

## Stoff- und Nährstoffströme beim Trennen von Flüssigmist mit einem Siebtrommel-Separator

Von Rüdiger Krause und Rolf Ahlers,  
Braunschweig-Völkenrode\*)

Mitteilung aus dem Institut für Technologie der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode

DK 631.862:66.066

Das Trennen von Flüssigmist dient vor allem der Verbesserung der rheologischen Eigenschaften der flüssigen Phase und der Gewinnung von Feststoffen. In welchem Verhältnis die verschiedenen Pflanzennährstoffe beim Trennen von Flüssigmist auf die beiden Phasen aufgeteilt werden, ist nicht hinreichend bekannt. Nachdem in einem kürzlich erschienenen Beitrag über Grundlagen zur Verfahrenstechnik des Separierens berichtet wurde, sollen nun Ergebnisse aus umfangreichen Versuchen mit einem Siebtrommel-Separator dargestellt werden. Dabei werden insbesondere die Massenströme und die Nährstoffströme behandelt.

### 1. Einleitung

Die Ziele beim Trennen [1] von Flüssigmist sind sehr unterschiedlich. Dabei kann für die flüssige Phase die Verbesserung der rheologischen Eigenschaften bei Anreicherung oder auch Reduzierung der Nährstoffkonzentration oder die Verbesserung der Pflanzenverträglichkeit im Vordergrund stehen. Es kann jedoch auch die Festphase zum Hauptprodukt werden, wobei ein möglichst hoher Abscheidegrad bei niedrigem Trockensubstanzgehalt und guter Struktur angestrebt wird. In einem kürzlich veröffentlichten Beitrag wurden einige Grundlagen des Trennens, geeignete Trennverfahren, der Einfluß konstruktiver Parameter und der Maschineneinstellung auf das Trennergebnis sowie die Auslegung und betriebliche Einordnung untersucht [2]. Nunmehr sollen Ergebnisse umfangreicher Untersuchungen an einem Siebtrommel-Separator dargestellt werden.

An dieser Stelle sei der Fa. Südall-GmbH in Waldkraiburg für die Bereitstellung eines Siebtrommel-Separators gedankt.

\*) Dr.-Ing. R. Krause, Wiss. Oberrat, und Dipl.-Ing. R. Ahlers sind Mitarbeiter am Institut für Technologie (Leiter: Prof. Dr.-Ing. W. Baader) der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode.  
Ab 1.9.1987 ist Dr.-Ing. R. Krause auf den Lehrstuhl für Agrartechnik an tropischen und subtropischen Standorten an der Gesamthochschule Kassel berufen.

### 2. Versuchsbedingungen

#### 2.1 Gerät und Betriebsparameter

Im Laufe der letzten Jahre konnten Erfahrungen mit einer Reihe verschiedener Trenngeräte gewonnen werden [3]. Der Siebtrommel-Separator mit Preßwalzen, Bild 1, Tafel 1, erwies sich vom Prinzip her als besonders geeignet. Der Durchsatz ist in der Regel ausreichend. Die Handhabung ist einfach, die spezifische Siebflächenbelastung ( $m^3/(m^2 h)$ ) gering, die Behandlung weicher Feststoff-Flocken schonend und die Reinigung des Siebes problemlos. Der Preis ist vergleichsweise niedrig. Das untersuchte Gerät sollte dennoch in verschiedenen Details verbessert werden.

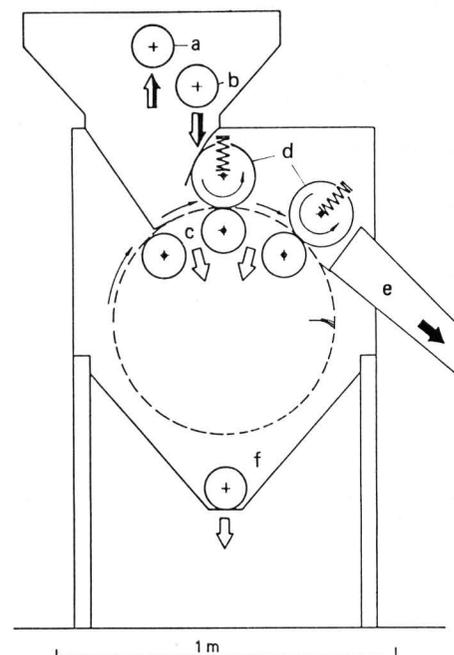


Bild 1. Siebtrommel-Separator mit Preßwalzen.

- |  |                        |
|--|------------------------|
| a Überlauf für Grobsuspension                  | d Preßwalzen           |
| b Zulauf für Grobsuspension                    | e Austrag des Zentrats |
| c Zone der Schwerkraftentwässerung, Seihfläche | f Ablauf des Effluents |

<b>Separator</b>	
Bauart	Siebtrommel mit 2 Preßwalzen, Schaber und Reinigungsbürste, einstellbare Fremdkörpersicherung
Abmessungen	Breite 2040 mm, Höhe 1790 mm Tiefe 1390 mm
Durchsatz	2,5–35 m <sup>3</sup> /h
Antriebsleistung	1,5 kW (s.a. Tafel 3)
<b>Siebtrommel</b>	
Material	rostfreier Stahl
Siebloch	s. Tafel 2
Abmessungen	∅ 637 mm, Länge 1000 mm Fläche 2 m <sup>2</sup>
Drehzahl	ca. 11 min <sup>-1</sup>
<b>Preßwalzen</b>	
Material	Hartgummi
Abmessungen	∅ 150 mm, Länge 1000 mm
Anpreßkraft	bis 5 kN/m

Tafel 1. Technische Daten des Separators.

Es wurden drei verschiedene Siebe untersucht, Tafel 2. Die Unterschiede hinsichtlich der Lochanteile erwiesen sich als gravierend und ließen einen Vergleich der Ergebnisse bezüglich der Parameter Lochform und -größe nicht zu. (Bei der Bestimmung des Lochanteiles wurden die lochfreien Siebränder nicht berücksichtigt.)

Die Anpreßkraft der beiden Druckwalzen war variabel, die Variationsmöglichkeit jedoch zu gering, um einen deutlichen Einfluß auf den im Zentrat erreichten Trockensubstanzgehalt erkennen zu können. Die Versuche wurden mit geringer Anpreßkraft an der ersten und maximaler Kraft (ca. 5 kN/m) an der zweiten Walze gefahren. Der Durchsatz wurde bis deutlich über den stationären Zustand bei gerade beginnendem Überlauf (Grenzdurchsatz  $\dot{V}_{\text{Grenz}}$ ) hinaus gesteigert.

Sieb Nr.	Art und Abmessung der Lochung mm	Lochfläche relativ		Lochanteil der Siebfläche %
		mm <sup>2</sup>	—	
I	Rundloch 1,8	2,5	1	24
II	Langloch 1,1x20	21,7	8,6	18
III	Rundloch 3,0	7,1	2,8	10

Tafel 2. Daten der verwendeten Siebe.

## 2.2 Eingesetzter Flüssigmist

Insgesamt wurden Trennversuche mit fünf verschiedenen Arten von Flüssigmist durchgeführt, je einem trockensubstanzarmen und einem trockensubstanzreichen Schweine- und Rinder-Flüssigmist sowie einem trockensubstanzreichen Hühner-Flüssigmist. Dabei wurde der Trockensubstanzgehalt im Bereich von etwa 5 % bis 16 % variiert.

## 2.3 Meßgrößen

Ermittelt wurden:

- Der Durchsatz  $\dot{V}$  (m<sup>3</sup>/h)
  - die Siebbelegung  $s$  (%)
  - der Grenzdurchsatz  $\dot{V}_{\text{Grenz}}$  (m<sup>3</sup>/h)

- Der Abscheidegrad  $\eta_m$  der Gesamtmasse
  - der Trockensubstanzgehalt  $Z$  in allen drei Phasen (0 Grobsuspension, 1 Effluent, 2 Zentrat)
  - die Aufteilung der Trockenmasse  $m_Z$  auf die drei Phasen
  - der Abscheidegrad  $\eta_f$  der Trockensubstanz
- Die Sieblinien aller drei Phasen
- Der Nährstoffgehalt (Gesamtstickstoff, Ammoniumstickstoff, Phosphor und Kalium) in allen drei Phasen
  - der Abscheidegrad  $\eta_x$  von Nährstoffen
- Der Leistungsbedarf  $P$  (kW) und der spezifische Energiebedarf  $e_{\text{spez}}$  (kWh/m<sup>3</sup>).

