

# Probleme der aeroben Behandlung von Flüssigmist in flüssiger Phase

Von Rudolf Thaer, Braunschweig-Völkenrode\*)

Mitteilung aus dem Institut für Landmaschinenforschung der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode<sup>1)</sup>

DK 631.862:628.35:614.7

Die aerobe Behandlung soll dem Flüssigmist in erster Linie den unangenehmen Geruch nehmen, der bei seiner Lagerung, Handhabung und Ausbringung zu Umweltbelastungen führt. Im gegenwärtigen Entwicklungsstand wird dieses Ziel in befriedigender Weise nur unter hohem Aufwand, insbesondere Energieeinsatz verbunden mit hohen Stickstoffverlusten erreicht. Anderenfalls treten Geruchsemissionen während des Prozesses und ungenügende Geruchsminderung und Inhomogenität des Flüssigmistes auf. Diese und weitere Probleme des Verfahrens, maßgebende Zusammenhänge und Lösungsansätze werden besprochen und noch zu klärende Fragen aufgeführt.

## 1. Einleitung

### 1.1 Verwandtschaft der Flüssigmistbehandlung mit der Klär- und der Fermentertechnik

### 1.2 Bisherige Erfolge und Mißerfolge der aeroben Flüssigmistbehandlung

## 2. Stoffumsetzungen

### 2.1 Abbau organischer Substanz

### 2.2 Temperatureinfluß auf den Abbau

### 2.3 Geruchsemissionen und Stabilität

### 2.4 Stickstoffemissionen und -verluste

#### 2.4.1 Verminderung der Ammoniakdesorption

#### 2.4.2 Biologische Festlegung des Stickstoffs

#### 2.4.3 Nitrifikation und Denitrifikation, Auffangen des Ammoniaks

## 3. Belüftungstechnik

### 3.1 Umwälzung

### 3.2 Sauerstoffversorgung

### 3.3 Schaumbekämpfung

## 4. Prozeßführung

## 5. Schluß, Aufzählung der Probleme

## 1. Einleitung

### 1.1 Verwandtschaft der Flüssigmistbehandlung mit der Klär- und der Fermentertechnik

Die Verfahren der aeroben Flüssigmistbehandlung sind aus der Abwassertechnik hervorgegangen, vornehmlich aus dem Belebtschlammverfahren, seltener aus anderen aeroben Verfahren. Mit der Abwassertechnik, auch mit der industriellen Fermentertechnik bestehen viele Gemeinsamkeiten. Auf einige Unterschiede in den Randbedingungen sei aber hingewiesen.

Die industrielle Fermentation arbeitet mit reineren Kulturen und meist auch mit besser definierten Substraten. Diese kommen in ihrem Feststoffgehalt [1] dem Flüssigmist nahe, enthalten aber nicht so verschiedenartige Feststoffpartikel. Die Produkte verlangen einen höheren Aufwand, die Zielsetzung ist eine ganz andere, abgesehen von dem in Zukunft vielleicht interessanten Fall, daß aus Flüssigmist Futterkomponenten gewonnen werden.

Mit der Abwassertechnik besteht nähere Verwandtschaft, jedoch wird der Flüssigmist mit seinem um zwei Zehnerpotenzen größeren Gehalt an organischer Masse, **Tafel 1**, nur in Ausnahmefällen einer klärtechnischen Behandlung mit dem Ziel der Vorfluterreife unterzogen. Solche Ausnahmen können beispielsweise Exkrementen von Mastkälbern mit sehr niedrigem Trockenmassegehalt und der Anfall aus Tierhaltungen, die mit Molkereien verbunden sind, darstellen.

Herkunft	Trockenmasse %	Organ. Masse %	BSB <sub>5</sub> <sup>2)</sup> mg/l	CSB <sup>2)</sup> mg/l	Autoren
Milchkühe	11,5	9	15000	115000	Baader u.a. [2] Rager [3] Witzel u.a. [4] Thaer u.a. [5]
Mastschweine	8,5	6,5	30000	75000	Rager [3] O'Callaghan u.a. [6]
Hühner	22	17	40000	125000	Rager [3] Taiganides u. Hazen [7]
Kommunales Abwasser	0,09	0,05	300		Imhoff [8]

**Tafel 1.** Mittlere Konzentrationen in unverdünnten tierischen Exkrementen (Kot + Harn) und kommunalem Abwasser.

<sup>1)</sup> Ausgearbeiteter Vortrag, gehalten auf dem Kolloquium "Aerobe Behandlung von Reststoffen aus der Tierproduktion - Reaktionsführung in festen und flüssigen Systemen -" des Instituts für Landmaschinenforschung der FAL am 18. Oktober 1977.

\*) Dipl.-Ing. Dr.sc. agr. Rudolf Thaer war bis zum Eintreten in den Ruhestand wissenschaftlicher Mitarbeiter im Institut für Landmaschinenforschung (Direktor: Professor Dr.-Ing. W. Baader) der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode

<sup>2)</sup> BSB<sub>5</sub> Der auf die Volumeneinheit und den Zeitraum von fünf Tagen bezogene biochemische Sauerstoffverbrauch [mg/l].  
CSB Chemischer Sauerstoffverbrauch [mg/l].

Der Regelfall ist die Rückführung des Flüssigmistes auf das Land. Somit steht seine Behandlung der aeroben Klärschlammstabilisierung am nächsten. Jedoch wird die Mineralisierung beim Flüssigmist mit Rücksicht auf die Erhaltung seines Düngerwertes und aus Kostengründen nicht ebenso weit betrieben. Abgesehen von den Fällen, in denen das Behandlungsprodukt verregnet wird oder Verdünnungswasser aus ihm gewonnen werden soll, sind gute Absetzeigenschaften unerwünscht, weil der Flüssigmist bei der Landausbringung in allen Fuhren die gleiche Zusammensetzung aufweisen soll.

## 1.2 Bisherige Erfolge und Mißerfolge der aeroben Flüssigmistbehandlung

Die wichtigsten Ziele der Flüssigmistbehandlung [9] und das bisher Erreichte bringt **Tafel 2**. Sie zeigt die folgenden neuralgischen Punkte:

- Geruchsemissionen während des Prozesses,
- mangelhafte Stabilisierung,
- Stickstoffverluste,
- Sedimentation infolge ungenügender Homogenisierung,
- Schaumprobleme und nicht zuletzt
- hohe Kosten.

Wieweit die Flüssigmistfermentation die Stallabluft verbessern kann, ist strittig. Krankheitserreger können nur im Heißverfahren bei absätzigem Flüssigkeitsstrom unschädlich gemacht werden. Sonst müssen andere Desinfektionsverfahren herangezogen werden.

Die aerobe Behandlung steht im Wettbewerb mit der anaeroben und hinsichtlich der Geruchsemissionen bei der Ausbringung mit der Misteinbringung in den Boden.

Im Hinblick auf die Schwachstellen seien die Stoffumsetzungen und die Funktion der technischen Einrichtungen betrachtet.

Gesetzte Ziele	Bisheriger Erfolg
Geruchsbeseitigung bei der Lagerung	teils gut, teils Verschlechterung
Ausbringung	gut bei Belüftung bis zur Ausfuhr
Stallabluft	strittig
Inaktivierung von Krankheitserregern	gut nur beim Heißverfahren
Stickstoffhaltung	mäßig
Pflanzenverträglichkeit	gut
Verbesserung der Handhabbarkeit durch	
Homogenisierung	teils Verbesserung, teils Verschlechterung
Viskositätsverringern Volumenverminderung	befriedigend
Wirtschaftlichkeit	mäßig
geringer Wartungsaufwand	befriedigend
Unanfälligkeit gegenüber Störungen	befriedigend, teilweise Schaumprobleme

Tafel 2. Erreichter Stand der aeroben Flüssigmistbehandlung.

## 2. Stoffumsetzungen

### 2.1 Abbau organischer Substanz

Die organischen Bestandteile des Mistes sind sehr ungleich abbaubar. Tierart und Fütterung beeinflussen das Abbauverhalten. So bewegen sich die Werte für das Verhältnis  $BSB_5/CSB$  bei Hühner- und Schweinemist im Bereich von 0,3–0,4, bei Flüssigmist von Milchkuhen jedoch im Bereich von 0,1–0,2 (nach [3]).

Die abbaubare Substanz liegt zum größeren Teil in ungelöster Form vor [4, 10, 11]. Dieser Teil geht beim biologischen Prozeß nach und nach in Lösung, besonders bei anaeroben Zwischenphasen, wie *Bardtke u.a.* [10] nachwies, und was *Mudrack* [12] zur Erhöhung des Abbaues nutzte.

Nach einigen amerikanischen Autoren kann der aerobe Abbau von Flüssigmist annähernd als eine Reaktion 1. Ordnung

$$c = c_0 e^{-k_1 t} \quad (1)$$

angesehen werden mit  $k_1$  zwischen  $< 0,1$  und  $0,35 \text{ d}^{-1}$ , wenn der  $BSB_5$  als Konzentrationsmaß verwendet wird [4, 13, 14, 15].

*Loll* [16] fand beim Belüften von Schweineflüssigmist im thermophilen Bereich für die ersten 2–3 Tage Abbaureaktionen erster Ordnung mit  $k_1 = 1 \text{ d}^{-1}$  für den  $BSB_5$  und  $k_1 = 0,4 \text{ d}^{-1}$  für den  $CSB$  vor. Wesentlich langsamere Reaktionen zweiter Ordnung schlossen sich an.

*Prakasam u.a.* [17] stellten in der Auswertung ihrer ausgedehnten Versuche mit stark verdünntem Hühnermist im Labormaßstab und im Oxidationsgraben fest, daß die Betrachtung des Abbaus als Reaktion erster Ordnung eine ebenso gute Annäherung darstellt wie der Ansatz nach *Monod* [18]. Wird der Abbau als Reaktion erster Ordnung betrachtet, so ist bei kontinuierlichem Betrieb die Geschwindigkeitskonstante eine lineare Funktion der Belastungsrate  $B$  – gemessen als  $CSB$  des täglichen Zulaufs an abbaubaren Inhaltsstoffen bezogen auf die organische Masse der Bakterien im Reaktor –

$$k_1 = 0,017 + 0,11 \cdot B \text{ d}^{-1} \quad (2)$$

$k_1 = 0,017 \text{ d}^{-1}$  bei  $B = 0$  spiegelt die endogene Atmung wider.

Die Abbaukinetik nach dem Substratmodell (*Monod*) setzt voraus, daß das Substrat der limitierende Faktor ist und sich das Bakterienwachstum in der logarithmischen Phase befindet. Die Konzentration  $c_B$  der Mikroorganismen (Zellen) nimmt also in einem Reaktor ohne Zu- und Ablauf nach der Gleichung

$$\frac{d c_B}{dt} = \mu \cdot c_B \quad (3)$$

zu, mit  $\mu$  als spezifischer mikrobieller Wachstumsrate. Beim Ansatz nach *Monod* hängt  $\mu$  in folgender Weise von der Substratkonzentration  $c_S$  ab

$$\mu = \mu_{\max} \frac{c_S}{K_S + c_S} \quad (4)$$

mit  $c_S$  als Substratkonzentration und  $K_S$  als Limitierungskonstante des Substrates [18].

