

Bedeutung der Pflanzenoberfläche für die Spritzapplikation

Dr.-Ing. G. Wartenberg

Forschungszentrum für Mechanisierung und Energieanwendung in der Landwirtschaft Schlieben der AdL der DDR

Verwendete Formelzeichen

A_{bed}	m^2	tropfenbedeckte Pflanzenoberfläche
A_l	cm^2/cm	spezifische Strotoberfläche, längebezogen
A_m	$cm^2/g; m^2/t$	spezifische Strotoberfläche, massebezogen
A_N	ha	landwirtschaftliche Nutzfläche
A_s	cm^2, m^2, ha	Strotoberfläche, Stoffoberfläche
B_A	%	Bedeckungsgrad, relativer Anteil mit Spritztropfen bedeckter Fläche zur Gesamtfläche
l_H	cm	Halmhöhe
l_s	mm	Strohteilchenlänge
$l_{s,50}$	mm	mittlere Strohteilchenlänge bei 50% Summenhäufigkeit
m	t	Masse
\dot{m}	t/h	Massedurchsatz
m_H	g	Halmmasse
m_s	t	Strohmasse
$s\%$	%	Variationskoeffizient
V_a	l/ha; l/t	spezifisches Aufwandsvolumen
V_D	l	effektive Dosis einer Agrochemikalie
σ_f	N/m	Grenzflächenspannung, Festkörper
σ_L	N/m	Grenzflächenspannung, Flüssigkeit

1. Problemstellung

Die Effektivität des Einsatzes von Agrochemikalien wird von der gleichmäßigen Wirkstoffverteilung auf der Pflanzenoberfläche bestimmt. Deshalb gewinnt die Verteilung von Flüssigkeiten durch Spritzapplikation in landwirtschaftlichen Prozessen zunehmend an Bedeutung. Wurden Spritzmaschinen bisher nur zur Ausbringung von Pflanzenschutzmit-

teln eingesetzt, besteht heute international die Tendenz, dieses Wirkprinzip mit Erfolg für die Flüssigdüngung, die Pflanzensikkation (Blattabtötung), die Silierung, den Grobfutteraufschluß und in weiteren biotechnologischen Verfahren einzusetzen. Die Vorteile der Spritzapplikation ergeben sich aus der besseren Verteilgenauigkeit, Dosierbarkeit und Anlagerung des auszubringenden Wirkstoffes.

Die Pflanzenoberfläche landwirtschaftlicher Kulturen und zu bearbeitender Stoffe, wie z. B. Stroh, weist durch vielfältige wachstumsabhängige Einflüsse eine große Differenziertheit auf. Werden diese bei der Bemessung des Flüssigkeitsaufwands nicht berücksichtigt, sind erhebliche Applikationsverluste zu erwarten. Sowohl ökologische als auch ökonomische Forderungen an eine zeitgemäße Produktionsweise verlangen zukünftig die exaktere Anpassung der Wirkstoffdosisierung an pflanzenspezifische Applikationsbedingungen bei gleichzeitiger Verbesserung der Wirkstoffverteilung auf der Pflanzenoberfläche. Mit der Berechnung von Bekämpfungsmaßnahmen im Pflanzenschutz nach der Schaderregerentwicklung [1] oder der Einführung von schlagbezogenen Düngungsempfehlungen [2] werden erste Schritte auf diesem Weg gegangen. Fehlende Stoffgesetze und Kennwerte zur Pflanzenoberfläche zwingen die Praxis, das zu verspritzende Aufwandsvolumen V_a nach pauschalen Anwendungsvorschriften festzulegen. Dieses Vorgehen genügt nach neueren Auffassungen nicht mehr den Anforderungen. Das Verhältnis zwischen applikationstechnisch möglicher Tropfenwirkfläche und der zu bespritzenden Stoffoberfläche, die eigentliche Basis biowissenschaftlicher Vorgaben an das Applikationsverfahren, bleibt dabei unberücksichtigt. Beispielsweise ist die Wirkung von Fungiziden oder Inhibitoren zur Futterwertverbesserung überwiegend vom Anteil der benetzten pflanzlichen Oberfläche bzw. von der Verteilung benetzter Flächen im Stoffaufwerk abhängig. Das erfordert für die Festlegung des zu applizierenden Aufwandsvolumens die Berücksichtigung der auf die Behandlungsfläche bezogenen Stoffoberfläche

