

Gülle hat als plastischer Stoff mit quasiplastischem Fließverhalten eine Fließgrenze  $\tau_0$ . Die Fließgrenze der Gülle wirkt sich beispielsweise bei der Fließkanalentmischung dahingehend aus, daß der Güllestapel im Fließkanal erst eine bestimmte Höhe haben muß, bis er zu fließen beginnt. Die Fließgrenze ist in diesem Fall die äquivalente Kenngröße für die notwendige Tiefe des Fließkanals und hat somit bei der Projektierung von Güllekanälen große Bedeutung.

### 1. Theoretische Grundlagen der Meßmethode

Die Fließgrenze kann durch Extrapolation der im Bild 1 dargestellten Fließkurve bestimmt werden  $/2/ /3/$ . Die Ermittlung der Fließkurve ist jedoch verhältnismäßig aufwendig und ungenau, wenn beispielsweise in der Gülle unzerkleinerte Futterreste enthalten sind. Um diese und noch andere Schwierigkeiten zu umgehen, wurde eine relativ einfache Meßmethode entwickelt, die als „Schüttkegelmethode“ bezeichnet wird.

Theoretische Grundlage der Schüttkegelmethode ist eine Hypothese, die auf folgender Überlegung beruht: Wenn eine bestimmte Menge Gülle auf eine horizontale Platte geschüttet wird, fließt der Güllestapel durch seine potentielle Energie (Masse mal Erdbeschleunigung) so weit auseinander, bis die Fließgrenze erreicht ist, das heißt bis sich zwischen den horizontal wirkenden Kräften und dem Reibungswiderstand auf der Grundfläche ein Gleichgewicht eingestellt hat.

Aus den Abmessungen des Kegels (Grundflächendurchmesser, Höhe oder Schüttwinkel) kann dann die Fließgrenze oder ein ihr äquivalenter Wert berechnet werden.

### 2. Meßmethodik

Für die Bestimmung der Fließgrenze dient das im Bild 2 dargestellte Gefäß aus Blech mit 1 dm<sup>3</sup> Volumen. Es hat die Form eines Kegelstumpfs und ist oben und unten offen. Das Gefäß wird auf eine waagerechte Platte gestellt und von oben mit Gülle gefüllt. Danach hebt man es an. Der Gülle-

stapel fließt dabei gleichmäßig auseinander und erreicht die im Bild 3 dargestellte Form. Nach 15 Minuten wird der Grundflächendurchmesser des entstandenen Schüttkegels bestimmt.

Die Platte kann aus Stahl mit Glas bedeckt (für exakte Messungen) oder aus PVC bestehen. Man kann die Gülle aber zur Grobmessung auch auf jede andere waagerechte, glatte Fläche schütten. Es ist zweckmäßig, die Diagonalen der Platte mit einer Zentimetereinteilung zu versehen; andernfalls wird der Grundflächendurchmesser mit dem Zirkel bestimmt. Der Mittelwert von zwei Messungen ist für praktische Bedingungen hinreichend genau. Wissenschaftliche Untersuchungen erfordern vier Messungen. Es sind höchstens drei Wiederholungen notwendig.

### 3. Berechnung der Relativwerte für die Fließgrenze

Von den verschiedenen Abmessungen des Schüttkegels ist der Grundflächendurchmesser als Kenngröße für die Fließgrenze am zweckmäßigsten. Einmal haben die Meßwerte die geringste Streuung, und zum anderen bietet diese Kenngröße verschiedene mathematische Vorteile.

Im Bild 4 sind die aus den Schüttkegelversuchen ermittelten Werte für den Grundflächendurchmesser  $d$  in Abhängigkeit vom Kegelvolumen  $V$  graphisch dargestellt. Die analytischen Ausdrücke der Regressionslinien lauten:

	Statist. Sich.	B
Kot ohne Wasserzusatz	+++	0,998
Kot mit 20 Prozent Wasserzusatz	+++	0,999
Kot mit 40 Prozent Wasserzusatz	+++	0,998
Kot mit 60 Prozent Wasserzusatz	+++	0,996
Kot mit 80 Prozent Wasserzusatz	+++	0,997

Die analytischen Ausdrücke haben allgemein die Form:

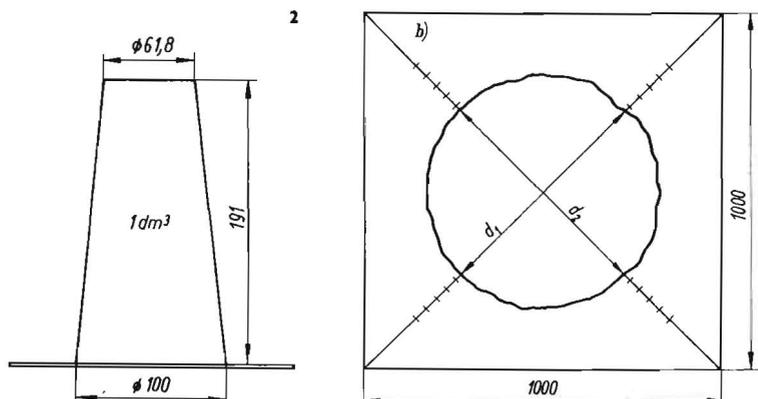
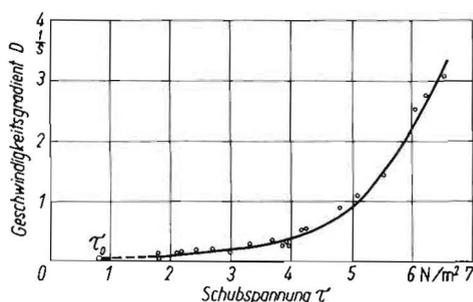
$$d = a \cdot V^n \quad (1)$$

\* Universität Rostock, Sektion Tierproduktion  
\*\* Karl-Marx-Universität Leipzig, Sektion Tierproduktion und Veterinärmedizin

Bild 2. Gefäß für die Bestimmung des Fließfaktors nach der Schüttkegelmethode

Bild 3. Form des Schüttkegels auf einer waagerechten Platte, a) Seitenansicht, b) Draufsicht

Bild 1. Fließkurve von Rindergülle im  $D-\tau$ -Diagramm nach Lommatzsch  $/1/$



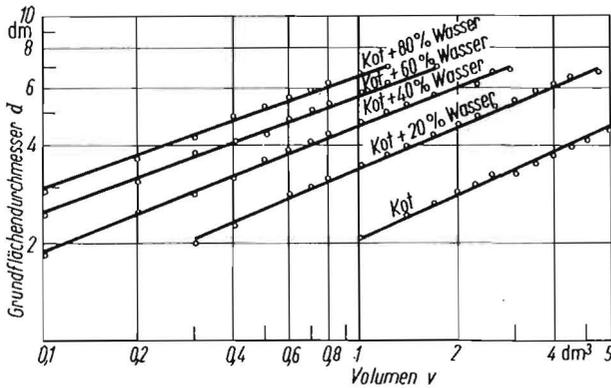
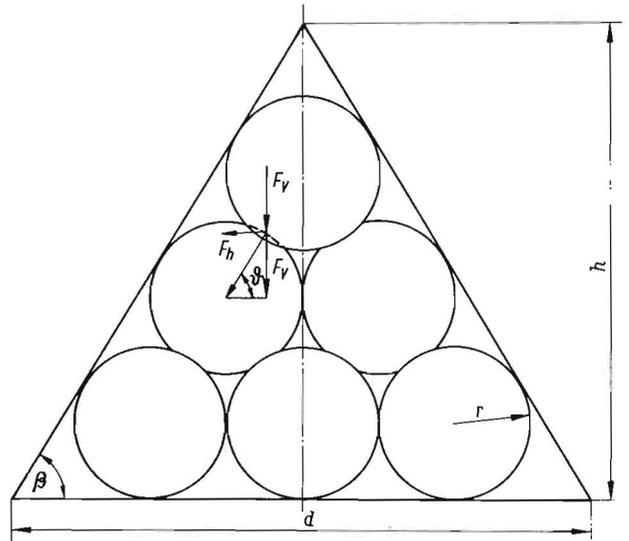


Bild 4. Beziehungen zwischen Grundflächendurchmesser und Volumen eines Gülleschüttkegels bei unterschiedlichem Verdünnungsgrad der Gülle

Bild 5. Aufbau des Kugelmodells, vereinfachter Schnitt



Eine ähnliche Gleichungsform ergibt sich, wenn die Gleichung für die Berechnung des Kegelvolumens

$$V = \frac{d^2 \cdot \pi \cdot h}{12} \quad (2)$$

nach  $d$  umgeformt wird:

$$d = \left( \frac{12}{\pi \cdot h} \right)^{0,5} \cdot V^{0,5} \quad (3)$$

$$d = a' \cdot V^{0,5} \quad (4)$$

Es besteht eine Ähnlichkeit in der Form zwischen den Gleichungen (1) und (4). Das ist bemerkenswert, denn die Form der Gleichung (1) wurde aus der statistischen Verrechnung der Meßwerte gewonnen, und die Form der Gleichung (4) ergibt sich rein mathematisch.

