

[16] ● *Vogt, E.*: Weinchemie und Weinanalyse. Stuttgart: Ulmer-Verlag, 1970.
 [17] *Cahill, J.T., P.A. Carroad u. R.E. Kunkee*: Cultivation of yeast under carbon dioxide pressure for use in continuous sparkling wine production. Am. J. Enol. Vitic. Bd. 31 (1980) Nr. 1, S. 46/52.

[18] ● *Trost, G.*: Technologie des Weines. Stuttgart: Ulmer-Verlag, 1972.
 [19] ● *Weast, R. u. M.J. Astle (Hrsg.)*: CRC-Handbook of chemistry and physics. Boca Raton, Florida: CRC Press Inc., 1980.

Restschleierbildung bei Pflanzenschutz-Feldspritzungen

Von Horst Göhlich und Zülfü Selcan, Berlin*)

DK 631.348:632.981.1

Spritzschleier hinter Feldspritzbalken haben über die Abdrift Bedeutung sowohl für die Belastung der Umwelt wie für die Belastung des Fahrers beim Ausbringen von Pflanzenbehandlungsmitteln.

In diesem Beitrag wird experimentell untersucht, wie sich verschiedene Parameter wie Fahrgeschwindigkeit, Spritzdruck, Düsenart und Düsengröße auf die räumliche Ausdehnung des Spritzschleiers auswirken. Es zeigt sich, daß von diesen Größen die Fahrgeschwindigkeit von größtem Einfluß auf die Länge des Spritzschleiers ist.

1. Die Schleierbildung hinter Spritzdüsen

Mit den Untersuchungen sollte experimentell das Verhalten der Spritzschleier hinter Feldspritzbalken dargestellt und bewertet werden. Es ist bekannt, daß höhere Fahrgeschwindigkeiten bei gleichen Spritzparametern eine größere Abdrift verursachen können. Eine solche Abdrift wird in der Regel durch die Geschwindigkeit des natürlichen Windes hervorgerufen, dessen Geschwindigkeit aus horizontalen und vertikalen Komponenten zusammengesetzt sein kann. Der natürliche Wind wird umso mehr Teilchen bzw. Wirkstoffsubstanz aus einem Spritzschleier herauslösen und mit sich führen, je größer die Zeit der Sedimentation zwischen Düse und Bestand bzw. Ablageort der Teilchen ist und je weiter der sedimentierende Spritzschleier auseinandergezogen ist.

Die Zeit der Sedimentation des Spritzschleiers hängt in erster Linie von der Teilchengrößenzusammensetzung ab, die Länge des Spritzschleiers hinter der Düse von der Fahrgeschwindigkeit.

Solange der überwiegende Volumenanteil eines Spritzschleiers im Tropfengrößenbereich über etwa 100 µm liegt, wird dieser Anteil direkt, d.h. in kurzer Zeit und nur wenig vom Winde beeinflusst, in den Bestand gelangen. Der sich ausbildende Restschleier aus kleineren Tropfen folgt in seinem Bewegungsverhalten weitgehend den Sedimentationsgesetzen und dem herrschenden Strömungsfeld.

Aus Bild 1 wird die bekannte Tatsache ersichtlich, daß die kleinen Tropfen nach Verlassen der Düse je nach ihrer Größe (Indizes geben die Tropfengröße in µm an) mehr oder weniger schnell ihre Endgeschwindigkeit (die Schwebegeschwindigkeit) annehmen. Ein 100 µm-Tropfen erreicht seine Endgeschwindigkeit bereits nach 0,2 m, ein 200 µm-Tropfen etwa nach 0,6 m (im Bild Wert des zugehörigen y dort, wo v einen konstanten Wert annimmt). Alle grö-

ßeren Tropfen erreichen den Pflanzenbestand mit einer Geschwindigkeit, die wesentlich größer als die jeweilige Schwebegeschwindigkeit ist.

Was hinter der fahrenden Düse sichtbar wird, Spritzschleier oder auch Restschleier genannt, besteht somit überwiegend aus Tropfen, die kleiner als 100 µm sind. Hierbei ist anzumerken, daß durch Verdunstung die Tropfengröße während der Sinkzeit ständig abnimmt [2, 3].

Die Schleierbildung soll im folgenden außer durch die bekannten theoretischen Zusammenhänge durch experimentelle Ergebnisse verdeutlicht werden.

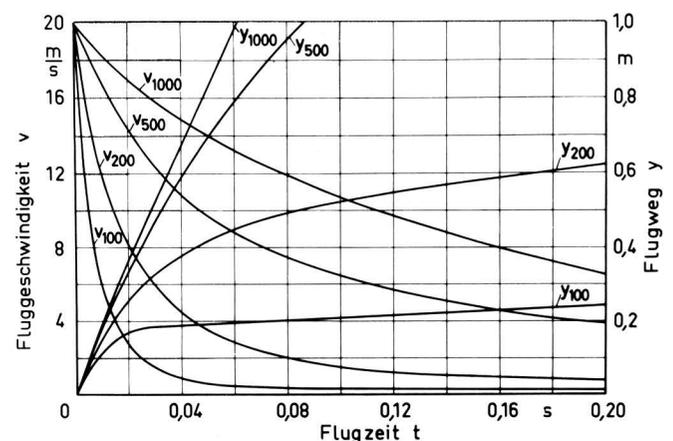


Bild 1. Fluggeschwindigkeit und Flugweg von Wassertropfen in der Luft in Abhängigkeit von der Flugzeit. Tropfenabgabe senkrecht nach unten mit einer Anfangsgeschwindigkeit $v_0 = 20$ m/s, nach Zaska [1].

2. Analytische Betrachtung

Die Bewegung der durch die Zerstäubung erzeugten Tropfen in den Pflanzenbestand erfolgt nach den strömungstechnischen Gesetzmäßigkeiten. Die maßgebende Größe dafür bildet die Widerstandszahl:

$$c_w = f(\text{Re}); \quad \text{Re} = d v / \nu.$$

Nachdem der Tropfen mit einer Anfangsgeschwindigkeit v_0 , die etwa der Strahlaustrittsgeschwindigkeit entspricht, die Düse verlassen hat, wird seine Fortbewegung infolge des Luftwiderstandes gebremst, so daß er nach einer gewissen Zeit mit einer konstanten Schwebegeschwindigkeit v_s sedimentiert.

