

Auswertung von Meßergebnissen zur Verteilung von Pflanzenschutzmitteln durch Luftfahrzeuge

Dr.-Ing. P. Kaul, KDT/Dipl.-Math. E. Moll/Ing. Sabine Gebauer, KDT
Institut für Pflanzenschutzforschung Kleinmachnow der AdL der DDR

Verwendete Formelzeichen

a, b, c _i	%	Koeffizient, Amplitude der Grund- und Oberschwingungen
i, j, k		1, 2, 3 ...
M	%	transformierte Meßwerte
L	m	halbe Periodenlänge der Querverteilung
l	m	laufende Koordinate der Querverteilung (Maximum der Grundschwingung l = 0)
n		Anzahl der Meßwerte
R	%	Synthesfunktion von Grund- und phasenverschobenen Oberschwingungen
r	-	diskrete Werte der Autokorrelationsfunktion
s'	m	Abstand der diskreten Meßwerte
S _{vv}	% ²	Summe der Abweichungsprodukte der Meßwerte vom Mittelwert
Y _i	%	Meßwert
Y _m	%	Mittelwert der Meßwerte
ρ _{vv}		Autokorrelationsfunktion
φ _i	m, rad	Verschiebung der Oberschwingung zur Grundschwingung

Tafel 1. Länge der Meßwertaufzeichnung und Abstand der Meßwerte zur Auswertung der Querverteilung beim Luftfahrzeugeinsatz

	Richtwert nach [3]	gewählt für Auswertung
Länge der Meßwertaufzeichnung (2 L: absolute Arbeitsbreite eines Überflugs)	$10 \times (2 L)$	$\geq 3 \times (2 L)$
Anzahl der auszuwertenden Perioden	10	≥ 3
Abstand der Meßwerte	0,5 m	0,2 m

tig übliche Auswerteverfahren bedingt sind. Es ist deshalb wünschenswert, die zufälligen Einflüsse auf das Meßergebnis von den reproduzierbaren zu trennen, um die Aussagesicherheit und die Interpretierbarkeit von Meßresultaten zur Querverteilung zu verbessern und gleichzeitig die technologischen Festlegungen zur Arbeitsbreite und zur Düsenanordnung statistisch zu fundieren.

Anliegen dieses Beitrags ist es, dazu eine

Auswertemethode vorzustellen. Sie soll gleichzeitig zu einer Verminderung der meßtechnischen Aufwendungen für die technologische Grunderprobung der Applikationsanlage von Agrarluftfahrzeugtypen führen.

Gegenwärtiger Stand

Gegenwärtig wird zur Beurteilung der bei der Avioapplikation zu erreichenden Verteilungsqualität die Verteilung eines Überflugs meßtechnisch erfaßt, und es wird die zu erwartende Gleichmäßigkeit durch Summenbildung dieser Einzelkurven bei Variation der Arbeitsbreite ermittelt [2]. Die Bestimmung der maximal möglichen Arbeitsbreite bei Einhaltung des Variationskoeffizienten $s\% = 25\%$ basiert dabei auf direkten Messungen. Sie weisen, bedingt durch eine Vielzahl zufälliger Einflußfaktoren, einen relativ unregelmäßigen Verlauf auf. In den Bildern 1 und 2 sind Beispiele solcher Meßergebnisse eines Überflugs veranschaulicht. Die zufälligen Schwankungen um eine gedachte mittlere Kurve sind gut erkennbar. In [3, 4] sind Methoden der Regelungstechnik beschrieben, die es gestatten, aus einem gegebenen zeitlich periodischen Signal die enthaltenen zufälligen Störungen mit Hilfe der Korrelationsrechnung zu eliminieren.

Die Qualität der Querverteilung der mit Luftfahrzeugen applizierten Pflanzenschutzmittel (PSM) ist wesentlich für die Festlegung der technologischen Einsatzparameter der Agrarluftfahrzeuge – besonders für Arbeitsbreite und Düsenanordnung.

