

Förderung trockensubstanzreicher Schweine- und Rindergülle mit Schnecken

Dipl.-Ing. G. Plest/Dr. sc. techn. G. Hörnig, KDT
Forschungszentrum für Mechanisierung der Landwirtschaft Schlieben/Bornim der AdL der DDR

Verwendete Formelzeichen

c		Geschwindigkeitsbeiwert
D'	m	Durchmesser der Schnecke, bezogen auf Schwerpunktlage des Gutes
d	m	Schneckendurchmesser
g	m/s ²	Erdbeschleunigung
k		Beiwert in Gl. (1)
L	m	Förderlänge
m	t/h	Massedurchsatz
n	U/min	Drehzahl
P _A	W	elektrische Leistungsaufnahme
s	m	Schneckensteigung
V	m ³ /h	Volumenstrom
W _{spez}	kWh/m ³	spezifischer Energieverbrauch
W _{ges. s}		Gesamtwiderstandsbeiwert bei Steilförderung
α	°	Förderwinkel
β	°	Steigungswinkel der Schneckenwindung am Durchmesser D'
δ _{G, s}	°	Reibungswinkel (Gut/Schnecke)
μ _{G, T}		Reibungszahl (Gut/Trog)
ρ _s	t/m ³	Schüttdichte
φ		Füllungsgrad

1. Problemstellung

Der normative Trockensubstanzgehalt (TS-Gehalt) der Gülle liegt lt. Standard TGL 24 198/01 in Milchproduktionsanlagen zwischen 5,8% und 11%, in den Rinder-Aufzucht- und Mastanlagen zwischen 2,0% und

7,1% sowie in der Legehennenaufzucht und Legehennenhaltung zwischen 8,5% und 26%. Durch wassersparende Bewirtschaftung wird in den Tierproduktionsanlagen Gülle mit z. T. höherem TS-Gehalt gewonnen. Besonders die Primärtrennung von Kot und Harn im Stall führt zu einer Kotkomponente mit einem TS-Gehalt um 20%.

Transport, Umschlag und Lagerung von trockensubstanzreicher Gülle erfordern funktions- und leistungsfähige Mechanisierungsmittel. Zum Transport werden der Dickgüleetankwagen HTS 100.27D, der mit Fremdbefüllung betrieben wird, sowie die Güleetankwagen HTS 100.27, HTS 30.27 und LKW W 50 LA/G, die sowohl durch Fremd- als auch durch Selbstbefüllung beschickt werden, eingesetzt. Kurze Befüllzeiten werden angestrebt. Für die Lagerung werden Behälter nach Angebotsprojekten des VEB Landbauprojekt Potsdam genutzt. Ihre Abmessungen, besonders die Tiefe von i. allg. 3,5 bis 4,5 m, aber maximal auch bis 5 m, beeinflussen die Konstruktionsparameter der Fördermittel für die Entnahme der Gülle. Die umfangreichen Untersuchungen zur Güleförderung mit Pumpen zeigen, daß diese Fördermittel die Anforderungen bei der Beschickung von Güleetankfahrzeugen und bei der Entnahme