*) Prof. Dr.-Ing. H. Göhlich ist Leiter des Instituts für Maschinenkonstruktion – Bereich Landtechnik und Baumaschinen – der Technischen Universität Berlin, Dipl.-Ing. Z. Selcan ist wiss. Mitarbeiter an diesem Institut.

Über die Tropfenbewegung existieren zahlreiche analytische und experimentelle Untersuchungen, welche nur für Einzeltröpfen gültig sind [1, 4, 5]. Das schwebende Tropfenkollektiv wird durch die induzierte Luftströmung beeinflusst, welche erstens durch den Spritzstrahl und zweitens durch den Fahrtwind erzeugt wird. Daher ist eine exakte Übertragung der bekannten Erkenntnisse auf diesen physikalischen Vorgang nicht möglich. Für das Bewegungsverhalten schwebefähiger Tropfen bis zu einer Größe von ca. 100 μm gilt der Widerstand W nach dem *Stokesschen* Gesetz:

$$W = 3 \pi \eta_g d v \quad (\text{für } Re < 1) \quad (1).$$

Die Endgeschwindigkeit v_s stellt sich dann ein, wenn zwischen der Widerstandskraft W und der Gewichtskraft G Gleichgewicht herrscht.

$$3 \pi \eta_g d v_s = V (\rho_{F1} - \rho_g) g \quad (\text{für } Re < 1) \quad (2).$$

Darin bedeuten η_g die dynamische Viskosität der Luft, d Tropfendurchmesser, V Tropfenvolumen, ρ_{F1} Tropfendichte, ρ_g Luftdichte und g die Fallbeschleunigung. Aus der obigen Beziehung ergibt sich die Endgeschwindigkeit:

$$v_s = \frac{(\rho_{F1} - \rho_g) g}{18 \eta_g} d^2 \quad (\text{für } Re < 1) \quad (3).$$

Die Bedingung $Re < 1$ erfüllen Wassertropfen bis zu einer Größe von 80 μm . **Tafel 1** zeigt die nach Gl. (3) berechneten Endgeschwindigkeiten für Wassertropfen und die Sedimentationszeit bei einem Sinkweg von 0,5 m.

Tropfendurchmesser μm	Endgeschwindigkeit cm/s	Sedimentationszeit s
30	2,7	18,5
40	4,8	10,4
50	7,5	6,7
60	10,8	4,6
70	14,7	3,4
80	19,2	2,6

Tafel 1. Endgeschwindigkeit und Sedimentationszeit in Luft sinkender Wassertropfen bei einem Sinkweg von 0,5 m (Anfangsgeschwindigkeit $v_0 = 0$).

Bild 3. Fotografische Aufnahmen von Restschleiern.

Bild 3a: Teejet-Flachstrahldüse 11002, 4 bar, 5 km/h.

Bild 3b: Conejet-Kegelstrahldüse TX 1, 4 bar, 5 km/h.

Bild 3c: Teejet-Flachstrahldüse 11002, 4 bar, 10 km/h.

3. Meßmethode

Die Aufgabe bestand in der Erfassung der Bewegung des Spritzschleiers bis zum vollständigen Sedimentieren in einem Pflanzenbestand. Zur Verfolgung des Sedimentationsvorganges von Spritzschleiern ist eine Motorkamera benutzt worden, die eine Bildfrequenz von 4,35 Bildern pro Sekunde bzw. eine Bildperiode von 0,23 s hat. Die Versuchsanordnung zeigt **Bild 2**. Die Kamera wird über eine Lichtschranke ausgelöst, sobald die fahrende Düse das Blickfeld der Kamera erreicht hat. Der Spritzschleier wird auf diese Weise im Gegenlicht fotografiert und anschließend auf einer Projektionsfläche ausgewertet. Aus der bekannten Bildperiode, dem Maßstab am Aufnahmeort und der Fahrgeschwindigkeit läßt sich Lage und Ausdehnung des Spritzschleiers in Abhängigkeit von der Zeit ermitteln.

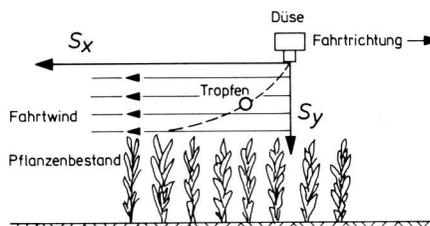
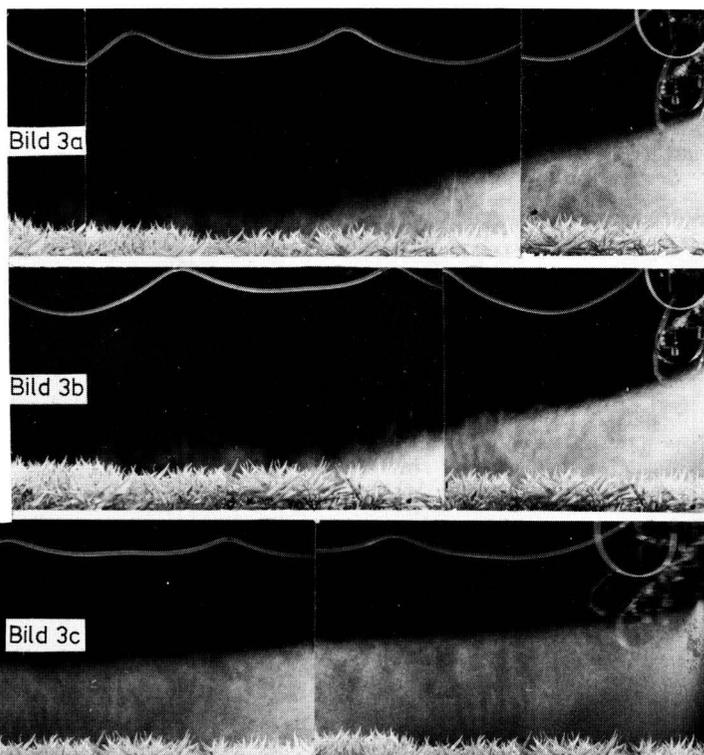


Bild 2. Prinzipskizze zur Ermittlung der Restschleierausdehnung.

