

Dr. sc. R. Lehmann\*

Für einen störungsfreien Abfluß der Gülle in Fließkanälen ist die Tiefe der Kanäle von entscheidender Bedeutung. Die in der Literatur [1] [2] [3] u. a. angegebenen Werte über die notwendige Kanaltiefe wurden hauptsächlich aufgrund praktischer Erfahrungen gewonnen, ohne daß dazu die Fließfähigkeit der Gülle hinreichend genau bestimmt wurde. Im folgenden wird eine Methode beschrieben, nach der die Kanaltiefe in Abhängigkeit von der Fließfähigkeit der Gülle, ausgedrückt durch den Fließfaktor [4] [5], berechnet werden kann.

## 1. Theoretische Betrachtungen

Der Fließkanal muß bei einer bestimmten Länge so tief sein, daß die Gülle nicht bis durch den Gitterrost oder Spaltenboden ansteigt. Die maximale Höhe des Güllestapels  $h$  in einem Fließkanal ist hauptsächlich von der Fließgrenze der Gülle  $\tau_0$  und der Kanallänge  $l$  abhängig:

$$h = f(\tau_0, l) \quad (1)$$

Diese Gleichung zu lösen ist sehr schwierig, wenn die Fließgrenze der Gülle in  $N/m^2$  angegeben wird. Aus diesem Grund wurde ein Lösungsweg entwickelt, der auf der Schüttkegelmethode [5] basiert, wobei die Fließgrenze der Gülle im Fließfaktor  $a$  ausgedrückt wird.

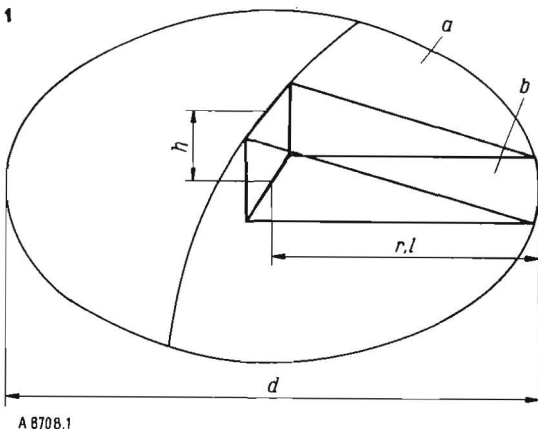
Aufgrund theoretischer Überlegungen wurde die Hypothese aufgestellt, daß der Güllestapel in einem Fließkanal ein Ausschnitt aus einem verhältnismäßig großen Schüttkegel ist (Bild 1). Zur Überprüfung dieser Hypothese diente u. a. ein Vergleichsversuch mit zwei Kanalmodellen von 700 mm Länge und einer runden Platte von 1400 mm Durchmesser. Die Ergebnisse dieses Versuchs sind im Bild 2 graphisch dargestellt. Vergleicht man die analytischen Ausdrücke der Regressionslinien mit den aus mathematischen Betrachtungen

\* Sektion Tierproduktion der Universität Leipzig/Rostock

Bild 1. Schematische Darstellung eines Fließkanals als Teil eines Schüttkegels;  $a$  Schüttkegel,  $b$  Fließkanal

Bild 2. Beziehungen zwischen Höhe und Volumen eines Güllestapels unterschiedlicher Fließfähigkeit im Kanal und auf einer Platte als Schüttkegel

Bild 3. Beziehungen zwischen Länge und Höhe eines Güllestapels unterschiedlicher Fließfähigkeit im Kanalmodell



