

Lufttrockene Rapskörner mit einem Feuchtegrad von 7,2 % erfordern eine eindimensionale Stauchung von ca. 14 %, um die Samenschale zum Zerreißen zu bringen. Bei 17 % Feuchtegrad steigt dieser Wert auf ca. 17 % an.

Die theoretische Temperaturerhöhung beim Bruch lag selbst bei luftgetrockneten Körnern unter 1 °C, so daß auch bei Berücksichtigung zusätzlicher Reibungswärme eine Schälmaschine ohne besondere Kühlung auskommen kann.

Schrifttum

Bücher sind durch • gekennzeichnet

- [1] Huff, H.B. u. E. Hatley: Soybeans and rapeseed crops. Proceedings of Challenge for Agriculture Conference, University of Guelph, Ontario, 1972.
- [2] • Timoshenko, S. u. D. Young: Elements of strength of materials. New York: D. Van Nostrand Co., 1968.
- [3] • Warnock, F.V.: Strength of materials. London: Pitman & Sons Ltd., 1955.
- [4] Middendorf, F.J.: Physical and mechanical properties of rapeseed. M. Sc.-Thesis, School of Engineering, Guelph, 1972.
- [5] Narayan, C.V.: Behavior of wheat grains in bulk under high pressure. M. Sc.-Thesis, School of Engineering, Guelph, 1966.
- [6] • Earle, R.L.: Unit operations in food processing. Oxford, London: Pergamon Press, 1966.
- [7] Davison, E., A.G. Meiering u. F.J. Middendorf: A theoretical stress model of rapeseed. Can. Agr. Eng. J., Bd. 21 (1979) Nr. 1, S. 45/46.

Verwendete Formelzeichen

c	Spezifische Wärme
d	Korndurchmesser
E	Elastizitätsmodul
F(r)	Druckkraft
H	Enthalpie
p	Druck innerhalb der Samenschale
Q	Wärmemenge
r	Kornradius
T	Korntemperatur
ΔT	Erhöhung der Korntemperatur
V	Volumen des Sameninhaltes
V_0	Anfangsvolumen des Sameninhaltes
W	Gesamtverformungsarbeit
W_k	Verformungsarbeit des Sameninhaltes
W_s	Verformungsarbeit der Samenschale
z	Dicke der Samenschale
ϵ	Dehnung der Samenschale
μ	Poissonsche Zahl des Schalenmaterials
ρ	Dichte der Rapskörner
χ	Kompressibilitätskoeffizient des Sameninhaltes
σ	Zugspannung in der Samenschale

Zur Technologie des Ausbringens von Flüssigmist und Klärschlamm

Von Rüdiger Krause, Heiko Lübbers und Thomas Michaelen, Braunschweig*)

DK 631.862:631.333.4

Durch eine geordnete, umweltneutrale Rückführung landwirtschaftlicher ebenso wie kommunaler Rest- und Abfallstoffe in die pflanzliche Produktion werden teure und ökologisch fragwürdige Formen der Beseitigung überflüssig. Voraussetzung für eine landwirtschaftliche Verwertung ist die Verfügbarkeit geeigneter Gerätesysteme, die bei einwandfreier Funktion auch den arbeitswirtschaftlichen und produktionstechnischen Anforderungen gerecht werden. Der mobilen Ausbringung flüssiger Substrate wie Klärschlamm und Flüssigmist mit Hilfe von Tankwagen wird wegen der hohen Flexibilität in vielen Fällen der Vorzug gegeben. Eine hinreichend genaue Dosierung und Verteilung der Substrate auf der Fläche ist jedoch im allgemeinen nicht sichergestellt. Die vorliegenden Untersuchungen einzelner Elemente und ihrer Funktion sollen daher neue Impulse geben zur Entwicklung verbesserter und alternativer Lösungen.

*) Dr.-Ing. R. Krause ist wissenschaftlicher Oberrat am Institut für Technologie (Leiter: Prof. Dr.-Ing. W. Baader) der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode, cand. mach. H. Lübbers und cand. mach. Th. Michaelen sind Studenten des Maschinenbaus der TU Braunschweig und haben die Untersuchungen am Prallteller unter Leitung des Erstgenannten durchgeführt.

1. Einleitung – Anforderungen an die Ausbringung

Steigende Preise für Mineraldünger machen eine bessere Nutzung der in Wirtschaftsdüngern und Klärschlamm enthaltenen Nährstoffe wünschenswert. Häufig fehlt es jedoch an einer entsprechenden Betriebsorganisation ebenso wie an geeigneten technischen Mitteln, so daß wertvolle Rohstoffe auch heute noch weitgehend ungenutzt bleiben.

Der Ausbringetermin wird vorwiegend vom verfügbaren Speicherraum bestimmt. Spezifische Anforderungen der Fruchtfolgen, Beschränkungen innerhalb der Vegetationsperioden, klimatische Bedingungen und die Anforderungen des Umweltschutzes beschränken die verfügbare Zeit häufig auf ein Minimum und machen schlagkräftige Verfahren zum Ausbringen erforderlich.

Während bei der Ausbringung von Flüssigmist und Klärschlamm zu Stoppel oder Gründung im Herbst, teilweise auch zu Mais im Frühjahr, zulässige Aufwandmengen nur durch die mögliche Belastung von Boden, Grund- und Oberflächenwasser begrenzt werden und keine besonderen Anforderungen an die Genauigkeit der Verteilung auf der Fläche gestellt werden, dürfen bei Gaben zu Futterzwischenfrucht wegen der Nitrat-Akkumulation in der Pflanze bestimmte Grenzen nicht überschritten werden. Flüssigmistgaben zu Getreide im Frühjahr müssen wegen der Gefahr von Lagergetreide niedrig gehalten werden (teilweise unter 10 m³/ha) und gut verteilt sein. Die Transportkapazität bestimmt die Schlagkraft. Die arbeitswirtschaftlichen und ökonomischen Zusammenhänge von Transportentfernung, Transportgeschwindigkeit und Behältervolumen sind im Schrifttum behandelt [1]. Einer hohen Transportleistung stehen neben der begrenzten Tragfähigkeit des landwirtschaftlichen Wegenetzes besonders bei der Frühjahrsausbringung die Gefahren tiefer Spuren und von Strukturschäden auf den landwirtschaftlich genutzten Flächen entgegen. Durch Reifenwahl und

Luftdruck kann der Bodendruck nur geringfügig verändert werden, so daß schlagkräftige Systeme — zumindest bei größeren Transportentfernungen — eine Trennung von Transport bis zum Feldrand und Verteilen auf dem Feld erfordern [2].

Um eine hohe Schlagkraft beim Ausbringen auf landwirtschaftlich genutzten Flächen zu erreichen und den Spurenanteil so gering wie möglich zu halten, ist ferner eine Abstimmung von Aufwandmenge und Durchsatz, Behältervolumen, Arbeitsbreite und Arbeitsgeschwindigkeit mit der jeweiligen Schlaglänge erforderlich [3].

Die gleichermaßen wichtige Abstimmung von Bedarf und Verfügbarkeit der Nährstoffe wird selten ausreichend berücksichtigt, so daß hohe Stickstoffverluste durch Auswaschung auftreten. Zur Vermeidung von Geruchsemissionen, Oberflächenablauf und gasförmigen Stickstoffverlusten wird schnelles oder direktes Einarbeiten gefordert.

Ein weites Spektrum von Einsatzbedingungen, Aufwandmengen und Anforderungen an die räumliche Verteilung muß mit der gleichen technischen Ausrüstung abgedeckt werden. Häufig werden daher mögliche Einsatzbereiche für Flüssigmist und Klärschlamm wegen unzureichender Funktion der Ausbringgeräte gar nicht genutzt (z.B.: die Frühjahrsgabe zu Getreide).

Der Platzierung von Flüssigmist und Klärschlamm im Boden und relativ zur Pflanze wird bislang noch wenig Beachtung geschenkt. Es ist jedoch bekannt, daß Oberflächenausbringung mit Verlusten an gasförmigen Nährstoffen verbunden ist und daß zu tief eingebrachte Nährstoffe für Wurzeln junger Pflanzen nicht erreichbar sind. Die Notwendigkeit einer gleichmäßigen Verteilung von Mineraldünger ist dagegen unbestritten. Teilweise wird Mineraldünger sogar sehr exakt an das Saatgut herangebracht (Einzelkornsäuger mit Reihendüngerovorrüstung). Die Unterblatt- bzw. Kopfdüngung mit Flüssigmist wird nur bei Mais und Zuckerrüben in begrenztem Umfang praktiziert. Eine Anpassung der Ausbringgeräte an Spurrassen könnte auch im Getreidebau eine Kopfdüngung ermöglichen.

2. Gerätetechnik

Der gezielte Einsatz von Flüssigmist und Klärschlamm mit weitgehender Nutzung der enthaltenen Nährstoffe ist nur möglich, wenn Geräte zur Verfügung stehen, die funktionell und arbeitswirtschaftlich denen zum Ausbringen von Mineraldünger entsprechen.

Probleme bereitet dabei insbesondere die geforderte gleichmäßige Verteilung konstanter Aufwandmengen. Entscheidende Elemente für die Verteilfunktion eines Tankwagens sind

- das Förderelement: Kompressor, Pumpe, Rührwerk und
- das Verteilorgan: Prallteller oder Schleuder.