$$V_a(A_N) = \frac{V_D}{A_s} \quad (1a)$$

Tafel 1. Stoffarten und -eigenschaften von Getreidestroh und -häcksel

Stoffart	Häckselstroh	Oberflächeneigenschaften
Ganzpflanze		
Halmteile ohne Hüllblatt	Halmoberseite (HO)	glatt, fest
	Halmunterseite (HU)	rauh, porös
Halmteile mit Hüllblatt	Spreitenoberseite (SO)	rauh, fest
Spreiten (Blätter)	Spreitenoberseite (SO)	rauh, fest
Ähren	Spreitenunterseite (SU)	rauh, stark porös

bzw. der massebezogenen Stoffoberfläche landwirtschaftlicher Produkte

$$V_a(\dot{m}) = \frac{V_D}{m_s} \quad (1b)$$

Das Ziel der Flüssigkeitsapplikation besteht in der möglichst gleichmäßigen Verteilung von Flüssigkeitstropfen auf pflanzlichen Oberflächen und ihrer Ausbreitung als Flüssigkeitsfilm. Dementsprechend sind die Durchdringung des dreidimensional angeordneten Pflanzenbestands oder eines bewegten Stoffaufwerks vom Tropfenschwarm und die Tropfenanlagerung von Interesse.

Als Zielparamester dieser Wirkung soll der Flächenbedeckungsgrad B_A gelten:

$$B_A = \frac{A_{bed}}{A_s} \cdot 100 \quad (2)$$

Die Benetzung der Pflanzenoberfläche ist nicht nur von den physikalischen Eigenschaften, speziell der Grenzflächenspannung σ_L der Flüssigkeit, sondern auch von den Eigenschaften der Festkörperoberfläche, der Grenzflächenspannung σ_f des Festkörpers, abhängig. Eine Flüssigkeit spreitet erst dann spontan auf der Pflanzenoberfläche, wenn die Bedingung $\sigma_L < \sigma_f$ erfüllt ist [3].

Zur Kennzeichnung dieser applikationsspezifischen Eigenschaften von landwirtschaftlich relevanten Stoffen sind Untersuchungen zu Stoffoberfläche, Geometrie und ihren benetzungsphysikalischen Eigenschaften von Interesse. Dazu werden nachfolgend erste Grundlagenergebnisse zur Erfassung der spezifischen Oberfläche von Roggenstroh angegeben, die im Zusammenwirken mit weiteren Stoffkennwerten das Berechnen des erreichbaren Bedeckungsgrades bei der Spritzapplikation ermöglichen.

