

Ein technisches Verfahren zum gezielten Düngen mit Gülle und Klärschlamm

Von Thomas Michaelsen, Braunschweig-Völkenrode*)

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

DK 631.333.4:631.862:628.381

Gülle und Klärschlamm enthalten für die Düngung wertvolle Inhaltsstoffe, die im Rahmen einer landwirtschaftlichen Produktion mit hohen Erträgen nur richtig genutzt werden können, wenn die Substrate — abgestimmt auf den Nährstoffbedarf der Pflanzen — zur rechten Zeit und in der geforderten Menge in gleichmäßiger Verteilung auf die Flächen ausgebracht werden.

Bezüglich der gleichmäßigen Verteilung lassen die gegenwärtigen Ausbringungsgeräte Wünsche offen, so daß die Weiterentwicklung der Ausbringungstechniken eine wichtige Aufgabe ist. Hier wird über Versuche berichtet, durch eine fahrgeschwindigkeitsabhängige Durchsatzregelung und durch Verteilung über Schleuderscheiben eine gleichmäßige Düngung der Flächen zu erreichen.

1. Einleitung

Gülle und Klärschlamm werden auch heute noch überwiegend als Abfall angesehen, der kostengünstig beseitigt werden muß. Daher sind die meisten der auf dem Markt befindlichen Ausbringungsgeräte weniger auf genaue Dosierung und Verteilung ausgelegt, als vielmehr auf möglichst große Schlagkraft. Zu diesen Geräten sind Pumpentankwagen mit einem Prallteller, Schleudertankwagen und Vakuumtankwagen mit einem Prallteller zu zählen.

Bei der Nutzung der wertvollen Inhaltsstoffe muß der organische Dünger wie Mineraldünger in pflanzenbedarfsgerechter Dosierung und gleichmäßig auf dem Feld verteilt werden, um Ertragseinbußen zu vermeiden. Nur bei gleichmäßiger und kontrollierter Ausbringung ist auch eine Schädigung des Bodens und des Grund- und Oberflächenwassers auszuschließen und die Einhaltung der pro Flächeneinheit maximal auszubringenden Menge, wie sie beispielsweise in der Klärschlammverordnung verlangt wird [1], sinnvoll zu überwachen.

So bieten seit ein bis zwei Jahren einige Firmen "Exaktbreitverteiler" an, die im Vergleich mit den zuvor genannten Geräten eine erheblich gleichmäßigere Breitverteilung bei konstanter Arbeitsbreite ermöglichen: Zu erwähnen ist hier ein Breitverteilungsgestänge mit 5 Prallköpfen, ein Schleppschlauchverteiler und ein schwenkender am Tankwagen montierter Werfer.

Auch die zuletzt genannten Breitverteilungsgeräte ermöglichen nicht die exakte Dosierung einer geforderten Menge je Flächeneinheit, da sich beispielsweise als Folge wechselnder Schlupf- und Gewichtsverhältnisse unterschiedliche Geschwindigkeiten und damit

Abweichungen in der Längsverteilung ergeben, selbst wenn der Durchsatz des Gerätes zeitlich konstant ist. Beim Vakuumtankwagen und bei Tankwagen mit Flügelradpumpen ist aber der zeitliche Durchsatz abhängig von den Fließeigenschaften des Mediums. Bei Gülle ändern sich diese mit dem Feststoffgehalt, der Tierart, der Umpumpdauer, der Lagerzeit, den Lagerungsbedingungen und der Temperatur unvorhersehbar, was zu erheblichen Fehlern bei der Abschätzung des zeitlichen Durchsatzes auch nach vorheriger Probemessung (Zeitnahme für einen Entleerungsvorgang bei Nenndrehzahl) führen kann.

Um die Verteilungsfehler sowohl in Fahrtrichtung als auch quer zur Fahrtrichtung soweit wie möglich auszuschließen, müssen Geräte entwickelt werden, die eine jeweils konstante Arbeitsbreite ermöglichen und Schwankungen im zeitlichen Durchsatz bzw. in der Fahrgeschwindigkeit kompensieren.

2. Anforderungen an das Ausbringungsgerät

Das Ausbringungsgerät muß eine Reihe technischer, betriebstechnischer und ökonomischer Forderungen erfüllen, deren wichtigste sind:

