

an (z.B. bei Hühnerhaltungen mit Kotvortrocknung im Stall) oder besteht die Möglichkeit, das gerottete Gut während einer langfristigen Lagerung unter Dach, gegebenenfalls mit einer Kaltbelüftung unterstützt, zu trocknen, dann können durch Wegfall eines eigenen Trockners die Kosten erheblich gesenkt werden.

Eine kompakte und vollmechanisierte Anlage, wie sie z.B. gemäß Bild 20 der 2. Mitteilung [2] aufgebaut sein könnte, dürfte besonders für die Verarbeitung großer Mengen möglichst feststoffreichen Ausgangsgutes wirtschaftlich sein und daher in erster Linie für die Entsorgung von größeren Betrieben mit Geflügelhaltung infrage kommen. Als ein weiterer Anwendungsbereich des Verfahrens wird die Behandlung von entwässertem Klärschlamm angesehen [10].

Schrifttum

- [1] Baader, W., F. Schuchardt u. H. Sonnenberg: Untersuchungen zur Entwicklung eines technischen Verfahrens für die Gewinnung von Feststoffen aus tierischen Exkrementen (1. Mitteilung). *Grundl. Landtechnik* Bd. 25 (1975) Nr. 2, S. 33/42.
- [2] Baader, W., F. Schuchardt u. H. Sonnenberg: Untersuchungen zur Entwicklung eines technischen Verfahrens zur Gewinnung von Feststoffen aus tierischen Exkrementen (2. Mitteilung). *Grundl. Landtechnik* Bd. 26 (1976) Nr. 6, S. 234/44.
- [3] Baader, W.: Verfahren zur Behandlung von tierischen Exkrementen und Klärschlämmen. Deutsche Patentanmeldung Nr. P 2705 098.2.
- [4] Baader, W., F. Schuchardt, H. Sonnenberg u. H. Söchtig: Die Gewinnung eines lagerfähigen und landwirtschaftlich nutzbaren Feststoffes aus Rinderflüssigmist. *Berichte über Landwirtschaft Sonderh.* 192 (1975) S. 798/835.
- [5] Schuchardt, F.: Einfluß des ökologischen Faktors "Struktur" auf die Kompostierung von Flüssigmist-Feststoff-Gemengen. Dargestellt am Beispiel des Feststoffverfahrens. Diss. TU Berlin, Juni 1977, Sonderheft 38 der *Landbau*. Völkenrode, 1977.
- [6] Sonnenberg, H.: Untersuchungen zur Trocknung von Preßlingen aus tierischen Exkrementen mit Luft niedriger Trocknungstemperaturen. *Grundl. Landtechnik* Bd. 27 (1977) Nr. 2, S. 57/61.
- [7] Platz, S.: Untersuchungen über das Verhalten pathogener Mikroorganismen bei der Heißverrottung von Hühnerkot. *Zentralbl. f. Veterinärmedizin, Reihe B*, Bd. 24 (1976) S. 25/34.
- [8] Platz, S. u. A. Matthies: Die Heißbrotte als Möglichkeit zur Gewinnung hygienisch unbedenklichen Geflügelkompostes und dessen Verwertung als Tierfutter. — II. Congress of Intern. Soc. for Animal Hygiene, Zagreb 29.9.—2.10.77, *Collected Report* S. 592/96.
- [9] Platz, S.: Untersuchungen über den Einfluß thermischer und athermischer Faktoren auf die Tenazität pathogener Bakterien während der Heißverrottung von Hühnerkot. *Berl. Münchn. Tierärztl. Wschr.* im Druck.
- [10] Widmer, P. u. H.D. Konstandt: Ein neues Schnellrotte-Verfahren als Beitrag zur weitergehenden Klärschlamm-Verwertung. *Gas-Wasser-Abwasser* Bd. 57 (1977) Nr. 3, S. 297/303. (weitere Schrifttumshinweise in [1] und [2])

Verteilen und Dosieren von Flüssigmist

Von Rüdiger Krause und Rolf Ahlers,
Braunschweig-Völkenrode*)

Mitteilung aus dem Institut für Landmaschinenforschung der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode

DK 631.333:631.862

Bei der gewünschten Minimierung der Verfahrenskosten der Rückführung tierischer Exkremente in den pflanzlichen Produktionsprozeß dürfen drei Gesichtspunkte nicht außer acht gelassen werden:

1. Wahrung der Belange des Umweltschutzes
2. Weitgehende Nutzung der Nähr- und Inhaltsstoffe
3. Verminderung des arbeitswirtschaftlich-organisatorischen Aufwandes unter Wahrung der Funktionssicherheit und Schlagkraft des Verfahrens.

Dabei ist der erhöhte Einsatz an technischen Mitteln kaum vermeidbar. Besondere Schwierigkeiten bereitet die notwendige gleichmäßige Verteilung nicht nur von Fest-, sondern auch von Flüssigmist unter allen Betriebsbedingungen. Lösungsalternativen mit Grenzen der hydraulischen Auslegung von Verteilsystemen für Flüssigmist werden diskutiert.

*) Dr.-Ing. R. Krause, wissenschaftlicher Oberrat, und Ing. grad. R. Ahlers sind Mitarbeiter im Institut für Landmaschinenforschung (Direktor: Prof. Dr.-Ing. W. Baader) der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode.

Inhalt

1. Einleitung
2. Stromaufteilung
 - 2.1 Gleichmäßige Aufteilung auf mehrere Fallrohre
 - 2.2 Absätzigige Beaufschlagung aller Fallrohre
 - 2.3 Vermindern von Strömungsverlusten
 - 2.4 Vermeiden von Verstopfungen
 - 2.5 Erkennen von Verstopfungen
3. Verteilung über die Arbeitsbreite
 - 3.1 Verteilung am Prallteller
 - 3.2 Abstand der Prallteller
 - 3.3 Verteilung mittels Zinken
4. Verteilung in Arbeitsrichtung
 - 4.1 Teilweise Flächenbelegung
 - 4.2 Vollständige Flächenbelegung
5. Zusammenfassung

Diese Arbeit entstand im Rahmen eines Forschungsauftrages vom BML 114-1553.3/52

1. Einleitung

Nahezu 50 % des gesamten Düngemittelverbrauches der deutschen Landwirtschaft wird über wirtschaftseigene Dünger abgedeckt. Tierische Exkrememente fallen in Form von Fest- und Flüssigmist als Nebenprodukt ohnehin an und stehen damit kostenlos zur Verfügung. Flüssigmist, auf den sich dieser Beitrag bezieht, hat gegenüber mineralischem Dünger jedoch den großen Nachteil einer niedrigen Nährstoffkonzentration und somit notwendigerweise des Transports großer Massen. Nachteilig ist auch die erschwerte Handhabung insbesondere unter Berücksichtigung der Belange des Umweltschutzes.

