

### Einfluß der Auslegerbewegungen von Feldspritzgeräten auf die Verteilgenauigkeit der Spritzflüssigkeit

Von H. Ganzelmeier und E. Moser, Stuttgart-Hohenheim\*)

*Mitteilungen aus dem Sonderforschungsbereich 140 – Landtechnik "Verfahrenstechnik in der Körnerfruchtproduktion" der Universität Hohenheim\*\*)*

DK 632.9:632.982:531.1

Die Verbesserung der Verteilgüte von Pflanzenschutzmitteln bei der Flächenapplikation ist ein wichtiger Faktor bei der Optimierung von Pflanzenschutzmaßnahmen. Vertikale und insbesondere horizontale Ausleger- bzw. Spritzbalkenbewegungen, die der Fahrbewegung überlagert sind, führen, wie Laboruntersuchungen zeigten, zu unterschiedlichen, unbefriedigenden Spritzflüssigkeits-Verteilungen.

Unter Berücksichtigung dieser Erkenntnisse wurden im Freiland mit unterschiedlichen Auslegern und Auslegeraufhängungen Versuche durchgeführt, die ergaben, daß durch gezielte konstruktive Maßnahmen diese Auslegerbewegungen herabzusetzen sind und damit die Verteilgüte der Spritzflüssigkeit auch bei hoher Fahrgeschwindigkeit und großen Bodenunebenheiten erheblich verbessert werden kann.

\*) An diesem Forschungsvorhaben hat Herr Dipl.-Ing. agr. Wolfgang Koser zeitweise als wiss. Hilfskraft mitgearbeitet.

\*) Dipl.-Ing. Heinz Ganzelmeier ist wissenschaftl. Mitarbeiter im Sonderforschungsbereich 140 (Fachgebiet Verfahrenstechnik für Intensivkulturen) an der Universität Hohenheim. Prof. Dr.-Ing. Eberhard Moser ist Leiter des Fachgebietes "Verfahrenstechnik für Intensivkulturen" des Instituts für Agrartechnik der Universität Hohenheim.

#### Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung
2. Versuchseinrichtungen und Versuchsdurchführung
  - 2.1 Freilandversuche
  - 2.2 Laborversuche
3. Versuchsergebnisse
  - 3.1 Feldversuche
    - 3.1.1 Auslegeraufhängungen, Auslegerbewegungen und Verteilung der Spritzflüssigkeit
    - 3.1.2 Schlepper-Wankbewegungen bei unterschiedlichen Fahrbahnen und Fahrgeschwindigkeiten
    - 3.1.3 Auslegerbewegungen bei unterschiedlichen Fahrbahnen und Fahrgeschwindigkeiten
    - 3.1.4 Verteilungsgüte der Spritzflüssigkeit bei unterschiedlichen Fahrbahnen
  - 3.2 Laboruntersuchungen
    - 3.2.1 Verteilung der Spritzflüssigkeit bei vertikalen und horizontalen Auslegerbewegungen

#### 1. Einleitung

Zur Vermeidung von ungünstigen Nebenwirkungen bei der Applikation chemischer Wirkstoffe, ist eine gleichmäßige für den Behandlungserfolg ausreichende Verteilung eine wichtige Voraussetzung, deren Bedeutung durch die Reduzierung der Aufwandsmengen an Trägerstoff und der damit verbundenen Erhöhung der Konzentration von Pflanzenschutzmittel ständig zunimmt. Die in der Praxis häufig auftretende ungenügende Verteilung der Spritzflüssigkeit erfordert, damit auch an den Stellen mit geringster Wirkstoffmenge pro Flächeneinheit eine ausreichende biologische Wirksamkeit sichergestellt wird, ein Mehrfaches der Wirkstoffmenge, die bei gleichmäßiger Verteilung für einen biologi-

sehen Erfolg ausreichen würde. Eine derartige Applikation von Pflanzenschutzmitteln verursacht erhebliche Überdosierungen, die eine Minderung des Ertrages verursachen und zu Umweltbelastungen führen können [1].

Die Verteilgüte von chemischen Pflanzenschutzmitteln wird neben anderen Faktoren in hohem Maße von der Bewegung des Auslegers bzw. des Düsengestänges eines Feldspritzgerätes beeinflusst. Bei notwendiger Erhöhung der Flächenleistung eines Gerätes durch Vergrößerung der Auslegerlänge und der Fahrgeschwindigkeit gewinnt die konstruktive Ausführung der Ausleger und der Aufhängungen immer mehr an Bedeutung.

Seit einigen Jahren bemühen sich deshalb verschiedene Institutionen verstärkt um eine Verbesserung der Spritzflüssigkeitsverteilung durch Herabsetzen der Auslegerbewegungen [2 bis 5]. Systematische Untersuchungen auf definierten Unebenheitsstrecken zur Verminderung der horizontalen und vertikalen Schwingungen führten bereits zu Konstruktionen, mit denen eine wesentlich bessere Verteilgenauigkeit zu erzielen ist [6].

In Fortführung dieser Untersuchungen wurde das Verhalten von unterschiedlichen Ausleger- und Aufhängekonstruktionen mit passiver Lagestabilisierung im Feldeinsatz und im Labor untersucht [7].

Aus der Vielzahl der vorhandenen Konstruktionen für die Aufhängung der Ausleger wurden die Grundtypen ausgewählt, auf die sich die meisten in der Praxis vorhandenen Konstruktionen zurückführen lassen. Insbesondere wurden die Bewegungen des Auslegers unter praxisnahen Betriebsbedingungen erfaßt und der erzielten fluorometrisch gemessenen Spritzflüssigkeitsverteilung zugeordnet. Außerdem wurde in Laborversuchen der Einfluß von vertikalen und horizontalen Auslegerschwingungen, die der Fahrbewegung überlagert sind, auf die Belagsbildung untersucht.

## 2. Versuchseinrichtungen und Versuchsdurchführung

### 2.1 Freilandversuche

Die Versuchseinrichtung für Feldversuche, die an der Dreipunktaufhängung des Schleppers befestigt wird, kann durch Umbau so verändert werden, daß sich das Bewegungsverhalten sämtlicher in Bild 1 dargestellter Ausleger- bzw. Spritzbalkenaufhängungen ermitteln läßt, ohne den Grundrahmen und den Ausleger selbst zu verändern. Der Ausleger, eine Fachwerkkonstruktion mit einer Länge von 14 m, besitzt eine hohe Steifigkeit in vertikaler und horizontaler Richtung, um Einflüsse durch Verformungen auszuschließen. In die Untersuchungen wurde außerdem ein handelsüblicher Ausleger mit einbezogen.

Eine starre Aufhängung wurde verwendet für das handelsübliche Spritzgestänge System A1 und für die Versuchskonstruktion System A2. Beim geführten Pendel A3 kann sich der Ausleger als Pendel in der vertikalen Ebene bewegen, während er in der Horizontalen durch zwei Führungen am Grundrahmen gestützt wird. Das geführte Seilpendel A4 unterscheidet sich nur durch die kreuzweise Aufhängung des Auslegers an Stahlseilen vom vorhergehenden. Das versteifte Pendel A5 und A7 ist gegenüber A3 dadurch gekennzeichnet, daß die seitlichen Führungen fehlen. Die zur Schlepperhinterachse parallele Lage des Auslegers wird durch zwei Stützen, die am hinteren Lager zusammenlaufen, aufrecht erhalten. Die beiden Aufhängungen A5 und A7 unterscheiden sich nur in ihrer Pendellänge. Beim freien Pendel A6 und A8 ist der Ausleger in beiden Ebenen, also in der vertikalen und der horizontalen, beweglich. Dies wird erreicht durch eine Abstützung mit Feder-Dämpfer-Elementen, die nach einer Auslenkung auch für die Rückführung des Auslegers in die achsparallele Lage sorgen. Sämtliche Aufhängungen wurden auf verschiedenen landwirtschaftlichen Fahrbahnen – Winterfurche (I), Wiese (II) und Acker nach Saatbett-Bereitigung (III) – und auf einer mit definierten Hindernissen quer zur Fahrtrichtung versehenen Prüfstrecke bei Fahrgeschwindigkeiten zwischen 3 und 15 km/h untersucht.

