

# Rheologische Eigenschaften von Faulschlamm nach anaerober Fermentation von Gülle im Biogasreaktor

Dr. sc. techn. M. Türk/Ing. R. Deckert

Forschungszentrum für Mechanisierung und Energieanwendung in der Landwirtschaft Schlieben

## Verwendete Formelzeichen

$A_0$		Koeffizient
$A_k$	Pa · s <sup>n</sup>	Koeffizient
$A_n$		Koeffizient
$B_0$		Koeffizient
$B_k$		Koeffizient
$B_n$		Koeffizient
$d$	m	Rohrinnendurchmesser
$k$	Pa · s <sup>n</sup>	Konsistenzkoeffizient
$l$	m	Rohrlänge
$n$		Fließexponent
$\Delta p$	Pa	Reibungsdruckverlust
$\sigma_{TS}$	%	organischer Trockensubstanzgehalt
Re		Reynoldszahl
TS	%	Trockensubstanzgehalt
$TS_{lim}$	%	Grenze zwischen Newtonschem und nicht-Newtonischem Fließverhalten
$t_t$		Verweilzeit im Biogasreaktor
$V$	m <sup>3</sup>	Volumen
$\dot{V}$	m <sup>3</sup> /h	Volumenstrom
$v$	m/s	Strömungsgeschwindigkeit
$v_w$	m/s	kritische Ablagerungsgeschwindigkeit
$\dot{\gamma}$	s <sup>-1</sup>	Schergeschwindigkeit
$\dot{\gamma}_N$	s <sup>-1</sup>	Newtonsche Schergeschwindigkeit ( $\dot{\gamma}_N = 8 v/d$ )
$\eta$	mPa · s	dynamische Newtonsche Viskosität
$\eta_s$	mPa · s	Scheinviskosität
$\eta_w$	mPa · s	dynamische Viskosität von Klarwasser
$\vartheta$	°C	Temperatur
$\lambda$		Rohrreibungszahl
$\tau$	Pa	Schubspannung
$\tau_w$	Pa	Wandschubspannung im Rohr ( $\tau_w = \Delta p d/\Delta l$ )

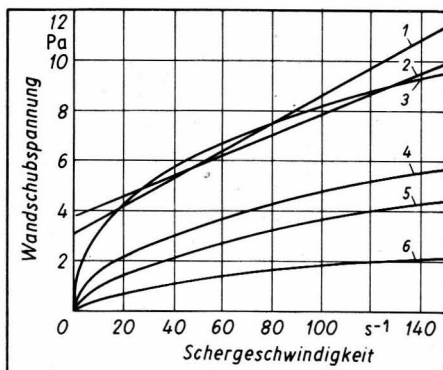
## Indizes

FS Faulschlamm  
G Gülle

## Problemstellung

Der umweltgerechten Gülleaufbereitung durch anaerobe Fermentation im Biogasreaktor mit dem Ziel, hochwertigere Düngestoffe

Bild 1. Fließkurven verschiedener Faulschlammarten bei TS = 6 %; 1 ausgefauter Klärschlamm, 2 separierter Bioschlamm aus aerob aufbereiteter Schweinegülle  
Faulschlamm nach anaerober Fermentation von  
3 Rindergülle, 4 Gemisch aus 80 % Schweine- und 20 % Rindergülle, 5 Schweinegülle, 6 Hühnergülle



zu erzeugen und energieökonomische Effekte zu erreichen, kommt auch künftig Bedeutung zu. Dabei sind aus verfahrenstechnischer Sicht die rheologischen Eigenschaften von Gülle und Faulschlamm gleichermaßen von Interesse, um hydromechanische Förderanlagen nach optimalen Kriterien bemessen zu können. Zur Dimensionierung von Güllerohrleitungen liegen hinreichende Kenntnisse vor [1]. Daher ist vor allem die Frage zu beantworten, wie sich das Fließverhalten von Schweine-, Rinder- und Hühnergülle durch den biochemischen Prozeß der

anaeroben Fermentation verändert und welche Haupteinflußgrößen zu berücksichtigen sind. Dazu waren umfangreiche rheologische Untersuchungen durchzuführen und Bemessungsempfehlungen zur Druckverlustberechnung abzuleiten.