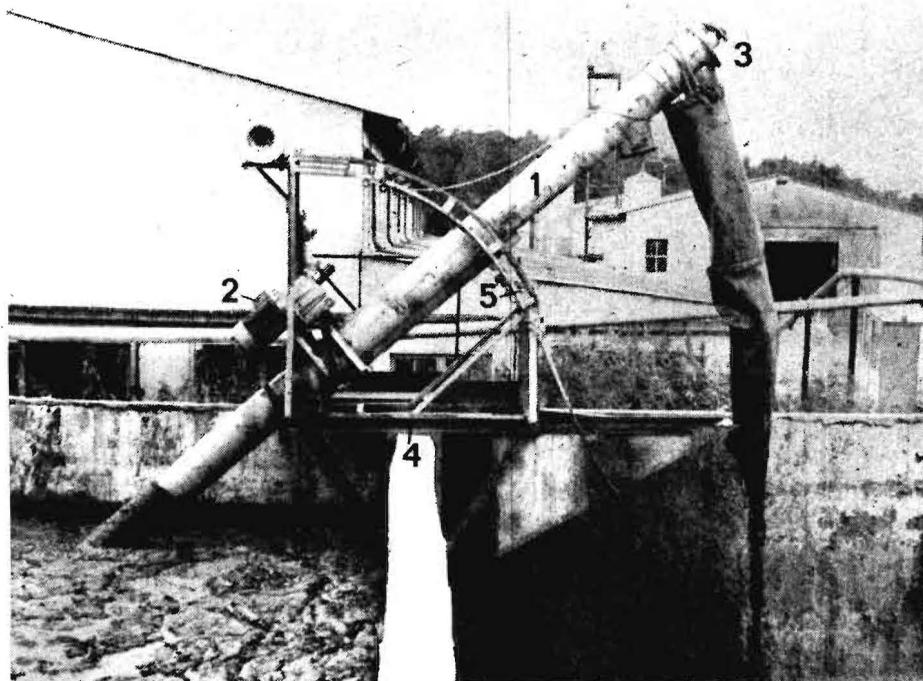
aus Lagerbehältern graduell unterschiedlich erfüllen. Schwabe [1] führt aus, daß die vertikale Kreiselpumpe KRCLV80/325 mit Zuführschnecke und Vibrator Schweinegülle mit einem TS-Gehalt von 13 bis 14% und Rindergülle mit einem TS-Gehalt von 10 bis 12% sicher fördert. Die Verfügbarkeit dieser Pumpe und der steigende Energiebedarf bei TS-Gehalten > 15% erfordern neue Lösungen, die entsprechende Volumenströme und Befüllzeiten mit energetisch günstigeren Parametern aufweisen. Zu solchen Arbeitsmitteln zählen Förderschnecken. Zur Charakterisierung des Förderprinzips wurden durch systematische Veränderungen von Stoffkennwerten sowie Betriebs- und Konstruktionsparametern folgende Abhängigkeiten untersucht:

- Volumenstrom, elektrische Leistungsaufnahme und spezifischer Energieverbrauch als Funktion vom Förderwinkel
- Charakterisierung des Einflusses der Drehzahl auf den Volumenstrom und die elektrische Leistungsaufnahme bei gleichem TS-Gehalt der Gülle
- Charakterisierung des Förderverhaltens von Gülle verschiedener Tierarten bei annähernd gleichem TS-Gehalt und gleicher Drehzahl der Schnecke unter Berücksichtigung des Volumenstroms und der elektrischen Leistungsaufnahme.

Tafel 1. Für k zur Berücksichtigung von α angegebene Werte

α	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°
k	1,0	0,9	0,8	0,7	0,65	0,6	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35

Bild 1. Versuchsstand bei der Förderung von Rindergülle;
1 Förderorgan, 2 Antriebseinheit, 3 Übertragungselemente (z. T. verdeckt), 4 Trägerrahmen, 5 Winkelarretierung und -verstellung

