

Das zeitabhängige Fließverhalten trockensubstanzreicher Rindergülle

Dr.-Ing. D. Dähre

Forschungszentrum für Mechanisierung und Energieanwendung in der Landwirtschaft Schlieben der AdL der DDR

Verwendete Formelzeichen

a_0, b_0, c_0	Regressionskoeffizienten der Strukturaufbaukennzahl
a_x, b_x, c_x	Regressionskoeffizienten der Strukturabbaukennzahl
b, b_w	Regressionskoeffizient
B	Bestimmtheitsmaß
d	m Rohrlinnendurchmesser
k	$\text{Pa} \cdot \text{s}^n$ Konsistenzkoeffizient (Fließkennwert)
l, l_0	m Rohrlänge bzw. Förderlänge
n	Fließexponent (Fließkennwert)
q	Anstieg der Strukturabbaufunktion bei erstmaliger Belastung
TS	% Trockensubstanzgehalt
t	s Belastungszeit (Förderzeit)
t_0	s Anfangszeit ($t_0 = 1$ s)
t_{th}	s Thixotropieabbauzeit
t_N	s Normbelastungszeit ($t_N = 60$ min)
t_R	s Ruhezeit, Förderpause
t_w	s Korrekturzeit
t_w	s Belastungszeit bei wiederholter Belastung
t_{w0}	s Anfangszeit der wiederholten Belastung
\dot{V}	m^3/h Volumendurchsatz
v	m/s mittlere Fördergeschwindigkeit
$\dot{\gamma}_A$	s^{-1} Abbauschergeschwindigkeit (Belastungsintensität)
$\dot{\gamma}_N$	s^{-1} Newtonsche Schergeschwindigkeit an der Rohrwand
$\Delta p/\Delta l$	Pa/m spezifischer Druckverlust, bezogen auf 1 m Rohrlänge
Δp	Pa Reibungsdruckverlust
$\delta(t)$	Strukturzustandskennzahl
$\delta(t)^*$	Strukturzustandskennzahl der Rohrströmung
δ_x	Korrekturfaktor
δ_0	Strukturaufbaukennzahl
$\delta_{0\text{max}}(t)$	Strukturaufbaukennzahl bei unvollständig zerstörter Struktur
κ	Strukturabbaukennzahl
τ	Pa Schubspannung
τ_0	Pa Fließgrenze (Fließkennwert)
τ_w	Pa Wandschubspannung im Rohr
$\tau_{0\text{max}}$	Pa maximale Schubspannung nach Strukturaufbau

für die Pflanzenproduktion zu erhöhen sowie die Verschwendung des wertvollen Rohstoffs Wasser zu unterbinden, ist die systematische Erhöhung des Trockensubstanzgehalts (TS-Gehalt) erforderlich. Diese feststoffreiche Gülle ist aus Gründen der Energieeinsparung und des Umweltschutzes auch weiterhin mit Rohrleitungssystemen zu fördern.

Die richtige Dimensionierung von Förderanlagen setzt Bemessungsgrundlagen voraus, die die zur Projektierung notwendige Druckverlustberechnung unter Beachtung der besonderen Fließigenschaften von Gülle mit $\text{TS} > 7 \dots 8\%$ ermöglichen. Diese Besonderheiten äußern sich u. a. im Auftreten von Plastizität und Zeitabhängigkeit.

Während das plastische Fließverhalten bereits durch Nutzung entsprechender Fließgesetze berücksichtigt werden kann [1], sind die bisher bekannt gewordenen Untersuchungen zum Zeitverhalten TS-reicher Gülle Grundlagenarbeiten, deren Ergebnisse für die Projektierungspraxis noch nicht anwendbar sind [2] bzw. nur Schweinegülle betreffen [3]. Deshalb ist das Zeitverhalten der als besonders thixotrop zu kennzeichnenden Rindergülle systematisch zu untersuchen [4]. Im Vordergrund der Betrachtungen steht dabei das Kurzzeitverhalten, d. h. die Fließfähigkeitsänderungen infolge mechanischer Beanspruchung der Gülle während der Förderung in Druckrohrleitungen bzw. bei der rheologischen Untersuchung in Viskosimetern.

Im vorliegenden Beitrag sollen theoretische und experimentelle Grundlagen erläutert und die phänomenologische Modellierung des Problems vorgestellt werden. Die in einem Programmablaufplan zusammenfassenden Berechnungsgleichungen sind für die Softwareerarbeitung auf arbeitsplatzbezogener Rechentchnik anwendbar zu gestalten.

1. Problemstellung

Um in der Landwirtschaft der DDR den Lager- und Transportaufwand für die anfängende Gülle zu reduzieren, deren Düngewert

2. Grundlagen

Thixotrope Medien sind durch eine mit der

Belastungszeit einhergehende Verringerung des Fließwiderstands bei konstanter Schergeschwindigkeit gekennzeichnet. Während der Ruhephasen setzt eine zeitabhängige Viskositäts-erhöhung ein. Vollkommen reversible Fließfähigkeitsveränderungen werden als echte Thixotropie, teilweise reversible Fließfähigkeitsveränderungen als unechte Thixotropie bezeichnet.

