kcal/g C	
	Melasse	8,93 kcal/g C	

Die in Cambridge und Stuttgart durchgeführten Untersuchungen über die bei dem aeroben Abbau hochkonzentrierter organischer Stoffe entstehende Bildungswärme haben übereinstimmend nachgewiesen, daß mit dem Kohlen-

stoff in den organischen Stoffen ganz bestimmte Wasserstoffanteile x oxidiert werden, deren Größe die Art der Mikroorganismen bestimmt, die die oxidativen Vorgänge durchführen. Aus den Untersuchungsergebnissen läßt sich die folgende Größe der x -Anteile ableiten.

Für E-Coli wird $x = 0,139$; B-Subtilis wird $= 0,107$

für Hefe wird $x = 0,075$; Pilze wird $x = 0,031$

für Gemische aus Bakterien, Hefen und Pilzen, wie sie sich bei der Kompostierung entwickeln wird $x = 0,06$.

Da Harn und Kot der Menschen und Tiere viel E-Coli-Bakterien enthalten, kann die spezifische Bildungswärme bei der aeroben Stabilisierung von Flüssigmist und Abwasserschlamm zu 12,63 kcal je g abgebautem Kohlenstoff angenommen werden. Die Menge der bei der aeroben Reinigung hochkonzentrierter Substrate insgesamt erzeugbare Wärme entspricht dem Produkt aus der spezifischen Bildungswärme und der für den Betriebsstoffwechsel verfügbaren Kohlenstoffmenge, die von den Aerobiern abgebaut wird. Nach den bisherigen Erkenntnissen wird der Verlauf der Abbauvorgänge durch die folgenden Faktoren bestimmt:

1. die Konzentration des zu behandelnden Substrates an Kohlenstoff, Stickstoff, Phosphor und Bakterien
2. die Temperatur des Substrates während seiner Behandlung
3. die Versorgung der aeroben Bakterien mit Sauerstoff
4. die Belastung der Bakterien mit abbaubarem Kohlenstoff und
5. die Häufigkeit, mit der die Bakterien mit dem abzubauenen Kohlenstoff in den organischen Stoffen in Kontakt gebracht werden.

Von der größeren Anzahl von Einzelversuchen über den Verlauf der aeroben Reinigung von etwa 20 m³ hochkonzentrierter Substrate mit Hilfe der Umwälzbelüfter I oder II¹⁾ wurden die beiden mit Schweinegülle und 5 % Hühnerkot und Abwasserschlamm eingehender ausgewertet.

Die bei vielen Versuchen während der Belüftung und Umwälzung der Behälterinhalte gemessenen Temperaturen der sich selbst erwärmenden Substrate und der Luft wurden in den Bildern 1 und 2 in Abhängigkeit von der Belüftungsdauer aufgetragen. In Bild 2 wurde auch der Temperaturverlauf während des Abkühlungsversuches zur Ermittlung der Strahlungsverluste aufgetragen. Aus den gemessenen Temperaturen der Behälterinhalte und der Luft während der Erwärmungs- und Abkühlungsphasen sowie der festgestellten Verdunstungsmenge von Wasser während der Reinigungsvorgänge wurden für die verschiedenen Versuchsabschnitte tabellarisch die Wärmemengen ermittelt, die die Bakterien bei dem Betriebsstoffwechsel für die Erwärmung

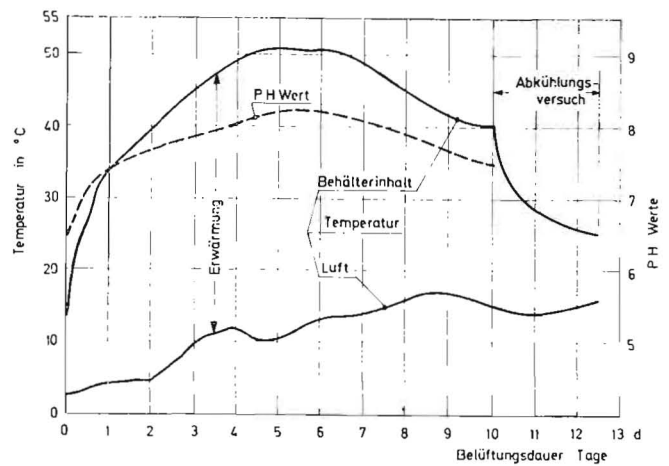
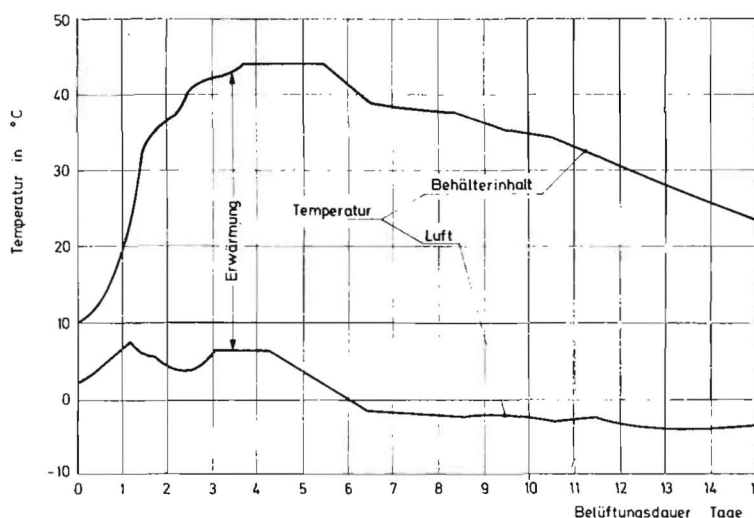