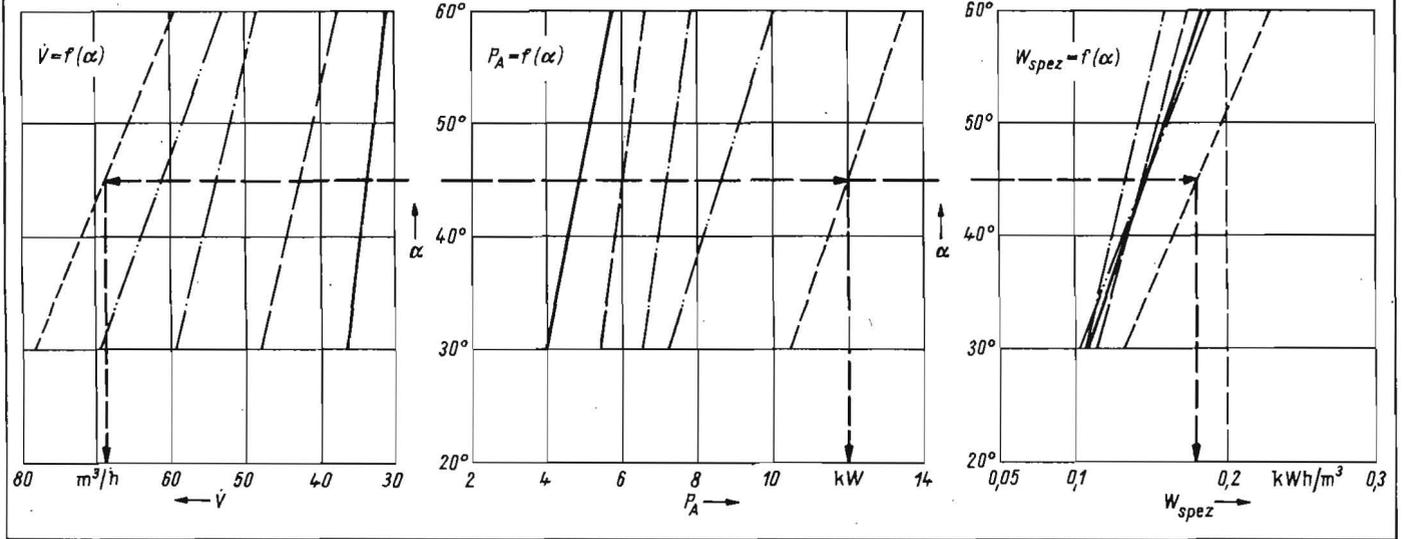


2. Fördertechnische Grundlagen

Die bisherigen Untersuchungen zur Förderung von Gülle mit Schnecken bei höheren TS-Gehalten und die Realisierung unterschiedlicher Förderwinkel geben nur unzureichende Auskunft über das Förderverhalten trockensubstanzreicher Schweine- und Rindergülle. Zur Vertikal- bzw. Schrägförderung von Gülle wurden erste Versuche von Schwabe mit einem Schneckenförderer durchgeführt. Der TS-Gehalt der Gülle betrug bis zu 12%. Dabei wurden Volumenströme von 30 bis 60 m³/h bei unterschiedlichem Leistungsbedarf erreicht. Strauß [2] untersuchte das Fördern von Hühnergülle bis zu einem TS-Gehalt von 22% und von Rindergülle bis zu einem TS-Gehalt von 12%. Bei einer Schneckendrehzahl von 400 U/min wurde mit Legehennengülle ein Massedurchsatz von 40 bis 42 t/h erzielt. Die durchgeführten Messungen ergaben eine Wirkleistungsaufnahme von 0,01 kWh/m³·t. Die Erprobungsergebnisse weisen für Rindergülle einen Massedurchsatz von 40 t/h aus. In der Literatur gibt es einzelne Theorien zur Förderung unterschiedlicher Medien mit Schnecken, die sich auf die Darstellung des Gutes als Einzelkörper bzw. -teilchen beziehen. Die Auseinandersetzung damit ergibt, daß die mangelnde Kenntnis der Eigenschaften von trockensubstanzreicher Gülle in bezug auf die Reibbeiwerte zwischen Gut und Schneckenwendel sowie zwischen Gut und Schneckenrohr keine Anwendung auf die bestehenden Theorien über die Bewegungsverhältnisse und deren rechnerische Erfassung zuläßt. Für die Auslegung einer Förder-

——— 225 U/min } Nennleistung 5,5 kW, TS-Gehalt 14...15%
 ——— 250 U/min }
 - - - 312 U/min } Nennleistung 11 kW, TS-Gehalt 16%
 - - - 350 U/min }
 - - - 425 U/min }

Bild 2. Vergleich der Regressionsgeraden $\dot{V} = f(\alpha)$, $P_A = f(\alpha)$ und $W_{spez} = f(\alpha)$ unter Berücksichtigung des TS-Gehalts der Schweinegülle



schnecke zum Transport landwirtschaftlicher Schüttgüter sind folgende 3 grundlegende Gleichungen bekannt [3, 4]:

Massedurchsatz eines Schneckenförderers mit Vollschnecke

$$\dot{m} = \dot{V} \rho_s = (60 \pi d^2/4) s n \phi k c \rho_s \quad (1)$$

Für den Beiwert k zur Berücksichtigung des Neigungswinkels α der Schneckenachse zur Horizontalen, auch als Förderwinkel bezeichnet, werden die Werte in Tafel 1 angegeben. Bei Vollschnecken wird der Geschwindigkeitsbeiwert mit $c = 0,9 \dots 1,0$ angenommen. Zum Füllungsgrad ϕ fehlen experimentelle Werte.

elektrische Leistungsaufnahme für Steil- und Senkrechtförderung

$$P_A = \dot{m} g L (w_{ges, s} \pm \sin \alpha) \quad (2)$$

Der Gesamtwiderstandsbeiwert $w_{ges, s}$ ist für Gülle nicht determiniert.

