

Verbesserung der Verteilungsgüte von Feldspritzgeräten mit großen Arbeitsbreiten

Von Martin Schmidt-Ott, Berlin*)

DK 632.9:632.982

Die Ausschaltung von Auslegerschwan­kungen in vertikaler und horizontaler Ebene ist eine wichtige Forderung, die an moderne Pflanzenschutzgeräte im Feldeinsatz gestellt wird; denn sowohl Abstandsänderungen zwischen Düsen und Zielfläche durch vertikale Schwankungen als auch Änderungen der Applikationsgeschwindigkeit in horizontaler Richtung können erhebliche Verteilungsfehler hervorrufen.

Durch einfache konstruktive Maßnahmen kann eine passive Stabilisierung des pendelnden Auslegers erreicht werden. Dabei wird der Ausleger durch elastische Bauteile in der achsparallelen Lage fixiert, wodurch Reibung vermindert und auf den Ausleger rückwirkende Kräfte weitgehend ausgeschaltet werden.

1. Einleitung

Mit der Entwicklung der chemischen Pflanzenschutzmittel und Flüssigdünger sowie differenzierterer Behandlungsmethoden sind die gerätetechnischen Anforderungen zur Erzielung eines gewünschten, gleichmäßigen Spritzbelages gestiegen. Die Notwendigkeit zur Rationalisierung bedingt bei der Flächenspritzung eine Vergrößerung der Arbeitsbreite und eine Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit. Diese Forderungen können nur durch eine geeignete konstruktive Ausführung der Geräte erfüllt werden. Eine weitere Forderung heißt Reduzierung der Aufwandmengen bzw. Erhöhung der Konzentration der Pflanzenschutzmittel bei sich verringernder Spanne zwischen Verträglichkeit und Schädlichkeit für die Nutzpflanze. Das bedeutet für das Gerät ein Einhalten engerer Toleranzen in der Verteilung [1].

Wesentliche Probleme der Verteiltechnik im Feldspritzbetrieb sind zum einen die Dosierung der chemischen Mittel in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit, worüber früher berichtet wurde [2], und zum anderen das Bewegungsverhalten des Auslegers in seiner Aufhängung. Der Einfluß der Aufhängung des Auslegers auf die Einhaltung einer gleichmäßigen Höhenlage über der Zielfläche und einer gleichförmigen Applikationsgeschwindigkeit (absolute Geschwindigkeit der Düsen in Fahrtrichtung) soll hier im Mittelpunkt der Betrachtungen stehen.

Vorgetragen auf der Jahrestagung der VDI-Fachgruppe <Landtechnik> am 17. Okt. 1974 in Stuttgart.

*) *Dipl.-Ing. Martin Schmidt-Ott ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Institut für Maschinenkonstruktion, Bereich Landtechnik und Baumaschinen (Direktor: Prof. Dr.-Ing. H. Göhlich) der TU Berlin.*

Von den möglichen Bewegungen des Fahrzeuges fallen besonders die Wank- und Gierbewegungen ins Gewicht. Sie verursachen bei einem starr am Fahrzeug befestigten Ausleger Drehbewegungen um die Fahrzeuglängsachse (im folgenden als Bewegungen in der vertikalen Ebene bezeichnet) und um die Fahrzeughochachse (im folgenden als Bewegungen in der horizontalen Ebene bezeichnet).

Betrachtet man den Stand der Gerätetechnik, so ist der Trend zu größeren Arbeitsbreiten unübersehbar [3]. Viele Hersteller bieten Geräte bis zu 24 m Arbeitsbreite an, die heute in der Regel eine pendelnde Aufhängung besitzen. Grundprinzip der meisten Konstruktionen ist dabei: Pendelausgleich in der vertikalen Ebene und starre Führung in der horizontalen Ebene.

Bevor die Untersuchungen an verschiedenen Aufhängekonstruktionen beschrieben werden, sollen Art und Größenordnung der durch vertikale und horizontale Auslegerschwan­kungen verursachten Fehler in der Verteilung etwas näher erläutert werden.

2. Theoretische Ermittlung der Fehler in der Verteilung bei Auslegerschwan­kungen

Wenn man die Bewegungen des Auslegers in beiden Ebenen getrennt betrachtet und einige vereinfachende Annahmen trifft, läßt sich der Fehler in der Verteilung näherungsweise rechnerisch bestimmen. Dazu wird angenommen, daß die Bewegungen des Auslegers harmonisch sind, die Einzeldüsen eine ideale Verteilung aufweisen und die Tropfenverteilung innerhalb des Spritzschleiers homogen ist.

