

Gegenwärtig wird im Geflügelschlachtbetrieb des VEB Frischeier- und Broilerproduktion Königs Wusterhausen zielstrebig an der Vervollkommnung dieses Systems gearbeitet.

### Mikroelektronische Prozeßsteuerung in der Geflügelschlachtung

Schlußfolgernd aus o. g. Erfahrungen, kann heute schon festgestellt werden, daß die Anwendung der mikroelektronischen Prozeßsteuerung auch in der Geflügelschlachtung den nötigen Effektivitätszuwachs garantiert.

Analysiert man den internationalen Stand auf diesem Gebiet in der Fleischindustrie, dann findet man hier bereits wesentlich mehr Anwendungsbeispiele, wie mit Hilfe der Mikroelektronik gesamte Verfahrenskomplexe gesteuert und optimiert werden. Das betrifft sowohl technisch-technologische als auch betriebswirtschaftliche Prozesse. In diesem artverwandten Industriezweig ist es durchaus keine Seltenheit mehr, daß Gar-, Sterilisations-, Räucher- oder Abfüllprozesse durch Computer optimiert und kontrolliert werden. Diese Technik arbeitet exakt und trägt z. B. wesentlich zur Verbesserung der Qualität,

Bild 5  
Gesamtansicht der neuen Arbeitslinien für die teilmechanisierte Zerlegung von Broilern und Hühnern  
(Fotos: K.-H. Zöphel)



Verhinderung von Fehlfabrikaten, Steigerung der Arbeitsproduktivität und zur rationalen Energieanwendung bei. Wenn bei der Rationalisierung und Intensivierung in den Geflügelschlachtbetrieben die gestellten Anforderungen erfüllt werden sollen, dann muß der wissenschaftlich-technische Fortschritt auf diesem Gebiet berücksichtigt und die Mi-

kroelektronik progressiv genutzt werden. Es kommt darauf an, mit Engagement und Initiativen die Verfahren unter diesem Gesichtspunkt ständig zu überprüfen und als Praktiker dem Spezialisten geeignete Vorschläge und Ideen zur Verbesserung der Technologien zu unterbreiten.

A 4132

## Untersuchungen zum Fließverhalten trockensubstanzreicher Hühnergülle

Dipl.-Ing. C. Kannen/Dr. sc. techn. A. Strauß, KDT, Institut für Geflügelwirtschaft Merbitz, Bezirk Halle

Die Bedingungen der 80er Jahre verlangen auch bei der Entsorgung der Stallanlagen der Geflügelproduktion eine Senkung des Energie- und Wasserverbrauchs. Diese Aufgabe ist gegenwärtig nur durch Erhöhung des Trockensubstanz-Gehalts (TS-Gehalt) der Hühnergülle lösbar.

Die tierischen Abfallprodukte haben für die Landwirtschaft einen großen Wert und müssen effektiv zur Reproduktion der Bodenfruchtbarkeit bzw. anstelle mineralischer Dünger eingesetzt werden.

Der Übergang zur trockensubstanzreichen Gülle in der gesamten Geflügelproduktion ist ein Prozeß, der nur stufenweise vollzogen werden kann, aber deshalb jedoch nicht verzögert werden darf.

Das Problem beim Übergang zur trockensubstanzreichen Hühnergülle besteht darin, daß infolge ihrer hohen Viskosität die vorhandene Entmistungs-, Transport-, Lagerungs- und Ausbringetechnik nicht mehr oder nur noch teilweise genutzt werden kann. So sind z. B. die Antriebsmotoren vieler Kratzerkettenförderer, Transportschnecken und Dickstoffpumpen, deren Stromaufnahmen  $I$  und Leistungen  $P$  sich ganz allgemein mit der Gl.

$$I, P = f_i(\bar{x}_k, \bar{x}_{rh}) \quad (1)$$

darstellen lassen, für trockensubstanzreiche Gülle unterdimensioniert, sofern nicht, wie häufig üblich, von Anfang an mehrfach überdimensionierte Fördermittel zum Einsatz kommen.

