

Sammelkanal gewährleistet ist. Ein Rückstau der Gülle aus dem Sammelkanal in den Fließkanal ist unbedingt zu vermeiden. Während der Stallreinigung in der Serviceperiode sollte die Stauklappe geschlossen bleiben, damit durch das anschließende schwallartige Ablassen des Reinigungswassers mögliche Feststoffinseln abgeschwemmt werden können.

5. Weitere Entwicklungsarbeiten

Zur entscheidenden Verkürzung der Montagezeiten, besonders bei Nachrüstungen unter Betriebsbedingungen, wird untersucht, inwieweit durch einfache Spanneinrichtungen die aufwendige Befestigung der Stauklappe 070 im

Beton auf ein Minimum reduziert werden kann [4].

6. Zusammenfassung

Stauklappen 070 für Kanalbreiten zwischen 1000 mm und 2000 mm und Kanaltiefen von etwa 950 mm sichern die ständige Funktionsfähigkeit hydromechanischer Fließkanäle in Schweineproduktionsanlagen. Nach einer Erläuterung des Funktionsprinzips werden Anwendungshinweise gegeben.

Literatur

- [1] Bendull, K.; Tschierschke, M.; Schemel, H.: Absperrvorrichtung für Güllekanäle. WP A 01 K/174934.
- [2] Heinlein, B.; Schemel, H.; Döring, W.: Gülleabfuhrung in Fließkanälen mit Stauklappe. agrartechnik 28 (1978) H. 7, S. 287—290.
- [3] Heinlein, B.; Schemel, H.; Döring, W.: Einsatz von Stauklappen in Fließkanälen von Schweineproduktionsanlagen zur Wassereinsparung und Erhöhung der Funktionssicherheit bei der Gülleabfuhrung. Forschungszentrum für Mechanisierung der Landwirtschaft Schlieben/Bornim, Forschungsbericht 1977 (unveröffentlicht).
- [4] Barthel, K.; Heise, O.: Veränderung der Stauklappe. NV 19/79 vom 12. März 1979.

A 2794

Untersuchungen zum Einfluß der Temperatur auf das Fließverhalten einer Schweinegülle mit hohem Trockensubstanzgehalt

Dipl.-Mel.-Ing. H.-U. Hesse, Ingenieurbüro für Bau und Melioration Schwerin

Prof. Dr.-Ing. habil. H. G. Hummel, Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Sektion Meliorationswesen und Pflanzenproduktion

1. Aufgabenstellung

Von den Autoren wurden in [1] und [2] erste Ergebnisse der Beeinflussung der Dichte, des pH-Werts und der Viskosität einer gelagerten Schweinegülle durch die Veränderung der Temperatur in einem Bereich von 4 bis 30°C mitgeteilt.

Aufgrund dieser Ergebnisse und unter Bezugnahme auf Heinze [3] und Drechsler [4] kann eine erhebliche Beeinflussung des Fließverhaltens der Gülle durch Temperaturschwankungen erwartet werden.

Von unmittelbar praktischem Interesse ist dabei eine Veränderung der Rohrreibungsverluste beim hydromechanischen Gülletransport, da nach Heinze [3] bei der Güllelagerung im Verlauf eines Jahres mit einer Temperaturänderung im Bereich von 1 bis 25°C gerechnet werden kann.

In der vorliegenden Arbeit sollen erste Abschätzungen über das Ausmaß dieser Veränderungen des Fließverhaltens, vor allem der Rohrreibungsverluste infolge Temperaturschwankungen, gegeben werden.

2. Meßeinrichtung und Versuchsmethodik

Die ausführliche Beschreibung dieser Problematik ist bei Hönl und Krüger [5] nachzulesen. Als Meßeinrichtung standen ein Rotationsviskosimeter kleiner Spaltweite vom Typ „Rheotest 2“ und ein Thermostat vom Typ „Ultra Kryostat MK 70“ zur Verfügung.

Die Fließkurven wurden bei den Temperaturen 4, 7, 10, 15, 20, 25 und 30°C ermittelt. Je Temperaturstufe wurden 6 Meßreihen mit fallendem und steigendem Schergradienten aufgenommen, die anschließend je Meßrichtung gemittelt wurden. Parallel dazu erfolgten 4 Messungen zur Dichte und 6 Messungen zur Bestimmung des Trockensubstanzgehalts.