Ein Ergebnis der Rechnung zeigt **Bild 1**, in dem dargestellt ist, welche Niederschläge von Pflanzenschutzmitteln sich theoretisch ergeben, wenn ein Düsenverband die im oberen Teil des Bildes dargestellte harmonische Bewegung in vertikaler Ebene durchgeführt. Die Diagramme stellen jeweils den Flächenausschnitt unter einer Düse dar. Unter den benachbarten Düsen würden sich ähnliche Verteilungsbilder anschließen. Das untere Bild zeigt den günstigen Einfluß von Düsen mit großem Spritzwinkel, der auch bei geringen Bodenabständen noch für eine ausreichende Überlappung sorgt.

Die wesentlichen Abweichungen entstehen bei Annäherung der Düsen an die Zielfläche, was bei Pendelbewegungen auf der einen Seite des Auslegers immer der Fall ist. Es treten dabei Überdosierungen auf, die allerdings in Wirklichkeit etwas weniger ausgeprägt sein werden, da bei der Rechnung nicht berücksichtigte Luftbewegungen und der in der Praxis weniger scharf abgegrenzte Spritzschleier einen ausgleichenden Einfluß haben.

Bei länger anhaltender Auslenkung des Auslegers treten also unter den Düsen streifenförmige Bereiche von über- und unterdosierten Flächen auf, die als Streifigkeit der Querverteilung bezeichnet werden [4].

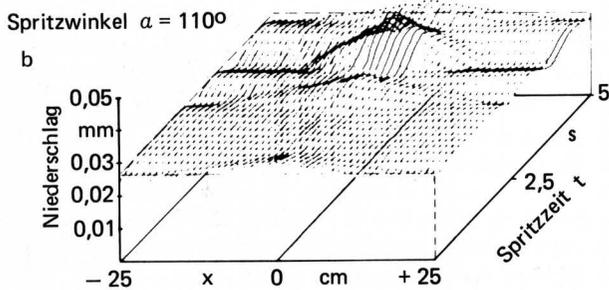
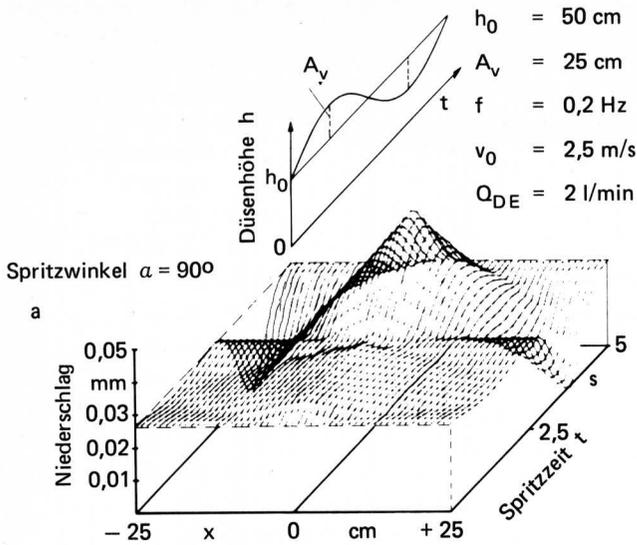


Bild 1. Verteilung der Niederschläge von Pflanzenschutzmitteln bei Vertikalschwingungen eines Düsenverbandes (theoretisch).

A_v Amplitude der Vertikalschwingung
 f Frequenz
 h_0 eingestellte Düsenhöhe
 v_0 Fahrgeschwindigkeit
 Q_{DE} Durchfluß der Einzeldüse
 x seitliche Entfernung von der Düsenachse

Schwingungen des Auslegers in der horizontalen Ebene überlagern sich der Fahrgeschwindigkeit und rufen eine Veränderung der momentanen Applikationsgeschwindigkeit hervor. Unter der Voraussetzung einer idealen Querverteilung im Düsenverband und gleichbleibender Düsenhöhe ergibt sich die in **Bild 2** dargestellte Verteilung. Da der Spritzschleier unterschiedlich lange über einer Stelle verweilt, entstehen in Fahrtrichtung gesehen nacheinander über- und unterdosierte Bereiche, die man als Welligkeit der Längsverteilung bezeichnet [4].