In Konkurrenz mit mineralischem Nährstoff geht es neben den Kosten je Nährstoffeinheit und der grundsätzlichen Nutzung wertvoller Inhaltsstoffe in erster Linie um arbeitswirtschaftliche und verfahrenstechnische Gesichtspunkte. Wesentlich ist es, auch Flüssigmist in der gewünschten, gleichmäßigen Qualität (Art und Anteil der Inhaltsstoffe, Pflanzenverfügbarkeit) zum rechten Zeitpunkt mit der erforderlichen genauen Dosierung bei hoher Schlagkraft ausbringen zu können. Dabei sind Emissionen und unzulässige Belastungen von Grund- und Oberflächenwasser zu vermeiden. Bei der Rückführung des Flüssigmistes in den Stoffkreislauf sollten die Kosten des gesamten Verfahrens nicht den Wert des Produktes einschließlich seiner anderweitigen Verwertung oder Beseitigung überschreiten. Zahlreiche Verfahrensalternativen, **Bild 1**, sind gegeneinander abzuwägen [1].

Bei der konventionellen Ausbringung genügt im allgemeinen ein einfacher, neigungsverstellbarer Prallteller, um mit dem nach oben gelenkten Strahl die gewünschte Verteilbreite zu erzielen. Bis zu 20 m Gesamtverteilbreite sind erreichbar. Allerdings ist die Verteilung der Flüssigkeitsmenge über die Breite nicht gleichmäßig, in den Randzonen fällt die Flüssigkeitsmenge stark ab. Zur Erzielung einer quer zur Fahrtrichtung gleichmäßigen Belegung müssen die Randzonen benachbarter Streifen überlappt werden.

Das Verhältnis zwischen der verbleibenden, nutzbaren Arbeitsbreite und der Gesamtverteilbreite ist ein Maßstab der Bewertung der Verteileinrichtung. Die Beurteilung der Verteilgüte erfolgt gemäß Prüfordnung der DLG nach der in den einzelnen Breitenabschnitten jeweils auftretenden Abweichung vom Mittelwert der ausgebrachten Flüssigkeitsmenge (Maschinenprüfberichte der DLG). Hiernach muß die durchschnittliche Abweichung < 10 % und die größte Abweichung < 30 % sein.

Moderne Pumpen- und Kompressortankwagen erzielen eine nutzbare Arbeitsbreite bis zu 8 m. Hierzu sind zwangsläufig hohe Wurfbahnen des Flüssigmiststrahles erforderlich, verbunden mit einer feinen Vernebelung des Flüssigmistes, wodurch die Geruchsemissionen ebenso wie Ungenauigkeiten der Verteilung, insbesondere durch Wind und Hangneigung, zunehmen.

Bild 2 zeigt den theoretisch ermittelten Einfluß von Abweichungen beim Ausbringen von mineralischem Stickstoff auf die Ertragsbildung (ohne Berücksichtigung von Verlusten durch Lagergetreide). Um die notwendige gleichmäßige Versorgung aller Pflanzen [2] und eine optimale Nutzung der Inhaltsstoffe zu erreichen, ist eine möglichst genaue Einstellung und Einhaltung der Ausbringrate erforderlich.

Die Höhe und Gleichmäßigkeit einer Flüssigmistgabe ist abhängig von:

- der Konstruktion und Förderleistung des Förderorganes (Schnecke, Kompressor, Pumpe)
- der Gestaltung und Einstellung von Austrittsdüse und Prallblech
- Homogenität und Fließeigenschaften des Substrates
- dem statischen Flüssigkeitsdruck über dem Förderelement (Faßfüllungsgrad)
- der Arbeitsgeschwindigkeit
- Wind und Hangneigung.

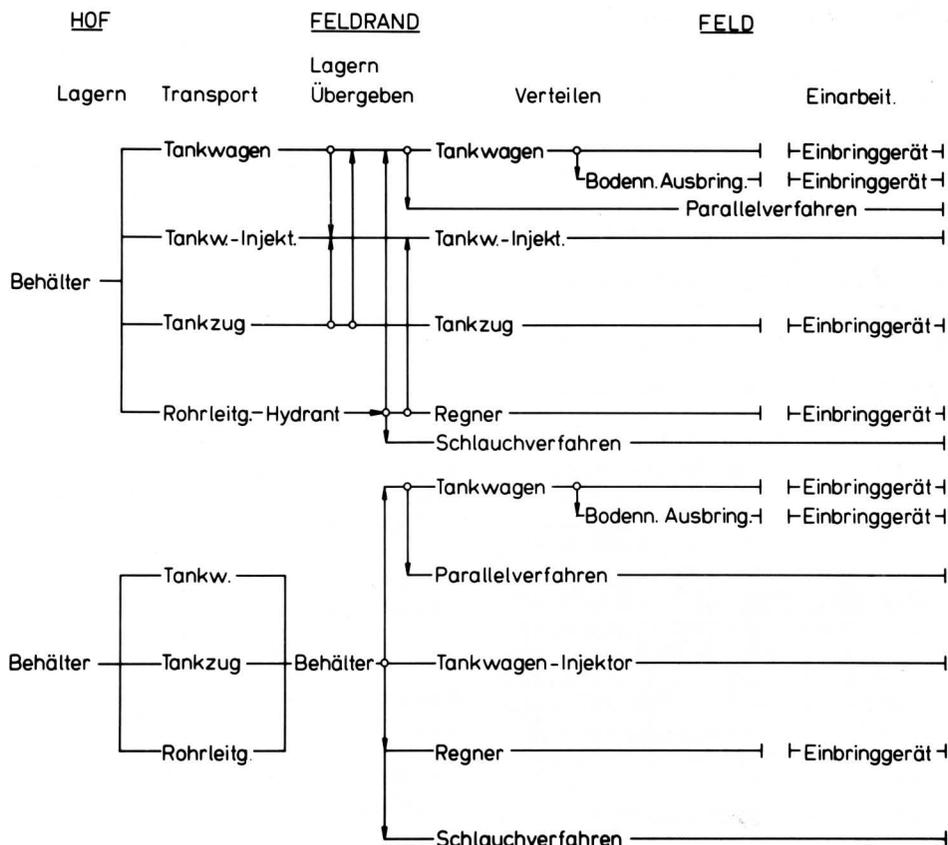
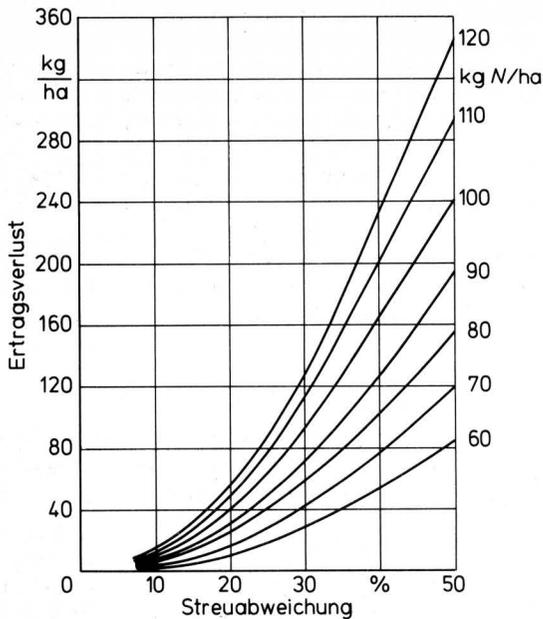


Bild 1. Verfahrensalternativen zur Landanwendung von Flüssigmist.



nach Limburgerhof
Aktuell 2/76

Bild 2. Errechnete Ertragsverluste von Winterweizen abhängig von den Abweichungen beim Streuen von N-Dünger; ohne Berücksichtigung von Verlusten durch Lagergetreide.