Drehzahl bei Senkrechtförderung

$$n = \sqrt{\frac{g \tan(\beta + \delta_{G,s})}{2 \pi^2 D' \mu_{G,T}}} \quad (3)$$

Die Reibungszahlen und -winkel zwischen Gut und Schnecke einerseits und Gut und Trog andererseits lassen sich für Gülle nur mangelhaft bestimmen. Deshalb liegen in der Literatur keine Werte vor. Eine rechnerische Ermittlung der Drehzahlen ist nicht

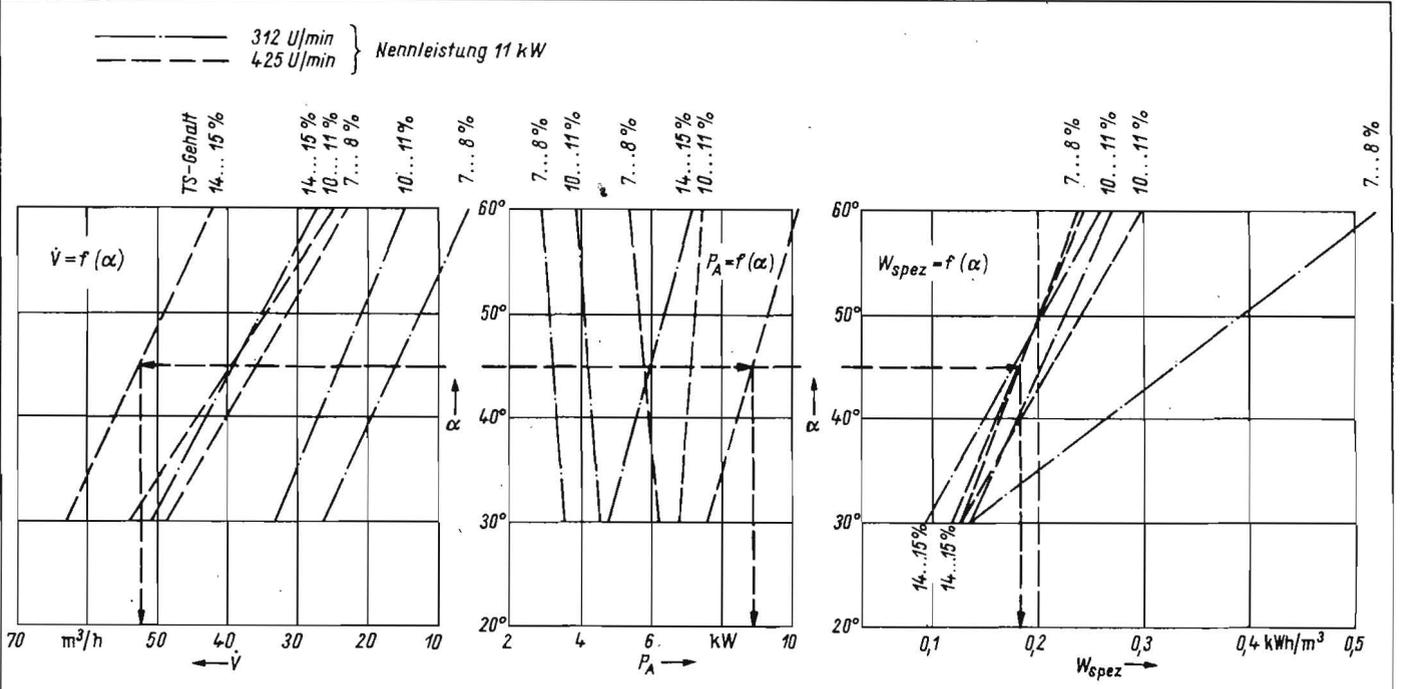
möglich. Aus diesem Grund findet man für die Vertikalförderung landwirtschaftlicher Schüttgüter Erfahrungswerte der Drehzahlen zwischen 200 und 425 U/min.