Mit zunehmender Arbeitsbreite werden die Verfahrenskosten der PSM-Applikation geringer, andererseits verschlechtert sich aber dadurch die Qualität der Verteilung, was zu Wirkungsminderungen, Phytotoxizität und Verschwendung von PSM führen kann. Als Optimierungskriterium wird der Variationskoeffizient der Standardabweichung gemessener Querverteilungen genutzt, d. h. die Arbeitsbreite wird so festgelegt, daß ein maximal zulässiger Wert nicht überschritten wird.

Die Düsenanordnung ist derart zu gestalten, daß eine gleichmäßige Verteilung unter dem Agrarflugzeug erreicht wird, also bei jedem Durchflug einer Dreiecks- oder einer Trapezverteilung möglichst nahe kommt [1]. Das wird durch Variation der Düsenanordnung nach einem bestimmten Schema und Messung der damit erzielten Querverteilung erreicht.

Die Applikation von PSM mit Hilfe von Luftfahrzeugen ist dadurch gekennzeichnet, daß die Strömungsbedingungen am Luftfahrzeug die Verteilung direkt beeinflussen. Besonders wirken hier die an den Tragflächen und an den Propellerantrieben entstehenden Luftwirbel sowie die Windverhältnisse und thermischen Luftbewegungen der unteren Luftschichten. Die Einwirkung stochastischer Einflußfaktoren auf die Meßergebnisse ist deshalb in hohem Maß gegeben. Sie verschlechtert die Reproduzierbarkeit der Resultate und führt zu Schwierigkeiten bei der Interpretation. Hinzu kommen weitere stochastische Einflüsse, die durch das gegenwärtige

Bild 1
Vierfach gemessene Querverteilung bei der PSM-Applikation mit dem Flugzeug PZL-104

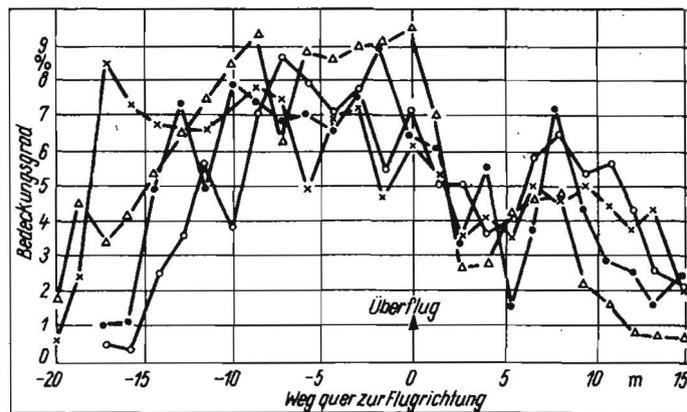
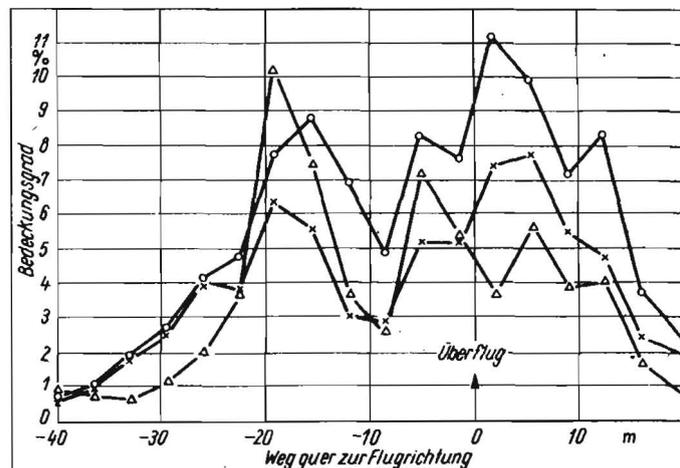


Bild 2
Dreifach gemessene Querverteilung bei der PSM-Applikation mit dem Hubschrauber Mi-2