A 8708.1

## Berechnung der Tiefe von Fließkanälen

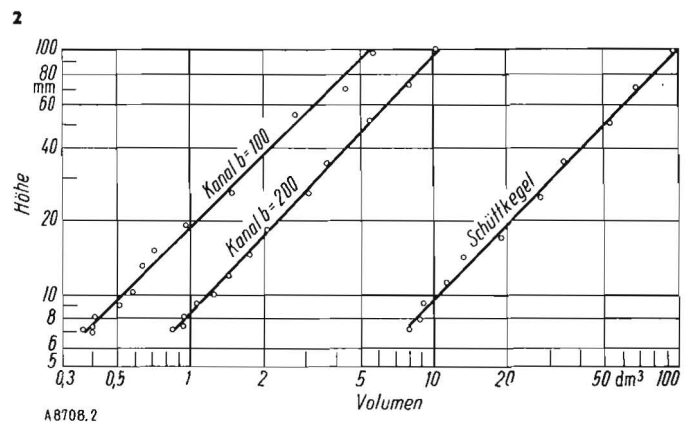
ermittelten Gleichungen, so ergibt sich für die Beziehungen zwischen Höhe  $h$  und Volumen  $V$  des Güllestapels folgendes:

Variante	im Versuch ermittelt	theoretisch berechnet
Kanal 100 mm breit	$h = 0,188 \cdot V^{0,973}$	$h = 0,181 \cdot V^{1,0}$
Kanal 200 mm breit	$h = 0,082 \cdot V^{1,056}$	$h = 0,091 \cdot V^{1,0}$
Schüttkegel	$h = 0,009 \cdot V^{1,030}$	$h = 0,010 \cdot V^{1,0}$

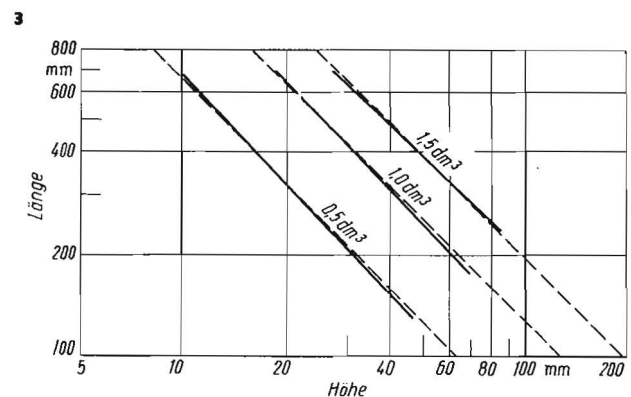
Die aus den Versuchen ermittelten analytischen Ausdrücke stimmen annähernd mit den vorher theoretisch berechneten Gleichungen überein, was mit ein Beweis für die Richtigkeit der aufgestellten Hypothese ist.

Da zwischen Schüttkegel und Fließkanal viele Ähnlichkeiten nachgewiesen wurden, konnte auch analog dem mathematischen Modell des Schüttkegels ein mathematisches Modell für den Fließkanal entwickelt werden. Daraus ließen sich u. a. mathematische Beziehungen zwischen Kanallänge und Höhe des Güllestapels in Abhängigkeit vom Volumen des Güllestapels ableiten. Diese theoretischen Ergebnisse wurden in Fließversuchen am Kanalmodell überprüft.

Im Bild 3 sind die Ergebnisse eines Versuchs graphisch dargestellt. Die gestrichelten Linien stellen die vorher theoretisch berechneten Werte dar. Die analytischen Ausdrücke der Regressionslinien stimmen annähernd mit den theoretisch ermittelten Gleichungen überein:



A 8708.2



A 8708.3

Gülvolumen dm <sup>3</sup>	im Versuch ermittelt	theoretisch berechnet
0,5	$l = 0,58 \cdot h^{-1,086}$	$l = 0,63 \cdot h^{-1,0}$
1,0	$l = 1,16 \cdot h^{-1,043}$	$l = 1,27 \cdot h^{-1,0}$
1,5	$l = 2,04 \cdot h^{-0,958}$	$l = 1,91 \cdot h^{-1,0}$

Aufgrund dieser Ähnlichkeiten und Übereinstimmung zwischen Schüttkegel und Fließkanal sowie der Ergebnisse zahlreicher Untersuchungen am Kanalmodell wurde für die Gleichung 1 folgende Lösung gefunden:

$$\text{Schüttkegel: } h = \frac{6}{\pi} \cdot a^{-\frac{1}{n}} \cdot d^{\frac{1-2n}{n}} \quad (2)$$

$$\text{Kanal: } h = \frac{6}{\pi \cdot b} \cdot a_1^{-\frac{1}{n}} \cdot d^{\frac{1-c}{c}} \quad (3)$$