Der Vektor  $\bar{x}_k$  beinhaltet die konstruktiven Parameter

und Betriebsparameter des jeweiligen Fördermittels, der Vektor  $\bar{x}_{rh}$  dagegen die rheologischen Parameter der trockensubstanzreichen Gülle. Gl. (1) verdeutlicht, daß die Leistungsfähigkeit der Fördermittel auch von den rheologischen Eigenschaften der Hühnergülle abhängt.

Zur Einschätzung der weiteren Verwendbarkeit der vorhandenen Technik und zur Dimensionierung der zukünftigen erforderlichen Technik ist es daher notwendig, das Fließverhalten der Hühnergülle zu kennen.

Im Institut für Geflügelwirtschaft Merbitz wurde deshalb damit begonnen, dieses Verhalten näher zu untersuchen. Im folgenden sollen erste Untersuchungsergebnisse vorgestellt werden.

### Das Fließverhalten der Hühnergülle beeinflussende Faktoren

Beim täglichen Umgang mit Hühnergülle beschränkt man sich darauf, sie über ihren TS-Gehalt zu bewerten. Diese Praxis soll auch hier eingehalten werden.

Der TS-Gehalt der Hühnergülle reicht für ihre eindeutige Charakterisierung jedoch bei weitem nicht aus. Zwei Gülleproben mit gleichem TS-Gehalt können durchaus verschiedene Eigenschaften haben.

Der Grund dafür besteht darin, daß der TS-Gehalt der Hühnergülle keine Informationen über ihre stoffliche Zusammensetzung, den Kornaufbau und die Kornform ihrer Feststoffteilchen sowie die zwischen ihnen wirkenden Kräfte enthält. Die Trockensubstanz, die zum Bewertungskriterium erklärt wird, ist

keine unveränderliche Komponente der Hühnergülle. Sie setzt sich vielmehr aus zwei Anteilen, der eigentlichen, in Wasser nicht löslichen festen Substanz und aus auskristallisierten Salzen, zusammen, deren Mengen und Bestandteile sich ständig verändern. Zur festen Substanz gehören u. a. auch übergelaufene oder von den Hühnern aus dem Futterkettenförderer herausgeschleuderte Futterteilchen, die bei häufigem Vorkommen eine Veränderung des Fließverhaltens der Hühnergülle verursachen.

Wesentlichen Einfluß auf die rheologischen Eigenschaften der Gülle haben auch ihre Temperatur und ihr Alter.

Frische Hühnergülle verhält sich anders als bereits in Gärung übergegangene Gülle, die durch Gasbildung aufquillt. Die im folgenden beschriebenen Untersuchungen wurden daher ausschließlich mit frischer Hühnergülle durchgeführt, die eine Einsatztemperatur von 20 °C hatte.

### Versuchsdurchführung

Das Ziel der Untersuchungen bestand in der Aufnahme von Fließkurven  $\tau = f(D, TS)$ , der Zusammenstellung eines Fließkurvenfeldes und in der Formulierung der Fließkurven beschreibender Modellgleichungen.

Zur Aufnahme der Fließkurven wurde ein Rotationsviskosimeter Rheotest 2 mit nachgeschaltetem Schreiber verwendet. Die Messungen erfolgten mit Hilfe eines oberflächlich sehr glatten rotierenden Meßzylinders. Dieser Meßzylinder hatte einen Durchmesser  $d_1$  von 22 mm und eine Länge  $l$  von 47 mm, d. h. bei Vernachlässigung seiner