## Versuchsmethodik

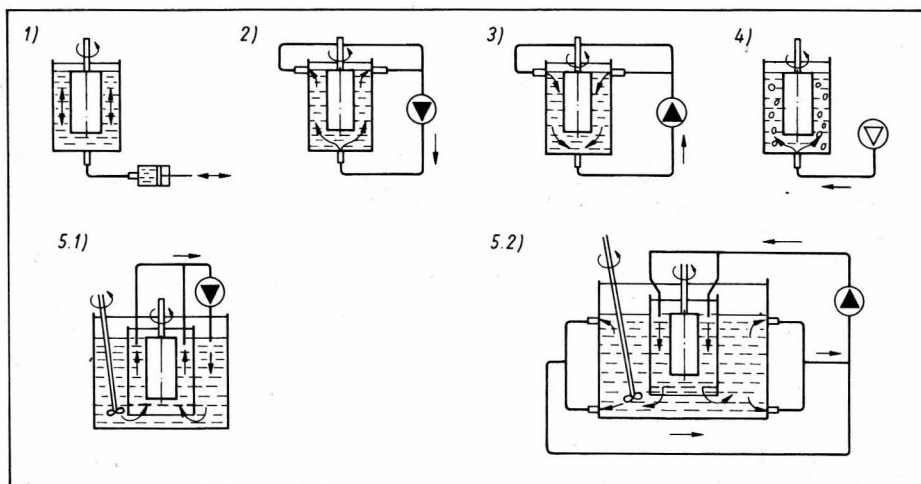
Durch den Abbau der organischen Substanz bei mesophilen Prozeßbedingungen (Temperatur 33 bis 35 °C, Verweilzeit 15 bis 20 d) verringert sich der Trockensubstanzgehalt um rd. 20 bis 30 % [2]. Hauptsächlich werden

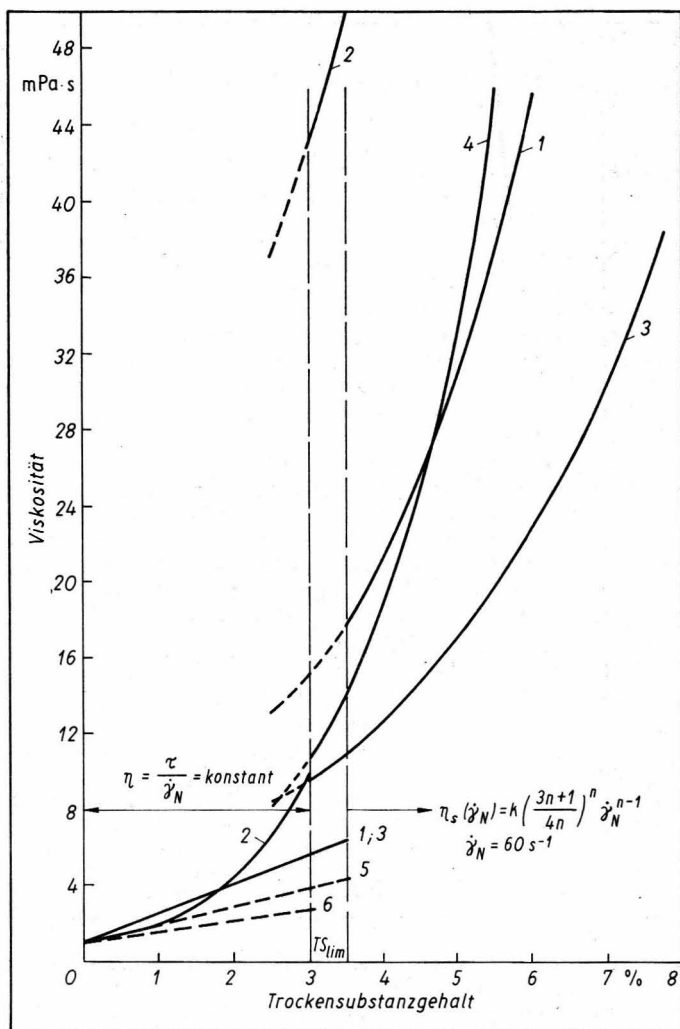
Tafel 1. Übersicht der Versuche mit 30-l-Laborreaktor