Die Anforderungen an das Förder- und Verteilsystem eines Tankwagens können etwa in der Reihenfolge ihrer Bedeutung wie folgt zusammengefaßt werden:

- hoher Durchsatz
- große Funktionssicherheit (auch bei Fremdkörpern, bei wechselnder Viskosität und Austrocknen von Rückständen)
- ausreichende Arbeitsbreite (wenig Spuren)
- Möglichkeit zum Ausbringen unterschiedlicher, auch kleiner Aufwandmengen
- exaktes Einhalten der gewählten Aufwandmenge
- gleichmäßige Verteilung
- geringer Leistungsbedarf
- geringe Verschmutzung von Tankwagen, Schlepper und Verkehrsflächen.

Einzelne der Forderungen stehen einander entgegen, so daß ein Kompromiß gesucht werden muß.

Bei zunehmender Übertragung der Ausbringung von Flüssigmist und Klärschlamm an Lohnunternehmer oder bei überbetrieblichem Maschineneinsatz ist ein erhöhter technischer Aufwand gerechtfertigt, um dem Landwirt die Garantie und Kontrolle für sachgerechte Erledigung der Arbeit zu geben und eine leistungsgerechte Abrechnung zu ermöglichen. Hohe jährliche Einsatzzeiten und situationsgerechte Auswahl der eingesetzten Tankfahrzeuge aus einer

Reihe verfügbarer Alternativen sind deutliche Vorzüge gegenüber einer innerbetrieblichen Lösung. Bei konventionellen Tankwagen hat der Fahrer keine Kontrolle über die Funktion, den aktuellen Durchsatz und die Aufwandmenge.

Die Aufwandmenge m ist abhängig vom Durchsatz \dot{V} , der Arbeitsgeschwindigkeit v und der Arbeitsbreite b ($m = \dot{V}/v \cdot b$). Selbst wenn \dot{V} und b konstant sind, kann sich v und damit m in Abhängigkeit von den Einsatzbedingungen ändern. Eine exakte Durchsatzmessung (\dot{V}) fremdstoffbeladener Medien wie Flüssigmist oder Klärschlamm ist sehr aufwendig. Es bietet sich nur eine wechselstromgespeiste induktive oder Ultraschallmessung an. Weniger genau aber dennoch ausreichend erscheint eine Druckmessung.

Bild 1 zeigt die Ergebnisse einer Vergleichsmessung zwischen einem induktiven Durchflußmesser und einem einfachen Membran-Druckmesser mit Sperrflüssigkeit. Bild 2, im Hauptrohr eines Tankwagens. Zwar ist der Meßwert des Membran-Druckmessers abhängig von der Dichte des Mediums, doch ist eine Kalibrierung über das bekannte Faßvolumen leicht möglich. Eine Anzeige der aktuellen Aufwandmenge kann nur unter Berücksichtigung der momentanen Fahrgeschwindigkeit erfolgen. Preiswerte Mikroprozessoren zur Ermittlung der Aufwandmenge aus Druck und Fahrgeschwindigkeit sind bereits auf dem Markt und könnten am Fahrerplatz installiert werden.

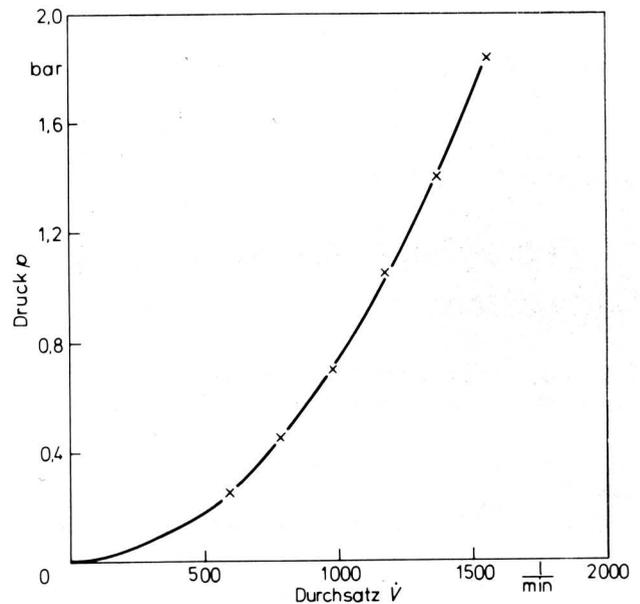


Bild 1. Druck im Hauptrohr eines Tankwagens in Abhängigkeit vom Durchsatz.

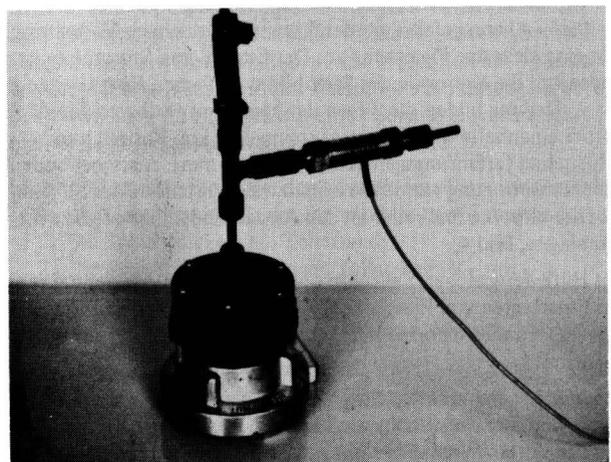


Bild 2. Membran-Druckmeßeinrichtung mit Sperrflüssigkeit.

Weicht der Istwert vom Sollwert der Aufwandmenge ab, so hat der Fahrer die Möglichkeit, über Fahrgeschwindigkeit, Drehzahl der Zapfwelle oder Schieberstellung die Abweichung zu korrigieren. Eine selbsttätige Regelung der Aufwandmenge $m \sim v$ ist aufwendiger. Dabei ist insbesondere zu beachten, daß sich auch das Streubild (Streubreite b) im allgemeinen mit dem Durchsatz ändert.

In Anlehnung an die Technik zum Ausbringen von Pflanzenbehandlungsmitteln [4] kann die Förderleistung u.a. mit Hilfe einer Verstellpumpe geregelt werden. Der an sich naheliegende Bodenantrieb, wie er auch an Streufahrzeugen für körniges Gut verwendet wird, verbietet sich wegen des relativ hohen Leistungsbedarfes der Pumpen. Der Antrieb über einen drehzahlgeregelten Hydromotor ist teuer.

Wird eine gleichmäßige Verteilung der Aufwandmenge über die Fläche gefordert, so muß neben der geschwindigkeitsabhängigen Durchflußregelung (gleichmäßige Verteilung in Arbeitsrichtung) auch eine gleichmäßige Verteilung über die Breite und eine der Verteilcharakteristik entsprechende seitliche Überlappung benachbarter Streifen gefordert werden.

Bei konventionellen Tankwagen wird die gesamte Aufwandmenge mit Hilfe eines Pralltellers, eines Seitenverteilers oder einer Schleuder über die gesamte Arbeitsbreite ausgebracht. Ein hoher Abgabepunkt, Bild 3, ermöglicht eine große Wurfweite, d.h. Arbeitsbreite. Die Genauigkeit der Verteilung entspricht den Anforderungen häufig nicht, insbesondere da die Windabdrift – und damit auch die Geruchsemission – mit der Auflösung des Flüssigkeitsstromes bis zur Aerosolbildung und mit der Länge der Wurfbahn zunimmt.



Bild 3. Tankwagen mit hoch angebrachtem Prallteller.

Die Aufteilung des Gesamtstromes in Teilmengen, die näher an die Zielflächen herangeführt werden können (bodennahe Verteilung), läßt eine sicherere Platzierung zu. Der Einfluß von Störgrößen ist geringer und die Kontrolle des Streubildes einfacher. Eine Grenze in der Aufteilung bilden die wegen der kaum vermeidbaren Fremdkörper einzuhaltenden Mindestdurchmesser von Rohren und Schläuchen (erfahrungsgemäß etwa 40–50 mm). Auch bei bodennahe Ausbringung wurde die horizontale Verteilung des Substrates über einzelne Prallteller an den Auslaufenden bzw. Düsen vorgeschlagen, Bild 4.

Mit Hilfe der gleichen Fallrohre und Prallteller wurde beim direkten Einarbeiten von Flüssigmist und Klärschlamm in den Boden eine nahezu ideale horizontale und vertikale Verteilung erreicht [5].

Schünke hat sich mit den Streuprofilen von Streuern für Mineraldünger und der notwendigen seitlichen Überlappung befaßt [6]. Für das Verteilen von Flüssigmist und Klärschlamm gelten im Prinzip die gleichen Zusammenhänge. Zwei deutlich voneinander abweichende Einstellungen für den einzelnen Prallteller seien unterschieden, Bild 5:

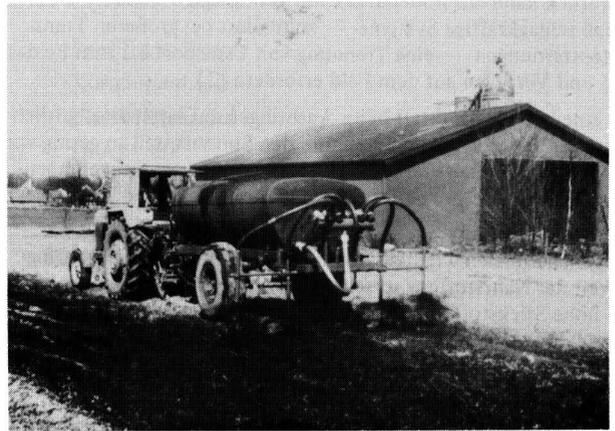


Bild 4. Tankwagen mit bodennahe Ausbringung über mehrere Prallteller.