- Gute Verteilqualität
Die pro Flächeneinheit ausgebrachte Menge soll den geforderten Wert auf keiner Teilfläche um mehr als 20 % über- oder unterschreiten. Als Teilflächen sind hier die bei DLG-Prüfungen verwendeten Auffangschalen (500 mm x 500 mm) anzunehmen, da in dieser Größenordnung ein ausreichender Nährstoffausgleich im Boden zu erwarten ist [2]. Die gesamte bei einer oder mehreren Entleerungsfahrten beaufschlagte Fläche ist für die Beurteilung heranzuziehen.
Wird die geforderte Gleichmäßigkeit erreicht, so ist mit nennenswerten Ertragseinbußen durch Über- oder Unterdüngung nicht zu rechnen.
- Leichte Handhabung
Die je Flächeneinheit auszubringende Menge soll am Schlepper oder am Tankwagen einstellbar sein und auch bei schwierigen Bodenverhältnissen und wechselnder Fahrgeschwindigkeit automatisch eingehalten werden; dies gilt insbesondere bei kleinen Ausbringmengen bis 10 m³/ha.
- Unempfindlichkeit gegenüber Umwelteinflüssen
Sowohl der Verteiler als auch die evtl. notwendigen Regeleinrichtungen sollen weitgehend unempfindlich sein gegen Stoß- und andere mechanische Einwirkungen, Temperaturänderungen, Feuchtigkeit sowie gegen starke Verschmutzung und Korrosion.
- Geringe zusätzliche Investitionskosten
Eine Grenze für die akzeptierbaren zusätzlichen Investitionskosten läßt sich nicht festlegen. Allgemein angenommen werden Mehrkosten zwischen 6000 DM und 13000 DM. Die Amortisationszeit kann etwa 2–4 Jahre betragen (durch Einsparen von Mineraldünger und durch Mehrerträge) [3].

*) Dipl.-Ing. Th. Michaelsen ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Institut für Technologie (Leiter: Prof. Dr.-Ing. W. Baader) der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode.

3. Definition und Bestimmen der Verteilgenauigkeit

Die Forderung nach guter Verteilqualität bedeutet, daß für jedes gedüngte Flächenelement die pro Flächeneinheit ausgebrachte Güllemenge möglichst konstant sein soll, bzw. die Abweichungen von dem jeweilig vorgegebenen Sollwert eine bestimmte Größe nicht überschreiten sollen. Entsprechend der Lage der Flächenelemente in bezug auf die Fahrtrichtung läßt sich die Verteilung in zwei Komponenten zerlegen: die Verteilung über der Arbeitsbreite (quer zur Fahrtrichtung – Querverteilung) und die Verteilung in Arbeitsrichtung (längs des Fahrweges – Längsverteilung).

Die Güte der Querverteilung ist vergleichsweise einfach durch Überfahren von über der Arbeitsbreite angeordneten Auffangschalen zu ermitteln, wobei als Maß die maximale Abweichung vom Mittelwert, die Standardabweichung und der Variationskoeffizient angegeben werden [4].

Bei DLG-Prüfungen wird die Querverteilung am Einlauf und am Auslauf einer festgelegten Meßstrecke ermittelt, um eine Abschätzung über die Gleichmäßigkeit der Längsverteilung zu erhalten. Mit den Meßwerten der zwei Querverteilungen ist eine Aussage über die wirklich erreichte Verteilgenauigkeit (über den gesamten Entleerungszeitraum des Tankwagens) auf der beaufschlagten Fläche nicht gegeben.

Objektiver erscheint ein Verfahren, das mit der folgenden kurzen Darstellung vorgeschlagen wird:

Die Querverteilung wird für unterschiedliche Durchsätze ($\dot{V} = (0,5 \div 1,0) \dot{V}_n$) stationär gemessen, indem bei stehendem Verteiler Auffangschalen mit konstanter Geschwindigkeit durch den Schleier gezogen werden [5]. Gleichzeitig wird die jeweilige effektive Arbeitsbreite gemessen. Bei dem anschließenden Feldversuch wird während einer oder mehrerer Fahrten mit vorgegebener flächenbezogener Ausbringungsmenge sowohl die zeitliche Durchsatzmenge, als auch die schlupffreie Fahrgeschwindigkeit laufend dokumentiert (Schreiber). Die so gewonnenen Daten ermöglichen für jede Teilfläche der beaufschlagten Gesamtfläche eine Bestimmung der tatsächlichen flächenbezogenen Menge und damit, nach statistischer Aufbereitung der Daten, eine objektive Beurteilung der Verteilqualität des geprüften Gerätes.

4. Verteilgerät mit geschwindigkeitsabhängiger Regelung des Durchsatzes

In analoger Weise, wie die Verteilgenauigkeit bei bekannter Querverteilung mit den einander zugeordneten Werten von Durchsatz und Fahrgeschwindigkeit zu überprüfen ist, läßt sich die Verteilgenauigkeit optimal einstellen, wenn die Größen Durchsatz und Fahrgeschwindigkeit entsprechend geregelt werden.