Es bedeuten in Gleichung (2) und (3):

- $a$  Fließfaktor nach der Schüttkegelmethode ermittelt
- $a_1$  Fließfaktor am Kanalmodell ermittelt
- $b$  Kanalbreite
- $c$  Exponent des Volumens des Güllestapels im Kanal
- $d$  Grundflächendurchmesser des Schüttkegels
- $h$  Höhe des Schüttkegels und des Güllestapels im Fließkanal
- $l$  Länge des Fließkanals
- $n$  Exponent des Schüttkegelvolumens

Wird in Gleichung 3 der am Kanalmodell ermittelte Fließfaktor  $a_1$  durch den nach der Schüttkegelmethode ermittelten Fließfaktor  $a$  ersetzt, so ergibt sich folgende Gleichung:

$$h = \frac{6}{\pi} \cdot a^{-\frac{1}{n}} \cdot (2 \cdot l)^{\frac{1-2n}{n}} \quad (4)$$

Der Exponent  $n$  in Gleichung (4) ist theoretisch vom Fließfaktor  $a$  abhängig. Es konnte jedoch keine statistisch gesicherte Beziehung gefunden werden. Der Grund dafür ist in der geringen Schwankungsbreite des Exponenten  $n$  und in dem Versuchsfehler zu sehen, der beim relativ heterogenen Material „Gülle“ zwangsläufig entsteht. Für die Berechnungen in der Praxis kann ein Mittelwert von  $n = 0,4$  angenommen werden. Dieser Wert wurde aus etwa 200 Messungen an Gülle unterschiedlicher Fließfähigkeit ermittelt. Es sei betont, daß der Mittelwert nur für Gülle gültig ist und nicht für andere plastische Stoffe.

Gleichung (4) läßt sich daraufhin wie folgt vereinfachen, wobei die Höhe des Güllestapels der notwendigen Kanaltiefe entspricht:

$$\text{Kanaltiefe} = \frac{2,7 \cdot \sqrt{l}}{a^{2,5}} \quad [\text{dm}] \quad (5)$$

Wichtig ist, daß in Gleichung 5 die Kanallänge in der Einheit dm eingesetzt wird. Das hängt mit der Bestimmung des Fließfaktors  $a$  zusammen und ist rein mathematisch durch die einfachere Berechnung begründet.

Es besteht nun noch die Möglichkeit, die Gleichung 5 nach  $a$  umzuformen:

$$a = \frac{1,5 \cdot l^{0,2}}{h^{0,4}} \quad (6)$$

Nach dieser Gleichung kann der Fließfaktor für einen gegebenen Fließkanal berechnet werden, ohne daß eine Gülleprobe zu entnehmen ist. Diese berührungslose Meßmethode hat den Vorteil, daß die Eigenschaften der Gülle durch die Probenahme nicht verändert werden. Der so ermittelte Fließfaktor spiegelt die tatsächlichen Fließverhältnisse im Kanal wider.

Die nach Gleichung (6) ermittelten Werte für den Fließfaktor liegen durchschnittlich um 30 bis 40 Prozent niedriger als die Werte, die aus einer dem Güllestapel entnommenen Probe mit dem Schüttkegel bestimmt werden. Diese Diffe-

renz kommt hauptsächlich dadurch zustande, daß die Gülle bei der Probenahme und beim Messen homogenisiert wird, wodurch sich der Fließfaktor erhöht. Im Fließkanal sind dagegen Kot und Harn nicht vollständig vermischt, so daß Schichten unterschiedlicher Fließfähigkeit auftreten. Die Gülle hat deshalb einen niedrigeren Fließfaktor.

