

Bemessung von Druckrohrleitungen zum Fördern von trockensubstanzreicher Rindergülle

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

Verwendete Formelzeichen

a, b, c		Konstanten
d	m	Rohrinnendurchmesser
h _v	m/100 m	spezifische Druckverlusthöhe
k _v	Pa · s ⁿ	Konsistenzkoeffizient
k _R	m	absolute Rohrrauigkeit
n		Fließexponent
Δp	Pa, bar	Druckverlust
Δp/Δl	Pa/m	spezifischer Druckverlust
Re		Reynoldszahl
t _N	s	Norm-Belastungszeit
TS	%	Trockensubstanzgehalt, Massenkonzentration
Ṁ	m ³ /h	Volumendurchsatz
v	m/s	mittlere Fördergeschwindigkeit
γ̇	1/s	Schergeschwindigkeit
γ̇ _N	1/s	Newtonsche Schergeschwindigkeit
γ̇ _A	1/s	maximale Schergeschwindigkeit beim Strukturabbau
η _s	Pa · s	Scheinviskosität
η	mPa · s	Newtonsche dynamische Viskosität
θ	°C	Temperatur
λ		Rohrreibungszahl
ρ	kg/m ³	Dichte
τ	Pa	Schubspannung
τ _w	Pa	Wandschubspannung in der Förderrohrleitung
τ ₀	Pa	Fließgrenze

1. Problemstellung

Die wissenschaftlich vorrangige Aufgabe der Güllewirtschaft besteht gegenwärtig in der Verminderung des Wasseraufwands und in der Schaffung von Voraussetzungen für eine effektive Verwertung der organischen Düngemittel in der Pflanzenproduktion. Auch künftig wird die hydromechanische Förderung mit Pumpen und Rohrleitungen einen bedeutenden Umfang der innerbetrieblichen Transportaufgaben und der Gülleausbringung einnehmen. Die Förderanlagen sind mit der Zielstellung des optimalen Werkstoff- und Energieeinsatzes sowie hoher Betriebssicherheit und Automatisierbarkeit zu projektieren. Wichtige Voraussetzung dazu sind Bemessungsgrundlagen auf der Basis relevanter Fließkennwerte, die als Fort-

setzung der bereits bekannten Arbeiten zur trockensubstanzreichen Schweinegülle [1, 2] im Forschungszentrum für Mechanisierung der Landwirtschaft (FZM) Schlieben/Bornim erarbeitet wurden [3]. Auf dieser Basis soll die bislang entsprechend dem Standard TGL 6466/03 gültige Druckverlusttabelle von Hörnig [4, 5] überarbeitet und präzisiert werden. Bei trockensubstanzreicher Rindergülle (TS > 8%) bestimmen Plastizität und Zeitabhängigkeit neben der Güllezusammensetzung (entsprechend Futtereinsatz) vornehmlich das Fließverhalten. In Abhängigkeit vom Trockensubstanzgehalt (TS-Gehalt) wurden diese Haupteinflußgrößen rheologisch untersucht, bewertet und mit Hilfe einfacher Rechenmodelle verallgemeinert [3]. Diese Versuche werden nachfolgend beschrieben und die Ergebnisse, einschließlich der erforderlichen Hinweise zur Druckverlustberechnung, zur Diskussion gestellt. Über die Temperaturabhängigkeit des Fließverhaltens von Gülle wurde bereits berichtet [6], und zum thixotropen Zeitverhalten der Rindergülle ist ein gesonderter Beitrag notwendig.

2. Untersuchungsmethodik

Analog zu den systematisch durchgeführten Versuchen mit Schweinegülle [1] wurden aus unterschiedlichen Tierproduktionsanlagen verschiedener Nutzungsrichtungen (Kälber-, Jungrinderaufzucht, Mastrinder- und Milchviehhaltung) Kot-, Harn- und Gülleproben gewonnen und schrittweise im Meßbereich 3,5% < TS < 16,8% verdünnt. Die Fließkurvenmessungen erfolgten mit dem im FZM Schlieben/Bornim entwickelten und vielfach bewährten Rotationsviskosimeter großer Spaltweite im Scherbereich von 0,13 1/s < γ̇ < 70 1/s nach Erreichen des Normstrukturzustands. Dieser wird definiert, wenn nach maximaler Scherbelastung γ̇_A = 70 1/s über die Zeit t_N = 60 min die umkehrbaren, d. h. thixotropen, und bleibenden Strukturveränderungen (Misch- und Zerkleinerungsprozesse) weitgehend abgeschlossen sind und die Gülle als Quasikontinuum gekenn-

zeichnet werden kann. Alle Fließkennwerte wurden auf die konstante Temperatur θ = 20°C bezogen [6].