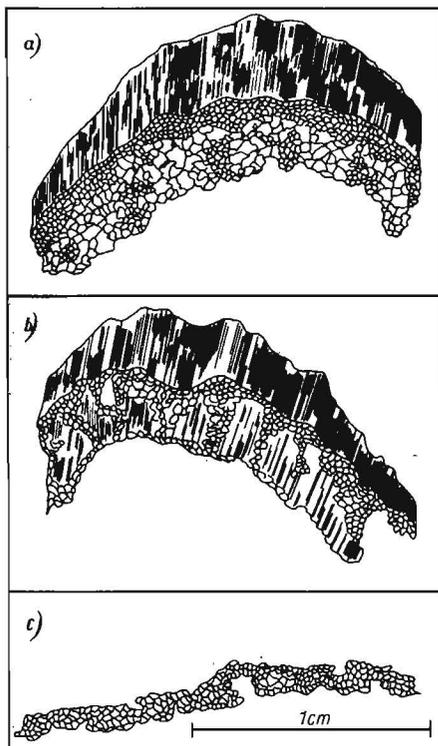
2. Stoffeigenschaften

Die verschiedenen biologischen Grundfunktionen der einzelnen Pflanzenteile prägen durch die Zellwanddicke und Zellgröße den Aufbau und die Oberflächenstruktur des zu bearbeitenden Stoffes. Für die Stoffgruppe Getreidestroh lassen sich auf der Basis visueller Merkmale am Mikrorelief der Strotoberfläche und am inneren Zellverband grundsätzliche Unterschiede erkennen (Bild 1), die auf die Flüssigkeitsspreitung des anzulagernden Tropfens Auswirkungen haben. So werden bei Getreidestroh im Hinblick auf die Benetzungseigenschaften die in Tafel 1 zusammengestellten Stoffarten unterschieden.

3. Versuchsbeschreibung

Die Ermittlung der Strotoberfläche A_s erfolgt manuell durch das Ausmessen geometrischer Parameter am Halm bzw. Häckselteilchen. Zur Berechnung der Oberfläche werden für das Halmteil der Kegelmantel, für das Blatt ein Dreieck und für die Halmbruchstücke des Häcksel ein Rechteck angenommen. Die Messungen beziehen sich auf stochastische Proben aus Zufallsmischungen erntereifer Roggenbestände oder Häck-

Bild 1. Schematisierte Vergrößerungen der Stoffartenquerschnitte; a) Halmquerschnitt, b) Hüllblattquerschnitt, c) Blattquerschnitt



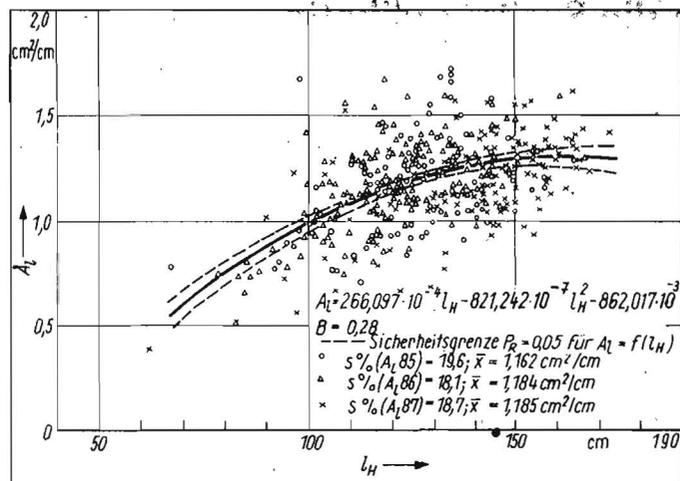


Bild 2. Spezifische Strotoberfläche in Abhängigkeit von der Halmlänge (n = 400); Ergebnisse aus den Jahren 1985 bis 1987

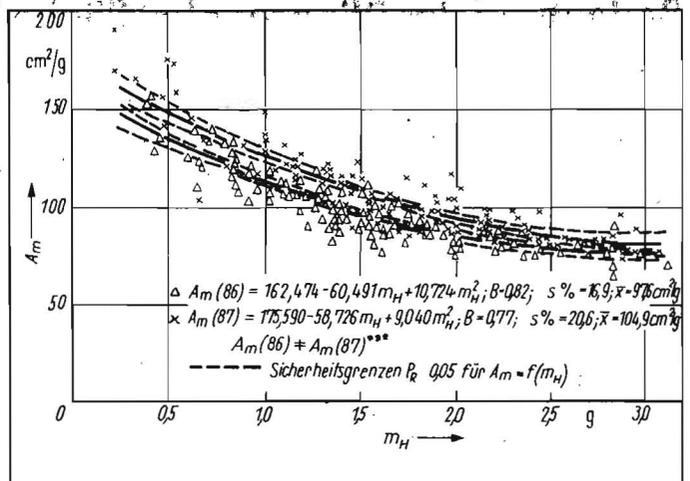


Bild 3. Spezifische Strotoberfläche in Abhängigkeit von der Halmmasse (n = 400); Ergebnisse aus den Jahren 1986 und 1987