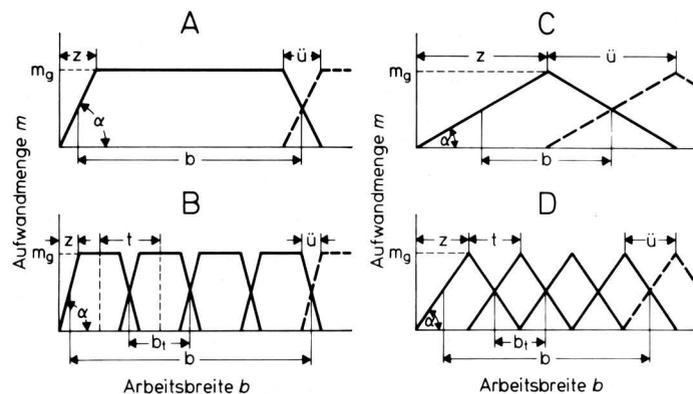


Bild 5. Geometrische Verhältnisse bei Anwendung unterschiedlicher Streuprofile für einen Prallteller (A u. C) und für vier Prallteller (B u. D).

1. Die volle Aufwandmenge m wird möglichst gleichmäßig (Bild 5 A) über die gesamte Streubreite verteilt, mit steil abfallenden Flanken (in Bild 5 werden die Flanken vereinfachend als linear angenommen). Die effektive Arbeitsbreite b entspricht weitgehend der bei einmaligem Durchgang beaufschlagten Breite.
2. Die Verteilung sei dreiecksförmig; die gewünschte Aufwandmenge m_g wird nur in der Mitte erreicht (Bild 5 C).

Die Größe des Flankenwinkels α der Verteilung ist ein Maß für die erforderliche Überlappung \bar{u} . Bei linearem Flankenanstieg gilt: $\bar{u} = m/tg\alpha$. Bei großem α ist wenig Überlappung erforderlich.

Bei der Einstellung nach Bild 5 A ist die notwendige Überlappung \bar{u} sehr viel kleiner als die effektive Streubreite b ($\bar{u} \ll b$). Bereits geringe Fahrfehler führen zu stark überbeaufschlagten oder ungedüngten Streifen. Auch Schwankungen im Durchfluß wirken sich entsprechend aus. Andererseits kann bis dicht an den Rand der Parzelle sehr exakt gedüngt werden (z ist klein).

Das Streubild nach Bild 5 C erfordert eine vollständige Überlappung ($\bar{u} = b$). Schwankungen im Streubild oder Fahrfehler wirken sich sehr viel weniger aus. Dafür verbleibt ein breiter Randstreifen mit nach außen hin abfallender Beaufschlagung (z ist groß). Soll die gleiche effektive Arbeitsbreite mit Mehrtelleranlagen erreicht werden, muß mit größeren Flankenwinkeln gearbeitet werden (Bild 5 B und D). Die effektive Arbeitsbreite b des Tankwagens setzt sich aus den n Teilbreiten b_t zusammen ($b = \sum^n b_t$). Schwankungen im Streubild führen zu Über- oder Unterbeaufschlagung in nur schmalen Streifen und wirken sich kaum auf den Pflanzenertrag aus. Bei Mehrtelleranlagen können die Randstreifen exakter gedüngt werden.

Auch eine mehrfache Überlappung ($t < \bar{u}$) ist möglich, erfordert jedoch besonders kleine Rohrquerschnitte, wodurch die Verstopfungsgefahr erhöht wird.

3. Experimentelle Untersuchungen

Um die Möglichkeiten und Grenzen gleichmäßiger Verteilung von Flüssigkeiten mit Hilfe von Pralltellern besser beurteilen zu können, wurde an einem stationären Versuchsstand, Bild 6, der Einfluß der folgenden konstruktiven Parameter auf die Verteilung untersucht [7], Bild 7:

- γ Neigung des Hauptrohres gegenüber der Horizontalen
- α Neigung des Pralltellers gegenüber der Rohrachse (Stromablenkung)
- a Abstand vom Mittelpunkt des Pralltellers zum Ende des Rohres bzw. der Düse
- h Höhe des Pralltellermittelpunktes über dem Boden
- β Neigung des Pralltellers gegen die Bodenoberfläche
- d Durchmesser des Pralltellers
- v_R Strömungsgeschwindigkeit beim Verlassen des Hauptrohres.

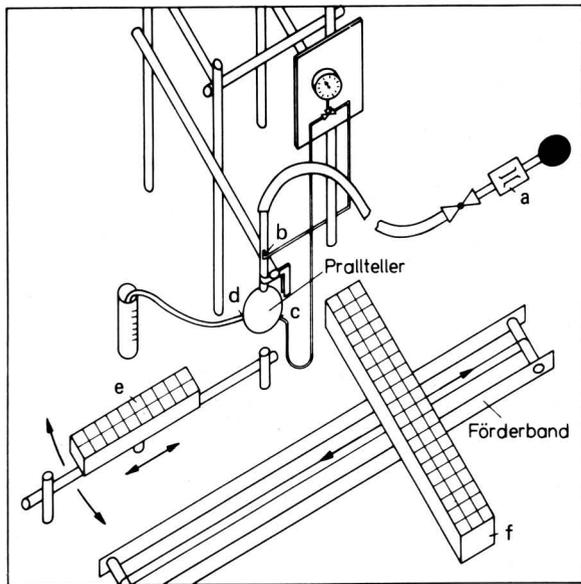


Bild 6. Versuchsstand zur Untersuchung der Flüssigkeitsverteilung mit Pralltellern.

- a Durchflußmessung
- b Durchflußkontrolle (Pilotrohr)
- c Geschwindigkeitsmessung am Tellerrand
- d Durchflußmessung am Tellerrand
- e Sprungweitenmessung
- f Messung der Aufwandmenge am Zielort

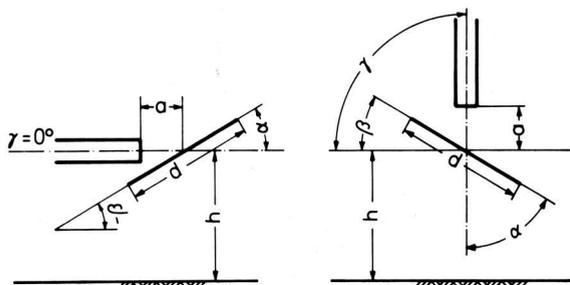


Bild 7. Konstruktions- und Einstellgrößen am Prallteller.

Als Untersuchungsmedium diente ausschließlich Wasser. Die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf Flüssigmist und Klärschlamm sei an anderer Stelle diskutiert. Der untersuchte Teller ist kreisrund, eben und stets mittig beaufschlagt. Der Durchmesser beträgt 200 mm.

Entscheidend für die Verteilung am Boden sind Geschwindigkeit und Richtung der Strömung, der Durchfluß am Tellerrand sowie die Tropfengröße. Tropfengröße und Schichtdicke des Films am Tellerrand sind gleichfalls wesentliche Kriterien für die Anfälligkeit der Verteilung gegen Seitenwind und Windabdrift. Die Abdrift steigt umgekehrt proportional zur Tropfengröße. Erst das Tropfengrößenspektrum gibt daher genauere Auskunft über den mengenmäßigen Umfang der Abdrift. Großtropfiges Ausbringen sollte in jedem Falle angestrebt werden, erfordert jedoch einen geringen Druck am Rohrende. In der Praxis dagegen wird im allgemeinen mit Düsen gearbeitet, Bild 8, um die Austrittsgeschwindigkeit und damit die Streubreite zu erhöhen.

Ein Sonderfall ist die Ausbildung einer geschlossenen Flüssigkeitsglocke, wie sie sich bei niedriger Abprunggeschwindigkeit am Prallteller ausbildet, Bild 9. Aufgrund der großen Windangriffsfläche ist hier mit besonders starkem Windeinfluß zu rechnen.

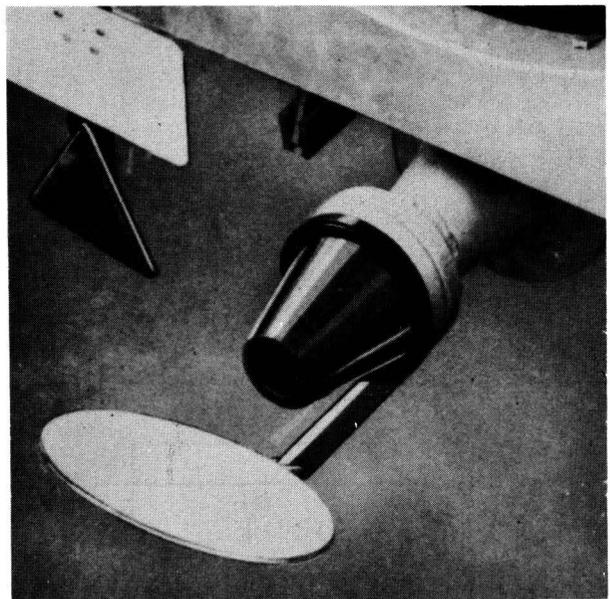


Bild 8. Gummidüse mit Prallteller.

Im Bereich der untersuchten Strömungsgeschwindigkeiten ($v_R = 3-9$ m/s) war der Einfluß der Rohrneigung γ gegen die Horizontale auf die Strömungsgeschwindigkeit v_T am Tellerrand, Bild 10, vernachlässigbar klein. Sämtliche folgenden Versuche zur Bestimmung von Geschwindigkeit und Durchfluß am Tellerrand wurden daher mit senkrechtem Rohr ($\gamma = 90^\circ$) durchgeführt, insbesondere auch im Hinblick auf eine bodennahe Ausbringung mit mehreren Abgängen in senkrechter Anordnung.¹⁾

Im Anschluß seien die folgenden Größen detailliert untersucht:

1. Die Geschwindigkeit der Strömung v_T am Tellerrand
2. Die Schichtdicke c am Tellerrand
3. Die Durchflußverteilung am Tellerrand ($\dot{V}_T = f(\psi)$)
4. Die Sprungweite s
5. Die Verteilung der Aufwandmenge m über die Arbeitsbreite b .