3. Versuchsmuster

Der für experimentelle Untersuchungen konzipierte Versuchsstand ist im Bild 1 dargestellt. Das Förderorgan basiert auf dem Schneckenförderer für Baustoffsilos B50-8 aus dem VEB Baustoffmaschinen Ludwigs-lust, der folgendermaßen technisch verändert wurde:

- Ersetzen des Zwischenlagers durch ein Sechskantzwischenstück, um Stauungen und Verstopfungen zu verhindern

Bild 3. Vergleich der Regressionsgeraden $\dot{V} = f(\alpha)$, $P_A = f(\alpha)$ und $W_{spez} = f(\alpha)$ unter Berücksichtigung des TS-Gehalts der Rindergülle



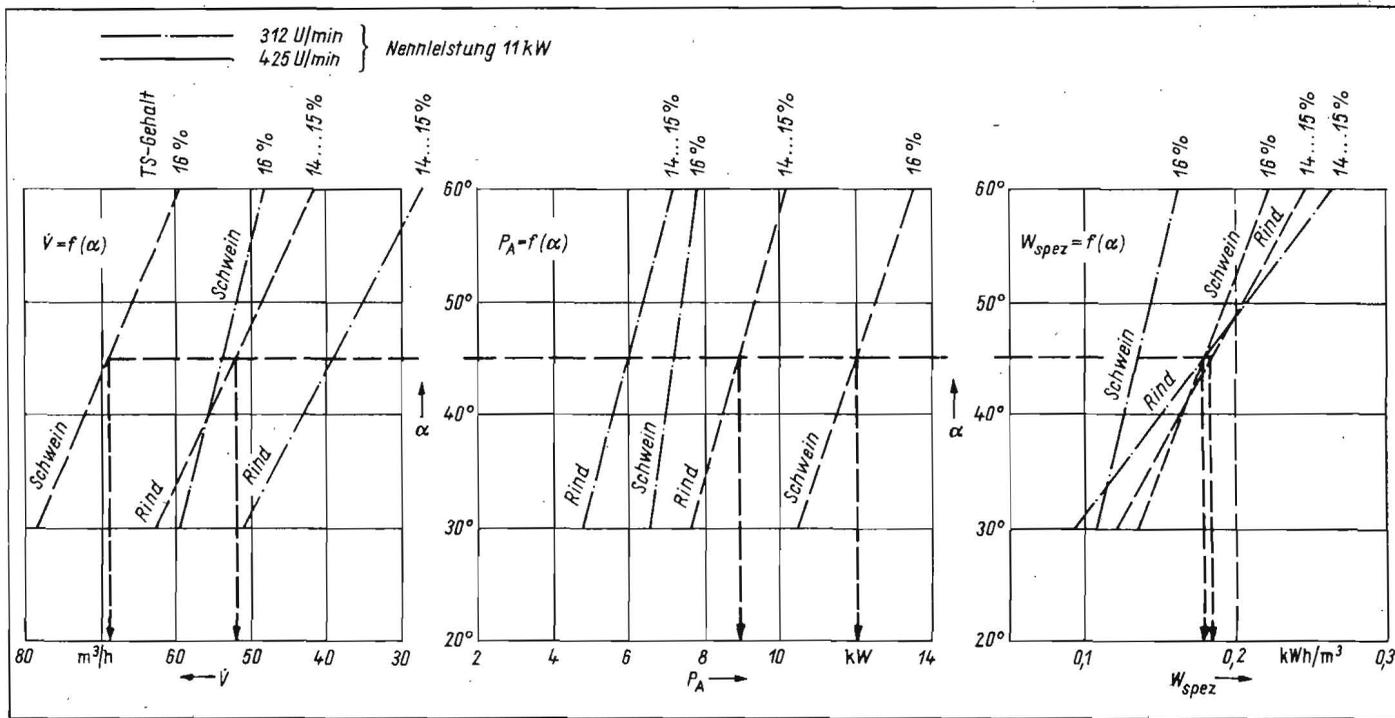


Bild 4. Vergleich der Regressionsgeraden $\dot{V} = f(\alpha)$, $P_A = f(\alpha)$ und $W_{spez} = f(\alpha)$ bei der Förderung von Gülle unter Berücksichtigung der Tierart und des TS-Gehalts

- Vergrößern des Schneckeneinlaufs auf eine Länge von 500 mm
- Verstärken des Endlagers zur stabileren Aufnahme der Axialkräfte
- Ausrüsten der Antriebseinheit mit einem anderen Getriebemotor
- Einsatz zweier Kettenantriebe und einer außenliegenden Antriebswelle zur Variation der Drehzahl
- Installation einer elektrischen Schaltung zur Gewährleistung des Rechts- und Linkslaufes der Schnecke für die Förderung und Entleerung
- Montage einer Winkelverstellung und -arretierung zur Realisierung unterschiedlicher Förderwinkel.