Aufgrund der für Wiederkäuer charakteristischen Verdauungsphysiologie und der eingesetzten Futtermittel sind die rheologischen Eigenschaften der Rindergülle hinsichtlich Struktur und Fließverhalten völlig von Schweinegülle verschieden. Vor allem wegen des hohen Anteils langfaseriger pflanzlicher Teilchen bildet sich eine Güllestruktur, die zu erheblich ungünstigeren Fließeigenschaften und stärker ausgeprägtem Zeitverhalten führt.

Auch bei Rindergülle sind Art, Zusammensetzung und Qualität des Futters von entscheidender Bedeutung. Somit ergeben sich die folgenden zu untersuchenden Haupteinflußgrößen auf das Fließverhalten:

- TS-Gehalt
 - Futterzusammensetzung
 - Zeitabhängigkeit:
 - Strukturzerstörung bei Scherbelastung in Abhängigkeit von Belastungszeit und Belastungsintensität
 - Strukturholung in Ruhe
 - Temperatur.
- In Abhängigkeit vom TS-Gehalt sind folgende Fließgesetze gültig:

- TS < 3%: Newtonsches Fließgesetz

$$\tau = \eta \dot{\gamma} \quad (1)$$

mit der konstanten Newtonschen Viskosität bei θ = 20°C [2]

$$\eta = 1,007 + 0,57 \text{ TS} \quad (2)$$

- 3% ≤ TS ≤ 8%: Potenzgesetz von Ostwald/de Waele

$$\tau = k \dot{\gamma}^n \quad (3)$$

- TS > 8%: Potenzgesetz von Herschel/Bulkley

$$\tau = \tau_0 + k \dot{\gamma}^n \quad (4)$$

Im Gegensatz zu vielfachen Literaturangaben konnte bei TS-reicher Gülle in keinem Fall linearplastisches Fließverhalten nach dem

Tafel 1. Fließkennwerte des Herschel-Bulkley-Modells für TS-reiche Rindergülle bei θ = 20°C

Güllegruppe	Futterart	Meßbereich TS %	Fließkurvenanzahl	t ₀ (TS) = a ₀ exp(a ₁ TS)		k(TS) = b ₀ exp(b ₁ TS)		n(TS) = c ₀ - c ₁ TS	
				a ₀	a ₁	b ₀	b ₁	c ₀	c ₁
A 1.	Kälbergülle		101	0,0311	0,4154	0,06604	0,4238	0,5587	0,0160
1.1.	K1: Kälberaufzuchtfutter, Tränke	6,7...16,8	64	0,0088	0,4893	0,05853	0,4259	0,5633	0,0158
1.2.	K2/K3: Grünfütter	6,5...16,4	37	0,0185	0,4946	0,05695	0,4593	0,5811	0,0188
B 2.	Maissilage (> 50 % in der Ration)	5,6...13,8	75	0,0021	0,6507	0,06236	0,4452	0,5820	0,0174
C 3.	Grünfütter und Silage		272	0,0071	0,6345	0,04211	0,5708	0,5590	0,0209
3.1.	frisches Grünfütter	6,4...12,6	114	0,0040	0,7291	0,04969	0,5777	0,5860	0,0249
3.2.	Silagegemische		158	0,0085	0,6057	0,02675	0,6026	0,5631	0,0206
3.2.1.	Hauptanteil Maissilage	6,0...12,6	72	0,0069	0,6466	0,02321	0,6479	0,5634	0,0216
3.2.2.	Hauptanteil Gras- und Anwelksilage	6,8...14,7	86	0,0067	0,6144	0,02109	0,6057	0,5907	0,0224
4.1.	frisches Rübenblatt	5,8...15,0	37	0,0349	0,4753	0,26570	0,3910	0,4880	0,0159
4.2.	Rübenblattsilage	8,9...16,8	18	0,0067	0,4996	0,01486	0,4661	0,8004	0,0387
5.	Strohpellets	7,7...14,8	24	0,0013	0,7047	0,01008	0,6351	0,5579	0,0141