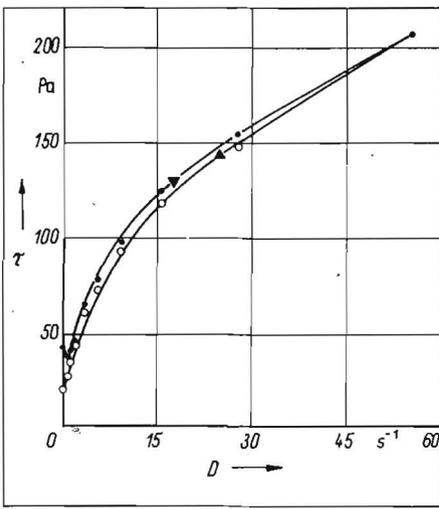


Bild 1. Aufwärts- und Abwärts-Fließkurve für Hühnergülle mit einem TS-Gehalt von 17,6%; τ Schubspannung, D Schergeschwindigkeit

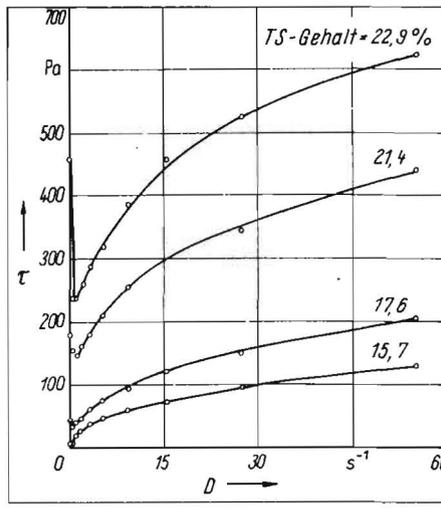


Bild 2. Einige ausgewählte Aufwärts-Fließkurven, aufgenommen zum Zeitpunkt t = 0

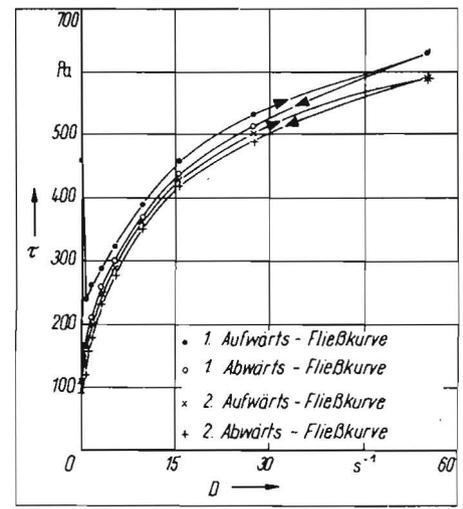


Bild 3. Zeitliche Verschiebung der Fließkurven beim zweimaligen Durchlaufen der Schergeschwindigkeitstufen

Grundfläche eine wirksame Scherfläche von 32,5 cm<sup>2</sup>.

Um allgemeingültige Aussagen über das rheologische Verhalten der Hühnergülle treffen zu können, wurde der glatte Meßzylinder in einer Reihe von Nebenversuchen auch durch Meßzylinder aus Glas, Holz, Gummi, Polyäthylen und rostfreiem Stahl sowie durch geriffelte Meßzylinder und rührerähnliche Körper ersetzt. Da trockensubstanzreiche Hühnergülle sehr viele grobe Bestandteile aufweist (fasrige Anteile, Federn und Bruchstücke von Getreide- und Maiskörnern), konnte im Unterschied zur sonst bei rheologischen Messungen üblichen Verfahrensweise nicht mit minimalem Ringspalt zwischen Meßzylinder und Meßbehälter gearbeitet werden. Anstelle eines Meßbehälters mit kleinem Durchmesser wurde einer mit einem Innendurchmesser d<sub>2</sub> von 80 mm gewählt, mit dem sich die Hühnergülle zugleich auch problemfreier handhaben ließ. Die größten der in der Hühnergülle enthaltenen Federn wurden mit einer Pinzette aus den Proben entfernt, weil die Erfahrung gemacht wurde, daß sie sich um den Meßzylinder wickeln und den Meßvorgang stören. Der gewählte Meßbehälter wurde nicht thermostatiert, lokale Erwärmungen der Hühnergülle bei hohen Zylinderdrehzahlen wurden in Kauf genommen.