Der Zusammenhang zwischen Zellwachstum und Substratverbrauch wird durch den Ertragskoeffizienten  $Y$  hergestellt:

$$\frac{d c_B}{dt} = -Y \frac{d c_S}{dt} \quad (5)$$

Für die gelöste Fraktion sehr stark verdünnten Hühnermistes, angeimpft mit der Mischkultur eines Hühner-Oxidationsgrabens, bestimmten *Prakasam u.a.* [17] in diskontinuierlichen Versuchen die in den Gleichungen auftretenden Konstanten. Bei der Bestimmung verwendeten sie als Meßgröße aber nicht die Massenkonzentration  $c_S$  des Substrates, sondern dessen  $CSB$  also  $\gamma_S c_S$ , wobei  $\gamma_S$  den Umwandlungsfaktor darstellt, und erhielten die folgenden Werte:

$$\begin{aligned} \mu_{\max} &= 0,35 \text{ h}^{-1} \\ \gamma_S K_S &= 900 \text{ mg/l} \\ Y/\gamma_S &= 0,4. \end{aligned}$$

Woods und O'Callaghan [19] benutzten Ergebnisse von Owens u.a. [20], die vorwiegend aus kontinuierlichen Versuchen an Schweinemist, daneben auch an Hühnermist gewonnen worden waren, um ebenfalls Konstanten für das Substratmodell zu ermitteln. Diese Werte beziehen sich auf die nicht sedimentierenden, biologisch abbaubaren Fraktionen, also auf gelöste und suspendierte Substanz. Es konnte allerdings nur das Verhältnis  $\gamma_S K_S/\mu_{\max}$ , und zwar zu  $6,12 \text{ g} \cdot \text{d/l}$  bestimmt werden. Dieser Wert ist etwa das 60-fache des Betrages, der sich nach Prakasam u.a. [17] ergibt und ziemlich unsicher, weil Versuchswerte für kleine Verweilzeiten fehlen. Dasselbe gilt daher auch für die Zahlenergebnisse der Berechnung des Verweilzeitoptimums in [21].

## 2.2 Temperatureinfluß auf den Abbau

Für Flüssigmist ist mehrfach erwiesen, daß unter 30 °C die Abbaurrate mit steigender Temperatur zunimmt [15, 22, 23].

Für höhere Temperaturen sei an die hohen  $k_1$ -Werte von Loll erinnert.

Aus abwassertechnischen Untersuchungen [24, 25, 26] ist bekannt, daß zum mindesten bis 35 °C ein Anstieg der Abbaugeschwindigkeit zu erwarten ist, daß jedoch im Bereich thermophiler Organismen zwar der spezifische Substratumsatz der Bakterienmasse, aber auch deren Absterberate höher liegt [24, 26]. Dies bestätigten Surucu u.a. [27] in Fermenterversuchen bei 58 °C. Gleichzeitig stellten sie einen niedrigeren Ertrags-Koeffizienten fest.

Nun ist bei einer Flüssigmistbehandlung mit dem Ziel der Stabilisierung nicht allein der Substratabbau, sondern auch die zurückbleibende Bakterienmasse interessant; denn im Gegensatz zur Abwasserklärung wird diese in der Regel nicht abgetrennt, autolytisch bei anaerober Lagerung und verursacht Geruchsemissionen. Um die Gesamttendenz, resultierend aus den teilweise gegenläufigen Wirkungen der Faktoren Wachstum, Ertrag und Absterben, abzuschätzen zu können, wurde eine Modellrechnung durchgeführt.

In dieser wurde wieder die Monodbeziehung, Gl. (4), benutzt. In die Gln. (3) und (4) wurde aber die spezifische Zellzerfallsrate  $k_d$  eingefügt, die den Zellmasseverlust infolge Verbrauchs von Speicherstoffen und Zellzerfall berücksichtigt. Der Nettozuwachs an Biomasse im geschlossenen Reaktor ist dann

$$\frac{d c_B}{dt} = \mu c_B - k_d c_B \quad (6)$$

und auch

$$\frac{d c_B}{dt} = -Y \frac{d c_S}{dt} - k_d c_B \quad (7)$$

Für den stationären Zustand eines kontinuierlich betriebenen Reaktors lassen sich aus Massenbilanzen die nachfolgenden Beziehungen (8) und (9) herleiten, siehe z.B. [27], ähnlich auch [28], wo allerdings die Konstanten nicht auf die gesamte, sondern nur auf die aktive Zellmasse bezogen sind und in dessen Gleichung (8) der Faktor  $1/t_R$  zu ergänzen ist.

$$c_S = \frac{K_S (1 + k_d \cdot t_R)}{t_R (\mu_{\max} - k_d) - 1} \quad (8)$$

$$c_B = \frac{Y (c_{S0} - c_S)}{1 + k_d \cdot t_R} \quad (9)$$

Die Gleichungen geben die Abhängigkeit der Substrat- und Zellkonzentration im Reaktor und folglich auch im Auslauf von der Verweilzeit  $t_R$  an, wobei  $c_{S0}$  die Einlaufsubstratkonzentration darstellt.

In der Modellrechnung ist eine Heißfermentation einer Kaltfermentation gegenübergestellt. Die Konstanten wurden in Ermangelung entsprechender Werte für Flüssigmist in Anlehnung an [27] gewählt.

Wie Bild 1 zeigt, verläuft der Substratabbau (Kurve  $\gamma_S c_S = f(t_R)$ ) in der Heißbehandlung ähnlich wie in der Kaltbehandlung; bei sehr kurzer Verweilzeit ist der Substratabbau in der Heißbehandlung etwas größer als in der Kaltbehandlung, bei längeren Verweilzeiten kehrt sich dieses Verhältnis aber um. In beiden Fällen wird die Zellmasse bei Verweilzeiten länger als ein halber Tag wesentlich größer als der Substratrest. Die hohe Absterberate der Heißfermentation bewirkt aber, daß die Zellmasse rasch abnimmt und bei 15 Tagen Verweilzeit die Summe des CSB von Substrat und Zellmasse auf 8 % des Ausgangswertes zurückgeht, während diese Summe in der Kaltfermentation bei gleicher Verweilzeit noch mehr als die Hälfte des Ausgangs-CSB beträgt.

Diese Modellrechnung kann natürlich nur eine Tendenz andeuten, die durch andere Faktoren beeinträchtigt wird. Ein solcher Faktor kann eine temperaturbedingte Beschleunigung der Umwandlung schwer abbaubarer Substanz in leicht abbaubare sein. Offensichtlich ist dies in Versuchen von Grant [29] mit Rinderflüssigmist bei Temperaturen von 45–60 °C eingetreten. Denn durch mehrtägige Durchlüftung stiegen in der gelösten Fraktion die Verhältnisse  $BSB_5/c_T$  und  $CSB/c_T$  teilweise bis zum Doppelten des Ausgangswertes an. Die höhere Temperatur förderte die Hydrolyse, und die Sauerstoffzufuhr in das Substrat mit dem hohen TM-Gehalt von 13 % reichte zum entsprechenden Abbau nicht aus.

Vielleicht liegt in solchen Vorgängen die Ursache, daß in den eigenen Versuchen und auch andernorts eine langfristige Stabilisierung nur mit verhältnismäßig dünnem Substrat gelungen ist. Um dies zu ergründen, wird man in zukünftigen Untersuchungen die Analysenwerte der einzelnen Fraktionen sorgfältig voneinander trennen müssen.

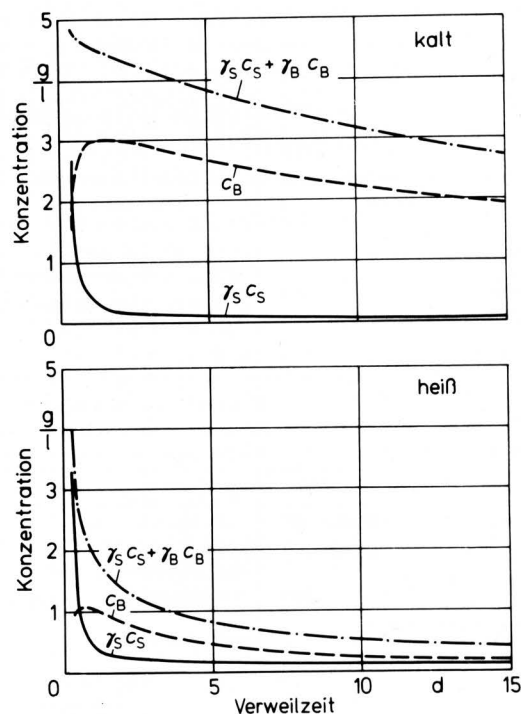


Bild 1. Konzentration von Substrat und Zellmasse in Abhängigkeit von der Verweilzeit im kontinuierlichen Betrieb bei Kalt- und bei Heißbelüftung nach einer Modellrechnung mit den folgenden Konstanten:

		kalt	heiß
Substratkonzentration des Zulaufs, ausgedrückt durch den CSB $\gamma_S c_{S0}$	g/l	5	5
Limitierungskonstante $\gamma_S K_S$	g/l	1	1
Max. spez. Wachstumsrate $\mu_{\max}$	d <sup>-1</sup>	3,50	5,0
Ertragskoeffizient $Y/\gamma_S$	g/g	0,68	0,34
Zellzerfallsrate $k_d$	d <sup>-1</sup>	0,05	0,5
CSB der Zellmasse $\gamma_B$	g/g	1,4	1,4

Für Flüssigmist konnte von Loll [16] und auch in einem eigenen Versuch [30] die Wärmeerzeugung bezogen auf den umgesetzten Sauerstoff von 14,5 kJ/g bestätigt werden, die Coney u.a. [31, 32] für ein künstliches Substrat feststellten. Diese Wärmeproduktion reicht unter entsprechenden Bedingungen zur Selbsterwärmung in den thermophilen Bereich aus [33].

Weitere Gesichtspunkte zum Temperatureinfluß siehe [34].

### 2.3 Geruchsemissionen und Stabilität

Wie weit der Abbau im Einzelfall getrieben werden muß, und wie lange und mit welcher Intensität infolgedessen zu belüften ist, hängt von den Anforderungen an die Geruchsfreiheit ab. Anfangs hoffte man, ein Produkt zu gewinnen, das nach Behandlungsende monatelang geruchsfrei bleibt. Dies gelingt aber nur in dünnem Substrat unter hohem Aufwand und hohen Stickstoffverlusten. Deshalb ist es jetzt die Regel, bis zum Ausbringzeitpunkt zu belüften. Es wird ständig oder intermittierend, auch mit umlaufenden Geräten, während der ganzen Lagerzeit belüftet. Neuerdings läßt man die Belüftung zuweilen erst relativ spät vor der Ausfuhr beginnen.

Nach Ansicht verschiedener Autoren [35, 36, 37] ist es für die Geruchsunterdrückung nicht notwendig, daß im Substrat gelöster Sauerstoff in meßbarer Menge vorhanden ist; die Belüftung muß nur das Redoxpotential über -150 bis -300 mV, je nach Autor, halten. Bei Bell [38] genügte eine intermittierende Belüftung, die 37 % des BSB<sub>5</sub> der täglich zugeführten Substanz entsprach. Diese Werte wurden entweder bei niedrigem TM-Gehalt gewonnen oder nur spezielle Gase, z.B. H<sub>2</sub>S oder Fettsäuren getestet, oder es wurde kein strenger Maßstab an die Geruchsbe-seitigung angelegt.

Demgegenüber ist Hashimoto [39] aufgrund seiner Versuche mit Hühnergülle von 4–6 % TM-Gehalt der Auffassung, daß für eine befriedigende Geruchsbeseitigung ein Sauerstoffspiegel von 1–2 mg/l aufrecht erhalten werden muß. Diese Angabe über den O<sub>2</sub>-Gehalt deckt sich mit Praxiswerten aus den Niederlanden [40], in denen gleichzeitig ein Abbau des BSB<sub>5</sub> um 77 % und des CSB um 35 % festgestellt wurde.