## 3. Ergebnisse

### 3.1 Grenzdurchsatz $\dot{V}_{\text{Grenz}}$

Die untersuchte Siebtrommel wird durch den Rohranschluß im Trichter (Bild 1) axial einseitig vom Rand des Siebes her beaufschlagt, so daß bei kleinem Durchsatz die Siebtrommel nicht in voller Breite belegt ist. Als "Grenzdurchsatz" sei der Durchsatz bezeichnet, bei dem das Sieb in voller Breite belegt und ein Gleichgewicht von Zulauf und Ablauf erreicht ist. Zu erkennen ist dieser Zustand durch den Beginn des Überlaufes in den oberen Rohranschluß des Trichters. Dieser Punkt wird vom Hersteller als Betriebspunkt empfohlen. Die Einstellung erfolgt dabei aus hydraulischer Sicht und kann ggf. nach anderen Kriterien optimiert werden.

Mit Ausnahme eines Schweine-Flüssigmistes mit relativ hohem Fest- und Grobstoffanteil liegt der Grenzdurchsatz umso niedriger, je höher der Trockensubstanzgehalt des Flüssigmistes ist, Bild 2.

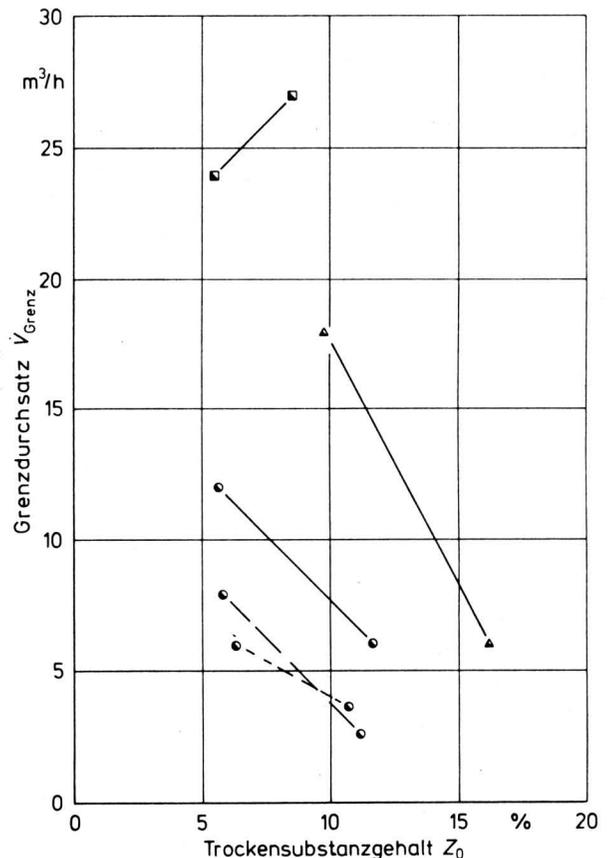
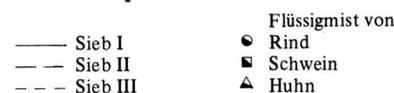


Bild 2. Grenzdurchsatz als Funktion des Trockensubstanzgehaltes der Grobsuspension.



Für dasselbe Sieb wird bei gleichem Trockensubstanzgehalt mit Schweine-Flüssigmist der höchste, mit Rinder-Flüssigmist der niedrigste Grenzdurchsatz erreicht. Hühner-Flüssigmist liegt dazwischen. Aus diesem Grunde ist es gerechtfertigt, für Schweine-Flüssigmist kleinere Lochdurchmesser zu wählen als für Rinder-Flüssigmist. Die erreichten Durchsatzleistungen sind in der Regel dennoch ausreichend. Untersuchenswert erscheint die Anpassung der Trommeldrehzahl – und damit der verfügbaren Seihzeit, d.h. der Zeit der Schwerkraftentwässerung – an Trockensubstanzgehalt und Entwässerbarkeit von Flüssigmist.

Obwohl das eingesetzte 3 mm-Rundloch-Sieb (Sieb III, - - -) gegenüber dem 1,8 mm Sieb (Sieb I, —) fast die dreifache Fläche je Loch aufweist, ist der optimale Durchsatz deutlich niedriger. Die Ursache ist in der vielfach nicht erkannten Bedeutung der offenen Siebfläche (Anteil der Lochfläche an der gesamten Siebfläche) zu sehen (Tafel 2). In dem untersuchten Fall hat das 1,8 mm-Sieb einen Lochanteil der Siebfläche von 24 %, das 3 mm-Sieb dagegen nur von 10 %. Auch das Langloch-Sieb (Sieb II, - -) mit einer gegenüber dem 1,8 mm-Rundloch-Sieb fast neunfachen Größe der einzelnen Lochfläche, aber nur 18 % Lochanteil bringt nur relativ niedrige Durchsatzwerte.

### 3.2 Aufteilung des Trockensubstanzgehalts und Abscheidegrad

#### 3.2.1 Zentrat

Der Trockensubstanzgehalt des Zentrates  $Z_2$  ist ein wesentliches Kriterium für die Kompostierbarkeit. Vom Trockensubstanzgehalt hängen insbesondere ab:

- Die Notwendigkeit einer Ergänzung mit strukturbildenden Zuschlagstoffen,
- die mögliche Stapelhöhe,
- die Notwendigkeit unter Dach zu lagern,
- die erforderliche Häufigkeit des Umsetzens,
- die Notwendigkeit zu trocknen oder anzufeuchten.

Ein Trockensubstanzgehalt von etwa  $Z = 18\%$  kann als unterste Grenze der Kompostierbarkeit angesehen werden. Zur Gewinnung eines homogenen Kompostes aus einem derartigen Material sind jedoch eine oder mehrere der oben genannten aufwendigen Maßnahmen erforderlich. Zuvor sollten daher alle Möglichkeiten der Maschineneinstellung ausgeschöpft, eventuell sogar eine zweite Trennstufe in Erwägung gezogen werden, um einen ausreichend hohen Trockensubstanzgehalt (etwa  $Z > 22\%$ ) zu erzielen.

Der Einfluß des Durchsatzes  $\dot{V}$  auf den erreichten Trockensubstanzgehalt ist sehr unterschiedlich. In dem unterschiedlich weiten Bereich zwischen voller Siebbelegung und Grenzdurchsatz  $\dot{V}_{Grenz}$  ändert sich der erreichte Trockensubstanzgehalt des Zentrates  $Z_2$  in der Regel wenig, Bild 3. Das erscheint einleuchtend, da sich die Fläche der Seihzone, die Seihzeit (abhängig von der Trommeldrehzahl) und der Preßdruck nicht ändern. Sollen höhere Trockensubstanzgehalte erreicht werden, sind konstruktive Maßnahmen erforderlich, da die gegebenen Verstellmöglichkeiten für die Parameter Preßdruck und Trommeldrehzahl bei dem untersuchten Gerät zu gering waren.

Bild 4 zeigt in den oberen Diagrammen, welcher Anteil der Gesamtmasse der Grobsuspension als Zentrat abgeschieden wird. Dieser Abscheidegrad

$$\eta_m = \frac{m_2}{m_0}$$

kann direkt durch Messen der jeweiligen Massen oder indirekt aus den Trockensubstanzgehalten aller drei Phasen mit

$$\eta_m = \frac{Z_0 - Z_1}{Z_2 - Z_1}$$

ermittelt werden.

Aus Bild 4 ist zu entnehmen, daß – korrespondierend mit dem Trockensubstanzgehalt der Grobsuspension – der Anteil des Zentrates an der Gesamtmasse etwa 10–40 % betragen kann.