Die untersuchte Gülle entstammte einem Versuchsstall der Sektion Tierproduktion der Wilhelm-Pieck-Universität Rostock. Zur Erreichung stabiler biologischer Verhältnisse wurde die Gülle von Mitte März bis Mitte November bei Raumtemperaturen von 12 bis 21°C gelagert. Nach einer solchen Lagerzeit kann mit Sicher-

heit angenommen werden, daß sich die noch stattfindenden biologischen Zersetzungsprozesse auf ein gleichbleibendes minimales Niveau eingeegelt haben.

Über den anschließenden Versuchszeitraum betrug der Trockensubstanzgehalt durchschnittlich 10,77%.

3. Darstellung und Diskussion der Versuchsergebnisse

3.1. Fließfunktion

Die Ergebnisse der in den jeweiligen Temperaturstufen aufgenommenen Fließkurven sind in Tafel 1 zusammengestellt.

Grundlage der mathematischen Beschreibung der aufgenommenen Fließkurven war die 3parametrische Herschel-Bulkley-Beziehung

$$\tau = \tau_0 + k \left(\frac{dv}{dy} \right)^n \quad (1)$$

τ_0 Fließgrenze in Pa

k Steifigkeit in Pa · sⁿ

dv/dy Schergradient in s⁻¹

n Strukturziffer.

Im Bild 1 sind für die Meßrichtung „fallender Schergradient“ die Fließkurven in Abhängigkeit

von der jeweiligen Temperaturstufe dargestellt. Aus dieser grafischen Darstellung und aus den hohen Bestimmtheitsmaßen der Tafel 1 kann zunächst mit Sicherheit belegt werden, daß die Herschel-Bulkley-Beziehung für den gesamten untersuchten Temperaturbereich gültig ist. Gleichzeitig ist aus Bild 1 ersichtlich, daß die Fließkurven mit steigender Temperatur niedriger und flacher verlaufen.

Praktisch interessant ist in dieser Hinsicht die relative Minderung der Schubspannung, bezogen auf die Anfangsfließkurve bei 4°C. Dazu wurden die Verhältnisse

$$\alpha_i = \frac{\tau_i}{\tau_{4^\circ\text{C}}} \quad (2)$$

für alle Werte der Schubspannung in den Temperaturstufen von 7 bis 30°C gebildet und mathematisch modelliert. Es ergab sich die folgende Beziehung:

$$\alpha = 1,0323 e^{-0,009241(T-4)} (dv/dy)^x \quad (3)$$

mit $x = -0,0012(T-4)^{1,2945}$

α relative Minderung der Schubspannung, bezogen auf die Schubspannung bei 4°C
T Temperatur.

Tafel 1. Zusammenstellung der ermittelten Fließparameter in Abhängigkeit von der Temperatur (Schweinegülle, Tr = 10,77%) nach [5]

Temperatur °C	fallender Schergradient					steigender Schergradient				
	τ_0 Pa	k Pa · s ⁿ	n	B	Sign. %	τ_0 Pa	k Pa · s ⁿ	n	B	Sign. %
4	3,04	1,7123	0,689	0,9973	99	3,14	2,1232	0,634	0,9892	99
7	2,94	1,7878	0,670	0,9965	99	3,04	2,2193	0,611	0,9927	99
10	2,84	1,8869	0,645	0,9976	99	2,94	2,3635	0,587	0,9943	99
15	2,75	1,7947	0,624	0,9980	99	2,84	2,1713	0,575	0,9986	99
20	2,65	1,6819	0,602	0,9962	99	2,75	1,9938	0,566	0,9974	99
25	2,55	1,7005	0,568	0,9967	99	2,65	1,9702	0,537	0,9964	99
30	2,26	1,7211	0,541	0,9955	99	2,35	1,9251	0,523	0,9975	99

