

Zur Bedeutung des Luftaustausches für die Pflanzenschutzmittelapplikation im Kaltnebelverfahren in Gewächshäusern

Dr. agr. W. Benn, Institut für Pflanzenschutzforschung Kleinmachnow der AdL der DDR

Ing. Edeltraud Kuhn, Forschungszentrum für Mechanisierung der Landwirtschaft Schlieben/Bornim der AdL der DDR

1. Einleitung

Die pflanzenschutzmäßige Absicherung der Produktion von Gemüse und Zierpflanzen in Gewächshäusern wird in der DDR zunehmend mit dem hochproduktiven halbstationären bzw. mobilen Kaltnebelverfahren realisiert. Beim Kaltnebelverfahren werden mit Hilfe von Verdichter und Spezialdüsen feintropfige kalte Aerosole erzeugt. Eine gleichmäßige Aerosolverteilung wird im halbstationären Kaltnebelverfahren durch eine systematische Anordnung der Aerosoldüsen im Raum und im mobilen Kaltnebelverfahren durch einen vom Ventilator der Kaltnebelmaschine erzeugten Zuluftstrahl erreicht.

Die Aerosolablagerung und -verteilung auf den Zielflächen hängt von verschiedenen technischen und technologischen Faktoren, aber auch in erheblichem Umfang von den während des Applikations- und Ablagerungsvorgangs herrschenden Klimabedingungen ab. Dabei spielen die Luftströmung (Windgeschwindigkeit) und der von dieser und von der Dichtheit der Gewächshausbauhülle im wesentlichen bestimmte Luftaustausch eine besondere Rolle, denn die Pflanzenschutzmittelaerosole schweben bis zu 3 Stunden im Raum. Dadurch unterliegen sie aufgrund ihrer geringen Sinkgeschwindigkeit erheblich dem Einfluß des Luftaustausches.

Zur Erreichung eines hohen Bekämpfungserfolgs vorhandener Schaderreger ist jedoch die Ablagerung einer bestimmten Menge des aerosolisierten Pflanzenschutzmittels erforderlich.

Ausgehend von den von Beer [1], Heissner [2] u.a. ermittelten Luftwechselzahlen für damals vorhandene Gewächshaustypen wurden Luftwechselzahlbestimmungen für die Gewächshaustypen der EG-5- und EG-2-Baureihe sowie für das Plast-Folien-Gewächshaus „Plauen“ durchgeführt. Des weiteren wurde die Abhängigkeit der Mittelverteilung und -ablagerung vom Luftwechsel untersucht. Aus den erzielten Ergebnissen werden Schlußfolgerungen für den Einsatz der Kaltnebeltechnik zur Bekämpfung von Schaderregern in Gewächshäusern gezogen.

haus „Plauen“ durchgeführt. Des weiteren wurde die Abhängigkeit der Mittelverteilung und -ablagerung vom Luftwechsel untersucht. Aus den erzielten Ergebnissen werden Schlußfolgerungen für den Einsatz der Kaltnebeltechnik zur Bekämpfung von Schaderregern in Gewächshäusern gezogen.

2. Meßverfahren

Als Meßverfahren wurde die Indikatorgasmethode angewendet. Das Prinzip der Messung besteht darin, daß ein Indikatorgas im Raum möglichst gleichmäßig verteilt und an mehreren Meßstellen der Konzentrationsabfall gemessen wird. Der Konzentrationsabfall eines Indikatorgases folgt einer Exponentialfunktion.

Deshalb gilt:

$$C_{t_1} = C_{t_0} e^{-\alpha t_{1/2}}$$

$$\frac{C_{t_1}}{C_{t_0}} = \frac{1}{2}$$

$$\frac{1}{2} = e^{-\alpha t_{1/2}}$$

$$\ln 1 - \ln 2 = -\alpha t_{1/2}$$

$$\alpha = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} ;$$

α Lüftungskoeffizient (Luftwechselzahl) in h^{-1}

$t_{1/2}$ Halbwertszeit des Indikatorgases in h
 C_{t_0} Konzentration des Indikatorgases zum Zeitpunkt $t = 0$

C_{t_1} Konzentration des Indikatorgases zum Zeitpunkt der Messung.