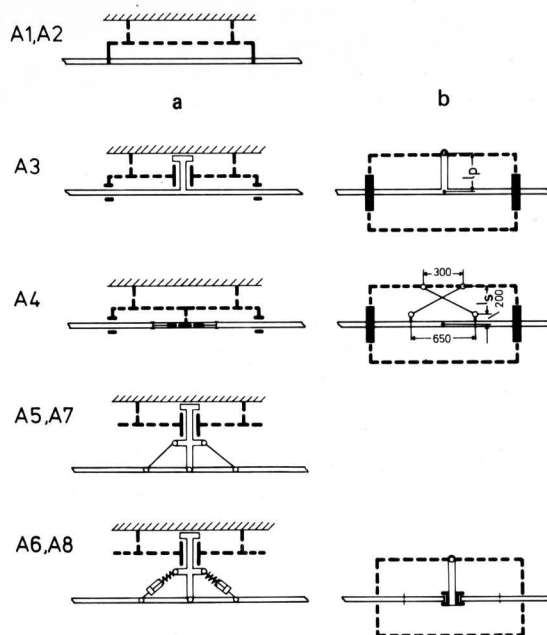


Bild 1. Schematische Darstellung der verschiedenen Auslegeraufhängungen.

a Grundriß, b Aufriß

Bezeichnung	Aufhängekonstruktion	Meßpunkt
A1	Handelsübl. Konstrukt. starr	●
A2	Versuchskonstrukt. starr	○
A3	geführt. Pendel $l_p = 40$ cm	□
A4	gef. Seilpendel $l_s = 45$ cm	+
A5	verst. Pendel $l_p = 40$ cm	▲
A6	freies Pendel $l_p = 40$ cm	◆
A7	verst. Pendel $l_p = 60$ cm	△
A8	freies Pendel $l_p = 60$ cm	◇

Die Fahrtrichtung im praktischen Feldeinsatz war quer zur Primärbodenbearbeitung, wobei stets auf einen ausreichenden Abstand der Fahrspuren geachtet wurde. Bei der definierten Fahrbahn (IV) handelt es sich um eine ebene Betonstrecke, die in unterschiedlichen Abständen mit Hindernissen gleicher Höhe (6 cm) quer zur Fahrtrichtung versehen ist. Die Abstände der einzelnen Hindernisse, die den Bildern 5 und 6 entnommen werden können, sind so festgelegt, daß alle drei Drehbewegungen des Fahrzeuges beim Überfahren auftreten. Den Versuchsaufbau für den Einsatz im Freiland zeigt Bild 2. Die vertikale Auslenkung des Auslegers e bei unterschiedlichen Aufhängungen i, als Maß für die Veränderung des Abstandes Düse/Zielfläche, wurde durch einen Wegegeber j gemessen, die horizontale Bewegung in Fahrtrichtung von einem Beschleunigungsaufnehmer h erfaßt. Eine Unterlage k, die während der Fahrt mitbewegt wurde, sorgt dafür, daß nicht Bodenunebenheiten, sondern die Auslegerbewegungen in der Vertikalebene quer zur Fahrtrichtung gemessen werden konnten.

Die größeren Verlagerungen am Auslegerende, im wesentlichen durch die Drehungen des Fahrzeuges um die Längsachse, d.h. durch Wankbewegungen, hervorgerufen, wurden mit Hilfe eines Winkelgeschwindigkeits-Aufnehmers b, erfaßt. Die Meßwerte wurden über den Verstärker c und das Schleppkabel d zum Meßwagen übertragen. Die Spritzflüssigkeit im Behälter a, die über Schlauchleitungen den Düsen f zugeführt wurde, enthielt fluoreszierenden Farbstoff und ermöglichte mit Hilfe der ausgelegten Objektträger g eine fluorometrische Belagsanalyse.

In Bild 3 ist die Meßwerterfassung, -registrierung und -verarbeitung in einem Blockschaltbild dargestellt. Die verstärkten Signale der Vertikal- und Horizontalbewegung des Auslegerendes, der Schlepper-Wankbewegung und der Fahrgeschwindigkeit wurden von einem Magnetband registriert und mit einem Oszilloscope überwacht. Neben dieser Meßwerterfassung wurde ein Steuersignal mit aufgenommen, um anschließend jederzeit Aufzeichnungen des zeitlichen Bewegungsablaufes einander zuordnen zu können.

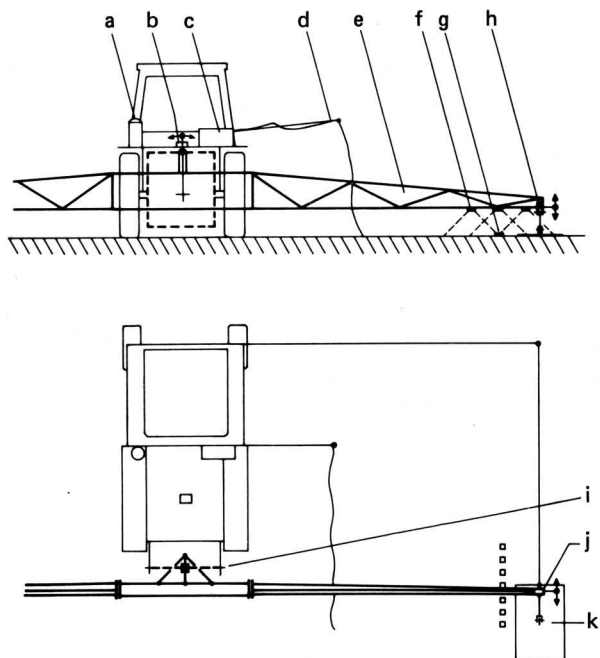
Im Labor wurde vom Magnetband aus den Signalen für die horizontale Beschleunigung mit Hilfe des Analogrechners die mittlere horizontale Schwinggeschwindigkeit ermittelt. Über einen Analog-Digital-Wandler ist außerdem mit einem Digitalrechner die Standardabweichung für die Lageabweichung des Auslegers in der Vertikalebene und die spektrale Dichte für die Beschreibung der Wankbewegungen des Schleppers bestimmt worden.

## 2.2 Laborversuche

Die Einflüsse der Vertikal- bzw. Horizontalbewegung auf die Niederschlagsverteilung können rechnerisch nur näherungsweise bestimmt werden [6].