Aus diesem Grunde sollte zur Berechnung der Tiefe von Fließkanälen vorrangig der nach Gleichung 6 berechnete Fließfaktor verwendet werden. Die mit dem Schüttkegel ermittelten Fließfaktoren sind dagegen sehr gut zur Schnellbestimmung der Fließfähigkeit von Rindergülle verschiedener Herkunft geeignet.

## 2. Berechnung der Kanaltiefe

Im Bild 4 sind die nach Gleichung (5) berechneten Kurven für die Kanaltiefe in Abhängigkeit von der Kanallänge eingetragen. Aus dem Kurvenverlauf ist zu erschen, daß die Kanaltiefe nicht proportional, sondern degressiv mit steigender Kanallänge zunimmt. Die notwendige Kanaltiefe kann deshalb nicht in Prozent zur Kanallänge angegeben werden, wie das in der Literatur häufig zu finden ist.

Die Mindesttiefe der Fließkanäle beträgt bei einem Fließfaktor von 2 und darüber 0,6 m. Die Mindesttiefe bei niedrigeren Fließfaktoren geht aus der ersten Zeile von Tafel 1 hervor. Die Mindesttiefe der Sammelkanäle beträgt unabhängig vom Fließfaktor 0,5 m.

Für die Projektierung von Fließkanälen ergibt sich nun die Frage, welcher Fließfaktor bei der Berechnung der Kanaltiefe zugrunde gelegt werden soll, d. h. welche Fließfähigkeit die Gülle in der zu projektierenden Anlage haben wird. Diese

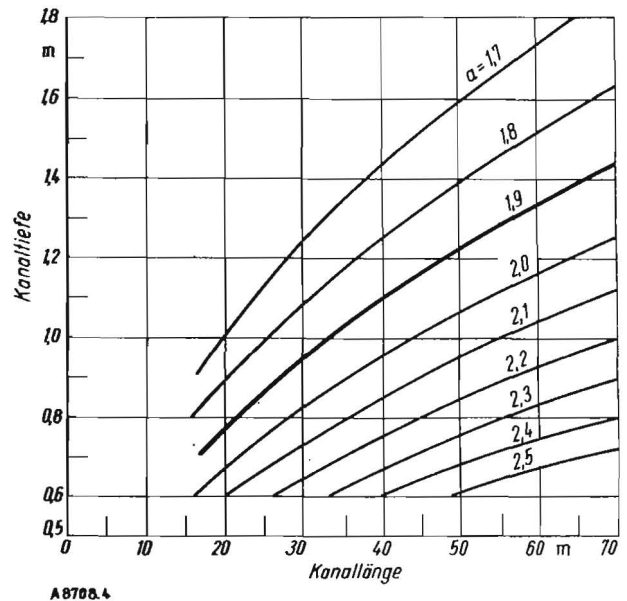


Bild 4. Beziehungen zwischen Länge und Tiefe der Fließkanäle in Abhängigkeit vom Fließfaktor

Tafel 1. Notwendige Tiefe eines Fließkanals in Abhängigkeit von der Kanallänge und vom Fließfaktor

Kanal- länge m	Kanaltiefe in m bei verschiedenem Fließfaktor			
	$a = 1,7$	$a = 1,8$	$a = 1,9$	$a = 2,0$
≤ 15	0,90	0,80	0,70	0,60
20	1,01	0,88	0,77	0,67
25	1,13	0,98	0,86	0,75
30	1,24	1,08	0,94	0,83
40	1,43	1,24	1,08	0,95
50	1,60	1,39	1,21	1,07
60	1,76	1,52	1,33	1,17

Vorherbestimmung ist schwierig, denn die Fließgrenze der Gülle wird von mehreren Faktoren beeinflusst: Tierart und Nutzungsrichtung, Art und Zusammensetzung des Futters, Menge des Tränkwassers, Stallklima, Zusatz von Wasser sowie Futterresten u. a.