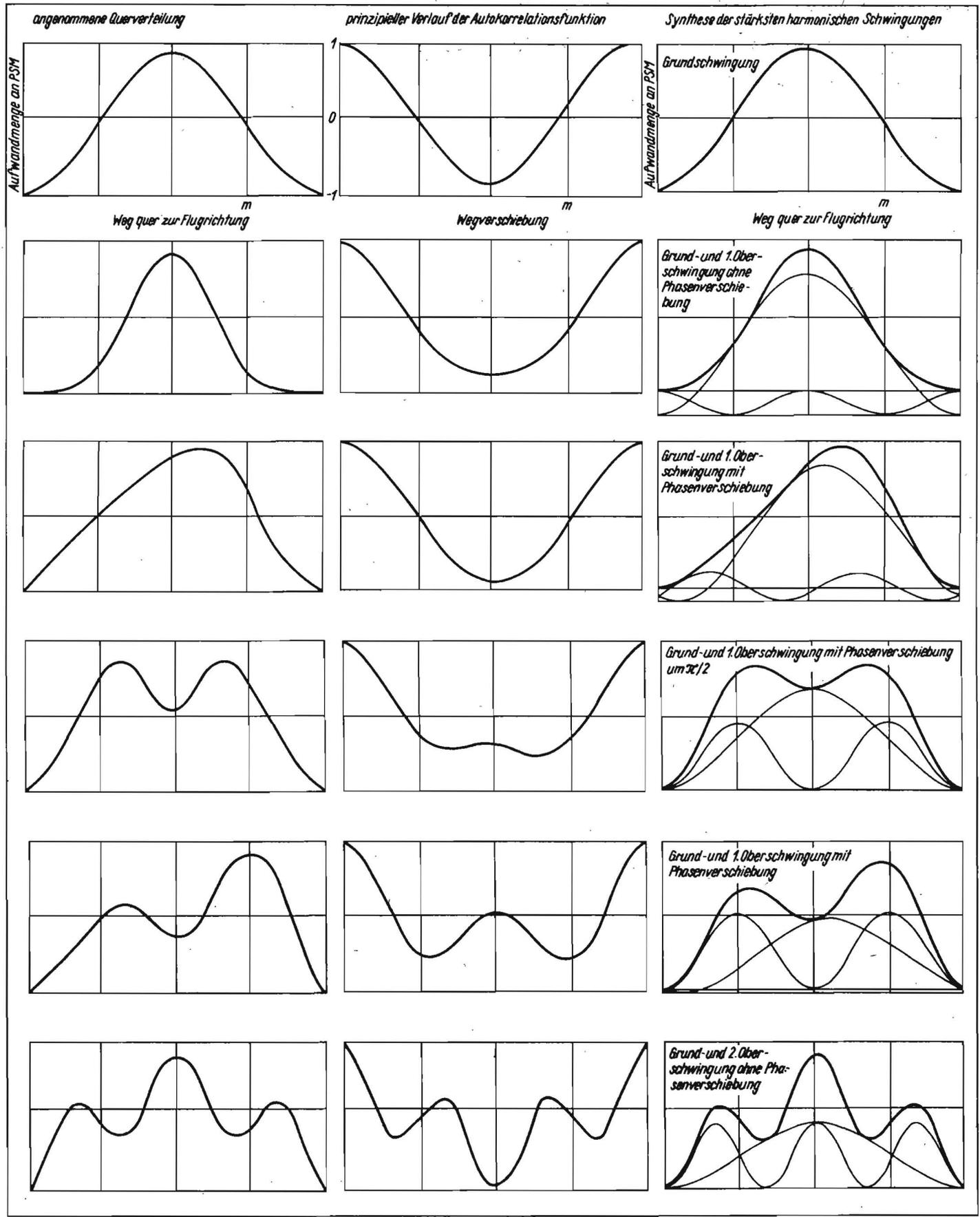


Bild 3. Angenommene Verteilung bei der Applikation von PSM mit Agrarluftfahrzeugen, ihre Autokorrelationsfunktion und Synthese ihrer stärksten harmonischen Schwingungen

Eine solche Methode ist für die Analyse der Verteilung von Pflanzenschutzmitteln unter Einzeldüsen bekannt [5], d. h. sie ist auch für agrartechnik, Berlin 34 (1984) 3

die Analyse von Ortsfunktionen verwendbar. Die Verteilung von PSM nach einem Überflug mit einem Luftfahrzeug stellt eine solche örtliche Verteilung dar. Bei der Auswertung von Verteilungen unter Einzeldüsen bestehen die einschränkenden Voraussetzungen, daß es sich um symmetrische Verteilungen handeln muß, die sich prinzipiell durch eine Grundschwingung dar-

stellen lassen. Diese Voraussetzungen sind bei der durch Luftfahrzeuge erzielbaren Querverteilung nicht immer erfüllt. Vielmehr muß bei dem prinzipiellen Verlauf mit Unsymmetrien gerechnet werden. Wenn man gemessene Querverteilungen einer harmonischen Analyse unterzieht, so ist zu erkennen, daß diese Funktionen sich aus der Summe von Grund- und Oberschwingungen zusam-