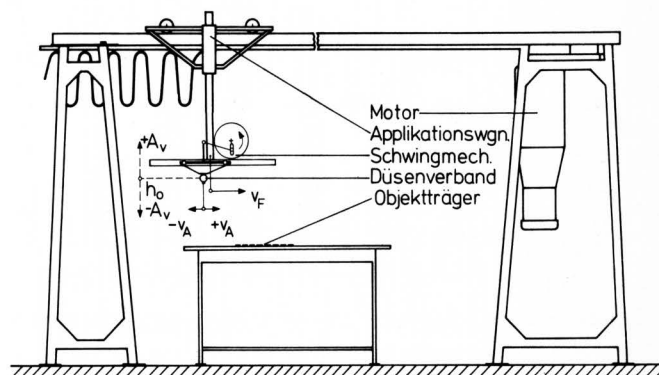
Im Labor wurden experimentelle Untersuchungen durchgeführt, um – was in Feldversuchen nicht möglich war – den Einfluß der vertikalen und horizontalen Auslegerbewegungen auf den Spritzbelag unabhängig voneinander zu erfassen.

Für diese Untersuchungen wurde ein Applikationsstand eingesetzt, **Bild 4**. Auf dem Düsenwagen, der mit einer konstanten Fahrgeschwindigkeit bewegt wird, ist eine Vorrichtung untergebracht, die den mit Flachstrahldüsen bestückten Spritzbalken gegenüber dem Düsenwagen in horizontale und vertikale Bewegungen versetzt. Damit können der Fahrbewegung harmonische Vertikal- und Horizontalschwingungen mit einer Frequenz von 1 Hz und einem Schwingweg bis zu 25 cm überlagert werden. Die Niederschlagsbilder wurden fluorometrisch ausgewertet und geben somit Aufschluß über die Verteilung der Spritzflüssigkeit. Die Objektträger waren genau unter den Düsen und zwischen den Düsen des Spritzgestänges in Fahrtrichtung ausgelegt.



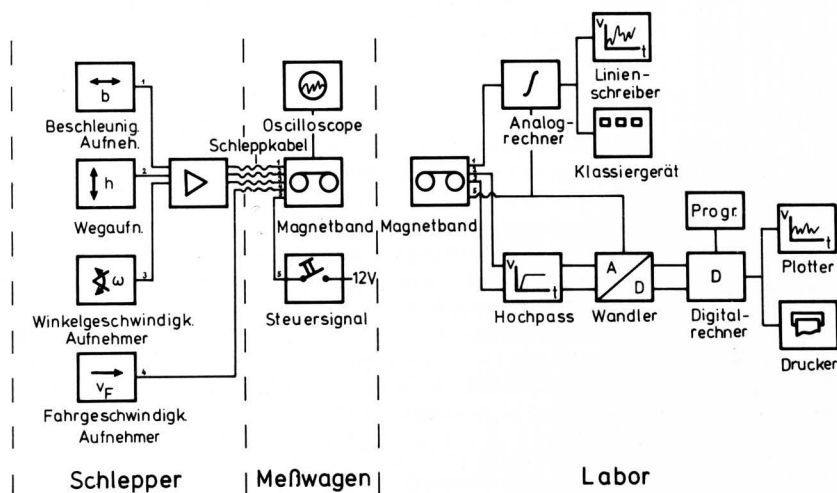
**Bild 2.** Versuchsaufbau für Freilanduntersuchungen.

- |                                       |                                |
|---------------------------------------|--------------------------------|
| a Behälter für Spritzbrühe            | f Düsen                        |
| b Aufnehmer für Winkelgeschwindigkeit | g Objektträger                 |
| c Verstärker                          | h Beschleunigungsaufnehmer     |
| d Schleppkabel zum Meßwagen           | i Aufhängung des Spritzbalkens |
| e Ausleger                            | j Wegaufnehmer                 |
|                                       | k Unterlage                    |



**Bild 4.** Versuchsaufbau für Laboruntersuchungen.

- |       |                                      |
|-------|--------------------------------------|
| $A_v$ | Amplitude der Vertikalschwingungen   |
| $v_A$ | Schwinggeschwindigkeit des Auslegers |
| $v_F$ | Fahrgeschwindigkeit des Wagens       |



**Bild 3.** Blockschaltbild der Messwerterfassung und -verarbeitung.

## 3. Versuchsergebnis

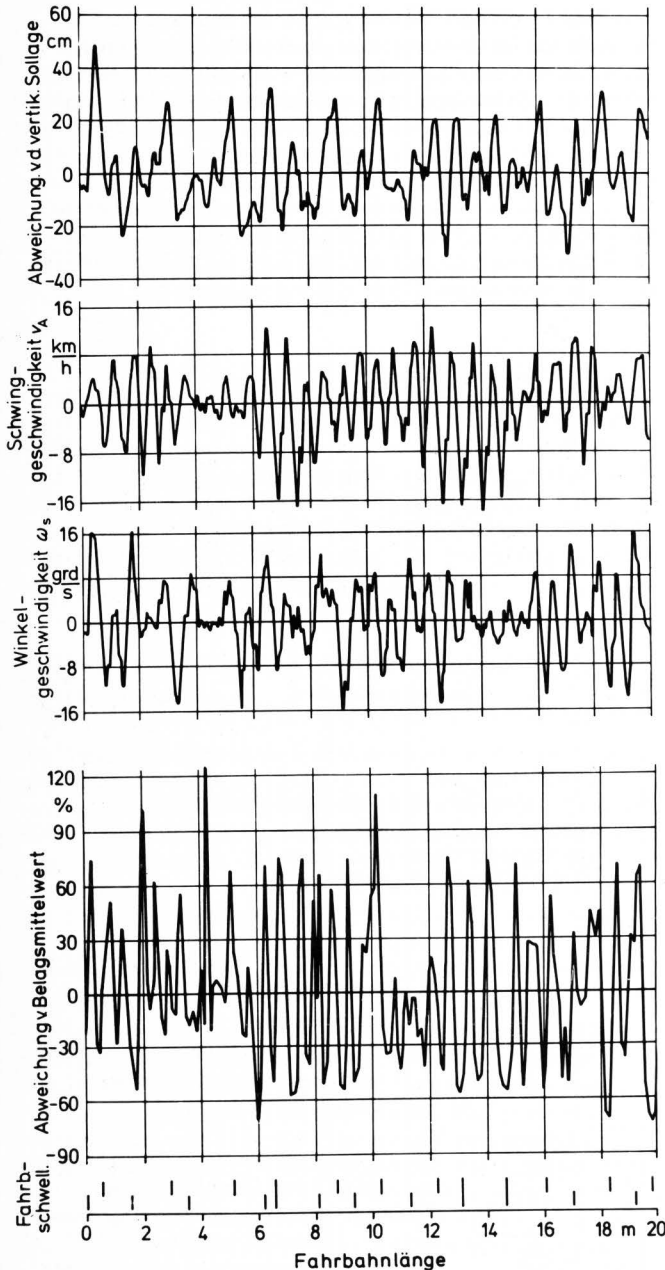
### 3.1 Feldversuche

#### 3.1.1 Auslegeraufhängungen, Auslegerbewegungen und Spritzflüssigkeitsverteilung

Aus der Vielzahl von Versuchsergebnissen sind in **Bild 5** und **6** der Verlauf der Schlepper- und Auslegerbewegungen sowie die unter diesen Bedingungen erzielte Spritzflüssigkeitsverteilung bei verschiedenen Auslegeraufhängungen für die definierte Fahrbahn (IV) dargestellt. **Bild 5** zeigt die Ergebnisse für den handelsüblichen Ausleger, System A1 (Arbeitsbreite 12 m), für eine Fahrgeschwindigkeit von 3 km/h. Die Abweichungen des Auslegerendes von seiner Solllage in der Vertikal-