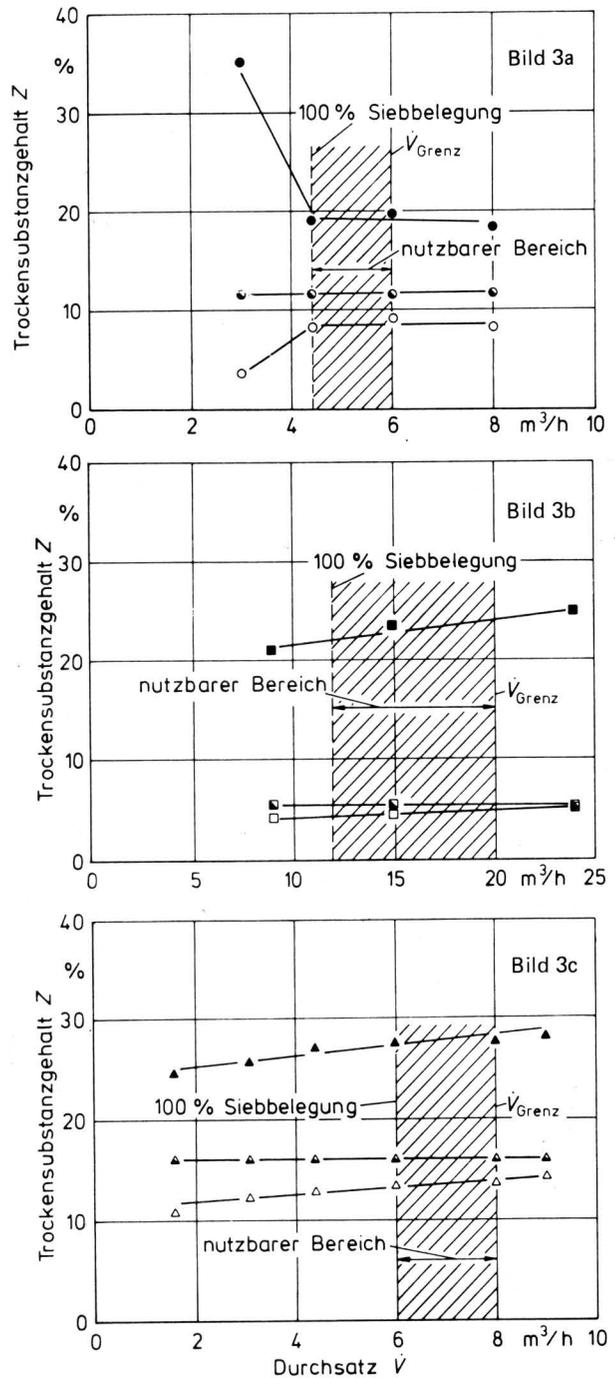


Bild 3. Trockensubstanzgehalt als Funktion des Durchsatzes beim Trennen mit Sieb I.

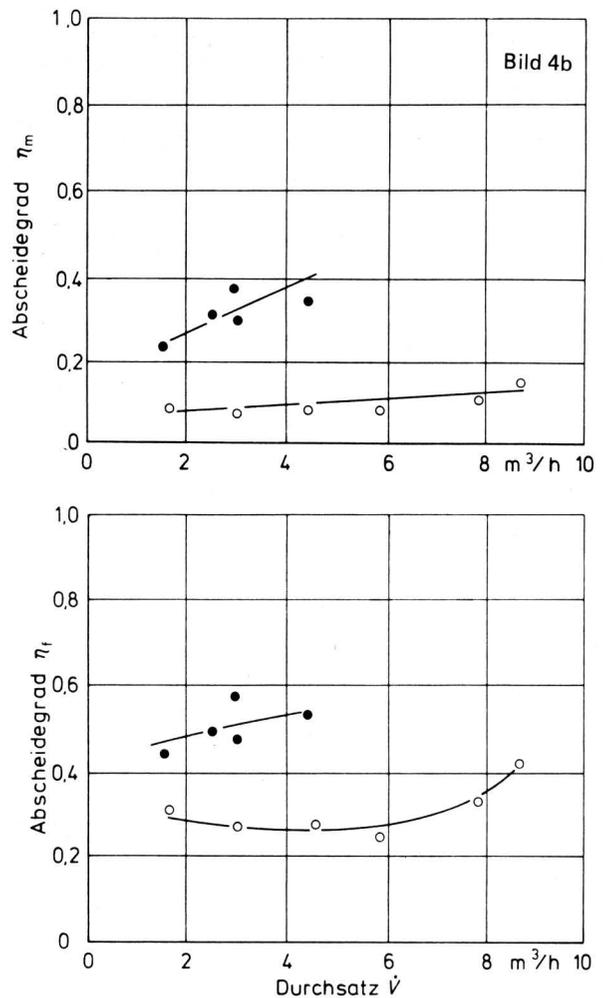
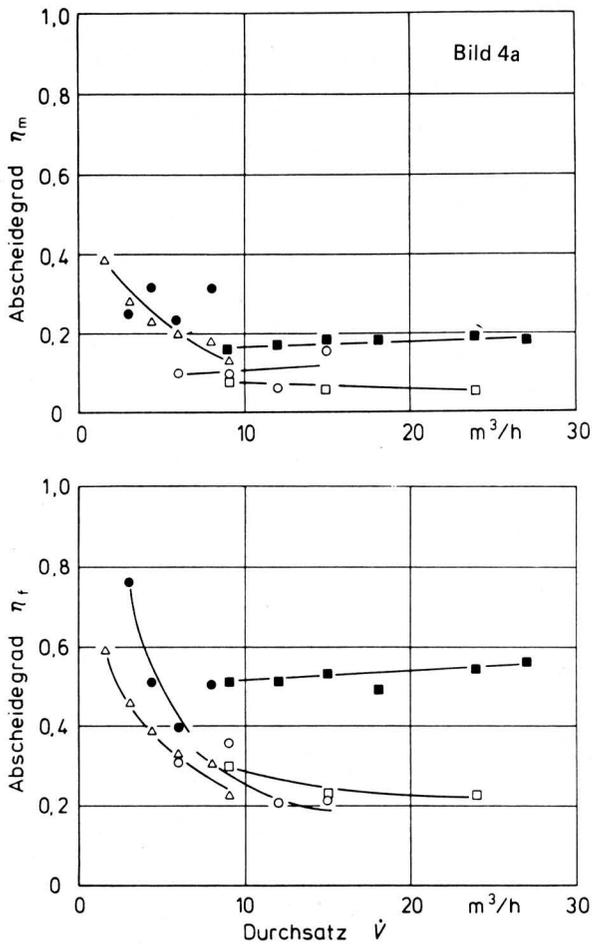
	Grobsusp.	Effluent	Zentrat
Bild 3a: Rinder-Flüssigmist	●	○	●
Bild 3b: Schweine-Flüssigmist	■	□	■
Bild 3c: Hühner-Flüssigmist	▲	△	▲

In den unteren Diagrammen von Bild 4 ist aufgetragen, welcher Anteil der Trockensubstanz der Grobsuspension im Zentrat abgeschieden wird. Dieser Abscheidegrad der Trockensubstanz

$$\eta_f = \frac{m_{Z2}}{m_{Z0}}$$

kann auch aus den Trockensubstanzgehalten  $Z$  aller drei Phasen berechnet werden:

$$\eta_f = \frac{Z_0 - Z_1}{Z_2 - Z_1} \cdot \frac{Z_1}{Z_2}$$



**Bild 4.** Abscheidegrad der Gesamtmasse im Zentrat  $\eta_m$  (oben) und der Trockensubstanz im Zentrat  $\eta_f$  (unten) als Funktion des Durchsatzes.

Bild 4a: Sieb I	Flüssigmist vom	Trockensubst.-Geh. der Grobsusp.
	Rind	○ 5,7 % ● 11,7 %
	Schwein	□ 5,5 % ■ 8,5 %
	Huhn	△ 16,1 %
Bild 4b: Sieb II	Rind	○ 5,8 % ● 13,0 %

Je nach dem Verfahrensziel wird ein mehr oder minder hoher Abscheidegrad für die in der Grobsuspension enthaltene Trockensubstanz angestrebt. Zur Verbesserung der hydraulischen Eigenschaften des Effluents genügt in der Regel ein insgesamt niedriger Abscheidegrad, wenn ein hoher Trenngrad für langfaserige Partikel (Masse der langfaserigen Partikel im Zentrat bezogen auf die Masse der langfaserigen Partikel in der Grobsuspension) erreicht wird. Zur Gewinnung von Feststoffen zwecks Kompostierung und betrieblicher Nährstoff-Entlastung durch Verkauf dagegen ist ein hoher Abscheidegrad anzustreben.