2. Stromaufteilung

Geruchsemissionen können durch Ausbringen nahe der Bodenoberfläche deutlich vermindert und durch Injektion in den Boden nahezu vollständig unterbunden werden [3]. Eine denkbare, jedoch kaum ausführbare Lösung ist die Abdeckung der Verteilereinrichtung in Verbindung mit allseitig herunterhängendem Spritzschutz, ähnlich den Großflächen (Mineral-) düngerstreuern.

2.1 Gleichmäßige Aufteilung auf mehrere Fallrohre

Eine ausreichende Arbeitsbreite unter Berücksichtigung der genannten Problematik kann somit nur durch Aufteilung des Flüssigmiststromes auf mehrere Teilströme erfolgen, die durch mehrere über die Arbeitsbreite verteilte Fallrohre ausgebracht werden.

Wichtig bei der Aufteilung in Teilströme ist:

1. eine gleichmäßige Verteilung auf alle Fallrohre unter allen Betriebsbedingungen
2. Vermeiden bzw. Erkennen von Verstopfungen
3. eine Verstellmöglichkeit für den Abstand der Fallrohre zwecks:
 - a) Einstellung der optimalen Randüberdeckung,
 - b) Anpassung an die Reihenweite bei Reihendüngung.

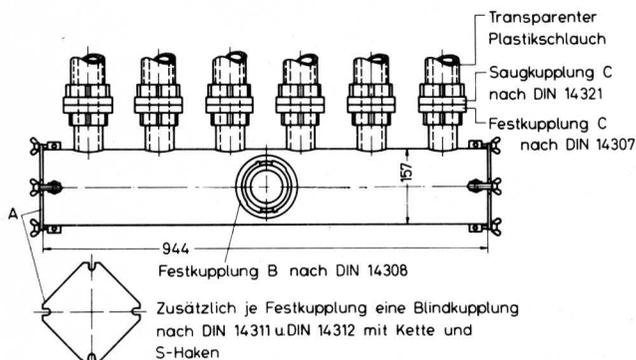


Bild 3. Verteiler für Flüssigmist.

Verteiler nach **Bild 3** sind einfach herzustellen und ermöglichen unter Berücksichtigung einiger Grundforderungen eine Aufteilung in gleichmäßige Teilströme.

Insbesondere ist zu beachten, daß:

1. der Hauptstrom nicht auf eine der Austrittsöffnungen gerichtet ist (Kurzschluß)
2. die Austrittsöffnungen sich oben befinden
3. die Schläuche zu den Fallrohren gleich lang und in gleichen, nicht zu engen Radien verlegt sind
4. ausreichend große Querschnitte vorgesehen sind, um Verstopfungen und größere Strömungsverluste zu vermeiden.

Das Verhältnis des Eintrittsquerschnittes zur Summe der Austrittsquerschnitte sollte nahe 1 sein: $A_1/A_2 \approx 1$; es sollte immer $A_1/A_2 > 0,5$ betragen. Bei dem gezeigten, für großen Durchsatz ausgelegten Verteiler, der von einer Exzentrerschneckenpumpe NW 100 gespeist wird, liegt die untere Grenze für eine gleichmäßige Aufteilung in vier Teilströme (Querschnittsverhältnis $A_1/A_2 = 0,66$) bei $\dot{V} = 10$ l/s, die Strömungsgeschwindigkeiten betragen $u_1 = 3,0$ m/s und $u_2 = 1,9$ m/s. Daraus ergeben sich die in **Bild 4** gezeigten Grenzen. Kleine Gaben (z.B. $25 \text{ m}^3/\text{ha}$) können bei niedrigen Fahrgeschwindigkeiten ($v = 1,5$ m/s) und bei der gegebenen Arbeitsbreite ($b \approx 3$ m) nicht mehr gleichmäßig verteilt werden. In Abschnitt 3.2 wird festgestellt werden, welche tatsächliche Arbeitsbreite bei der Aufteilung des genannten Flüssigmiststromes auf 4 Rohre unter Berücksichtigung der Verteilcharakteristik am einzelnen Prallteller zu erreichen ist (s. Tafel 3).

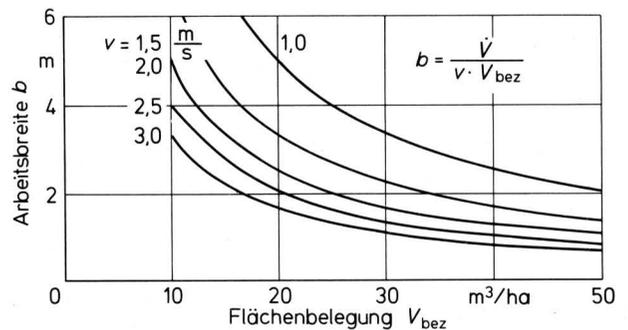


Bild 4. Grenzen gleichmäßiger Flächenbelegung bei niedriger Förderleistung ($\dot{V} = 10$ l/s) und Aufteilung des Volumenstromes auf 4 Rohre.

Bei der Überprüfung eines auf dem Markt befindlichen Verteilers mit vier Abgängen von jeweils 45 mm Durchmesser ergaben sich instabile Strömungsverhältnisse (d.h. ungleichmäßige Beaufschlagung bis zum Ausfall einzelner Rohre) bereits bei $\dot{V} < 13,3$ l/s und $u_2 = 2,0$ m/s. Verantwortlich für diese Instabilität ist der Druck im Verteiler. Untersuchungen des Einflusses von Querschnittsverhältnis A_1/A_2 und Volumenstrom \dot{V} auf den Druck im Verteiler p_1 ergaben die in **Tafel 1** gezeigten Richtwerte. Deutlich wird, daß der Druck mit dem Volumenstrom und mit dem Querschnittsverhältnis abnimmt. Der Druck in den Fallrohren p_2 wird bei einer größeren Anzahl von Fallrohren so klein, daß bereits geringe Differenzen, beispielsweise in der Anordnung der Zuführschläuche, zu ungleichmäßiger Verteilung auf die Einzelrohre führen.

Eine andere Methode der Aufteilung in mehrere gleiche Teilströme ist die Verwendung entsprechend vieler Pumpen. Abgesehen von der Tatsache, daß kleinere Pumpen eher zum Verstopfen neigen, fallen neben den Kosten für mehrere Pumpen noch die Kosten für das erforderliche Verzweigungsgetriebe an.