Gülleart	Gruppen	Frischgülle		Faulschlamm		TS-Bereich %	$\frac{TS_{FS}}{TS_G}$	$\frac{\sigma_{TS_{FS}}}{\sigma_{TS_G}}$
		TS <sub>G</sub> %	$\sigma_{TS_G}$ %	TS <sub>FS</sub> %	$\sigma_{TS_{FS}}$ %			
Schweinegülle	B	12,73	9,84	11,21	8,45	5 ... 15	0,88	0,86
Schweinegülle	B	10,83	8,54	9,25	7,52	4,1...14,5	0,85	0,88
Schweinegülle	A	11,95	9,59	9,32	7,50	4,6...14	0,78	0,78
Schweinegülle	A	11,10	9,15	10,21	8,12	8 ... 11	0,92	0,89
Rindergülle	F	8,40	6,61	5,65	3,90	5,4...10,6	0,67	0,59
Rindergülle	F	7,62	5,91	5,65	4,09	3,3...10,6	0,74	0,69
Hühnergülle	G	12,34	7,75	9,0	4,89	5,6...16,3	0,73	0,63
Gemisch aus rd. 80 % Schweine- und 20 % Rindergülle	A, F	10,28	8,34	8,2	6,1	3,8... 8,2	0,80	0,73

Bild 2. Varianten der Fließkurvenbestimmung mit Searle-Rotationsviskosimeter bei sedimentierenden organischen Suspensionen;

- Intermittierende Bewegung durch Kolbenpumpe,
- stetige Flüssigkeitsbewegung entgegen der Sedimentationsrichtung,
- stetige Flüssigkeitsbewegung in Sedimentationsrichtung,
- Homogenisierung durch Lufteintrag während der Meßpausen,
- 1) offener Außenzylinder im Vorratsbehälter mit mechanischer Homogenisierung, stetige Flüssigkeitsbewegung entgegen der Sedimentationsrichtung,
- 2) offener Außenzylinder im Vorratsbehälter mit mechanischer Homogenisierung, stetige Flüssigkeitsbewegung in Sedimentationsrichtung





**Bild 3**  
 Viskosität von Faulschlamm nach anaerober Fermentation;  
 Ausgangssubstrat  
 1 Schweinegülle, 2 Rindergülle, 3 Hühnergülle,  
 4 Gemisch aus 80 % Schweine- und 20 % Rindergülle,  
 5 Schweinegülle ( $\eta = 1,005 + 0,94 \text{ TS}$ ),  
 6 Rindergülle ( $\eta = 1,005 + 0,57 \text{ TS}$ )

**Tafel 2.** Berechnung der Fließkennwerte von Faulschlamm aus verschiedenen Güllearten nach anaerober Fermentation entsprechend Gl. (4), (5) und (6) für  $\text{TS} > 3\%$

Faulschlamm aus	Frischgülleartgruppen nach [1]	Modellgleichung $\eta_{FS}/\eta_G = A_0 \exp(B_0 \text{ TS})$		$k_{FS} = A_k \exp(B_k \text{ TS})$	$n_{FS} = n_G = A_n \exp(B_n \text{ TS})$		
		$A_0$	$B_0$	$A_k$ Pa · s <sup>n</sup>	$B_k$	$A_n$	$B_n$
Schweinegülle	A, B, C	0,58385	0,08095	0,00911	0,58695	0,7700	-0,0701
Rindergülle	F	2,3407	-0,16213	0,07910	0,45027	0,6231	-0,0764
Hühnergülle	G	0,25742	0,08256	0,01485	0,38756	0,6794	-0,0472
Gemisch aus 80 % Schweine- und 20 % Rindergülle	A, F	0,30195	0,21027	0,00545	0,73818	0,7406	-0,0711
	Frischgülle- Gemisch	-	-	0,01806	0,52791	0,7406	-0,0711

Zellulose und rohproteinhaltige Substanzen als Riesenmoleküle zerlegt [3]. Dabei werden zuerst die kleinsten organischen Teilchen abgebaut, ihre Solvathüllen zerstört und größere Feststoffteilchen zerkleinert, so daß sich die strukturellen Bindungen und Wechselwirkungen in den polydispersen Suspensionen völlig verändern [3]. Das führt häufig zu einer deutlich erhöhten Sedimentation und durch Flotation leichter Faserstoffe zur Schwimmschichtbildung im Biogasreaktor. Ähnlichkeiten zum Fließverhalten von Klärschlamm aus der kommunalen Abwassertaufbereitung oder von Bioschlamm der aeroben Gülleverarbeitung [1] sind unverkennbar (Bild 1).