¹⁾ Am Rande sei jedoch bemerkt: Wenngleich die bodennahe Ausbringung große Vorteile hat bezüglich der Verteilgenauigkeit, so darf keineswegs außer Acht gelassen werden, daß kurze Wurfbahnen (h ist klein und β positiv) zu hohen Aufprallgeschwindigkeiten (zumindest aus dem nach unten gerichteten Segment des Tellers) führen. Hier müssen Grenzwerte eingehalten werden, um Strukturschäden am Boden, Auswaschung und Verkrustung zu vermeiden.



Bild 9. Ausbildung einer glockenförmigen Flüssigkeitsmembran.

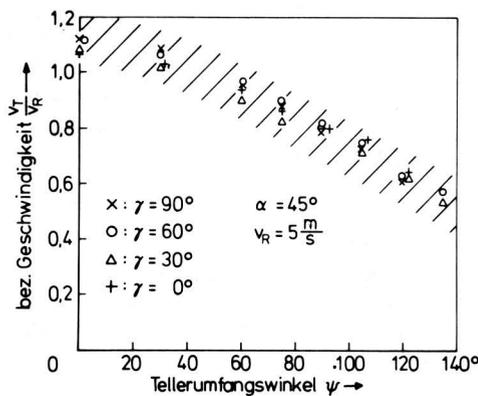


Bild 10. Geschwindigkeit am Tellerrand v_T , bezogen auf die Geschwindigkeit im Rohr v_R , in Abhängigkeit vom Tellerumfangswinkel für verschiedene Neigungswinkel des Rohres gegen die Horizontale.

3.1 Die Geschwindigkeit der Strömung am Tellerrand

Die Geschwindigkeit v_T wurde mit Hilfe eines Pitotrohres gemessen. Bei waagerechtem, senkrecht angeströmten Teller ist die Geschwindigkeit an jedem Punkt des Tellerrandes gleich. Wird der Teller gegen die Rohrachse geschwenkt, so treten aufgrund der unterschiedlichen Stromablenkung (bei geringen Geschwindigkeiten auch infolge der Fallbeschleunigung) unterschiedliche Geschwindigkeiten am Tellerrand auf. Die Stromfäden längs der Schwenkachse des Tellers ($\psi = 90^\circ$), Bild 11, erfahren unabhängig vom

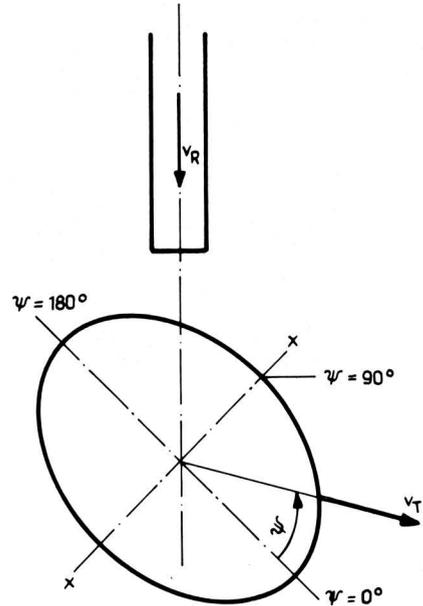


Bild 11. Festlegung der am Prallteller verwendeten Größen.

Schwenkwinkel α stets eine rechtwinkelige Umlenkung. Die Schwenkachse des Pralltellers liege stets sowohl für die Standardanordnung von Pralltellern an Tankwagen als auch für die bodennahe Ausbringung quer zur Fahrtrichtung. Die Stromumlenkung in Richtung der Schwenkachse ist entscheidend für die Arbeitsbreite und seitliche Überlappung der Streubilder. Die Strömungsrichtung am Tellerrand im Punkte $\psi = 90^\circ$ ist stets horizontal. Alle übrigen Stromfäden erfahren bei $\alpha \neq 0^\circ$ eine von 90° abweichende Ablenkung.

Das Bild 12 zeigt für 2 konstante Strömungsgeschwindigkeiten v_R im Rohr ($v_R = 3 \text{ m/s}$ und $v_R = 5 \text{ m/s}$) die auf diese Geschwindigkeit bezogene Geschwindigkeit am Tellerrand v_T , aufgetragen über dem Umfangswinkel des Tellers ψ für einen Anstellwinkel $\alpha = 30^\circ$. Im Bereich $\psi = 0^\circ$ entspricht die Geschwindigkeit am Rand (Randgeschwindigkeit) etwa der Geschwindigkeit im Rohr (Rohrgeschwindigkeit). Im Bereich der Schwenkachse quer zur Arbeitsrichtung ($\psi = 90^\circ$) entspricht die Geschwindigkeit am Tellerrand nur noch etwa 65 % der Rohrgeschwindigkeit. Das Verhältnis von Strömungsgeschwindigkeit am Tellerrand zur Strömungsgeschwindigkeit im Rohr v_T/v_R zeigt zwischen $v_R = 3 \text{ m/s}$ und $v_R = 5 \text{ m/s}$ keine signifikanten Unterschiede, d.h. v_T wächst proportional zu v_R .

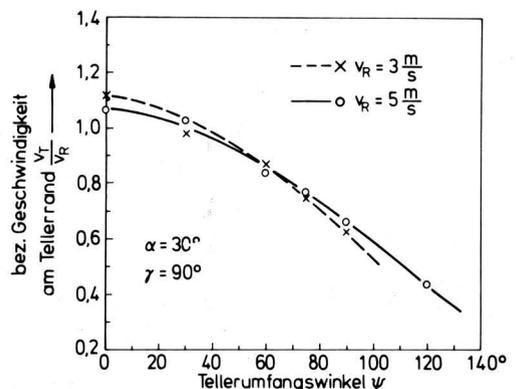


Bild 12. Bezogene Geschwindigkeit am Tellerrand als Funktion des Tellerumfangswinkels für zwei verschiedene Geschwindigkeiten im Rohr.

In Bild 13 ist v_T/v_R über dem Neigungswinkel des Tellers α gegenüber der Rohrachse dargestellt. Im Bereich $\psi = 0-45^\circ$ hat der Tellerneigungswinkel, abgesehen von ganz kleinen Anstellwinkeln ($\alpha < 30^\circ$), wenig Einfluß auf die Randgeschwindigkeit. Die Geschwindigkeit am Tellerrand entspricht stets etwa der Rohrgeschwindigkeit.

Bei $\alpha = 90^\circ$ ist die bezogene Geschwindigkeit erwartungsgemäß unabhängig vom Tellerumfangswinkel ψ . Für die Arbeitsbreite und seitliche Überlappung ist dabei wichtig, daß die Geschwindigkeit am Tellerrand v_T im Bereich $\psi = 90^\circ$ mit steigender Strahlablenkung (α wird größer) wächst. Wegen der besonderen Bedeutung der Rohrgeschwindigkeit für die Verteilung werden, wie bereits erwähnt, häufig Düsen am Auslaufende des Rohres verwendet (Bild 9), um eine hohe Aufprallgeschwindigkeit am Teller zu erreichen.

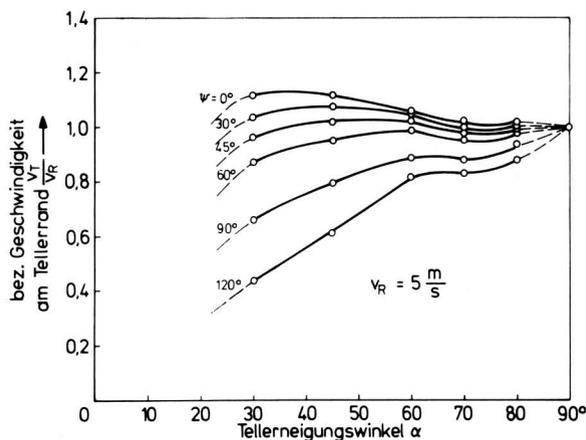


Bild 13. Bezogene Geschwindigkeit am Tellerrand in Abhängigkeit vom Tellerneigungswinkel mit dem Tellerumfangswinkel als Parameter.

3.2 Die Schichtdicke am Tellerrand

Für den einfachen Fall eines senkrecht angeströmten, horizontalen Tellers ($\alpha = 90^\circ$, $\gamma = 90^\circ$) gilt mit $v_R = \text{konstant}$:

$$A_R v_R = A_T v_T = \text{const.}$$

Dabei ist $A_T = U c$
und $U = \pi d$,

d.h. U ist proportional d , und für $A_T = \text{const.}$ gilt dann:

$$c \sim 1/d.$$

D.h. die Schichtdicke c des Flüssigkeitsfilmes auf dem Prallteller nimmt umgekehrt proportional zur Entfernung vom Mittelpunkt des Tellers bzw. mit dem Durchmesser d des Tellers ab. Da v_T unter dem Einfluß der Reibung jedoch ebenfalls abnimmt, bleibt die Abnahme der Schichtstärke zum Tellerrand hin entsprechend geringer.