Bild 2: Temperaturen des Behälterinhalts und der Luft bei der Belüftung von Abwasserschlamm

der Substrate und den Ausgleich der Strahlungsverluste einschließlich der Verdampfungswärme erzeugen. Die Summe, der in den einzelnen Abschnitten ermittelten Wärmemengen sind in Bild 3 in Abhängigkeit von der Belüftungszeit aufgetragen.

Werden die in den verschiedenen Abschnitten ermittelten Wärmemengen durch die Dauer der Perioden und die jeweiligen Behälterinhalte geteilt, so ergibt sich die spezifische Wärmemenge in kcal/m³/h. Diese Werte sind ebenfalls in Bild 3 in Abhängigkeit von der Belüftungszeit aufgetragen. Diese läßt erkennen, daß der Verlauf der Wärme-Summenkurven für beide Substrate ähnlich ist und daß außerdem beide Substrate nach Abschluß einer Anlaufphase etwa gleich große spezifische Wärmemengen von 2000 bis 2850 kcal/m³/h erzeugen. Diese Ergebnisse werden erzielt, wenn 160 bis 226 g/m³/h Kohlenstoff zu Kohlendioxid und 22 bis 31,5 g/m³/h Wasserstoff zu Wasser oxidiert werden. Für die Oxidation dieser Kohlenstoff- beziehungsweise Wasserstoffmengen werden 427 bis 603 g/m³ beziehungsweise 176 bis 252 g/m³/h Sauerstoff, insgesamt also 603 bis 860 g/m³/h Sauerstoff benötigt.

Bei der Belüftung der Schweinegülle wurde der Behälterinhalt mit 1125 g/m³/h Sauerstoff angereichert. Davon werden also 53,6 bis 76,4 % für die bakterielle Oxidation des Kohlenstoffes und Wasserstoffes verbraucht. Bei der gegenwärtigen Sauerstoffzufuhr und Bakterienkonzentration kann also die Reaktionskinetik nur in sehr geringen Grenzen noch weiter gesteigert werden. Wenn die Sauerstoffzufuhr und der Gehalt der Substrate an thermophylen Bakterien vergrößert würde, könnte auch der Verlauf der Oxidationsvorgänge noch weiter beschleunigt werden.



¹⁾ Umwälzbelüfter der Bauart Fuchs

Bild 1: Temperaturen des Behälterinhalts und der Luft bei der Belüftung von Schweinegülle und Hühnerkot

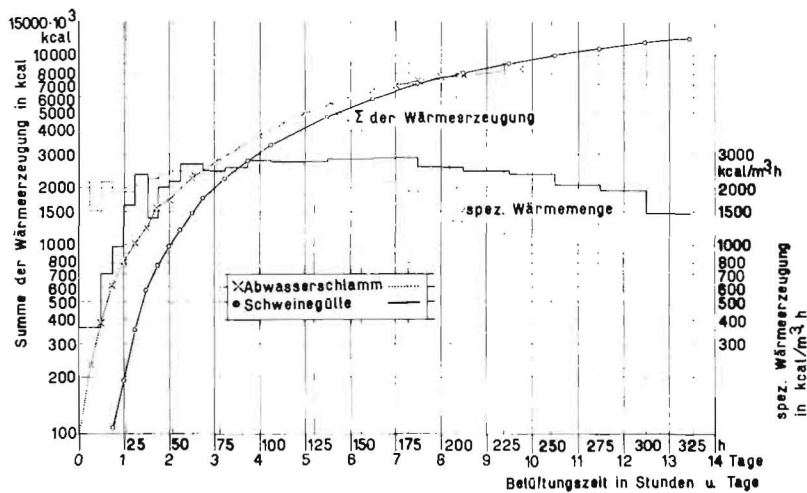


Bild 3: Die Summe der insgesamt erzeugten Wärmemenge und der zeitliche Verlauf der spezifischen Wärmemenge