Die Luftwechselzahl α gibt die Anzahl der Volumina an, die in einer Zeiteinheit ausge-

tauscht werden. Die Bestimmung von α kann aus der grafischen Darstellung der Impulsrate im halblogarithmischen Maßstab bzw. durch logarithmische Regressionsrechnung erfolgen [1].

Als Indikatorgas wird das radioaktive Edelgas Krypton-85 (Halbwertszeit 10,3 a) verwendet, das über eine hohe Nachweisempfindlichkeit bei einfacher Konzentrationsbestimmung verfügt. Die Zugabe von rd. 1,85 MBq/m³ des Indikatorgases Krypton-85 zur Raumluft des Gewächshauses kann sowohl manuell als auch über die Saugöffnung des Radialventilators der mobilen Kaltnebelmaschine erfolgen.

Die Registrierung der Impulsraten erfolgte mit Halogenzählrohren VAZ-118 in Verbindung mit einem Sechsstellen-Meßstellen-Gerät und einem Ergebnisdruker. Die 6 Zählrohre sind mit Kabelanpassungsstufen VA-B-09 und Verlängerungskabeln in der Anlage verlegbar. Weitere Meßstellen wurden mit tragbaren, batteriebetriebenen Zählgeräten und mit den Meßgeräten 20 026 besetzt. Mit der Registrierung der Indikatorgaskonzentration wird begonnen, wenn sich an allen Meßstellen eine annähernd gleich hohe Impulsrate eingestellt hat.

Im Forschungszentrum für Mechanisierung der Landwirtschaft Schlieben/Bornim ist ein 16kanaliges Impulszählgerät entwickelt worden, bei dem kontinuierlich und pausenlos 16 parallel einfallende Impulsfolgen registriert werden können. Für die Auswertung von Luftwechselzahlmessungen liegt in der Programmbibliothek ein spezielles Rechenprogramm vor [3].

3. Größe des Luftaustausches in verschiedenen Gewächshaustypen

Die Luftwechselzahl wurde in den Gewächshaustypen Plast-Folien-Gewächshaus „Plauen“ (Rauminhalt 2900 m³), Stahl-Plast-Gewächshaus EG5/1 (Rauminhalt 840 m³), Stahl-Plast-Gewächshaus EG5/4 (Rauminhalt 11200 m³) und Stahl-Glas-Gewächshaus EG2/2 (Rauminhalt 11200 m³) ermittelt. Die Meßergebnisse sind in Tafel 1 zusammengefaßt.

Im Plast-Folien-Gewächshaus „Plauen“ ist die durchschnittliche Luftwechselzahl α mit 0,40 h⁻¹ am kleinsten, obwohl die Windgeschwindigkeit mit 1 m/s doppelt so hoch war wie im Stahl-Plast-Gewächshaus (mit plastverstärkten Polyesterplatten eingedeckt) EG5/1 (Länge 30 m). Die Luftwechselzahl beim Stahl-Plast-Gewächshaus EG5/4 ist ebenfalls geringer als beim Stahl-Glas-Gewächshaus EG2/2. Daraus läßt sich folgende Dichtheit der Umschließungskonstruktion der einzelnen Gewächshaustypen ableiten: „Plauen“ > EG5/1 > EG5/4 > EG2/2.

Daß die Windanfälligkeit beim Stahl-Glas-Gewächshaus EG2/2 größer ist als beim Stahl-Plast-Gewächshaus EG5/4, zeigt auch der Vergleich der jeweils in jedem Gewächshaus bei unterschiedlichen Windgeschwindigkeiten durchgeführten zwei Versuche (Tafel 1).