Die **Bilder 3a bis 3c** zeigen Beispiele von fotografischen Aufnahmen, aus denen der Bewegungsverlauf der Spritzschleier ermittelt wurde. Das Verhalten des Spritzschleiers bezogen auf die jeweilige Position der Düse bzw. auf den Pflanzenbestand wurde in Abhängigkeit von Düsenart, Düsengröße, Spritzdruck und Fahrgeschwindigkeit ermittelt.



4. Ergebnisse

Aus den fotografischen Aufnahmen in Bild 3a bis 3c, die sich aus mehreren zeitlich aufeinanderfolgenden Einzelaufnahmen zusammensetzen, sind die Tropfenschleier unterschiedlicher Länge zu erkennen, die sich hinter der fortbewegenden Düse bilden. Unter der Voraussetzung, daß die Sinkgeschwindigkeit der Tropfen im Restschleier gleich ist (weil das Tropfenspektrum etwa gleich ist), ergibt sich die unterschiedliche sichtbare Länge allein aus der unterschiedlichen Fahrgeschwindigkeit, mit der sich die Düse fortbewegt. Daraus ist abzuleiten, daß der in Bild 3a zu beobachtende Restschleier die gleiche Tropfenmasse wie jener in Bild 3c enthält, da es sich hier um dieselbe Düse mit demselben Spritzdruck handelt. Die absolute Sinkzeit des Restschleiers bezogen auf einen bestimmten Ort des Bestandes ist etwa gleich groß. Der Unterschied der beiden betrachteten Schleier besteht in der unterschiedlichen horizontalen Länge und damit in der Tropfendichte. Die Tropfendichten sind hier bei gleichen Zerstäubungsbedingungen den Projektionsflächen der Restschleier umgekehrt proportional.

Die entstehende Abdrift, d.h. die pro Zeiteinheit auftretende horizontale oder auch vertikale Verschiebung der Tropfenmasse des Restschleiers, hängt im wesentlichen von der Größe der Angriffsfläche des herrschenden natürlichen Windes ab. Die zahlenmäßige Auswertung der fotografischen Aufnahmen findet sich auf den folgenden Darstellungen.

4.1 Einfluß der Fahrgeschwindigkeit und des Druckes auf die Größe des Restschleiers

Die Ausdehnung des Restschleiers ist der Fahrgeschwindigkeit etwa proportional. Vergleicht man die Kurven in Bild 4a bis 4d, so ist die Länge des Restschleiers bei 10 km/h etwa 10mal so groß wie bei 1 km/h. Vergleicht man die Bilder 4a und 4b bzw. 4c und 4d, die bei unterschiedlichen Drücken aufgenommen wurden, so erkennt man, daß der Spritzdruck auf den Restschleier nur einen geringen Einfluß ausübt. Die Erklärung liegt in der Tatsache, daß die kleinen Tropfen des Restschleiers nahezu unabhängig vom Druck ihre anfängliche kinetische Energie sehr schnell abgeben und dann mit ihrer Sedimentationsgeschwindigkeit fallen.

Aus Bild 5a und 5b ist eine gewisse Abhängigkeit der Sedimentationszeit von der Fahrgeschwindigkeit erkennbar. Diese Tatsache resultiert aus der unterschiedlichen Verzögerung unmittelbar nach der Zerstäubung in horizontaler Richtung durch den fahrgeschwindigkeitsabhängigen Staudruck und die unterschiedliche induzierte Luftströmung aufgrund der unterschiedlichen Strahlform einer Flachstrahldüse und einer Kegelstrahldüse. Die Sedimentationszeit ist bei einer Kegelstrahldüse im gesamten Bereich der Fahrgeschwindigkeit länger als bei einer Flachstrahldüse. Die dem entsprechende in ruhender Luft entstehende Restschleierlänge in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit bei einer Flachstrahldüse und einer Kegelstrahldüse ist in Bild 6a und 6b dargestellt.