Die Verwendung eines Meßbehälters mit großem Durchmesser erwies sich später auch deshalb als notwendig und richtig, weil trockensubstanzreiche Hühnergülle ebenso wie trockensubstanzreiche Rinder- und Schweinegülle wegen ihres thixotropen Verhaltens vor jeder Messung nur so wenig wie möglich manipuliert und nur einem Maximum an mechanischer Beanspruchung ausgesetzt werden darf [1].

Das Schergeschwindigkeit D an der Oberfläche des Meßzylinders wurde nach Gl. (2) errechnet:

$$D = \frac{2\omega}{1 - \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2} = 2,164\omega \quad (2)$$

Gl. (2) gilt exakt eigentlich nur für Newtonsche Medien. Sie wird, da sich für komplizierte Medien erheblich schwierigere Ausdrücke ergeben, in die sogar rheologische Kennziffern der Flüssigkeiten eingehen, je-

doch auch auf reale Medien übertragen, wobei sich die Abweichungen des realen Schergeschwindigkeits vom Newtonschen Schergeschwindigkeit im Verlauf der Fließkurven widerspiegeln. Insgesamt wurden 46 Gülleproben untersucht, deren TS-Gehalt zwischen 8 % und 23 % lag. Das breite Spektrum dieser Werte ermöglichte eine Erfassung der rheologischen Eigenschaften sowohl trockensubstanzarmer als auch trockensubstanzreicher Hühnergülle.

#### Meßergebnisse

Die erhaltenen Meßergebnisse weisen trockensubstanzreiche Hühnergülle als eine recht komplizierte Flüssigkeit aus, die sich durch einige besondere Merkmale auszeichnet. Die Bezeichnung Flüssigkeit ist dabei im weitesten Sinne zu verstehen.

Ihre bereits erwähnte Thixotropie (eigentlich unechte Thixotropie) kommt darin zum Ausdruck, daß die ermittelten Aufwärts-Fließkurven und Abwärts-Fließkurven nicht übereinstimmen und mit steigendem TS-Gehalt der Hühnergülle immer mehr differieren. (Die Aufwärts-Fließkurven werden bei stufenweiser Erhöhung des Schergeschwindigkeits und die Abwärts-Fließkurven bei stufenweiser Zurücknahme des Schergeschwindigkeits ermittelt.)

Darüber hinaus fallen die Ausgangspunkte der Aufwärts-Fließkurven nicht mit den dazugehörigen Endpunkten der Abwärts-Fließkurven zusammen. Die Endpunkte liegen immer tiefer als die Ausgangspunkte, d. h. trockensubstanzreiche Hühnergülle ist nach Abschluß einer mechanischen Behandlung beweglicher als vorher. Diesen Hysteresiseffekt mit unterschiedlichem Anfang und Ziel veranschaulicht Bild 1.

Eine weitere besondere Eigenschaft trockensubstanzreicher Hühnergülle ist die Relaxation ihrer Schubspannungen. Darunter ist zu verstehen, daß die Schubspannungen in der Hühnergülle bei zeitlich konstantem Schergeschwindigkeit von einem anfänglichen Maximalwert auf einen weitaus geringeren Endwert zurückgehen, so daß auch alle Fließkurvenpaare Funktionen der Zeit sind und nach einer endlichen Scherzeit tiefer als die anfänglichen Paare liegen.

Stellt man, wie Boese [2] dies für Rinder- und Schweinegülle getan hat, die zeitliche Veränderung der Fließkurven dreidimensional dar, dann erhält man für die Auf- und Abwärtsbe-

wegung zwei Flächen, die zwischen einer oberen und einer unteren Grenzkurve eingespannt sind.