Fortsetzung von Seite 227

- anteils. Es bestand eine deutliche Beziehung zur Höhe der Ausbringmenge.
- Das Ausmaß der Verminderung des Nennkornanteils bzw. der Zunahme der Kornzerstörungssumme und des Feinkornanteils wird wesentlich von der statischen Kornfestigkeit der Granalien bestimmt.
 - Es ergibt sich die Schlußfolgerung, daß die Ausbringung der geprüften Mineraldünger mit Schleuderscheibendrehzahlen von ≤ 1100 U/min erfolgen sollte.

Literatur

- [1] Heymann, W.; Linke, E.; Zschuppe, H.: Arbeitsqualität und Streuleistung von Düngerstreumaschinen in Abhängigkeit von der Düngerqualität. Dt. Agrartechnik, Berlin 21 (1971) 4, S. 187-191.
- [2] Jäschke, H.-J.; Kämpfe, K.; Müller, A.: Einfluß des Windes auf die Streugenauigkeit von Harnstoff bei der Ausbringung mit Bodenmaschinen. Informationen für die industriemäßige Pflanzen-

produktion, Chemisierung, Berlin 7 (1982) 3, S. 5-8.

- [3] Porskamp, H. A. J.: Korrelgrootte en strooire-sultaat bij kunstmeststrooiers (Korngröße und Streuergebnis von Mineraldüngerstreuern). Stikstof, s'Gravenhage 8 (1979) 92, S. 264-270.
- [4] Vožik, Ju. G.; Adamčuk, V. V.: Vlijanie granulometričeskogo sostava ammičnoj selitry na ravnomernost' ee mehanizirovannogo vnesenija (Einfluß der granulometrischen Eigenschaften von Ammonsalpeter auf die Gleichmäßigkeit seiner mechanisierten Ausbringung). Chimija v sel'skom chozjajstve, Moskva 20 (1982) 1, S. 16-18.
- [5] Kämpfe, K.; Jäschke, H.-J.; Brinschwitz, W.: Zusammenhang zwischen wesentlichen physikalischen Eigenschaften und der Verteilgenauigkeit der Mineraldünger bei der Applikation. agrartechnik, Berlin 32 (1982) 6, S. 253-256.
- [6] Kämpfe, K.; Jäschke, H.-J.; Hagemann, O.: Maschinen und Verfahren zur Ausbringung von Mineraldünger sowie Anforderungen an deren Vervollkommnung und Weiterentwicklung. Internationale Zeitschrift der Landwirtschaft, Moskau/Berlin (1983) 1, S. 30-33. A 4482

Tafel 1. Durchschnittliche Luftwechselzahl α von 4 untersuchten Gewächshäusern einschließlich der während der Kaltvernebelung von Pflanzenschutzmitteln mit der KANEMA S 160 auftretenden Luftwechselzahlen α_k

Gewächshaustyp	Temperatur-differenz zum Freiland °C	Windgeschwindigkeit m/s	α h ⁻¹	α_k h ⁻¹
„Plauen“	4	1	0,40	4,12
EG 5/1	2...4	0,5	0,66	3,42
EG 5/4	9	4,5	0,67	1,2
	8	3	0,65	(1)
EG 2/2	10	6	2,11	3,8
	10	4,5	1,42	(1)

(1) diese Werte für α_k wurden nicht ermittelt

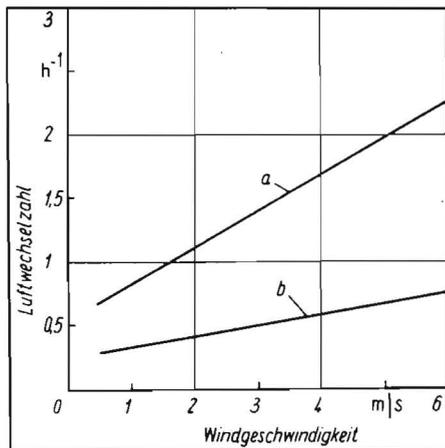


Bild 1. Abhängigkeit der Luftwechselzahl von der Windgeschwindigkeit bei Stahl-Glas-Gewächshäusern (a) sowie bei Plast-Folien- und Stahl-Plast-Gewächshäusern (b)