Aus weitergehenden theoretischen Betrachtungen und entsprechenden Versuchen ergab sich, daß sowohl der Exponent  $n$  als auch der Faktor  $a$  äquivalente Kenngrößen für die Fließgrenze sind.

Der Faktor  $a$  hat mathematisch und auch hinsichtlich der Meßgenauigkeit verschiedene Vorteile, so daß er allein als äquivalenter Wert für die Fließgrenze gewählt wurde. Er wird als „Fließfaktor“ bezeichnet.

Der Grundflächendurchmesser  $d$  des Güllestapels, gemessen in dm, entspricht dem Fließfaktor  $a$ :

$$d \cong a \quad (5)$$

Diese relativ einfache Berechnung kommt zustande, weil die Meßergebnisse nach Umwandlung in Logarithmen eine Regressionsgerade ergeben. In diesem Fall läßt der Wert 1 beim Rechnen mit Logarithmen viele Vereinfachungen zu. Dieser Vorteil konnte auch dadurch genutzt werden, daß beim Schüttkegel ein Volumen von 1 dm<sup>3</sup> gewählt wurde.

Die Werte des Fließfaktors  $a$  liegen im Bereich von 1 bis 8 (durchschnittlich bei Rindergülle 3, bei Hühnergülle 1,8). Die Bestimmung eines Fließfaktors unter 1 ist nicht möglich, da das Meßgefäß einen Grundflächendurchmesser von 1 dm hat. Außerdem besitzt ein Stoff mit einem Fließfaktor unter 1 eine so große Kohäsion, daß kaum noch ein Fließen durch seine potentielle Energie wahrnehmbar ist. Die obere Grenze des Fließfaktors von 8 ist durch die Oberflächenspannung der Flüssigkeit bedingt. So fließt die reine Flüssigkeit, bei der keine Fließgrenze nachweisbar ist, nur bis zu einem Durchmesser von etwa 8 dm auseinander. Aus diesen Gründen liegen die Werte des Fließfaktors für Gülle zwischen 1 und 8. Der Wert 1 entspricht dabei einer sehr hohen und der Wert 8 einer sehr niedrigen Fließgrenze.

#### 4. Berechnung der Fließgrenze aus den Relativwerten

In der Rheologie ist es üblich, die Fließgrenze eines Stoffes in der gesetzlichen Einheit N/m<sup>2</sup> anzugeben. Auf der Grundlage der für die Schüttkegelmethode aufgestellten Hypothese besteht die Möglichkeit, die Relativwerte des Fließfaktors in die Einheit N/m<sup>2</sup> umzurechnen. Die im Schüttkegel vertikal und horizontal wirkenden Kräfte könnten aus den Vektoren der in der Gülle enthaltenen festen Teile berechnet werden. Dieser Lösungsweg ist zwar theoretisch möglich, aber praktisch kaum realisierbar, weil die festen Teile in ihrer Gestalt und Zusammensetzung zu heterogen sind.

Als ein zweckmäßiger Weg zur Ermittlung der Kräfte im Kegel erwies sich deren Berechnung an einem Kugelmodell. Die festen Bestandteile der Gülle werden dabei durch Kugeln ersetzt. Aus Bild 5 ist der prinzipielle Aufbau des Kugelmodells zu ersehen. Dieses Modell läßt sich in bezug auf Menge der Kugeln, Kugeldurchmesser sowie Volumen, Höhe, Durchmesser und Schüttwinkel des aus Kugeln zusammengesetzten Schüttkegels mathematisch eindeutig bestimmen. Daraufhin können dann die im Modell wirkenden Kräfte ermittelt werden.

Die Berechnungen ergaben, daß die Fließgrenze eine Funktion folgender Faktoren ist:

$$\tau_0 = f(a, d, \beta, \rho, g, r)$$

Der Fließfaktor  $a$ , der Grundflächendurchmesser  $d$ , der Schüttwinkel  $\beta$ , die Dichte  $\rho$  und die Fallbeschleunigung  $g$  sind leicht zu ermitteln oder bekannt. Die Bestimmung des mittleren wirksamen Radius  $r$  der in der Gülle enthaltenen festen Teile ist dagegen äußerst schwierig, denn die festen Teile sind unregelmäßig und verschiedenartig geformt. Das Problem, für derartige Teile den mittleren wirksamen Radius zu bestimmen, ist bis heute nicht zufriedenstellend gelöst. Es lassen sich nur Näherungswerte angeben.