Eine sehr rasche Geruchsreduzierung fand Ogilvie [41] bei der Belüftung von verdünntem Rindermist mit technisch reinem Sauerstoff in einem kontinuierlich arbeitenden System. Bei einem Sauerstoffspiegel von 4–5 mg/l war der Geruch bei 5 Stunden Verweilzeit von 8 auf 4–5 Punkte (schwach), bei 10 Stunden auf 2 Punkte (sehr schwach) abgesunken, bei 20 Stunden Verweilzeit aber eigenartigerweise wieder auf 4–5 Punkte hinaufgegangen. Der CSB der gelösten Fraktion wurde sehr rasch, der Gesamt-CSB jedoch nur langsam vermindert.

Als Maßstab zur Abschätzung der notwendigen Sauerstoffzufuhr werden für Oxidationsgräben von amerikanischen Autoren folgende unterschiedlichen Werte genannt:

- 2 x BSB<sub>5</sub> [13], nach [42] für Flüssigmist zu niedrig,
- 1 x CSB [43]
- 1/2 x CSB + 4,6 x Konzentration an abbaubarem Kjeldahl-N [17], wenn Nitrifikation verlangt wird; siehe auch [44] und
- 1/2 x CSB + 4,6 x Konzentration an Kjeldahl-N + Schwankungszuschlag 1  $\sigma$  oder 2  $\sigma$  [42].

Bei einer Belüftung entsprechend 1/2 x CSB war in einem Oxidationsgraben für Hühner-Flüssigmist Sauerstoff auf höchstens 30 % der Grabenlänge feststellbar und der Betrieb bis auf Ammoniakemissionen geruchsfrei [44].

Die teilweise sehr widersprüchlichen Angaben zum erforderlichen Abbaugrad und zur notwendigen Sauerstoffversorgung zeigen, daß

hier noch viel Arbeit zu leisten ist. Dabei ist nicht nur der Zusammensetzung, sondern auch der Vorgeschichte des Mistes Beachtung zu schenken.

### 2.4 Stickstoffemissionen und -verluste

Steht nur eine relativ kleine Ausbringfläche zur Verfügung, so kann eine Verringerung des Stickstoffgehaltes erwünscht sein. Dieser Fall ist selten. Sonst muß es das Ziel sein, den Stickstoff als wertvollen Pflanzennährstoff weitgehend zu erhalten, und zwar in einer Form, die für die Pflanzen günstig ist und nicht zu Stickstoffauswaschungen oder Geruchsbelästigungen führt.

Schon nach kurzer Lagerzeit liegt der Stickstoff in den Exkrementen zu einem großen Teil als Ammoniak vor. Beim biologischen Abbau wird im allgemeinen weiteres Ammoniak gebildet. Bleibt der Flüssigmist im Lagerbehälter unangetastet, so ist die Ammoniakabgasung gering. Die Geruchsbelästigung durch Ammoniak liegt dann sehr niedrig, zumal dieses nach oben steigt. Beim Rühren des Flüssigmistes und Befüllen der Güllewagen entweicht aber Ammoniak in erheblichem Umfang, ebenso beim üblichen Ausbringen auf dem Felde. Entsprechend groß sind die Geruchsemissionen.

Bei einer Belüftung wird undissoziiertes gelöstes Ammoniak gestrippt. Je höher der pH-Wert und die Temperatur, desto rascher geht die Ammoniak Austreibung vor sich.

Um die Stickstoffverluste zu vermeiden oder doch niedrig zu halten, sind folgende Wege mit mehr oder weniger Erfolg beschrritten worden:

- Verminderung der Desorption des Ammoniaks,
- biologische Festlegung des Ammoniakstickstoffes,
- Nitrifikation,
- Auffangen des Ammoniaks.

#### 2.4.1 Verminderung der Ammoniakdesorption

Unter sonst gleichen Verhältnissen steigt die Ammoniakdesorption mit der Intensität der Belüftung. Eine erste, auch der Wirtschaftlichkeit dienende Maßnahme ist es deshalb, nicht stärker und länger als notwendig zu belüften.

Die mit einer bestimmten Sauerstoffzufuhr verbundenen Ammoniakemissionen können je nach den chemischen und physikalischen Voraussetzungen sehr unterschiedlich ausfallen. Zwar gehören Sauerstoffzufuhr und Ammoniakdesorption den gleichen Gesetzen, aber ihre maßgeblichen Stoffkonstanten sind sehr verschieden und ändern sich mit den Voraussetzungen in unterschiedlichem Maße. Deshalb sei der Desorptionsvorgang näher betrachtet.

Kommt ammoniakhaltige Flüssigkeit mit Luft in Berührung, deren Ammoniakpartialdruck kleiner ist als der der Flüssigkeit, so geht Ammoniak in die Luft über. Die Geschwindigkeit der Ammoniakdesorption ist proportional der Phasengrenzfläche und der Partialdruckdifferenz und von den Strömungsverhältnissen an der Grenzfläche abhängig. In der Flüssigkeit übt nur der undissoziierte Anteil des Ammoniaks einen Partialdruck aus. Der undissoziierte Anteil nimmt mit steigendem pH-Wert und steigender Temperatur zu, **Tafel 3**.

Temperatur	pH-Wert				
	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0
283,15	0,002	0,020	0,170	0,672	0,953
293,15	0,004	0,037	0,280	0,796	0,975
303,15	0,008	0,076	0,452	0,892	0,988
308,15	0,014	0,125	0,589	0,935	0,993

**Tafel 3.** Undissoziierter Anteil des im Wasser gelösten Ammoniaks in Abhängigkeit von pH-Wert und Temperatur nach Loehr u.a. [45].



Falls keine Nitrifikation stattfindet, liegt bei der aeroben Flüssigmistbehandlung der pH-Wert in der Gegend von 8 oder 9. Deshalb ist versucht worden, durch Zusatz von Schwefelsäure [46] oder Salpetersäure [47] den pH-Wert und damit die Desorption zu senken. Für den stark gepufferten Flüssigmist sind aber unwirtschaftlich große Säuremengen erforderlich.

Mehr Erfolg verspricht eine Steigerung der Sauerstoffausnutzung der dem Flüssigmist zugeführten Luft. Die Ammoniakdesorption geht viel schneller vor sich als die Nutzung des in der Luft vorhandenen Sauerstoffs. Steigt beispielsweise eine Luftblase in ammoniakhaltigem Wasser auf, so ist sie nach verhältnismäßig kurzem Weg schon nahezu ammoniakgesättigt, während bis dahin nur ein kleiner Teil des Sauerstoffs der Luftblase in das Wasser übergegangen ist. Bild 2 stellt dies nach einer Rechnung unter bestimmten Annahmen dar, die auf Angaben in [45] und [8] fußen [48]. Nicht berücksichtigt wurde der Sauerstoffübergang bei der Blasenbildung.

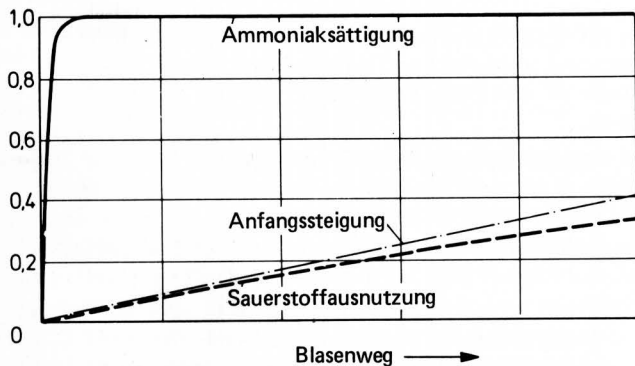


Bild 2. Ammoniakaufnahme und Sauerstoffabgabe einer in ammoniakhaltigem Wasser aufsteigenden Luftblase nach einer Modellrechnung ohne Berücksichtigung des Stoffübergangs bei der Blasenbildung.

Die Sauerstoffabgabe der Luftblase je Wegstrecke nimmt nur langsam ab, der Energieaufwand für den Übergang einer bestimmten Sauerstoffmenge infolgedessen nur langsam zu. Intensivere Nutzung der zugeführten Luft, beispielsweise im mehrmaligen Durchgang, vermindert die notwendige Frischluft- und infolgedessen auch die ammoniakgesättigte Abluftmenge und somit die Ammoniakemission. Dies war in [5] ein Grund dafür, daß der Leitrohr-Saugbelüfter (Belüfter II) wesentlich niedrigere Ammoniakemissionen aufwies als der Schildsaugbelüfter (Belüfter I), obwohl die Verringerung des kühlenden Luftstromes eine Temperaturerhöhung bewirkte, die an sich die Ammoniakemission wiederum fördert.

#### 2.4.2 Biologische Festlegung des Stickstoffs

Durch Zugabe kohlenstoffreicher, stickstoffarmer Stoffe kann das im Mist vorhandene und bei der Fermentation entstehende Ammoniak in Bakterienmasse festgelegt werden. *Nebiker* [49, 50] verwandte dazu Zucker, Melasse, Strohmehl, Sulfitablage oder gemahlene Hausmüll. Der behandelte Mist muß entweder sofort ausgebracht oder im Lagerbehälter weiter belüftet werden, weil sonst die Bakterienmasse autolytisch und Geruchsstoffe emittiert. *Nebiker* betrachtet das Verfahren vor allem als Düngeraufwertung, außerdem als Möglichkeit der Gewinnung einer eiweißreichen Futtermittelkomponente.

#### 2.4.3 Nitrifikation und Denitrifikation, Auffangen des Ammoniaks

Die Nitrifikation des Ammoniaks zu Nitrit oder Nitrat beendet ebenfalls die Ammoniakemission. Wird das Substrat anschließend nicht mehr belüftet, so tritt Denitrifikation mit geruchloser Stickstoffabgasung ein. Diese Sequenz Nitrifikation-Denitrifikation ist

ein umweltfreundliches Stickstoffbeseitigungsverfahren, normalerweise ist sie wegen des N-Verlustes aber nicht erwünscht. Nitrifikation und Denitrifikation traten auch in eigenen Versuchen in Erscheinung, die der Erprobung des Warm- und Heißverfahrens galten [5, 51].

In einer halbtechnischen Anlage mit diskontinuierlicher Beschickung wurde Rinderflüssigmist belüftet. Bei Temperaturen über 40 °C dominierten langandauernde intensive Ammoniakemissionen. Unterhalb 40 °C wurde in verdünntem Substrat die Nitrifikation innerhalb von 10 bis 20 Tagen erreicht. Sie blieb auch bei Erhöhung des TM-Gehaltes im Gange. Es war nur noch ein schwacher, nicht unangenehmer Kompostgeruch wahrzunehmen. Nach jeder neuen Charge trat für höchstens einen Tag wieder typischer Mistgeruch auf. Während dieser Zeit war kein gelöster Sauerstoff feststellbar, die Atmungsaktivität lag sehr hoch [52]. Vom folgenden Tag an stieg der O<sub>2</sub>-Gehalt von zunächst 1–2 mg/l auf 4 mg/l und mehr. Der durch die Flüssigmistzugabe erhöhte Ammoniakgehalt sank in ein bis zwei Tagen wieder auf einen niedrigeren Wert ab, während der durch die Zugabe verminderte Gehalt an oxidiertem Stickstoff die alte Höhe erreichte oder überstieg. Die Leistungsdichte der Belüftung lag mit 200–300 W/m<sup>3</sup> sehr hoch. Auf die Intensität der Emission übte die Belüfterkonstruktion einen wesentlichen Einfluß aus.