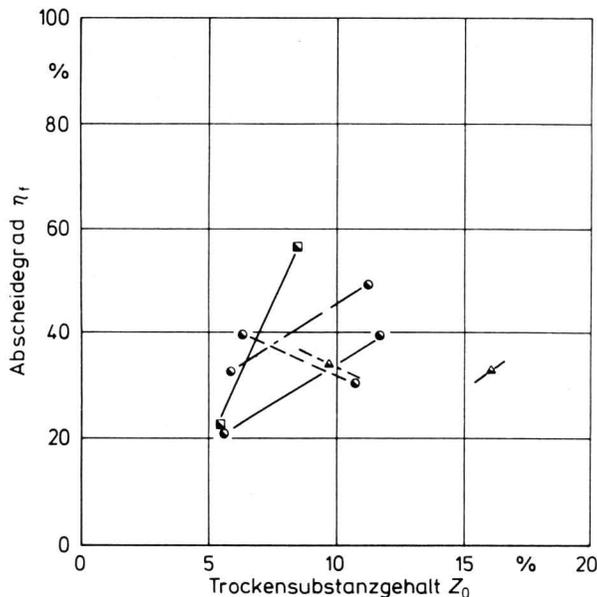
Mit der gleichen Maschine können selbst bei gleicher Einstellung je nach Struktur, Viskosität und Kohäsion des Flüssigmistes sehr unterschiedliche Abscheidegrade erzielt werden. Bild 4a zeigt für das Rundlochsieb (Sieb I) in den meisten Fällen eine exponentielle Abnahme des Abscheidegrades  $\eta_f$  mit dem Durchsatz. Daraus läßt sich ableiten, daß bei dem im rechten Bereich der Kurven liegenden Grenzdurchsatz mit einem relativ niedrigen Abscheidegrad gerechnet werden muß. Nur bei Flüssigmist eines hohen Trockensubstanzgehaltes kann ein hoher Abscheidegrad und zumeist nur bei sehr niedrigem Durchsatz erreicht werden. Bei hoher hydraulischer Belastung des Siebes werden viele Feststoffe – deren Einzelaggregatgrößen ohnehin deutlich unter dem Siebloch-Durchmesser liegen – mit dem Effluent ausgeschwemmt. Weiche flockenartige Aggregate werden durch die hohe mechanische Beanspruchung zerstört.

Andererseits ist – wie bereits vorne gesagt – der Bereich zwischen voller Siebbelegung und Grenzdurchsatz bei einzelnen Arten von Flüssigmist sehr eng, so daß eine genaue Dosierung des Zulaufes erforderlich wird, um auf ein bestimmtes Verfahrensziel hin zu optimieren.

Bei dem verwendeten Langloch-Sieb (Sieb II), Bild 4b, ist der Abscheidegrad  $\eta_f$  für 13 %igen und 5,8 %igen Rinder-Flüssigmist ähnlich hoch wie auf dem Rundloch-Sieb und nahezu konstant, jedoch bei geringerem Durchsatz.

Ein allgemeingültiger Zusammenhang zwischen dem Trockensubstanzgehalt des frischen Flüssigmistes und dem Abscheidegrad  $\eta_f$  kann nicht erkannt werden, Bild 5, wenngleich die Siebflächenbelastung mit Trockensubstanz (kg/m<sup>2</sup> h) ein wesentliches Kriterium für den Trennerfolg darstellt. Betrachtet man jedoch den Flüssigmist der einzelnen Tierarten, dann kann man bei dem entsprechenden Grenzdurchsatz in der Regel einen deutlich höheren Abscheidegrad bei hohem Trockensubstanzgehalt erkennen. Der höhere Feststoffgehalt führt zu einer stärkeren Siebbelegung und wirkt als Filterkuchen. Die Siebflächenbelastung ist in Verbindung mit der Struktur der Trockensubstanz verantwortlich für den Effekt eines gegebenen Siebes. Das 3 mm-Sieb (Sieb III) macht hier eine Ausnahme.

Bei Schweine-Flüssigmist kann ein deutlich höherer Abscheidegrad als bei Rinder-Flüssigmist erzielt werden. Bei Hühnerkot wird selbst bei hohem Trockensubstanzgehalt ein relativ niedriger Abscheidegrad erreicht. Dabei ist jedoch zu bedenken, daß die Trennbarkeit eines Flüssigmistes auch vom Alter der Tiere, von der Art von Futter und Fütterung sowie von Lagerzeit und Lagerbedingungen abhängt.



**Bild 5.** Abscheidegrad der Trockensubstanz im Zentrat als Funktion des Trockensubstanzgehaltes der Grobsuspension.

— Sieb I  
 - - - Sieb II  
 ··· Sieb III

Flüssigmist von  
 Rind ●  
 Schwein ■  
 Huhn ▲

### 3.2.2 Effluent

Angesichts der Verätzungsproblematik, die sich aus dem Zusammenhang:

Benetzen von Pflanzenteilen – Haften an Pflanzenteilen – Verätzen, also aus dem Einfluß der Viskosität des Flüssigmistes auf die Pflanzenverträglichkeit ergibt, ist der Trockensubstanzgehalt im Effluent ebenfalls von großer Bedeutung.

Auch die für Geruchsemissionen, Stickstoffverluste und Hangablauf mitverantwortliche Infiltrationsgeschwindigkeit hängt vom Trockensubstanzgehalt des Effluents ab. Ein hoher Abscheidegrad  $\eta_f$  kann als Maß für eine deutliche Verminderung des Trockensubstanzgehaltes im Effluent betrachtet werden. Bei Trockensubstanzgehalten unter 5 % ist die Viskosität in der Regel niedrig genug, um längeres, großflächiges Haften an der Pflanze zu vermeiden und eine hohe Infiltrationsrate zu erreichen.

Da der Trockensubstanzgehalt im Effluent bei mittlerem Trockensubstanzgehalt der Grobsuspension jedoch um kaum mehr als 2 % erniedrigt wird, sollte die Grobsuspension aus dieser Sicht nicht mehr als etwa 7 % Trockensubstanzgehalt aufweisen. Notfalls muß anschließend mit Wasser verdünnt werden. Bei hohem Anfangstrockensubstanzgehalt ( $Z_0 > 10\%$ ) wird zwar eine Reduzierung um 3 % und mehr erreicht, das Verätzungsrisiko bei noch immer hohem Trockensubstanzgehalt im Effluent jedoch nicht sicher ausgeschlossen. Durch eine zweite Trennstufe kann der Trockensubstanzgehalt im Effluent auf das gewünschte Maß reduziert werden.

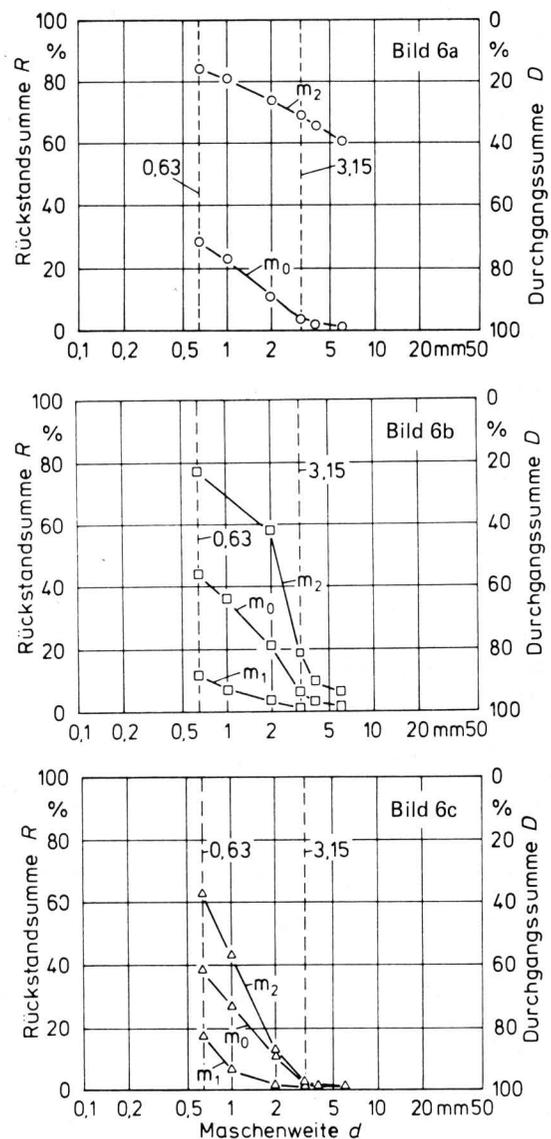
Eine theoretisch zu erwartende Abhängigkeit zwischen dem Abscheidegrad und dem im Zentrat erreichten Trockensubstanzgehalt ist nicht feststellbar. Auch sie dürfte sehr viel komplexerer Natur sein, als mit den hier variierten Parametern erfassbar.