Diese Einflußgrößen sind wegen ihrer Vielfalt und der großen Streubreite schwer zu erfassen. Das ist unter anderem ein Grund, weshalb noch keine repräsentativen Untersuchungsergebnisse aus der Praxis über die Fließgrenze der Gülle in Abhängigkeit von den Einflußgrößen vorliegen. Solange diese Ergebnisse fehlen, muß der Fließfaktor aus Fließkanälen vorhandener Stallanlagen nach der berührungslosen Meßmethode (Gleichung 6) errechnet werden. Aus diesem Fließfaktor kann dann für Stallanlagen mit ähnlichen Bedingungen die notwendige Kanaltiefe berechnet werden. Zur Ermittlung vorläufiger Richtwerte für Rinderstallanlagen kann man die Produktionsbedingungen der DDR in bezug auf die Fließfähigkeit der Gülle wie folgt grob klassifizieren:

günstig	$a = 2,0$
normal	$a = 1,9$
ungünstig	$a = 1,8$
sehr ungünstig	$a = 1,7$

Einen Fließfaktor von 2 hat die Gülle beispielsweise dann, wenn eiweißreiches und rohfaserarmes Futter verfüttert wird. Ein Fließfaktor von 1,9 wurde bei Milchkühen mit 4000 kg Jahresmilchmenge ermittelt. Der Faktor 1,7 tritt dann auf, wenn zum Beispiel das Jungvieh nur Anweilksilage und Heu bekommt. Für die Sammelkanäle kann ein Fließfaktor von 2,2 bis 2,7 angenommen werden.

### 3. Allgemeine Probleme der Fließkanalentmischung

Von seiten der Projektierung wird häufig die Frage gestellt, wie lang die Fließkanäle höchstens sein dürfen, damit die Gülle noch störungsfrei abfließt. Lommatzsch [7] empfiehlt aufgrund praktischer Erfahrungen, die Länge der Fließkanäle in Rinderanbindeställen auf maximal 30 m zu begrenzen. In Ställen mit 50 Tieren auf einer Reihe befindet sich in diesem Fall der Sammelkanal in der Mitte, so daß die Stichkanäle nicht länger als 30 m sind.

In Rinderlaufställen mit Stichkanälen bis zu 45 m Länge konnten bisher keine Abflußstörungen festgestellt werden, die auf die Kanallänge zurückzuführen waren. Die Gülle fließt auch in diesen relativ langen Kanälen ab, wenn Kot und Harn ausreichend vermischt sind und der Fließfaktor an keiner Stelle im Kanal weniger als 1,7 beträgt.

Die Länge der Sammelkanäle ist vom Fließverhalten der Gülle her kaum begrenzt, wenn die Gülle aus den Stichkanälen ohne Störungen abfließt; denn dann ist die Gülle so weit homogen, daß sich Störfaktoren, wie z. B. kurzzeitige Unterbrechung des Fließvorgangs, kaum negativ auswirken. Aus technischen und technologischen Gründen ist es jedoch in modernen Anlagen vorteilhafter, die Gülle mit sogenannten Umsetzerpumpen unter Druck in die Lagerbehälter zu fördern und nicht die Kanäle mehrere hundert Meter lang auszubilden.

Für die Projektierung von Fließkanälen ist weiterhin von Interesse, wie breit die Kanäle sein können. In den Modellversuchen konnte festgestellt werden, daß die Gülle aus breiten Kanälen besser abfließt als aus schmalen. Ähnliche Beobachtungen wurden auch in der Praxis gemacht [7]. Für Rinderanbindeställe bleibt die Forderung nach einer Mindestbreite von 0,8 m bestehen, wobei Kanäle von 1 m Breite günstiger sind.

In Rinderlaufställen ergeben sich Kanalbreiten bis zu 2,8 m. Von der Rheologie her zu urteilen, muß die Gülle in diesen relativ breiten Kanälen ohne Störungen abfließen (bei entsprechender Kanaltiefe!). Diese Schlußfolgerung hat sich in

den ersten Laufställen bestätigt. Wenn jedoch die Gülle im Kanal sehr inhomogen ist, d. h., wenn an einer bestimmten Stelle des Kanals viel Kot oder Futterreste und wenig Flüssigkeit anfallen, dann kommt es zu Abflußstörungen. In breiten Kanälen kann die Flüssigkeit um diese Anhäufung herumfließen, so daß die festen Stoffe im Kanal liegenbleiben. Deshalb sollten an den Krippen oder unter den Treibewegen die Sammelkanäle angeordnet werden. Die Futterreste fließen dann besser mit ab. Auf keinen Fall dürfen an der Futterkrippe die Stichkanäle beginnen.