Der Versuchsstand ließ folgende technische Parameter zu:

- Förderlänge 8 m
- Förderwinkel (variabel) 30° bis 80°
- Schneckendurchmesser 0,3 m
- Schneckendrehzahl 225, 250, 312, (variabel) 350, 425, 500 U/min
- Antriebsleistung (variabel) 2,6, 5,5, 11 kW
- Schneckensteigung 0,18 m.

4. Untersuchungen

Die ersten Messungen unter Praxisbedingungen wurden in einer Sauenzuchtanlage durchgeführt. Bei den anfallenden Exkrementen handelte es sich um Gülle von Jung- und Altsauen. Während der Versuchsdurchführung war die Futterzusammensetzung weitestgehend einheitlich und der TS-Gehalt betrug 12 bis 16%. Die Entmistung wurde durch mechanische Einrichtungen realisiert. Die anderen Untersuchungen erfolgten in einer Milchviehanlage mit Fließkanalentmistung. Der durchschnittliche TS-Gehalt der Gülle im Sammelbecken lag bei 7 bis 8%. Zur Erhöhung des TS-Gehalts wurden der Gülle Sagespäne mit Hilfe der Förderschnecke zugemischt. Dadurch konnte ein TS-Gehalt von 14 bis 15% erreicht werden. Die Futterzusammensetzung war während

der Versuchsdurchführung einheitlich (Grün- und Kraftfutter).

An beiden Versuchsstandorten waren Förderwinkel von 30° bis 70° realisierbar. Antriebsleistungen und Drehzahlen der Schnecke wurden im o. g. Bereich variiert.

5. Ergebnisse

Von den eingesetzten Getriebemotoren erwies sich der ZG 4 KMR 132 M4 mit einer Nennleistung von 11 kW als am besten geeignet. Damit ließen sich Drehzahlen von 250 bis 425 U/min bei einem TS-Gehalt der Gülle von 16% realisieren (Bilder 2 und 3). Die Darstellung der Abhängigkeiten zeigt, daß mit der Versuchseinrichtung bei der Förderung von Schweinegülle mit einem TS-Gehalt von 16%, einem Förderwinkel von 45° und einer Drehzahl von 425 U/min ein Volumenstrom von 68 m³/h, eine elektrische Leistungsaufnahme von 12 kW und ein spezifischer Energieverbrauch von 0,18 kWh/m³ erreicht werden konnten.

Beim Fördern von Milchviehgülle mit einem TS-Gehalt von 14 bis 15% ergaben sich unter sonst gleichen Bedingungen für Förderwinkel und Drehzahl (Bild 3) ein Volumenstrom von 52,5 m³/h, eine elektrische Leistungsaufnahme von 8,9 kW und ein spezifischer Energieverbrauch von 0,17 kWh/m³.

Aus dem Vergleich der Regressionsgeraden des Volumenstroms, der elektrischen Leistungsaufnahme und des spezifischen Energieverbrauchs bei der Förderung von Gülle unter Berücksichtigung beider Tierarten ist ersichtlich, daß bei annähernd gleichem TS-Gehalt der Gülle und gleichen Drehzahlen sowie bei Förderwinkeln > 40° mit Schweinegülle höhere Volumenströme erreicht werden und ein günstigerer spezifischer Energieverbrauch realisierbar ist. Damit eignet sich die Förderschnecke besser für die Förderung von Schweinegülle mit höherem TS-Gehalt (Bild 4). Diese Differenzierung beruht auf unterschiedlichem Fließverhalten von Rinder- und Schweinegülle.

Primär wirken sich bei gleichem TS-Gehalt

die Art, die Zusammensetzung und die Qualität des Futters aus, was sich in den von Türk [5, 6] gebildeten Güllegruppen der einzelnen Tierarten entsprechend der Fütterung widerspiegelt. Bei einem TS-Gehalt von 12% ist die Scheinviskosität der Schweinegülle geringer als bei Rindergülle, was ein besseres Fließverhalten der Schweinegülle bedingt. Während der Versuchsdurchführung trafen aufgrund der Fütterung bei beiden Tierarten die Güllegruppen mit dem ungünstigsten Fließverhalten zu, so daß sich die o. g. Ergebnisse für Schweine und Rinder verallgemeinern lassen. Der Einfluß des Tieralters wird dabei durch den Futtereinfluß überdeckt.