selhaufwerke des Feldhäckslers E 280 mit Schneidwurftrömmel und vier Messern. Die Untersuchungen an Ganzpflanzen verfolgen das Ziel, einen leicht meßbaren Stoffparameter für die Schätzung der Pflanzenoberfläche zu finden. Dazu wird der Zusammenhang zwischen der Strotoberfläche A_s und der Halmlänge l_H sowie der Halmmasse m_H in Abhängigkeit von den in Tafel 1 gekennzeichneten Stoffarten betrachtet. Die spezifische Strotoberfläche ergibt sich in Abhängigkeit von der Halmlänge l_H aus der Beziehung

$$A_s = \frac{A_s}{l_H} \quad (3a)$$

bzw. als Funktion der Halmmasse m_H

$$A_m = \frac{A_s}{m_H} \quad (3b)$$

Durch Zerkleinerungsvorgänge nimmt i. allg. die Stoffoberfläche zu [4]. Die Untersuchungen am Häckselstroh sollen klären, welche Strotoberfläche und Stoffartenzusammensetzung vorliegen. Die spezifische Strotoberfläche der Gesamt-

probe addiert sich aus den Stoffartenanteilen masseabhängig zu:

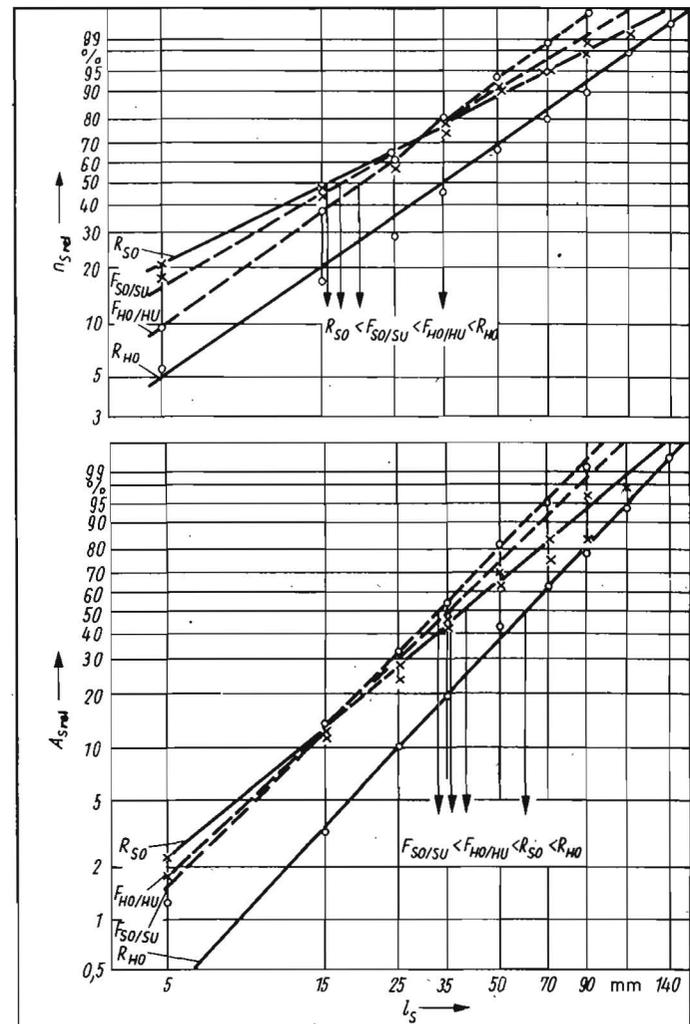
$$A_m = \frac{1}{m_s} \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^n A_{s,i,j} \quad (4)$$

$i = 1 \dots 4$; Anzahl der Stoffarten (HO, HU, SO, SU)
 $j = 1 \dots n$; Strohteilchenoberflächen ($A_{s,i,j}$) je Strohart.