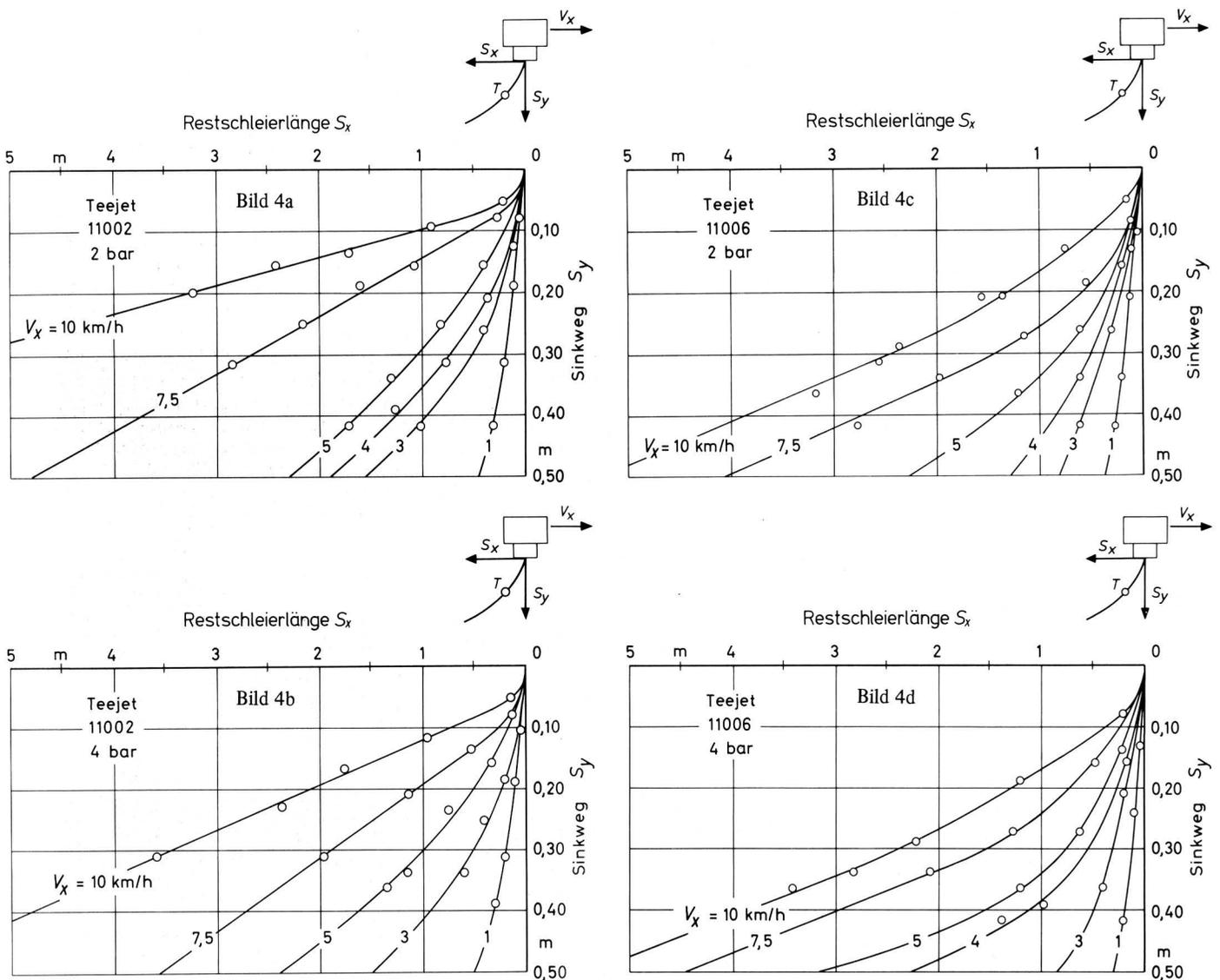


Bild 4. Restschleierausdehnung in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit.

Bild 4a: Teejet-Flachstrahldüse 11002, Spritzdruck, 2 bar.
 Bild 4b: Teejet-Flachstrahldüse 11002, Spritzdruck, 4 bar.
 Bild 4c: Teejet-Flachstrahldüse 11006, Spritzdruck, 2 bar.
 Bild 4d: Teejet-Flachstrahldüse 11006, Spritzdruck, 4 bar.

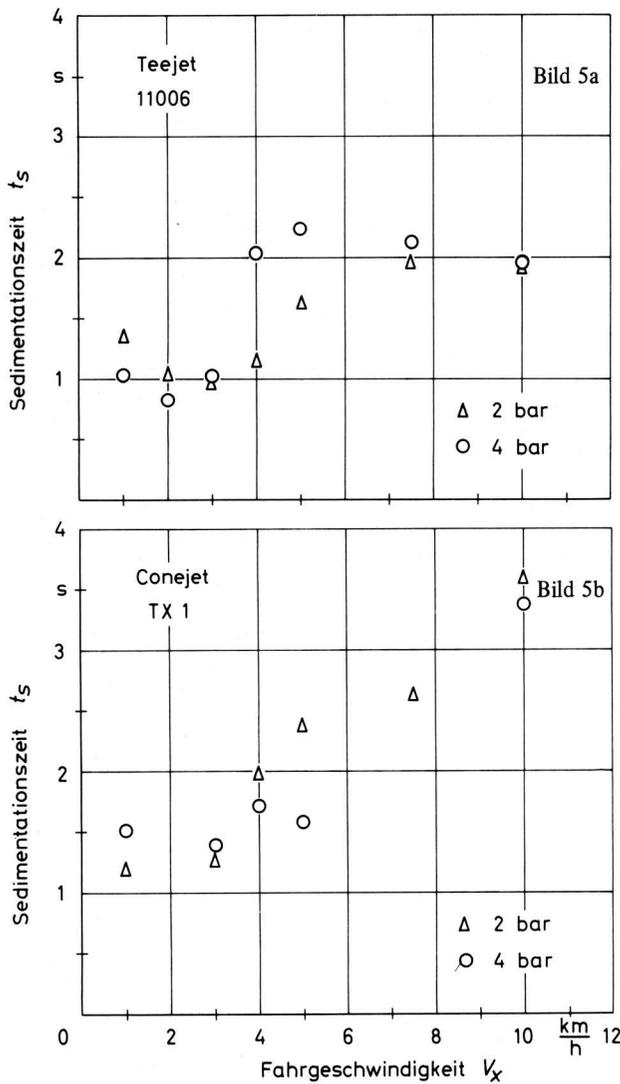


Bild 5. Sedimentationszeit in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit.