### 3.3 Sieblinien

Die Sieblinie gibt Aufschluß über die Aggregatgrößenverteilung. Große Aggregate im Flüssigmist sind verantwortlich für eventuelle Verstopfungen in Pumpen, Leitungen und Düsen, kleine Aggregate mit großer spezifischer Oberfläche lassen leichten biologischen

Abbau erwarten. Die Sieblinien der verschiedenen Flüssigmiste zeigen nicht nur tierart-, sondern auch fütterungsspezifisch wesentliche Unterschiede. In jedem Falle konnte durch die Trennung der Grobstoffanteil im Zentrat deutlich angehoben werden, **Bild 6**. Die Sieblinie des Zentrates gibt Hinweise für die Schüttdichte und damit für den möglichen Sauerstoffzutritt beim Kompostieren. Bei hoher Schüttdichte ist die Zugabe von strukturbildenden Stoffen wie Strohhäcksel erforderlich. Hühnerkot enthält auch im Zentrat kaum Aggregate über 3 mm, so daß eine besonders dichte Lagerung zu erwarten ist. Abgesehen von der Größe der in der Sieblinie erfaßten Einzelaggregate spielen jedoch auch die hier nicht untersuchten, beim Abschälen des Filterkuchens vom Sieb entstehenden plättchenförmigen Großaggregate eine wesentliche Rolle. Bei den im Zentrat von Schweine- und Hühnerflüssigmist erreichten hohen Trockensubstanzgehalten ( $Z_2 \geq 22\%$ ) dürfte eine ausreichende Kompostierung auch ohne Zuschlagstoffe zumindest bei niedriger Schütthöhe ( $\leq 1$  m) gegeben sein.

Eine Auswirkung der Lochweiten der Siebe auf die Sieblinien war durch die unterschiedlichen Lochanteile und den niedrigen Anteil großer Aggregate in den verschiedenen Grobsuspensionen nicht zu erkennen.



**Bild 6.** Sieblinien von Grobsuspension ( $m_0$ ), Effluent ( $m_1$ ) und Zentrat ( $m_2$ ) beim Trennen mit Rundlochsieb (Sieb I).

Bild 6a: Rinder-Flüssigmist mit  $Z_0 = 5,7\%$   
 Bild 6b: Schweine-Flüssigmist mit  $Z_0 = 8,5\%$   
 Bild 6c: Hühner-Flüssigmist mit  $Z_0 = 16,1\%$

### 3.4 Aufteilung einzelner Nährstoffe

Soll die flüssige Phase gezielt als Dünger oder die feste Phase als Bodenverbesserer eingesetzt werden, muß die Konzentration an Pflanzennährstoffen bekannt sein. Insbesondere in der flüssigen Phase sind die Nährstoffe die wertbestimmenden Inhaltsstoffe. Dies gilt in erster Linie für Stickstoff, doch sollten Phosphor und Kalium ebenfalls berücksichtigt werden.

Betriebe mit Flüssigmistüberschuß streben eine Nährstoffentlastung an. Dabei ist nicht nur die Aufteilung der Gesamtmasse auf die beiden Phasen von Bedeutung, sondern auch die mit der Trennung zu erreichende unterschiedliche Konzentration von Nährstoffen in den Phasen. Insbesondere eine gegenüber dem Massenverhältnis überproportionale Abnahme der Nährstoffe in der üblicherweise auf den Betrieben verbleibenden Dünnphase wäre außerordentlich hilfreich.

Für die mögliche Nutzung des Stickstoffes und das Risiko einer Stickstoffauswaschung ist darüber hinaus die Form der Stickstoffbindung von großer Bedeutung. So sollte bei Frühjahrs- und Kopfdüngung der Anteil an pflanzenverfügbarem, d.h. gelöstem Ammonium- und Nitratstickstoff hoch sein. Für eine optimale Nutzung des Stickstoffes im Flüssigmist wäre daher ein hydraulisch gut handhabbares Effluent mit einem hohen Anteil gelösten Stickstoffes anzustreben, das unmittelbar vor der Frühjahrsbestellung oder als Kopfdünger ausgebracht wird. Bei der Herbstdüngung bietet nur die organische Bindung von Stickstoff den notwendigen Schutz vor Auswaschung.

Unter dem Abscheidegrad  $\eta_x$  der Nährstoffe verstehen wir den prozentualen Anteil des im Zentrat ( $\eta_{x2}$ ) oder im Effluent ( $\eta_{x1}$ ) enthaltenen Nährstoffes, bezogen auf den in der Grobsuspension enthaltenen Nährstoff, das heißt: Die beiden Anteile müssen sich theoretisch zu 100 % ergänzen. Wenn das bei der Bestimmung in der Praxis keineswegs immer der Fall ist, so ist die Ursache in der Schwierigkeit, eine repräsentative Probe zu nehmen, zu suchen. Es darf keineswegs unterschätzt werden, daß zur statistischen Absicherung der Ergebnisse eine große Zahl von Proben und Analysen erforderlich ist.

#### 3.4.1 Einfluß des Durchsatzes auf den Abscheidegrad von Nährstoffen

Bei hohem Trockensubstanzgehalt in der Grobsuspension ist mit wachsendem Durchsatz  $\dot{V}$  ein Ansteigen des Abscheidegrades des Gesamtstickstoffes für das Effluent  $\eta_{N1}$  zu erzielen, während bei dünnem Flüssigmist der Durchsatz praktisch keinen Einfluß auf den Abscheidegrad ausübt, Bild 7. Entsprechend umgekehrt verhält sich der Abscheidegrad für das Zentrat  $\eta_{N2}$ .

Nur bei hohem Trockensubstanzgehalt und entsprechend niedrigem Durchsatz liegt der Abscheidegrad  $\eta_{N1}$  zwischen 50 und 80 %, bei höherem Durchsatz zwischen 80 und 100 %. Trotz größerer Streuungen entsprechen die  $\eta_{N2}$ -Werte der genannten Tendenz.

Im Mittel beträgt der Gesamtstickstoffanteil im Effluent etwa 80 %. Damit folgt er — wie auch andere Autoren feststellen — weitgehend der Massenaufteilung in die beiden Phasen und keineswegs dem Abscheidegrad.

Bild 8 zeigt die Relation zwischen dem Massenanteil der Trockensubstanz des Gesamtflüssigmistes im Effluent  $m_{z1}/m_{z0}$  und dem Anteil des Gesamtstickstoffes sowie des Ammoniumstickstoffes im Effluent. Die unterbrochene Linie stellt eine direkte Proportionalität der beiden Größen dar, also eine Aufteilung der Nährstoffe entsprechend der Aufteilung der Trockensubstanz. Die Analysenwerte zeigen für Gesamtstickstoff vorwiegend Werte leicht unterhalb der theoretischen Linie, das heißt eine geringe Abnahme der Gesamtstickstoffkonzentration, und für Ammoniumstickstoff Werte leicht oberhalb der theoretischen Linie, das heißt eine gewisse Anreicherung. Diese Tendenzen folgen aber weitgehend der vom Trockensubstanzgehalt abhängigen Masseaufteilung.

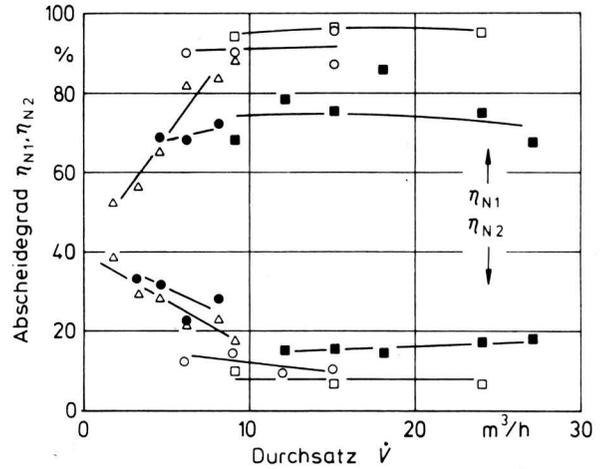


Bild 7. Abscheidegrad für Gesamtstickstoff im Effluent ( $\eta_{N1}$ ) und im Zentrat ( $\eta_{N2}$ ) als Funktion des Durchsatzes; Sieb I.