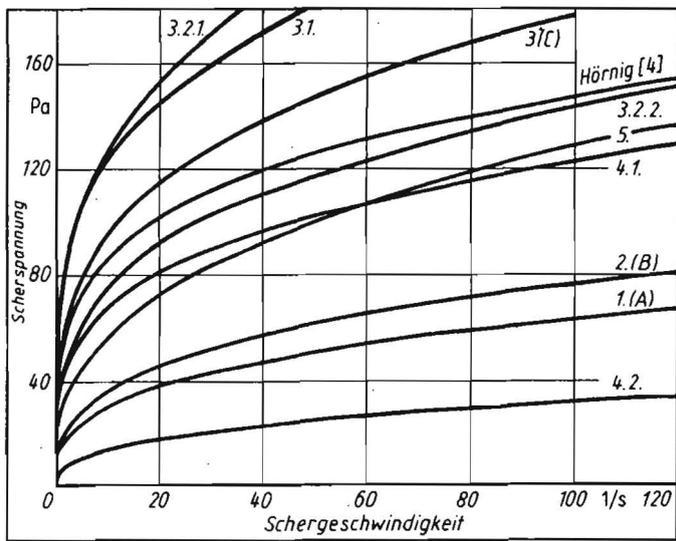


Bild 1. Fließkurven $\tau = \tau_0 + k \dot{\gamma}^n$ von trockensubstanzreicher Rindergülle in Abhängigkeit vom Futtereinsatz (TS = 12 %); Güllegruppen entsprechend Tafel 1

Tafel 2. Fließkennwerte von Kälbergülle im Normzustand (Güllegruppe A)

Regressionsgleichungen:
 $3 \leq TS \leq 8\%$: $k = 0,05832 \exp(0,4492 TS)$
 $n = 0,5411 \exp(-0,0475 TS)$
 $TS > 8\%$: $\tau_0 = 0,0311 \exp(0,4154 TS)$
 $k = 0,06604 \exp(0,4258 TS)$
 $n = 0,5587 - 0,0160 TS$

TS %	τ_0 Pa	k Pa · s ⁿ	n
3	0	0,2244	0,4692
4	0	0,3517	0,4475
5	0	0,5511	0,4267
6	0	0,8636	0,4069
7	0	1,3534	0,3880
8	0	2,1208	0,3700
9	1,31	3,0487	0,4147
10	1,98	4,6669	0,3987
11	3,00	7,1442	0,3827
12	4,55	10,9365	0,3667
13	6,89	16,7417	0,3507
14	10,43	25,6285	0,3347
15	15,81	39,2325	0,3187
16	23,94	60,0577	0,3027
17	36,28	91,9372	0,2867

Tafel 3. Fließkennwerte von Rindergülle bei der Fütterung von Maissilage (> 50 % in der Ration) im Normzustand (Güllegruppe B)

Regressionsgleichungen:
 $3 \leq TS \leq 8\%$: $k = 0,0116 \exp(0,6600 TS)$
 $n = 0,9216 \exp(-0,1030 TS)$
 $TS > 8\%$: $\tau_0 = 0,0021 \exp(0,6507 TS)$
 $k = 0,06236 \exp(0,4452 TS)$
 $n = 0,5820 - 0,0174 TS$

TS %	τ_0 Pa	k Pa · s ⁿ	n
3	0	0,0840	0,6766
4	0	0,1626	0,6104
5	0	0,3145	0,5507
6	0	0,6085	0,4968
7	0	1,1773	0,4481
8	0	2,2779	0,4043
9	0,74	3,4280	0,4254
10	1,41	5,3054	0,4080
11	2,70	8,3509	0,3906
12	5,17	13,0341	0,3732
13	9,91	20,3436	0,3558
14	18,99	31,7524	0,3384
15	36,40	49,5592	0,3210
16	69,78	77,3522	0,3036
17	133,76	120,7315	0,2862