Gülle mit $\text{TS} > 8 \dots 10\%$ zeigt bei erstmaliger Belastung ein ausgeprägtes unecht thixotropes Fließverhalten (Bild 1). Auch Ruhezeiten $t_R > 4$ d führen den Ausgangszustand nicht wieder herbei. Diese unechte Thixotropie stellt sich als Summe reversibler und irreversibler Prozesse dar. Irreversible Prozesse sind:

- Durchmischung von fester und flüssiger Phase
 - Zerkleinerung grober Bestandteile
 - Auflösung von Aggregationen.
- Dagegen werden als reversible bzw. thixotrope Prozesse gekennzeichnet:
- Ausrichtung der Partikel entsprechend dem geringsten Widerstand in Strömungsrichtung
 - Zerstörung interpartikulärer Bindungen
 - Freisetzen von Wasser aus den organischen Inhaltsstoffen und damit verbundene Erhöhung der Wirksamkeit der flüssigen Phase als Schmiermittel zwischen den einzelnen Partikeln.

In der technischen Rheologie ist eine Vielzahl von Modellbetrachtungen bekannt, die das thixotrope Verhalten von Flüssigkeiten und plastischen Stoffen zu beschreiben versuchen. Die Mehrzahl dieser Charakterisierungsmethoden setzt jedoch echte Thixotropie voraus, ist nur auf molekular- bzw. kolloiddisperse Suspensionen mit homogener Korngrößenverteilung der dispergierten Phase anwendbar und fordert Konstanz von Partikelanzahl und -größe während der mechanischen Belastung. Keine dieser Bedingungen trifft jedoch auf die biologische Suspension „Gülle“ zu. Von den wenigen, zur quantitativen Berücksichtigung des zeitabhängigen Fließverhaltens derartiger Stoffe vorgeschlagenen Modellen ist der von Türk [3] für TS-reiche Schweinegülle erarbeitete Ansatz hervorzuheben. Eine Nutzung dieses Modells zur Beschreibung des zeitabhängigen Fließverhaltens TS-reicher Rindergülle ist jedoch aus folgenden Gründen nicht möglich:

- Die Fließfähigkeitsveränderungen TS-reicher Rindergülle sind von der Belastungsintensität abhängig.
- Die thixotropen Prozesse haben bei Rindergülle eine wesentlich größere Bedeutung als bei Schweinegülle.

Die Modellierung des zeit- und belastungsabhängigen Fließverhaltens von TS-reicher Rindergülle wird deshalb vorgenommen für

- Verflüssigung bzw. *Strukturabbau* bei erstmaliger mechanischer Scherbelastung
- Viskositäts-erhöhung bzw. *thixotropen Strukturaufbau* in Abhängigkeit von der

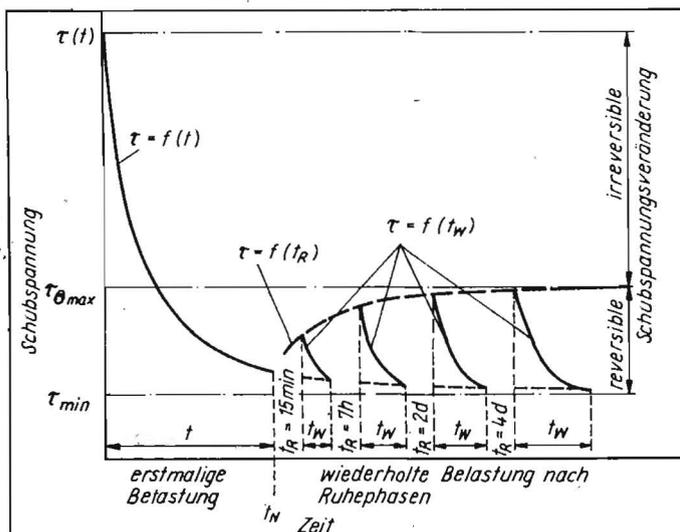


Bild 1
Prinzip
des Zeitverhaltens
TS-reicher
Rindergülle

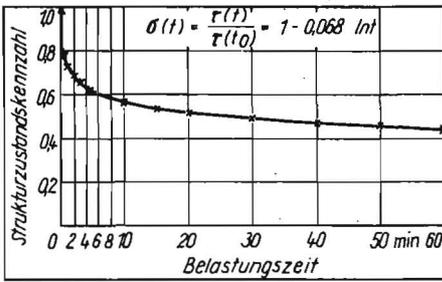


Bild 2. Strukturzustandskennzahl als Funktion der Belastungszeit;
 Beispiel: Güllegruppe I (Kälberaufzuchtpelletfutter), TS = 14%, $\dot{\gamma}_A = 50 \text{ s}^{-1}$, $\kappa = 0,446$

Ruhezeit und der vorher aufgeprägten Belastungsintensität und -dauer
 - Verflüssigung bzw. thixotropen Strukturabbau bei wiederholter mechanischer Scherbelastung.