Hörte in einem Behälter, in dem sich Nitrit oder Nitrat gebildet hatte, die Belüftung auf, so kam es rasch zur Denitrifikation und damit zu einer – allerdings geruchlosen – Stickstoffabgasung. Denitrifikation trat auch gleichzeitig mit der Nitrifikation im selben Behälter auf, wenn er ungenügend durchlüftete Bereiche, beispielsweise Ablagerungen, aufwies.

Um die nur in der Heißbehandlung erreichbare Hygienisierung mit der Nitrifikation zu verbinden, wurden zwei Stufen hintereinander angeordnet mit Heißbehandlung in der ersten und Nitrifikation in der zweiten Stufe. Bei einer Gesamtverweilzeit von 17 Tagen wurde der CSB des Rindermistes mit 6 % TM-Gehalt um 40 % vermindert und eine Stabilität von 3–13 Wochen erreicht. Es zeigte sich die Tendenz besserer Stabilität des Behandlungsproduktes bei höherem Gehalt an oxidiertem Stickstoff. Substrate von 2–3 % TM-Gehalt blieben 13–16 Wochen lang beinahe geruchlos.

Hierbei konnten die Ammoniakemission der Heißfermentationsstufe durch Überleiten des Abgases in die Nitrifikationsstufe unwirksam gemacht und Stickstoffverluste vermieden werden, Bild 3.

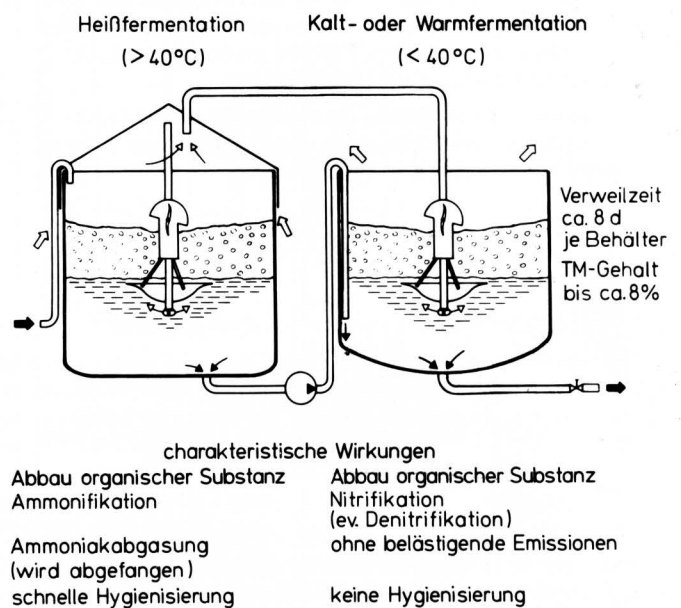


Bild 3. Zweistufige Fermentation mit Überleitung der Abluft der ersten Stufe in die zweite.

Wird Flüssigmist, der oxidierten Stickstoff enthält, in der Vegetationszeit aufs Feld gebracht, so ist seine Ausnutzung gut, und es treten keine Pflanzenverätzungen durch Ammoniak auf. In der kalten Jahreszeit kann oxidiertes Stickstoff jedoch im Boden versickern und das Grundwasser gefährden.

### 3. Belüftungstechnik

In der aeroben Flüssigmistbehandlung werden Oxidationsgräben oder Becken verwendet, zumeist runde Lagerbehälter mit etwa 150–1 000 m<sup>3</sup> Inhalt. Oxidationsgräben oder Rundbecken können unter dem Spaltenboden des Stalles angeordnet sein. In den Niederlanden werden rechteckige Erdbecken mit 3 000 m<sup>3</sup> Fassungsvermögen von schwimmenden Oberflächenkreislern belüftet [53]. Besondere Prozeßbehälter mit kleinem Volumen, beispielsweise 40 m<sup>3</sup>, sind Sonderfälle. Mit Tropfkörpern wird in England und Frankreich experimentiert [54, 55].

Die meisten Belüftungseinrichtungen sind der Abwassertechnik entlehnt. Druck- und kombinierte Belüftung spielen allerdings bisher keine große Rolle.

Als Besonderheit hat der Saugbelüfter in verschiedenen Formen Eingang gefunden. Bild 4 und 5 zeigen zwei Prototypen, einen Schild- und einen Leitrohr-Saugbelüfter. Der Rotor saugt von oben Luft, von unten Wasser an und vermischt beide intensiv miteinander. Der Leitrohr-Saugbelüfter zieht außerdem Schaum ein. Für Oxidationsgräben werden Saugbelüfter mit schräg liegender Welle angeboten, deren Umwälzorgan als Propeller oder Wendel ausgebildet ist [56].

Wenn ein Belüfter für einen bestimmten Prozeß hinreichend Sauerstoff einträgt, so ist damit gerade beim Flüssigmist noch keineswegs gewährleistet, daß die von ihm bewirkte Umwälzung zur Suspendierung ausreicht. Die Relation zwischen dem Energiebedarf für die Sauerstoffzufuhr und dem für die Umwälzung ändert sich überdies mit der Verweilzeit, wie dies Wong-Chong u.a. [57] im Hinblick auf den Oxidationsgraben schematisch darstellen, Bild 6. Der Energiebedarf für die Sauerstoffzufuhr steigt degressiv an, der für die Umwälzung proportional und übersteigt deshalb bald den der Sauerstoffzufuhr.

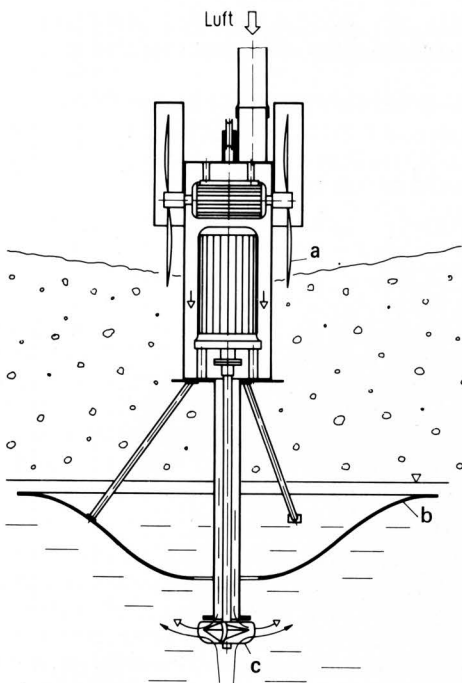


Bild 4. Schildsaugbelüfter System Fuchs.

- a Schaumschneider
- b Leitschild
- c Schaufelradrührer

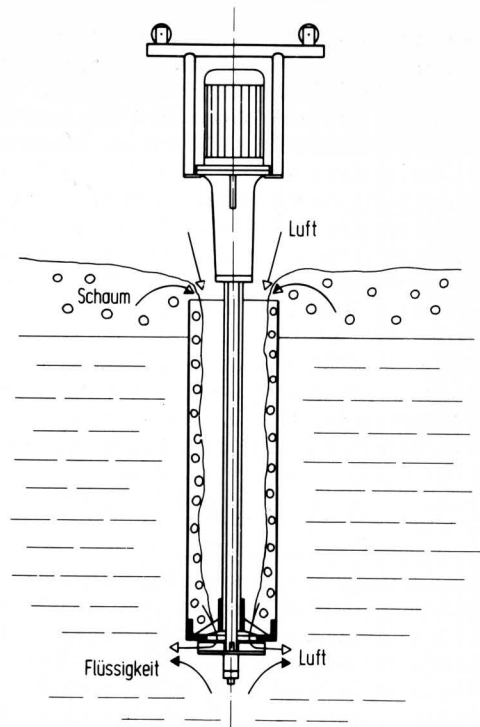


Bild 5. Leitrohr-Saugbelüfter System Peters.

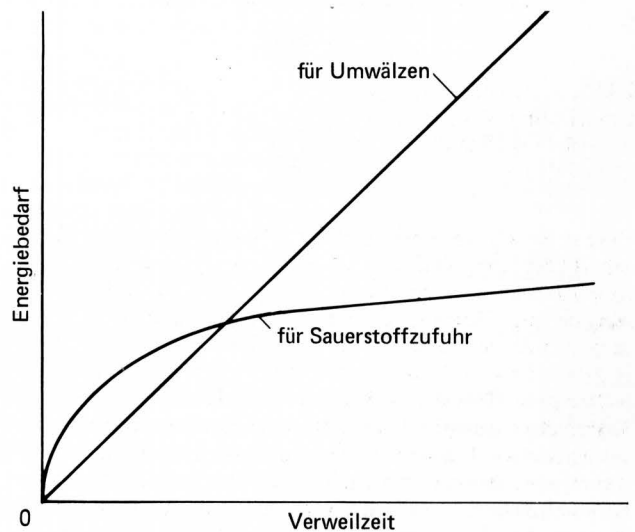


Bild 6. Energiebedarf für Umwälzung und Belüftung nach Wong-Chong u.a. [57].

#### 3.1 Umwälzung

Die Umwälzung soll homogenisieren und Ablagerungen verhindern. Wieweit Ablagerungen zulässig sind, darüber herrscht noch keine Klarheit, auch hängt dies von den jeweiligen Anforderungen ab.

Die im Sediment stattfindenden anaeroben Zersetzungen bringen oberflächenaktive Produkte hervor [13], die auch dann Schaum bilden, wenn ausreichende Sauerstoffzufuhr der oberen Schichten starke Geruchsemissionen verhindert. Für Belüftungsanlagen unter dem Stall ist dieser Gesichtspunkt besonders wichtig, weil Übersäumen die Tiere gefährdet. Die Denitrifikation in Ablagerungen wurde schon erwähnt. Die bei der Belüftung wahrzunehmenden unangenehmen Gerüche dürften wenigstens z.T. auf Ablagerungen zurückzuführen sein. Wird Sediment aufs Feld gebracht, so verursacht es auch dort kräftige Emissionen.

Verschiedene Faktoren verlangen beim Flüssigmist einen höheren Energieeinsatz als beim Abwasser, will man Absetzungen vermeiden. Der Gehalt an groben Partikeln liegt hoch. Sandfänge lassen sich nicht vorschalten. So treten nicht nur organische, sondern auch mineralische Feststoffpartikel auf. Für Rinderflüssigmist mit 5–11 % TM-Gehalt sind als scheinbare Zähigkeit 0,2–6 Pa s gemessen worden [58, 59]. Die durchschnittliche Dichte der getrockneten Kotpartikel von Rindern liegt bei 1 500, von Hühnern bei 1 500 bis 1 800 kg/m<sup>3</sup> je nach Legetätigkeit [60 bis 64] gegenüber 1 200 bei den Schwebestoffen kommunaler Abwässer [8]. Je nach Tierart, Fütterung und dergleichen, können 50 % der Trockenmasse aus Partikeln über 0,1–0,3 mm bestehen [58, 60 bis 63].

Zur Abschätzung der zur Suspendierung erforderlichen Rührerleistung wurden die von *Kneule* und *Weinspach* [65] angegebenen Formeln verwendet. Als Kriterium für die ausreichende Suspendierung ist dort die Bedingung gewählt, daß Feststoffanhäufungen nicht länger als 1 s am Behälterboden liegen bleiben dürfen. Die Rechnung wurde durchgeführt für die in [65] genannten geometrischen Verhältnisse:

$$\text{Behälterdurchmesser} = \text{Flüssigkeitshöhe}$$

$$\text{Behälterdurchmesser} = 3 \text{ bis } 3,5 \text{ mal Rührerdurchmesser.}$$

Als Behandlungsgut sind 10 m<sup>3</sup> Rinderflüssigmist mit 6 % TM-Gehalt, davon 2/3 in Partikeln organischen Ursprungs, unterstellt. Aus der Annahme, daß diese Partikel 80 % Wasser enthalten, folgt für sie eine Dichte von 1 070 kg/m<sup>3</sup>. Da die Flüssigkeit mit Luftblasen durchsetzt ist, wurde eine verhältnismäßig niedrige Viskosität angesetzt, **Tafel 4**, die auch die übrigen Annahmen enthält.