Eine weitere – zumindest theoretische – Möglichkeit der Aufteilung in gleichmäßige Ströme ist die Regelung des Durchsatzes in jedem Fallrohr über eine Verstelldrossel. Der Istwert könnte durch Kraftmessung am Prallteller erfaßt werden. Der Sollwert

(= Ausbringerate) ließe sich am elektronischen Verstärker leicht veränderbar vorgeben, **Bild 5**. Durch eine Ringleitung (vom Verteiler zurück ins Faß) müßte dabei sichergestellt sein, daß das Angebot an Flüssigmist im Verteiler stets höher ist als die Summe des Abflusses in sämtlichen Fallrohren. Auch diese Lösung erscheint sehr kostenaufwendig.

Die gleichmäßige Aufteilung des Flüssigmiststromes auf mehrere Fallrohre ist nur bei hohem Durchsatz einfach zu lösen. Die gleichmäßige Aufteilung kleiner Ströme auf mehrere Fallrohre in für hohen Durchsatz ausgelegten Systemen bereitet erhebliche Schwierigkeiten und erfordert einen nicht unerheblichen technischen Aufwand, der insbesondere bei dem vorliegenden Medium und den rauen Einsatzbedingungen wohl nur in bestimmten Fällen gerechtfertigt sein dürfte.

Besonders problematisch ist die gleichmäßige Verteilung kleiner Mengen unter schwierigen Einsatzbedingungen (niedrige Fahrgeschwindigkeit, Schlupf), wie sie insbesondere bei Frühjahrsgaben vorkommen (schwerer, nasser Boden, Hanglage).

Anzahl der Rohre n		2	3	4	5	6
Querschnittsverhältnis A_1/A_2	—	1,32	0,88	0,66	0,66	0,44
Druck im Verteiler p_1	bar	1,40	0,90	0,70	0,40	0,30
Druck im Fallrohr p_2	bar	0,40	0,22	0,09	0,06	—

Tafel 1 a. Druck im Verteiler p_1 und im Fallrohr p_2 bei einem Volumenstrom $\dot{V} = 27,2 \text{ l/s}$ für 2 bis 6 Fallrohre.

Volumenstrom \dot{V}	l/s	27,2	20,4	13,7
Druck im Verteiler p_1	bar	0,7	0,4	0,2

Tafel 1 b. Druck im Verteiler p_1 bei einem Verhältnis von Einlaßquerschnitt zur Summe der Auslaßquerschnitte $A_1/A_2 = 0,66$ (4 Fallrohre) für drei unterschiedliche Volumenströme \dot{V} .

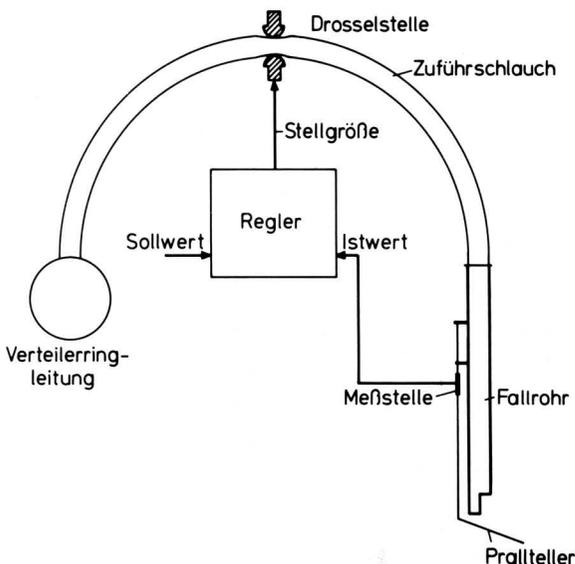


Bild 5. Durchflußregelung über die Messung der Kräfte am Prallteller.

2.2 Absätzig Beaufschlagung der Fallrohre

Eine Möglichkeit, bei gegebener Arbeitsbreite kleine Gaben auf mehrere Teilströme aufzuteilen, ist die nicht ständige, zyklische Beaufschlagung einzelner Abgänge. Das Fließverhalten in den beaufschlagten Fallrohren wird infolge des größeren Durchsatzes verbessert. Zwar gibt es konstruktiv hierfür viele Lösungsmöglichkeiten; jedoch führen Einbauten in den Verteiler (z.B. rotierende Lochscheiben) sehr leicht zu Verstopfungen. Geeignet erscheint das Abklemmen der einzelnen Abgänge. Die Steuerung könnte beispielsweise elektrisch über einen Zeitgeber oder mechanisch über eine Nockenwelle erfolgen.

2.3 Vermindern von Strömungsverlusten

Die Auslegung der durchströmten Bauteile hat nach hydromechanischen Gesichtspunkten zu erfolgen. Im Bereich von Verteilern und Fallrohren muß mit turbulenter Strömung gerechnet werden.

Die Reibungsverluste wachsen mit dem Quadrat der Strömungsgeschwindigkeit. Zur Vermeidung unnötig hoher Verluste sollten daher möglichst kleine Geschwindigkeiten im Rohr (z.B. $u_r < 10 \text{ m/s}$) mit entsprechend großen Rohrdurchmessern angestrebt werden.

Werden die Geschwindigkeiten jedoch zu klein, treten leicht Verstopfungen ein [4]. Als Richtwert der niedrigsten Strömungsgeschwindigkeit sei hier $u_r = 2,0 \text{ m/s}$ genannt. **Bild 6** zeigt, daß für hohe Förderleistungen (bis 50 l/s) genügend Spielraum ist, um bei geeigneter Zuordnung von Rohrquerschnitten und Anzahl der Rohre die Strömungsgeschwindigkeit in den gewünschten Grenzen zu halten. Bei kleinen Förderleistungen (10 l/s) muß zur Einhaltung der gewünschten Mindestgeschwindigkeit von 2 m/s bereits mit einem Rohrdurchmesser von 40 mm bei 4 Rohren gearbeitet werden.

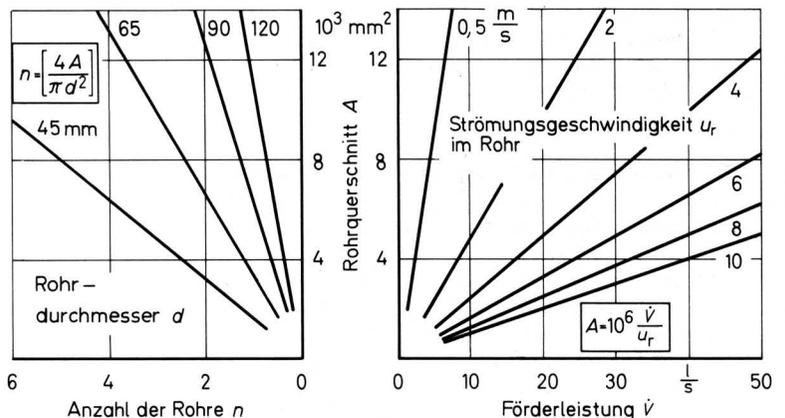


Bild 6. Nomogramm zur Auslegung der Rohrquerschnitte. Förderaggregat und Hauptrohr rechts, Abgänge vom Verteiler und Fallrohre links.