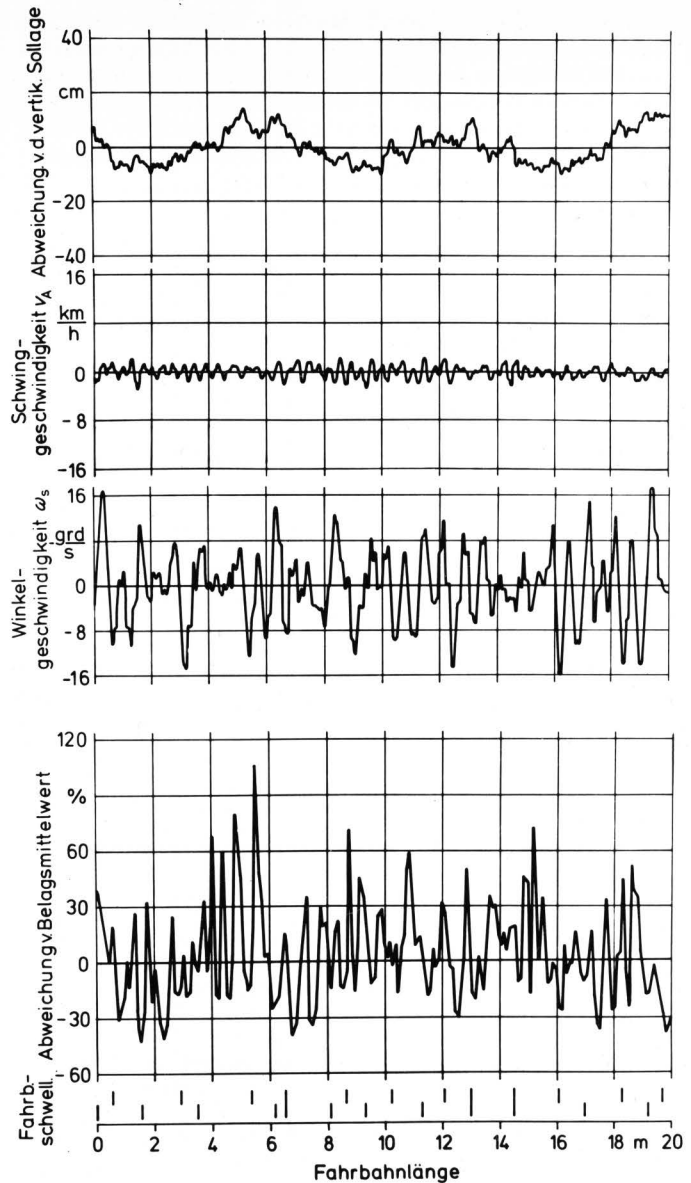
ebene (50 cm Höhe) (obere Kurve) liegen im Maximum bei durchschnittlich  $\pm 30$  cm. Bei einer Fahrgeschwindigkeit von 3 km/h kann die horizontale Schwinggeschwindigkeit des Auslegerendes (2. Kurve) ein Mehrfaches der Fahrgeschwindigkeit erreichen. Der Winkelgeschwindigkeitsverlauf (3. Kurve), ein Maß für die Schlepperwankbewegungen wird durch die Fahrbahnswellen quer zur

Fahrtrichtung (Diagrammabszisse) hervorgerufen. Die unterste Kurve in Bild 5 gibt die Verteilung der Spritzflüssigkeit an, die sich bei den Bewegungen des Schleppers und des Auslegers über die im Bild ganz unten dargestellte Strecke von 20 m ergibt. Die Abweichungen des örtlichen Niederschlages vom Belagsmittelwert (150 l/ha) liegen bei  $\pm 60\%$ , wobei Maximalwerte bis  $+125\%$  auftreten. Aus dem Kurvenverlauf ist deutlich ersichtlich, daß die maximalen Niederschläge überwiegend dann auftreten, wenn auch extreme Schwinggeschwindigkeiten des Auslegerendes in horizontaler Richtung entgegen der Fahrtrichtung vorliegen.



**Bild 5.** Schlepper- und Auslegerbewegungen sowie Spritzflüssigkeitsverteilung der Auslegeraufhängung A1 auf definierter Fahrbahn (IV) (unten Fahrbahnschwellen im Grundriß) bei einer Fahrgeschwindigkeit von 3 km/h.

In Bild 6 sind die Bewegungen des Schleppers und des Auslegers sowie die Niederschlagsverteilung für die Auslegeraufhängung A6 (freies Pendel) dargestellt. Gegenüber dem handelsüblichen Ausleger mit starrer Aufhängung A1 (Bild 5) nimmt die Balkenbewegung in vertikaler und horizontaler Richtung sehr stark ab. Entsprechend gleichmäßiger ist die Spritzflüssigkeitsverteilung, und somit sind auch die Überdosierungen im Spritzbelag geringer.



**Bild 6.** Schlepper- und Auslegerbewegungen sowie Spritzflüssigkeitsverteilung der Auslegeraufhängung A6 auf definierter Fahrbahn (IV) (unten Fahrbahnschwellen im Grundriß) bei einer Fahrgeschwindigkeit von 3 km/h.

### 3.1.2 Schlepper-Wankbewegungen bei unterschiedlichen Fahrbahnen und Fahrgeschwindigkeiten

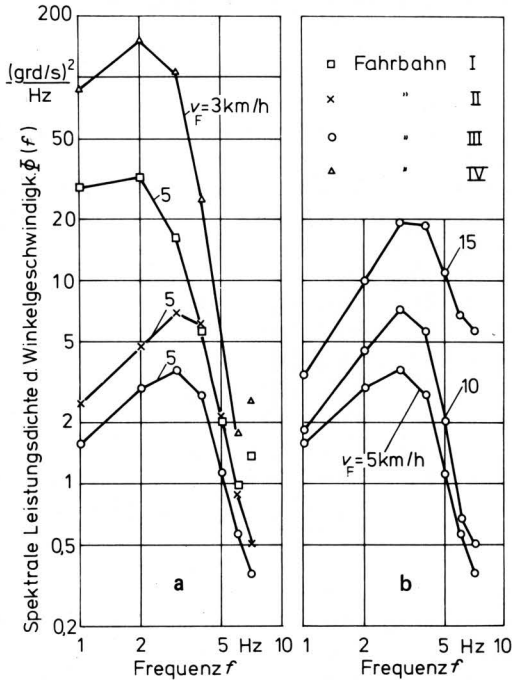
Die Schwingungsanregung durch Fahrbahnunebenheiten ist im Regelfall nicht ein Vorgang mit determiniertem, sondern mit stochastischem Verhalten. Solche Vorgänge mit stochastischem Verhalten sind mathematisch nicht wie periodische Vorgänge zu behandeln, sondern lassen sich durch verschiedene statistische Mittelwerte beschreiben [8, 9]. Eine dieser Größen ist die spektrale Dichte, die auch zur Beschreibung der Unebenheiten landwirtschaftlicher Fahrbahnen herangezogen wird [10].

Die Anregung für die Wankbewegung des Schleppers läßt sich durch das Differenzprofil seiner beiden Fahrspuren darstellen. Hier wurde mit Hilfe eines Winkelgeschwindigkeitsaufnehmers die Wankbewegung des Schleppers direkt erfaßt, da dieses Verfahren günstiger erschien als eine Differenzbildung evtl. fehlerbehafteter Unebenheitsmeßwerte beider Fahrspuren [11].