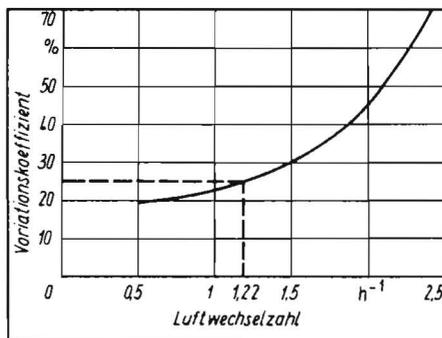


Bild 2. Variationskoeffizient der Mittelverteilung in Abhängigkeit vom Luftwechsel im Gewächshaus EG2/2

Bild 3. Variationskoeffizient der Mittelverteilung in Abhängigkeit vom Luftwechsel im Plast-Folien-Gewächshaus „Plauen“

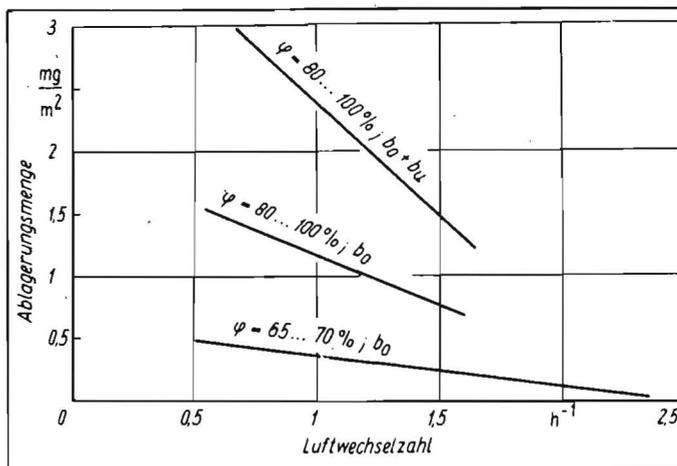
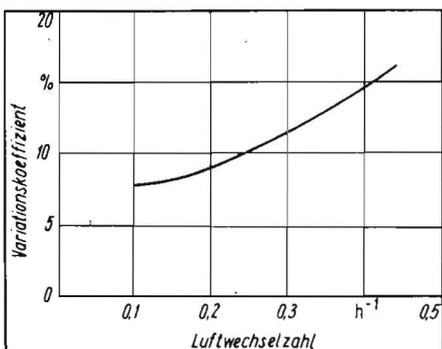


Bild 4. Belagsverluste in Abhängigkeit vom Luftwechsel unter Berücksichtigung der relativen Luftfeuchte im Stahl-Glas-Gewächshaus EG2/2

Im EG5/4 verringert sich die Luftwechselzahl nur minimal, obwohl die Windgeschwindigkeit um ein Drittel geringer wird (von 4,5 m/s auf 3 m/s). Eine erhebliche Reduzierung der Luftwechselzahl erfolgt dagegen bei gleichgroßer Verringerung der Windgeschwindigkeit (von 6 m/s auf 4,5 m/s) im EG2/2. Entsprechend groß sind auch die Unterschiede der Luftwechselzahlen α_k , die während des Applikationsvorgangs im EG5/4 ($\alpha_k = 1,2 \text{ h}^{-1}$) und EG2/2 ($\alpha_k = 3,8 \text{ h}^{-1}$) gemessen wurden. In beiden Gewächshäusern, die über einen gleichgroßen Rauminhalt verfügen, wurde ein von der Kaltnebelmaschine KANEMA S 160 erzeugter Zuluftstrahlimpuls $i_0 = 0,038 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}^2$ angewendet.