Bild 5a: Teejet-Flachstrahl Düse 11006
 Bild 5b: Conejet-Kegelstrahl Düse TX 1

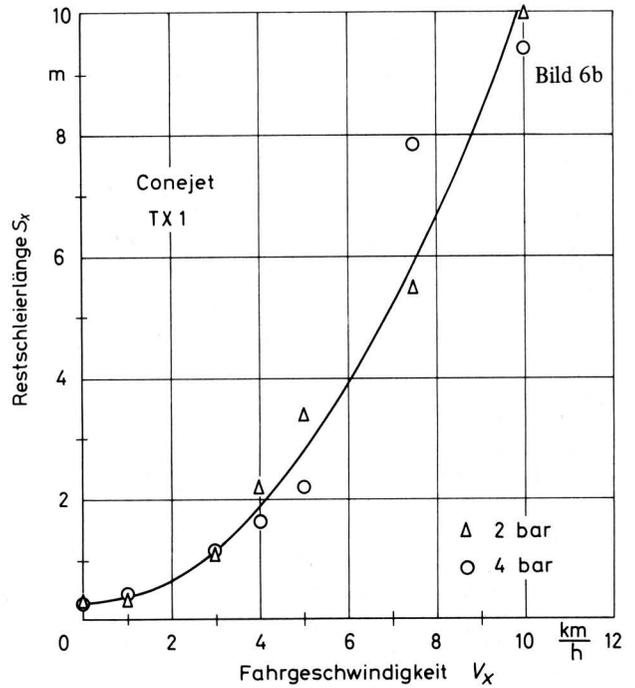
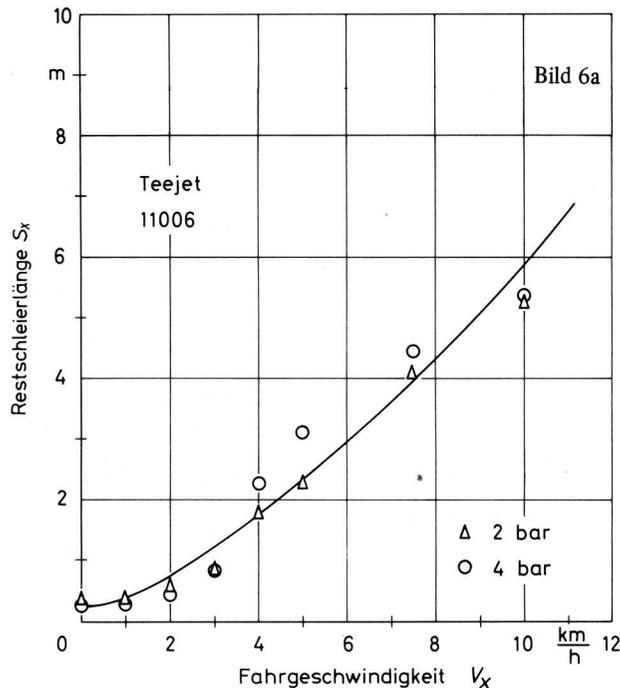


Bild 6. Horizontale Ausdehnung des Restschleiers in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit.

Bild 6a: Teejet-Flachstrahl Düse 11006
 Bild 6b: Conejet-Kegelstrahl Düse TX 1

4.2 Das Verhalten des Restschleiers bei unterschiedlichen Spritzparametern

Geht man nicht von konstantem Durchsatz der Düsen, sondern von einer gleichen Aufwandmenge aus, ergeben sich ebenfalls je nach Fahrgeschwindigkeit unterschiedliche Restschleierlängen. **Bild 7** zeigt die sich ausbildenden Schleierlängen bei 2 Aufwandmengen und unterschiedlichen Fahrgeschwindigkeiten. Hieraus wird nochmals deutlich, daß die Länge des Restschleiers hauptsächlich von der Fahrgeschwindigkeit und nur unwesentlich vom Spritzdruck abhängig ist. Ein weiterer Einfluß geht vom Tröpfchenspektrum aus. In dem üblichen Druckbereich zwischen 2 und 4 bar ist dieser Einfluß jedoch kaum merkbar. Unterschiedliche Düsenarten oder auch Düsengrößen haben dagegen größere Abweichungen im Tropfenspektrum, in der Sedimentationszeit und in der Restschleierlänge.

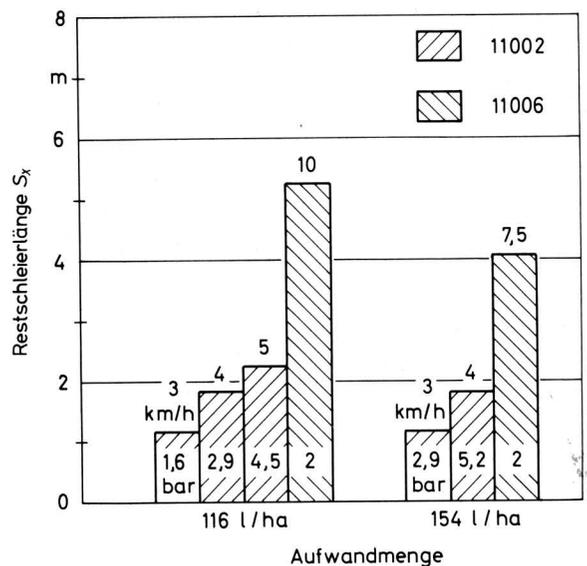


Bild 7. Restschleierlänge für zwei Aufwandmengen bei unterschiedlichen Spritzdaten.

Bild 8 und 9 zeigen die Ausbildung des Restschleiers von vorn entgegen der Fahrtrichtung gesehen. Die induzierte Luftströmung entwickelt Wirbel, die zu einer örtlichen Konzentration der Restschleier führen. Bild 8 zeigt die Schleierbildung bei einer Einzeldüse. Die hier erkennbare Teilung des Restschleiers trägt zu der bekannten Überhöhung der Seitenflanken des Niederschlagsbildes

einer Flachstrahldüse bei. Ein solches Niederschlagsbild, das die Querverteilung einer Düse bei verschiedenen Fahrgeschwindigkeiten enthält, zeigt beispielhaft das **Bild 10**. Darin entspricht die Querverteilung bei 1 km/h bzw. 28 cm/s der Verteilung einer ortsfest arbeitenden Düse.