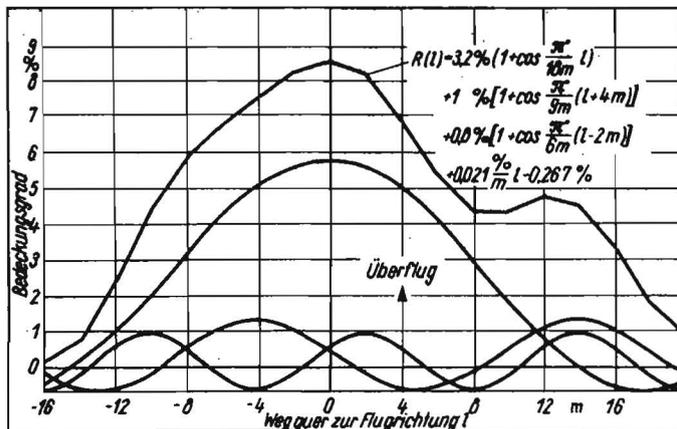


Bild 4
Durch Synthese der stärksten harmonischen Schwingungen aus den Meßwerten gefundene Querverteilung bei der Applikation von PSM durch das Flugzeug PZL-104

Summe darstellen. Infolge der Transformation des Meßsignals in die Autokorrelation erhält man anstelle des Weges über der Querverteilung Wegdifferenzen und für die allgemeinen Funktionen

$$f(l) = a \cos(\omega l + \varphi) \quad (3)$$

und

$$f(l) = a \sin(\omega l + \varphi) \quad (4)$$

die Autokorrelationsfunktion

$$\rho_{YY}(l) = \frac{a^2}{2} \cos \omega l. \quad (5)$$

mensetzen können. Um zu einer prinzipiellen Beschreibung der Querverteilung von Pflanzenschutzmitteln bei der Applikation mit Luftfahrzeugen zu kommen, ist die vorhandene Methodik zur Auswertung von Verteilungen unter Einzeldüsen weiter zu entwickeln.

Gewinnung von Meßdaten und eines mathematischen Modells

Die Messungen zur Verteilgleichmäßigkeit erfolgen durch Applikation von 2%iger Nigrosinbrühe auf einem quer zur Flugrichtung ausgelegten weißen Papierstreifen. Bei der Anwendung der neuen Auswertemethodik ist anstelle des bisher üblichen einen Streifens die Anordnung von mindestens drei parallel liegenden Papierstreifen erforderlich. Die Gesamtanzahl der notwendigen Überflüge kann dann reduziert werden. Durch die sich ablagernden Nigrosintröpfchen erfolgt eine teilweise Schwärzung der Papierstreifen, die ein direktes Maß für den Bedeckungsgrad als Funktion der Arbeitsbreite ist. Durch Bestrahlung des Papierstreifens mit Licht und Messung des reflektierten Lichtstroms mit einer Fotodiode wird ein elektrisches Signal gewonnen, das dem Bedeckungsgrad direkt proportional ist und als analoges Signal dargestellt oder in Form von diskreten Werten in regelmäßigen Abständen gedruckt bzw. auf Datenträger gespeichert werden kann. Damit ist eine rechen-technische Weiterverarbeitung möglich. Die Auswertung wird unter Zuhilfenahme der in [5] beschriebenen Methode vorgenommen. Für die vorhandenen Meßbedingungen erhält man unter Berücksichtigung von vier Harmonischen der Verteilungskurve und bei Unterstellung eines Fehlers von maximal 10% die in Tafel 1 angegebenen Werte. Entsprechend den Meßbedingungen kann die theoretisch notwendige Mindestanzahl von auszuwertenden Perioden nicht eingehalten werden, da der Aufwand dafür als zu