2.4 Vermeiden von Verstopfungen

Das Ausbringen und Injizieren von Flüssigmist erfolgt bei nahezu allen Verfahren hinter dem Tankwagen und damit außerhalb des Sichtfeldes des Fahrers. Verstopfungen in einzelnen Fallrohren bedeuten daher ein erhebliches Risiko für eine gleichmäßige Verteilung. Es kann ihnen begegnet werden durch

- Beachten der Grenzen der Pumpbarkeit von Flüssigmist
- Entfernen von Grobstoffen und Fremdkörpern aus dem Flüssigmist
- strömungsmäßig günstiges Gestalten des gesamten Systems, d.h. Vermeiden kleiner Radien, von Einschnürungen oder Einbauten, Vorsehen ausreichender Rohrquerschnitte, ausreichender Strömungsgeschwindigkeiten
- Durchspülen der Rohre nach dem Gebrauch.

Das Fließverhalten und die Pumpbarkeit von Flüssigmist, der als strukturviskose, teilweise thixotrope Substanz mit Fließgrenze anzusprechen ist, sind nur schwer zu definieren und zudem geräteabhängig [5]. In der Praxis bereiten Schichtenbildung im Lagerbehälter und insbesondere Fremdkörper (Futter- und Einstreureste, Haare, Holz, Federn, Steine, Draht usw.) die größten Schwierigkeiten. Vor dem Befüllen des Fasses ist daher ein ausreichendes Durchmischen der gesamten auszubringenden Menge erforderlich sowie das Beseitigen größerer Fremdkörper durch Absieben / Absetzen (mit entsprechend hohem Durchsatz) oder Zerkleinern durch Schneidwerke.

2.5 Erkennen von Verstopfungen

Treten Verstopfungen in einzelnen Fallrohren auf, müssen sie so schnell wie möglich erkannt werden. Dies ist möglich durch Meldung zum Fahrerplatz (optisches oder akustisches Signal). Eine Durchsatzmessung ohne in die Strömung ragende Teile ist nur mit wechsellspannungsbetriebenen, induktivem Durchflußmesser möglich und scheidet aus Kostengründen aus. Auch eine Messung der Reaktionskräfte am einzelnen Prallteller (s. Bild 5) ist sehr aufwendig. Ein einfacher Durchflußwächter nach Bild 7, der im Verlaufe des Projektes entwickelt wurde, erwies sich als geeignet. Ein weiterer elektronischer Strömungswächter nach dem kalorimetrischen Prinzip (Temperatur-Differenzmessung zwischen einem unbeheizten und einem beheizten Meßfühler) war funktionssicher, die Ansprechzeit war mit mehr als 5 s jedoch zu groß. Eine Kontrolle mit Hilfe einer Fotozelle wurde bislang nicht untersucht, scheint aber ebenfalls geeignet.

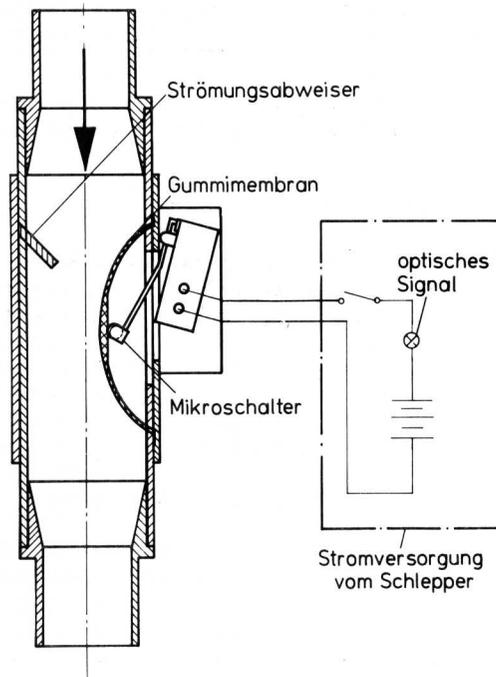


Bild 7. Durchflußwächter.

3. Verteilung über die Arbeitsbreite

Die Verteilung des Flüssigmistes ergibt sich aus der Verteilung am einzelnen Prallteller sowie der Überlagerung der Ströme benachbarter Prallteller.

3.1 Verteilung am Prallteller

Um beim bodennahen Ausbringen und beim direkten Einarbeiten mit Fräse und Pflug eine gleichmäßige Breitenverteilung zu erzie-

len, wurden die Fallrohre mit einzelnen Pralltellern und Leitblechen, Bild 8, versehen. Nimmt man eine verlustfreie Umlenkung und symmetrische Verteilung der Strömung am Prallteller ohne die Einwirkung der Fallbeschleunigung an, Bild 9, so ist die Sprungweite $s = h / \tan \alpha$ mit $h =$ Höhe des Pralltellers über dem Boden und $\alpha =$ Anstellwinkel, Tafel 2.

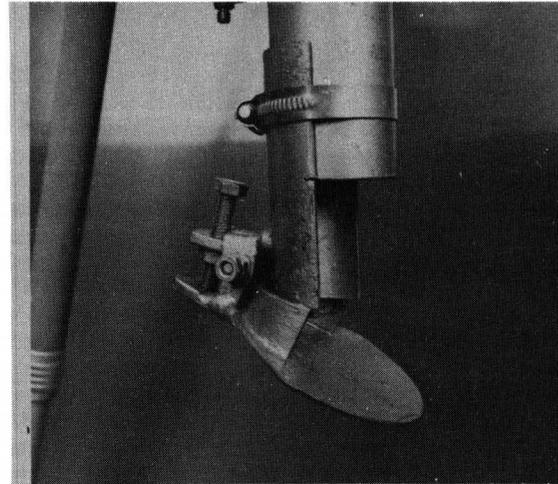


Bild 8. Prallteller, verstellbar.

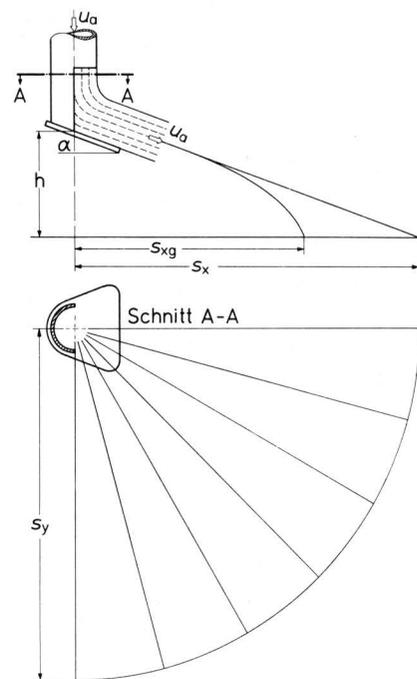


Bild 9. Strömungsverlauf nach verlustfreier Strömungsumlenkung am Prallteller mit und ohne Einfluß der Fallbeschleunigung.