		Kot	Sand
Partikelgröße	mm	0,3	0,3
Partikel-TM-Gehalt	%	4	0,5
Feuchtpartikelmasse-Gehalt	%	20	0,5
Partikeldichte	kg/m <sup>3</sup>	1 070	2 600
		Flüssigmist	Wasser
Viskosität	Pa s	0,1	0,001

**Tafel 4.** Annahmen für die Suspendierungsrechnung.

**Tafel 5** zeigt, daß nach dieser Rechnung zum Suspendieren von Kotpartikeln in Flüssigmist eine Leistungsdichte von 81 W/m<sup>3</sup> beim Flachboden und etwa vom halben Wert beim Klöpperboden erforderlich sind. In eigenen Versuchen [5] wurden beim Flachboden 200–300 W/m<sup>3</sup> benötigt. Abgesehen davon, daß die zugrundegelegten Daten grobe Schätzungen sind, ist dieser Unterschied hauptsächlich darauf zurückzuführen, daß der Rührerdurchmesser nur etwa ein Fünftel des optimalen betrug und die fasrigen Partikel des Rindermistes sehr von der Kugelform abweichen. Beim Übergang vom Flach- zum Klöpperboden konnte in den Versuchen bei gleicher Leistungsdichte der TM-Gehalt von 6 auf über 9 % gesteigert werden, bis die Denitrifikation eintrat, die als ein scharfes Kriterium für die Sedimentation organischer Stoffe angesehen werden kann. Dies bestätigte den Vorzug des Klöpperbodens für das Suspendieren. Das Suspendieren von Sandkörnern im Flüssigmist verlangt nach der Rechnung bei einem Sandanteil von 1/2 % die fünffache Leistungsdichte. Dies entspricht den Versuchserfahrungen, daß sich ein Ablagern von Sand mit den üblichen Belüftern auch bei günstigster Einstellung nicht vermeiden läßt.

Die Übertragung von Versuchen mit Rindermist auf Flüssigmist von Schweinen oder Hühnern ist wegen der anderen Form und Dichte der Partikel nicht ohne weiteres möglich.

Die Belüfter arbeiteten in den Versuchen dicht über dem Behälterboden. Bei höher angeordnetem Belüfter, insbesondere beim Oberflächenbelüfter, sind beim Flüssigmist Absetzungen im allgemeinen nur bei geringer Flüssigkeitstiefe zu vermeiden.

Art der Flüssigkeit	Art der Partikel	Form des Behälterbodens	Leistungsdichte W/m <sup>3</sup>
Flüssigmist	Kot	flach	81
		Klöpper	44
	Sand	flach	380
		Klöpper	210
Wasser	Kot	flach	24
		Klöpper	13
	Sand	flach	44
		Klöpper	23

**Tafel 5.** Zum Suspendieren erforderliche Leistungsdichte, errechnet nach [65] mit den Daten der Tafel 4 für optimalen Durchmesser und optimale Einstellung eines als offene Doppelturbine ausgebildeten Rührers bei 10 m<sup>3</sup> Flüssigkeitsvolumen.

In der Praxis wird in Rundbehältern teilweise mit 10 W/m<sup>3</sup> und weniger gearbeitet unter Inkaufnahme entsprechender Unzuverlässigkeiten.

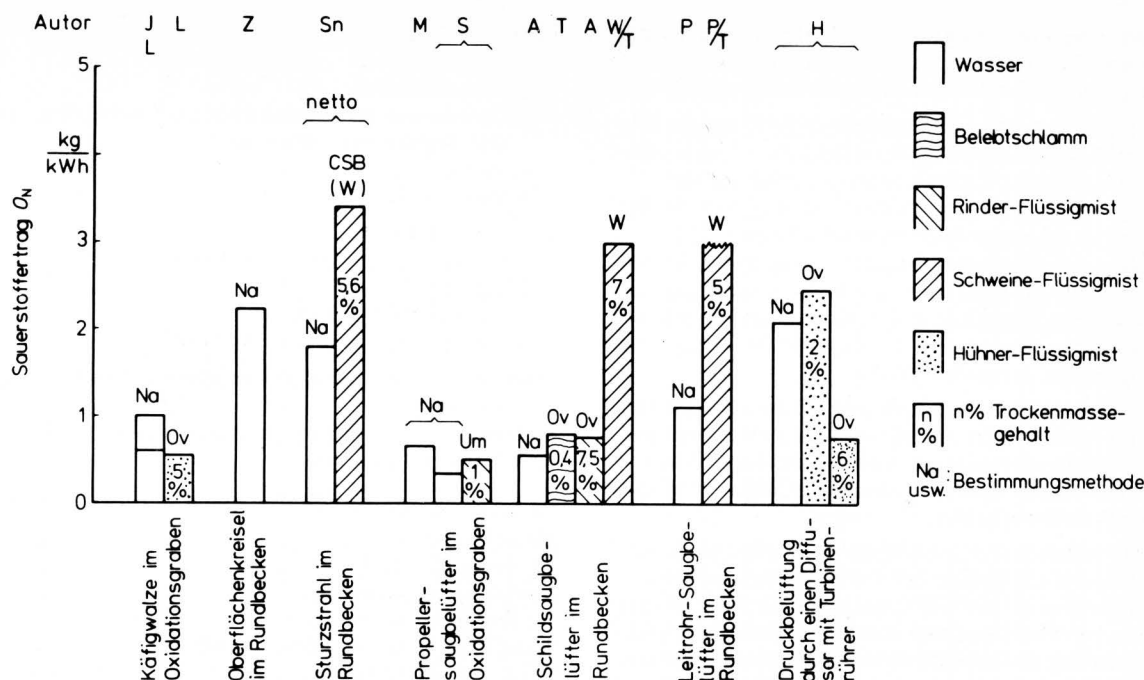
Für den Oxidationsgraben wird zur Vermeidung von Absetzungen eine Mindestströmungsgeschwindigkeit von 0,40 m/s gefordert [13]. Zum Aufrechterhalten dieser Geschwindigkeit wäre in einem von *Simons* [11] beschriebenen Beispiel mit Wasser als Flüssigkeit theoretisch eine Leistungsdichte von 3,5 W/m<sup>3</sup> erforderlich. Der Wirkungsgrad der Substratumwälzung durch Belüfter beträgt aber nur 0,6–1 %, *Simons* errechnete für seinen Graben sogar nur 0,57 %. Es werden also Bruttoleistungsdichten von 350–600 W/m<sup>3</sup> erforderlich, d.h. noch höhere als beim Rundbehälter. Hier könnte nach dem Vorschlag von *Böhnke* und *Kalbskopf/Londong* [66, 67] eine Herabsetzung des Energiebedarfs durch die Aufteilung der Funktionen Umwälzung und Belüftung auf zwei Geräte versucht werden.

### 3.2 Sauerstoffversorgung

Nach *Hashimoto* und *Chen* [68] ist die Sauerstofflöslichkeit in Hühnergülle bis zu 6 % TM-Gehalt etwa die gleiche wie in Wasser. *Robinson u.a.* [69] stellten in Schweineharn nur eine sehr geringe Sauerstofflöslichkeit fest.

Die im Schrifttum angegebenen oder aus ihm errechneten Sauerstoffertragswerte von Einrichtungen für die Flüssigmistbelüftung sind in **Bild 7** in Auswahl dargestellt. Die Sauerstofferträge sind in der Regel als Sauerstoffzufuhr bezogen auf die Bruttoleistung gegeben, für den Sturzstrahl standen jedoch nur auf Nettoleistung bezogene Werte zur Verfügung. Bei Wasser weisen die Belüftungseinrichtungen ähnliche Sauerstofferträge auf wie die entsprechenden Einrichtungen der Abwassertechnik. Beim Übergang zum Flüssigmist werden die Erträge teilweise kleiner, teilweise größer, wobei Erhöhungen auf den zwei- bis mehr als dreifachen Wert auftreten.

Diese starken Unterschiede können durch die Substratkonzentration verursacht sein, wie das letzte Säulentripel zeigt. Einen großen Einfluß übt die Geräteart aus. Beispielsweise tragen Saugbelüfter in Wasser relativ wenig Sauerstoff ein, in Flüssigmist in bestimmten Fällen sehr viel mehr, wobei die Leistungsdichte eine Rolle zu spielen scheint. Die beiden mittleren Säulen des Schildsaugbelüfters sind bei etwa der fünffachen Leistungsdichte ermittelt verglichen mit der rechten Säule. Dies deckt sich mit Feststellungen verschiedener Autoren [68, 74, 77], die auch an anderen Belüftungseinrichtungen einen Abfall des Sauerstoffertrages mit zunehmender Leistungsdichte fanden.



**Bild 7.** Sauerstoffträge verschiedener Belüftungseinrichtungen in Wasser und Flüssigmist.

Autoren (Buchstaben am oberen Bildrand)

A	Ahlers	[70]	P	Pöpel	[73]
H	Hashimoto u. Chen	[68]	S	Simons	[11]
J	Jones u.a.	[13]	Sn	Sneath	[74]
L	Loehr u.a.	[71]	T	Thaer u.a.	[5]
M	Mitchell	[72]	Z	Zeisig	[76]

P/T Schätzwert von Thaer nach Temperaturangaben bei Pöpel [73]

W/T Schätzwert von Thaer nach Temperaturangaben bei Wolfermann u.a. [75]

Methoden der Bestimmung der Sauerstoffzufuhr (Buchstaben an den Säulen)

CSB Ermittlung aus der Abnahme des CSB-Wertes

Na Messung des Anstiegs der Sauerstoffkonzentration in Wasser, das vor Meßbeginn mit Natriumsulfit sauerstofffrei gemacht wurde.

Ov Aus Messungen der Sauerstoffkonzentration unter Berücksichtigung des Sauerstoffverbrauches durch mikrobielle Atmungsaktivität.

Um Messung der Sauerstoffkonzentrationsabnahme beim Umlauf.

W Ermittlung aus der Wärmebilanz.

In die Unterschiede gehen aber offensichtlich auch Einflüsse der Bestimmungsmethoden ein, vielleicht auch Unterschiede im biologischen Stadiums des Substrates. Während die niedrigen Werte durch Messung des Sauerstoffgehaltes unter Beachtung der Sauerstoffatmung Ov oder der Sauerstoffabnahme beim Umlauf ermittelt wurden, stammen die hohen Säulen mit einer Ausnahme aus der Bestimmung des CSB-Abbaues oder der Wärmeerzeugung. Hierzu wurde die frei werdende Wärme aus dem Temperaturanstieg beim Versuchsanlauf oder bei neuen Chargen unter vorsichtiger Abschätzung der Wärmeverluste errechnet und die aufgenommene Sauerstoffmenge über den Wert  $14,5 \text{ J/g } O_2$  ermittelt.