Zur experimentellen Untersuchung zeitabhängiger Fließfähigkeitsveränderungen sind Rotationsviskosimeter besonders geeignet, da sie die Realisierung beliebiger Belastungszeiten ermöglichen. Das Rotationsviskosimeter großer Spaltweite [5] dient als Standardmeßgerät.

Um verallgemeinerungsfähige Aussagen zum zeitabhängigen Fließverhalten TS-reicher Rindergülle treffen zu können, werden verschiedene praxisrelevante Güllearten untersucht.

Bei erstmaliger mechanischer Scherbelastung lassen sich irreversible Prozesse nicht unabhängig vom Thixotropieeffekt untersuchen. Deshalb werden beide Vorgänge zunächst komplex durch Strukturabbauversuche erfaßt. Eine unbelastete Gülleprobe wird jeweils mit konstanter Schergeschwindigkeit $\dot{\gamma}_A$ mechanisch belastet, die zeitabhängigen Schubspannungsänderungen werden registriert. Nach einer Belastungszeit $t_N \geq 60 \text{ min}$ liegt ein Quasigleichgewichtszustand vor. Durch Realisierung von Ruhezeiten t_R ist anschließend der Anteil des thixotropen Strukturbaus meßtechnisch erfaßbar. Die wiederholte Belastung nach Ruhephasen gibt die Möglichkeit der Quantifizierung der thixotropen Strukturzerstörung.

3. Phänomenologisches Modell

Die mathematische Modellierung der Strukturzerstörung bei erstmaliger mechanischer Belastung erfolgt durch die halblogarithmische Regressionsfunktion

$$\tau(t) = \tau(t_0) - b \ln t \quad (1)$$

mit $t_0 = 1 \text{ s}$. Zur Sicherung der Verallgemeinerungsfähigkeit der Versuchsergebnisse wird Gl. (1) wie folgt normiert:

$$\delta(t) = \frac{\tau(t)}{\tau(t_0)} = 1 - q \ln t. \quad (2)$$

Dabei wird davon ausgegangen, daß jede Gülle zu Beginn der Deformation durch einen einheitlichen Strukturzustand $\delta(t_0) = 1$ gekennzeichnet ist. Die durch die Scherbelastung bewirkten Strukturänderungen äußern sich in einer Viskositätsverringerng, so daß die Charakterisierung des aktuellen Strukturzustands durch die Strukturzustandskennzahl $\delta(t) < 1$ erfolgt (Bild 2).

Für $t_N = 3600 \text{ s}$ sowie $\delta(t) = 1$ wird der Anstieg aus Gl. (2) mit

$$q = \frac{1 - \kappa}{\ln t_N} \quad (3)$$

ermittelt. Aus den Gln. (2) und (3) wird deutlich, daß die Kenntnis der empirischen Strukturabbaukennzahl κ genügt, um die Strukturzerstörung bei erstmaliger mechanischer Scherbelastung in Abhängigkeit von Belastungszeit und -intensität beschreiben zu