Gewünscht wird eine konstante flächenbezogene Ausbringungsmenge:

$$m'' = \frac{m}{A} = \text{const}$$

mit m Masse der Gülle und A Fläche; oder ausgedrückt durch das Volumen V :

$$V'' = \frac{V}{A} = \text{const.}$$

Ist s der Fahrweg beim Ausbringen und b die Arbeitsbreite des Gerätes, so läßt sich auch schreiben:

$$V'' = \frac{V}{s \cdot b} = \text{const}$$

oder auch

$$V'' = \frac{\dot{V}}{v_F \cdot b} = \text{const.}$$

Es wird vorausgesetzt, daß die Arbeitsbreite des Ausbringengerätes wegen des exakten Anschlußfahrens über die Zeit konstant sein soll und die Querverteilung unabhängig von \dot{V} und v_F konstant bleibt. Die Forderung nach konstanter flächenbezogener Ausbringungsmenge ist dann zurückzuführen auf

$$\frac{\dot{V}}{v_F} = \text{const.}$$

Wenn es aufgrund von wechselnden Widerstands- und Kraftschlußverhältnissen schwierig ist, die Fahrgeschwindigkeit konstant zu halten, so kann das Ziel einer konstanten flächenbezogenen Ausbringungsmenge doch erreicht werden, wenn der Quotient \dot{V}/v_F konstant gehalten, d.h. der Durchsatz \dot{V} proportional zu v_F eingestellt wird.

Das Schema der geschwindigkeitsabhängigen Durchsatzregelung ist in Bild 1 dargestellt. Die Meßwerte für die Fahrgeschwindigkeit und den Durchfluß werden laufend mit der Arbeitsbreite zum Istwert der flächenbezogenen Ausbringungsmenge V''_{ist} verrechnet und dieser mit dem Sollwert V''_{soll} verglichen. Bei Abweichungen vom vorgegebenen Sollwert wird der Durchsatz elektrohydraulisch solange verstellt, bis $V''_{ist} = V''_{soll}$ ist. Für den Betrieb dieser Regelung ist es notwendig, während des Ausbringvorgangs kontinuierlich die Größen Durchsatz und Fahrgeschwindigkeit zu messen.

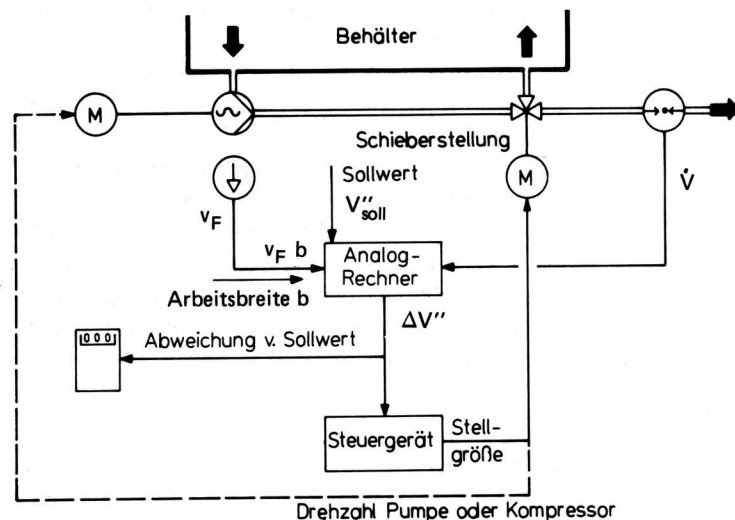


Bild 1. Prinzip einer geschwindigkeitsabhängigen Durchflußregelung.

4.1 Messung des Durchsatzes am Tankwagen

Für die Ermittlung des Durchsatzes kann entweder der Volumenstrom (z.B. Ultraschall- oder Induktionsdurchflußmeßmethode) oder der Massenstrom (z.B. Girometer) gemessen werden. Letzteres ist vorzuziehen, da sich die Dichte der Gülle, die normalerweise etwa gleich der des Wassers ist [2], durch Blasenbildung beim Umpumpen und beim Füllen des Fasses ändern kann. Dies gilt besonders für Vakuumfässer. Eine Bestimmung des Durchsatzes allein über die Ermittlung der mittleren Strömungsgeschwindigkeit in einem Rohr kann also fehlerhaft sein.

Ausreichend gute Ergebnisse wurden mit einer Anordnung erreicht, bei der der dynamische Druck p_{dyn} des in einem Rohr strömenden Mediums gemessen wird. Dieses Verfahren stellt einen Kompromiß dar zwischen der reinen Volumenstrommessung über die Strömungsgeschwindigkeit und der reinen Massenstrommessung. Der dynamische Druck einer Strömung ist nach

$$p_{dyn} = p_{ges} - p_{st} = \rho \cdot v_R^2 / 2$$

linear abhängig von der Dichte des Mediums und quadratisch abhängig von der Strömungsgeschwindigkeit.