Die Luftwechselzahlen α_k liegen mit $4,12 \text{ h}^{-1}$ für den Gewächshaustyp „Plauen“ und mit $3,42 \text{ h}^{-1}$ für das EG5/1 (Länge 30 m) dagegen recht hoch, obwohl mit gleichem Strahlimpuls gearbeitet wurde. Die Ursache dafür sind die geringeren Raumabmessungen. Dadurch kommt der vom Radiallüfter der Kaltnebelmaschine erzeugte Luftstrom bereits mit relativ großer Geschwindigkeit mit der Umschließungskonstruktion in Berührung und erhöht somit den Luftaustausch. Der Vergleich der vorgestellten Luftwechselzahlen mit denen von Beer [1] bzw. Heissner [2], die in älteren Stahl-Glas-Gewächshäusern sowie Plast-Folien- und Stahl-Plast-Gewächshäusern ermittelt wurden, ergibt eine gute Übereinstimmung (Bild 1). Danach ist der Luftwechsel in Stahl-Glas-Gewächshäusern um das 2,7fache größer, als in den Plast-Folien- und Stahl-Plast-Gewächshäusern.

3.1. Bedeutung des Luftaustausches für die Mittelverteilung

Der Luftaustausch ist, wie im Abschn. 3 festgestellt, überwiegend in den Stahl-Glas-Gewächshäusern von Bedeutung. Sein Einfluß auf die Verteilungsqualität der vernebelten Pflanzenschutzmittel wurde in den Gewächshäusern EG2/2 und „Plauen“ ermittelt. Die Ergebnisse zeigen, daß im Stahl-Glas-Gewächshaus EG2/2 bei einer Einpunkternebelung mit KANEMA S 160 der die Verteilung kennzeichnende Variationskoeffizient bei einem Luftwechsel von $\alpha = 1,22 \text{ h}^{-1}$ (das entspricht einer Windgeschwindigkeit von 2,5 m/s) den Grenzwert von 25% erreicht (Bild 2). Dabei ist eine Applikationszeit von 9 bis 12 min zugrunde gelegt. Im Plast-Folien-Gewächshaus „Plauen“ wird dieser Grenzwert bei Einhaltung der vorgegebenen Verfahrensparameter praktisch nicht erreicht (Bild 3). Die Ursache liegt in der geringeren

Luftdurchlaßfähigkeit des Plast-Folien-Gewächshauses gegenüber dem Stahl-Glas-Gewächshaus.

Zusammenfassend ist festzustellen, daß die Verteilungsqualität kaltvernebelter Pflanzenschutzmittel mit zunehmendem Luftwechsel schlechter wird. Sie ist von der Dichtheit der Umschließungskonstruktion sowie von der Windstärke der Außenluft abhängig.

3.2. Einfluß des Luftaustausches auf die Mittelablagerung

Aerosole mit einem mittleren Volumendurchmesser von 15 bis 20 μm , wie sie von der mobilen Kaltnebelmaschine KANEMA S 160 erzeugt werden, verfügen über eine sehr hohe Schwebefähigkeit. Dadurch unterliegen sie in hohem Maß thermischen und strömungsmäßigen Einflüssen und somit auch den Einflüssen des Luftwechsels. In Abhängigkeit vom Luftwechsel und von der relativen Luftfeuchte φ , die einen großen Einfluß auf die Verdunstung der Mittelaerosole hat, lagert sich nur ein bestimmter Aerosolanteil auf den Zielflächen (vor allem Pflanzen) ab. Ein relativ großer Aerosolanteil verläßt über den Luftaustausch zwischen Gewächshausinnenraum und -umgebung das Gewächshaus (Bild 4). Es ist ersichtlich, daß die Belagsverluste an der Blattunterseite (b_u) relativ größer sind als die an der Blattoberseite (b_o). Das ist dadurch zu erklären, daß sich an der Blattunterseite nur kleinere Aerosoltröpfchen ablagern, während sich auf der Blattoberseite auch die größeren Aerosoltröpfchen niederschlagen. Aber gerade die kleineren Aerosoltröpfchen unterliegen besonders stark den Einflüssen des Luftaustausches. Bild 4 zeigt weiterhin – absolut und bezüglich des Luftaustausches – den erheblichen Einfluß der relativen Luftfeuchte auf die Mittelablagerung. Bei einer relativen Luftfeuchte von $\varphi = 65...75\%$ verdunsten weitaus mehr Aerosoltröpfchen als bei $\varphi = 80...100\%$ bzw. das Tropfenspektrum ist insgesamt feiner. Somit unterliegt es auch stärker dem Luftaustausch, woraus die viel geringere Ablagerungsmenge resultiert.