hoch einzuschätzen ist. Aus praktischen Beispielen ist jedoch bekannt, daß trotz Abweichung von diesen Richtwerten noch sehr gute Rechenergebnisse erzielbar sind [6]. Aus den so gewonnenen Meßwerten des Bedeckungsgrades von mindestens drei parallel ausgelegten Papierstreifen (drei Perioden) werden diskrete Werte der Autokorrelationsfunktion berechnet. Die diskreten Werte der Autokorrelationsfunktion lauten für die Wegintervalle $k s'$ ($k = 1, 2, 3 \dots$):

$$r(k s') = \frac{S_{YY}(k s')}{S_{YY}(0)} \quad (1)$$

mit

$$S_{YY}(0) = \sum_{i=1}^n (Y_i - Y_m)^2,$$

$$S_{YY}(k s') = \sum_{i=1}^n (Y_i - Y_m)(Y_{i+k} - Y_m).$$

Entsprechend den Eigenschaften der Autokorrelationsfunktion [4] erhält man ein normiertes Signal, das, beginnend bei 1,0, auf einen periodischen Verlauf gedämpft wird. Infolge der geringen Anzahl der auswertbaren Perioden ist es möglich, daß der Vorgang nicht ganz abklingt. Zur Vermeidung zusätzlicher Fehlerquellen ist dann ein „Entdämpfen“ angebracht.

Da jede periodische Funktion durch eine Summe von Kosinus- und Sinusfunktionen in die Form

$$\begin{aligned} f(l) &= a_0 + a_1 \cos \omega l + b_1 \sin \omega l \\ &+ a_2 \cos 2\omega l + b_2 \sin 2\omega l + \dots \\ &= a_0 + \sum_{i=1}^n a_i \cos i\omega l + \sum_{i=1}^n b_i \sin i\omega l \quad (2) \end{aligned}$$

gebracht werden kann, läßt sich auch der periodische – also der reproduzierbare – Anteil des Meßsignals durch eine solche

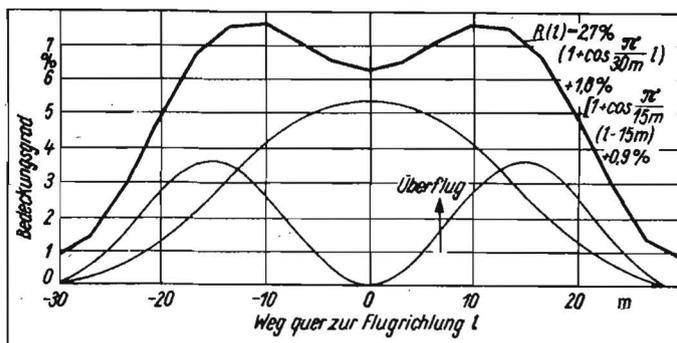


Bild 5
Durch Synthese der stärksten harmonischen Schwingungen aus den Meßwerten gefundene Querverteilung bei der Applikation von PSM durch den Hubschrauber Mi-2

Die Synthesefunktion lautet:

$$R(k s') = \sum_{j=0}^3 c_j \cos(j\omega k s' + \varphi_j); \quad (6)$$

$$k = 1, 2, 3, \dots$$

$$\omega = \frac{\pi}{L}.$$

Für $\varphi_j = 0$ bis 2π ist für jede Verschiebung:

$$\sum [M(k s') - R(k s')]^2 = \text{Min}. \quad (7)$$

Aus den dargestellten Resultaten ist zu schlußfolgern, daß die gewählte Methode der Analyse gemessener Verteilungen anwendbar ist, um den zufälligen Anteil der in den Messungen enthaltenen Abweichungen zu eliminieren, den prinzipiellen Verlauf der Verteilung darzustellen und mathematisch zu formulieren.

Der nach der Methode der kleinsten Quadrate gefundene Verlauf der Synthesefunktion stellt dabei die bestmögliche reproduzierbare Beschreibung des Meßsignals dar.

Die so erhaltene Synthesefunktion ist, wie bisher das ursprüngliche Meßsignal, durch Berechnung des Variationskoeffizienten [2] weiter zu verarbeiten. Der Variationskoeffizient stellt daher das Kriterium für die maximal mögliche Arbeitsbreite dar. Gegenüber dem bisherigen Verfahrensweg wird eine höhere Aussagesicherheit durch Ausschluß zufälliger Einflüsse erreicht.