Die Messung der Schichtstärke am Tellerrand bereitet wegen der Unregelmäßigkeiten der umgelenkten Strömung erhebliche Schwierigkeiten und wurde daher nicht durchgeführt. Visuell ist jedoch ein Aufreißen der geschlossenen Flüssigkeitsschicht zu einzelnen radialen Strahlen aufgrund der Oberflächenspannung und der wirkenden Zentrifugalkräfte deutlich zu erkennen, Bild 14. Bleibt der Film auch nach Verlassen des Pralltellers erhalten, so bildet sich die bereits erwähnte geschlossene Glocke (Bild 8).



Bild 14. Ausbildung einzelner Stromfäden am Prallteller.

3.3 Die Durchflußverteilung am Tellerrand

Der Durchfluß am Tellerrand wurde segmentweise mit Hilfe eines radial am Tellerrand angeordneten, über den Tellerumfang schwenkbaren Vierkantrohres mit Auffangbehälter (Segment 32 mm breit, entsprechend 18° Umfangswinkel) gemessen und für alle Tellerneigungen auf den Durchfluß eines Segmentes bei senkrecht angeströmtem Teller bezogen. Die bezogenen Durchflüsse in Bild 15 zeigen bei geringer Telleranstellung (kleines α) eine starke Überhöhung des Durchsatzes in Strömungsrichtung ($-50^\circ < \psi < 50^\circ$). Der Durchfluß erreicht hier mehr als das Vierfache des Durchsatzes bei senkrecht zur Rohrachse angestelltem Teller. Mit wachsendem Winkel α nimmt die Überhöhung rasch ab.

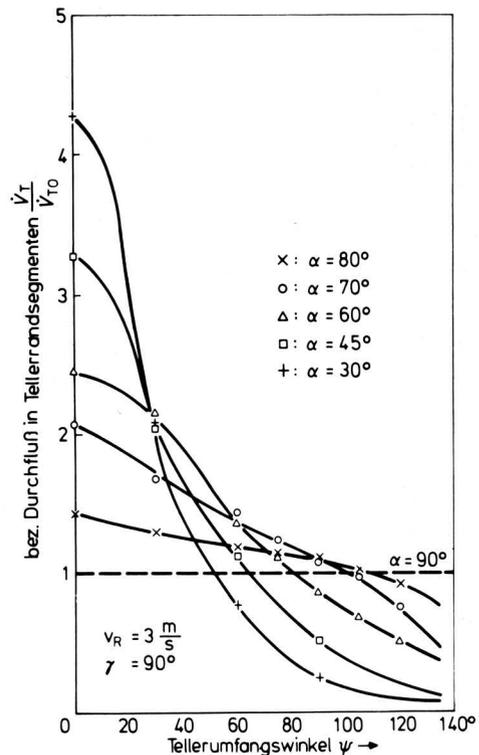


Bild 15. Durchfluß am Tellerrand bei verschiedenen Tellerneigungswinkeln, bezogen auf den Durchfluß des unter 90° angeströmten Tellers, in Abhängigkeit vom Tellerumfangswinkel.

An den für die Breitverteilung verantwortlichen seitlichen Tellersegmenten ($\psi = 90^\circ$) nimmt der bezogene Durchfluß mit abnehmendem Anstellwinkel ebenfalls sehr deutlich ab. Diese Untersuchungen zeigen, wie stark die Verteilcharakteristik über den Anstellwinkel des Tellers beeinflusst werden kann.

Aus Bild 16 wird deutlich, daß sich die Verteilcharakteristik (der bezogene Durchsatz) in einem weiten Bereich des Durchflusses ($v_R = 1,5-9 \text{ m/s}$) nur geringfügig ändert. Auf den Einfluß der Schrägstellung auf den Durchfluß bei unterschiedlichen Tellerumfangswinkeln wurde bereits eingegangen.

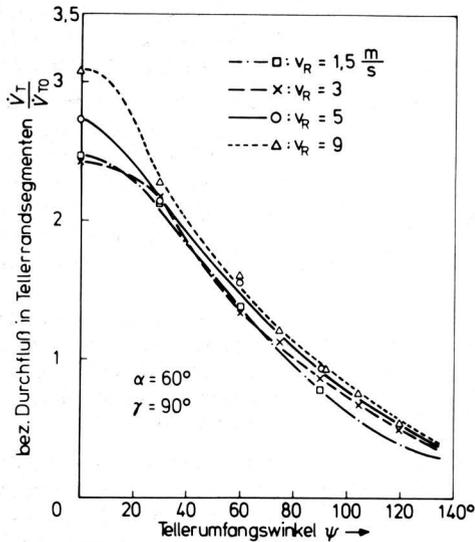


Bild 16. Bezogener Durchfluß am Tellerend bei verschiedenen Geschwindigkeiten im Rohr in Abhängigkeit vom Tellerumfangswinkel.

3.4 Die Sprungweite

Die Sprungweite ist die mittlere horizontale Entfernung des Aufprallpunktes eines Stromfadens auf den Boden von der auf den Boden projizierten Mitte des Pralltellers, Bild 17. Die Sprungweite s ist maßgebend für den von einem Prallteller mit dem ausgebrachten Medium beaufschlagten Bodenbereich. Ohne Berücksichtigung des Windes hängt die Sprungweite ab von Richtung und Geschwindigkeit der Strömung am Tellerend und von der Höhe des Absprungpunktes über dem Boden. Der einzelne Stromfaden folgt nach Verlassen des Tellers einer ballistischen Kurve.

Der Absprungwinkel ϵ des Stromfadens gegenüber der Bodenoberfläche ($\beta = \epsilon$) hängt ab von der Tellerneigung und von der Ordinate auf dem Tellerend (Tellerumfangswinkel ψ). Für $\psi = 0^\circ$ entspricht der Absprungwinkel ϵ der Neigung des Tellers gegenüber der Bodenoberfläche ($\beta = \epsilon$). Mit wachsendem ψ wird der Absprungwinkel ϵ kleiner, um bei $\psi = 90^\circ$ den Wert 0° zu erreichen (Absprungrichtung waagrecht). Für $\psi > 90^\circ$ wird $\epsilon < 0^\circ$. (Für alle Winkel $0 \leq \psi \leq 90^\circ$ hat der Absprungwinkel ϵ einen positiven Wert; für $\psi \geq 90^\circ$ wird $\epsilon \leq 0^\circ$).

Mit Hilfe der Geschwindigkeit am Tellerend v_T und der Größen β und h kann die Sprungweite s unter Einfluß der Fallbeschleunigung g , jedoch ohne Berücksichtigung des Luftwiderstandes, berechnet werden.

Für $\psi = 0^\circ$ gilt [5]:

$$s = v_T \cos \beta \sqrt{2h/g}$$

oder allgemeiner für den gesamten Tellerumfang:

$$s = \frac{v_T \cos \epsilon}{g} (\sqrt{(v_T \sin \epsilon)^2 + 2g(h + r \sin \epsilon)} - v_T \sin \epsilon).$$

Dabei gilt $\epsilon = \arcsin(\cos \psi \sin \beta)$.

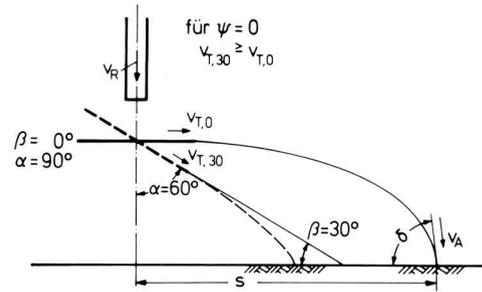


Bild 17. Sprungweite bei verschiedener Pralltellerstellung.

Das Bild 18 zeigt als konzentrische Kreise die Linien gleicher Sprungweite s um die Rohrachse. Bei konstanter Telleranstellung ($\alpha = 60^\circ, \beta = 30^\circ$) und Höhe des Tellers über dem Boden ($h = 0,2 \text{ m}$) sind die gemessenen Sprungweiten s bei verschiedenem Durchfluß eingetragen. Strömungsgeschwindigkeiten zwischen 3 und 9 m/s haben offensichtlich kaum einen Einfluß auf die Sprungweite an der vorderen, bodennahen Tellerkante ($\psi = 0^\circ$).

Mit wachsendem ψ jedoch werden die Unterschiede entsprechend dem Absprungwinkel ϵ größer. Bei $\psi = 90^\circ$ und horizontaler Absprungrichtung ($\epsilon = 0^\circ$) ist die Sprungweite für eine hohe Geschwindigkeit ($v_R = 9 \text{ m/s}$) bereits mehr als doppelt so groß wie bei $v_R = 3 \text{ m/s}$.

Das Bild 18 läßt zudem erkennen, daß die größte Streubreite keineswegs im Bereich $\psi = 90^\circ$ liegen muß.

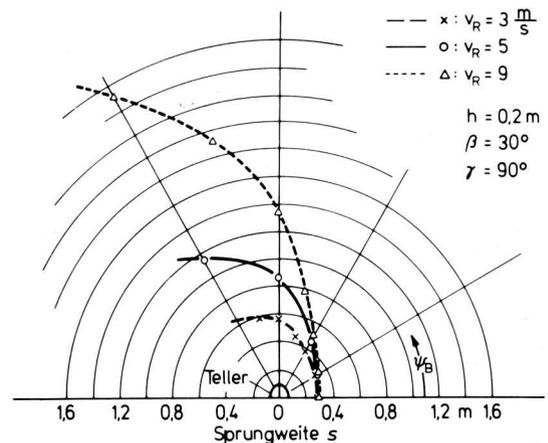


Bild 18. Sprungweite in Abhängigkeit vom Tellerumfangswinkel für verschiedene Geschwindigkeiten im Rohr.