In Tafel 1 sind einige Werte über die Fließgrenze von Rindergülle zusammengestellt. Die in Rindergülle enthaltenen Teile haben unter Berücksichtigung des Formfaktors einen mittleren wirksamen Radius von etwa 1 bis 2 mm. Interessant ist nun, daß Lommatzsch /1/ und Schmorl /4/ un-

Tafel 1. Werte der Fließgrenze bei verschiedenem Fließfaktor  $a$  und unterschiedlichem Kugelradius  $r$  (mittlerer wirksamer Radius der festen Teile)

Fließfaktor $a$	Fließgrenze	
	$r = 1 \text{ mm}$ N/m <sup>2</sup>	$r = 2 \text{ mm}$ N/m <sup>2</sup>
2	4,11	7,21
2	1,82	3,19
4	1,03	1,81
5	0,66	1,16

abhängig voneinander in unterschiedlichen Rohrviskositäten durch Extrapolation der Fließkurve für die Fließgrenze unverdünnter Rindergülle (Fließfaktor 2 bis 3) Werte von  $\geq 0$  bis  $10 \text{ N/m}^2$  ermittelten. Die nach dem Kugelmodell errechneten Werte liegen ebenfalls in diesem Bereich. Diese annähernde Übereinstimmung ist insofern bemerkenswert, als es sich bei den Berechnungen am Kugelmodell um einen langwierigen und komplizierten Rechenweg handelt. Abschließend kann gesagt werden, daß die Umrechnung der Relativwerte des Fließfaktors  $a$  in die Einheit  $\text{N/m}^2$  zwar theoretisch gelöst ist, praktisch aber mit einem mehr oder weniger großen Fehler behaftet ist. Solange die Bestimmung des mittleren wirksamen Radius von unregelmäßig geformten Teilen nicht hinreichend genau möglich ist, sollte auf die Umrechnung des Fließfaktors in die Einheit  $\text{N/m}^2$  verzichtet werden. Der Fließfaktor  $a$  ist als Relativwert für die Fließgrenze der Gülle genauer. Aus ihm kann dann beispielsweise die notwendige Tiefe der Fließkanäle in Abhängigkeit von der Kanallänge direkt berechnet werden.

### 5. Zusammenfassung

Für die Bestimmung der Fließgrenze von Gülle wurde die „Schüttkegelmethode“ entwickelt. Dazu dient ein Gefäß mit

$1 \text{ dm}^3$  Volumen, das die Form eines Kegelstumpfes hat. Die Gülle wird von oben in das Gefäß gefüllt, das auf einer waagerechten Platte steht. Nach dem Anheben des Gefäßes fließt die Gülle auseinander. Der Grundflächendurchmesser des entstandenen Schüttkegels, gemessen in dm, dient als Kenngröße für die Fließgrenze. Der Meßwert wird als „Fließfaktor“ bezeichnet und dient beispielsweise dazu, die notwendige Tiefe von Fließkanälen zu berechnen.

### Literatur

- /1/ Lommatzsch, R.: Rheologische Untersuchungen an Rindergülle als Beitrag zur Mechanisierung der Güllewirtschaft. Leipzig, Karl-Marx-Universität, Diss. 1969
- /2/ Lommatzsch, R.: Die Fließeigenschaften von Rindergülle. Deutsche Agrartechnik 19 (1969) H. 7, S. 318–321
- /3/ Tschierschke, M.: Untersuchungen der physikalisch-mechanisierten Eigenschaften von Suspensionen, insbesondere fließfähiger Futtermischungen. Institut für Mechanisierung der Landwirtschaft Potsdam-Bornim, Forschungsbericht Nr. 268021-6-21/6, 1968
- /4/ Schmorl, G.: Das Fließen von Gülle in Rohrleitungen unter Nutzung der Schwerkraft. Karl-Marx-Universität Leipzig, Sektion Tierproduktion und Veterinärmedizin Fachgruppe Landtechnik, Forschungsbericht v. 15. Okt. 1971
- /5/ Lehmann, R.: Untersuchungen zur Fließgrenze der Rindergülle. Karl-Marx-Universität, Leipzig, Diss. 1970 A 8707