Rinder-Flüssigmist  $\circ$   $Z_0 = 5,7\%$   $\bullet$   $Z_0 = 11,7\%$   
 Schweine-Flüssigmist  $\square$   $Z_0 = 5,5\%$   $\blacksquare$   $Z_0 = 8,5\%$   
 Hühner-Flüssigmist  $\triangle$   $Z_0 = 16,1\%$

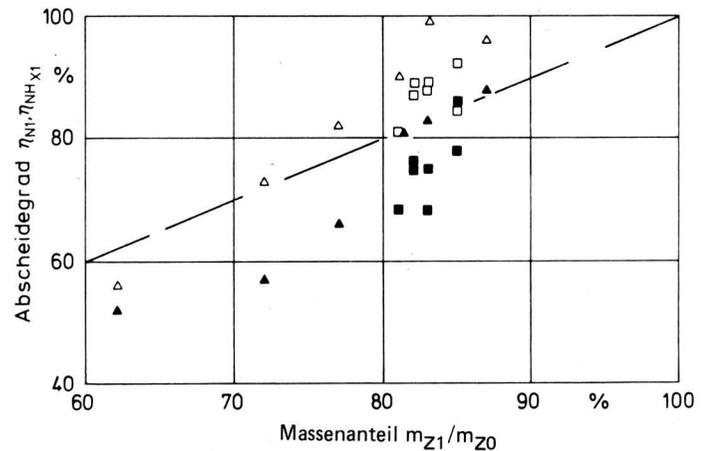


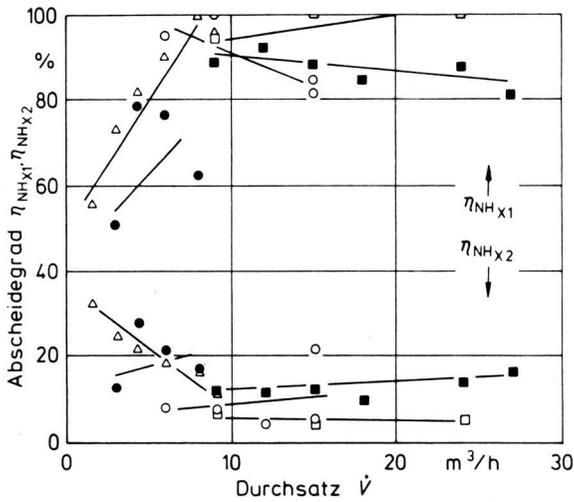
Bild 8. Abscheidegrad für Gesamtstickstoff ( $\eta_{N1}$ ) und für Ammoniumstickstoff ( $\eta_{NHX1}$ ) im Effluent als Funktion des mit dem Effluent abgeschiedenen Trockensubstanzanteils.

$\blacksquare$   $\eta_{N1}$ ;  $\square$   $\eta_{NHX1}$  für Schweine-Flüssigmist mit  $Z_0 = 8,5\%$   
 $\blacktriangle$   $\eta_{N1}$ ;  $\triangle$   $\eta_{NHX1}$  für Hühner-Flüssigmist mit  $Z_0 = 16,1\%$

Für Ammoniumstickstoff, das heißt für gelösten Stickstoff könnte eine Anreicherung in der flüssigen Phase erwartet werden. Dies trifft jedoch nur in geringem Maße zu, wie ein Vergleich von Bild 9 mit Bild 7 zeigt. Es wird verständlich, wenn man bedenkt, daß der Trockensubstanzanteil in der Grobsuspension etwa 5 bis 15 % ausmacht und selbst im Zentrat kaum 20 (25) % übersteigt. Damit liegen für diese beiden Stoffe weitgehend die gleichen Konzentrationen und Bindungsverhältnisse vor.

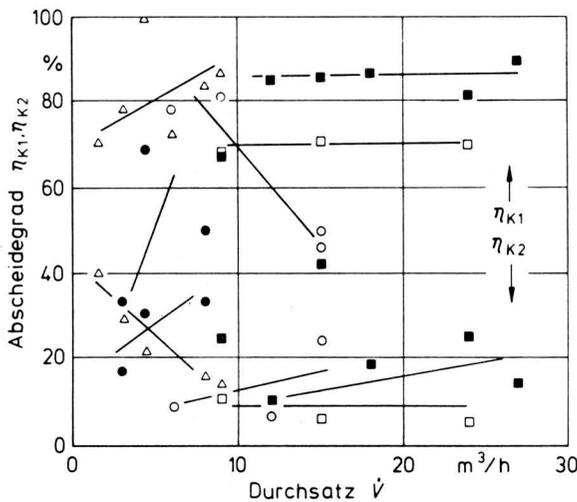
Bei Kalium, Bild 10, wird der Abscheidegrad  $\eta_K$  in dünnem Flüssigmist wenig vom Durchsatz beeinflusst, während dicker Flüssigmist bei niedrigem Durchsatz eine sehr starke Streuung aufweist. Die Kaliumaufteilung folgt wiederum weitgehend der Massenaufteilung.

Der Abscheidegrad für Phosphor  $\eta_P$ , Bild 11, zeigt eine starke Streuung über den Durchsatz, wobei sich entsprechende Werte von  $\eta_{P1}$  und  $\eta_{P2}$  nicht immer zu 100 % ergänzen. Der Abscheidegrad  $\eta_{P1}$  liegt zwischen 40 und 90 % und liegt damit deutlich unter dem zugehörigen Wert für die Abscheidung der Gesamtmasse, so daß gerade bei niedrigen Trockensubstanzgehalten der Grobsuspension eine Anreicherung im Zentrat zu verzeichnen ist.



**Bild 9.** Abscheidegrad für Ammoniumstickstoff in Effluent ( $\eta_{NHx1}$ ) und Zentrat ( $\eta_{NHx2}$ ) als Funktion des Durchsatzes; Sieb I.

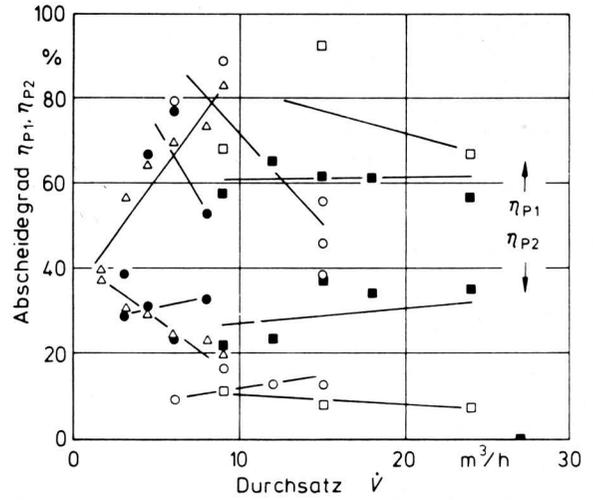
Rinder-Flüssigmist     $\circ$   $Z_0 = 5,7\%$      $\bullet$   $Z_0 = 11,7\%$   
 Schweine-Flüssigmist     $\square$   $Z_0 = 5,5\%$      $\blacksquare$   $Z_0 = 8,5\%$   
 Hühner-Flüssigmist     $\triangle$   $Z_0 = 16,1\%$



**Bild 10.** Abscheidegrad für Kalium in Effluent ( $\eta_{K1}$ ) und Zentrat ( $\eta_{K2}$ ) als Funktion des Durchsatzes; Sieb I.

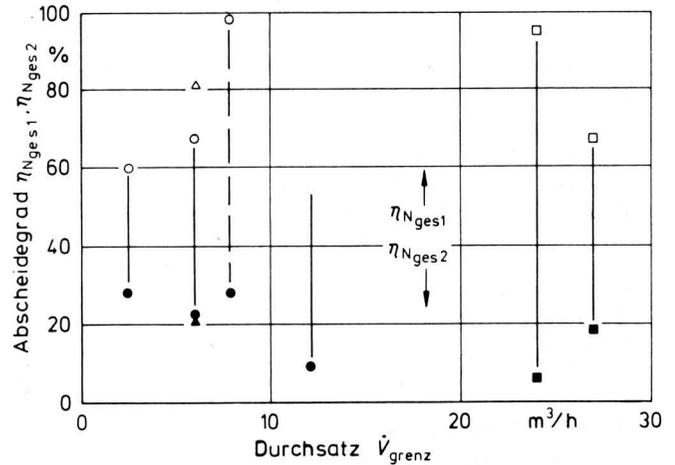
Rinder-Flüssigmist     $\circ$   $Z_0 = 5,7\%$      $\bullet$   $Z_0 = 11,7\%$   
 Schweine-Flüssigmist     $\square$   $Z_0 = 5,5\%$      $\blacksquare$   $Z_0 = 8,5\%$   
 Hühner-Flüssigmist     $\triangle$   $Z_0 = 16,1\%$

Bei dem Langloch-Sieb ergeben sich ähnliche Tendenzen, so daß davon ausgegangen werden kann, daß unter ähnlichen Geräte- und Substratbedingungen Gesamtstickstoff, Ammoniumstickstoff und Kalium der Menge nach ähnlich aufgeteilt werden wie die Gesamtmasse, während bei Phosphor eine Anreicherung im Zentrat stattfindet. Trägt man den Abscheidegrad für die verschiedenen Nährstoffe über dem optimalen Durchsatz für die verschiedenen Arten von Flüssigmist bei Rund- und Langloch-Sieb auf, so zeigt sich bei einiger Streuung, daß er wenig vom optimalen Durchsatz beeinflusst wird, das heißt, er ist weitgehend gerätespezifisch und kann auch für unbekannte Arten des Flüssigmistes im voraus abgeschätzt werden, Bild 12 und 13.