Neigung der Prallteller α	Höhe h des Pralltellers über dem Boden [cm]			
	20	25	30	35
30°	35	43	52	61
20°	55	69	83	96

Tafel 2. Sprungweite s in cm bei verlustfreier Strömung für vier unterschiedliche Höhen und zwei Neigungswinkel des Pralltellers.

Unter Einwirkung der Fallbeschleunigung wird die Sprungweite s_g bei horizontalem Austritt:

$$s_g = u_a \cdot t,$$

wobei $t = \sqrt{2h/g}$ und $u_a = \dot{V}/A$ ist.

Hierbei wird u_a als gleichförmig angenommen; t ist die Zeit für den freien Fall.

Damit ist s_g proportional der Strömungsgeschwindigkeit, d.h. proportional zum Volumenstrom und umgekehrt proportional zur Summe aller Querschnittsflächen. Je mehr Rohre, desto geringer ist damit die Sprungweite. Ferner ist die Sprungweite proportional der Quadratwurzel aus der Höhe des Pralltellers über dem Boden.

Neigung des Pralltellers α	Strömungsgeschwindigkeit u_a [m/s]	Höhe h des Pralltellers über dem Boden [cm]											
		20			25			30			35		
		Sprungweite [cm]											
		s_g	s_{ga}	s_y	s_g	s_{ga}	s_y	s_g	s_{ga}	s_y	s_g	s_{ga}	s_y
0	2,6	53	—	—	59	—	—	64	—	—	69	—	—
	3,9	79	—	—	88	—	—	96	—	—	104	—	—
	5,3	107	—	—	119	—	—	131	—	—	141	—	—
20	2,6	—	49	90	—	55	100	—	60	90	—	65	100
	3,9	—	74	105	—	83	115	—	91	105	—	98	110
	5,3	—	100	105	—	112	120	—	123	125	—	133	135
30	2,6	—	45	80	—	51	75	—	56	80	—	60	90
	3,9	—	68	105	—	76	105	—	84	105	—	92	110
	5,3	—	93	105	—	104	110	—	114	120	—	123	135

Verläßt die Flüssigkeit das Fallrohr mit der Neigung des Pralltellers, so wird die Sprungweite unter dem Einfluß der Fallbeschleunigung:

$$s_{ga} = u_a \cdot \cos \alpha \sqrt{2h/g}.$$

Es ergeben sich die in **Tafel 3** gezeigten Werte. Die mit Wasser gemessenen Werte s_y weichen deutlich von den rechnerisch ermittelten Werten ab. Sie sind stets größer.

Die Annäherung kann jedoch nur sehr grob sein, da die Berechnung sehr stark vereinfacht wurde und durch die bewußt einfache Konstruktion von Leitblech und Prallteller eine gewisse Ungleichförmigkeit der Flüssigkeitsverteilung am Prallteller in Kauf genommen werden muß. Beobachtungen zeigen ferner, daß die Sprungweite über die überdeckten 180° nicht gleich ist, sondern entsprechend der ebenen Ausbildung des Pralltellers (Neigung nur nach hinten, jedoch nicht zur Seite) ellipsenförmig verteilt mit der Hauptachse quer zur Bewegungsrichtung. Die Sprungweite in Arbeitsrichtung s_x liegt also unter den in **Tafel 3** gezeigten Werten s_y .

Die Verteilung des Flüssigkeitsstromes über die Breite entspricht bei allen untersuchten Einstellungen angenähert einer Gaußschen Normalverteilung, **Bild 10**. Bei entsprechender Überlappung ist also mit einer gleichmäßigen Verteilung über die gesamte Arbeitsbreite zu rechnen. Dabei müssen benachbarte Prallteller jedoch gegeneinander um ca. 50 mm höhenversetzt sein, damit keine gegenseitige Beeinflussung der zusammentreffenden Ströme erfolgt.

Tafel 3. Die Sprungweite unter Einfluß der Fallbeschleunigung am ebenen und geneigten Prallteller ($\alpha = 0^\circ, 20^\circ, 30^\circ$) verschiedener Einstellhöhe ($h = 20, 25, 30, 35$ cm) sowie Meßwerte s_y .

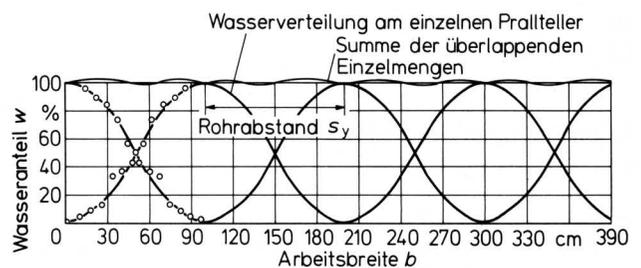


Bild 10. Verteilung am einzelnen Prallteller sowie Überlappung benachbarter Teilströme, Verteilung über die Arbeitsbreite.

3.2 Abstand der Fallrohre

Der Abstand der Fallrohre entspricht der in **Tafel 3** gezeigten Sprungweite s_y (**Bild 9**), wobei im Falle von Flüssigmist je nach Konsistenz mit ca. 20–30 % niedrigeren Werten gerechnet werden muß.

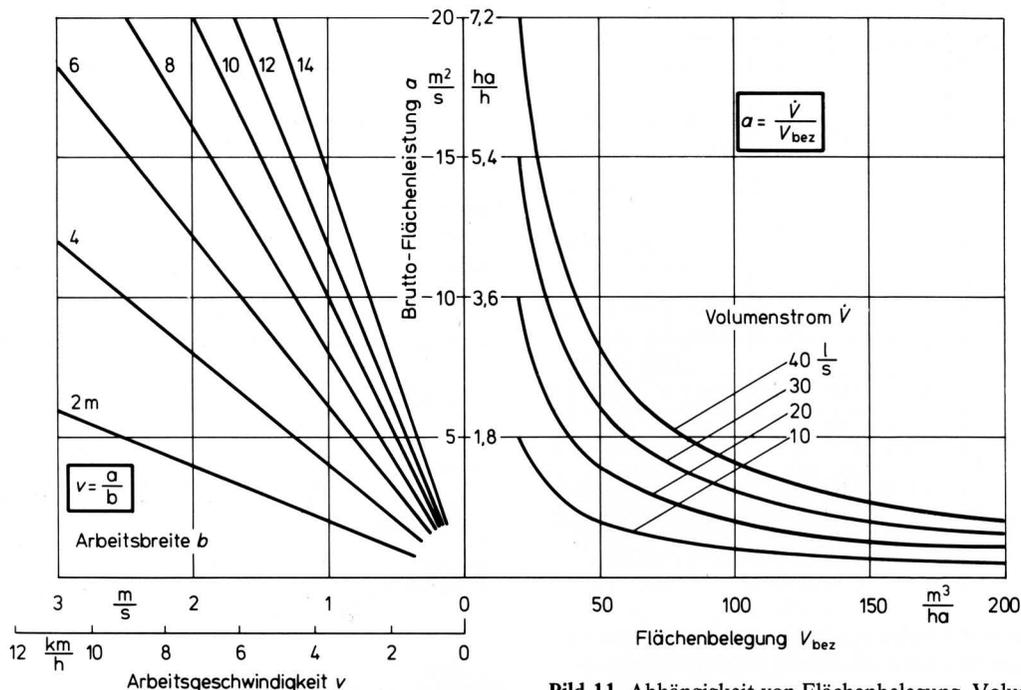


Bild 11. Abhängigkeit von Flächenbelegung, Volumenstrom, Arbeitsbreite und Arbeitsgeschwindigkeit.