Der besondere Einfluß des Absprungwinkels ϵ zeigt sich auch in Bild 19, wo die Sprungweite s für verschiedene Tellerneigungswinkel β dargestellt ist. Je größer der Tellerneigungswinkel β gegen die Bodenoberfläche umso kleiner ist die Sprungweite. Im Punkt $\psi = 0^\circ$ ($\beta = \epsilon$) ist der Unterschied der Sprungweiten besonders deutlich; in dem für die seitliche Verteilung verantwortlichen Punkt $\psi = 90^\circ$ sind die Unterschiede nur noch gering. Daß überhaupt Unterschiede trotz gleicher Absprungwinkel für alle Tellerneigungen auftreten, ist auf den Geschwindigkeitsabfall in diesem Bereich mit abnehmender Telleranstellung zurückzuführen.

Da die Flugbahn eines Stromfadens durch eine Wurfparabel angenähert werden kann, hat eine zunehmende Höhe h des Tellermittelpunktes über dem Boden einen abnehmenden Einfluß auf die Sprungweite.

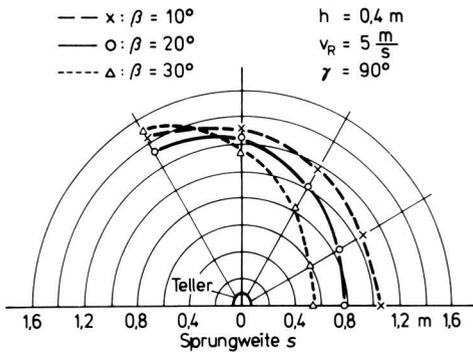


Bild 19. Sprungweite in Abhängigkeit vom Tellerumfangswinkel bei unterschiedlicher Neigung des Pralltellers gegen die Bodenoberfläche.

In dem untersuchten Bereich ist der Einfluß der Höhe h an den verschiedenen Stellen des Tellerumfangs etwa gleich groß, **Bild 20**. Die tatsächliche Absprunghöhe h_T über dem Boden stimmt nur bei waagrechttem Teller über den gesamten Tellerumfang mit der bisher definierten Höhe h überein. Bei geneigtem Teller ändert sich h mit dem Tellerumfangswinkel ψ und ist im abwärts geneigten Bereich des Tellers ($-90^\circ < \psi < 90^\circ$): $h_T = h - r \sin \epsilon$.

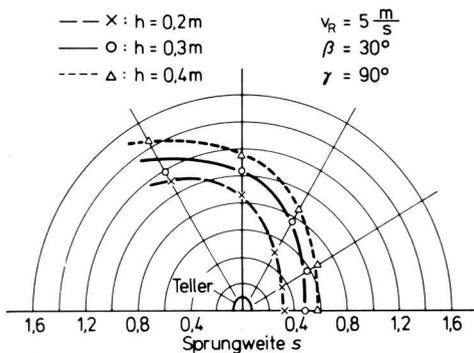


Bild 20. Sprungweite in Abhängigkeit vom Tellerumfangswinkel bei unterschiedlicher Höhe des Pralltellers über dem Boden.

Die Sprungweite s quer zur Arbeitsrichtung ist — wie verschiedentlich erwähnt — eine besonders wichtige Kenngröße für die Verteilung, da sie die Arbeitsbreite und damit die Flächenleistung der Tankwagen und die Anzahl der Spuren auf dem Acker wesentlich beeinflusst. Bei der Anordnung von mehreren Pralltellern nebeneinander hinter einem Tankwagen ist die Sprungweite s maßgebend für den seitlichen Abstand der einzelnen Teller. Die Sprungweite beeinflusst jedoch auch die Aufprallgeschwindigkeit der Flüssigkeit (mögliche Erosion) sowie die mögliche Windabdrift (ungleichmäßige Verteilung, Geruchsemissionen). Es ist daher für die jeweiligen Bedingungen eine Optimierung erforderlich.

Aus den vorgestellten Untersuchungen lassen sich für die Sprungweite s die folgenden Aussagen ableiten, wobei

$$s = f(v_T, \epsilon, h_T)$$

näher durch die folgenden funktionalen Zusammenhänge charakterisiert wird:

1. $v_T = f(v_R, a, \psi)$;
2. $\epsilon = f(\beta, \psi)$;
3. $h_T = f(\beta, \psi, r, h)$.

Die genannten Abhängigkeiten seien für den Punkt $\psi = 90^\circ$ einzeln untersucht.

Zu 1. Die Sprungweite s steigt mit der Geschwindigkeit am Tellerend v_T an. Die Geschwindigkeit v_T ihrerseits wächst für $\psi = 90^\circ$ etwa proportional mit v_R . Für $0 \leq a \leq 90^\circ$ gilt $0 \leq v_T \leq v_R$, d.h. die Geschwindigkeit am Tellerend v_T steigt mit a an und erreicht bei $a = 90^\circ$ in etwa den Wert $v_T \approx v_R$.

Zu 2. Die Sprungweite s steigt von $\epsilon = 90^\circ$ (bei $\psi = 0^\circ$ und $\beta = 90^\circ$) über $\epsilon = 0^\circ$ bis $\epsilon = -45^\circ$ an. Bei $\psi = 90^\circ$ gilt für alle β : $\epsilon = 0^\circ$. Die Sprungweite s ändert sich bei diesen Bedingungen und $h = \text{const.}$ nur geringfügig mit β .

Zu 3. Die Sprungweite s steigt degressiv mit der Tellerhöhe h bzw. mit h_T solange, bis der Stromfaden aufgrund der Fallbeschleunigung eine senkrechte Richtung bekommen hat.

Damit ist klar, daß die größte seitliche Sprungweite praktisch zu erreichen ist durch hohe Strömungsgeschwindigkeiten im Rohr bei senkrechtem Rohr und waagrechttem Teller bei ausreichender Höhe des Tellers über dem Boden. Es ergeben sich für variable Rohrströmungen \dot{V} (und entsprechend veränderte Strömungsgeschwindigkeiten v_R im Rohr) insbesondere auch bei einer Durchflußregelung die folgenden Möglichkeiten, die effektive Arbeitsbreite je Prallteller konstant zu halten:

1. Wird bei großem Durchsatz mit kleinem Anstellwinkel a des Tellers gegen die Rohrachse gearbeitet, so kann der Winkel β zwischen Tellerebene und Bodenoberfläche bei abnehmender Strömungsgeschwindigkeit zur Einhaltung konstanter seitlicher Sprungweite vergrößert werden.
2. Theoretisch besteht die Möglichkeit, mit abnehmendem Durchsatz die Höhe des Tellers über dem Boden zu vergrößern. Aus praktischen Überlegungen scheidet diese Möglichkeit jedoch aus, da der verfügbare Bereich sehr klein ist und bei kleinen Abständen vom Boden und großen Geschwindigkeiten mit Strukturschäden und Verschlämmung am Boden zu rechnen ist. Zudem muß wegen der erforderlichen Bodenfreiheit ein ausreichender Mindestabstand eingehalten werden, und die Grenze nach oben ist durch die Form der Wurfparabel sowie durch steigenden Windeinfluß sehr bald erreicht.
3. Im Bereich $\psi = 90^\circ$ ist für einen ebenen Teller der Absprungwinkel $\epsilon = 0^\circ$. Durch Aufkanten des äußeren Tellerandes bis zu einem Absprungwinkel $\epsilon = -45^\circ$ läßt sich die Sprungweite erhöhen, so wie es im Falle eines Streuers für mineralischen Dünger unlängst realisiert wurde und für flüssige Substrate in einer anschließenden Untersuchung weiter verfolgt werden soll.
4. Eine weitere, praktisch jedoch nicht untersuchte Möglichkeit besteht in einer Veränderung der Austrittsgeschwindigkeit v_R umgekehrt proportional zur Durchflußmenge \dot{V} mit Hilfe einer variablen Düse.

3.5 Die Verteilung der Aufwandmenge über die Arbeitsbreite

Die Nutzung der ausgebrachten Nähr- und Inhaltsstoffe hängt weitgehend von der Gleichmäßigkeit der Verteilung über die Arbeitsbreite ab. Die "Streifenkrankheit" von Getreide ist ein bekanntes Symptom methodischer Streufehler beim Ausbringen von mineralischem Dünger mit Schleuderstreuern.

Das Verteilungsbild eines senkrecht angeströmten, horizontalen Pralltellers ist ein Kreisring ähnlich dem Verteilungsbild einer Strahldüse (Dralldüse, Pralldüse), **Bild 21**.