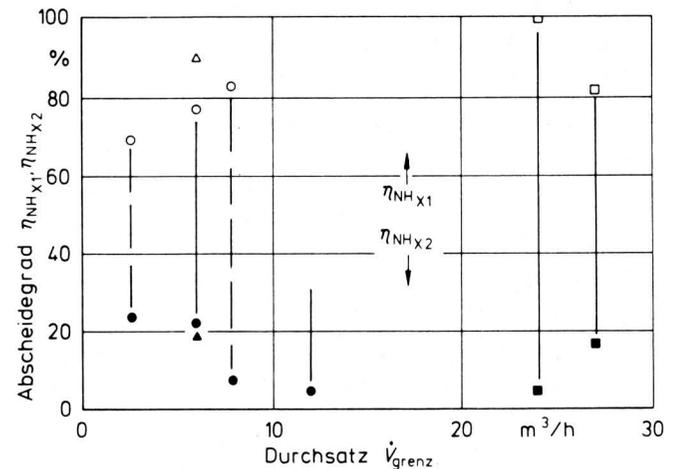
**Bild 11.** Abscheidegrad für Phosphor in Effluent ( $\eta_{P1}$ ) und Zentrat ( $\eta_{P2}$ ) als Funktion des Durchsatzes; Sieb I.

Rinder-Flüssigmist     $\circ$   $Z_0 = 5,7\%$      $\bullet$   $Z_0 = 11,7\%$   
 Schweine-Flüssigmist     $\square$   $Z_0 = 5,5\%$      $\blacksquare$   $Z_0 = 8,5\%$   
 Hühner-Flüssigmist     $\triangle$   $Z_0 = 16,1\%$



**Bild 12.** Abscheidegrad für Gesamtstickstoff in Effluent ( $\eta_{Nges1}$ ) und Zentrat ( $\eta_{Nges2}$ ) als Funktion des Grenzdurchsatzes.

— Sieb I     $\circ$ ;  $\bullet$  Rinder-Flüssigmist  
 - - Sieb II     $\square$ ;  $\blacksquare$  Schweine-Flüssigmist  
                    $\triangle$ ;  $\blacktriangle$  Hühner-Flüssigmist



**Bild 13.** Abscheidegrad für Ammoniumstickstoff in Effluent ( $\eta_{NHx1}$ ) und Zentrat ( $\eta_{NHx2}$ ) als Funktion des Grenzdurchsatzes.

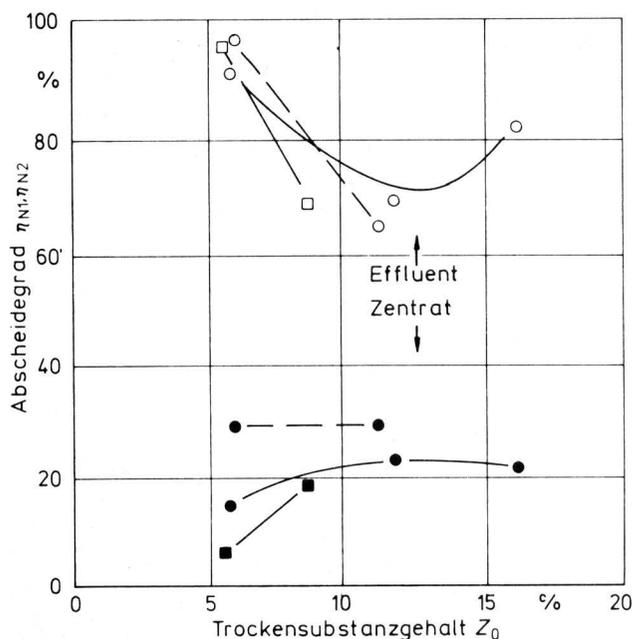
— Sieb I     $\circ$ ;  $\bullet$  Rinder-Flüssigmist  
 - - Sieb II     $\square$ ;  $\blacksquare$  Schweine-Flüssigmist  
                    $\triangle$ ;  $\blacktriangle$  Hühner-Flüssigmist

### 3.4.2 Einfluß des Trockensubstanzgehaltes auf den Abscheidegrad von Nährstoffen

Bei geringen Trockensubstanzgehalten der Grobsuspension verbleibt nahezu der gesamte Stickstoff im Effluent, Bild 14. Dies ist verständlich, da auch kaum Masse abgeführt wird.

Mit steigenden Trockensubstanzgehalten nimmt der Masseanteil an Gesamtstickstoff im Effluent deutlich ab und kann Werte um 65 % erreichen. Zumindest bei Flüssigmist von Schwein und Rind können bis zu 35 % des Gesamtstickstoffes mit dem Zentrat abgeführt werden und damit deutlich zur Entsorgung des Betriebes beitragen.

Hier wäre also bei hohen Trockensubstanzgehalten (möglichst ohne jede Wasserzufuhr) zu separieren und ggf. das aus Gründen der Pflanzenverträglichkeit noch immer zu trockensubstanzreiche Effluent zur Kopfdüngung zu verdünnen. Für Ammoniumstickstoff und Kalium ergeben sich die gleichen Zusammenhänge wie für Gesamtstickstoff. Bei Phosphor sind die Tendenzen weniger klar, jedoch sind kaum mehr als 20 % des gesamten Phosphors im Zentrat zu finden.

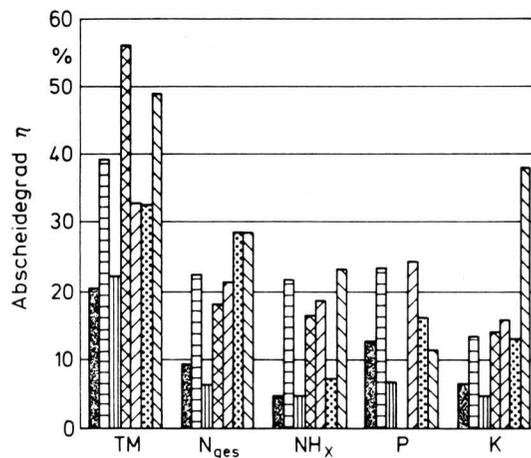


**Bild 14.** Abscheidegrad für Gesamtstickstoff in Effluent ( $\eta_{N1}$ ) und Zentrat ( $\eta_{N2}$ ) als Funktion des Trockensubstanzgehaltes der Grobsuspension.

— Sieb I    ○; ● Rinder-Flüssigmist  
- - Sieb II    □; ▲ Schweine-Flüssigmist

**Bild 15** veranschaulicht noch einmal, in welchen weiten Grenzen beim Zentrat die Abscheidegrade für Trockenmasse und für die verschiedenen Nährstoffe aus Flüssigmist verschiedener Herkunft und Zusammensetzung schwanken. Hohe Abscheidegrade für Trockenmasse können durchaus gekoppelt sein mit niedrigen Abscheidegraden für Stickstoff. Niedrige Abscheidegrade von Trockenmasse sind dagegen stets mit niedrigen Abscheidegraden von Nährstoffen verbunden.

Wenn Abscheidegrade des Langloch-Siebes trotz der größeren Löcher höher liegen, so ist das auf den geringeren Lochanteil an der Siebfläche zurückzuführen.