Tafel 4. Fließkennwerte von Rindergülle bei der Fütterung von frischem Grünfütter und Silagegemischen im Normzustand (Güllegruppe C)

Regressionsgleichungen:
 $3 \leq TS \leq 8\%$: $k = 0,03380 \exp(0,6124 TS)$
 $n = 0,6231 \exp(-0,0764 TS)$
 $TS > 8\%$: $\tau_0 = 0,0071 \exp(0,6345 TS)$
 $k = 0,04211 \exp(0,5708 TS)$
 $n = 0,5590 - 0,0209 TS$

TS %	τ_0 Pa	k Pa · s ⁿ	n
3	0	0,2122	0,4955
4	0	0,3915	0,4590
5	0	0,7223	0,4253
6	0	1,3326	0,3940
7	0	2,4584	0,3650
8	0	4,5354	0,3382
9	2,14	7,1687	0,3709
10	4,04	12,6864	0,3500
11	7,63	22,4509	0,3291
12	14,39	39,7309	0,3082
13	27,14	70,3111	0,2873
14	51,18	124,4283	0,2664
15	96,53	220,1986	0,2455
16	182,06	389,6816	0,2246

Bingham-Ansatz beobachtet werden. Dieser Modellansatz bedeutet demnach eine unzulässige Vereinfachung.

3. Meßergebnisse

Konzentration (TS-Gehalt) und Futterzusammensetzung sind die wichtigsten Größen zur technologischen Kennzeichnung von Gülle. Meist werden die physikalischen Stoffgrößen als Funktionen des TS-Gehalts dargestellt, weil damit ein einfach meßbarer und für die Kalkulation verwertbarer Kennwert existiert.

Die ausgewerteten Meßergebnisse sind in Tafel 1 zusammengefaßt worden. In Abhängigkeit vom Futtereinsatz werden 9 Güllegruppen unterschieden, für die die Fließkennwerte des Herschel-Bulkley-Ansatzes nach Gl. (4) errechnet werden können (Bild 1). Damit läßt sich der erhebliche Einfluß der Futterzusammensetzung verdeutlichen. Während z. B. Gülle beim Einsatz von Rübenblattsilage (Gruppe 4.2.) aufgrund des geringen Rohfasergehalts und hohen Kolloid-

anteils das günstigste Fließverhalten aufweist, führen Grünfütter (Gruppe 3.1.) und Silagegemische (Gruppe 3.2.) zu erheblich ungünstigeren Verhältnissen. Der Rohfasergehalt des Futters ist dabei als Orientierungskennwert geeignet, läßt jedoch nicht in jedem Fall eindeutige Schlußfolgerungen hinsichtlich des Fließverhaltens der Gülle zu. Da diese detaillierte Einteilung für den Projektanten wenig hilfreich ist und sich örtliche und jahreszeitbedingte Veränderungen des Futterangebots ergeben können, werden als relevant die folgenden Güllegruppen zusammengefaßt und als Bemessungsgrundlage vorgeschlagen (Tafeln 2, 3 und 4):

- Güllegruppe A: Kälbergülle
 - Güllegruppe B: Fütterung von Maissilage (> 50 %) (zumeist Rindermast)
 - Güllegruppe C: Fütterung von Silagegemischen und/oder frischem Grünfütter (zumeist Milchvieh- und Jungviehhaltung).
- Diese auf rein phänomenologische Weise zusammengefaßten Güllegruppen können annähernd auch mit den angegebenen Nut-

zungsrichtungen identifiziert werden, da Maissilage hauptsächlich in der Mast und Silagegemische in der Milchproduktion Anwendung finden. Sollte eine feinere Unterteilung zur Berechnung extremer Anwendungsfälle erforderlich sein, können die notwendigen Fließkennwerte nach Tafel 1 bestimmt werden. Im Bild 2 ist ersichtlich, daß der Futtereinfluß bei Rindergülle wesentlich stärker ausgeprägt ist als bei Schweinegülle. Bewertend zeigt das Berechnungsbeispiel im Bild 3 eine zufriedenstellende Übereinstimmung zwischen den im Förderversuch gemessenen [3] und den nach Güllegruppe C berechneten Druckverlusten im laminaren und turbulenten Bereich.