Da hier zunächst nur erste Versuchsergebnisse vorgestellt werden sollen und für die Dimensionierung von Fördermitteln vor allem die Anfahr-Aufwärts-Fließkurven von Bedeutung sind, sollen nähere Ausführungen zum Relaxieren der trockensubstanzreichen Hühnergülle einer weiteren Veröffentlichung vorbehalten bleiben. Einige mit Hilfe des Rotationsviskosimeters ermittelte Anfahr-Aufwärts-Fließkurven gibt Bild 2 wieder. Wie diesem Bild zu entnehmen ist, zeichnen sich alle Kurven dadurch aus, daß sie nicht im Koordinatenursprung beginnen und sich nicht linear mit den mit dem TS-Gehalt der Hühnergülle anwachsenden Anfangsschubspannungen (Fließgrenzen) extrapolieren lassen.

Außerdem ist zu erkennen, daß die Schubspannungen im Bereich kleiner Drehzahlen und Schergeschwindigkeiten zunächst eine rückläufige Phase haben und erst dann fortlaufend ansteigen.

Dieser Effekt tritt etwa ab einem TS-Gehalt der Hühnergülle von 16 % auf, ist aber nur beim erstmaligen Durchlaufen der Schergeschwindigkeitstufen festzustellen (Bild 3). Er wurde bei allen Meßzylindern unabhängig von deren Form und Oberflächengestaltung beobachtet, wobei diese Faktoren die Intensität seiner Ausbildung bestimmten. Seine Ursachen liegen vermutlich darin, daß sich beim Anfahren des Meßzylinders die in der trockensubstanzreichen Hühnergülle enthaltenen Teilchen ausrichten und lokale Gleitzonen entstehen.

Die gemessenen Anfahr-Aufwärts-Fließkurven lassen sich in erster Näherung mit Hilfe des Ansatzes von Bingham nach Gl. (3) beschreiben:

$$\tau = \tau_0 + \eta D; \quad (3)$$

τ<sub>0</sub> Fließgrenze.

Es wurde ermittelt, daß τ<sub>0</sub> und η in diesem Fall in folgender Weise vom TS-Gehalt der Hühnergülle abhängen:

$$\tau_0 = 1,8 \cdot 10^{-6} TS^{6,2}; \quad (4)$$

TS Trockensubstanz und

$$\eta = \eta_w + 2,8 \cdot 10^{-4} TS^{3,1}, \quad (5)$$

$\eta_w$  dynamische Viskosität des Wassers

$$\eta_w = 0,001 \text{ Pa} \cdot \text{s}. \quad (6)$$

Eine zweite Näherung ist der Ansatz von Herschel und Bulkley nach Gl. (7):

$$\tau = \tau_0 + \eta D^n, \quad n \neq 1; \quad (7)$$

$n$  Exponent.

Bei Verwendung dieses Ansatzes, der dem besonderen Verlauf der Fließkurven im Bereich kleiner Schergelänge allerdings in keiner Weise Rechnung trägt, gelten für die rheologischen Parameter  $\tau_0$ ,  $\eta$  und  $n$  folgende Gleichungen:

$$\tau_0 = 6,5 \cdot 10^{-7} TS^{6,2}, \quad (8)$$

$$n = 1 - 0,18 TS^{0,44}, \quad (9)$$

$$\eta = \eta_w + 8,6 \cdot 10^{-6} TS^{5,3}, \quad (10)$$

$$\eta_w = 0,001 \text{ Pa} \cdot \text{s}^n. \quad (11)$$

Mit komplizierteren Ansätzen besteht die Möglichkeit, die gemessenen Fließkurven noch genauer zu beschreiben. Abgesehen

vom sich dabei ergebenden Problem der Konstantenbestimmung haben solche Ansätze in konkreten Anwendungsfällen jedoch einen unvermeidbar hohen Rechenaufwand zur Folge.