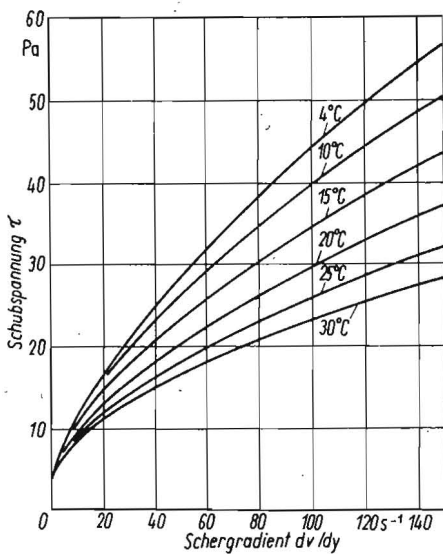


Bild 1. Darstellung der Fließkurven von Schweinegülle in Abhängigkeit von der Temperatur (Meßrichtung „fallender Schergradient“, $Tr = 10,77\%$)

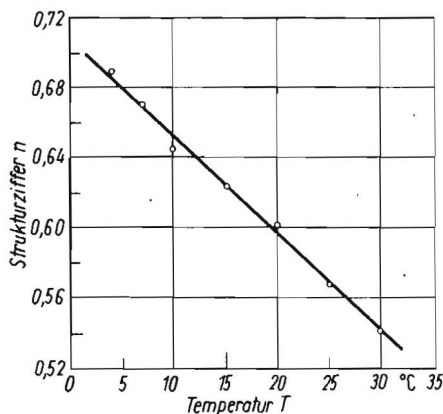


Bild 2. Darstellung der Strukturziffer von Schweinegülle in Abhängigkeit von der Temperatur (Meßrichtung „fallender Schergradient“, $Tr = 10,77\%$)

Tafel 2. Zusammenstellung der Mittelwerte der Minderungsfaktoren α der Fließkurven, bezogen auf 4°C, in Abhängigkeit von der Temperatur für Schweinegülle ($Tr = 10,77\%$)

Temperatur °C	Meßrichtung fallender Schergradient	steigender Schergradient
	α	α
7	0,9850	0,9836
10	0,9678	0,9730
15	0,8994	0,8956
20	0,8278	0,8314
25	0,7858	0,7826
30	0,7268	0,7236

Erste Fehlerabschätzungen an sieben zufällig ausgewählten Beispielen ergaben eine Abweichung von 2,83%.
Mit Gl. (3) lassen sich bei Bezug auf die Fließkurve bei 4°C alle weiteren Schubspannungen berechnen.

$$\tau_i = \alpha \tau_4 \quad (4)$$

Zum Beispiel beträgt bei einem Schergradienten von $48,6\text{ s}^{-1}$ die Schubspannung bei 4°C rd. 27,75 Pa (s. Bild 1).

Für eine Temperatur von 30°C ergibt sich nach Gl. (3) ein Minderungsfaktor von $\alpha = 0,59$. Die entsprechende Schubspannung folgt nach Gl. (4) zu 16,38 Pa (vgl. Bild 1).

Zur Gewinnung eines Überblicks über das Ausmaß der Verringerung der Schubspannungen infolge Temperaturerhöhung wurden die Mittelwerte der Minderungen α je Temperaturstufe gebildet und in Tafel 2 zusammengestellt. Daraus geht hervor, daß sich die Schubspannungen bei einer Temperaturerhöhung von 4 auf 20°C durchschnittlich um rd. 20% verringern.

Diese Erkenntnis dürfte für die Ermittlung der Reibungsverluste bei praktischen Projektierungsproblemen von wesentlicher Bedeutung sein, da ja nach Heinze [3] die Temperatur der Gülle im Jahresgang durchaus in diesen Dimensionen schwanken kann.

3.2. Fließgrenze τ_0

Die Abhängigkeit der Fließgrenze von der Temperatur ist ebenfalls aus Tafel 1 ersichtlich. Sie verringert sich durch eine Temperaturerhöhung von 4 auf 30°C um rd. 25%. Der mathematische Zusammenhang ergab sich für die Meßrichtung „fallender Schergradient“ zu:

$$\tau_0 = 3,1990 - 0,03153 T; \quad (5)$$

$$B = 0,9478$$

Sign. 99%.

Die Linearität dieses Zusammenhangs ist durch das hohe Bestimmtheitsmaß genügend genau belegt.

