

Temperatureinfluß auf das Fließverhalten von Gülle

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

Verwendete Formelzeichen

A, B		Konstanten
d	m	Rohrinnendurchmesser
h_s	m/100 m	spezifische Förderhöhe
k	Pa · s ⁿ	Konsistenzkoeffizient
n		Fließexponent
TS	%	Trockensubstanzgehalt
\dot{V}	m ³ /h	Volumenstrom
α_T		Temperaturzahl
$\dot{\gamma}$	1/s	Schergeschwindigkeit
ϑ	°C	Temperatur
ϑ_N	°C	konstante Normtemperatur
η_s	Pa · s	Scheinviskosität
τ	Pa	Schubspannung

1. Problemstellung

Der innerbetriebliche Transport und Umschlag von Gülle erfolgt in den Tierproduktionsanlagen zumeist mit Pumpen und Rohrleitungen. Durch gezielte Wassereinsparung wird in zunehmendem Maß trockensubstanzreiche Gülle gewonnen. Die Funktionssicherheit vorhandener Förderanlagen ist aber oftmals nicht mehr gegeben. Die Berechnung dieser Förderanlagen hat daher mit äußerster Sorgfalt zu erfolgen, um Bemessungsfehler und Havarien zu vermeiden. Grundlage dazu sind relevante Stoffkennwerte und verallgemeinerungsfähige Berechnungsverfahren. Mit der Erhöhung des Trockensubstanzgehalts (TS-Gehalt) verstärken sich auch die nicht-Newton'schen Fließeigenschaften und Fließanomalien wie Plastizität und Thixotropie. Darüber wurde in bezug auf TS-reiche Schweinegülle bereits berichtet [1, 2]. Auch der Temperatureinfluß auf das Fließverhalten der Gülle ist von entscheidender Bedeutung. Allgemein nimmt die Viskosität von Flüssigkeiten mit steigender Tem-

Fortsetzung von Seite 557

peratur eingeschlossen, konnte der Verbrauch bezogener Energieträger für die Wärmeerzeugung im Verlauf von 2 Jahren von 9180 GJ/a auf 4685 GJ/a, also um rd. 49%, gesenkt werden.

In der MVA Wolkow hat es sich bewährt, tierplatz- und produktionsbezogene Kennzahlen vorzugeben und sie ständig zu qualifizieren. So konnte in verantwortungsvoller Mitarbeit aller Kollektivmitglieder durch die Realisierung der aus der Betriebsanalyse abgeleiteten Maßnahmen der Bezugsenergiebedarf um 33% gesenkt werden. Der spezifische Elektroenergieverbrauch unterschreitet mit 540 kWh/Tpl · a den Richtwert vergleichbarer Anlagen. Mit 1,2 GJ/Tpl · a Gebrauchsenergie Wärme wird der Richtwert weit unterschritten [3].

Literatur

- [1] Weise, G.; Krüger, U.; Obst, G.; Wiezorek, S.: Energiewirtschaftliche Betriebsanalyse - Ein Weg zur Erschließung der Reserven. Information Energieanwendung. Herausgegeben vom Institut für Energetik/Zentralstelle für rationelle Energieanwendung 1982.
- [2] Betriebliche Dokumente der MVA Wolkow.
- [3] Autorenkollektiv: Betriebswirtschaftliche Richtwerte für die Pflanzen- und Tierproduktion. Herausgeber: Institut für SBW Böhlitz-Ehrenberg. Markkleeberg: agrabuch 1986.
- [4] TGL 28 761/02 Rationelle Wasserverwendung in der Tierproduktion. Ausg. Juli 1983 A 4743

peratur erheblich ab. Die jahreszeitlichen Temperaturschwankungen sind daher bei der Druckverlustberechnung unbedingt zu berücksichtigen.

Bei der Fließkurvenmessung entsteht durch die mechanische Scherbeanspruchung im Rotationsviskosimeter Dissipationswärme, die abgeführt werden muß; anderenfalls führt die Temperaturerhöhung zu einer Änderung des Fließverhaltens. Solche Fehlerinflüsse müssen durch Korrekturen eliminiert werden.