Die rheologischen Eigenschaften von Faulschlamm sind notwendigerweise im Zusammenhang mit der Zusammensetzung der Frischgülle zu untersuchen, wobei die relevanten Einflußgrößen Gülleart (Tierart), Güllegruppe (Fütterung), Konzentration (TS-Gehalt), Zeit- und Temperaturverhalten zu bewerten sind. Dazu wurden einmal Proben aus repräsentativen Biogasanlagen gewonnen, wobei als Ausgangssubstrate Schweine-, Rinder-, Hühner- und Mischgülle vorlagen. Weiterhin wurde mit einem 30-l-Laborreaktor im Batch-Versuch bei einer Verweilzeit von  $t_L = 20$  d Faulschlamm aus trockenstanzreicher Gülle erzeugt, wobei Ausgangs- und Endsub-

strat genau gekennzeichnet werden konnten (Tafel 1). Die Fließkurvenmessung erfolgte mit Rotationsviskosimetern [4], vorwiegend mit dem Gerät Rheotest RV 2. Die erhöhte Sedimentationsneigung der zumeist feindispersen und oft niedrigviskosen Faulschlämme kann zu erheblichen Meßfehlern führen. Am Zylinderboden bildet sich schnell eine verdichtete Sedimentschicht, und im Meßspalt können größere Teilchen eine Blockieren des Antriebszylinders verursachen. Durch eine stetige Sekundärströmung in vertikaler Richtung können diese Fehlereinflüsse vermieden werden. Dazu wurden verschiedene Varianten erprobt (Bild 2). Im Meßspalt sind eine stationäre Scherströmung und konstante Dichte erforderlich. Das wird am besten durch die Variante 5.2. erreicht, wobei mit Hilfe einer regelbaren Schlauchpumpe oder auch allein durch die Rührbewegung des Meßguts eine Sekundärströmung in Sedimentationsrichtung erzeugt wird. Eine nach oben gerichtete Strömung entsprechend Variante 5.1. führt leicht zu einer Sichtung der Teilchen und damit zur Bildung von Aggregationsunterschieden. Interessant ist, daß der Außenzylinder des Searle-Viskosimeters unten offen in einem größeren Rührbehälter stehen kann und durch die Rührerwirkung keine Meßfehler entstehen [5]. Die Fließkurvenauswertung erfolgt nach erprobten Rechenmethoden [6]. Alle Untersuchungen zeigen, daß das Fließverhalten von Faulschlamm in erster Linie von den rheologischen Eigenschaften der Frischgülle abhängig ist. Im beobachteten Trockenstanzbereich ist die Anwendung des Ostwald-deWaele-Potenzgesetzes mit ausreichender Genauigkeit möglich:

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

Zur Kennzeichnung der Veränderung des Fließverhaltens durch die anaerobe Fermentation wird ein Verhältnis der Scheinviskositäten berechnet. Dabei wird auf eine konstante Schergeschwindigkeit  $\dot{\gamma}_N = 60 \text{ s}^{-1}$  Bezug genommen, d. h. für einen Rohrdurchmesser  $d = 100 \text{ mm}$  ergibt sich ein Volumenstrom von  $\dot{V} = 21,2 \text{ m}^3/\text{h}$ . Das Viskositätsverhältnis

$$\frac{\eta_{FS}}{\eta_G} = f(\text{TS}) \quad (2)$$

erleichtert eine Bewertung und Einordnung der Dynamik des rheologischen Verhaltens unter bestimmten verfahrenstechnischen Bedingungen. Die Scheinviskosität der Rohrströmung bestimmt sich wie folgt:

$$\eta_s = \frac{\tau_w}{\dot{\gamma}_N} = k \left( \frac{3n+1}{4n} \right)^n \left( \frac{8v}{d} \right)^{n-1} \quad (3)$$

Im einzelnen werden die Untersuchungsergebnisse in folgender Weise dargestellt:

- im Newtonschen Bereich  $\text{TS} < \text{TS}_{lim}$ , Formulierung einer Funktion  $\eta = f(\text{TS})$  und Kennzeichnung von  $\text{TS}_{lim}$
- Darstellung der Fließkennwerte von Gl. (1) im nicht-Newtonschen Bereich  $\text{TS} > \text{TS}_{lim}$  durch die Funktionen

$$k_{FS} = A_k \exp(B_k \text{ TS}) \quad (4)$$

$$n_{FS} = n_G = A_n \exp(B_n \text{ TS}) \quad (5)$$

$$\frac{\eta_{FS}}{\eta_G} = \frac{k_{FS}}{k_G} = A_0 \exp(B_0 \text{ TS}) \quad (6)$$

Durch die über weite Konzentrationsbereiche erfüllbare Annahme  $n_{FS} = n_G$  nach Gl. (5)