Anwendungsbeispiele

Die abgeleitete Methode der Auswertung von Verteilungen entlang einer Linie ist prinzipiell für jede Form der Verteilung anwendbar.

Für die Auswertung der in den Bildern 1 und 2 dargestellten Meßergebnisse der Querverteilung von applizierten PSM unter einem Starrflügler und Hubschrauber zeigen die Bilder 4 und 5 die durch Superposition der stärksten harmonischen Schwingungen unter Berücksichtigung der Phasenlage und durch Entnormierung mit Hilfe der ursprünglichen Meßsignale gewonnenen prinzipiellen Verteilungen, die gleichzeitig den in den Meßsignalen enthaltenen reproduzierbaren Anteil darstellen.

Zusammenfassung

Ausgehend von theoretischen eindimensionalen Verteilungen von Pflanzenschutzmitteln bei der Applikation mit Luftfahrzeugen wird mit Hilfe der Berechnung der Autokorrelationsfunktionen, ihrer Fourieranalyse und der phasenrichtigen Synthese der wesentlichen harmonischen Anteile eine mathematische Methode zur Auswertung eindimensionaler Verteilungsfunktionen vorgestellt. Diese Methode gestattet es, zufällige Einflußfaktoren aus gemessenen Funktionen zu eliminieren, den reproduzierbaren Verlauf zu bestimmen und mathematisch zu modellieren.

Die prinzipielle Anwendbarkeit der Rechenmethode wird anhand von theoretischen Verteilungen nachgewiesen. Am Beispiel der gemessenen Querverteilungen bei der Applikation mit Starrflügler und Hubschrauber wird die Anwendbarkeit gezeigt. Der Vorteil dieser Auswertemethode besteht in der Erhöhung der Aussagesicherheit bei der Festlegung von Arbeitsbreiten beim aviochemischen Flugzeugeinsatz, der Bestimmung der Anordnung von Düsen und der Beurteilung erreichter Verteilungsqualitäten durch Ausschluß zufälliger und subjektiver Einflußfaktoren.

Die beschriebene Methode zur Auswertung von Meßergebnissen zur Querverteilung von Agrochemikalien bei der Applikation mit

Hilfe von Agrarluftfahrzeugen kann bei der Erarbeitung der Einsatztechnologie, zur Festlegung der Arbeitsbreite sowie zur Optimierung der Düsenkonfiguration am Spritzbalcken genutzt werden.

Literatur

- [1] El-Awady, M. N.: Spray and Dust Stagnant Patterns, Treated as Gaussian Functions (Pflanzenschutz- und Düngemittelverteilung als Gauß-Funktion betrachtet). Transaction of the ASAE, St. Joseph 19(1976) 4, S. 654-656.
- [2] Koron, J.; Olszowka, R.: Analiza profilu rozkładu poprzecznego chemikaliów w zabiegach agrolotniczych (Analyse des Profils der Querverteilung von Chemikalien bei agrarluftfahrtechnischer Behandlung). Technika lotnicza i astronautyczna, Warszawa 35 (1980) 12, S. 11-12.
- [3] Frankovič, B.; Petráš, S.; Skákala, J.; Vykouk, B.: Automatisierung und selbsttätige Steuerung. Berlin: VEB Verlag Technik 1970.
- [4] Lange, F. H.: Korrelationselektronik. Berlin: VEB Verlag Technik 1962.
- [5] Kaul, P.; Moll, E.; Gebauer, S.: Auswertung von Meßergebnissen zur Verteilung von Pflanzenschutzmitteln unter Düsen mit Hilfe der Korrelationsrechnung. agrartechnik, Berlin 31 (1981) 9, S. 407-410.
- [6] Kaul, P.: Thermisches Verhalten von Tierproduktionsanlagen. Luft- und Kältetechnik, Berlin 13 (1977) 3, S. 132-137. A 3842

Steigerung der Qualität und Effektivität des Agrarflugeinsatzes durch Nutzung des Landwirtschaftsfunks

Flugkapitän E. Anders, INTERFLUG, Betrieb Agrarflug

Die Luftfahrzeuge des Agrarfluges sind seit vielen Jahren im Maschinensystem der Landwirtschaft integriert. Die gesamte Einsatzorganisation liegt in der Verantwortung der agrochemischen Zentren (ACZ). Durch die Nutzung des UKW-Sprechfunksystems der Landwirtschaft (Bild 1) ergeben sich viele Möglichkeiten zur Verbesserung des Einsatzes.