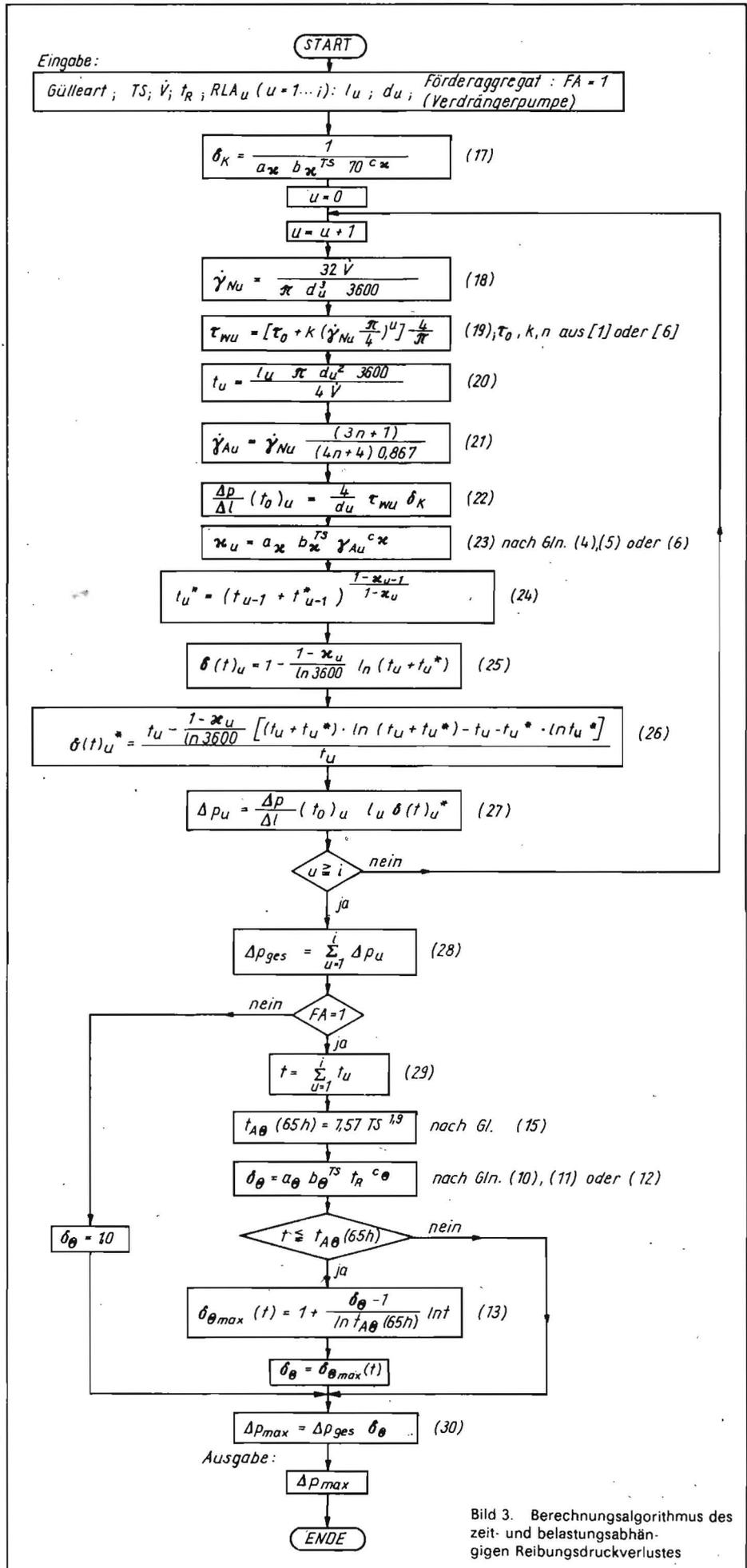


Bild 3. Berechnungsalgorithmus des zeit- und belastungsabhängigen Reibungsdruckverlustes

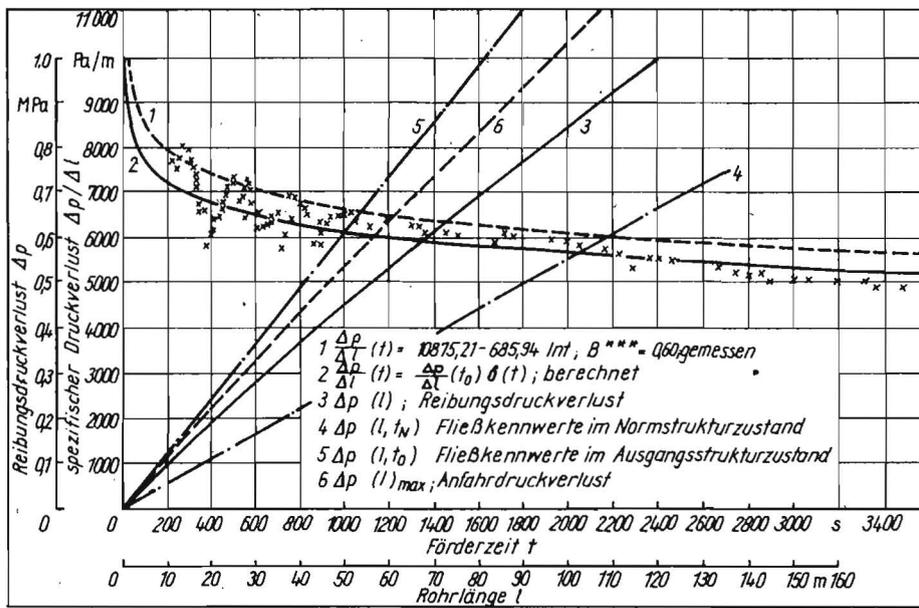


Bild 4. Überprüfung des Modells an einer Rohrförderstrecke; Güllegruppe III bzw. 3.1 nach [1] (Jugrinder, Grünfütterereinsatz)
 $\dot{V} = 14,62 \text{ m}^3/\text{h} = \text{konst.}$, $TS = 10,67 \%$, $d = 0,10 \text{ m}$, $v = 0,517 \text{ m/s}$, $n = 0,32$, $k = 23,6 \text{ Pa} \cdot \text{s}^n$,
 $\tau_0 = 9,56 \text{ Pa}$

können. Folgende Berechnungsgleichungen gelten:

– Güllegruppe I (Kälberaufzuchtpelletfutter)

$$\kappa = 2,0 \cdot 0,95^{TS} \dot{\gamma}_A^{-0,2} \quad (4)$$

($TS = 13,5 \dots 18 \%$; $\dot{\gamma}_A = 4,0 \dots 69 \text{ s}^{-1}$)

– Güllegruppe II (Maissilage und Gras-Maissilage-Gemisch-Futter)

$$\kappa = 1,66 \cdot 0,92^{TS} \dot{\gamma}_A^{-0,08} \quad (5)$$

($TS = 7,5 \dots 14,0 \%$; $\dot{\gamma}_A = 7,5 \dots 78 \text{ s}^{-1}$)

– Güllegruppe III (Grünfütter und Gras-anweilsilagefutter)

$$\kappa = 3,78 \cdot 0,87^{TS} \dot{\gamma}_A^{-0,22} \quad (6)$$

($TS = 6,5 \dots 12,5 \%$; $\dot{\gamma}_A = 8,0 \dots 78 \text{ s}^{-1}$)

Die Untersuchungen zeigten, daß das zeit- und belastungsabhängige Fließverhalten TS-reicher Rindergülle bei erstmaliger mechanischer Belastung mit folgendem Modellansatz beschrieben werden kann:

$$\tau(t) = \delta(t) \tau(t_0) \quad (7)$$

mit

$$\tau(t_0) = \frac{1}{\kappa (\dot{\gamma}_A = 70 \text{ s}^{-1})} \tau(t_N) \quad (8)$$

In Gl. (8) wurde berücksichtigt, daß die tabellierten Fließkennwerte τ_0 , κ und n [1, 6, 7] im verflüssigten bzw. Normstrukturzustand ermittelt wurden, d. h. nachdem über die Zeit $t_N = 60 \text{ min}$ eine mechanische Belastung der Intensität $\dot{\gamma}_A = 70 \text{ s}^{-1}$ im Rotationsviskosimeter eingewirkt hat. Als Ausgangsgröße zur Charakterisierung des Zeitverhaltens wird aber die Schubspannung zum Beginn der mechanischen Belastung $\tau(t_0)$ benötigt. Während der Ruhephasen nach mechanischer Belastung erfolgt der *thixotropen Strukturaufbau*, der zeitabhängig wieder zu einer Fließfähigkeitsverschlechterung führt (Bild 1). Die quantitative Kennzeichnung des thixotropen Strukturaufbaus erfolgt durch die Strukturaufbaukennzahl

$$\delta_{\theta} = \frac{\tau(t_R)}{\tau(t)} \quad (9)$$

Dabei gilt:

– Güllegruppe I:

$$\delta_{\theta} = 0,765 \cdot 1,01^{TS} t_R^{0,04} \quad (10)$$

($TS = 8,5 \dots 16,5 \%$; $t_R = 1 \text{ min} \dots 72,5 \text{ h}$)

– Güllegruppe II:

$$\delta_{\theta} = 0,79 \cdot 1,01^{TS} t_R^{0,028} \quad (11)$$

($TS = 7,5 \dots 14,0 \%$; $t_R = 1 \text{ min} \dots 115,5 \text{ h}$)

– Güllegruppe III:

$$\delta_{\theta} = 0,74 \cdot 1,01^{TS} t_R^{0,036} \quad (12)$$

($TS = 7,0 \dots 12,5 \%$; $t_R = 1 \text{ min} \dots 64,0 \text{ h}$)

Die Strukturaufbaukennzahl δ_{θ} ist eine Sicherheitsgröße, mit der die Erhöhung des Druckverlustes während Ruhephasen bei der Rohrförderung berücksichtigt werden kann. Im Bereich praxisrelevanter TS-Gehalte kleiner gleich 13% ergibt sich mit $t_R = 65 \text{ h}$ – das entspricht der technologischen Förderpause eines Wochenendes – für die Güllegruppe I: $\delta_{\theta} \leq 1,45$.

Die Modellierung des *thixotropen Strukturaufbaus bei wiederholter mechanischer Belastung* ist durch

$$\tau(t_w) = \tau(t_{w0}) - b_w \ln t_w \quad (13)$$

möglich. Durch Normierung und Zusammenfassung mit Gl. (9) folgt

$$\delta_{\theta}(t_w) = \delta_{\theta} - \frac{\delta_{\theta} - 1}{\ln t_{A\theta}} \ln t_w \quad (14)$$

wobei stets $t_w \leq t_{A\theta}$ gelten muß. Das bedeutet, daß nach einer als Thixotropieabbauzeit $t_{A\theta}$ definierten Belastungszeit t_w sämtliche während der Ruhephase aufgebaute thixotrope Strukturen zerstört sind. Da δ_{θ} nach den Gln. (10) bis (12) bestimmbar ist, genügt es, die einzige in Gl. (14) noch unbekannte Größe $t_{A\theta}$ zu ermitteln. Dafür gilt – unabhängig von Belastungsintensität $\dot{\gamma}_A$ und Gülleart:

$$t_{A\theta} = 0,1 \cdot t_R^{0,35} TS^{1,9} \quad (15)$$

($TS = 7,7 \dots 17,1 \%$; $t_R = 1 \text{ min} \dots 72,5 \text{ h}$)