Für die Praxis ergeben sich daraus folgende Schlußfolgerungen:

- Der optimale Abstand der Fallrohre untereinander ist umso kleiner, je niedriger der Durchsatz ist, je tiefer die Prallteller angebracht sind und je größer der Anstellwinkel der Prallteller ist. Der Abstand der Fallrohre muß in jedem Falle einstellbar sein.
- Nebeneinanderliegende Prallteller müssen gegeneinander höhenversetzt sein.

3.3 Verteilung mittels Zinken

Bei der Injektion mit Hilfe von Zinken kann eine entsprechende Breitverteilung nur dann erfolgen, wenn durch die Form der Zinken (Gänsefußschare) genügend Freiraum im Boden geschaffen wird. Hier sind jedoch weitere Einschränkungen zu machen:

- Der seitliche Abstand der Zinken sollte nicht unter 0,5 m liegen, um eine Behinderung des Bodenflusses zu vermeiden.
- Bei Zinkeninjektoren muß über den Rollwiderstand des Tankwagens und den Leistungsbedarf des Förderaggregates hinaus mit 3–8 kW je Zinken (je nach Zinkenform, Arbeitstiefe und Bodenwiderstand) gerechnet werden. Der Gesamtleistungsbedarf erreicht damit sehr bald 80–100 kW.

Bild 11 zeigt die Wechselbeziehungen zwischen den wichtigsten Einsatzdaten.

4. Verteilung in Arbeitsrichtung

4.1 Teilweise Flächenbelegung

Bei absätziger oder zyklischer Beaufschlagung aller Fallrohre erbringt das einzelne Fallrohr in Arbeitsrichtung abwechselnd belegte und unbelegte Flächen. Das Verhältnis der Zahl gleichzeitig beaufschlagter Fallrohre z zur Gesamtzahl n der Fallrohre kennzeichnet den Anteil belegter Strecke an der gesamten Fahrstrecke.

Gesamtzahl der Rohre n	Gleichzeitig beaufschlagte Rohre z	Anteil d. Betriebszeit eines Rohres a.d. Zykluszeit z/n	Anzahl der aufeinanderfolgenden Takte ohne Beaufschlagung m
3	2	2/3	1
3	1	1/3	2
4	3	3/4	1
4	2	2/4 (1/2)	1
4	1	1/4	3
5	4	4/5	1
5	3	3/5	1
5	2	2/5	2
5	1	1/5	4
6	5	5/6	1
6	4	4/6 (2/3)	1
6	3	3/6 (1/2)	1
6	2	2/6 (1/3)	2
6	1	1/6	5

Tafel 4. Alternativen einer absätzigen (gruppenweisen oder zyklischen) Beaufschlagung einzelner Fallrohre und deren jeweilige Ausfallzeiten.

Für die Beurteilung ist jedoch die Länge der einzelnen Fehlstelle maßgebend, ausgedrückt durch die Anzahl m der aufeinanderfolgenden Takte des Schaltprogrammes, während der ein Fallrohr nicht beaufschlagt ist. Durch die Auswahl eines geeigneten Schalt-

programmes kann m minimiert werden, Tafel 4. Tafel 5 zeigt für $n = 3$ bis $n = 6$ Fallrohre bei unterschiedlicher Anzahl z der gleichzeitig beaufschlagten Fallrohre Schaltprogramme, mit denen es möglich ist, die Dauer der Unterbrechung auf eine Taktzeit t_t (= Zeit für einen Schaltzustand) zu minimieren. Die gesamte Zyklusdauer wird $t_z = t_t / (1 - z/n)$.

Je kleiner das Verhältnis z/n ist, umso länger ist die Zyklusdauer, umso größer ist jedoch die Geschwindigkeit in den beaufschlagten Rohren (geringere Verstopfungsgefahr, aber größere Strömungsverluste).

Anzahl der Rohre n	Gleichzeitig beaufschlagte Rohre z	Beaufschlagtes Rohr Nr.					
		1	2	3	4	5	6
3	2	x	x				
				x	x		
						x	x
4	3	x	x	x			
					x	x	x
							x
							x
4	2	x	x				
				x	x		
5	4	x	x	x	x		
						x	x
							x
							x
5	3	x	x	x			
					x	x	x
							x
							x
6	5	x	x	x	x	x	
							x
							x
							x
							x
6	4	x	x		x	x	
							x
							x
6	3	x	x	x			
							x
							x

Tafel 5. Schaltprogramme für absätzig beaufschlagte Rohre mit Unterbrechungen von jeweils nur einer Zeiteinheit des Zyklusprogrammes (Taktzeit).

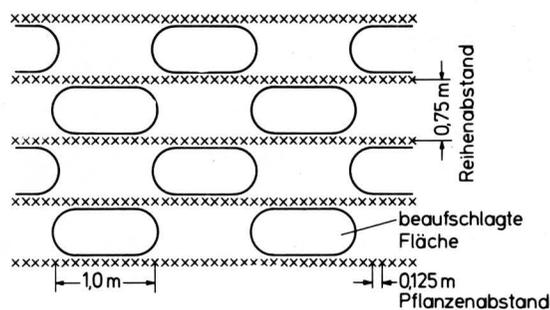


Bild 12. Beispiel für die Flächenbelegung beim Einsatz absätzig beaufschlagter Fallrohre in Reihenkulturen.

Bei einer angenommenen Taktzeit $t_t = 0,5$ s und der niedrigen Arbeitsgeschwindigkeit $v = 1$ m/s beträgt die Länge der Fehlstelle 0,5 m. Für die Fälle $z/n = 2/4$ und $z/n = 3/6$ ergibt jedes Fallrohr abwechselnd 0,5 m belegte und 0,5 m unbelegte Strecke. Für Reihendüngung mit wechselseitiger Versorgung der Pflanzen, **Bild 12**, mag eine derartige Verteilung ausreichen. Grundsätzlich scheint eine abwechselnde Beaufschlagung jedoch nur bei kleinen Taktzeiten und Fahrgeschwindigkeiten möglich zu sein.