Durch den Betrieb Agrarflug wurden deshalb alle Luftfahrzeugtypen für die Nutzung des Landwirtschaftsfunks ausgerüstet. Bis auf das Sendempfangs-Gerät sind alle erforderlichen Geräte und Einrichtungen installiert. Nach Bereitstellung der Sendempfangs-Geräte durch die ACZ kann sofort mit der Nutzung des Landwirtschaftsfunks begonnen werden. Zum erforderlichen Ausrüstungsstandard gehören:

Luftfahrzeug

- eine mobile UKW-Landfunkanlage USE 600

Arbeitsflugplatz

- eine portable UKW-Landfunkanlage USE 600 bzw. U 700
- eine einkanalige UKW-Funkempfangskombination UEH/UEV 620 oder UFT 720/UNW-A1

Einweiser

- zwei UKW-Handfunksprechgeräte UFT 721.

Das Funkgerät auf dem Arbeitsflugplatz er-

möglicht die Verbindung mit ACZ und LPG auf der für das Territorium festgelegten Frequenz im Relaisstellenbereich zur Gewährleistung eines exakten Einsatzes (Informationen über Versorgung mit Chemikalien, Umsetzung zu anderen LPG, Ersatzteilversorgung u. a.).

Durch den Einsatz des Funkgeräts auf dem Arbeitsflugplatz ergeben sich folgende Vorteile:

- Einsparung von Arbeitszeit durch bessere Arbeitsorganisation (Düngeranfuhr, Kranbereitstellung, Umsetzung der Luftfahrzeuge)
- Reduzierung von Stillstandszeiten
- Erhöhung der Effektivität und Arbeitsproduktivität des Luftfahrzeugs
- kurzfristige Umsetzung von Transport- und Beladetechnik bei notwendigen Stillstandszeiten des Luftfahrzeugs
- kurzfristige Bereitstellung von Material und Ersatzteilen und damit Verringerung der Wartezeiten.

Langjährige Einsatzanalysen haben ergeben, daß durchschnittlich 60 % der Ausfallzeiten und durchschnittlich 11 % der Stillstandszeiten auf organisatorische Mängel zurückzuführen sind, die durch Nutzung des Landwirtschaftsfunks wesentlich verringert werden können. Dadurch sind jährlich 10 % mehr Flugstunden je Luftfahrzeug möglich. Die Funkverbindung zwischen Luftfahrzeug,

Einweiser und Stationsmechaniker auf dem Simplexfrequenzkanal, speziell für den Agrarflugeinsatz (Bild 2), bringt folgende Vorteile:

- Einsparung von unproduktiver Flugzeit durch bessere Organisation der Arbeit mit den Einweisern
- Verbesserung der Qualität des Streubilds durch ständige Sprechverbindung zwischen Luftfahrzeug und Einweiser
- Einsparung des notwendigen Rückflugs zum Arbeitsflugplatz bei ungenügender Organisation auf dem Arbeitsfeld, vor allem bei Pflanzenschutzmaßnahmen (große Entfernungen, fehlende Signalisation), durch Sprechfunkverbindung zwischen Luftfahrzeug und Stationsmechaniker
- Sofortinformation an die Einweiser über Änderung der Arbeitsbreite sowie notwendige Stillstandszeiten und damit Einsparung an Kraftstoff, da diese Information sonst mit Hilfe eines Kraftfahrzeugs überbracht werden muß.

Es wurde ermittelt, daß durch die Funkverbindung zwischen Luftfahrzeug, Einweiser und Stationsmechaniker eine Einsparung von rd. 12 Flugstunden an unproduktiver Flugzeit je landwirtschaftlichem Luftfahrzeug und Jahr möglich sind.

Im Jahr 1981 wurde eine Untersuchung zum Nutzen des Einsatzes von UKW-Sprechfunk