Bei der Ermittlung der Mittelverluste durch den Luftwechsel ist zu beachten, daß der Luftwechsel im mobilen Kaltnebelverfahren während der durchschnittlichen Applikationsphase von 10 min aufgrund der vom Radiallüfter der mobilen Kaltnebelmaschine in-

Tafel 2. Meßergebnisse zum Luftwechsel bei geschlossenem Gewächshaus während und nach der Mittelapplikation im mobilen Kaltnebelverfahren

Gewächshausstyp	Luftwechselzahl bei geschlossenem Gewächshaus während der Applikationsphase		Erhöhung der Luftwechselzahl während der Applikationsphase
	h^{-1}	nach der Applikationsphase h^{-1}	
EG 2/2	3,8	1,7	2,2fach
EG 5/4	1,2	0,66	1,8fach
EG 5/1 (Länge 30 m)	3,3	0,66	5fach
EG 5/1 (Länge 30 m)	4	1,5	2,7fach
„Plauen“	4	1	4fach
„Plauen“	4,1	0,4	10fach ¹⁾

1) mehrere Undichtheiten in der Folie

Tafel 3. Ablagerungsverhalten von mit KANEMA S160 im Plast-Folien-Gewächshaus „Plauen“ vernebeltem Actellic 50EC

Zeit (ab Applikationsbeginn) min	Applikationsmenge $\mu\text{l}/\text{m}^2$	abgelagerte Applikationsmenge $\mu\text{l}/\text{m}^2$	durch Luftwechsel verlorene Applikationsmenge $\mu\text{l}/\text{m}^2$	noch im Raum schwebende Applikationsmenge $\mu\text{l}/\text{m}^2$
Applikationsphase 10 min, $\alpha = 4 h^{-1}$				
1	25	5	1,33	18,67
2	50	10	3,91	36,09
3	75	15	7,65	52,35
4	100	20	12,47	67,53
5	125	25	18,31	81,69
6	150	30	25,09	94,91
7	175	35	32,75	107,25
8	200	40	41,23	118,77
9	225	45	50,48	129,52
10	250	50	60,45	139,55
Ablagerungsphase 120 min, $\alpha = 1 h^{-1}$				
25	250	57	123,25	69,78
40	250	68,14	114,87	66,99
70	250	84,33	106,22	59,45
130	250	97,38	148,23	4,39

jizierten Luftströmung erheblich ansteigt (Tafel 2). Die Messungen wurden bei einem Strahlimpuls von $i_0 = 0,038 \text{ kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^2$ mit Hilfe des Edelgasnuklids Krypton-85 in verschiedenen Gewächshäusern durchgeführt. In Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit, der Temperaturdifferenz zwischen Gewächshausinnenraum und Umgebung u. a. Einflußfaktoren des Luftwechsels tritt bei unterschiedlichen Gewächshausstypen eine Erhöhung der Luftwechselzahl um das 1,8- bis 5fache auf. Sind Undichtheiten in der Gewächshausbauhülle vorhanden, erhöht sich die Luftwechselzahl durch eine zusätzlich im Raum injizierte Luftströmung (Tafel 1, letzte Spalte). Entsprechend diesen Einflüssen gestaltet sich auch die Ablagerung der im Kaltnebelverfahren erzeugten Mittelaerosole. Als Beispiel ist der Ablagerungswert von mit KANEMA S160 vernebeltem Actellic 50 EC im Plast-Folien-Gewächshaus „Plauen“ dargestellt (Tafel 3). Von einer Applikationsmenge von $250 \mu\text{l}/\text{m}^2$ lagerten sich $97,38 \mu\text{l}/\text{m}^2$ (39%) ab. 59% ($148,23 \mu\text{l}/\text{m}^2$) gingen im Versuchszeitraum durch den Luftwechsel verloren. Dazu müssen letztlich noch die im Raum schwebenden $4,39 \mu\text{l}/\text{m}^2$ (2%) gerechnet werden, die Aerosoltröpfchen von sehr kleinem Durchmesser darstellen.