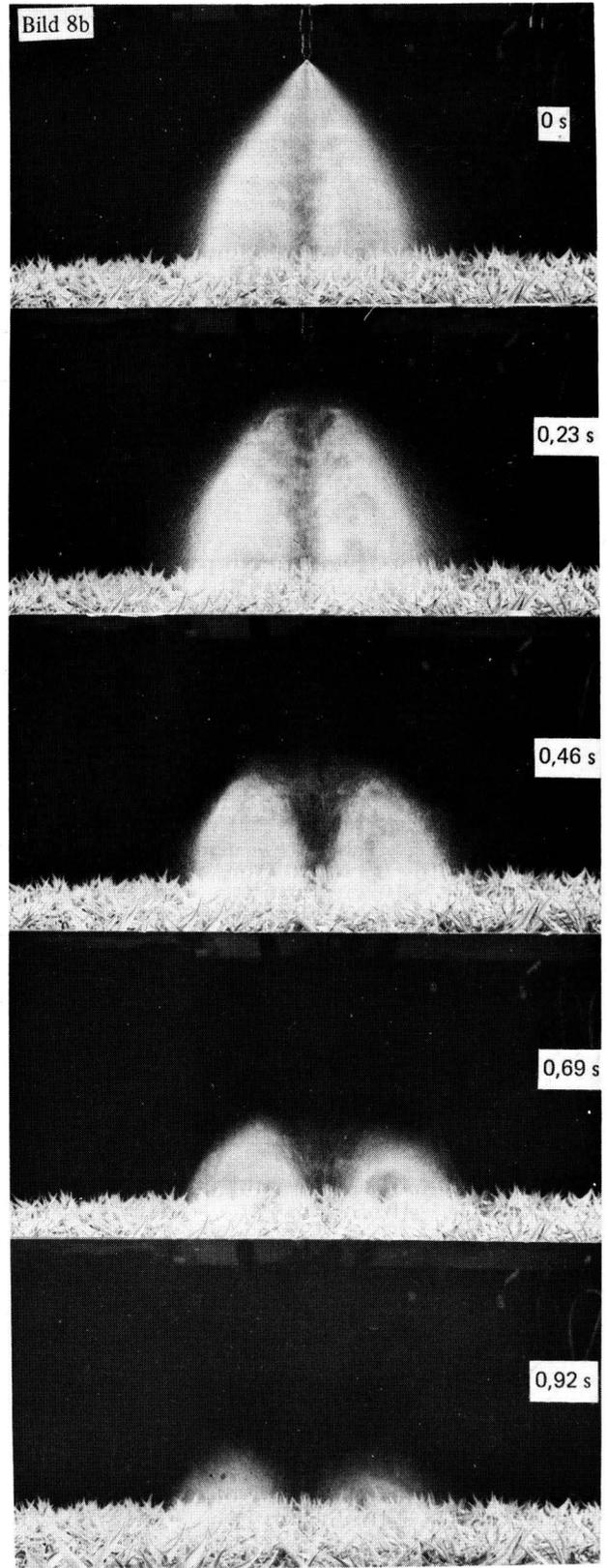
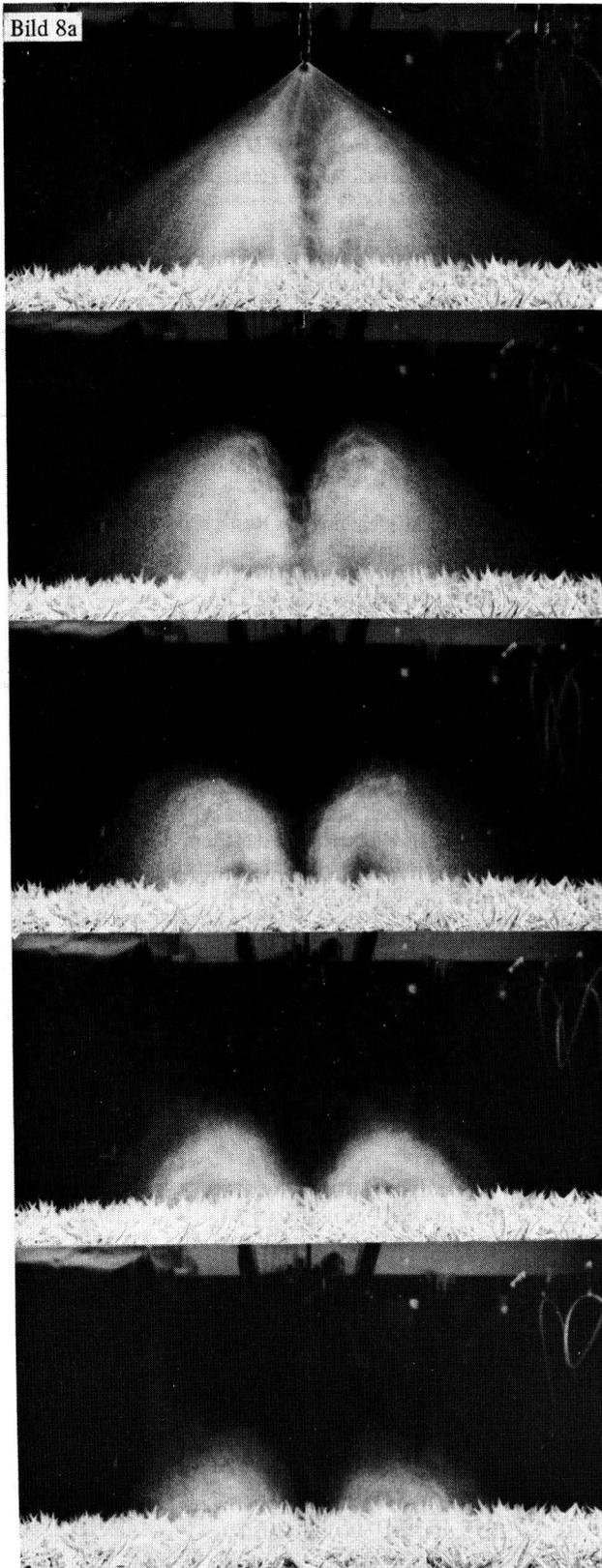


Bild 8. Restschleierbildung einer Flachstrahldüse und einer Kegelstrahldüse.

Bild 8a: Teejet-Flachstrahldüse 11002,
4 bar, 5 km/h.

Bild 8b: Conejet-Flachstrahldüse TX 1,
4 bar, 5 km/h.