Zwischen Newtonschem und pseudoplastischem Fließverhalten bei TS = 3 % existiert kein harmonischer Übergang. Man kann daher im Bereich $3\% < TS < 4\%$ auf der Grundlage der aktuellen Scheinviskosität der Rohrströmung (s. Tafel 5) interpolieren. Kennzeichnend ist auch, daß durch diese Unstetigkeit oftmals in diesem Bereich ein Über-

drei relevante Güllegruppen zur Projektierung empfohlen. Alle Zahlenangaben beziehen sich auf einen definierten Normstrukturzustand ohne thixotrope Zeitabhängigkeit und eine Temperatur von 20°C. Alle Abweichungen sind mit Hilfe geeigneter Korrekturen zu berücksichtigen. Die Temperaturkorrektur des Fließverhaltens von Rinder- und Schweinegülle wurde bereits behandelt [6]. Das thixotrope Zeitverhalten von trockensubstanzreicher Rindergülle unterscheidet sich wesentlich von Schweinegülle [7] und ist erheblich stärker ausgeprägt. Die bislang erarbeiteten Bemessungsgrundlagen für Gülledruckrohrleitungen wurden

1986 in einem neuen Bemessungskatalog zusammengefaßt und werden 1987 als verbesserte Projektierungsrichtlinie in Form eines Sonderdrucks veröffentlicht.

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 Gülledruckrohrleitungen. FZM Schlieben/Bornim, Arbeitsmaterial 1984.
- [3] Türk, M., u. a.: Bemessungsgrundlagen für das Fördern von trockensubstanzreicher Rinder-

gülle in Rohrleitungen. FZM Schlieben/Bornim, Forschungsabschlußbericht 1985.

- [4] Hörnig, G.: Druckverlusttabelle für das Fördern von Rinder- und Schweinegülle in Druckrohrleitungen. Institut für Mechanisierung der Landwirtschaft Potsdam-Bornim, Institutsbericht Nr. 24, 1971.
- [5] Hörnig, G.: Berechnung der Druckverluste beim Fördern von Rinder- und Schweinegülle in Gülledruckrohrleitungen, agrartechnik, Berlin 32 (1982) 1, S. 23–26.
- [6] Türk, M.: Temperatureinfluß auf das Fließverhalten von Gülle. agrartechnik, Berlin 36 (1986) 12, S. 558–559.
- [7] Türk, M.: Das thixotrope Zeitverhalten von trockensubstanzreicher Schweinegülle. agrartechnik, Berlin 36 (1986) 8, S. 368–370. A 4738

Projektierungsrichtlinie zur Einordnung der Beiztechnik in das Gesamtmaschinensystem der Saatgutaufbereitung

Dipl.-Ing. M. Leja, VEB Ingenieurbüro der VVB Saat- und Pflanzgut Quedlinburg

Zur Bekämpfung der am Saatgut anhaftenden Vermehrungsorgane pilzlicher Schädlinge wird das Saatgut innerhalb der technologischen Aufbereitung – meist vor der Endverwiegung, Abfüllung und Auslieferung – mit Fungiziden behandelt. Dieser Prozeß wird allgemein als Beizung bezeichnet. Von den eingesetzten Mitteln sind die quecksilberhaltigen Beizen aufgrund ihres breiten Wirkungsspektrums im Saatgutwesen von besonderer Bedeutung. Demzufolge stehen die durch sie bedingten toxikologischen Probleme im Vordergrund.

Die stetig wachsenden Anforderungen hinsichtlich der zu erzeugenden Saatgutmenge und -qualität haben zur Folge, daß durch Neuinvestitionen und Rekonstruktion bestehender Anlagen die technischen Voraussetzungen hierfür geschaffen werden müssen. Speziell im Hinblick auf den Komplex der Saatgutbeizung hat die Praxis gezeigt, daß die dringende Notwendigkeit besteht, die Projektierung auf diesem Gebiet zu vereinheitlichen, um eine übereinstimmende Arbeitsweise aller Projektierungseinrichtungen zu gewährleisten. Diesem Zweck dient die vom VEB Ingenieurbüro der VVB Saat- und Pflanzgut Quedlinburg erarbeitete Projektie-