Während zur Berechnung der temperaturabhängigen Viskosität Newton'scher Flüssigkeiten, vor allem von Schmierölen, mehrere Temperaturformeln bekannt sind [3], ergeben sich bei nicht-Newton'schen Medien durch die Belastungs- und oftmals auch Zeitabhängigkeit erhebliche Probleme bei der Suche nach geeigneten Modellansätzen, die das Fließverhalten komplex darstellen.

Erstmals wurde der Einfluß der Temperatur auf das Fließverhalten einer Schweinegülle von TS = 10,77% von Hesse und Hummel [4] untersucht. Diese Ergebnisse sind jedoch noch nicht verallgemeinerungsfähig. So wurde die Aufgabe gestellt, die Temperaturabhängigkeit des Fließverhaltens von Rinder- und Schweinegülle systematisch zu untersuchen, eine vom Fließgesetz unabhängige temperaturinvariante Darstellung zu finden und ein verallgemeinerungsfähiges einfaches Rechenmodell abzuleiten.

2. Methodik

Das Fließverhalten von Rinder- und Schweinegülle ist vorwiegend abhängig vom TS-Gehalt und wird wie folgt eingestuft [2]:

TS ≤ 3%: idealviskoses (Newton'sches) Verhalten

3% < TS ≤ 8%: pseudoplastisches Verhalten

TS > 8%: nichtlinear-plastisches Verhalten.

Unter der Voraussetzung, daß in diesen TS-Bereichen die grundsätzliche Fließcharakteristik auch bei Veränderung der Temperatur ϑ erhalten bleibt, also die Fließkurven einen ähnlichen Verlauf zeigen und dem gleichen Fließgesetz gehorchen, wird folgende Temperaturzahl definiert:

$$\alpha_T(\vartheta) = \frac{\tau(\vartheta)}{\tau(\vartheta_N)} = \frac{\eta_s(\vartheta)}{\eta_s(\vartheta_N)} \quad (1)$$

Alle Schubspannungsmesswerte einer temperaturabhängigen Fließkurve $\tau(\vartheta)$ werden auf einen Normzustand bei $\vartheta_N = 20^\circ\text{C}$ bezogen. Diese in der Polymerenchemie auch als Verschiebungsfaktor bekannte Korrekturgroße [5] kennzeichnet in ausreichender Weise die Abweichung vom Normzustand $\tau(20^\circ\text{C})$.

Voraussetzung zur verallgemeinerten Anwendung des Rechenmodells der Form $\alpha_T = f(\vartheta)$ ist der Nachweis, daß α_T nur von der Temperatur abhängig ist und kein Einfluß der Belastungshöhe und Belastungszeit existiert. Bei Annahme eines quasistationären Strukturzustands nach erfolgter intensiver Scherdeformation im Rotationsviskosimeter ist der Zeiteinfluß (Thixotropie) vernachlässigbar. Die experimentellen Untersuchungen erfolgten mit einem temperierbaren Rotationsviskosimeter „Rheotest RV2“ vom VEB Prüfgerätekwerk Medingen in folgenden Meßbereichen:

$$0 < \vartheta < 50^\circ\text{C}$$

$$0,33 \text{ 1/s} < \dot{\gamma} < 145,8 \text{ 1/s}$$

5,3% < TS < 20% (Rindergülle, 16 Gülleproben)

3,1% < TS < 21,8% (Schweinegülle, 16 Gülleproben).

Insgesamt wurden 320 Fließkurven gemessen und dafür nach Gl. (1) für alle Schubspannungsmesswerte einer Fließkurve die α_T -Werte bestimmt und gemittelt. Dabei wurde die Normierungskurve bei $\vartheta_N = 20^\circ\text{C}$ mehrfach wiederholt.