Bei der Behandlung des Abwasserschlammes mußte der Behälterinhalt wegen seiner größeren Zähflüssigkeit als Schweinegülle mit dem größeren Umwälzbelüfter umgewälzt und belüftet werden. Selbst wenn dieser den Schlamm mit der doppelten Sauerstoffmenge anreichern würde als die Schweinegülle, was aber nicht erwartet werden kann, so würde doch immer noch 35 bis 50 % des zugeführten Sauerstoffes von den Bakterien verbraucht. Bei zähflüssigen Substraten könnte sehr wahrscheinlich die Umwälzung und Belüftung des Behälterinhaltes durch eine zweckmäßigere Gestaltung der Behälterform verbessert werden. Von den bei den beiden Einzelversuchen erzeugten Wärmemengen wurden nur etwa 5,4 % (Schweinegülle) bis 8,6 % (Abwasserschlamm) für die Erwärmung der Behälterinhalte und der Rest für den Ausgleich der Strahlungsverluste und Verdampfungswärme verbraucht. Würde die Abstrahlung der Wärme durch eine bessere Isolierung der Behälter eingeschränkt, so würden sich die zu behandelnden Substrate schneller auf die optimale Temperatur thermophiler Bakterien von 55 °C erwärmen. Dadurch könnte auch die Reaktionskinetik und der Abbau der organischen Stoffe be-

schleunigt werden. Außerdem könnten in gut isolierten und zweckmäßig geformten Behältern auch Substrate mit geringeren Kohlenstoffgehalten mit Hilfe thermophiler Bakterien gereinigt werden. So würde schon bei der biologischen Oxidation einer Kohlenstoffmenge von 10 g/l eine Wärmemenge von 126,3 kcal/l erzeugt werden können. Davon werden für die Erwärmung des Substrates auf 55 °C etwa 45 kcal/l benötigt. Demzufolge stehen für den Ausgleich der Strahlungsverluste noch 81,3 kcal/l zur Verfügung. Die Isolierung des Behälters könnte sogar so weit verbessert werden, daß ein Teil dieser Wärme für andere Zwecke zurückgewonnen werden könnte.

Schrifttum

- [1] PÖPEL, F.: Grundsätzliche Betrachtungen zur geordneten Ablagerung und ihre Probleme. Band 41 Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft, Seite 5 bis 25. Verlag R. Oldenbourg, München 19
- [2] COONEY, C. L., D. I. C. WANG and R. I. MATELES: Measurement of Heat Evolution and Correlation with Oxygen Consumption during Microbial Growth. Biotechnology and Bioengineering 9 (1968), S. 269—281

Einsatz des Umwälzbelüfters für die Flüssigmist-Aufbereitung

Walter R ü p r i c h

Max Planck-Institut für Landarbeit und Landtechnik, Bad Kreuznach

1. Einführung

Die landwirtschaftlichen Betriebe in der gesamten Welt bevorzugen in zunehmendem Maße Aufstallungsformen für die Nutztiere, die mit wenig oder auch ohne Einstreu bewirtschaftet werden können. Im wesentlichen sind es arbeitswirtschaftliche Gründe, die diese Entwicklung begünstigen. Die Bergung und Einlagerung der voluminösen Einstreu sowie der Transport und das Einstreuen im Stall erfordert einen hohen Arbeitszeitaufwand. Die einstreulosen Haltungsformen werden aber auch von Gewerbebetrieben mit Großbeständen von Legehennen und Mastschweinen fast ausschließlich gebaut. Bei Neueinrichtung von Geflügelställen wird in Westeuropa sowohl für die Legehennen als auch für die Elterntiere, die Mast und die Aufzucht in Käfighaltung bevorzugt. Bodenintensivställe bilden bei Neubauten die Ausnahme. Auch bei der Mastschweine- und Rindviehhaltung finden die Ställe mit Flüssigkot-Produktion zunehmend Verbreitung.

2. Verfahren der Dungbehandlung

Die Behandlung der tierischen Exkrememente ohne Einstreu erfordert neue Verfahren für die Entmistung, Lagerung und

Ausfuhr. Zusätzlich ergeben sich verschiedene Probleme, die besonders verstärkt bei Großbeständen und in dicht besiedelten Gegenden auftreten. Der Viehbesatz in der Bundesrepublik hat sich im Jahre 1968/69 mit 90 GV/100 ha LN gegenüber 1935/38 mit 95 GV je 100 ha LN nur geringfügig vermindert. In den Betrieben haben sich aber zum Teil sehr starke Veränderungen ergeben, wobei sowohl die Betriebe ohne Viehhaltung, als auch die Betriebe mit flächenunabhängiger Nutztviehhaltung — Mastschweine und Legehennen — ohne landwirtschaftliche Nutzfläche stark zugenommen haben.

Die deutschen Landwirte waren bekannt für ihre geregelte Stallmistwirtschaft, wobei 1936/38 über Stallung größere Nährstoffmengen dem Boden zugeführt werden als über Mineraldünger [1]. Diese Tradition hat wohl mit dazu beigetragen, daß die Flüssigmist-Verfahren im wesentlichen in Deutschland entwickelt und vervollkommen wurden. Ich verweise hier auf einige Arbeiten, die den Entwicklungsstand im vergangenen Jahrzehnt kennzeichnen [2; 3; 4]. Diese Verfahren gehen davon aus, daß der Flüssigmist als Humus- und Nährstoffdünger auf landwirtschaftlichen Nutzflächen ausgebracht wird. Bei einem ausgewogenen Verhält-