4. Ergebnisse

Mehrjährige Stichprobenuntersuchungen an Roggenganzpflanzen ergeben für den Zu-

Bild 4. Verteilfunktion von Häckselstrohproben der Merkmale Teilchenanzahl $n_{s,rel}$ und Teilchenfläche $A_{s,rel}$; F flache Teilchen, R runde Teilchen, HO Halmoberseite, HU Halmunterseite, SO Spreitenoberseite, SU Spreitenunterseite



Tafel 2. Stoffartenzusammensetzung von Roggenpflanzen, basierend auf dreijährigen Untersuchungen

Stoffartenanteil	relative Stoffoberfläche $A_{s,i}/A_s$ %	relative Stoffmasse $m_{s,i}/m_s$ %	spezifische Strotoberfläche A_m m²/t
Halm	37,2 ± 4,4	35,3 ± 3,5	3 709
Hüllblatt	36,1 ± 0,8	46,7 ± 0,4	3 595
Spreite	15,4 ± 2,9	5,4 ± 0,9	1 535
Ähre	11,3 ± 1,8	12,6 ± 2,4	1 127
gesamt	-	-	9 966

Tafel 3. Verteilung der massebezogenen Oberfläche für Roggenstrohhäcksel (s. a. Bild 5)

Stoffart	Strohmasse		Strotoberfläche		spezifische Strotoberfläche m²/t
	g	%	m²	%	
HO (runde Teilchen)	28,700	74,04	0,245 465	57,20	6 976
HO (flache Teilchen)	4,640		0,068 642		
HU (flache Teilchen)	4,640	10,30	0,068 642	12,50	1 524
SO (runde Teilchen)	4,460	12,77	0,120 263	26,10	3 183
SO (flache Teilchen)	1,295		0,023 064		
SU (flache Teilchen)	1,295	2,89	0,023 064	4,20	512
gesamt	45,030	100	0,549 140	100	12 195

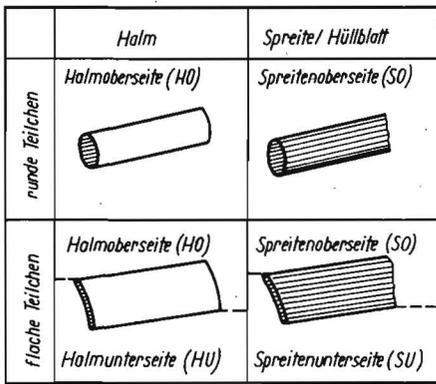


Bild 5
Klassifizierung
der Oberflächen
für Roggen-
strohhäcksel
(s. a. Tafel 3)

Tafel 4. Spezifische Stoffoberfläche von Futterpflanzen

Stoffart	Masse t/ha	TS-Gehalt %	spezifische Stoffoberfläche A_m m ² /t	Flächenverhältnis A_s/A_n ha/ha
Luzerne	0,115	17...19	3 630... 4 560	42...52:1
Grasansaat	0,195	25...33	2 270... 5 570	25...33:1
Futterrüben- blatt	—	6,8	2 870	—
Roggenganz- pflanze	—	92,0	9 290...11 220	—
Roggenstroh- häcksel	—	87...90	9 450...24 280	—

TS Trockensubstanz

sammenhang zwischen Halmoberfläche und Halmhöhe eine nichtlineare quadratische Funktion (Bild 2).

Die degressive Entwicklung der spezifischen Halmoberfläche mit zunehmender Halmhöhe ist auf eine gleiche Halmknotenanzahl kurzer wie langer Halme, die den Blattanteil bestimmt, sowie auf die starke Verjüngung der oberen Halmabschnitte bei langen Halmen zurückzuführen.

Hervorzuheben ist die Unabhängigkeit der spezifischen Strohoberfläche A_1 von witterungsbedingten Wachstumseinflüssen, wie Schätzungen zu den Regressionsparametern von Mittelwerten und Streuungen aller Einzeluntersuchungen ergeben.