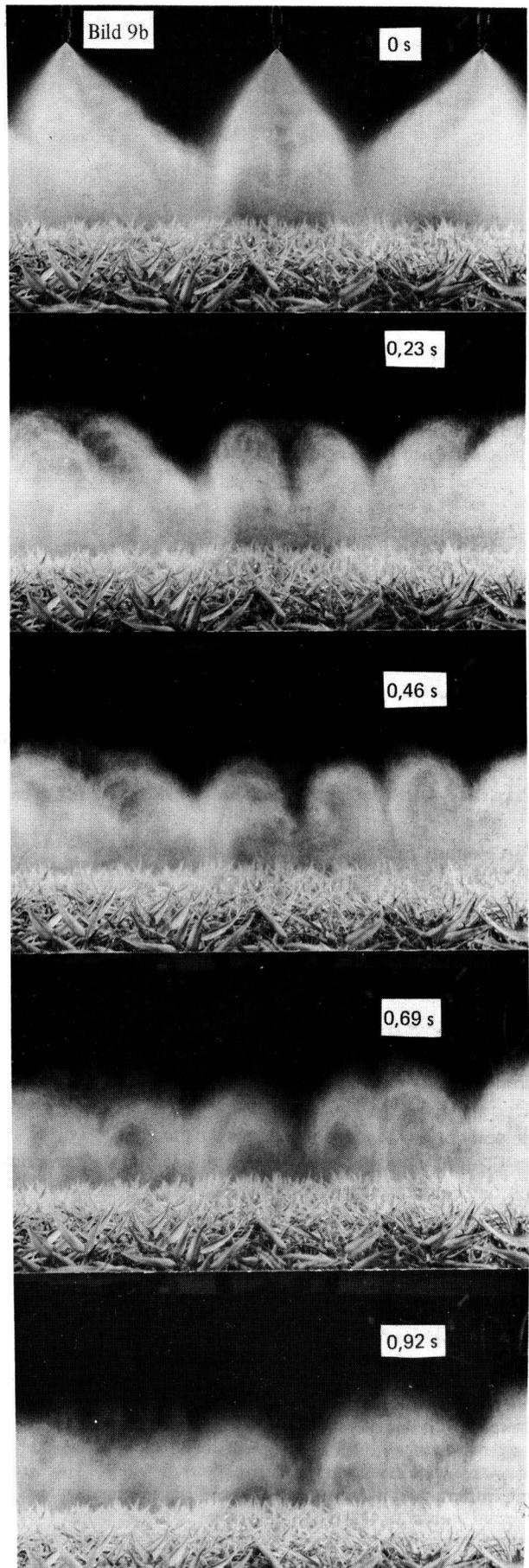
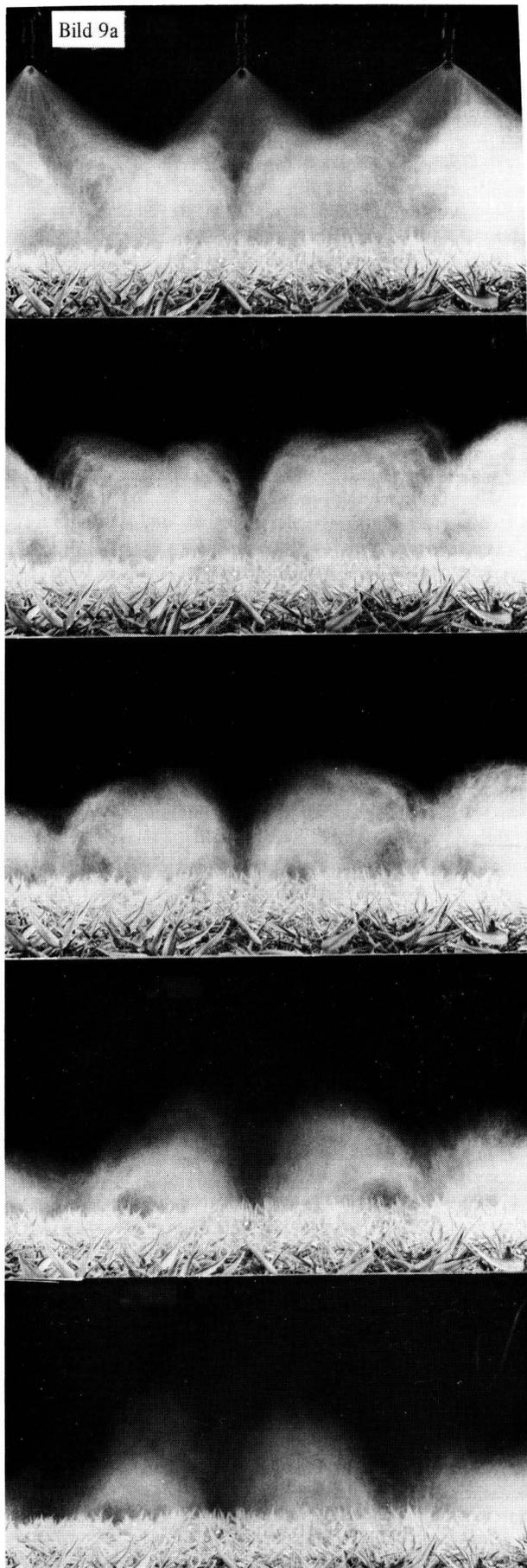


Bild 9. Restschleierausbildung im Düsenverband bei Flachstrahl- und Kegelstrahldüsen.

Bild 9a: Teejet-Flachstrahldüse 11002,
4 bar, 5 km/h.

Bild 9b: Conejet-Kegelstrahldüse TX 1,
4 bar, 5 km/h.

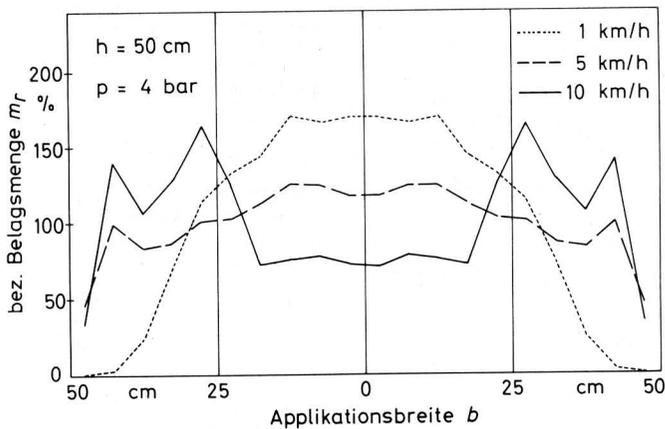


Bild 10. Gemittelte Querverteilung einer Flachstrahldüse mit unterschiedlichen Fahrgeschwindigkeiten

5. Zusammenfassung

Sogenannte Restschleier, die beim Feldspritzen hinter den Düsen entstehen, können nachteilige Folgen haben, da im wesentlichen sie zur Abdriftgefahr beitragen. Die Untersuchungsergebnisse zeigen, daß die Entstehung und die Größe der Restschleier beim Einsatz gleichartiger Düsen im wesentlichen von der Fahrgeschwindigkeit abhängen.