Die Gln. (10) bis (12) gelten nur dann, wenn im Verlauf der erstmaligen mechanischen Belastung sämtliche thixotrope Strukturen zerstört wurden. Wirkte die erstmalige Belastung jedoch nur kurzzeitig, d. h. $t \leq t_{A\theta}$, so wurden diese thixotropen Strukturen nur unvollständig abgebaut. Da nur zuvor zerstörte thixotrope Strukturen erneut gebildet werden können, gilt

$$\delta_{\theta \text{ max}}(t) = 1 + \frac{\delta_{\theta} - 1}{\ln t_{A\theta} (65 \text{ h})} \ln t \quad (16)$$

δ_{θ} wird nach den Gln. (10) bis (12) ermittelt.

Als Ruhezeit des unbelasteten Materials wird mit ausreichender Genauigkeit $t_R = 65 \text{ h}$ angenommen.

4. Druckverlustberechnung

Bild 3 faßt alle für eine Druckverlustberechnung unter Berücksichtigung der Zeit- und Belastungsabhängigkeit notwendigen Gleichungen zusammen und stellt die Grundlage für die Softwareerstellung auch auf arbeitsplatzbezogener Rechentechnik dar. Dabei wird berücksichtigt, daß innerhalb einer Rohrleitung Nennweitenveränderungen auftreten können. Neben der Eingabe der Güllereit, des TS-Gehalts, des Volumenstroms und der maximal auftretenden technologischen Förderpause (im Normalfall $t_R = 65 \text{ h}$) ist die Rohrleitung in Rohrleitungsabschnitte (RLA) mit gleichem Rohrlindendurchmesser d aufzugliedern. Zunächst erfolgt die Druckverlustberechnung für jeden RLA separat. Der Einfluß des Förderaggregats auf den Verflüssigungsvorgang ist noch nicht exakt quantifizierbar, kann aber entsprechend den Ergebnissen von Tastversuchen vorerst vernachlässigt werden.

Für die Berechnung der Schubspannung nach Gl. (19) wird das Verfahren der repräsentativen Viskosität [8] genutzt. In Gl. (21) wird berücksichtigt, daß die Strömungsverhältnisse innerhalb der Scherzonen von Rotationsviskosimetern und von Rohrleitungen Unterschiede aufweisen. Während die Schergeschwindigkeit im Rotationsviskosimetermeßspalt zwischen einem Maximalwert am Innenzylinder und einem Minimalwert $\dot{\gamma}_{\text{min}} > 0$ am Außenzylinder variiert, nimmt sie im Rohr Werte zwischen 0 an der Rohrachse und $\dot{\gamma}_{\text{max}}$ an der Rohrwand an. Unter der Bedingung der Zeit- und Belastungsabhängigkeit des Fließverhaltens sind alle Volumenelemente an der Verflüssigung beteiligt. Das bedeutet, daß bei gleicher Schergeschwindigkeit an der Rohrwand und am Rotationsviskosimeterinnenzylinder die mittlere, über die Scherzone wirkende Schergeschwindigkeit innerhalb des Rotationsviskosimeterspalts größer als im Rohr ist. Da die Ermittlung der Modellansätze mit Hilfe von Rotationsviskosimetern erfolgte, muß die Schergeschwindigkeit der Rohrströmung mit dem angegebenen Faktor korrigiert werden [4].

Mit Gl. (24) wird die sog. Korrekturzeit t_R^* ermittelt. t_R^* ist eine angenommene Belastungszeit, die notwendig ist, um die innerhalb der vorangegangenen Belastungsintervalle aufgeprägte Vorgeschichte zu berücksichtigen.

Gl. (26) dient der Berechnung der sog. Strukturzustandskennzahl der Rohrströmung. Diese Kennzahl charakterisiert den über die Rohrlänge l_0 bestehenden mittleren Strukturzustand und wird durch Integration der zeit- und belastungsabhängigen Strukturzustandskennzahl nach Gl. (25) und anschließende Mittelwertbildung ermittelt. Gl. (27) ergibt den Reibungsdruckverlust des Rohrleitungsabschnitts RLA₀ ($u = 1 \dots i$), der, summiert mit den Druckverlusten der anderen Rohrleitungsabschnitte, den Gesamtdruckverlust innerhalb des Rohrleitungssystems ergibt [s. a. Gl. (28)].