3.3. Strukturziffer n

Zunächst kann anhand von Tafel 1 festgestellt werden, daß mit einer Temperaturerhöhung von 4 auf 30°C die Strukturziffer um rd. 20% kontinuierlich absinkt. Die Veränderung ist als wesentlich einzuschätzen, da n potentiell in die Berechnung der verallgemeinerten Re-Zahl und des λ -Beiwerts nach Annen [6] eingeht. Eine lineare Regressionsrechnung ergab das folgende Modell für die Meßrichtung „fallender Schergradient“:

$$n = 0,7078 - 0,005548 T; \quad (6)$$

$$B = 0,9945$$

Sign. 99%.

Das wiederum sehr hohe Bestimmtheitsmaß bestätigt die Annahme des linearen Zusammenhangs dieser Faktoren (Bild 2).

3.4. Steifigkeit k

Wie Tafel 1 erkennen läßt, ist der Zusammenhang zwischen k und T bei weitem nicht so eindeutig wie bei der Fließgrenze und der Strukturziffer und somit für die mathematische Modellierung auch wesentlich schwieriger zugänglich (Bild 3). Folgende Modelle wurden für die Meßrichtung „fallender Schergradient“ berechnet:

$$k = 1,8084 - 0,003364 T; \quad (7)$$

$$B = 0,2014$$

Sign. nicht gesichert

$$k = 0,50957 T_i^{0,2292} \rho^{13,21809} T^{0,10467} \quad (8)$$

$$B = 0,5174$$

Sign. nicht gesichert

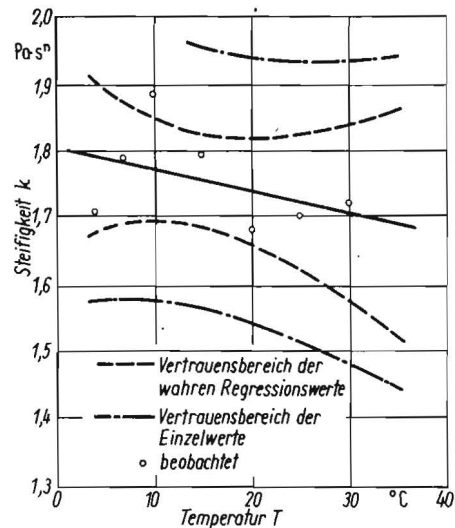


Bild 3. Darstellung der Steifigkeit von Schweinegülle in Abhängigkeit von der Temperatur (Meßrichtung „fallender Schergradient“, $Tr = 10,77\%$)

$$k = 9,807 \left(\frac{0,08086 T^{0,10718}}{e^{0,03460 T}} \right)^y$$

$$\text{mit } y = 0,7078 - 0,005548 T; \quad (9)$$

B nicht berechnet

Sign. nicht berechnet.

Die relative Abweichung der berechneten zu den beobachteten Werten beträgt für Modell (7) 2,66%, für Modell (8) 2,26% und für Modell (9) 2,61%.

Mit den Beziehungen (7), (8) und (9) liegen drei Modelle vor, die die Möglichkeit bieten, die Steifigkeit mit Veränderungen der Temperatur annähernd auszurechnen. In Gl. (8) gehen außerdem noch der jeweilige Trockensubstanzgehalt Tr der Probe und die Dichte ρ als weitere Einflußfaktoren ein. Welchem Modell der Vorrang zu geben ist, müssen weitere Untersuchungen erbringen. Vor allem ist der unregelmäßige Verlauf der Abhängigkeit der Steifigkeit von der Temperatur zu untersuchen und zu deuten.

3.5. Rohrreibungsverluste

Wie schon eingangs erwähnt, ist die Kenntnis der Veränderung der Rohrreibungsverluste mit steigender Temperatur von besonderem praktischen Interesse. Für eine mittlere Fließgeschwindigkeit von 1,5 m/s wurden die Reibungsverluste für das 2parametrische Modellgesetz von Ostwald-de Waele mit den Formeln von Annen [6] für die einzelnen Temperaturstufen berechnet und im Bild 4 aufgetragen. Anhand der berechneten verallgemeinerten Reynoldsschen Zahlen konnte nachgewiesen werden, daß dann über den gesamten Bereich der gewählten Temperaturstufen und Rohrenweiten laminares Fließen nach Hörnig [7] vorliegt. Aus Bild 4 ist ersichtlich, daß die Temperaturbeeinflussung mit steigender Nennweite abnimmt. Zur besseren Übersicht über das Ausmaß dieser Beeinflussung wurden die Reibungsverluste bei 4°C gleich 1,0 gesetzt und die weitere Verminderung auf diesen Wert bezogen (Tafel 3). So sinken z. B. die Reibungsverluste durch eine Temperaturerhöhung von 4 auf 30°C bei der Nennweite 150 um rd. 45% und bei der Nennweite 1000 um rd. 27%. Diese Verminderung ist für den hydromechanischen Transport von Gülle mit hohem Trok-