Welche Erklärungen gibt es für die große Streuung der Wechselwirkung von Gerät und Medium und die zum Teil ungewöhnlich hohen Erträge im Flüssigmist? Eine Erhöhung der Sauerstoffzufuhr haben Zlokarnik [78] mit einem Hohlbelüfter und Pöpel [79] mit einem Leitrohrsaugbelüfter in elektrolythaltigem Wasser festgestellt, siehe auch [80].

Die Zufuhr ging bei der Salzkonzentration  $15 \text{ g/l}$  auf das 5,5fache hinauf. Zlokarnik erklärt dies damit, daß die Koaleszenzfähigkeit der Gasblasen verringert wird. Dieser Effekt kann sich aber nur dort auswirken, wo durch den Belüfter von vornherein kleine Blasen gebildet werden, wie das beispielsweise beim submersen Saugbelüfter der Fall ist.

Ein weiterer Grund ist in der hohen Viskosität des Flüssigmistes zu suchen. Diese übt zwar dadurch, daß sie die Turbulenz verringert, einen negativen Einfluß auf die Sauerstoffzufuhr aus. Sie verlangsamt aber auch den Blasenauftstieg, so daß die Zeit für den Stoffübergang länger wird. Die niedrige Blasengeschwindigkeit kann außerdem zu Fehlern in der Bestimmung der Sauerstoffzufuhr führen. Nach Abstellen der Belüftung wird aus den Blasen immer noch Sauerstoff nachgeliefert, so daß die Atmungsaktivität zu niedrig ermittelt wird. Möglicherweise sind die niedrigen Werte für Flüssigmist teilweise darauf zurückzuführen. Deshalb erscheint die Bestimmung der Sauerstoffzufuhr aus der Abnahme des CSB- oder der Wärmeerzeugung zuverlässiger, falls diese exakt zu erfassen sind.

Als dritter Grund für die hohen Werte kann die allerdings strittige Hypothese von Tsao [81, siehe dagegen 82] angeführt werden, nach der das Vorhandensein von Bakterien in der Grenzschicht Luft/Flüssigkeit den Stoffübergang erhöht.

Diese Erklärungsversuche sind aber nicht ausreichend. Dem Mechanismus der Sauerstoffzufuhr in Flüssigmist sollte weiter nachgegangen werden.

### 3.3 Schaumbekämpfung

Die Schaumbildung soll trotz ihrer großen Bedeutung für einen störungsfreien Betrieb mangels Kompetenz hier nicht behandelt werden. Die Bekämpfung des Schaumes durch Schaumschneider hat sich nicht sonderlich bewährt, sie bringt durch Verspritzten Unannehmlichkeiten mit sich. Eleganter ist der Schaumeinzug durch ein Leitrohr, wie es bestimmte Ausführungen der Saugbelüfter tun. Insbesondere in großen Behältern besteht aber die Gefahr, daß der Schaum nicht genügend nachfließt. Auch ist darauf zu sehen, daß die Sauerstoffzufuhr durch den Schaumeinzug nicht beeinträchtigt wird.

### 4. Prozeßführung

Einige Gedanken seien noch unter Beschränkung auf einfache Systeme zur Prozeßführung geäußert. Eine über Wochen oder gar Monate anhaltende Stabilität ist, wenn überhaupt, nur mit sehr großem Aufwand und bei hohen Stickstoffverlusten zu erzielen. Deshalb begnügt man sich heute fast überall mit einer Kurzzeitstabilität; es muß dann aber bis zum Zeitpunkt der Ausfuhr belüftet werden. Die Belüftung kann über die ganze Lagerzeit hinweg unter dauernder Erfassung des gesamten Behälterin-



haltes stattfinden. Dieser Weg ist ebenfalls sehr energieaufwendig und mit hohen Stickstoffverlusten verknüpft. Deshalb geht das Bestreben dahin, die Belüftung zeitlich oder örtlich zu begrenzen.

Zunächst wurde die zeitlich intermittierende Belüftung gewählt [76]. Während der anaeroben Phasen entwickeln sich aber belästigende Gase, die beim Wiedereinsetzen der Belüftung nicht rasch genug abgebaut, sondern emittiert werden. Ein im Behälter umlaufender schwacher Belüfter, wie ihn *Vasseur* [55] in Frankreich betreibt, erscheint vorteilhafter, weil in der Umgebung des Belüfters die Aerobie erhalten bleibt. Unabhängig von der französischen Entwicklung sind in Völknerode Versuche angefallen, die zeigen sollen, wieweit die Nachteile der intermittierenden Belüftung dabei vermieden werden.

Dem genannten im Prinzip verwandt ist ein System mit getrenntem kleinem Prozeßbehälter, durch den ständig Flüssigmist aus dem Lagerbehälter hindurch- und wieder in den Lagerbehälter zurückläuft. Jedoch wäre der Aufwand und die Gefahr der Mikroorganismen-Auswaschung größer.

Ein anderer vielfach schon praktizierter Weg besteht darin, mit der Belüftung erst eine gewisse Zeit vor der Ausfuhr zu beginnen (Schlußbelüftung). Bei Belüftungsbeginn entstehen sehr kräftige Emissionen. Vielleicht findet sich eine praktikable Möglichkeit, die Belüftung sehr schwach zu beginnen, um zunächst eine Aerobierpopulation aufzubauen, und die Belüftung dann langsam zu steigern, bis der gesamte Behälterinhalt samt Sediment erfaßt wird. Hier bietet sich auch die Verwendung technisch reinen Sauerstoffs an.

Als eine Alternative der Schlußbelüftung kann an einen besonderen Prozeßbehälter gedacht werden, der im kontinuierlichen Verfahren arbeitend das behandelte Substrat unmittelbar an Tankwagen zur Ausfuhr abgibt. Selbst wenn man den Prozeßbehälter mit reinem Sauerstoff betreibt und dadurch nach *Ogilvie* [41] die Verweilzeit auf 10 h drückt, wird dieser Behälter sehr groß. Er muß beispielsweise bei einer Ausfuhr mit 10 Minuten Zeitabstand den 60-fachen Inhalt des Tankwagens aufnehmen können.

Unabhängig von diesen Alternativen oder in Kombination mit ihnen kann eine der Belüftung vorgeschaltete Grobstoffabtrennung den Energieaufwand für die Belüftung verringern. Im benachbarten Ausland wird dieser Weg schon oft beschritten. Er führt auf zwei parallel laufende Verfahrenslinien für die Weiterbehandlung. Wegen seiner Investitionskosten ist er nur für größere Betriebe gangbar [53, 55]. Außerdem entstehen beim Trennen Geruchsemissionen.

Eine mit den Geruchsemissionen und den Stickstoffverlusten eng verknüpfte Frage ist die nach der optimalen Temperatur und deren Steuerung. Sofern eine Bekämpfung von Krankheitserregern ins Auge gefaßt wird, ist eine Temperatur von 40 °C und darüber erforderlich, je nach Verweilzeit und pH-Wert.

## 5. Schluß, Aufzählung der Probleme

In diesen Ausführungen sind keineswegs alle Probleme der aeroben Flüssigmistbehandlung angeschnitten worden. Im Hinblick auf die Weiterentwicklung des Verfahrens erscheint die Verfolgung nachstehender Fragen als besonders wichtig.

### Grundlagenfragen

1. Abhängigkeit der Sauerstoffzufuhr von Substrateigenschaften und -zustand
2. Notwendige Sauerstoffversorgung zur Vermeidung von Geruchsemissionen
3. Temperatureinfluß
4. Notwendiger Abbau zur kurz- und langfristigen Stabilisierung
5. Auswirkungen von anaeroben Vorphasen und Belüftungsunterbrechungen auf Geruchsemissionen
6. Auswirkung der Sedimentation auf die Geruchsentwicklung
7. Schaumbildung

### Technische Fragen

1. Umwälzung
2. Sauerstoffzufuhr
3. Optimierung der Relation zwischen Sauerstoffzufuhr und Abgasen von Ammoniak
4. Steuerung der Temperatur
5. Schaumbekämpfung

### Verfahrensfragen

1. Auswirkung der Grobstoffabtrennung auf den Prozeß
2. Schlußbelüftung
3. Umlaufende Belüftung
4. Verwendung von reinem Sauerstoff

### Fragen zur Beurteilung des Behandlungsproduktes

1. Düngerwert
2. Pflanzenverträglichkeit bei Kopfdüngung
3. Eignung zur Verregnung

Nachdem erwiesen ist, daß eine weitgehende Geruchsfreiheit des Behandlungsproduktes erreicht werden kann, siehe z.B. [83], sind als vordringlich die Fragen anzusehen, deren Beantwortung eine Verringerung des Energieaufwandes unter Vermeidung belästigender Prozeßemissionen verspricht. Zunächst sind hierfür die Punkte 1 und 2 der technischen Fragen sowie 1 bis 4 der Verfahrensfragen zu nennen. Um diese Fragen optimal zu lösen, müssen aber auch Grundlagenfragen geklärt werden, vornehmlich von den oben aufgeführten die Punkte 1, 2, 5 und 6. Im Hinblick auf die Zukunftsaussichten des Verfahrens verdienen die Punkte 1 und 2 der Beurteilungsfragen ebenfalls Vorrang.

Diese und die übrigen Probleme verlangen Parallel- und Zusammenarbeit von Angehörigen verschiedener Disziplinen — Biologen, Physiker, Verfahrenstechniker, Maschinenbauer und Landwirte —. Nur so kann es gelingen, alle Möglichkeiten des Verfahrens auszuschöpfen.

### Verwendete Formelzeichen

B	$g \cdot g^{-1} d^{-1}$	Belastungsrate, der tägliche Zulauf an abbaubaren Inhaltsstoffen — gemessen als CSB — bezogen auf die organische Masse der Mikroorganismen im Reaktor
$c_B$	g/l	Konzentration der mikrobiellen Zellmasse
$c_S$	g/l	Substratkonzentration
$c_{S0}$	g/l	Konzentration des Substrats im Zulauf oder zu Beginn
$c_T$	g/l	Konzentration an Trockenmasse
$K_S$	g/l	Limitierungskonstante der <i>Monod</i> -Gleichung
$k_1$	$d^{-1}$	Geschwindigkeitskonstante einer Reaktion erster Ordnung
$k_d$	$d^{-1}$	Spezifische mikrobielle Zerfallrate
t	h oder d	Zeit
$t_R$	d	Verweilzeit
Y	g/g	Ertragskoeffizient der Zellmasse
$\gamma_B$	g/g	Umwandlungsfaktor zur Berechnung des zur chem. Oxidation der mikrobiellen Zellmasse erforderlichen Sauerstoffes
$\gamma_S$	g/g	Umwandlungsfaktor zur Berechnung des zur chem. Oxidation des Substrates erforderlichen Sauerstoffes
$\sigma$	{ gleiche Dimension wie zugehöriger Mittelwert }	Standardabweichung
$\mu$	$h^{-1}$ oder $d^{-1}$	Spezifische mikrobielle Wachstumsrate
$\mu_{max}$	$h^{-1}$ oder $d^{-1}$	Maximale spezifische mikrobielle Wachstumsrate