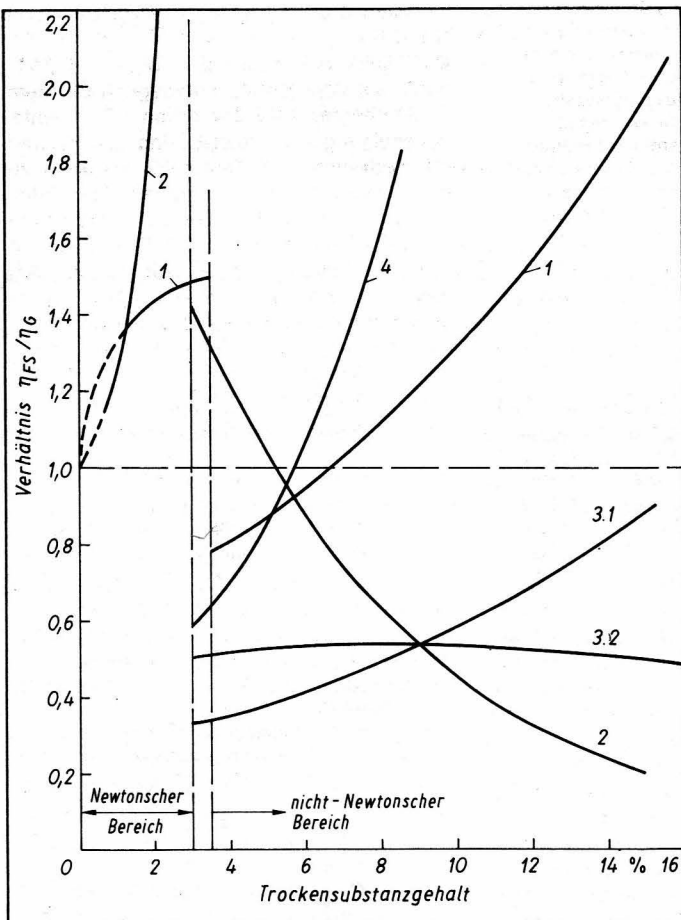


Bild 4. Qualitative Kennzeichnung des Fließverhaltens von Faulschlamm nach anaerober Fermentation (Versuchsbedingungen  $\dot{\gamma}_w = 60 \text{ s}^{-1}$  = konstant); Ausgangssubstrat  
1 Schweinegülle (Gruppe A), 2 Rindergülle (Gruppe F), 3.1 Hühnergülle mit Grobstoffen, 3.2 Hühnergülle ohne Grobstoffe, 4 Gemisch aus 80% Schweine- und 20% Rindergülle

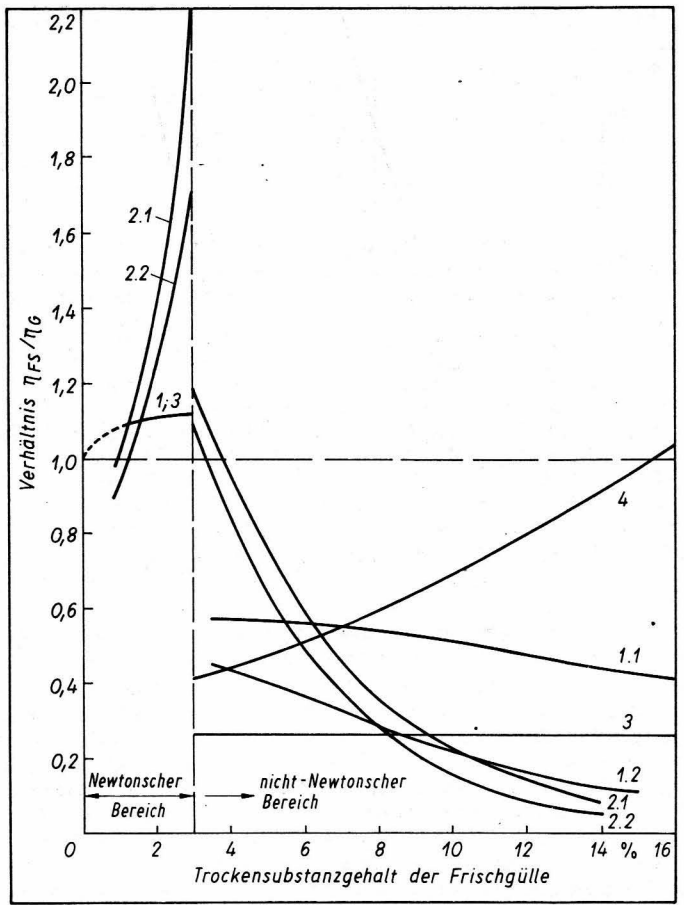


Bild 5. Veränderung des Fließverhaltens von Gülle durch anaerobe Fermentation im mesophilen Bereich;  
1.1 Schweinegülle  $TS_{FS} = 0,8 TS_G$ , 1.2 Schweinegülle  $TS_{FS} = 0,7 TS_G$ ,  
2.1 Rindergülle  $TS_{FS} = 0,8 TS_G$ , 2.2 Rindergülle  $TS_{FS} = 0,7 TS_G$ , 3 Hühnergülle  $TS_{FS} = 0,75 TS_G$ , 4 Gemisch aus 80% Schweine- und 20% Rindergülle  $TS_{FS} = 0,8 TS_G$