Der Zusammenhang zwischen Halmoberfläche und Halmmasse ist ebenfalls durch eine nichtlineare quadratische Regressionsfunktion zu beschreiben (Bild 3). Mit steigender Halmmasse ist eine Abnahme der spezifischen Halmoberfläche A_m verbunden, die auf größere Halmwanddicke und Zunahme der Stoffdichte schließen läßt. Der progressive Verlauf dieser Funktion ist durch den Zuwachs des Halmdurchmessers infolge einer Massezunahme der Halme zu erklären. Dieser masseabhängige Stoffparameter der Stoffoberfläche wird von witterungsbedingten Veränderungen der Pflanzenoberfläche beeinflusst. Somit gelten für einzelne Jahre verschiedene Funktionen. Zwischen den Variablen m_H und A_m ist ein enger Zusammenhang gegeben. Repräsentative Schätzungen der spezifischen Strohoberfläche sind mit beiden Parametern möglich. Ein Vergleich der Variationskoeffizienten beider Untersuchungsgrößen zeigt praktisch keinen Unterschied. Aufgrund der einfachen Meßwertgewinnung und der Unabhängigkeit von witterungsbedingten Wachstumsfaktoren wird jedoch für die Kennzeichnung der Oberfläche von Pflanzenbeständen die spezifische Strohoberfläche A_1 bevorzugt. Da der Benetzungserfolg der Spritzapplikation auch wesentlich von den physikalischen Eigenschaften der Stoffpaarung Flüssigkeit—Pflanzenoberfläche abhängt [5], interessiert weiterhin die Stoffartenzusammensetzung (Tafel 2).

Auffallend ist das konstante Stoffartenverhältnis unabhängig von den Vegetationsjahren. Die witterungsabhängigen Veränderungen wirken sich hauptsächlich auf die Blatt- und Halmanteile ohne Hüllblatt aus. Entsprechend den morphologischen Oberflächeneigenschaften sind bei der Ganzpflanze von der gesamten Pflanzenoberfläche durchschnittlich 37% als Halmoberseite und die restlichen Stoffartenanteile als Spreitenoberseite einzuordnen.

Beide Stoffarten kennzeichnet ein voneinander abweichendes Benetzungsverhalten, das z. B. bei der Berechnung des zu erwartenden

Bedeckungsgrades Berücksichtigung finden muß [5]. Zu klären ist auch, welchen Einfluß der Zerkleinerungsprozeß, im aufgeführten Beispiel durch Schneidwurftrummelhäcksler, auf die Stoffoberfläche ausübt. Dazu werden am Roggenhäckselstroh die Oberfläche in Abhängigkeit von der Stoffart und der Teilchenlänge nach dem o. g. Verfahren ausgemessen und die relativen Häufigkeiten der Teilchenanzahl und Teilchenfläche in Abhängigkeit von Häcksellängenklassen berechnet (Bild 4).

Die Häufigkeitsverteilungen der Teilchenanzahl und -fläche stehen zueinander in einem umgekehrt proportionalen Verhältnis. Deshalb kann die Anzahlverteilung der Häckselteile nicht zur Schätzung der Stoffoberfläche genutzt werden. Sie muß demzufolge mit hohem manuellen Aufwand an den Einzelteilchen der Probe vermessen werden.

Weiterhin lassen die Mittelwerte der Häufigkeitsverteilungen erkennen, daß locker aufgebaute Materialarten, wie Spreiten und Hüllblätter, einen größeren Zerkleinerungsgrad als kompakte Halmteile aufweisen:

$$I_{s,50}(R_{HO}) > I_{s,50}(R_{SO}) > I_{s,50}(F_{HO,HU}) > I_{s,50}(F_{SO,SU}). \quad (5)$$

Die spezifische Strohoberfläche A_m ergibt sich mit den Werten aus Tafel 3 nach Gl. (4):

$$A_m = \frac{1}{45,03 \cdot 10^{-6}} \cdot [(0,245\,465 + 0,068\,642) + 0,068\,642 + (0,120\,263 + 0,023\,064) + 0,023\,064] = 12\,194,98 \text{ m}^2/\text{t}.$$