**Bild 15.** Abscheidegrad für die Trockenmasse und die verschiedenen Nährstoffe im Zentrat.

	R mit $Z_0 = 5,7\%$ , Sieb I
	R mit $Z_0 = 11,7\%$ , Sieb I
	S mit $Z_0 = 5,5\%$ , Sieb I
	S mit $Z_0 = 8,5\%$ , Sieb I
	H mit $Z_0 = 16,1\%$ , Sieb I
	R mit $Z_0 = 5,8\%$ , Sieb II
	R mit $Z_0 = 11,2\%$ , Sieb II

### 3.5 Leistungs- und Energiebedarf

Sieht man von dem Leistungsbedarf zum Homogenisieren des Flüssigmistes ab, so bleiben theoretisch vier Verbraucher im Bereich des Separierens:

1. Pumpe zur Beschickung des Separators ( $P_1, e_{\text{spez.1}}$ )
2. Trommelantrieb ( $P_2, e_{\text{spez.2}}$ )
3. Pumpe zur Entsorgung des Effluents ( $P_3, e_{\text{spez.3}}$ )
4. Förderelement für Zentrat ( $P_4, e_{\text{spez.4}}$ )

Bei geeigneter Aufstellung kann auf die beiden letztgenannten Aggregate, die Pumpe und das Förderelement zur Entsorgung, verzichtet werden.

In der Versuchsanordnung stand der Separator auf einem Podest von 3 m Höhe und wurde von einer Exzentrerschnepumppe aus einer darunter befindlichen Vorgrube beschickt. Das Effluent lief von der Pumpe unterstützt unter Schwerkraft zu einem Erdbecken. Das Zentrat wurde vom Abstreifer über eine Rutsche direkt auf einen Stallungstreuer geleitet.

Zu 1. Für die Beschickung wurde eine Exzentrerschnepumppe mit Drehzahlverstellung gewählt und in der Vorgrube installiert. Es wurde bewußt auf die Verwendung einer Schneidpumpe verzichtet, nicht nur weil deren Energiebedarf hoch ist, sondern auch weil der Abscheidegrad und die Struktur des Zentrates verschlechtert werden. Der Separator muß auch mit unzerkleinerten Rückständen störungsfrei arbeiten.

Die Leistungsdaten sind in Tafel 3 zusammengefaßt. Die Befüllpumpe hat eine Förderleistung von 2–35  $\text{m}^3/\text{h}$  und eine Leistungsaufnahme von 1–5 kW. Der spezifische Energiebedarf beträgt 0,5–0,15  $\text{kWh}/\text{m}^3$ .

Zu 2. und 3. Der Trommelantrieb hat eine Anschlußleistung von 1,5 kW und eine Leerlaufleistung von 0,6 kW, die strömungstechnisch keineswegs optimale Effluentpumpe hat einen Anschlußwert von 2,2 kW und eine Leerlaufleistung von 0,3 kW. Der Leistungsbedarf der Entsorgungspumpe steigt mit der Durchsatz und Trockensubstanzgehalt und kann den der Siebtrommel überschreiten. Bis 1,6 kW, d.h. 0,2  $\text{kWh}/\text{m}^3$  bei 8  $\text{m}^3/\text{h}$ , wurden für den Trommelantrieb gemessen.

Bei der Mehrzahl der Versuche wurden Trommelantrieb und Effluentpumpe im Betrieb gemeinsam erfaßt. Bis zu einem Durchsatz von etwa 6  $\text{m}^3/\text{h}$  ist bei dünnem Flüssigmist kein Anstieg über

Aggregate	Anschlußleistung P kW	Leistungsbedarf P <sub>eff</sub> kW	spez. Energiebedarf e <sub>spez</sub> kWh/m <sup>3</sup>
Versorgungspumpe	5	1 ... 10	... 0,5
Siebtrommel	1,5	0,6 ... 1,6	... 0,2
Effluentpumpe	2,2	0,3 ... 1,6	... 0,2
Zentralförderung	—	—	—
Summe	8,7	13,2	... 0,9

Tafel 3. Leistungs- und spezifischer Energiebedarf für die Aggregate der Separieranlage.

die Leerlaufleistung hinaus zu beobachten. Darüber steigt der Leistungsbedarf etwa proportional mit dem Durchsatz, so daß der spezifische Energiebedarf nahezu konstant bleibt: 0,15–0,18 kWh pro m<sup>3</sup>. Bei hohem Trockensubstanzgehalt steigt der Leistungsbedarf nur gering mit dem Durchsatz, so daß hier der spezifische Energiebedarf sogar fällt (0,4–0,12 kWh/m<sup>3</sup>) und Werte unterhalb derjenigen von dünnem Flüssigmist erreichen kann (0,12 kWh/m<sup>3</sup>).

Der Leistungsbedarf steigt im allgemeinen mit dem Trockensubstanzgehalt des Flüssigmistes und ist bei Schweineflüssigmist höher als bei Rinderflüssigmist. Der spezifische Energiebedarf liegt im Bereich 0,12–0,4 kWh/m<sup>3</sup>.

Die Anpreßkraft der beiden Druckrollen konnte an beiden Rollen bis auf 5 kN/m gesteigert werden. Sie hatte jedoch keinen meßbaren Einfluß auf den Leistungsbedarf.

Zusammenfassend kann damit gesagt werden, daß der gesamte Leistungsbedarf  $P = P_1 + P_2 + P_3$  kaum 9 kW und der spezifische Energiebedarf kaum 1 kWh/m<sup>3</sup> erreicht. Energieaufwand und Energiekosten sind daher beim Separieren außerordentlich niedrig und werden voraussichtlich bei den folgenden Maßnahmen des Homogenisierens und des Ausbringens eingespart.

#### 4. Zusammenfassung

Ein Siebtrommel-Separator wurde mit verschiedenen Einstellungen und Sieben beim Trennen von Flüssigmist unterschiedlicher Tierarten und Trockensubstanzgehalte untersucht. Die wesentlichen Ergebnisse sind in den folgenden Punkten zusammengefaßt:

- Der hydraulische Grenzdurchsatz verhält sich umgekehrt proportional zum Trockensubstanzgehalt des Flüssigmistes und liegt unter den gegebenen Verhältnissen im Bereich 2,5–25 m<sup>3</sup>/h. Mit Schweineflüssigmist wird bei gleichem Trockensubstanzgehalt ein deutlich höherer Durchsatz (Grenzdurchsatz) erreicht als mit Rinderflüssigmist.
- Der Durchsatz hat wenig Einfluß auf den im Zentrat erreichten Trockensubstanzgehalt.
- Der Abscheidegrad für Trockenmasse im Zentrat dagegen fällt exponentiell mit steigendem Durchsatz, das heißt: hohe Abscheidegrade werden nur bei niedrigem Durchsatz erreicht. Ein hoher Trockensubstanzgehalt der Rohgülle verbessert den Abscheidegrad.
- Der Trockensubstanzgehalt des Effluents liegt nur um 2–3 % unter dem der Grobsuspension. Gegebenenfalls ist also ein weiteres Trennen oder Verdünnen erforderlich.
- Die Sieblinien des Zentrates können herangezogen werden als Kriterium zur Beurteilung der Kompostierbarkeit.
- Der Abscheidegrad für Gesamt- und Ammoniumstickstoff sowie für Kalium folgt weitgehend der Massenaufteilung auf die Teilströme, d.h. die Nährstoffkonzentration von Effluent und Grobsuspension unterscheiden sich kaum.
- Entsprechend dem Zentratstrom können bei trockenreichem Flüssigmist und niedrigem Grenzdurchsatz dennoch bis zu 35 % des Stickstoffes abgetrennt werden.
- Im Zentrat findet eine Phosphoranreicherung statt.
- Der Energiebedarf zum Trennen übersteigt kaum 1 kWh/m<sup>3</sup> und wird in der Regel bei den nachfolgenden Verfahrensschritten wieder eingespart.

#### Schrifttum

Bücher sind durch • gekennzeichnet

- [ 1 ] • *Vauck, R.A. u. H.A. Müller*: Grundoperationen chemischer Verfahrenstechnik. 6. Aufl. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, 1982.
- [ 2 ] *Krause, R. u. R. Ahlers*: Verfahrenstechnik des Separierens von Flüssigmist. Grundl. Landtechnik Bd. 37 (1987) Nr. 3, S. 98/107.
- [ 3 ] *Kroodsma, W. u. H.R. Poelma*: Mestscheiding. Instituut voor Mechanisatie, Arbeid en Gebouwen (IMAG), Wageningen, publikatie 209, 1985.