In Bild 7 ist die spektrale Leistungsdichte der Winkelgeschwindigkeit bei Wankbewegungen des Schleppers für unterschiedliche Fahrzustände dargestellt. Die mathematischen Grundlagen wurden der



Literatur entnommen, wobei diesen Ergebnissen ein Verschiebungsfaktor von 100 und das Henning-Fenster zugrunde liegen [12]. Die Leistungsdichten, die, wie Bild 7a zeigt, bei konstanter Fahrge-  
 schwindigkeit für unterschiedliche Fahrbahnen gemessen wurden, stellen ein breites Spektrum für die Anregung des Auslegers dar. Der Einfluß der Fahrge-  
 schwindigkeit auf die spektrale Leistungs-  
 dichte der Winkelgeschwindigkeit für die Fahrbahn III ist in Bild 7b ersichtlich und weist unter anderem auf eine erhebliche Stei-  
 gerung der Mittelwerte der Amplituden bei Erhöhung der Fahrge-  
 schwindigkeit hin. Außerdem liegt bei beiden Darstellungen das Maximum der spektralen Dichten im Bereich von 2–3 Hz, was unter anderem auch auf das Schwingungssystem (Schlepper/Aus-  
 leger) selbst zurückzuführen ist.



**Bild 7.** Spektrale Leistungsdichte der Winkelgeschwindigkeit resultierend aus den Schlepperwankbewegungen.

- a Bei unterschiedlichen Fahrbahnen und konstanter Fahrge-  
 schwindigkeit.
- b Bei der Fahrbahn III und verschiedenen Fahrge-  
 schwindigkeiten.

### 3.1.3 Auslegerbewegungen bei unterschiedlichen Fahrbahnen und Fahrge- schwindigkeiten

Zur Beschreibung der Auslegerbewegungen wurde für die Abwei-  
 chung aus der Sollage in der Vertikalebene die Standardabweichung  $s_A$ , für die Charakterisierung der horizontalen Schwingge-  
 schwindigkeit die mittlere Schwinggeschwindigkeit  $\bar{v}_A$  als Kennwert gewählt. Diese Größen sind auf die Längeneinheit der halben Ausleger-  
 länge bezogen.

In Bild 8 sind die Größen  $s_A$  und  $\bar{v}_A$  für die verschiedenen Auf-  
 hängungen und die Fahrbahn IV bei einer Fahrge-  
 schwindigkeit von 3 km/h dargestellt. Die Standardabweichung für die Aus-  
 lenkung des Auslegers aus der Sollage in der Vertikalebene nimmt  
 bei den untersuchten Auslegeraufhängungen von 3 cm/m bis auf  
 1 cm/m ab. Anders verhält es sich mit der mittleren horizontalen  
 Schwinggeschwindigkeit, die zunächst von A1 zu A2 stark ab-  
 fällt. Die Ursache dafür mag die ungenügende Versteifung des  
 handelsüblichen Gerätes in der horizontalen Ebene sein.

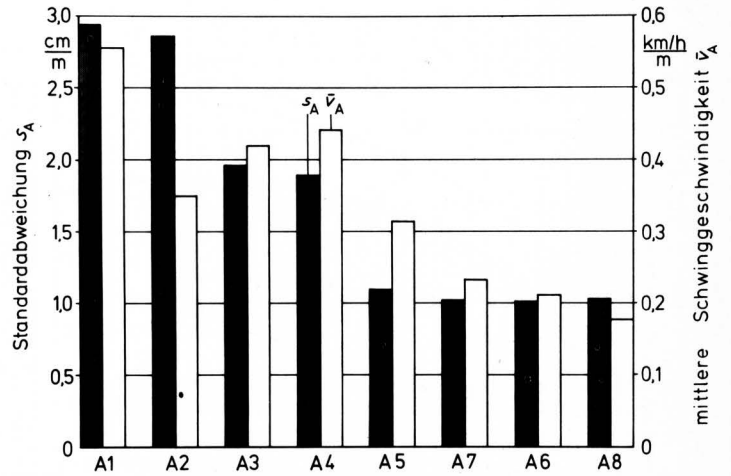
Der Anstieg der mittleren Schwinggeschwindigkeit bei den Auf-  
 hängungen A3 und A4 ist mit der Bewegungsmöglichkeit durch  
 das Spiel in den Führungen zu erklären, da ein Anschlag in den

Führungen auch größere Beschleunigungsspitzen am Auslegerende  
 und damit größere horizontale Schwingungen hervorruft.

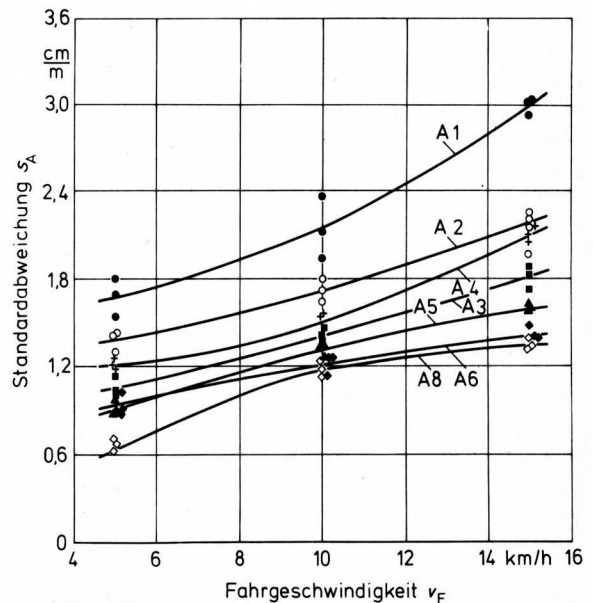
Beim Ersatz dieser Führungen durch Stützen wie bei Aufhängung  
 A5 und A7 oder durch Feder-Dämpfer-Elemente, wie in A6 und  
 A8 verwirklicht, nimmt die mittlere Schwinggeschwindigkeit von  
 0,6 (km/h)/m bis auf 0,2 (km/h)/m ab.

In Bild 9 ist die Standardabweichung der Auslegerbewegungen in  
 der Vertikalebene der verschiedenen Aufhängungen über der Fahr-  
 geschwindigkeit für die Fahrbahn III (Saatbett) dargestellt.

Auch hier zeigt sich die ungenügende Steifigkeit des handelsüblichen  
 Auslegers mit starrer Aufhängung A1, was zu einer erheb-  
 lich größeren Standardabweichung als beim steifen Ausleger A2  
 führt. Die in vertikalen Führungen pendelnden Aufhängungen  
 A3 und A4 ergeben eine Verminderung der Standardabweichung.



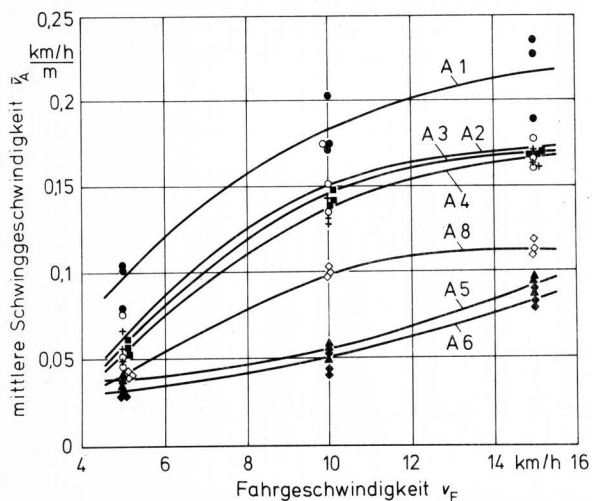
**Bild 8.** Standardabweichung für die Abweichungen von der Sollage in der Vertikalebene (schwarze Rechtecke) und mittlere horizontale Schwinggeschwindigkeit bezogen auf die Längeneinheit des halben Auslegers (weiße Rechtecke) für unterschiedliche Auslegeraufhängungen auf definierter Fahrbahn (IV) bei einer Fahrge-  
 schwindigkeit von 3 km/h.