Da während der Ruhephasen eine Verschlechterung des Fließverhaltens eintritt, ist anschließend zu prüfen, ob beim Einsatz einer Verdrängerpumpe deren maximal zulässige Druckbelastung nicht überschritten wird. Für Kreiselpumpen entfällt eine solche

Prüfung, da ein Anfahren bei Nullförderung problemlos ist. Gleichzeitig sind bei geringen Volumenströmen die Reibungsdruckverluste minimal, so daß bei derartigen Förderaggregaten Anfahrgeschwindigkeiten infolge thixotroper Prozesse nicht zu erwarten sind. Im Bild 4 wird die gute Übereinstimmung zwischen Praxisversuch und Modell verdeutlicht. Gleichzeitig sind die Fehler bei Vernachlässigung der Zeitabhängigkeit erkennbar. Die Nutzung der Fließkennwerte im Normstrukturzustand führt demnach bei TS-reicher Gülle zu einer erheblichen Unterbemessung (Kurve 4). Durch Anwendung der Berechnungsgrundlagen zur Berücksichtigung des zeit- und belastungsabhängigen Fließverhaltens TS-reicher Rindergülle in der Projektierungspraxis ist es somit möglich, ungerechtfertigte Über-, aber besonders Unterbemessungen zu vermeiden und die Zuverlässigkeit von Güllerohrfördersystemen zu erhöhen.

5. Zusammenfassung

Die Notwendigkeit, TS-reiche Gülle auch künftig mit Rohrleitungssystemen zu fördern, macht die Bereitstellung geeigneter Berechnungsgrundlagen zur Projektierung derartiger Anlagen erforderlich. In Ergänzung der bisher zu dieser Problematik veröffentlichten

Arbeiten werden mit dem vorliegenden Beitrag spezielle Untersuchungsergebnisse zum zeit- und belastungsabhängigen Fließverhalten TS-reicher Rindergülle vorgestellt. Ausgehend von den theoretischen und experimentellen Grundlagen zur Untersuchung zeitabhängiger Fließeigenschaften werden phänomenologische Modellansätze dargestellt und anschließend auf die Druckverlustberechnung angewendet. Sämtliche zur Druckverlustbestimmung notwendige Berechnungsgleichungen werden in Form eines Programmablaufplans zusammengefaßt und sind somit für die Softwareerstellung auf arbeitsplatzbezogener Rechentechnik aufbereitet. Auf die Darstellung von Vereinfachungen der Modellgleichungen, die eine bessere Nutzbarkeit unter Zulassung gewisser Fehler auch für Handrechnungen ermöglichen würden, wurde bewußt verzichtet. Dazu sind im „Bemessungskatalog für Güllendruckrohrleitungen“ [6] entsprechende Hinweise enthalten.

Anhand der Ergebnisse eines Praxisversuchs wird die gute Übereinstimmung zwischen Modell und Experiment nachgewiesen und die Notwendigkeit verdeutlicht, die vorliegenden Erkenntnisse in der Projektierungspraxis anzuwenden.

Literatur

- [1] Türk, M.: Bemessung von Druckrohrleitungen zum Fördern von trockensubstanzreicher Rindergülle. agrartechnik, Berlin 37 (1987) 1, S. 34–37.
- [2] Boese, E.: Untersuchungen zur Beschreibung des thixotropen Verhaltens der Gülle und ihre Anwendung auf die Berechnung technischer Prozesse. Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Dissertation 1976.
- [3] Türk, M.: Das thixotrope Zeitverhalten von trockensubstanzreicher Schweinegülle. agrartechnik, Berlin 36 (1986) 8, S. 368–370.
- [4] Dähre, D.: Untersuchungen zum zeitabhängigen Fließverhalten trockensubstanzreicher Rindergülle und die Anwendung auf die Rohrströmung. Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Dissertation 1986.
- [5] Türk, M.; Schmidt, H.; Dähre, D.: Rotationsviskosimeter für grobdisperse Suspensionen. agrartechnik, Berlin 37 (1987) 12, S. 568–570.
- [6] Türk, M.; Eckstädt, H.: Bemessungskatalog für Güllendruckrohrleitungen – Berechnungsgrundlagen und Tabellen. Arbeiten zur Mechanisierung der Pflanzen- und Tierproduktion, FZM Schlieben/Bornim 4 (1987) 19, S. 1–172.
- [7] Türk, M.: Das Fließverhalten von trockensubstanzreicher Schweinegülle. agrartechnik, Berlin 36 (1986) 1, S. 31–33.
- [8] Dähre, D.; Türk, M.: Methode zur Bestimmung absoluter Fließkurven nichtlinear-plastischer Medien mit Rotationsviskosimetern. Chemische Technik, Leipzig 39 (1987) 11, S. 477–479.