Da der Meßwert für den Durchsatz ($\dot{V} \sim A_R \cdot \bar{v}_R$) laufend mit dem linearen Meßwert für die Fahrgeschwindigkeit verarbeitet werden muß, ist eine Linearisierung ($\bar{v}_R \sim \sqrt{p_{dyn}/\rho}$) notwendig. Dichteänderungen werden also nur radiziert erfaßt.

Zur technischen Realisierung dieser Meßmethode sind Prandtlrohre, wie sie zur Strömungsgeschwindigkeitsmessung reiner Medien eingesetzt werden, ungeeignet, da sowohl Gülle als auch Klärschlamm Feststoffpartikel unterschiedlicher Größe enthalten (Einstreu, Papierreste etc.), die das Meßsystem erheblich stören würden. Außerdem erfassen derartige Meßrohre nur einen kleinen Ausschnitt aus dem Gesamtströmungsprofil, das sich in Abhängigkeit von Einlaufstrecke, Viskosität und Strömungsgeschwindigkeit stark verändern kann.

Als Meßelement wird hier ein 90°-Rohrkrümmer verwendet, Bild 2, dessen Außenradius mit einer durch eine Gummimembran abgedeckten Öffnung versehen ist. Über die Membran wirkt auf die wassergefüllte Kammer der dynamische Druck p_{dyn} und der statische Druck p_{st} , der sich durch den Strömungswiderstand nachgeschalteter Bauteile ergibt. Da nur der dynamische Druck ermittelt werden soll, wird der statische Druck in analoger Weise am Innenradius des Krümmers ermittelt und in einer Differenzdruckdose vom Gesamtdruck subtrahiert, Bild 2.

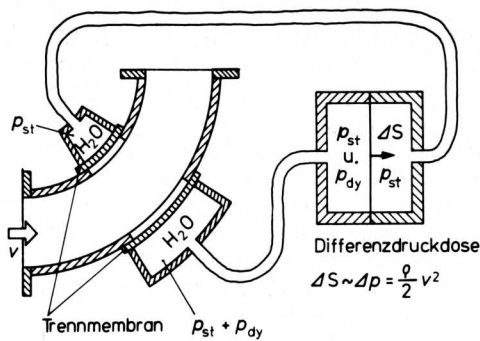


Bild 2. Durchflußmessung über die Drücke an einem 90°-Krümmer.

Der mit dieser Anordnung gemessene Differenzdruck liegt in der Größenordnung 500–8000 Pa, das entspricht bei $\rho = 10^3 \text{ kg/m}^3$ theoretisch Fließgeschwindigkeiten von 1–4 m/s. Unter optimalen Bedingungen an einem Versuchsstand mit einer 10 m langen Beruhigungsstrecke (Rohrdurchmesser 100 mm) und mit Wasser als Medium konnte die Strömungsgeschwindigkeit mit dem beschriebenen Krümmer im vorgenannten Bereich nach der Beziehung $p_{dyn} = \rho v^2/2$ mit einer Genauigkeit von $\pm 3 \%$ gemessen werden. Bei diesen Versuchen wurden die im Krümmer ermittelten Strömungsgeschwindigkeitsmeßwerte jeweils mit den Meßwerten eines vorgeschalteten geeichten induktiven Durchflußmeßgerätes verglichen.

Beim praktischen Einsatz am Tankwagen traten Fehler bis zu $\pm 10 \%$ des jeweiligen mittleren Strömungsgeschwindigkeitsmeßwertes auf, die allerdings auch auf unterschiedliche Dichten des verwendeten Mediums sowie auf eine ungenügende Temperaturstabilisierung der Differenzdruckdose zurückzuführen sind. Außerdem führt die sehr kurze Beruhigungsstrecke (konstruktiv bedingt nur 2,5 m) zu einer unruhigen Strömung im Krümmer, was bei Wirbelbildung ebenfalls Meßfehler hervorrufen kann.

Die Druckkammern der Meßdose sind gegenüber den Druckkammern am Krümmer um 180° versetzt, um Druckschwankungen durch Beschleunigungen des Gesamtsystems auszugleichen (Bild 2).

Das Meßsignal der Druckdose wird temperaturstabil verstärkt, gedämpft (s. Abschn. Zeitverhalten) und elektronisch radiziert. Das Radizieren erfolgt durch einen Operationsverstärker mit vorgepanntem Diodennetzwerk im Gegenkopplungsweig.

4.2 Messen der Fahrgeschwindigkeit

Das Bestimmen der Fahrgeschwindigkeit ist vergleichsweise einfach. Die Fahrgeschwindigkeit wird schlupffrei mit einem Nachlaufrad in der vom Tankwagen gewalzten Spur gemessen. Der lineare geschwindigkeitsproportionale Meßwert wird verstärkt und angepaßt gedämpft der Recheneinheit zugeführt.