**Bild 9.** Standardabweichung für die Abweichungen von der Sollage in der Vertikalebene bezogen auf die Längeneinheit des halben Auslegers für unterschiedliche Auslegeraufhängungen auf einem Feld nach Saatbett-Bereitung (Fahrbahn III) bei verschiedenen Fahrge-  
 schwindigkeiten (Bezeichnungen und Meßpunkte wie bei Bild 1).

Eine weitere Verringerung der Standardabweichung kann durch das versteifte Pendel A5 erzielt werden, da die horizontalen Kräfte nicht wie bei A3 und A4 in den Führungen wirken und damit der Ausleger durch Reibungskräfte nicht angeregt wird. Die Standardabweichung ist beim freien Pendel A6 und A8 am geringsten und steigt mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit hier auch am wenigsten an.

Die mittlere horizontale Schwinggeschwindigkeit der Ausleger für dieselben Aufhängungen bei gleicher Fahrbahn (III) ist in Bild 10 dargestellt. Erwartungsgemäß liegen bei der handelsüblichen Ausführung A1 wegen der ungenügenden Versteifung auch hohe mittlere Schwinggeschwindigkeiten vor. Die völlig andere Fahrbahnbeschaffenheit des Saatbettes hat bei den Balkenaufhängungen A2, A3 und A4 in diesem Diagramm zu einer gegenüber der Fahrbahn IV (Bild 8) veränderten Reihenfolge geführt.



**Bild 10.** Mittlere horizontale Schwinggeschwindigkeit bezogen auf die Längeneinheit des halben Auslegers für unterschiedliche Auslegeraufhängungen auf einem Feld nach Saatbett-Bereitung (Fahrbahn III) bei verschiedenen Fahrgeschwindigkeiten (Bezeichnungen und Meßpunkte wie bei Bild 1).

Die Ursache ist das Ausbleiben großer in der horizontalen Ebene wirkender Normalkräfte, die durch das ständig vorhandene Spiel in den Führungen auch zu elastischen Verformungen des Auslegers beitragen. Der Ersatz der Führungen in der horizontalen Ebene durch Stützen bzw. Feder-Dämpfer-Elemente bringt auch hier, wie die Balkenaufhängung A6 beweist, eine Herabsetzung der mittleren Schwinggeschwindigkeit.

Eine Vergrößerung der Pendellänge (A8) führt zu einer größeren mittleren Schwinggeschwindigkeit, weil durch die geringe Steifigkeit der Aufhängung die Feder-Dämpfer-Elemente weniger wirksam sind.

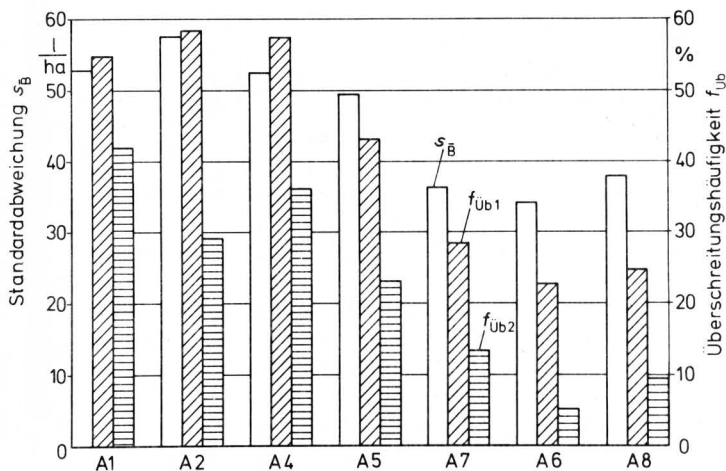
### 3.1.4 Verteilungsgüte der Spritzflüssigkeit bei unterschiedlichen Fahrbahnen

Die Spritzbeläge wurden parallel mit den Auslegerbewegungen aufgenommen. Die Charakterisierung des Belages erfolgt durch die Standardabweichung  $s_B$  und die Überschreitungshäufigkeit  $f_{Üb}$  bezogen auf den Belagsmittelwert von 150 l/ha. Die Überschreitungshäufigkeit gibt an, wie häufig ein bestimmter Wert der Belagdichte beispielsweise  $f_{Üb1} = 40\%$ ,  $f_{Üb2} = 50\%$  vom Belagsmittelwert überschritten wird. In Bild 11 sind für die definierte Fahrbahn (IV) diese Kennwerte der verschiedenen Aufhängungen für eine Arbeitsbreite von 12 m dargestellt.

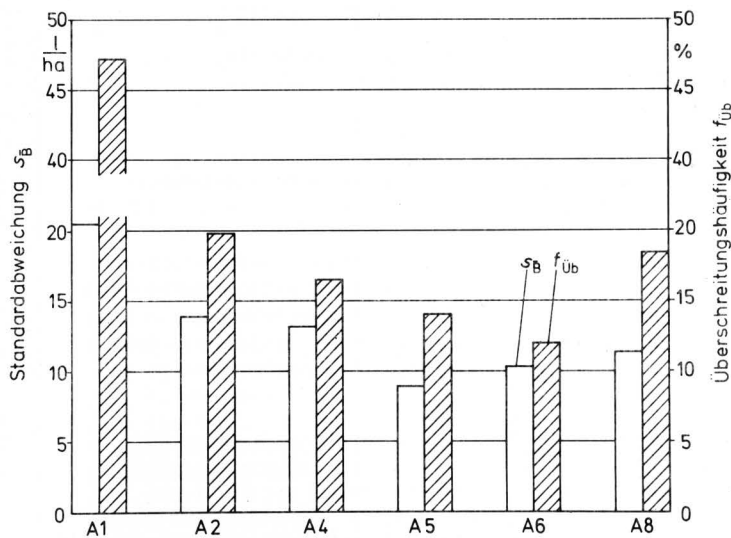
Die entsprechenden Kennwerte zur Charakterisierung der Spritzflüssigkeitsverteilung für die Fahrbahn III sind in Bild 12 dargestellt. Vergleicht man die Ergebnisse mit denen der definierten Fahrbahn (IV), so ist die Verteilung der Spritzflüssigkeit wesentlich besser. Hierbei ist außerdem zu berücksichtigen, daß der Überschreitungshäufigkeit  $f_{Üb}$  eine Schwelle von nur  $\pm 15\%$  des Belagsmittelwertes zugrunde liegt.

Auch hier weist die handelsübliche Ausführung A1 neben der starren Aufhängung des Versuchsauslegers A2 mit Abstand die größten Abweichungen vom Belagsmittelwert auf.

Die Verteilungsgüte wird durch eine geführte Pendelaufhängung A4 verbessert, erreicht jedoch erst seine größte Gleichmäßigkeit, wenn der Ausleger auch in der horizontalen Ebene freigemacht und mit Feder-Dämpfer-Elementen in der achsparallelen Lage gehalten wird (A6, A8).