A 5226

Behandlung und Nutzung von organischem Dünger in der Ungarischen Volksrepublik

Dipl.-Ing. D. Velez/Dipl.-Agr.-Ing. L. Mátyás, Institut für Landtechnik (MÉMMI) Gödöllő (Ungarische VR)

In den landwirtschaftlichen Großbetrieben der Ungarischen Volksrepublik fallen jährlich 28 bis 30 Mill. t Gülle und 15 bis 16 Mill. t Stallung an. Berücksichtigt man, daß aus den Individual- und Nebenerwerbsbetrieben ebenfalls jährlich rd. 11 Mill. t Exkremente vorwiegend als Stallung anfallen, so ergibt sich für den gesamten organischen Dünger ein NPK-Reinährstoffgehalt von 450000 bis 500000 t je Jahr. Wird diese Menge auf die gültigen Mineraldüngerpreise umgerechnet, bekommt man einen Gesamtwert von rd. 4,5 Mrd. Forint.

Die Anwendung von Mineraldünger, der relativ billig ist und schnelle Ergebnisse bringt, hat sich in den letzten beiden Jahrzehnten schnell ausgeweitet. Dagegen wurde dem organischen Dünger immer weniger Beachtung gewidmet. Die nachteiligen Auswirkungen dieser Praxis bestehen darin, daß sich der Humusgehalt, der pH-Wert und das Wasserhaltevermögen des Bodens verringern und der Nitratgehalt im Grundwasser zunimmt. Gleichzeitig ist festzustellen, daß die Erträge nicht im gleichen Verhältnis mit den in den Boden eingebrachten Nährstoffen des Mineraldüngers anwachsen.

Durch eine Steigerung der organischen Düngung bei gleichzeitiger Beibehaltung der bisherigen Mineraldüngermenge könnte ein größerer Anteil der Nährstoffe im Boden nutzbar gemacht werden, und die Umweltbelastung würde sich verringern. Um die auf dem Sektor der organischen Düngung vorherrschende ungünstige Situation zu verän-

dern, muß in den landwirtschaftlichen Betrieben eine entsprechende Interessiertheit geschaffen werden, wobei auch bedeutende technische Entwicklungsaufgaben durchzusetzen sind.

Nachfolgend soll ein Überblick über die in der UVR angewendeten Technologien zur Be- und Verarbeitung organischer Dünger gegeben werden. Diese Technologien bestehen aus folgenden 3 Abschnitten, die gut voneinander abtrennbar sind:

- Sammeln in den Ställen und Abführung
- Abtransport, Behandlung
- landwirtschaftliche Verwertung.

Sammeln des organischen Düngers in den Stallanlagen und Abführung

Das Sammeln und die Abführung des organischen Düngers (Gülle und Stallung) wird hydraulisch mit Hilfe von Wasser oder mit mechanischen Hilfsmitteln (z. B. stationärer Düngförderer oder Traktor mit Schiebescchild) realisiert.

Hydraulisches Verfahren

Dieses Verfahren ist vor allem in den Stallanlagen verbreitet, die in den 70er Jahren für die Schweinehaltung in Großbetrieben geschaffen wurden (strohlose Aufstallung auf Spaltenböden). Es ist mit einem hohem Wasseraufwand verbunden; dabei fallen große Mengen Dünngülle an, die schnell und einfach aus den Ställen gefördert werden können. In einer Schweineanlage mit 500 Sauen kann die täglich anfallende Dünngüllemenge

150 bis 200 m³ betragen, deren Trockensubstanzgehalt 1 bis 2% erreicht. Für die Betriebe ist es oft ein ernstes Problem, diese trockensubstanzarme Gülle mit so geringen Inhaltsstoffen auszubringen, wobei es bei unsachgemäßer Behandlung leicht zu Umweltbelastungen kommen kann.

Mechanisches Verfahren

Dieses Verfahren basiert auf stationären oder mobilen Anlagen. Während einige Geräte ausschließlich für Gülle oder für Stallung geeignet sind, kommen andere auch für das Fördern beider organischer Düngertypen zum Einsatz.

Bei der *strohlosen Tierhaltung* werden für die Gülleabführung nur selten stationäre Anlagen genutzt, die dann aber häufig unter dem Spaltenboden eingebaut werden (Bild 1). Der Trockensubstanzgehalt der Gülle beträgt in der Schweinehaltung 5 bis 10%, in der Rinderhaltung 8 bis 10% und in der Geflügelhaltung 15 bis 20%. Daraus läßt sich leicht ableiten, daß bei mechanischen Anlagen bei gleicher Tieranzahl die geförderte Düngermenge wesentlich geringer als bei der hydraulischen Auslagerung ist.

Trotz dieser Vorteile haben die Betriebe wegen der häufigen Betriebsstörungen (gerisene Förderketten u. a.) große Bedenken gegenüber stationären Anlagen.

In *Stallanlagen mit Einstreu* – in der UVR rd. 95% der Rinderanlagen – arbeiten i. allg. mechanische Düngförderer. Diese sind teilweise stationär, aber auch mobil, d. h. auf ei-