## Schrifttum

Bücher sind durch ● gekennzeichnet

- [1] *Huber, L.*: Biologische Abwasserreinigung mittels der Fermentertechnik. Wasser- und Abwasser-Forschung Bd. 5 (1972) S. 172/75.
- [2] *Baader, W., R. Thær u. H. Traulsen*: Verfahren zur Behandlung von Abfällen der tierischen Produktion. Berichte über Landwirtschaft Bd. 50 (1972) Heft 3, S. 612/27.
- [3] ● *Rager, K.Th.*: Abwassertechnische und wasserwirtschaftliche Probleme der Massentierhaltung. KTBL-Bauschrift Heft 11, Frankf./M. 1971, 173 S.
- [4] *Witzel, S.A., E. McCoy, L.B. Polkowski, O.J. Attoe u. M.S. Nichols*: Physical, chemical and bacteriological properties of farm wastes (bovine animals). ASAE Publication No. SP-0366<sup>1)</sup> S. 10/14
- [5] *Thær, R., R. Ahlers u. K. Grabbe*: Behandlung von Rinderflüssigmist 1. Teil: Behandlung in aeroben Verfahren mit erhöhten Temperaturen. Berichte über Landwirtschaft Bd. 192 (1975) S. 836/81.
- [6] *O'Callaghan, J.R., V.A. Dodd, P.A.J. O'Donoghue u. K.A. Pollock*: Characterization of waste treatment properties of pig manures. Journ. agric. Engng. Res. Bd. 16 (1971) S. 399/419.
- [7] *Taiganides, E.P. u. T.E. Hazen*: Properties of farm animal excreta. Transactions ASAE Bd. 9 (1966) S. 374/76.
- [8] ● *Imhoff, K. u. K.R. Imhoff*: Taschenbuch der Stadtentwässerung. 24. Aufl., München-Wien: Oldenbourg 1976.
- [9] *Baader, W.*: Aerobe Behandlung von Reststoffen aus der Tierproduktion – Reaktionsführung in flüssigen und festen Systemen – ; Einführung. Grundl. Landtechnik Bd. 28 (1978) Nr. 2, S. 33/35.
- [10] *Bardtke, D., J. Sekoulov u. U. Laur*: Untersuchungen über die aerobe biologische Abbaubarkeit von Schweinegülle. Landtechn. Forschung Bd. 19 (1971) S. 169/72.
- [11] ● *Simons, D.*: Der Oxydationsgraben zur Aufbereitung von Flüssigmist, Grundlagen und Anwendung. Diss. Bonn 1976.
- [12] *Mudrack, K.*: Biologische Aufbereitung der flüssigen Abgänge der Massentierhaltung. Forschungsber. des Instituts f. Siedlungswasserwirtschaft T.U. Hannover 1976.
- [13] ● *Jones, D.D., D.L. Day u. A.C. Dale*: Aerobic treatment of Livestock wastes. Bulletin 737, Univ. of Ill. at Urbana-Champaign, College of Agriculture 1970, 55 S.
- [14] *Taiganides, E.P., R.K. White u. R.L. Strohshine*: Water and soil oxygen demand of livestock wastes. In: Livestock waste management and pollution abatement. Proc. Int. Symp. Livestock Wastes, St. Joseph/Mich.: ASAE 1971, S. 176/79.
- [15] *Ward, J.C. u. E.M. Jex*: Characteristics of aqueous solutions of cattle manure. Corn. Univ. Conf. on Agricultural Waste Management, Syracuse Jan. 69, S. 310/26.
- [16] ● *Loll, U.*: Stabilisierung hochkonzentrierter organischer Abwässer und Abwasserschlämme durch aerob-thermophile Abbauprozesse. Diss. T.H. Darmstadt 1974.
- [17] ● *Prakasam, T.B.S., R.C. Loehr, P.Y. Yang, T.W. Scott u. T.W. Batemann*: Design parameters for animal waste treatment systems. Environmental Protection Technology Series, EPA 660/2-74-063, Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency July 1974.
- [18] ● *Schlegel, H.G.*: Allgemeine Mikrobiologie. 3. Aufl. Stuttgart: Georg Thieme 1974.
- [19] *Woods, J.L. u. J.R. O'Callaghan*: Mathematical modeling of animal waste treatment. Journ. agric. Engng. Res. Bd. 19 (1974) S. 245/58.
- [20] *Owens, J.D., M.R. Evans, F.E. Thacker, R. Hisset u. S. Baines*: Aerobic treatment of piggery waste. Water Research Bd. 7 (1973) S. 1745/66.
- [21] *Woods, J.L. u. J.R. O'Callaghan*: A theoretical description of aerobic treatment. ASAE Publication Proc.-275<sup>2)</sup> S. 522/25.
- [22] *Nye, J.C., A.C. Dale u. D.E. Bloodgood*: Effect of temperature on aerobic decomposition of dairy cattle manure Transactions ASAE Bd. 14 (1971) S. 545/48.
- [23] *Bloodgood, D.E. u. C.M. Robson*: Aerobic storage of dairy cattle manure. Corn. Univ. Conf. on Agricultural Waste Management, Syracuse, Jan. 1969, S. 76/80.
- [24] *Husmann, W. u. F. Malz*: Untersuchungen zur biologischen Abwasserreinigung auf aerober thermophiler Grundlage. "gwf"-Wasser/Abwasser Bd. 100 (1959) S. 189/93.
- [25] *Rincke, G.*: Auftreten und Einfluß thermophiler Prozesse bei der aeroben Stabilisation. In: Behandlung u. Beseitigung von Abwasserschlämmen, Tagg. 28.4. – 30.4.1971 in Essen, bearb. von B. Böhnke, Inst. für Siedlungswasserwirtschaft T.H. Aachen, 1971. S. 25/36.
- [26] *Viehl, K. u. B. Meißner*: Über den Einfluß der Temperatur und der Jahreszeit auf die biologische Abwasserreinigung. Zbl. für Bakteriologie, Parasitenkunde u. Infektionskrankheiten. 2. Abt. Bd. 91 (1934/35) S. 14/39.
- [27] *Surucu, G.A., R.S. Engelbrecht u. E.S. Chian*: Thermophilic microbiological treatment of high strength wastewaters with simultaneous recovery of single cell protein. Biotechnology and Bioengineering Bd. 17 (1975) S. 1639/62.
- [28] *Simons, D.*: Über die Planungsgrundlagen der aeroben Flüssigmistaufbereitung. Grundl. Landtechnik Bd. 27 (1977) Nr. 6, S. 198/205.
- [29] *Grant, F.A.*: Liquid composting of dairy manure. ASAE Publ. Proc-275<sup>2)</sup> S. 497/500 u. 505.
- [30] *Schuchardt, F., W. Baader, H.W. Orth u. R. Thær*: Untersuchungen über die Möglichkeiten der Steuerung der Selbsterhitzung beim mikrobiellen Abbau organischer Reststoffe aus der landwirtschaftlichen Produktion mit dem Ziel maximaler Energieausbeute. Abschlußbericht des Instituts für Landmaschinenforschung der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft; BML. Ba. 137, Jan. 1978.
- [31] *Cooney, C.L., D.I.C. Wang u. R.I. Mateles*: Measurement of heat evolution and correlation with oxygen consumption during microbial growth. Biotechnology and Bioengineering Bd. 11 (1968) S. 269/81.
- [32] *Mateles, R.I.*: Calculation of the oxygen required for cell production. Biotechnology and Bioengineering Bd. 13 (1971) S. 581/82.
- [33] *Thær, R. u. K. Grabbe*: Flüssigmistfermentation mit Selbsterwärmung. Grundl. Landtechnik Bd. 26 (1976) Nr. 6, S. 215/21.
- [34] *Loll, U.*: Einfluß der Temperatur auf Sauerstoffzufuhr Abbau und Stabilisierung bei der Flüssigmistfermentation. Grundl. Landtechnik Bd. 28 (1978) Nr. 2, S. 60/64.
- [35] *Converse, J.C., D.L. Day, J.T. Pfeffer u. B.A. Jones*: Aeration with ORP control to suppress odors emitted from liquid swine manure systems. Livestock waste management and pollution abatement, Proc. Int. Symp. ASAE Livestock wastes, St. Joseph/Mich.: ASAE 1971, S. 267/71.
- [36] *Meijboom, F.W.*: Mündliche Mitteilung, siehe *Thær, R. u. F. Schuchardt*: Bericht über eine Dienstreise in die Niederlande vom 22. – 25. Nov. 1976 Institut für Landmaschinenforschung der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode.
- [37] *Ludington, D.C., D.E. Bloodgood u. A.C. Dale*: Storage of poultry manure with minimum odor. ASAE Paper 67-932, St. Joseph 1967.
- [38] *Bell, R.G.*: Aeration of liquid poultry manure; a stabilization process or an odour control measure? Poultry Science Bd. 50 (1971) S. 155/58.