Die Verteilung innerhalb des Kreisringes sei als gleichmäßig angenommen. Die Mengenbeaufschlagung (örtliche Aufwandmenge m), ausgedrückt durch die Kreisringfläche A_R in $n = 10$ Streifen gleicher Breite b ($b = r/10$) quer zur Arbeitsrichtung, kann aus der Differenz der Flächen zweier benachbarter Kreisringabschnitte nach folgender Gleichung berechnet werden:

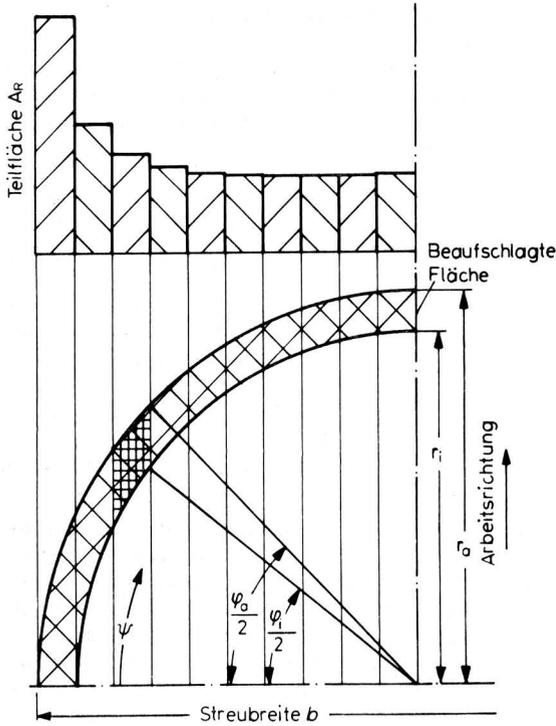


Bild 21. Beaufschlagte Kreisringfläche (unten) und Größe der Teilflächen (des örtlichen Aufwandes) in den Streifen gleicher Breite.

$$A_R = \frac{1}{2} r_a^2 \left[\left(\frac{\pi}{180} \varphi_a - \sin \varphi_a \right) - 0,81 \left(\frac{\pi}{180} \varphi_i - \sin \varphi_i \right) \right],$$

$$\varphi_a = 4 \arcsin \sqrt{\frac{1 - h/10}{2}},$$

$$\varphi_i = 4 \arcsin \sqrt{\frac{9 - h/10}{2 \cdot \frac{9}{10}}}.$$

Die Verteilung (oben in Bild 21) zeigt aufgrund der großen Teilflächen in den äußeren Randzonen ($\psi = 90^\circ$) dort hohe Aufwandspitzen mit steilem Abfall. Eine derartige Verteilung ist für die praktische Aufgabe ungeeignet. Die vorhergehenden Untersuchungen zeigen, daß durch Anstellen des Tellers gegen die Rohrachse und gegen die Bodenoberfläche die Mengenverteilung und die Sprungweiten deutlich beeinflusst werden können.

Die Verteilung über die Breite wurde gemessen, indem nebeneinander angeordnete Meßbehälter mit konstanter Geschwindigkeit unter dem stationären Prallteller hindurchgefahren wurden.

Die Ergebnisse sind in Bild 22 aufgetragen. Die geschilderte hohe Beaufschlagung der Randstreifen (Aufwandmenge m in $\text{mm} \hat{=} l/m^2$) ist für den waagerechten Teller ($\beta = 0^\circ$) deutlich ausgeprägt, sie nimmt mit steigender Tellerneigung β bei entsprechend veränderter Telleranstellung α gegen die Rohrachse ($\alpha = 90^\circ - \beta$) ab. Es ergibt sich eine annähernd gleichmäßige Verteilung zwischen $\beta = 10^\circ$ und $\beta = 20^\circ$ und eine hohe Konzentration in der Mitte der gesamten beaufschlagten Fläche bei größerem Winkel β .

Durch die Höhe h des Pralltellers über dem Boden kann, wie bereits vorne festgestellt, die seitliche Sprungweite s , d.h. die Streubreite b , erhöht werden, Bild 23.

Die Aufwandmenge im Randstreifen ist dabei jedoch gering und kann lediglich zu einer besseren seitlichen Überlappung genutzt werden.

Deutlich dagegen ist – wie nicht anders zu erwarten – die Auswirkung des Durchsatzes, ausgedrückt durch die Strömungsgeschwindigkeit v_R im Rohr, auf die Streubreite, Bild 24. Änderungen im Durchsatz verändern das Streubild außerordentlich stark.

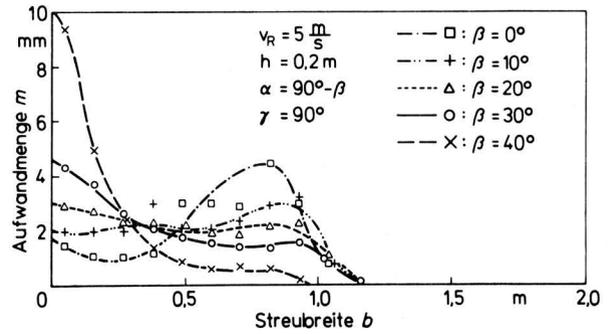


Bild 22. Aufwandmenge über der Streubreite bei unterschiedlicher Neigung des Pralltellers gegen die Bodenoberfläche.

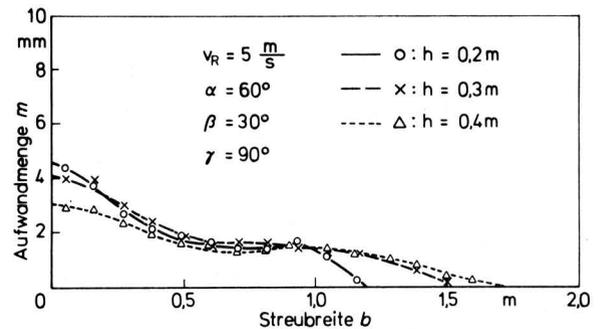


Bild 23. Aufwandmenge über der Streubreite bei unterschiedlicher Höhe des Pralltellers.

Praktisch interessant ist die große Streubreite bei $v_R = 9 \text{ m/s}$ wegen der geringen Aufwandmengen über nahezu die gesamte Streubreite bei der notwendigen weiten Überlappung. Bei der Verteilung des Hauptstromes auf zahlreiche bodennahe Abgänge (Mehrteller-Anlage) scheint diese weite Aufteilung bei entsprechend weiter seitlicher Überlappung besonders sinnvoll, da selbst große Schwankungen, z.B. auch infolge einer wegabhängigen Durchflußregelung, die Gesamtaufwandmenge kaum beeinflussen.

Eine Verteilung entsprechend den Einstelldaten bei $v_R = 3 \text{ m/s}$ dürfte für die Praxis bei der Arbeit mit einem Prallteller ebenfalls interessant sein.

Zwar liegen mathematische Ansätze zur Berechnung der Verteilung vor [7], die auch eine mathematische Simulation einzelner Konstruktionsgrößen zulassen. Da diese Ansätze jedoch teilweise aus den Meßwerten entwickelt werden müssen und den Luftwiderstand und das Auffächern der Strömung bei hohen und weiten Wurfbahnen nicht berücksichtigen, ist eine Verallgemeinerung bedenklich und wurde nicht versucht.

Die aufgezeigten Gesetzmäßigkeiten gelten streng genommen nur für Wasser. In ihrer Tendenz gelten sie weitgehend auch für Flüssigmist und Klärschlamm, solange diese Medien pumpearbeitend (bis etwa 15 % Trockensubstanzgehalt). Mit steigendem Trockensubstanzgehalt und steigender Viskosität bilden sich größere Tropfen oder Aggregate (Flocken) aus, so daß es aufgrund der unterschiedlichen Schwebegeschwindigkeiten auch zu einer Entmischung längs der Flugbahn kommen kann. Die Streuung in der Sprungweite und Verteilung wird damit größer. Die erforderlichen Maßnahmen zur Verbesserung der Verteilung gelten jedoch unverändert.

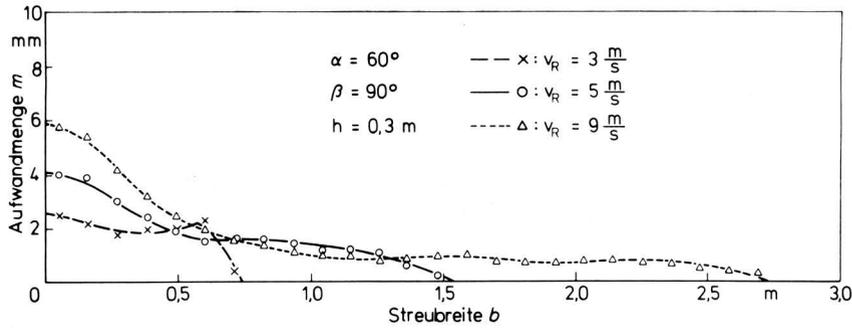


Bild 24. Aufwandmenge über der Streubreite bei unterschiedlicher Strömungsgeschwindigkeit im Rohr.

3.6 Weitere konstruktive Einflüsse

Der Durchmesser des untersuchten kreisrunden, ebenen Tellers beträgt 200 mm. Versuche mit Tellerdurchmessern von 100 und 300 mm ergaben keine nennenswerten Veränderungen des Streubildes.

Zweifelsohne können die Stoßverluste bei der Strömungsumlenkung durch eine konkave Tellerform ähnlich den Schaufeln einer Pelton-Turbine vermindert und durch den veränderten Abstrahlungswinkel die Streuweite erhöht werden, **Bild 25**.

Wichtig ist, daß der Teller steif genug ist, so daß er nicht unter dem Strömungsdruck nachgibt (veränderter Aufprallpunkt und Abstrahlungswinkel) oder in Schwingungen gerät. In der Praxis sieht man häufig zum Tankwagen hin abgewinkelte Teller. Sie sollen ein Beschmutzen des Tankwagens vermeiden. Hierdurch treten jedoch weitere Strömungsverluste und Beeinflussungen des Verteilbildes auf. Es ist günstiger, den in Fahrtrichtung gerichteten Strom durch entsprechende Tellerneigung und -anstellung so klein wie möglich zu halten.

Bei Mehrteller-Anlagen müssen seitlich benachbarte Teller gegeneinander versetzt angeordnet werden, um die notwendige seitliche Überlappung der Teilströme zu ermöglichen.

Der Abstand a zwischen Teller und Rohrende (Düse) hat keinen wesentlichen Einfluß, solange der Durchflußquerschnitt zwischen Teller und Rohr größer bleibt als der Rohrquerschnitt. Wurde die Strömung bislang vorwiegend über ein waagrechtes Rohr auf einen mehr oder minder stark angestellten Prallteller geleitet, so werden neuerdings vermehrt aufwärts gerichtete Rohre angeboten, aus denen der Prallteller von unten beaufschlagt wird. Die vorne genannten Zusammenhänge gelten unverändert. Richtung und Geschwindigkeit der Strömung beim Verlassen des Tellers sind entscheidend für die Wurfbahn.