Dagegen hat der Spritzdruck im üblichen Anwendungsbereich nur untergeordneten Einfluß.

Bei größerer Fahrgeschwindigkeit wird der Feintropfenanteil, der bei jeder Druckzerstäubung entsteht, in Form eines Restschleiers weiter auseinandergezogen. Dadurch wird dem herrschenden natürlichen Wind eine größere Angriffsfläche geboten, so daß sich in der Zeiteinheit eine größere Abdriftmenge ergibt. Die Länge des Restschleiers ist annähernd proportional der Fahrgeschwindigkeit. Die Sedimentationszeit ist nahezu unabhängig von der Länge des Schleiers.

Schrifttum

- [1] *Zaske, J.:* Tropfengrößenanalyse unter besonderer Berücksichtigung der Zerstäubung im chemischen Pflanzenschutz. Diss. Technische Universität Berlin, 1973, S. 41/61.
- [2] *Ranz, W.E. u. W.R. Marshall:* Evaporation from drops. Chem. Engng. Progr. Bd. 48 (1952) S. 141/46 u. 173/80.
- [3] *Hosseinipour, M.:* Einfluß der meteorologischen Daten auf die Drift bei der Applikation von Pflanzenschutzmitteln. Diss. Technische Universität Berlin, 1979, S. 69/71.
- [4] *Brauer, H.:* Grundlagen der Einphasen- und Mehrphasenströmungen. Aarau/Frankfurt a. Main: Sauerländer 1971, S. 216/61.
- [5] *Williamson, R.E. u. E.D. Threadgill:* A simulation for the dynamics of evaporating spray droplets in agricultural spraying. Transactions of ASAE Bd. 17 (1974) Nr. 2, S. 254/61.

Untersuchungen zur Messung der Arbeitsgeschwindigkeit von Landmaschinen mit Hilfe eines Radargerätes

Von Helmut Fichtel und Syed Mohamed Ismail, Stuttgart-Hohenheim*)

DK 631.372:531.767:629.1.053.2

Für verschiedene Arbeiten in der Landwirtschaft wäre ein berührungslos arbeitendes Meßgerät zur Bestimmung der Arbeitsgeschwindigkeit vorteilhaft. In diesem Zusammenhang sind Radargeräte, die nach dem Prinzip des "Doppler-Effektes" arbeiten, von besonderem Interesse. Ein solches Gerät wurde eingehend untersucht, wobei der Einfluß verschiedener Parameter auf die Meßgenauigkeit des Gerätes ermittelt wurde. Über die diesbezüglichen Versuchsergebnisse wird in diesem Beitrag berichtet.

1. Einleitung

Infolge steigender Betriebskosten, insbesondere infolge steigender Treibstoffkosten und steigender Arbeitslöhne ist es erforderlich, die Produktivität landwirtschaftlicher Maschinen in Hinsicht auf den Arbeits- und Energiebedarf zu erhöhen. Dazu ist es vielfach notwendig, die Arbeitsgeschwindigkeit der betreffenden Maschinen genau zu messen. Bei Düngerstreuern und Drillmaschinen beispielsweise wäre die Kenntnis der Arbeitsgeschwindigkeit von großem Nutzen, um die Ausbringung pro Flächeneinheit zu regeln

oder dem Fahrer anzuzeigen. Für Pflanzenschutzspritzen existieren bereits Regelsysteme, die mit Hilfe eines Geschwindigkeitssignals den Spritzdruck bzw. den Flüssigkeitsdurchsatz oder die Konzentration der Spritzbrühe regeln [1, 2, 3]. So ist es möglich, die pro Flächeneinheit ausgebrachte Menge an Pflanzenschutzmitteln auch bei schwankender Fahrgeschwindigkeit konstant zu halten.

Eine im landtechnischen Versuchswesen weit verbreitete Art der Geschwindigkeitsmessung besteht darin, ein zusätzliches Rad am Schlepper zu befestigen, das nahezu schlupflos auf dem Boden abrollt [4, 5, 6]. Dieses sogenannte 5. Rad liefert zwar sehr zuverlässige Meßwerte, jedoch ist die Handhabung und insbesondere die Anbringung am Schlepper nicht ganz problemlos. Deshalb wäre es sehr wünschenswert, eine berührungslos arbeitende Geschwindigkeitsmeßeinrichtung zur Verfügung zu haben, die am Schlepper befestigt wird und so in Verbindung mit sämtlichen Maschinen benutzt werden kann.

Eine Möglichkeit zur berührungslosen Geschwindigkeitsmessung ist die Verwendung eines Radargerätes [6, 7, 8]. Für den Einsatz in der Landwirtschaft sind im Ausland schon seit einiger Zeit Radargeräte auf dem Markt. Eine Verbreitung dieser Geräte in der deutschen Landwirtschaft scheiterte bisher aber an dem zu hohen Preis und der fehlenden Zulassung durch die Deutsche Bundespost. In jüngster Zeit hat jedoch die deutsche Landmaschinenindustrie wieder verstärktes Interesse an Radargeräten zur Geschwindigkeitsmessung gezeigt. Deshalb wurde diese Meßmethode im Rahmen eines von der Deutschen Forschungsgemeinschaft finanzierten Forschungsprojektes zur Optimierung des Schleppereinsatzes ausführlich untersucht.

*) Dipl.-Ing. agr. H. Fichtel ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Verfahrenstechnik in der Pflanzenproduktion (Leiter: Prof. Dr.-Ing. A. Stroppel) der Universität Hohenheim und S.M. Ismail, M. Eng., war Stipendiat des DAAD am gleichen Lehrstuhl.