- [39] *Hashimoto, A.G.*: Aeration of poultry wastes for odor and nitrogen control. Transactions ASAE Bd. 17 (1974) S. 978/82 u. 986.
- [40] *Poelma, H.R. u. W. Kroodsmas*: Equipment and techniques for manure treatment. FAO/ECE/AGRI/WP. 2/10, Report transmitted by the Government of the Netherlands. Economic Commission for Europe, United Nations, New York 1977.
- [41] *Ogilvie, J.R. u. A.C. Dale*: Short term aeration of dairy cattle manure for irrigation. In: Livestock waste management and pollution abatement, Proc. Int. Symp. Livestock Wastes. St. Joseph/Mich.: ASAE 1971, S. 283/85 u. 287.
- [42] *Hashimoto, A.G. u. Y.R. Chen*: Design criteria for turbine-air aeration of poultry wastes. Transactions ASAE Bd. 19 (1976) S. 1181/86.
- [43] *Hashimoto, A.G. u. J.H. Martin jr.*: Design considerations for aeration under caged hens. Transactions ASAE Bd. 17 (1974) S. 500/04.
- [44] *Kroeker, E.J. u. R.C. Loehr*: A design approach for the use of an oxidation ditch for livestock waste treatment. ASAE Publ. Proc.-275<sup>2</sup>, S. 517/21.
- [45] • *Loehr, R.C., T.B.S. Prakasam, E.G. Srinath u. Y.D. Joo*: Development and demonstration of nutrient removal from animal wastes. Report No. EPA-R2-73-095, Washington D.C.: Environmental Protection Agency 1973, 340 S.
- [46] *Grabbe, K.*: Mündliche Mitteilung
- [47] *Schuldt, E.*: In Isensee, E.: "Praktischer Einsatz von Geräten und Verfahren zur biologischen Flüssigdüngung in Lagerbehältern". Unveröff. Bericht des Instituts für Landwirtschaftliche Verfahrenstechnik der Univ. Kiel, Juli 1977.
- [48] *Thaer, R.*: Relation von Sauerstoffzufuhr und Ammoniakdesorption beim Aufsteigen einer Luftblase in ammoniakhaltigem Wasser. Interner Bericht Institut für Landmaschinenforschung der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig 1978.
- [49] *Nebiker, H.*: Neues Verfahren zur Aufbereitung von Flüssigdünger. Schweizerische Landwirtschaftliche Monatshefte Bd. 52 (1974) S. 57/87.
- [50] *Nebiker, H.*: Veredlung von Klärschlamm und Gülle durch mikrobiell gesteuerte aerobe Flüssigrotte. Chem. Rundschau Bd. 29 (1976) Nr. 47, S. 6/7.
- [51] *Grabbe, K., R. Thaer u. R. Ahlers*: Investigations on the procedure and the turn-over of organic matter by hot fermentation of liquid cattle manure. ASAE Publ. Proc.-275<sup>2</sup> S. 506/509.
- [52] *Thaer, R., R. Ahlers u. K. Grabbe*: Untersuchungen zum Prozeßverlauf und Stoffumsatz bei der Fermentation von Rinderflüssigmist bei erhöhten Temperaturen. Landbauforschung Völkenrode Bd. 23 (1973) S. 117/26.
- [53] *Jongebreuer, A.A.*: Flüssigmistbehandlung in den Niederlanden. Vortrag KTBL-Symposium "Praktische Erfahrungen mit Flüssigmist-Behandlungssystemen im In- und Ausland", Braunschweig-Völkenrode 17. Okt.1977, KTBL-Manuskriptdruck.
- [54] *Osborne, L.E. u. E.J. Mundy*: A farm plant for pig slurry treatment. Journ. agric. Engng. Res. Bd. 22 (1977) S. 405/20.
- [55] *Vasseur, J.*: Praktische Erfahrungen mit Systemen zur Flüssigmistbehandlung in Frankreich. Vortrag KTBL-Symposium "Praktische Erfahrungen mit Flüssigmistbehandlungssystemen im In- und Ausland", Braunschweig-Völkenrode 17.Okt.1977. KTBL-Manuskriptdruck.
- [56] • *Strauch, D., W. Baäder u. C. Tietjen*: Abfälle aus der Tierhaltung. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer 1977.
- [57] *Wong Chong, G.M., A.C. Anthonisen u. R.C. Loehr*: Comparison of the conventional cage rotor and jet-aeromix systems in oxidation ditch operations. Water Research Bd. 8 (1974) S. 761/68.
- [58] *Kumar, M., H.D. Bartlett u. N.N. Mohsenin*: Flow properties of animal waste slurries. Transactions ASAE Bd. 15 (1972) S. 718/22.
- [59] *Lommatzsch, R.*: Der Einfluß von Futterresten und Wasser auf die Fließigenschaften von Rindergülle. Deutsche Agrartechnik Bd. 19 (1969) S. 575/77.
- [60] *Frecks, G.A. u. C.B. Gilbertson*: The effect of ration on engineering properties of beef cattle manure. Transactions ASAE Bd. 17 (1974) S. 383/87.
- [61] *Sobel, A.T.*: Physical properties of animal manures associated with handling. ASAE Publ. No. SP-0366<sup>1</sup> S. 27/32.
- [62] *Harper, J.P., P.O. Ngoddy u. J.B. Gerrish*: Enhanced treatment of livestock wastewater. Journ. agric. Engng. Res. Bd. 19 (1974) S. 353/63.
- [63] • *Schuchardt, F.*: Einfluß des ökologischen Faktors "Struktur" auf die Kompostierung von Flüssigmist-Feststoff-Gemengen; dargestellt am Beispiel des Feststoffverfahrens. Landbauforschung Völkenrode, Sonderh. 38 (1977) 155 S.
- [64] *Schuchardt, F.*: Persönliche Mitteilung über Dichtebestimmung an Hühnerkot.
- [65] *Kneule, F. u. P.M. Weinspach*: Suspendieren von Feststoffpartikeln im Rührgefäß. Verfahrenstechnik Bd. 1 (1967) S. 531/40.
- [66] *Böhnke, B.*: Kompaktkläranlage für schnell wachsende Gemeinden bis zu 25000 Einwohner mit großem Belastungsspielraum. "gwf"-wasser/abwasser Bd. 111 (1970) S. 241/44.
- [67] *Kalbskopf, K.-H. u. D. Londong*: Entwicklungstendenzen bei Kläranlagen nach dem Belebungsverfahren für kleine Gemeinden. "gwf"-wasser/abwasser Bd. 111 (1970) S. 455/59.
- [68] *Hashimoto, A.G. u. Y.R. Chen*: Turbine-air aeration system for poultry wastes. ASAE Publ. Proc.-275<sup>2</sup> S. 530/34.
- [69] *Robinson, K., S.H. Baxter u. J.R. Saxon*: Aerobic treatment of farm wastes. Proceedings of Symposium "Farm Wastes". The Univ. of Newcastle upon Tyne (GB) 7. u. 8. Jan.1970, S. 122/31.
- [70] *Ahlers, R.*: Unveröff. Messungen, Institut für Landmaschinenforschung der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig 1975.
- [71] *Loehr, R.C., D.F. Anderson u. A.C. Anthonisen*: An oxidation ditch for the handling and treatment of poultry wastes. In: Livestock Waste Management and Pollution Abatement. Proc. Int. Symp. Livestock Wastes St. Joseph/Mich.: ASAE 1971, S. 209/12.
- [72] *Mitchell, J.K. u. D.L. Day*: Oxygenation and flow characteristics of mechanical aerators. Proc. of 1973 livestock waste management conference, March 7-8, 1973; Champaign/Ill. E1-E13.
- [73] *Pöpel, F.*: Briefliche Mitteilung 1976.
- [74] *Sneath, R.W.*: Comparison of the performance of the plunging jet aerator in water and pig slurry. NIAE Departm. Note no. DN/FB/743/3000, Silsoe Nov. 76.
- [75] *Wolferrmann, H.-F., J. Hornig u. D. Klingenschmitt*: Untersuchungen zur Flüssigkompostierung von Flüssigdüngung durch Umwälzbelüftung mit dem Ziel der Geruchsminderung und Entseuchung. Unveröff. Forschungsbericht des Max-Planck-Institutes für Landarbeit und Landtechnik. Bad Kreuznach April 1974.
- [76] *Zeisig, H.D.*: Oberflächenbelüftung von Flüssigmist zur Geruchseinschränkung. In "Berichte über die Jahrestagung der Landtechnik Weihenstephan 10. u. 11.Okt.1973", Freising-Weihenstephan 1973, S. 41/53.
- [77] *Anthonisen, A.C., D.R. Baker u. R.C. Loehr*: Factors affecting oxygen transfer characteristics at high solids concentrations. Industr. Water and Pollution Conf. and Exposition, Cobo Hall, Detroit/Mich. April 1-4, 1974.



- [78] *Zlokarnik, M.*: Einfluß einiger stofflicher und verfahrenstechnischer Parameter auf den Sauerstoff-Eintrag bei der Abwasserbelüftung. Chem.-Ing.-Techn. Bd. 47 (1975) S. 281/82.
- [79] *Pöpel, F.*: Einfluß der im Wasser gelösten Salze auf die Sauerstoffzufuhr. Korrespondenz Abwasser Bd. 23 (1976) H. 5, S. 123/28.
- [80] *Daucher, H.-H.*: Sauerstoffeintrag in biologische Suspensionen. Grundl. Landtechnik Bd. 28 (1978) Nr. 2, S. 47/53.
- [81] *Tsao, G.T.*: Simultaneous gas-liquid interfacial oxygen absorption and biochemical oxidation. Biotechnology and Bioengineering Bd. 10 (1968) S. 765/85.
- [82] *Yagi, H. u. F. Yoshida*: Enhancement factor for oxygen absorption into fermentation broth. Biotechnology and Bioengineering Bd. 17 (1975) S. 1083/98.
- [ 83 ] *Thaer, R.*: Die Wirksamkeit der Belüftungssysteme des KTBL-Modellvorhabens "Flüssigmist". Vortrag KTBL-Symposium "Praktische Erfahrungen mit Flüssigmist-Behandlungssystemen im In- und Ausland", Braunschweig-Völkenrode 17. Okt. 1977. KTBL-Manuskriptdruck.

<sup>1</sup>) ASAE Publication No. Sp-0366  
Management of farm animal wastes. Proceedings, Nat. symposium on animal waste management, May 5./7.1966, Michigan State University, East Lansing, Michigan. Publ. by ASAE, St. Joseph, Michigan.

<sup>2</sup>) ASAE Publication Proc.-275  
Managing livestock wastes. Proc. 3rd international symp. on livestock wastes, April 21./24.1975, University of Illinois, Urbana-Champaign, Illinois. Publ. by ASAE, St. Joseph, Michigan.

## Sauerstoffeintrag in biologische Suspensionen

Von Hans-Helmut Daucher, Ludwigshafen/Rhein\*)

DK 631.862:628.35:628.35.002.5

Aerobe Behandlung von Flüssigmist reduziert wirksam umweltbelastende Geruchsemissionen. Die Belüftung des Mistes aktiviert Mikroorganismen, die unter Sauerstoffverbrauch den Mist hinsichtlich der Entstehung von Geruchsstoffen stabilisieren. Die Kosten der Belüftung hängen vom Sauerstofftrag (kg/kWh) des Belüftungsaggregates ab, der von Geräteherstellern als Reinwasserwert angegeben wird. Versuche mit Abwasser zeigen, daß die Abweichung vom Reinwasserwert nicht nur von den chemischen Bestandteilen des belüfteten Mediums, sondern auch von der Charakteristik des Belüftungsaggregates selbst abhängt. Das bedeutet, daß Geräte mit gleichem Reinwasserwert unter Betriebsbedingungen durchaus unterschiedliches leisten können.

### 1. Einleitung

Durch die Stoffwechsellätigkeit aerober Mikroorganismen [1] werden in Flüssigmist gelöste organische Substanzen (Substrate) umgewandelt.

Der organische Kohlenstoff dient den Mikroben teilweise als Baustein für neue Zellen, teilweise entweicht er während des biochemischen Substratabbaus als CO<sub>2</sub>. Den bei der Oxidation des Kohlenstoffs vom Substrat abgespaltenen Wasserstoff benutzt der Mikroorganismus als Energiequelle, indem er ihn in einer schritt-

weise ablaufenden "biochemischen Knallgasreaktion" zu Wasser oxidiert. Ein kleiner Teil der freiwerdenden Energie geht dem biologischen Prozeß in Form von Wärme verloren. Dieser scheinbare Verlust kann aber in einen Gewinn umgemünzt werden: Die Wärme beschleunigt die biochemischen Reaktionen [2, 3, 4], wenn eine ausreichende Isolierung des Reaktionsraumes zu einer Temperaturerhöhung führt.

Stickstoff, der in den Substraten organisch gebunden vorliegt und während des Abbaues in anorganischer Bindung frei wird oder von vornherein als Ammonium gelöst ist, kann von speziellen Mikroorganismen, den Nitrifikanten, zu Nitrit und Nitrat oxidiert werden [5]. Fakultativ anaerobe Mikroorganismen führen auch die Reduktion (Denitrifikation) von Nitrit und Nitrat zu elementarem, gasförmigem Stickstoff durch, wenn sie durch Unterbrechung der Zufuhr des gelösten Sauerstoffs dazu gezwungen werden [6].

Zur technischen Durchführung der aeroben Behandlung von Flüssigmist sind verschiedene Verfahren bekannt [2]. Sie sind im wesentlichen mit den Verfahren der biologischen Abwasserreinigung zu vergleichen [7]. Wesentliches Element einer Belüftungsanlage ist das Belüftungsaggregat, das den notwendigen Sauerstoff in die Suspension einzutragen hat. Folgende Forderungen sind von einem verfahrenstechnisch optimalen Aggregat zu erfüllen:

1. Eintragen ausreichender Sauerstoffmengen unter Betriebsbedingungen.
  - Hierauf wird später besonders eingegangen.
2. Kleine Abgasmengen.
  - Um ggf. Geruchsentwicklung zu minimieren oder um eine Abgasbehandlung unter wirtschaftlichen Bedingungen durchführen zu können.
3. Anpassung des Sauerstoffprofils an den zeitlichen und örtlichen Sauerstoffbedarf im Becken.
  - Da die Zehrungsaktivität der Mikroorganismen von der Konzentration abbaubarer Substrate abhängt, sollte der Sauerstoffeintrag an die zeitlichen Schwankungen des Zulaufs angepaßt werden können. Mit einer örtlichen Regelbarkeit des Sauerstoffprofils soll erreicht werden,

\*) Dr.-Ing. Hans-H. Daucher ist Mitarbeiter in der Abteilung Technische Entwicklung Verfahrenstechnik der Firma BASF Aktiengesellschaft Ludwigshafen/Rhein.