Während der Applikationsphase bei Zwangsluftströmung lagerte sich eine Applikationsmenge je min von $5 \mu\text{l}/\text{m}^2$ trotz des durch die Zwangsluftströmung hervorgerufenen hohen Luftwechsels von $\alpha = 4 h^{-1}$ ab. Das bedeutet, daß der Einfluß der Zwangsluftströmung auf die Mittelablagerung größer ist als der negative Einfluß des Luftwechsels. Der Einfluß des Luftwechsels auf die Mittelverteilung und -ablagerung besteht sowohl im mobilen als auch im halbstationären Kaltnebelverfahren. Aus diesem Grund kann der Luftwechsel eine für die Anwendung des Kaltnebelverfahrens begrenzende Einflußgröße sein. Bei einer Luftwechselzahl $\alpha > 1,2 h^{-1}$ ist wegen der unbefriedigenden Verteilung und der zu geringen Ablagerung der kaltvernebelten Pflanzenschutzmittel auf den Zielflächen (z. B. Pflanzen) die Anwendung der Kaltnebelverfahren entsprechend der bisher empfohlenen Technologie nicht mehr vertretbar.

4. Zusammenfassung

Der Luftwechsel beeinflusst die Verteilung und Ablagerung kaltvernebelter Pflanzenschutzmittel im Gewächshaus. Mit Hilfe der Indikatororgasmethode mit dem Edelgas Kr-85 wurden für verschiedene Gewächshaus-

pen die Luftwechselzahlen in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit untersucht. Bei gleicher Windgeschwindigkeit ist der Luftwechsel in Stahl-Glas-Gewächshäusern größer als in Plast-Folien- bzw. Stahl-Plast-Gewächshäusern. Bei einer Luftwechselzahl $\alpha = 1,2 h^{-1}$ ist wegen der unbefriedigenden Verteilung und Ablagerung der kaltvernebelten Pflanzenschutzmittel auf den Zielflächen die Anwendung der Kaltnebelverfahren entsprechend der bisher empfohlenen Technologie nicht mehr vertretbar.

Literatur

- [1] Beer, M.; Heissner, A.; Vogel, G.: Bestimmung des Luftaustausches im geschlossenen Gewächshaus aus Glas oder glasfaserverstärktem Polyester: Dt. Agrartechnik, Berlin 15 (1965) 4, S. 166-170.
- [2] Heissner, A.: Experimentelle Untersuchung des Luftaustausches von nicht gelüfteten Gewächshäusern. Archiv für Gartenbau, Berlin 15 (1967) 8, S. 521-532.
- [3] Gläser, M.; Gohr, A.; Kühn, E.; Baganz, K.: Mehrkanaliges Impulszählgerät zur Rationalisierung von Traceruntersuchungen. Isotopenpraxis, Berlin (1985) 4. A 4379

Angeboten werden die kompletten, in Leinen gebundenen Jahrgänge 1960 bis 1981 der Zeitschrift „agrartechnik“.

Abgabe möglichst vollständig. Preis nach Vereinbarung.

Außerdem werden folgende Einzelhefte der „agrartechnik“ angeboten: 9 bis 12/1951, 5 bis 8, 10, 11/1952, 1 bis 10, 12/1953, ab 1954 vollständig.

Abgabe möglichst komplett. Preis nach Vereinbarung.

Interessenten melden sich bitte schriftlich in der Redaktion.

Adresse: VEB Verlag Technik
Redaktion agrartechnik
Oranienburger Str. 13/14
Berlin
1020