rungsrichtlinie. Weiterhin soll erreicht werden, daß unter Einbeziehung der territorial zuständigen staatlichen Kontrollorgane – Staatliche Hygieneinspektion, Staatliche Arbeitshygieneinspektion, Staatliche Umweltinspektion – eine einheitliche Beurteilung von Projekten und die Ableitung konkreter Rekonstruktionsforderungen für bestehende Anlagen ermöglicht wird, damit Gesichtspunkte der Aufbereitungstechnologie vor allem mit den lufthygienischen Forderungen besser koordiniert werden können. Bisher war das oft mit Problemen verbunden und wurde territorial unterschiedlich gehandhabt. Dies war ein allgemein unbefriedigender Zustand.

Um die Aussagekraft des Materials zu erhöhen, wurden über Vorgaben zur technologischen Gestaltung hinaus auch noch konkrete Empfehlungen zum Komplex „Entstaubung“ gegeben.

Inhaltliche Schwerpunkte

Grundlage für die Projektierungsrichtlinie sind eine Auflistung der für den Aufgabenkomplex zutreffenden wesentlichen Rechtsvorschriften sowie eine Aufstellung der für die Saatgutbeizung gebräuchlichen queck-

silberhaltigen Beizmittel (Tafel 1). Hierzu ist zu bemerken, daß die unter 4 aufgeführte Falisan-Universal-Flüssigbeize FL 398 für den perspektivischen Einsatz vorgesehen ist und die unter 1 und 2 aufgeführten Mittel ablösen soll. Damit ist der Einsatz dieser letztgenannten Beizmittel nur noch auf wenige Jahre beschränkt.

Die in der Projektierungsrichtlinie enthaltenen Maßnahmen beruhen sowohl auf praxisbewährten Erkenntnissen, als auch, was speziell die neue Falisan-Universal-Flüssigbeize FL 398 anbelangt, auf den Ergebnissen mehrerer Meßserien (Hg, DMF): Diese Meßserien wurden sowohl unter Einsatzbedingungen der Praxis als auch in Laborversuchen nach einem abgestimmten Meßprogramm gewonnen. Eine detaillierte Darstellung der Meßergebnisse, deren Ermittlung und Interpretation in enger Zusammenarbeit mit der Arbeitshygieneinspektion beim Rat des Bezirkes Magdeburg, dem VEB Fahlberg-List Magdeburg sowie anderen Partnern erfolgte, wird im I. Halbjahr 1987 in der Zeitschrift „Saat- und Pflanzgut“ vorgenommen. In der Projektierungsrichtlinie sind zu folgenden Problemen Vorgaben bzw. Hinweise enthalten:

Tafel 1. Gebräuchliche quecksilberhaltige Saatgutbeizmittel (Hersteller: VEB Fahlberg-List Magdeburg)

Ifd. Nr.	Handelsbezeichnung	Wirkstoff	Hg-Gehalt %	Formulierart	Giftabt.	Wirkungsmechanismus	Dampfdruck Pa	MAK-Wert MAK _x mg/m ³	Hg, DMF MAK ₀ mg/m ³	MIK-Wert MIK _x mg/m ³	Hg, DMF MIK ₀ mg/m ³
1	Falisan-Universal-Feuchtbeize 1,2	N,N-Bis(Methyl-quecksilber)-p-toluolsulfamid	1,2	wäßrige Lösung	1	Dampfphase	3,46 · 10 ⁻⁴	0,01	0,005	–	0,0003
2	Falisan-Universal-Trockenbeize 69	Phenylquecksilberacetat	1,5	Pulver	2	Kontakt	–	0,1	0,05	–	0,0003
3	Falisan-CX-Universal-Trockenbeize	Carboxin + Phenyl-quecksilberacetat	1,5	Pulver	2	Kontakt	–	0,1	0,05	–	0,0003
4	Falisan-Universal-Flüssigbeize FL 398 (perspektivische Einführung) Lösungsmittel DMF	Phenylquecksilberacetat Dimethylformamid	1,3	Flüssigformulierung mit Lösungsmittel DMF	2	Kontakt	9,31 · 10 ⁻⁵	0,1	0,05	–	0,0003
							3,52 · 10 ⁻²	10	–	0,03	0,01