4.3 Zeitverhalten

Bei Verwendung einer Exzentrerschneckenpumpe pulsiert der Flüssigkeitsstrom aufgrund der kurzen Beruhigungsstrecke zwischen Pumpe und Meßkrümmer mit doppelter Drehfrequenz ($\Delta p_{dyn} = \pm 0,3 p_{dyn}$). Bei Nenndrehzahl $n_n = 540 \text{ min}^{-1}$ treten Schwingungen von etwa $f = 18 \text{ Hz}$ auf. Diese Schwingungen in der Flüssigkeit sind aus der Funktionsweise der Exzentrerschneckenpumpe zu erklären. Die Pumpe fördert pro Umdrehung zwei abgeschlossene Kammern mit unter geringem Druck (oder Unterdruck) stehendem Medium kontinuierlich in einen Bereich mit höherem Druck. Mit dem jeweiligen Druckausgleich entstehen zwei Druckspitzen pro Umdrehung der Pumpe. Die Amplituden der Druckspitzen sind um so höher, je größer die Druckdifferenz zwischen Pumpeneingang und -ausgang ist.

Die Druckschwingungen werden elektronisch durch ein RC-Glied gedämpft. Als Zeitkonstante ist hier aus Sicherheitsgründen die Umdrehungsdauer T bei $2/3$ der Nenndrehzahl, bei $n = 360 \text{ min}^{-1}$, $T = 0,17 \text{ s}$ anzusehen, da bei erhöhtem Zugkraftbedarf auf schweren feuchten Böden die Zapfwendendrehzahl kurzzeitig in diesen Bereich absinken kann, bevor ein niedrigerer Gang gewählt wird.

Die Druckspitzen der Pumpe haben dann eine Zeitdauer von $T = 0,085 \text{ s}$ und werden damit ausreichend gedämpft. Außerdem werden Schwingungen der Zapfwelle und des Motors von der Dämpfung erfaßt.

Das erforderliche Dämpfungsglied RC ist mit Hilfe der Kondensatorladungsgleichung

$$U(t) = U_0 (1 - e^{-t/RC})$$

$$RC = t / -\ln(1 - U(t)/U_0)$$

zu ermitteln.

Der Quotient $U(t)/U_0$ bezeichnet den Dämpfungsgrad. Für den vorliegenden Fall gilt, daß eine 30%ige sprungförmige Änderung des mittleren Druckmeßwertes ($U_0 = 0,3 U_m$) innerhalb der Zeitspanne von $T = 0,17 \text{ s}$ auf 10% vom Mittelwert gedämpft wird ($U(T) = 0,1 U_m$). Es ist also $U(T)/U_0 = 0,1 U_m / 0,3 U_m = 0,3$.

Unter diesen Voraussetzungen ergibt sich für die Zeitkonstante RC ein Wert von 0,42 s, der mit einem Kondensator der Kapazität $C = 42 \mu\text{F}$ bei Verwendung eines Ladewiderstandes $R = 10 \text{ k}\Omega$ realisiert werden kann.

Die Dämpfung des Fahrgeschwindigkeitsmeßwertes erfolgt analog.

Die Meßwerte für die Fahrgeschwindigkeit und für den Durchfluß werden über einstellbare Vorwiderstände einem Komparator (Operationsverstärker) zugeführt, dessen Empfindlichkeit über ein vorgespanntes Diodennetzwerk so eingestellt ist, daß nur bei Abweichungen von $\pm 10 \%$ vom jeweiligen mittleren Meßwert die nachgeschalteten Treiberstufen durchgeschaltet werden, Bild 3. Die Treiberstufen steuern direkt oder mittels Relais über ein elektrohydraulisches 4/3-Wegeventil einen Differential-Hydraulikzylinder an, der einen Stromteilungsschieber (Dreiweggehahn) bewegt. Der Dreiweggehahn teilt die von der Pumpe kommende Flüssigkeit auf in einen Strom zum Breitverteiler (durch den Durchflußmeßkrümmer) und einen Strom zurück in den Tank. Um ein Überschwingen der Durchflußregelung bei dem vorgenannten Dämpfungsglied zu vermeiden, muß folgende Bedingung erfüllt sein: der mittlere Durchsatz \dot{V}_m darf durch das Stromteilungsventil innerhalb der Zeitspanne $T = 0,17 \text{ s}$ nicht um mehr als $\pm 0,3 \dot{V}_m$ geändert werden.

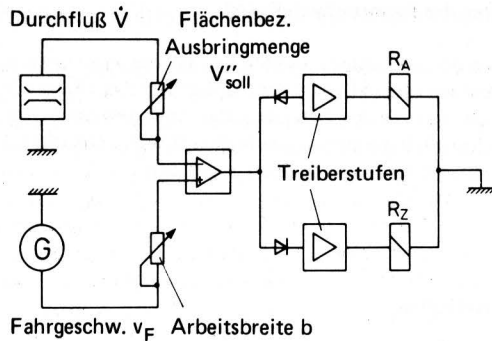


Bild 3. Schaltung des Reglers, schematisch.