ist eine optimale Paßfähigkeit der Meßergebnisse mit dem Bemessungskatalog [1] gegeben. Damit kann der Projektant allein mit Gl. (6) unter direkter Bezugnahme auf die vorliegende Güllegruppe das Fließverhalten von Faulschlamm analytisch bestimmen (Tafel 2).

#### Diskussion der Ergebnisse

Der Einfluß der Fütterung und damit der Gülleart auf das Fließverhalten von Faulschlamm aus Schweinegülle ist vernachlässigbar. Die meßtechnische Ermittlung von  $TS_{lim}$  ist hier besonders ein technisches Problem, da aufgrund der Feststoffanteile exakte viskosimetrische Messungen nicht möglich sind. Ein Vergleich der Druckverluste bei turbulenter Rohrströmung von Faulschlamm und Klarwasser kann genauere Aussagen ermöglichen [7].

Auf Grundlage experimenteller Beobachtungen und Extrapolationsrechnungen mit der Randbedingung  $n = 1 : TS = TS_{lim}$ , wird  $TS_{lim} = 3,5\%$  vorgeschlagen (Bild 3). Entscheidenden Einfluß auf das Fließverhalten haben die Struktur und die Korngrößenanteile der organischen Feststoffe im Faulschlamm. Daher wird im Bereich  $TS < 3,5\%$  unterschieden zwischen

– Faulschlamm mit Grobstoffen  
 $\eta = \eta_w + 1,55 TS$  (7)

– Faulschlamm-Filtrat ohne Grobstoffe  
 $\eta = \eta_w + 0,76 TS$  (8)  
mit

$$\eta_w = 1,005 \text{ mPa} \cdot \text{s bei } \theta = 20^\circ \text{C.}$$

Filtrat erhält man nach weiterer Aufbereitung durch mechanische Fest-Flüssig-Trennung [8].

Für Rindergülle wird  $TS_{lim} = 3\%$  vorgeschlagen. Im Bereich  $TS < 3\%$  ergibt sich die nichtlineare Funktion

$$\eta = 0,7978 \exp(0,8444 TS). \quad (9)$$

Im Bild 3 ist  $TS_{lim}$  als Unstetigkeitsstelle erkennbar. Die Problematik des Übergangs vom Newtonschen zum nicht-Newtonschen Modell wird damit verdeutlicht. Mit zunehmender Konzentration verstärkt sich in sehr unterschiedlicher Weise der nichtlineare Charakter der Viskositätsfunktionen  $\eta(TS)$ . Im Bereich  $TS > TS_{lim}$  sind die nichtlinearen Funktionen entsprechend Gln. (4), (5) und (6) gültig (Tafel 2). Die Struktur der Schweinegülle wird durch die Fermentation so verändert, daß sich eine erhebliche höhere Sedimentationsneigung und damit im Bereich von  $3,5 < TS < 7\%$  eine gegenüber Frischgülle geringere Viskosität ergibt (Bild 4). Erst bei  $TS > 7\%$  hat der Faulschlamm ein schlechteres Fließverhalten als Frischgülle gleicher Konzentration, da vermutlich der Anteil nicht abbaubarer Grobstoffe dominierend wird.

Im Gegensatz dazu hat die Futterzusammensetzung auf das Fließverhalten von Faulschlamm aus Rindergülle im Bereich  $TS > 3\%$  einen entscheidenden Einfluß, so daß ein direkter Bezug zur Frischgülle nach

Gl. (6) unerlässlich ist. Kennzeichnend ist eine Verbesserung des Fließverhaltens, besonders ab  $TS > 5\%$  (Bild 4). Wahrscheinlich hat der Fermentationsprozeß einen wesentlich stärkeren Einfluß auf die Struktur der Rindergülle als auf die der Schweinegülle. Das zeigt sich auch in einer vergleichsweise geringen Sedimentationsneigung. Der Anteil der kolloidalen Teilchen ist vorherrschend, grobe Faserstoffe sind kaum vorhanden.