Die temperaturabhängigen Fließkurven wurden einmal bei Erwärmung und danach bei Abkühlung aufgenommen. Die mittleren quadratischen Abweichungen (Standardabweichung) für alle gemessenen α_T -Werte betragen $s\% < 5\%$, d.h. eine belastungsabhängige liegt nicht vor.

3. Ergebnisse

Die gewonnenen Ergebnisse sollen mit Hilfe eines einfachen Berechnungsmodells verallgemeinert werden. Bei der Auswertung zeigte sich, daß ein Exponentialansatz der Form

$$\alpha_T(\vartheta) = A \exp(B \vartheta) \quad (2)$$

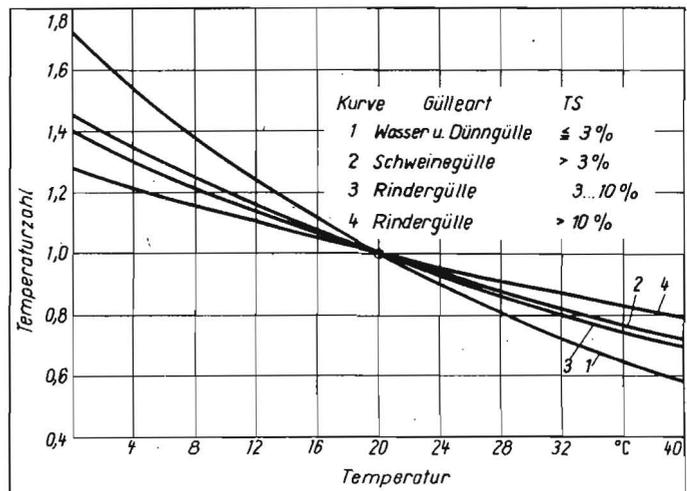


Bild 1
Temperaturkorrektur des Fließverhaltens von Gülle
 $\alpha_T(\vartheta) = \tau(\vartheta)/\tau(20^\circ\text{C})$

am besten geeignet ist und auf eine lineare Regressionsfunktion zurückgeführt werden kann. Die Gülleart (Rinder- oder Schweinegülle) und die Konzentration (TS-Gehalt) sind von entscheidendem Einfluß, so daß analog zu o. g. TS-Bereichen die folgenden Temperaturfunktionen ermittelt und im Bild 1 dargestellt wurden:

– Wasser und Dünggülle mit $TS \leq 3\%$ (Kurve 1)

$$\alpha_T(\vartheta) = 1,7210 \exp(-0,02686 \vartheta) \quad (3)$$

$$(B = 0,9957)$$

– Schweinegülle mit $TS > 3\%$ (Kurve 2):

$$\alpha_T(\vartheta) = 1,3953 \exp(-0,01650 \vartheta) \quad (4)$$

$$(B = 0,9617)$$

– Rindergülle im Bereich $3\% < TS \leq 10\%$ (Kurve 3):

$$\alpha_T(\vartheta) = 1,4518 \exp(-0,01838 \vartheta) \quad (5)$$

$$(B = 0,9539)$$

– Rindergülle mit $TS > 10\%$ (Kurve 4):

$$\alpha_T(\vartheta) = 1,2759 \exp(-0,01187 \vartheta) \quad (6)$$

$$(B = 0,8617)$$

Gülle mit höherem Wassergehalt zeigt eine größere Temperaturabhängigkeit. Während sich bei Schweine- und Rindergülle im Bereich $3\% < TS < 10\%$ kaum Unterschiede ergeben, ist die Temperaturzahl bei TS-reicher Rindergülle aufgrund der spezifischen Struktureigenschaften deutlich geringer. Klar erkennbar ist auch, daß der Temperatureinfluß bei niedrigen Temperaturen größer ist als bei $\vartheta > 20^\circ\text{C}$. Über das Verhältnis

$$\frac{\alpha_T(\vartheta_1)}{\alpha_T(\vartheta_2)} = \frac{\tau(\vartheta_1)}{\tau(\vartheta_2)} \quad (7)$$