### Erste Anwendungen der Modellgleichungen

Bei der Rationalisierung eines Hygienebereichs war im Institut für Geflügelwirtschaft Merbitz die Frage zu beantworten, ob und über welche Entfernungen trockensubstanzreiche Hühnergülle mit handelsüblichen Schöpfkolbenpumpen und Doppelschöpfkolbenpumpen gefördert werden kann. Dazu wurde analog zur Druckverlusttabelle von Hörnig [3] ein Tabellenwerk erarbeitet. Aus den Berechnungen geht klar hervor, daß trockensubstanzreiche Hühnergülle wegen des zu erwartenden hohen Druckverlustes bestenfalls durch einen Güllegeber gepumpt werden kann, längere Förderstrecken aber nur mit sehr teuren und energieaufwendigen Spezialpumpen (z. B. Betonpumpen) überwunden werden können.

### Zusammenfassung

Der Übergang zu trockensubstanzreicher Hühnergülle ist für alle Betriebe mit industrieller Geflügelproduktion eine unumgängliche Notwendigkeit.

Dafür ist jedoch eine Technik notwendig, die die hohen Schubspannungen in dieser Hühnergülle überwinden kann. Die Entwicklung einer solchen Technik verlangt die genaue Kenntnis der rheologischen Eigenschaften der Gulle, über die erste Meßergebnisse, Fließkurven und Modellgleichungen vorgelegt werden. Den Technikern und Ingenieuren der Geflügelwirtschaft, die sich mit der trockensubstanzreichen Hühnergülle auseinandersetzen haben, werden damit Hilfsmittel zur Überprüfung der Leistungsfähigkeit vorhandener Fördermittel und zur Auslegung zukünftig zu entwickelnder Fördermittel in die Hand gegeben.

### Literatur

- [1] Schemel, H.; Hörnig, G.: Zur Fließgrenze von Gulle und ihrer Bestimmung. agrartechnik, Berlin 26 (1976) 7, 327–330.
- [2] Boese, E.: Untersuchungen zur Beschreibung des thixotropen Verhaltens der Gulle und ihre Anwendung auf die Berechnung technischer Prozesse. Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Dissertation 1977.
- [3] Hörnig, G.: Druckverlusttabelle für das Fördern von Rinder- und Schweinegulle in Druckrohrleitungen. Institut für Mechanisierung Potsdam-Bornim, Institutsbericht Nr. 24, 1971.

A 3993

# Fließverhalten von Hühnergülle

Dr.-Ing. M. Türk, KDT, Forschungszentrum für Mechanisierung der Landwirtschaft Schlieben/Bornim der AdL der DDR

### Verwendete Formelzeichen

B	–	Bestimmtheitsmaß
d	m	Rohrinnendurchmesser
g	m <sup>2</sup> /s	Erdbeschleunigung
h <sub>v</sub>	m/m	spezifische Druckverlustrhöhe
k	Pa · s <sup>n</sup>	Konsistenzkoeffizient
l	m	Förderlänge
n	–	Fließexponent
$\Delta p$	Pa/m	spezifischer Druckverlust
$\Delta l$		
Ra	m	Außenradius
Ri	m	Inneradius
Re	–	Reynoldszahl
t <sub>w</sub>	s	Belastungszeit
TS	%	Trockensubstanzgehalt, Konzentration
$\dot{V}$	m <sup>3</sup> /h	Volumendurchsatz
v	m/s	Strömungsgeschwindigkeit
$\alpha_T$	–	Temperaturzahl
$\dot{\gamma}$	s <sup>-1</sup>	Schergeschwindigkeit
$\dot{\gamma}_w$	s <sup>-1</sup>	Newtonsche Schergeschwindigkeit
$\epsilon$	–	Radienverhältnis
$\eta_{pi}$	Pa · s	plastische Viskosität
$\eta_s$	Pa · s	Scheinviskosität
$\theta$	°C	Temperatur der Gulle
$\lambda$	–	Rohrreibungszahl
$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	Dichte
$\tau$	Pa	Schubspannung
$\tau_w$	Pa	Schubspannung an der Rohrwand
$\tau_0$	Pa	Fließgrenze
$\Omega$	s <sup>-1</sup>	Winkelgeschwindigkeit