**Bild 11.** Standardabweichung des Spritzbelags und Überschreitungshäufigkeit mit einer Bandbreite  $f_{Üb1} = 40\%$ ,  $f_{Üb2} = 50\%$  bezogen auf den Belagsmittelwert von 150 l/ha für unterschiedliche Auslegeraufhängungen auf definierter Fahrbahn (IV) bei einer Fahrgeschwindigkeit von 3 km/h.



**Bild 12.** Standardabweichung des Spritzbelags und Überschreitungshäufigkeit mit einer Bandbreite  $f_{Üb} = 15\%$  bezogen auf den Belagsmittelwert von 150 l/ha für unterschiedliche Auslegeraufhängungen auf einem Feld nach Saatbett-Bereitung (Fahrbahn III) bei einer Fahrgeschwindigkeit von 10 km/h.

Das für die Auslegeraufhängungen A6 und A8 in diesem Diagramm aufgezeigte Ergebnis — zunehmende Pendellänge, ungleichmäßigere Belagsstruktur — ist auf eine ungenügende Steifigkeit der Aufhängung zurückzuführen, die eine Erhöhung der mittleren Schwinggeschwindigkeit herbeiführt.

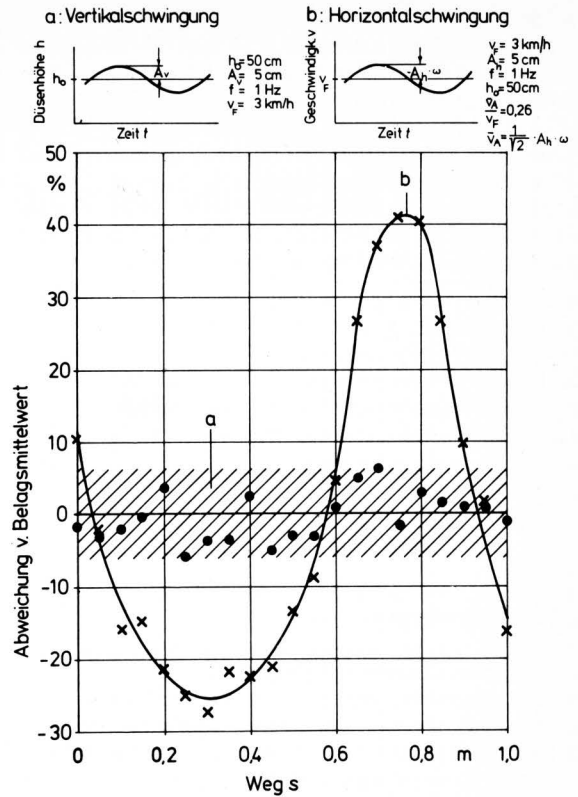
### 3.2 Laboruntersuchungen

#### 3.2.1 Verteilung der Spritzflüssigkeit bei vertikalen und horizontalen Auslegerbewegungen

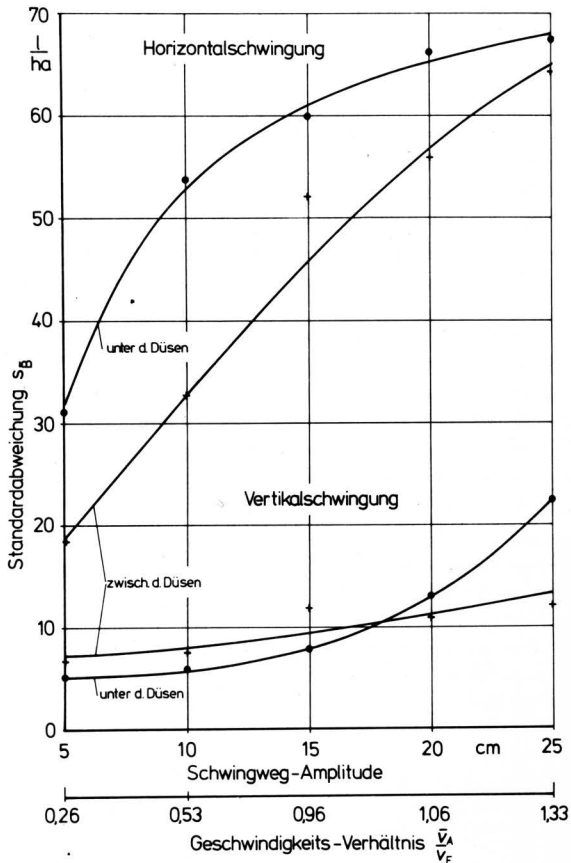
Bekanntlich entstehen bei unterschiedlichem Abstand zwischen Düsen und Zielfläche Fehler in der Querverteilung, die als Streifigkeit des Verteilungsbildes bezeichnet werden [13]. Schwingungen des Auslegers in der horizontalen Ebene, die eine Veränderung der momentanen Applikationsgeschwindigkeit hervorrufen, werden als Welligkeit des Verteilungsbildes definiert [13]. In Laboruntersuchungen wurden an einem Düsenwagen, der mit einer konstanten Fahr­geschwindigkeit von 3 km/h bewegt wurde, der Fahrbewegung Schwingungen in vertikaler und horizontaler Richtung überlagert und die Verteilung der Spritzflüssigkeit fluo­rometrisch erfaßt.

In Bild 13 sind die Abweichungen vom Belagsmittelwert (150 l/ha) über dem Weg bei der Applikation aufgetragen. Während der Einfluß der Horizontalschwingung auf die Flüssigkeitsverteilung sehr deutlich durch einen Kurvenlauf (Kurve b) wiedergegeben werden kann, ist dies bei der Vertikalschwingung nicht so ausgeprägt.

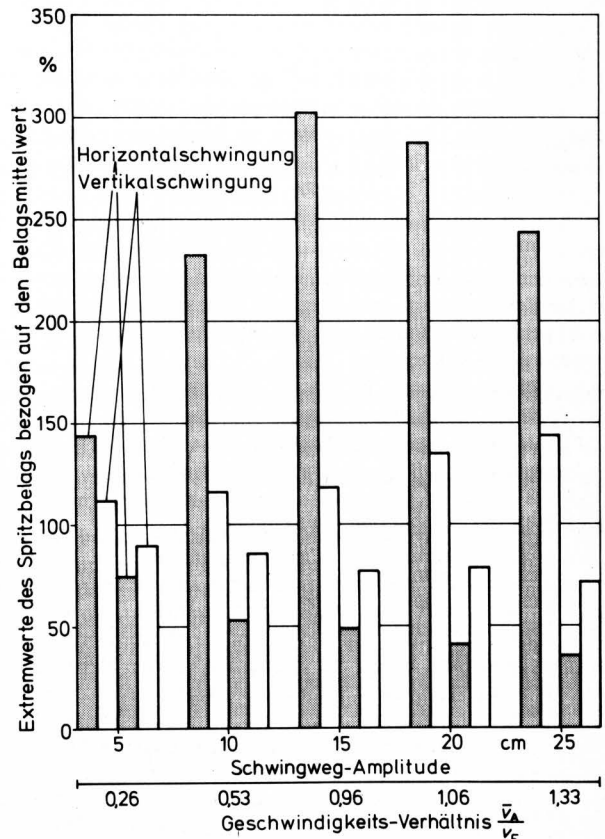
Ein Vergleich der Ergebnisse zeigt, daß die maximalen Abweichungen vom Belagsmittelwert stets von der Horizontalschwingung hervorgerufen und ungefähr um den Faktor 7 größer sind als diejenigen, die durch die Vertikalschwingungen verursacht werden.