Interessant ist die aus **Bild 2** zu ersehende starke Abhängigkeit des theoretischen Niederschlags von der Dicke des Spritzschleiers, d.h. von seiner Ausdehnung in der Fahrtrichtung. Das gilt besonders in Bereichen niedriger Absolutgeschwindigkeit der Düsen, also an Stellen, wo die Düsen aufgrund des entgegen der Fahrtrichtung schwingenden Auslegers nahezu über dem Boden stehenbleiben.

Eine Flächenstrahldüse neigt also zu höheren Überdosierungen bei horizontalen Schwingungen des Auslegers [5]. Andererseits wird sie bei der Flächenspritzung wegen ihrer hohen Genauigkeit in der Querverteilung vorwiegend eingesetzt. Das verstärkt die Forderung nach Reduzierung der Horizontalschwankungen des Auslegers, ein Punkt, dem bei der Gestaltung von Geräten bisher zu wenig Aufmerksamkeit geschenkt wurde.

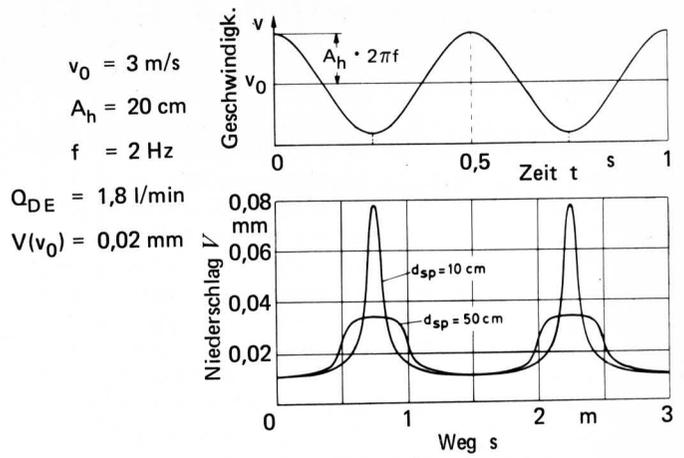


Bild 2. Örtlicher Niederschlag von Pflanzenschutzmitteln bei Horizontalschwingungen eines Düsenverbandes (theoretisch).

A_h Amplitude der Horizontalschwingung
 d_{sp} Dicke des Spritzschleiers

3. Untersuchte Aufhängekonstruktionen

Für die Möglichkeit, auf die Lage bzw. das Bewegungsverhalten eines Auslegers Einfluß zu nehmen, lassen sich zwei Verfahren unterscheiden:

1. Die aktive Stabilisierung:

Darunter versteht man das Einwirken auf die Auslegerlage durch eine von der Zielfläche abgeleitete Kraft, die z.B. direkt über Kufen oder Räder am Auslegerende wirken kann oder indirekt als Stellgröße eines Lageregelkreises erscheinen kann. Das bedeutet also, daß in jedem Fall die Zielfläche die Bezugsebene für die Auslegerlage ist.

2. Die passive Stabilisierung:

Hierunter wird eine selbsttätige Lageanpassung der Auslegerkonstruktion durch Ausnutzen der Schwerkraft verstanden, wie es z.B. bei den handelsüblichen Konstruktionen mit Pendelausgleich der Fall ist.

Ein wesentlicher Unterschied beider Verfahren besteht funktionsmäßig darin, daß die aktive Stabilisierung von sich aus die Geländestruktur der Zielfläche berücksichtigt, während bei der passiven Stabilisierung eine zusätzliche Anpassung, also ein Hangausgleich notwendig wird, wenn die Richtung der Schwerkraft und die Normale auf die Zielfläche bei unebenem Gelände nicht mehr zusammenfallen.

Für die Untersuchung von passiven Stabilisierungsmaßnahmen wurden aus der Vielzahl von vorhandenen und vorstellbaren Aufhängekonstruktionen für große Ausleger einige Grundtypen ausgewählt, **Bild 3**.

Das **Bild 3a** zeigt schematisch das geführte Pendel. Dieses Grundprinzip wird von den meisten Herstellern benutzt: Der Ausleger kann sich als Pendel in der vertikalen Ebene bewegen, während er in der Horizontalen durch 2 Führungen am Fahrzeug bzw. am Gestell gestützt wird.