### 1. Problemstellung

Der hydromechanische Gülletransport hat in den Produktionsrichtungen der Hühnerintensivhaltung nicht die schwerpunktmäßige Bedeutung wie in der Rinder- und Schweineproduktion. Hühnerkot mit TS von rd. 25 % ist nicht pumpfähig und wird i. allg. mechanisch gefördert. Teilweise ist aber aus tech-

nologischen Gründen auch Wasserzusatz erforderlich und es können zur Förderung Dickstoffpumpen und Rohrleitungen eingesetzt werden [1].

Das Fließ- und Förderverhalten von konzentrierter Hühnergülle (TS > 10 %) wurde noch nicht systematisch untersucht. In der Literatur wurden lediglich Einzelversuche [2 bis 5] mit z. T. unvollständigen Angaben beschrieben. In früheren Untersuchungen [6] wurde die Fließgrenze  $\tau_0$  vernachlässigt, so daß diese Messungen nicht verallgemeinerungsfähig sind.

Die fehlenden Grundlagenkenntnisse zum Fließverhalten von trockensubstanzreicher Hühnergülle waren Anlaß zu orientierenden Untersuchungen im Forschungszentrum für Mechanisierung der Landwirtschaft Schlieben/Bornim, damit zur Projektierung Richtwerte des Fließverhaltens zur Verfügung gestellt werden können, die in späteren systematischen Versuchen zu präzisieren sind. Häufig wird bei der Bemessung von Förderanlagen der Gesamtdruck an der Pumpe in Abhängigkeit von Volumendurchsatz, Rohrdurchmesser und Förderlänge zu bestimmen sein. Einen Hauptanteil hat der Reibungsdruckverlust in geraden Rohren, der bei Laminarströmung direkt aus der Fließfunktion  $\tau(\dot{\gamma})$  ermittelt werden kann. Die Aufgabe der rheologischen Untersuchungen besteht demnach in der experimentellen Bestimmung von Fließkurven in einem möglichst breiten Trockensubstanzbereich, der modellmäßigen Berechnung und der Verallgemeinerung durch Darstellung der Fließkenn-

werte in Abhängigkeit von der Gullekonzentration.

### 2. Kennzeichnung des Fließverhaltens

Trockensubstanzreiche Hühnergülle (TS > 9 %) hat ein zeitabhängiges nichtlinearplastisches (quasiplastisches) Fließverhalten, das mit dem Herschel-Bulkley-Potenzgesetz beschrieben werden kann:

$$\tau = \tau_0 + k \dot{\gamma}^n. \quad (1)$$

Bei TS < 9 % wird die Fließgrenze  $\tau_0 = 0$ . Es liegt pseudoplastisches (strukturviskoses) Fließverhalten vor, so daß das bekannte Ostwald-de Waele-Potenzgesetz anwendbar ist:

$$\tau = k \dot{\gamma}^n. \quad (2)$$

Linearplastisches Fließverhalten der Gulle konnte im Gegensatz zu [2] nicht festgestellt werden und die Anwendung des Bingham-Gesetzes nach Gl. (1) stellt eine unzulässige Vereinfachung dar:

$$\tau = \tau_0 + \eta_{pi} \dot{\gamma}. \quad (3)$$

Aus den Legehennen-Käfiganlagen des VEB Kombinat Industrielle Mast (KIM) Falkensee, Bezirk Potsdam, wurden mehrere Kotproben (TS ≤ 25,4 %) gewonnen und nach stufenweiser Verdünnung auf TS = 6 ... 20 % mit Hilfe des Rotationsviskosimeters großer Spaltweite Fließkurven aufgenommen. Insgesamt wurden 40 Fließkurven ermittelt und ausgewertet. Aufgrund der vorhandenen Grobstoffe (Federn, Futterreste) waren Paral-