Dipl.-Ing. K. Kirschner, KDT\*

## Die Verbesserung der Klimagegestaltung bei der Rationalisierung der tierischen Produktionsanlagen<sup>1</sup>

Für einen gesunden Tierbestand und die angestrebten hohen tierischen Leistungen bei geringstem Futterverbrauch ist in den letzten Jahren außer den beiden Faktoren Fütterung und Züchtung die Problematik einer optimalen Umweltgestaltung stark in den Vordergrund gerückt. In diesem Zusammenhang wird — vor allem in den gemäßigten und kühlen Klimazonen — den Fragen der optimalen Klimagegestaltung in den modernen Tierproduktionsanlagen eine erhöhte Aufmerksamkeit geschenkt. Diese Schwerpunktverschiebung ist vor allem durch die hohen Tierkonzentrationen — als Voraussetzung für eine wirtschaftliche Mechanisierung der Tierhaltung — bedingt. Erich Honecker /1/ nannte hierzu folgende Gesetzmäßigkeiten:

- Es ist volkswirtschaftlich vorteilhafter, unsere sozialistische Landwirtschaft mit mehr und besseren Produktionsmitteln zu fördern, statt Nahrungsgüter, die wir selbst erzeugen können, einzuführen.
- Bei der Intensivierung der landwirtschaftlichen Produktion haben wir einen Stand erreicht, bei dem die Produktionssteigerung maßgeblich von der Zuführung moderner Produktionsmittel abhängt.
- Der Einsatz vergegenständlicher Arbeit und wissenschaftlicher Ergebnisse in der landwirtschaftlichen Produktion nimmt mit der Intensivierung zu.

### 1. Der Übergang zu industriemäßigen Produktionsmethoden in der Viehwirtschaft

Der Übergang zur ganzjährigen Stallhaltung großer Tierbestände wird gekennzeichnet durch:

- völlig neue Produktionsverfahren und Haltungsformen
- veränderte Bauwerksgestaltung und neue Bauweisen sowie wesentlich vergrößerte Gebäudeabmessungen
- neuartige technologische Ausrüstungen.

Anlagen zur Klimagegestaltung in geschlossenen Ställen haben in der Hauptsache eine hygienische Aufgabe an jedem Tierplatz zu erfüllen. Sie sollen die Gesundheit jedes einzelnen

Tieres durch die Schaffung eines geeigneten Mikroklimas erhalten und seine spezifische Leistungsfähigkeit fördern. Darüber hinaus sind die speziellen Arbeitsbedingungen der in diesen Anlagen beschäftigten Personen zu berücksichtigen. Das Stallklima (Mikroklima) kann durch Zustandswerte (Klimafaktoren) der Stallluft näher beschrieben werden. Eine integrierende Größe zur Beschreibung der Qualität des Stallklimas ist bisher nicht bekannt. Es müssen daher bei seiner Beschreibung die Parameter der einzelnen Klimafaktoren verwendet werden. Das bedeutet, daß im unmittelbaren Aufenthaltsbereich der Tiere

- Lufttemperatur (als wichtigste Einflußgröße)
- Luftfeuchte
- Luftgeschwindigkeit und -richtung,
- Schadgas- ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$  usw.) und Staubkonzentration sowie
- Wandtemperatur der baulichen Hülle

in den durch die Haltungsbedingungen geforderten Grenzbereichen zu gewährleisten sind.

Eine der wesentlichsten Einflußgrößen auf die technische Ausrüstung zur Klimagegestaltung ist in diesem Zusammenhang die hohe Tierkonzentration je Grundflächeneinheit des Stalls in Verbindung mit den wesentlich vergrößerten Gebäudeabmessungen im Vergleich zu früheren Stallbauten.

Durch diese qualitativen Veränderungen auf dem Gebiet der Tierproduktionsanlagen ist ein Bedarf an geeigneten technischen Ausrüstungen zur optimalen Klimagegestaltung in Tierproduktionsanlagen entstanden.

### 2. Produktionsreserven in Abhängigkeit von der Qualität der Klimagegestaltung

Durch umfangreiche Forschungen wurden in den vergangenen Jahrzehnten die optimalen Klimaparameter im Hinblick auf das Leistungsvermögen des Menschen weitgehend erforscht; aber auch auf diesem Gebiet sind noch wesentliche Gesetzmäßigkeiten unbekannt.

Die klimatischen Bedingungen als wesentlicher Teil der Umwelt des Tieres können im allgemeinen — infolge der natürlichen Schwankungen — erhebliche Unterschiede im zeitlichen Verlauf aufweisen. Hiervon hängt sowohl vor allem die Gesundheit der Tiere und in enger Verbindung

\* Leiter der Hauptabteilung Projektierungsgrundlagen im VEB Kombinat Luft- und Kältetechnik Dresden

<sup>1</sup> Auszug aus einem Vortrag zur Informationstagung am 24. Nov. 1971 des Fachvorstands Land- und Nahrungsgüterwirtschaft der Kammer der Technik, Bezirksverband Leipzig