Die Unterschiede bei der Förderung ergeben sich weiterhin durch den Füllungsgrad der Schnecke. Ausgehend von Gl. (1) erhält man den Füllungsgrad:

$$\varphi = \frac{\dot{V}}{15 \pi d^2 s n k c} \quad (4)$$

Durch die Förderschnecke sind die konstruktiven Parameter Schneckensteigung mit 0,18 m und Schneckendurchmesser mit 0,3 m festgelegt. Für den Geschwindigkeitsbeiwert wird $c = 1,0$ angenommen. Durch Einsetzen der gemessenen Volumenströme bei den entsprechenden Drehzahlen und den aufgeführten Beiwerten k zur Berücksichtigung des Neigungswinkels α ergeben sich für φ die in Tafel 2 zusammengestellten Werte. Diese Werte lassen erkennen, daß der Füllungsgrad mit abnehmendem TS-Gehalt sinkt, andererseits wird bei gleichem TS-Gehalt mit Schweinegülle ein besserer Füllungsgrad erreicht. Außerdem beeinflusst die Drehzahl bei TS-Gehalten < 10% merklich den Füllungsgrad. Unter Berücksichtigung dieser φ -Werte läßt sich Gl. (1) zur überschlägigen Bestimmung des Volumenstroms verwenden. Um die Gl. (2) zur Ermittlung der elektrischen Leistungsaufnahme nutzen zu können, macht sich die Berechnung des Gesamtwiderstandsbeiwerts $w_{ges, s}$ bei der Gülleförderung erforderlich. Durch Umformung

Tafel 2. Füllungsgrad φ der Förderschnecke in Abhängigkeit vom TS-Gehalt

	TS-Gehalt in %					
	7...8	10...11	12...13	14...15	15...16	16
Schweinegülle	—	—	0,38	0,45	0,50	0,51
Rindergülle	0,17...0,27	0,27...0,30	—	0,39	—	—

Tafel 3. Gesamtwiderstandsbeiwert $w_{ges.}$ in Abhängigkeit von der Drehzahl

	Drehzahl in U/min		
	250	312	425
Schweinegülle (TS-Gehalt 16%)	4,5...4,9	4,5...5,6	5,5...7,8
Rindergülle (TS-Gehalt 14...15%)	—	3,8...7,4	5,0...7,9

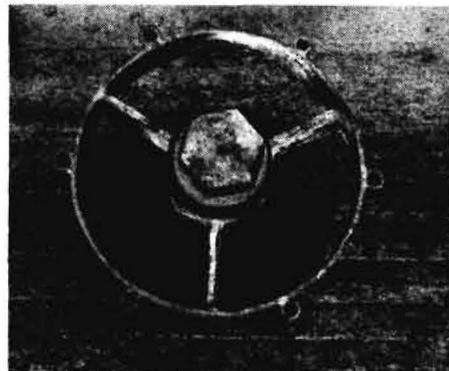


Bild 6. Original-Zwischenlager

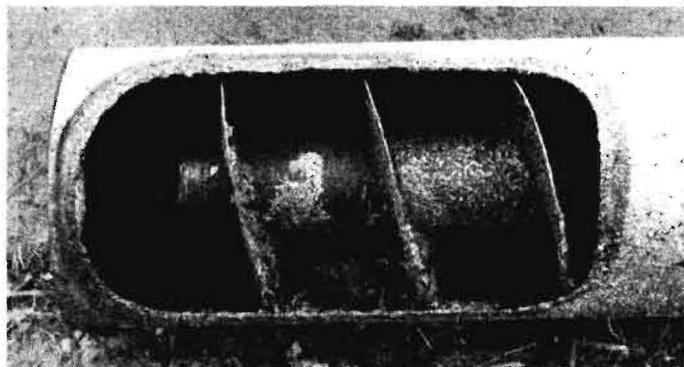


Bild 5
Gestaltung
der Einlauföffnung

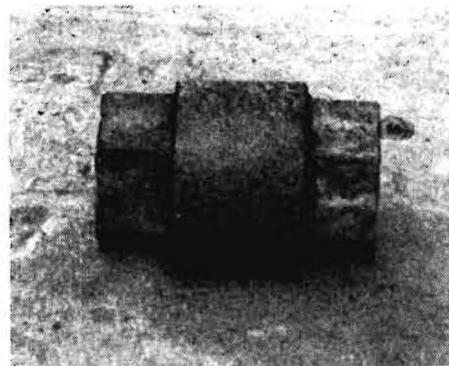


Bild 7
Neues Sechskant-
zwischenstück

von Gl. (2) ergeben sich die in Tafel 3 aufgeführten Bereiche für $w_{ges.}$. Der niedrige Wert gilt jeweils für $\alpha = 30^\circ$, der höhere für $\alpha = 50^\circ$. Die Gesamtwiderstandsbeiwerte sind auch bei niedrigen Drehzahlen kleiner als bei höheren. Mit den Werten nach Tafel 3 kann überschlägig die elektrische Leistungsaufnahme errechnet werden.