Bei den praxisnahen Tests mit dem Versuchstankwagen war ein Überschwingen der Regelung relativ oft zu beobachten (besonders im Bereich $\dot{V}_m < 0,5 \dot{V}_{nenn}$). Dieses Verhalten ist auf die schlechte Stromteilungscharakteristik des serienmäßig eingebauten Dreiweges, insbesondere bei feststoffreichen Medien und bei rauhem Fahrbetrieb (Schwappen der Flüssigkeitssäule im Tankwagen) zurückzuführen (s.a. Versuchserfahrungen der Universität Kiel [2]). Bei stationären Versuchen mit Wasser und simulierter Fahrgeschwindigkeit (regelbare Gleichspannung) trat dagegen kein Überschwingverhalten auf.

Bild 4 zeigt die zeitliche Änderung des Meßwertes p_{dyn} bei einer sprungförmigen Verdoppelung des simulierten Fahrgeschwindigkeitsmeßwertes. Der erforderliche doppelte Durchsatz (vierfache Wert von p_{dyn}) stellte sich bei diesem Versuch nach ca. 0,3 s ein, das entspricht bei einer Fahrgeschwindigkeit $v_F = 1$ m/s einer Strecke von 0,3 m, innerhalb der die flächenbezogene Ausbringung fehlerhaft ist. Dieser Fehler wird durch die Aufschleierung des Breitverteilers weitgehend ausgeglichen. In der Praxis ist mit sprungartigen Änderungen der Meßwerte von Durchfluß und Fahrgeschwindigkeit nicht zu rechnen, so daß der Dämpfungsgrad erheblich erhöht werden kann.

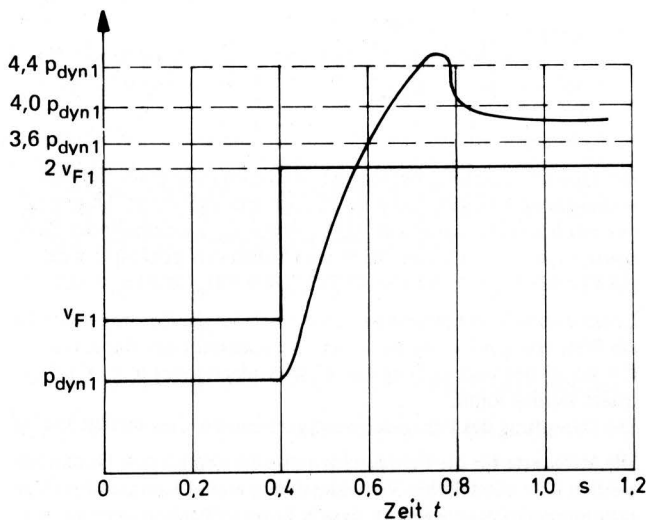


Bild 4. Zeitverhalten des Reglers.

Das vorgenannte Problem des Überschwingens der Regelung ist durch einen kontinuierlich verschließbaren Bypass zu lösen, der im geöffneten Zustand die Hälfte bis 2/3 des Pumpendurchsatzes von oben in den Tank zurückfließen läßt. Die Stromteilungscharakteristik bleibt in diesem Fall konstant (z.B. T-Rohr mit direktem Durchgang zurück in den Tank). Es ist lediglich ein kontinuierlich arbeitendes von der Regelelektronik angesteuertes Absperrventil für den Bypass erforderlich. Der Gegendruck auf den Stromteiler bleibt konstant.

Bei dieser Lösung darf allerdings die Fahrgeschwindigkeit einen Minimalwert, der durch die Nenndurchflußmenge bei geöffnetem Bypass, die eingestellte flächenbezogene Ausbringung und die Arbeitsbreite vorgegeben ist, nicht unterschreiten.

Bei Kompressortankwagen oder bei Tankwagen mit einer Flügelradpumpe ist die Durchsatzregelung weniger kritisch, da der Förderstrom mit einem einfachen Absperrventil geregelt werden kann und da keine direkten motordrehzahlabhängigen Pulsationen auf die Strömung übertragen werden.

5. Aktiver 12 m-Breitverteiler

Die beschriebene Regelung bewirkt bei wechselnder Fahrgeschwindigkeit einen sich proportional ändernden Durchfluß. Damit ist für die geforderte konstante flächenbezogene Ausbringung nur noch eine konstante Arbeitsbreite mit gleichmäßiger Querverteilung zu verwirklichen.