**Bild 13.** Abweichung vom Belagsmittelwert (150 l/ha) unter den Düsen, wenn der konstanten Fahrbewegung des Auslegers Vertikal- und Horizontalschwingungen mit Amplituden von 5 cm und einer Frequenz von 1 Hz überlagert sind.



**Bild 14.** Standardabweichung vom Belagsmittelwert (150 l/ha) zwischen und unter den Düsen, wenn der konstanten Fahrbewegung des Auslegers Vertikal- und Horizontalschwingungen überlagert sind.



**Bild 15.** Extremwerte des Spritzbelags unter den Düsen bezogen auf den Belagsmittelwert (150 l/ha), wenn der konstanten Fahrbewegung des Auslegers Vertikal- und Horizontalschwingungen überlagert sind.

Den Einfluß der Schwingweg-Amplitude und das Verhältnis von Fahrgeschwindigkeit zu mittlerer Schwinggeschwindigkeit auf die Verteilgenauigkeit zeigt **Bild 14 und 15**. Mit zunehmender Schwingweg-Amplitude und größerer Schwinggeschwindigkeit wird, wie **Bild 14** zeigt, die Verteilgüte, repräsentiert durch die Standardabweichung vom Belagsmittelwert (150 l/ha), schlechter. Dabei ist der Einfluß der Horizontalschwingung des Auslegers auf die Spritzflüssigkeitsverteilung wesentlich größer als derjenige der Vertikalbewegung. Außerdem ist die Verteilung der Spritzflüssigkeit unter den Düsen schlechter als diejenige zwischen den Düsen.

Die Extremwerte des Spritzbelages, die sich bei diesen Auslegerbewegungen einstellen, zeigt **Bild 15**. Der Belagsmittelwert entspricht 100 %, wobei Werte kleiner 100 % Unterdosierungen und Werte größer 100 % Überdosierungen darstellen. Die Horizontalschwingungen führen grundsätzlich zu weit größeren Extremwerten des Belages als die Vertikalschwingungen, wobei der Einfluß bereits kleiner horizontaler Schwinggeschwindigkeiten auf die Belagsbildung deutlich wird.

#### 4. Zusammenfassung

Bei den Untersuchungen konnte grundsätzlich ein bestimmter Zusammenhang zwischen Auslegerbewegung und Niederschlagsverteilung gefunden werden. Die Versuche im Freiland zeigen, daß durch eine starre Verbindung des Auslegers mit dem Fahrzeug nur bei geringen Auslegerlängen und relativ niedrigen Fahrgeschwindigkeiten Spritzbeläge mit befriedigender Verteilgüte zu erzielen sind. Für eine ausreichende Verteilung muß außerdem der Ausleger selbst eine bestimmte Steifigkeit auch in horizontaler Richtung aufweisen. Die Vorteile einer Pendelaufhängung kommen nur dann zur Geltung, wenn die Reibungskräfte in den Führungen möglichst ausgeschaltet werden. Eine wesentliche Verbesserung der Verteilgüte ist nur dann zu erreichen, wenn die Führungen durch eine doppelte Pendellagerung ersetzt werden, welche die Momente in der horizontalen Ebene aufnimmt. Die Fixierung des Auslegers in der achsparallelen Lage allein durch elastische Rückführelemente, wie beim freien Pendel, hat die günstigsten Ergebnisse erbracht. Eine Vergrößerung der Pendellänge beim Versuchsgerät führte zu einer Verkleinerung der vertikalen Lageabweichung.

Die sehr unterschiedlichen Fahrbahnen, die den Versuchsergebnissen zugrunde liegen, führen jeweils auf die gleiche Beurteilung der verschiedenen Aufhängungen hinsichtlich der Verteilgenauigkeit. Dies bedeutet, daß grundsätzliche Eigenschaften der einzelnen Auslegeraufhängungen auch auf definierten Fahrbahnen erarbeitet werden können.

In Laboruntersuchungen wurde festgestellt, daß die Verteilung der Spritzflüssigkeit neben der vertikalen Auslegerbewegung in erster Linie durch die Horizontalbewegung des Auslegers beeinflusst wird. Diese Feststellung wird auch beim Vergleich der Auslegerbewegung

mit dem im praktischen Einsatz ermittelten Spritzbelag bestätigt, da Überdosierungen überwiegend dann auftreten, wenn hohe Schwinggeschwindigkeiten entgegen der Fahrtrichtung vorliegen. Außerdem wurde festgestellt, daß die größten Ungenauigkeiten in der Spritzflüssigkeitsverteilung ausschließlich unter und nicht zwischen den Düsen auftreten.

#### Schrifttum

Bücher sind durch ● gekennzeichnet

- [ 1 ] *Osváth, J. u. H. Geidel*: Besonderheiten der biometrischen Auswertung von Pflanzenschutzversuchen. Z.f. Pflkrankh. Bd. 82 (1975) S. 449/66.
- [ 2 ] *Nation, H.J. u. M.R. Holden*: The dynamic behavior of field sprayer booms: The average boom tip performance of 14 sprayers over several operating conditions. NIAE Dept.-Note No. DN/S/537/1905 (1975), 53 S.
- [ 3 ] *Speelman, L. u. J.W. Jansen*: The effect of spray boom movement on the liquid distribution of field crop sprayers J. agric. Engng. Res. Bd. 19 (1974) S. 117/29.
- [ 4 ] *Speelman, L.*: Die gleichmäßige Verteilung von Spritzbrühen auf unebenem Gelände ist mit den heutigen Spritzbalken- und Düsenkonstruktionen meistens unbefriedigend. Grundl. Landtechnik Bd. 23 (1973) Nr. 1, S. 25/27.
- [ 5 ] *van der Weij, H.G., J.H. Leeuw u. L. Speelman*: Spuitdoppen en vloeistofverdeling. Landbouwmecanisie Bd. 23 (1972) S. 207/12 u. 311/19.
- [ 6 ] *Schmidt-Ott, M.*: Konstruktive und regelungstechnische Maßnahmen zur Erhöhung der Verteilgüte von Pflanzenschutz- und Düngemaschinen. Diss. TU Berlin, 1976.
- [ 7 ] *Ganzelmeier, H. u. E. Moser*: Weitere Ergebnisse zum Bewegungsverhalten von Auslegern und Verteilgüte der Spritzflüssigkeit bei Feldspritzgeräten (in Vorbereitung).
- [ 8 ] *Braun, H.*: Untersuchungen von Fahrbahnenunebenheiten und Anwendung der Ergebnisse. Diss. TU Braunschweig, 1969.
- [ 9 ] *Bausch, H.*: Grundsätzliche Möglichkeiten zur statistischen Auswertung von Meßergebnissen VDI-Bericht, Nr. 69 Düsseldorf: VDI-Verlag 1963.
- [ 10 ] *Wendeborn, J.O.*: Die Unebenheiten landwirtschaftlicher Fahrbahnen als Schwingungserreger landwirtschaftlicher Fahrzeuge. Grundl. Landtechnik Bd. 15 (1965) S. 33/46.
- [ 11 ] *Heringhaus, E.*: Entwicklung spezieller elektronischer Meßverfahren. Diss. TH Braunschweig, 1963.
- [ 12 ] ● *Taubenheim, J.*: Statistische Auswertung geophysikalischer und meteorologischer Daten. Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft 1969.
- [ 13 ] *Göhlich, H. u. J. Zanke*: Forschung und Anwendungstechnik im Pflanzenschutz. Nachrichtenb. Dtsch. Pflanzenschutzd. Bd. 22 (1970) S. 129/35.