kann eine Korrektur auf jeden beliebigen Temperaturwert im Bereich $0 < \vartheta < 50^\circ\text{C}$ vorgenommen werden. Die Temperaturfunktion nach Gl. (2) ist vom Fließgesetz unabhängig und ermöglicht eine einfache Korrektur der Fließkennwerte, wie z. B. bei Anwendung des Ostwald/de Waele-Ansatzes

$$\tau(\vartheta) = k(\vartheta) \dot{\gamma}^n \quad (8)$$

$$k(\vartheta) = \alpha_T(\vartheta) k(20^\circ\text{C}) \quad (9)$$

Der Fließexponent n ist demnach konstant und nicht von der Temperatur abhängig.

Am Beispiel einer Schweinegülle mit $TS = 8\%$ [2] soll der Temperatureinfluß bei Förderung durch ein Rohr mit $d = 150\text{ mm}$ verdeutlicht werden (Bild 2). Bei einer Temperaturveränderung von $\vartheta_1 = 20^\circ\text{C}$ auf $\vartheta_2 = 10^\circ\text{C}$ erhöht sich z. B. der Reibungs-

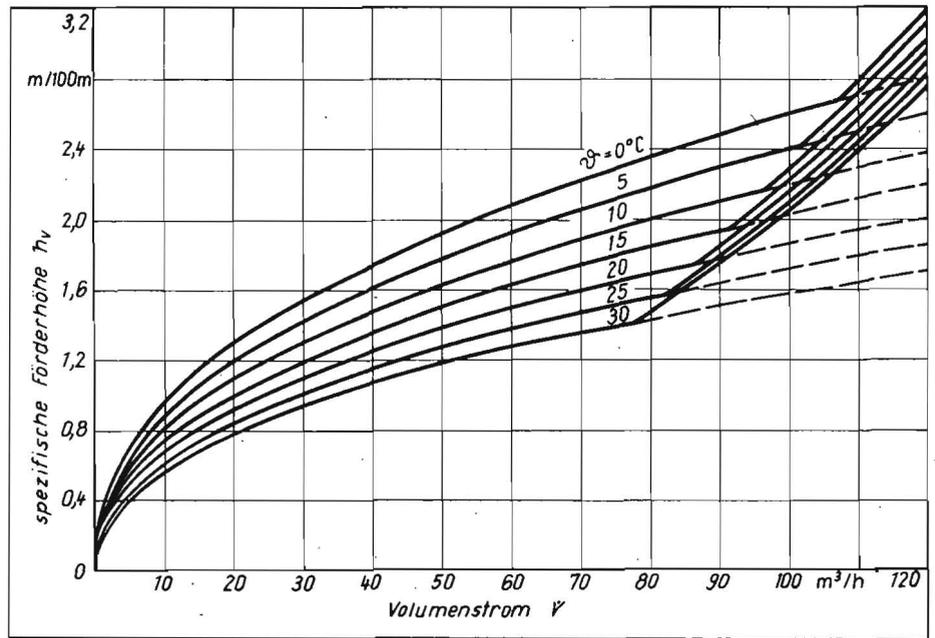


Bild 2. Temperaturabhängiger Druckverlust bei laminarer und turbulenter Rohrströmung von Schweinegülle ($TS = 8\%$, $d = 0,15\text{ m}$)

druckverlust im Rohr um 18%. Die Rohrkennlinien zeigen, daß analog zur temperaturabhängigen Viskosität auch der Übergang zur turbulenten Strömung bei unterschiedlichen Durchsätzen erfolgen muß. Das gezeigte Berechnungsmodell nach den Gln. (1) und (2) ist auch für andere Medien anwendbar, wenn die o. g. Voraussetzungen der Stetigkeit des Fließverhaltens zutreffen. Allerdings ist der angegebene Geltungsbereich einzuhalten.