Eine Änderung des Durchsatzes bedeutet bei konstantem Austrittsquerschnitt der Verteileinrichtung eine proportionale Veränderung der Austrittsgeschwindigkeit. Wechselnde Austrittsgeschwindigkeiten führen aber bei passiven Breitverteilungselementen (z.B. Prallblechen) zu einer wechselnden Arbeitsbreite. Beim Versuchsgerät wurden daher aktive Breitverteilungselemente in Form von Schleuderscheiben eingesetzt, die auch bei wechselnder Anströmgeschwindigkeit eine hinreichend konstante Arbeitsbreite aufweisen.

Da die Strömungsverhältnisse auf einer geneigten rotierenden Schleuderscheibe – insbesondere bei der Verwendung von Gülle – nicht theoretisch ermittelt werden können, wurden die optimalen Werte für Drehzahl, Durchmesser, Schaufelzahl und Schaufellänge durch Versuche ermittelt. Bei den im folgenden beschriebenen Schleuderscheiben ändert sich die Arbeitsbreite und die Verteilcharakteristik nicht, solange sich der Durchfluß im Bereich $0,66 \dot{V}_{nenn} < \dot{V} < \dot{V}_{nenn}$ bewegt.

Das in Bild 5 gezeigte einklappbare Breitverteilungsgestänge trägt 3 Schleuderscheiben, die – von Ölmotoren angetrieben – mit konstanter Drehzahl ($n_s = 400 \text{ min}^{-1}$) rotieren. Die effektive Arbeitsbreite der einzelnen Scheibe beträgt 4 m. Die Schleuderscheiben sind mit 8 Wurfschaufeln versehen, Bild 6, und um 14–15° gegen die Horizontale geneigt. Eine Abdeckscheibe mit zentraler Einflußöffnung, Bild 7, verhindert das Hochspritzen der Flüssigkeit.



Bild 5. Versuchstankwagen mit aktivem 12 m-Breitverteiler.

Bild 8 zeigt die Verteilcharakteristik einer Schleuderscheibe. Auf der Abszisse ist die Arbeitsbreite auf der Ordinate die auf den Mittelwert bezogene Ausbringungsmenge aufgetragen. Mittig unter der Schleuderscheibe ist eine deutliche Spitze zu erkennen, die durch die an der Motorhalterung abtropfende Flüssigkeit hervorgerufen wird. Diese Flüssigkeitsmenge fehlt im Bereich links neben der Schleuderscheibe. Dieser Fehler läßt sich durch Optimieren der Motorhalterung oder durch Verlegen des Antriebs über die Abdeckscheibe eliminieren.

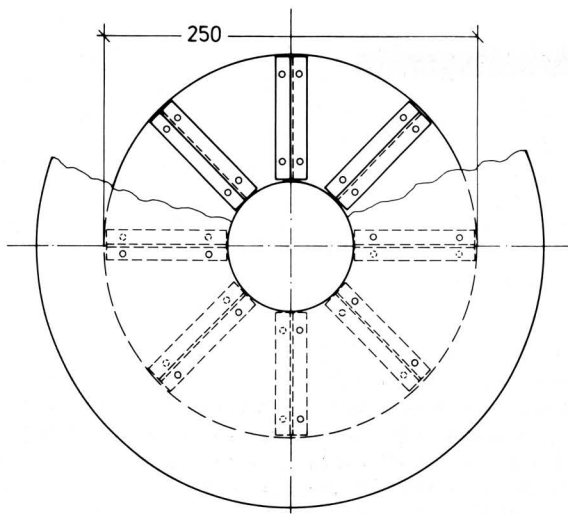


Bild 6. Form und Abmessungen der Schleuderscheibe.

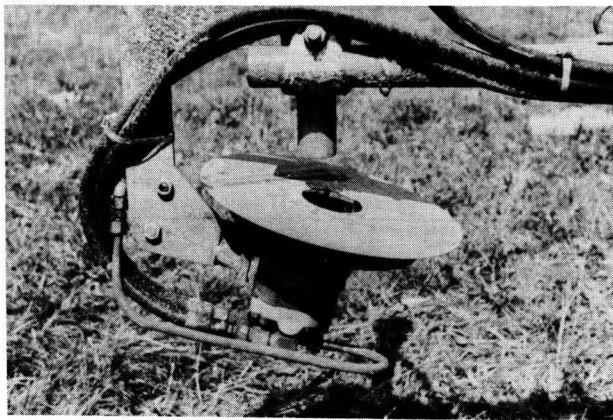


Bild 7. Schleuderscheibe mit Antrieb durch Hydraulikmotor.