Bild 3b zeigt das geführte Seilpendel. Die Konstruktion unterscheidet sich nur wenig vom vorigen Beispiel. Allerdings besteht die Aufhängung des Auslegers aus Stahlseilen. Die Seile sind kreuzweise so befestigt, daß bei Pendelbewegungen ein Moment am Ausleger erzeugt wird, das der Reibung in den Führungen entgegengerichtet ist.

Das versteifte Pendel, **Bild 3c**, ist gekennzeichnet durch eine stabile Pendellagerkonstruktion und das Fehlen der seitlichen Führungen. Über die beiden Stützen, die am hinteren Lager zusammenlaufen, wird der Ausleger in seiner Lage zum Fahrzeug versteift.

Bild 3d zeigt schließlich das freie Pendel, bei dem der Ausleger in beiden Ebenen also der vertikalen und der horizontalen beweglich ist. Das kann erreicht werden, indem die Abstützung durch elastische Elemente ersetzt wird, die für die Rückführung des Auslegers in eine Lage parallel zu den Achsen des Fahrzeugs sorgen. Ein wichtiges Detail dieser Aufhängung besteht darin, daß die Feder-Dämpfung-Kombination in der Seitenansicht parallel zur Pendelachse angebracht ist und ihre hintere Befestigung mitpendeln kann, um die Erzeugung vertikaler Kraftkomponenten bei horizontalen Bewegungen zu vermeiden.

Sämtliche Aufhängungen sind mit einem Schwingungssimulator, der harmonische Wankbewegungen eines Fahrzeuges nachvollziehen kann, untersucht worden. Dabei wurden Eigenfrequenz, Dämpfung und Vergrößerungsfunktion in vertikaler Ebene bei unterschiedlichen geometrischen Parametern aufgenommen, um diese Größen mit den Ergebnissen praxisnaher Versuche auf definierten Fahrbahnen vergleichen zu können.

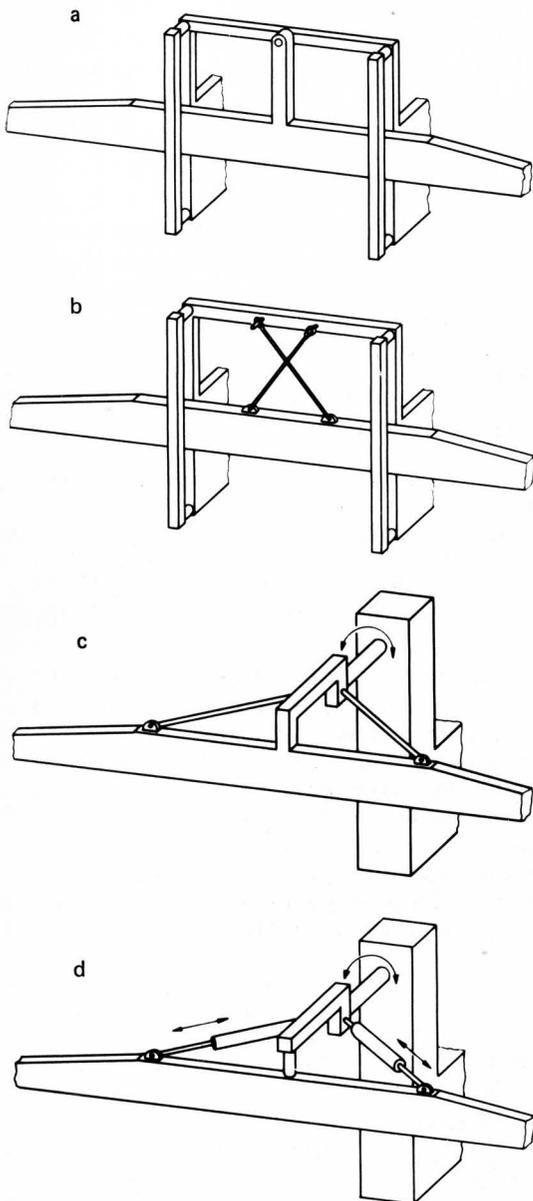


Bild 3. Grundtypen pendelnder Aufhängekonstruktionen.