Abschließend sei darauf hingewiesen, daß Fließkanäle vor Inbetriebnahme mit etwa 20 Prozent Wasser zu füllen sind, weil bis zum Beginn des Fließens viel Flüssigkeit verdunstet. Nachträglich zugesetztes Wasser vermischt sich nur schwer mit der Gülle.

### 4. Zusammenfassung

Die notwendige Tiefe der Fließkanäle ist von der Fließgrenze der Gülle und der Kanallänge abhängig. Die Fließgrenze kann nach der Schüttkegelmethode oder berührungslos direkt aus einem Fließkanal als Fließfaktor ermittelt werden. Für die Berechnung der Kanaltiefe aus dem Fließfaktor ist eine Methode entwickelt worden. Für die notwendige Tiefe von Fließkanälen in Rinderställen werden einige Richtwerte gegeben. Problematisch ist zur Zeit noch, genau vorherzusagen, welchen Fließfaktor die Gülle in einer zu projektierenden Anlage haben wird, da die in der Praxis wirkenden Einflußgrößen vielfältig und nur schwer erfassbar sind.

### Literatur

- [1] Poelma, H. R.: Erfahrungen mit der Schwemmentmischung ohne Wasser. *Landtechnik* 18 (1963), S. 790-791
- [2] Berglund, S. / G. Aniansson / I. Ekesbo: Hantering av flytande gödsel. Uppsala, jordbrukstekniska Institutet 1965
- [3] Lommatzsch, R. / G. Schmorl: Praktische Erfahrungen mit der Fließkanalentmischung in Rinderställen. *Deutsche Agrartechnik* 19 (1969) H. 7, S. 316-318
- [4] Lehmann, R.: Untersuchungen zur Fließgrenze von Rindergülle. Leipzig: Karl-Marx-Universität, Dissertation 1970
- [5] Lehmann, R. / K. Jäger: Bestimmung der Fließgrenze von Gülle. *Deutsche Agrartechnik* 22 (1972) H. 8, S. 367-369
- [6] Lommatzsch, R. / G. Schmorl: Untersuchungen an Fließkanälen zur Entmischung in Rinderanbindeställen. *Deutsche Agrartechnik* 20 (1970) H. 8, S. 368-373
- [7] —: Untersuchungen zum Transport von Rindergülle ohne Wasserzusatz vom Stall in den Lagerbehältern durch Schwerkraft. Leipzig: Karl-Marx-Universität, Sektion Tierproduktion. Forschungsbericht 4502 021 V/8008/8 Teil II, 30. Juni 1968 A 8708

### KDT-Fachtagung zur rationellen Energieanwendung

Am 19. Oktober 1972 wird die 2. Wissenschaftlich-technische Tagung „Rationelle Energieanwendung in der Landwirtschaft und Nahrungsgüterwirtschaft“ in Rostock-Warnemünde, HO-Kurhaus, durchgeführt.

Das Thema lautet:

**Wechselbeziehungen zwischen Produktionstechnologie und Energieanwendung für relevante Produktionsbereiche — Weitere Aufgaben der Energieanwendung in Auswertung des Seminars des Ministerrats und des XI. Bauernkongresses**

Die Teilnehmergebühren betragen für KDT-Mitglieder 20,— M und für Nichtmitglieder 40,— M. Übernachtungsmöglichkeiten sind gegeben. Teilnahme-meldungen sind zu richten an:

Kammer der Technik, Bezirksvorstand Rostock  
25 Rostock, Waldemarstr. 20a, Telefon 36 161  
SB Wissenschaft und Technik

AK 8854