Tafel 3. Abhängigkeit der relativen Reibungsverlusthöhe $h_{r,rel}$, bezogen auf eine Temperatur von 4 °C

Temperatur °C	Temperatur Nennweite in mm					
	150	300	500	800	1000	\bar{x}
	$h_{r,rel}$	$h_{r,rel}$	$h_{r,rel}$	$h_{r,rel}$	$h_{r,rel}$	$h_{r,rel}$
4	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
7	0,9654	0,9770	0,9845	0,9966	1,0000	0,9847
10	0,9217	0,9508	0,9690	0,9914	1,0000	0,9666
15	0,8059	0,8426	0,8682	0,8986	0,9100	0,8651
20	0,6921	0,7344	0,7674	0,8007	0,8150	0,7619
25	0,6077	0,6663	0,7054	0,7440	0,7625	0,6972
30	0,5518	0,6131	0,6589	0,7062	0,7300	0,6520

Tafel 4. Ermittlung des A-Wertes nach Eckstädt [8] für eine durchschnittliche Fließgeschwindigkeit von 1,5 m/s (Meßrichtung „fallender Schergradient“, $Tr = 10,77\%$)

Temperatur °C	τ_0 Pa	ρ g/cm ³	A	A_{rel}
4	3,04	1,0420	0,0012971	1,0000
7	2,94	1,0417	0,0012556	0,9680
10	2,84	1,0380	0,0012181	0,9391
15	2,75	1,0340	0,0011806	0,9102
20	2,65	1,0295	0,0011434	0,8815
25	2,55	1,0280	0,0011027	0,8501
30	2,26	1,0235	0,0009797	0,7553

kensubstanzgehalt in Druckrohrleitungen bedeutsam. Dabei wurde der Einfluß der Fließgrenze τ_0 gemäß den neueren Forschungsergebnissen von Eckstädt [8] noch nicht berücksichtigt. Die Fließgrenze erfaßt Eckstädt [8] mit der Beziehung:

$$A = \frac{\tau_0}{v^2 \rho} \quad (10)$$

Dieser A-Wert wurde für das verwendete Beispiel berechnet und in Abhängigkeit von der Temperatur in Tafel 4 zusammengestellt. Es wird deutlich, daß sich auch der A-Wert bei einer Temperaturerhöhung von 4 auf 30 °C um rd. 25 % vermindert.

Andererseits ist zu beachten, daß der bei einer Schweinegülle mit einem Trockensubstanzgehalt von 10,77 % schon voll wirksame Thixotropieeinfluß (ausgedrückt in einer Deformationszeitabhängigkeit) in vorliegenden Untersuchungen nicht gesondert erfaßt wurde. Je nach Intensität der dynamischen Vorbelastung, d.h. Scherbeanspruchung, erfährt eine derartig hochkonzentrierte Gülle eine zunehmende Verflüssigung, die sich in einer Reduzierung der errechneten Reibungsverluste auswirkt. Da dieser Thixotropieeinfluß jedoch zeitlich und örtlich variiert und nur schwer erfaßbar ist, wird der Projektant zweckmäßigerweise die Druckrohrbemessung für den ungünstigsten Betriebsfall, d.h. für den ungünstigsten Trockensubstanzgehalt und für die ungünstigste Temperatur, vornehmen.

3. Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit werden erste Ergebnisse zur Temperaturbeeinflussung der Fließgrenze, der Strukturziffer, der Steifigkeit und der entsprechenden Rohrreibungsverluste für eine mittlere Fließgeschwindigkeit von 1,5 m/s einer gelagerten Schweinegülle mit hohem Trockensubstanzgehalt (10,77 %) mitgeteilt.