- a geführtes Pendel
- b geführtes Seilpendel
- c versteiftes Pendel
- d freies Pendel

Die Versuche auf dem Schwingungssimulator sollen auch zeigen, ob auf diese Weise mit einfachen Mitteln eine Überprüfung von Auslegerkonstruktionen bezüglich ihres Schwingungsverhaltens möglich ist.

Die Fahrbahnversuche wurden auf einer künstlichen Fahrbahn mit ein und demselben Schlepper durchgeführt. Dabei wurde am Auslegerende sowohl das vertikale Wegsignal — also Abstandssignal — als auch das horizontale Beschleunigungssignal bei unterschiedlichen Fahrgeschwindigkeiten aufgenommen und anschließend statistisch ausgewertet.

Das Bild 4 zeigt die Versuchsfahrbahn mit extrem rauher Kontur, die mit Geschwindigkeiten von maximal nur 3 km/h befahren wurde. Das erscheint zwar praxisfremd, stellt aber gerade für die Pendelaufhängung eine ungünstige Situation dar, nämlich niederfrequente Anregung mit großer Amplitude, wodurch das Pendel viel stärker angeregt wird, als durch kurze, harte Stöße bei hoher Fahrgeschwindigkeit.



Bild 4. Versuchsfahrbahn.

4. Versuchsergebnisse

Als Maß für die vertikalen Abstandsänderungen von Ausleger und Erdboden wurde die Standardabweichung von der sich rechnerisch ergebenden mittleren Höhenlage des Auslegers herangezogen.

Die in horizontaler Ebene gemessenen Beschleunigungen konnten durch Integration und Betragsbildung in den Betragsmittelwert der Horizontalgeschwindigkeit umgerechnet werden. Dieser Wert gibt die Größenordnung der der Fahrgeschwindigkeit überlagerten Bewegung an.

In Bild 5 sind die Ergebnisse für die vertikalen Abweichungen für die verschiedenen Konstruktionen zusammengestellt. Zum Vergleich wurde auch das Verhalten einer völlig starren Aufhängung aufgenommen, Bild 5a. Man erkennt die großen mit der Fahrgeschwindigkeit ansteigenden Abweichungen in der vertikalen Ebene. Der Anstieg ist auf das dynamische Verhalten der Reifen und auf zunehmende elastische Verformungen in der 3-Punkt-Aufhängung und am Ausleger selbst zurückzuführen.

Bild 5b zeigt den Verlauf der vertikalen Abweichungen über der Fahrgeschwindigkeit für die Pendelaufhängungen mit seitlichen Führungen. Ein zu kurzes Pendel — hier mit 25 cm Pendellänge — neigt dazu, aufgrund seiner kaum noch stabilen Lage, aus der Nulllage zu driften, wobei die maximalen Winkel der Auslenkung zwar geringer sind als bei der starren Aufhängung, die Dauer der Auslenkung jedoch größer wird.

Die Versuche mit den geführten Pendeln sind schlecht reproduzierbar, da die Abweichungen zum Teil zufällig davon abhängen, zu welchem Zeitpunkt Normalkräfte in den Führungen auftreten und dadurch Reibungskopplung zwischen Ausleger und Gestell entsteht. Im allgemeinen verhalten sich lange Pendel — hier mit 90 cm Pendellänge — bei höheren Geschwindigkeiten günstiger.

Bild 5c zeigt nun den wesentlich besseren Verlauf der Standardabweichung bei dem versteiften Pendel.

Noch günstiger, weil kaum noch von der Fahrgeschwindigkeit abhängig, sind die Abweichungen beim freien Pendel, Bild 5d. Hier liegen die Werte der Standardabweichung in der Größenordnung der Höhenschwankungen der mittleren Fahrbahnkontur. Es treten also kaum noch Drehbewegungen auf.

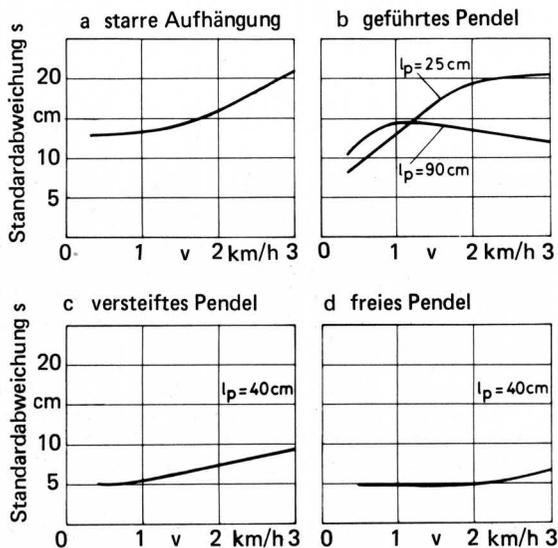


Bild 5. Vertikale Abweichungen am Auslegerende, gekennzeichnet durch die Standardabweichung s , als Funktion der Fahrgeschwindigkeit.