4. Zusammenfassung

Der Temperatureinfluß auf das Fließverhalten von Gülle und damit auf die Druckverluste beim Rohrtransport ist von großer Bedeutung. Zur Qualifizierung der Bemessungsgrundlagen wurden systematische Fließkurvenuntersuchungen mit Rinder- und Schweinegülle im Temperaturbereich $0 < \vartheta < 50^\circ\text{C}$ durchgeführt. Mit Hilfe einer vom Fließgesetz unabhängigen Temperaturzahl $\alpha_T(\vartheta)$ und eines einfachen Berechnungsansatzes kann die Temperaturabhängigkeit des Fließverhaltens verallgemeinert dargestellt werden. Entsprechende Regressionsfunktionen werden angegeben. Diese Berechnungsmethode gilt auch für andere Medien.

Damit sind die Voraussetzungen für eine genauere Bemessung von Gölledruckrohrleitungen durch die Berücksichtigung extremer Betriebszustände gegeben, und die Temperaturfehler bei der Fließkurvenaufnahme können einfach korrigiert werden.

Literatur

- [1] Türk, M.: Das Fließverhalten von trockensubstanzreicher Schweinegülle. agrartechnik, Berlin 36 (1986) 1, S. 31–33.
- [2] Türk, M.; Hörnig, G.; Eckstädt, H.: Bemessung von Gölledruckrohrleitungen. FZM Schlieben/Bornim, Arbeitsmaterial 1984.
- [3] Rost, U.: Das Viskositäts-Temperatur-Verhalten von Flüssigkeiten. Kolloid-Zeitschrift, Darmstadt 142 (1955) 2/3, S. 132–150.
- [4] Hesse, H.-U.; Hummel, H. G.: Untersuchungen zum Einfluß der Temperatur auf Dichte, pH-Wert und Viskosität einer Schweinegülle mit hohem Trockensubstanzgehalt. Wiss. Zeitschr. der Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Math.-Naturwiss. Reihe, 29 (1980) 6, S. 85–88.
- [5] Ehrmann, G.; Robens, G.; Wagner, M. H.: Rheometrie hochpolymerer Schmelzen – kritische Betrachtung und Ergebnisse. Kunststoffe, München 64 (1974) 9, S. 463–469. A 4556

Inbetriebnahme eines Stationärmotors 4 VOG 14,5/12 SRW mit ungereinigtem Biogas

Dipl.-Ing. G. Reinhold, Forschungszentrum für Bodenfruchtbarkeit Müncheberg der AdL der DDR, Bereich Jena

Dipl.-Ing. G. Pfeiffer, KDT/Dr.-Ing. I. Irmscher, KDT, Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg,

Sektion Mechanisierung der Pflanzenproduktion

Ing. R. Jäkel, KDT, Kooperative Abteilung Melioration und organische Düngung Vippachedelhausen, Bezirk Erfurt

Verwendete Formelzeichen

B	m ³ /h	absoluter Kraftstoffverbrauch
b _s	m ³ /kWh	spezifischer Kraftstoffverbrauch
H ₀	MJ/m ³	unterer Heizwert
n	min ⁻¹	Drehzahl
p	MPa	Öldruck
P _e	kW	Nutzleistung (mechanisch)
P _{opt}	kW	Höchstleistung
Q _s	MJ/h	Wärmeverbrauch des Motors
q _s	MJ/kWh	spezifischer Wärmeverbrauch

T	°C	Kühlwassertemperatur
W _{el}	kWh	Elektroenergie
ε	–	Verdichtungsverhältnis
η _e	–	mechanischer Wirkungsgrad
η _w	–	Wirkungsgrad Kühlwassererwärmung
η _{ges}	–	Gesamtwirkungsgrad (mechanische Energie plus Kühlwasserwärme)

1. Problemstellung

Mit der zunehmenden Verschärfung der Rohstoff- und Energiesituation gewinnt seit den siebziger Jahren die alternative Energiegewinnung immer mehr an Bedeutung [1]. In der Landwirtschaft bietet sich dazu neben der Wärmerückgewinnung aus der Milch und der Stallabluft die Erzeugung von Biogas an.