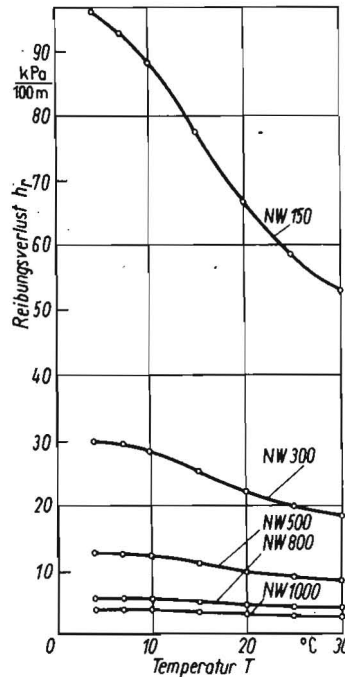


Bild 4. Darstellung des Reibungsverlustes h_r in Abhängigkeit von der Temperatur für eine Schweinegülle mit einem Trockensubstanzgehalt von 10,77 % bei einer mittleren Fließgeschwindigkeit von 1,5 m/s (berechnet nach Annen [6])

Mit den Gln. (3, 5, 6, 7, 8 und 9) liegen für die Meßrichtung „fallender Schergradient“ mathematische Modelle vor, die es ermöglichen, die jeweilige Veränderung dieser Größen unter Berücksichtigung der Temperatur (4 bis 30 °C) auszurechnen. Diese Beziehungen sind durch weitere Untersuchungen zu bestätigen bzw. zu qualifizieren. Mit der berechneten Veränderung der Reibungsverluste nach Annen [6] konnte die These von Drechsler [4], daß die Temperatur

einen erheblichen Einfluß auf das Fließverhalten von Gülle in Druckrohrleitungen hat, eindruckvoll bestätigt werden. Zur Einbeziehung dieser Ergebnisse in technische Berechnungen sind weitere Untersuchungen erforderlich.

Literatur

- [1] Hesse, H.-U.: Viskosimetrische Untersuchungen zum Einfluß der Temperatur auf das Fließverhalten einer gelagerten Schweinegülle mit hohem Trockensubstanzgehalt. WPU Rostock, Sektion Meliorationswesen und Pflanzenproduktion, Bericht 1979 (unveröffentlicht).
- [2] Hesse, H.-U.; Hummel, H.G.: Untersuchungen zum Einfluß der Temperatur auf Dichte, pH-Wert und Viskosität einer Schweinegülle mit hohem Trockensubstanzgehalt. WPU Rostock, Sektion Meliorationswesen und Pflanzenproduktion, Manuskript 1980 (unveröffentlicht).
- [3] Heinze, M.: Temperaturverlauf bei der Güllelagerung. KMU Leipzig, Sektion Tierproduktion und Veterinärmedizin, Dissertation 1969.
- [4] Drechsler, F.: Untersuchungen zum Temperatureinfluß auf das Fließverhalten von Rindergülle. KMU Leipzig, Sektion Tierproduktion und Veterinärmedizin, Diplomarbeit 1971.
- [5] Hönl, R.; Krüger, B.: Untersuchungen zur Zeit- und Temperaturabhängigkeit rheologischer Parameter von Schweinegülle. WPU Rostock, Sektion Meliorationswesen und Pflanzenproduktion, Diplomarbeit 1978.
- [6] Annen, G.: Rohrströmung von Klärschlamm. TH Karlsruhe, Dissertation 1961.
- [7] Hörnig, G.: Druckverlusttabelle für das Fördern von Rinder- und Schweinegülle in Druckrohrleitungen. Institut für Mechanisierung der Landwirtschaft Potsdam-Bornim, Institutsbericht Nr. 24, 1971.
- [8] Eckstädt, H.: Druckverluste bei laminarer Rohrströmung quasisplastischer Flüssigkeiten. Wasserwirtschaft—Wassertechnik (1975) H. 6, S. 194—155. A 2772

Folgende Fachzeitschriften des Maschinenbaus erscheinen im VEB Verlag Technik:

agrartechnik; Die Eisenbahntechnik; Feingerätetechnik; Fertigungstechnik und Betrieb; Hebezeuge und Fördermittel; Kraftfahrzeugtechnik; Luft- und Kältetechnik; Maschinenbautechnik; Metallverarbeitung; Schmierungstechnik; Schweißtechnik; Seewirtschaft