Bild 6 zeigt die Abhängigkeit der am Auslegerende auftretenden mittleren Schwinggeschwindigkeit in der horizontalen Ebene von der Fahrgeschwindigkeit. Die in dieser Ebene starren Aufhängungen zeigen ein mit der Fahrgeschwindigkeit nahezu lineares Ansteigen der Schwinggeschwindigkeit.

Das freie Pendel mit elastischer Rückführung in der Horizontalen zeigt dagegen eine degressive Kennlinie. Das bedeutet, daß die Schwinggeschwindigkeit gegenüber der Fahrgeschwindigkeit immer kleiner wird. Es treten also keine niedrigen Absolutgeschwindigkeiten auf, die die Längsverteilung beeinflussen.

Diese Ergebnisse zeigen, daß eine bessere passive Stabilisierung durch Freimachen des Auslegers in horizontaler Ebene erreicht werden kann.

Systembedingter Nachteil für Bedienung und Funktion ist die Notwendigkeit der Überwachung und Einstellung der entsprechenden Hanglagen. Für eine Weiterentwicklung folgt konsequenterweise der Übergang zur aktiven Stabilisierung des Auslegers durch Abstandsregelung. Die ungleichmäßige Zielflächenstruktur und die Forderung nach möglichst berührungslosem Abtasten derselben, bedingt einen hohen technischen Aufwand und damit entsprechende Kosten für die Herstellung. Die Grundlagen solcher Systeme zu erarbeiten ist eine weitere Aufgabe, die dieses Thema stellt.

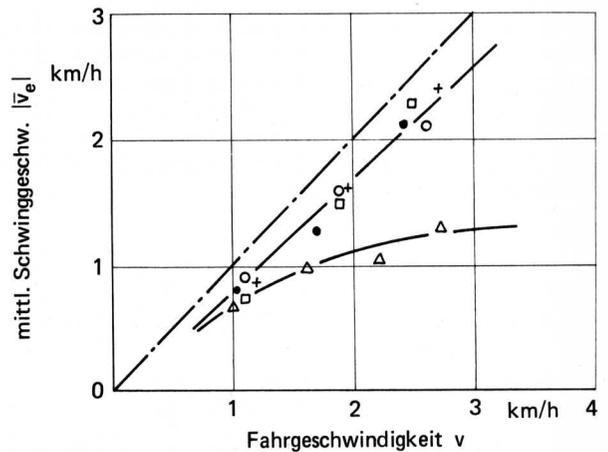


Bild 6. Abhängigkeit der horizontalen Bewegung von der Fahrgeschwindigkeit.

• starre Aufhängung
□ ○ + geführtes Pendel
△ freies Pendel

Schrifttum

- [1] Kersting, F.: Probleme der Applikationstechnik im Pflanzenschutz. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz Bd. 76 (1969) H. 8, S. 484/500.
- [2] Schmidt-Ott, M.: Systeme zur fahrgeschwindigkeitsabhängigen Dosierung von Pflanzenschutzmitteln. Grndl. Landtechnik Bd. 24 (1974) Nr. 2, S. 61/63.
- [3] Göhlich, H.: Dünge- und Pflanzenschutztechnik. Grndl. Landtechnik Bd. 24 (1974) Nr. 6, S. 178/80.
- [4] Göhlich, H. u. J. Zanke: Forschung und Anwendungstechnik im Pflanzenschutz. Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes, Bd. 22 (1970) H. 9, S. 129/35.
- [5] Speelmann, L.: Die gleichmäßige Verteilung von Spritzbrühen auf unebenem Gelände ist mit den heutigen Spritzbalken- und Düsenkonstruktionen meistens unbefriedigend. Grndl. Landtechnik Bd. 23 (1973) Nr. 1, S. 25/27.