Am kompliziertesten stellt sich das Fließverhalten von Faulschlamm aus Hühnergülle dar. Es sind keine Futterreste mehr zu erkennen. Mit zunehmendem TS-Gehalt wächst der kolloid- und gallertartige Charakter, d. h., es bilden sich hydrophile Aggregationen. Bei  $TS > 15\%$  sind daher auch thixotrope Erscheinungen zu beobachten. Das Fließverhalten ist gegenüber Faulschlamm aus Schweine- und Rindergülle deutlich vermindert (Bilder 1 und 3). Im Vergleich zur Frischgülle wurde auf Grundlage einer Praxisprobe mit Grobstoffanteilen eine mäßige Verschlechterung des Fließverhaltens beobachtet (Bild 4). Fehlen Grobstoffe, kann man sogar ein konstantes Verhältnis  $\eta_{FS}/\eta_G = 0,51$  unabhängig von der Konzentration annehmen. Für  $TS < 3\%$  gilt auch hier Gl. (7). Die Konvertierungsversuche mit Mischungen aus Schweine- und Rindergülle zeigen, daß die Berechnung der Fließkennwerte auf Grundlage der Angaben in Tafel 3 mit Hilfe der Mischungsgesetze [9] nicht statthaft ist. Die biologisch-chemischen Prozesse führen

Tafel 3. Fließkennwerte von Faulschlamm nach anaerober Fermentation von Gülle

TS <sub>FS</sub> %	Ausgangssubstrat Schweinegülle			Rindergülle (Gruppe F)			Hühnergülle			Gemisch aus 80 % Schweine- und 20 % Rindergülle (Gruppe F)		
	k Pa · s <sup>n</sup>	n	η mPa · s	k Pa · s <sup>n</sup>	n	η mPa · s	k Pa · s <sup>n</sup>	n	η mPa · s	k Pa · s <sup>n</sup>	n	η mPa · s
1	—	—	2,56	—	—	1,86	—	—	2,56	—	—	2,40
2	—	—	4,11	—	—	4,32	—	—	4,11	—	—	4,15
3	—	—	5,66	—	—	10,05	—	—	5,66	—	—	6,35
4	0,0953	0,5817		0,4790	0,4590		0,0700	0,5625		0,1044	0,5573	—
5	0,1714	0,5423		0,7515	0,4253		0,1031	0,5366		0,2184	0,5190	—
6	0,3083	0,5056		1,1789	0,3940		0,1519	0,5118		0,4570	0,4834	—
7	0,5545	0,4714		1,8494	0,3650		0,2238	0,4882		0,9561	0,4502	—
8	0,9972	0,4395		2,9012	0,3382		0,3298	0,4657		2,0004	0,4193	—
9	1,7935	0,4097		4,5512	0,3133		0,4859	0,4443		4,1849	0,3906	—
10	3,2256	0,3820		7,1396	0,2902		0,7159	0,4238		8,7553	0,3637	—
11	5,8012	0,3561		11,2002	0,2689		1,0549	0,4042		18,3172	0,3388	—
12	10,4335	0,3320		17,5701	0,2491		1,5542	0,3856		38,3219	0,3155	—
13	18,7645	0,3095		27,5628	0,2308		2,2899	0,3678		80,1741	0,2939	—
14	33,7479	0,2886		43,2388	0,2138		3,3740	0,3509		167,7342	0,2737	—
15	60,6954	0,2690		67,8302	0,1981		4,9711	0,3347		350,9207	0,2549	—

sicherlich zu einem völlig anderen Substrat mit deutlich schlechteren Fließeigenschaften. Das zeigt sich am Beispiel eines Gemisches aus rd. 80 % Schweine- und 20 % Rindergülle, wobei für TS > 6 % mit  $\eta_{FS}/\eta_G > 1$  zu rechnen ist.

Wird die durch den Abbau von organischer Substanz während des Fermentationsprozesses verursachte Verminderung des TS-Gehalts von 20 bis 30 % berücksichtigt, ergeben sich die Berechnungsbeispiele im Bild 5. Insgesamt ist gegenüber Frischgülle also eine z. T. erhebliche Verbesserung der Fließeigenschaften festzustellen. Während sich bei Rindergülle das Viskositätsverhältnis am stärksten vermindert, kann man bei Schweine- und besonders bei Hühnergülle schon relativ konstante Werte annehmen. Damit kann der Projektant das Fließverhalten qualitativ abschätzen und mit Hilfe von Tafel 3 die zutreffenden Fließkennwerte ermitteln. Diese Zahlenangaben sind eine direkte Ergänzung des „Bemessungskatalogs für Gölledruckrohrleitungen“ [1].