4.2 Vollständige Flächenbelegung

Ein homogenes Substrat vorausgesetzt, hängt die Genauigkeit der Verteilung in Arbeitsrichtung wesentlich von einem konstanten Volumenstrom und einer konstanten Arbeitsgeschwindigkeit ab. Der konstante Volumenstrom ist ein rein technisches Problem. Bei zapfwellengetriebenen Fördererelementen (Kompressor) ist für eine konstante Zuordnung von Schieberstellung und Zapfwelldrehzahl zu sorgen. Darüber hinaus darf die Flüssigkeitssäule über dem Fördererelement die Förderleistung nicht beeinflussen oder muß kompensiert werden. Das ist am einfachsten bei Druckfässern sowie bei Zwangsförderung (z.B. Exzenter-Schneckenpumpe) zu erreichen.

Eine konstante Arbeitsgeschwindigkeit ist unter schwierigen Fahrbedingungen (weicher Boden, Hang) kaum einzuhalten. Aus diesem Grund kann eine gleichmäßige Flächenbelegung nur durch eine geschwindigkeitsabhängige Durchflußregelung erreicht werden.

In einem elektrischen System nach **Bild 13** wird die auf die Fahrstrecke auszubringende Flüssigmistmenge mit Hilfe der elektrisch gemessenen Fahrgeschwindigkeit über ein Steuergerät und ein Verstellorgan (Schieber, Dreiwegehahn, Verstellgetriebe) an den vorgegebenen Sollwert angeglich.

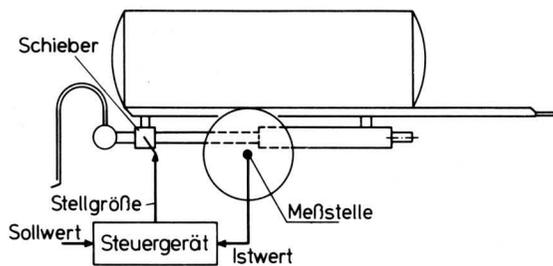


Bild 13. Elektrisches System für eine geschwindigkeitsabhängige Dosierung von Flüssigmist.

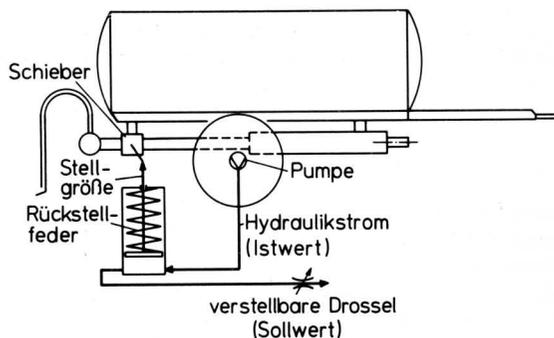


Bild 14. Mechanisches System für eine geschwindigkeitsabhängige Dosierung von Flüssigmist.

Das gleiche Ziel kann auch durch ein hydraulisch-mechanisches System erreicht werden, **Bild 14**. Die vom Tankwagenrad (schlupf-

frei angenommen) angetriebene Pumpe fördert in einen Hydraulikzylinder Öl, dessen Abfluß über eine Verstelldrossel erfolgt, die dem vorgegebenen Sollwert entsprechend eingestellt ist. Durch den mit der Arbeitsgeschwindigkeit ansteigenden Ölfluß und den dabei ansteigenden Öldruck im Zylinder (bei konstanter Drosselstellung) wird der auf das Verstellorgan wirkende Kolben ausgefahren und erhöht den Durchfluß analog zur Arbeitsgeschwindigkeit.

Es bieten sich auch fliehkraftgeregelter Armaturen sowie bodenangetriebene Kolbenpumpen mit veränderlichem Kolbenhub zur Dosierung an.

5. Zusammenfassung

Eine gleichmäßige Verteilung von Flüssigmist auf die Fläche bei minimalen Geruchsemissionen und Verlusten durch Auswaschung und Oberflächenablauf ist nur durch direktes Einarbeiten zu erreichen. Bodennahes Ausbringen kann bereits eine gewisse Verbesserung gegenüber dem konventionellen Verfahren bringen. In beiden Fällen ist jedoch eine Stromaufteilung erforderlich. Der Arbeitsbereich mit großen Volumenströmen für hohe Flächenbelegung und große Arbeitsgeschwindigkeit und mit kleinen Volumenströmen bei niedriger Flächenbelegung und kleiner Arbeitsgeschwindigkeit ist so weit, daß eine optimale hydraulische Auslegung unter Berücksichtigung ausreichender Funktionssicherheit (Vermeiden bzw. Erkennen von Verstopfungen) einen erheblichen technischen Aufwand fordert. Untersucht wird die absätzige Beaufschlagung einzelner Rohre oder Rohrgruppen, die Regelung über Drosselventile in den Fallrohren sowie über Einzelpumpen.

Zur gleichmäßigen Verteilung über die Arbeitsbreite wird das Streubild am einzelnen Prallteller je Fallrohr theoretisch und experimentell untersucht sowie die notwendige Überlappung benachbarter Teilströme.

Eine gleichmäßige Verteilung in Arbeitsrichtung auch bei wechselnden Arbeitsgeschwindigkeiten (Schlupf) kann nur durch eine geschwindigkeitsabhängige Dosierung erreicht werden. Verschiedene technische (elektrische und mechanische) Lösungen werden vorgeschlagen.

Um ein klares Konzept für die technische Auslegung von Geräten zur Flüssigmistausbringung erarbeiten zu können, sind in Zukunft genauere Angaben über die pflanzenbaulich notwendige Verteilgenauigkeit sowie über Zeitpunkt und Einsatzbedingungen (Befahrbarkeit des Bodens, zulässige Spuren) erforderlich. Zur Sicherstellung der gewünschten Verteilgenauigkeit unter den genannten unterschiedlichen Einsatzbedingungen ist ein hoher technischer Aufwand erforderlich. Getrennte technische Lösungen für einzelne Teilbereiche sind zu erwägen. Insbesondere bei der Übertragung der Flüssigmistausbringung auf den Lohnunternehmer bzw. beim überbetrieblichen Einsatz ist eine Bereitstellung unterschiedlich ausgelegter Geräte denkbar.

Schrifttum

- [1] Bosma, A.H., J.V. Klarenbeek, R. Krause u. M. Zach: Geräte und Verfahren bei der Landanwendung von Flüssigmist. Landbauforschung Völknerode Bd. 26 (1976) H. 2, S. 107/16.
- [2] N.N.: Exakt Düngen zahlt sich aus. Agrartechnik international 56. Jahrg. (1977) H. 1, S. 18/19.
- [3] Krause, R. u. M. Zach: Düngen mit Flüssigmist, umweltfreundlich und pflanzengerecht. Grundle. Landtechnik Bd. 26 (1976) Nr. 3, S. 96/100.
- [4] Schneider, R.: Selection of pumps, piping and waste distribution equipment for liquid manure disposal. Livestock Waste Management Conference, March 7-8, 1973, Champaign, Illinois.
- [5] Stuhmann, H.: Das rheologische Verhalten von Flüssigmist in Kanal- und Rohranlagen. Grundle. Landtechnik Bd. 27 (1977) Nr. 2, S. 45/49.