6. Eigenbau als Rationalisierungsmittel

Betriebe mit Möglichkeiten des Rationalisierungsmittelbaus können die Ergebnisse praktisch nutzen, wenn, basierend auf der Rohrförderschnecke B50-8 des VEB Baustoffmaschinen Ludwigslust, folgende Modifizierungen vorgenommen bzw. bestimmte Bedingungen eingehalten werden:

- Zur Förderung von Gülle mit einem TS-Gehalt $> 15\%$ sollte eine Mindestdrehzahl von 400 U/min angestrebt werden. Der Originalmotor ist deshalb durch einen Getriebemotor ZG 5 KMR 160 S4 (Nennleistung 15 kW), Bauform G320, zu ersetzen.
- Die Einlauföffnung ist auf eine Fläche von 250 mm \times 500 mm zu vergrößern (Bild 5). Sie muß nach oben gerichtet vollständig in die Gülle eintauchen.

– Das vorhandene Zwischenlager (Bild 6) der Schnecke muß durch ein Sechskant-zwischenstück ersetzt werden (Bild 7), um Stauungen und Verstopfungen zu vermeiden. Das Fördermedium wirkt zentrierend und verhindert ein Schlagen der Schnecke.

– Bei Einhaltung eines Förderwinkels von 45° ergibt sich eine Förderhöhe von 5,6 m, Förderwinkel bis 60° sind jedoch möglich.

– Ein störungsfreies Arbeiten im Winter ist gegeben, wenn nach dem Fördern die Schnecke durch Rückwärtslauf entleert wird.

7. Zusammenfassung

Von den Autoren wurden systematische Untersuchungen zum Fördern von Schweine- und Rindergülle mit TS-Gehalten bis zu 16% mit einer Rohrschnecke (Durchmesser 0,3 m, Länge 8 m) durchgeführt. Dabei wurden elektrische Leistungsaufnahme, Förderwinkel und Drehzahl gezielt variiert.

Aus den funktionellen Abhängigkeiten \dot{V} , P_A und $W_{spez} = f(\alpha)$ lassen sich entsprechende Werte auswählen. Für die Kenngrößen Fül-

lungsgrad und Gesamtwiderstandsbeiwert sind erstmals Werte ermittelt worden, mit denen nach den Gln. (1) und (2) Volumenstrom und elektrische Leistungsaufnahme mit für Praxisverhältnisse ausreichender Genauigkeit berechnet werden können. Weiterhin wurden Hinweise für den Eigenbau der Förderschnecke als Rationalisierungsmittel gegeben.

Literatur

- [1] Schwabe, M.; Krüger, W.-P.: Fördern von trockensubstanzreicher Gülle mit Pumpen. agrartechnik, Berlin 36 (1986) 11, S. 505–506.
- [2] Strauß, A.: Berechnung von Schneckenförderern für trockensubstanzreiche Gülle. agrartechnik, Berlin 36 (1986) 11, S. 503–505.
- [3] Mühlrel, K.: Transport, Umschlag, Lagerung in der Landwirtschaft. Berlin: VEB Verlag Technik 1983.
- [4] Scheffler, M.: Fördermittel und ihre Anwendung für Transport, Umschlag, Lagerung. Leipzig: VEB Fachbuchverlag 1984.
- [5] Türk, M.: Das Fließverhalten von trockensubstanzreicher Schweinegülle. agrartechnik, Berlin 36 (1986) 1, S. 31–33.
- [6] Türk, M.: Bemessung von Druckrohrleitungen zum Fördern von trockensubstanzreicher Rindergülle. agrartechnik, Berlin 37 (1987) 1, S. 34–37. A 4941

Folgende Fachzeitschriften des Maschinenbaus erscheinen im VEB Verlag Technik:

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