Häufig sind thixotrope Fließanomalien vernachlässigbar. Der Temperatureinfluß auf das Fließverhalten kann wie bei Frischgülle behandelt werden [1].

Zur Druckverlustberechnung ist nach dem in [1, 10] dargestellten Schema zu verfahren. Allerdings ist bei Faulschlamm aus Schweinegülle mit einer um rd. 30 % verminderten kritischen Ablagerungsgeschwindigkeit zu rechnen [2].

Die Förderung von Faulschlamm erfolgt aufgrund der relativ geringen Konzentration vorwiegend im turbulenten Strömungsbereich, d. h. bei  $Re > 2300$ . Dabei kann man zuweilen das Phänomen beobachten, daß bei gleichem Durchsatz geringere Druckverluste als bei Klarwasserförderung auftreten. Es existiert ein stetiger Übergang von der Laminar- zur Turbulenzströmung und über weite Bereiche eine durch die organischen Teilchen verursachte Turbulenzdämpfung im Rohr. Dadurch ergeben sich Rohrreibungszahlen  $\lambda$  (Re), die unterhalb der  $\lambda$ -Werte für hydraulisch glattes Rohr entsprechend der Blasius-Gleichung liegen.

#### Zusammenfassung

Es werden die rheologischen Grundlagen zur Bemessung von Rohrförderanlagen für Faulschlamm der Biogasbereitung dargestellt. Dabei wird auf das Fließverhalten der

entsprechenden Frischgülle Bezug genommen. Generell ist eine Verbesserung der Fließeigenschaften durch die Fermentation von Gülle festzustellen, allerdings vor allem aufgrund der Verminderung des TS-Gehalts um 20 bis 30 %. Die berechneten Fließkennwerte von Faulschlamm aus Schweine-, Rinder- und Hühnergülle sowie einem Güllegemisch sind eine Ergänzung des „Bemessungskatalogs für Gölledruckrohrleitungen“ [1] und können direkt in vorhandene Rechenprogramme eingearbeitet werden.

#### Literatur

- [1] Türk, M.; Eckstädt, H.: Bemessungskatalog für Gölledruckrohrleitungen. Arbeiten zur Mechanisierung der Pflanzen- und Tierproduktion, Schlieben 4 (1987) 19, S. 1–172.
- [2] Türk, M., u. a.: Bemessungsgrundlagen für Faulschlammrohrleitungen. Forschungszentrum für Mechanisierung und Energieanwendung in der Landwirtschaft Schlieben, Bericht 1988.
- [3] Schön, M.: Zum Sedimentations- und Entwässerungsverhalten anaerob fermentierter Rinder- und Schweinegülle. Akademie der Landwirtschaftswissenschaften, Dissertation 1988.

- [4] Türk, M.; Schmidt, H.; Dähre, D.: Rotationsviskosimeter für landwirtschaftliche fluide Fördermedien. agrartechnik, Berlin 37 (1987) 12, S. 568–570.
- [5] Clarke, B.: Rheology of Coarse settling suspensions (Rheologie grobdispenser sedimentierter Suspensionen). Trans. Instn. Chem. Engrs., London 45 (1967) S. 251–256.
- [6] Dähre, D.; Türk, M.: Methode zur Bestimmung absoluter Fließkurven nichtlinear-plastischer Medien mit Rotationsviskosimetern. Chemische Technik, Leipzig 39 (1987) 11, S. 477–479.
- [7] al Darir, A. N.: Untersuchungen zur hydraulischen Bemessung von Rohrleitungen für die landwirtschaftliche Verregnung von Gülle und deren Infiltrationswirkung auf Böden. Universität Rostock, Dissertation A 1988.
- [8] Reimann, W.; Schön, M.: Fest-Flüssig-Trennung von Faulprodukten aus Schweinegülle. agrartechnik, Berlin 37 (1987) 10, S. 457–459.
- [9] Türk, M.: Zum Fließverhalten von Güllemischungen. agrartechnik, Berlin 37 (1987) 2, S. 64–65.
- [10] Türk, M.: Bemessung von Druckrohrleitungen zum Fördern von trockensubstanzreicher Rindergülle. agrartechnik, Berlin 37 (1987) 1, S. 34–37. A 5695

**Anzeigen  
haben in der Fachpresse  
eine große Werbewirkung.**

**Nutzen Sie deshalb diese  
Möglichkeit auch in der  
Zeitschrift „agrartechnik“!**