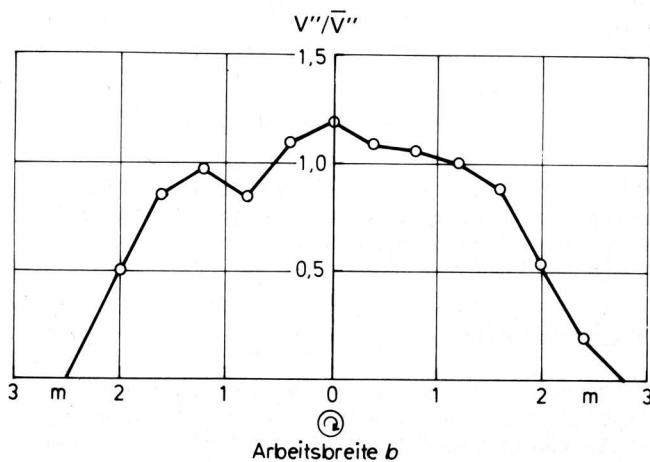


Bild 8. Verteilcharakteristik einer Schleuderscheibe: örtliche flächenbezogene Ausbringmenge im Verhältnis zur mittleren flächenbezogenen Ausbringmenge in Abhängigkeit von der Arbeitsbreite.

Die Verteilcharakteristik ist, bedingt durch die Rotation und den Anstellwinkel, asymmetrisch. Durch Verdrehen des Verteilsystems um einen drehzahlabhängigen Winkel gegen die Drehrichtung der Schleuderscheibe wird dieser Effekt weitgehend aufgehoben. Im vorliegenden Fall müßte der Winkel etwa $10-15^\circ$ betragen. Die abgebildete Verteilcharakteristik wurde durch mehrfaches Überfahren von in einer Reihe aufgestellten Auffangschalen ($400 \text{ mm} \times 250 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$) und Messen der aufgefangenen Flüssigkeitsvolumen ermittelt. Der Abstand der Schleuderscheibe zum Boden betrug 450 mm . Als Medium diente Wasser und Rindergülle mit einem Trockensubstanzgehalt von $5-6\%$. Beim Verteilen von Gülle mußte die Drehzahl der Schleuderscheiben um einen geringen Betrag (etwa 10%) erhöht werden, um die gleiche Arbeitsbreite wie beim Verteilen von Wasser zu erreichen. Die Verteilcharakteristik blieb dabei weitgehend konstant.

Die von Hand ausklappbaren Tragarme zur Befestigung der Schleuderscheiben sind über Kreuzgelenke mit dem Verteilergestänge am Tankwagen verbunden, so daß die Stützräder, die das Gewicht der Antriebsmotoren tragen und die den Abstand zum Boden konstant halten, den Bodenunebenheiten folgen können. Der Rollwiderstand der Stützräder wird durch Drahtseile aufgenommen.

Die mittlere Schleuderscheibe ist an einem etwa 2 m langen zum Transport hochklappbaren Rohr angebracht, um eine Verschmutzung des Tankwagens zu vermeiden.

Das vorgestellte Breitverteilergestänge ist als Versuchsmodell anzusehen, für den praktischen Einsatz ist die Handhabung zu verbessern.

6. Zusammenfassung

Um die düngewirksamen Inhaltsstoffe von Gülle und Klärschlamm vollständig zu nutzen, ist es notwendig, diese Stoffe kurz vor oder während der Vegetationsperiode auszubringen. Dabei muß die vorgesehene flächenbezogene Ausbringmenge auf der gesamten zu düngenden Fläche so genau wie möglich eingehalten werden. Eine fahrgeschwindigkeitsabhängige Regelung des Durchsatzes ermöglicht in Verbindung mit einer exakten Breitverteilung die Einhaltung einer einstellbaren Gabe pro Flächeneinheit. Die exakte Breitverteilung des geregelten Flüssigkeitsstromes wird über ein Breitverteilergerät mit drei hydraulisch angetriebenen Schleuderscheiben mit insgesamt 12 m Arbeitsbreite erreicht. Mit dem vorgestellten Gerät ist es möglich, Gülle und Klärschlamm gezielt als Dünger einzusetzen.

Schrifttum

Bücher sind durch ● gekennzeichnet

- [1] Klärschlammverordnung vom 1.4.1983.
- [2] Luoma, T.S.: Ausbringen von Flüssigmist. KTBL-Schrift 279. Münster-Hiltrup: Landwirtschaftsverlag 1982.
- [3] Flüssigmist in der Landwirtschaft. Vorträge der KTBL-Tage 1983 in Würzburg. KTBL-Arbeitspapier Nr. 80, Darmstadt: KTBL 1983.
- [4] Isensee, E. u. T.S. Luoma: Flüssigdüngung genauer ausbringen. Landtechnik Bd. 36 (1981) Nr. 5, S. 224/27.
- [5] Krause, R., H. Lübbens u. Th. Michaelsen: Zur Technologie des Ausbringens von Flüssigmist und Klärschlamm. Grndl. Landtechnik Bd. 30 (1980) Nr. 6, S. 184/94.