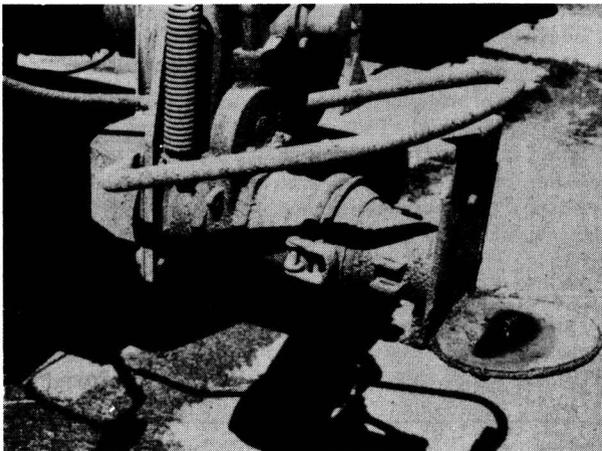


Bild 25. Konkav ausgeformter Prallteller.

3.7 Andere Verteilorgane

Die Ziele der Verteilung wurden bereits einleitend genannt. Die Realisierung mit Hilfe von Pralltellern bereitet hinsichtlich der gewünschten Genauigkeit erhebliche Schwierigkeiten. Düsen, wie sie aus der Applikationstechnik von Pflanzenbehandlungsmitteln sowie aus der Beregnungstechnik bis hin zur Klärschlammverregnung bekannt sind, garantieren auch nicht unbedingt eine bessere Verteilung. Versuche mit diffusorartigen Breitverteilern wurden u.a. von *Feldmann u. Hore* [8] in Kanada sowie in Norwegen durchgeführt.

Wegen des direkt nach unten gerichteten Flüssigkeitsstromes ist die Verteilung besser kontrollierbar (Streubild entspricht dem einer Flachstrahldüse); dafür steigt die Gefahr der Bodenverschlammung durch hohe Aufprallgeschwindigkeiten.

Insbesondere zur Reihendüngung sind Schleppschläuche seit langem bekannt. Der Hauptstrom wird auf n Teilströme aufgeteilt und über nachgezogene, flexible Schläuche direkt auf den Boden (zwischen die Pflanzenreihen) gebracht. Die Flüssigkeit sollte die Schläuche möglichst druckfrei verlassen, um Auswaschungen zu vermeiden. Dabei kann jedoch eine gleichmäßige Verteilung nur durch eine Zwangsverteilung ähnlich wie sie für granuliertes Material verwendet wird, **Bild 26**, garantiert werden. Mit steigender Verteuerung der Energie und Verknappung der Ressourcen werden sich die Konstrukteure von Geräten zum Verteilen von Flüssigmist und Klärschlamm vermehrt mit der Entwicklung geeigneter Gerätesysteme befassen müssen, ebenso wie der Landwirt bereit sein wird, mehr zu investieren für Geräte, die eine hohe Verteilgenauigkeit erreichen.

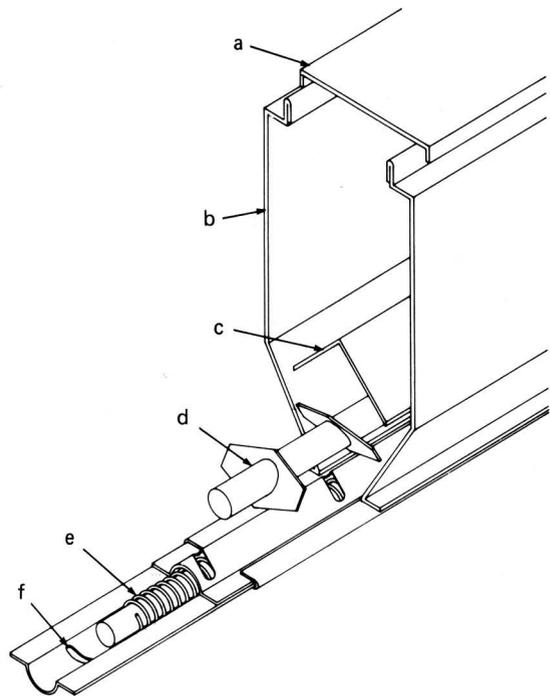


Bild 26. Streuvorrichtung eines Kastendüngerstreuers.

- | | |
|------------------|------------------|
| a Behälterdeckel | d Rührwerk |
| b Behälter | e Förderschnecke |
| c Leitblech | f Auslaß |

4. Zusammenfassung

Flüssigmist und Klärschlamm können mit konventionellen Tankwagen in einem weiten Bereich der Konsistenz erfolgreich ausgebracht werden. Den insbesondere aus Gründen steigender Energie- und Rohstoffpreise in Zukunft weiter steigenden Anforderungen an eine gezielte Anwendung von Pflanzennährstoffen wird die Genauigkeit der Verteilung bei den heutigen Ausbringgeräten jedoch keineswegs gerecht werden. Verschiedene technische Möglichkeiten zur Verbesserung der Verteilung bis hin zu einer wegabhängigen Durchflußregelung werden aufgezeigt.

Die Verteilung mit Hilfe des Standardelementes "Prallteller" wird detailliert untersucht, um die Wirkung konstruktiver Maßnahmen sowie der verschiedenen Einstellmöglichkeiten zu ermitteln und Grenzen der Verteilgenauigkeit aufzuzeigen.

Andere Verteilelemente werden in der Zukunft stärker in Betracht gezogen werden müssen. Eine verstärkte Anpassung der Gerätesysteme an die Einsatzbedingungen kann die Funktion verbessern, beschränkt jedoch die Vielseitigkeit der Verwendbarkeit. Ein erhöhter Aufwand zur Kontrolle und Regelung der Verteilung über weite Einsatzbereiche wird durch den steigenden Wert der ausgebrachten Stoffe und eine veränderte Anwendungspraxis (Frühjahrsdüngung, Reihendüngung, Kopfdüngung; vermehrt auch durch Lohnunternehmer) gerechtfertigt werden.

Schrifttum

- [1] *Hoyer, H.*: Verfahren der Flüssigmistausbringung. KTBL-Schrift 152, Hiltrup: Landwirtschaftsverlag 1972.
- [2] *Krause, R.*: Neue Systeme zum Ausbringen von Flüssigmist. 9. Internat. Congr. of Agr. Eng., CIGR, 8.-13.7.1979, East Lansing, USA.
- [3] *Bosma, A.H., u.a.*: Geräte und Verfahren bei der Landanwendung von Flüssigmist. Landbauforschung Völkenrode Bd. 26 (1976) H. 2, S. 107/16. S. 107/16.
- [4] *Göhlich, H. u. M. Schmidt*: Verbesserungen im Pflanzenschutz. Landtechnik Bd. 34 (1979) Nr. 2, S. 56/59.
- [5] *Krause, R. u. R. Ahlers*: Verteilen und Dosieren von Flüssigmist. Grundl. Landtechnik Bd. 27 (1977) Nr. 6, S. 190/97.
- [6] *Schünke, U.*: Randzonenprobleme bei der Düngung. Landtechnik Bd. 35 (1980) Nr. 2, S. 66/68.
- [7] *Lübbbers, H. u. Th. Michaelsen*: Untersuchungen zur Verteilung eines Flüssigkeitsstromes mit Hilfe von Pralltellern. Studienarbeit am Institut für Landmaschinen der TU Braunschweig 1980.
- [8] *Feldmann, M. u. F.R. Hore*: A plow-down method for rapid cover of liquid manure. ASAE-Paper No. 70-208.

Verwendete Formelzeichen

A_R	Rohrquerschnitt (mit Flüssigkeit beaufschlagte Kreisringfläche in Abschn. 3.5)
A_T	Durchströmte Fläche am Tellerrand
a	Abstand vom Mittelpunkt des Pralltellers zum Rohrende
b	Arbeitsbreite, Streubreite
c	Schichtdicke der Flüssigkeit am Tellerrand
d	Durchmesser des Pralltellers
g	Fallbeschleunigung
h	Höhe des Tellermittelpunktes über dem Boden
h_T	Höhe des Tellerrandes über dem Boden
m	Aufwandmenge
m_g	gewünschte Aufwandmenge (Sollwert)
p	Druck im Hauptrohr
r	Tellerradius
r_a	äußerer Radius der beaufschlagten Fläche
r_i	innerer Radius der beaufschlagten Fläche
s	Sprungweite
U	Tellerumfang
\ddot{u}	Überlappung
\dot{V}	Durchsatz
\dot{V}_T	Durchfluß in einem Segment am Tellerrand
v	Arbeitsgeschwindigkeit
v_R	Strömungsgeschwindigkeit bei Verlassen des Hauptrohres
v_T	Strömungsgeschwindigkeit am Tellerrand
z	Breite des Randstreifens mit abfallender Aufwandmenge
α	Flankenwinkel der Verteilung (nur in Abschn. 2)
α	Winkel zwischen der Pralltellerebene und der Rohrachse
β	Winkel zwischen der Pralltellerebene und der horizontalen Bodenoberfläche
γ	Winkel zwischen der Rohrachse und der horizontalen Bodenoberfläche
ϵ	Absprungwinkel gegenüber der horizontalen Bodenoberfläche
ψ	Tellerumfangswinkel
φ_a	Mittelpunktswinkel des äußeren Kreisringabschnittes
φ_i	Mittelpunktswinkel des inneren Kreisringabschnittes