Das Ergebnis weist für die angegebenen Zerkleinerungsbedingungen einen Zuwachs der spezifischen Strohoberfläche gegenüber den Ganzpflanzen von $\Delta A_m = 8\%$ aus. Es ist auch eine wesentliche Veränderung der Stoffartenanteile im Vergleich zum Ausgangsstroh durch die Trennung von Halm und Hüllblatt (Tafel 2) eingetreten (Bild 5, Tafel 3), die einen großen Einfluß auf das Benetzungsverhalten der Flüssigkeitstropfen ausübt. Die Zusammenfassung von Stichprobenuntersuchungen an verschiedenen Futterpflanzen und Stroh ergibt eine orientierende Übersicht zur Größe der spezifischen Stoffoberfläche (Tafel 4). Die Vergrößerung der Pflanzenoberfläche durch Zerkleinerungsprozesse und witterungsabhängige Faktoren wird deutlich. Welche unterschiedlichen Forderungen an die Flüssigkeitsdispersion bestehen, belegen die erheblichen Spanneiten der massespezifischen Stoffoberfläche sowie das Verhältnis zwischen der Pflanzenoberfläche und und der landwirtschaftlichen Nutzfläche.

5. Schlußfolgerungen

Die Applikation von flüssigen Agrochemikalien bringt einige nicht zu übersehende Vor-

teile, die in der besseren Verteilgenauigkeit, Dosierung und Anlagerung des Wirkstoffs bestehen. Viele technische Wirkprinzipie sind entwickelt, mit denen das Tropfenspektrum bzw., davon abgeleitet, die Tropfenwirkfläche in weiten Grenzen eingestellt werden können. Die Umsetzung dieser technischen Möglichkeiten begrenzen fehlende Stoff- und Wirkpaarungsparameter der zu bearbeitenden landwirtschaftlichen Stoffe. Mit Grundlagenuntersuchungen zur Problematik der Tropfenanlagerung und Pflanzenbestandsdurchdringung kann ein wesentlicher Beitrag zur Verbesserung der Applikationsqualität erreicht werden. Dadurch ist die Verringerung von ökologischen Problemen und von Produktionskosten in der Landwirtschaft zu erreichen. Die Bemessung der Spritzapplikation nach pflanzenpezifischen Führungsgrößen ist im einzelnen von folgenden Parametern abhängig:

- Erfassung der spezifischen Pflanzenoberfläche
- Erarbeitung allgemeingültiger Stoffgesetze zur vegetationsabhängigen Größe der Pflanzenoberfläche
- Verringerung des Meßaufwands durch Einsatz von elektronischen Bildauswertesystemen (z. B. Densitron [6]).

In den durchgeführten Versuchen zeigt sich die Brauchbarkeit des beschriebenen Stoffparameters und des Meßverfahrens. Die Untersuchungsergebnisse können bei der Berechnung der Stoffoberfläche von Pflanzenbeständen und Haufwerken, in die flüssige Agrochemikalien eingebracht werden sollen, Anwendung finden. Zur Ableitung von Gesetzmäßigkeiten des Zusammenhangs von Stoffoberfläche und Vegetationsbedingungen sind weitere Untersuchungen erforderlich.

Literatur

- [1] Kühn, H.: Ökologie, Pflanzenschutz und Umweltschutz. Nachrichtenblatt für den Pflanzenschutz der DDR, Berlin 40 (1986) 7, S. 137–139.
- [2] Bufe, J.: Düngung und Umweltschutz. Fortschrittsberichte der AdL der DDR, Berlin (1986) 24.
- [3] Schwuger, M. J.: Zur Wirkung von Tensiden in technischen Prozessen. Chemie-Ing.-Techn., Weinheim 44 (1972) 6, S. 374–378.
- [4] Plötner, K.; Harfensteller, G.; Freitag, F.; Kittelmann, F.: Untersuchungsmethodik zur Zerkleinerung von Halmgut. agrartechnik, Berlin 35 (1985) 1, S. 32–34.
- [5] Wartenberg, G.: Untersuchungen zur Applikation von Flüssigkeitstropfen auf Strohoberflächen. Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Dissertation 1987 (unveröffentlicht).
- [6] Freyer, K., u. a.: Elektronisches Gerätesystem zur qualitativen Bildanalyse radio-fernsehen-elektronik, Berlin 29 (1980) 9, S. 551–555.

A 5246