

# Grundlagen der Landtechnik

Herausgegeben mit Unterstützung durch die  
Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft  
Braunschweig-Völkenrode (FAL)

Schriftleitung: Dr. F. Schoedder, Institut  
für landtechnische Grundlagenforschung

Grundl. Landtechnik Bd. 34 (1984) Nr. 1, S. 1 bis 32

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE

## Einige Grundlagen der elektrostatischen Aufladung von Spritzflüssigkeiten im chemischen Pflanzenschutz

Von Eberhard Moser und Stefan Eckert,  
Stuttgart-Hohenheim\*)

DK 632.9:632.982.1:621.319

In Verbindung mit flüssigkeitssparenden, kleintropfigen Ausbringverfahren ermöglicht die elektrostatische Aufladung von Spritzflüssigkeiten eine verbesserte Wirkstoffanlagerung sowie die Reduzierung von Drift. Unter besonderer Berücksichtigung der Koronaaufladung werden die physikalischen Gesetzmäßigkeiten des Aufladevorganges behandelt.

Für verschiedene Düsen wurde bei unterschiedlichen Spritzdrücken die elektrostatische Aufladung einiger Spritzflüssigkeiten direkt durch Strommessung ermittelt.

Die Versuchsanordnung ermöglichte ferner eine Optimierung der Elektrodenanordnung hinsichtlich Lage und Anzahl der Elektroden.

Unter besonderer Berücksichtigung der Koronaaufladung befaßt sich die vorliegende Arbeit mit den physikalischen Gesetzmäßigkeiten des Aufladevorganges. In Laborversuchen wurde außerdem untersucht, wie durch Veränderung bestimmter Einflußgrößen die Flüssigkeitsaufladung optimiert werden kann. Hierzu wurde die von der Spritzflüssigkeit mitgeführte elektrische Ladung ermittelt. Die Zerstäubung erfolgte mit Flachstrahldüsen, wie sie bei Feldspritzgeräten üblich sind.

Im einzelnen wurden folgende Einflußfaktoren untersucht:

- elektrische Eigenschaften der Flüssigkeit
- Aufladesystem
- Ausflußmenge, Düsengröße
- Elektrodenanordnung.

### 1. Einleitung

Die elektrostatische Aufladung von Spritzflüssigkeiten bei der Applikation chemischer Pflanzenschutzmittel ist insbesondere bei flüssigkeitssparenden, kleintropfigen Ausbringverfahren sehr effektiv. Neben mechanisch-dynamischen Kräften beeinflussen zusätzlich elektrische Kräfte die Tropfenanlagerung. In Labor- und Freilandversuchen konnten mit elektrostatischen Aufladeverfahren gegenüber den konventionellen Spritzverfahren beträchtliche Belagssteigerungen und beim Sprühen mit Trägerluftstrom eine gleichmäßigere Wirkstoffverteilung im Bestand, sowie eine Verminderung der Abdrift nachgewiesen werden. Auch die Anlagerung auf den Blattunterseiten der Pflanzen wird wesentlich erhöht [1, 2, 3, 4].

Die elektrostatische Aufladung von Spritzflüssigkeiten kann bekanntlich durch Influenz-, Kontakt- oder Koronaaufladung erfolgen. Neben der Kontaktaufladung (die Spritzflüssigkeit wird vor der Zerstäubung auf den Hochspannungspegel gebracht) erscheint die Koronaaufladung (Aufladung einzelner Tropfen im ionisierten elektrischen Feld) für die elektrostatische Aufladung von Spritzflüssigkeiten besonders geeignet, da dieses Verfahren mit vergleichsweise geringem technischem Aufwand verbunden ist.

### 2. Grundlagen der elektrostatischen Aufladung

#### 2.1 Koronaaufladung

Das Prinzip der Koronaaufladung besteht darin, daß zerstäubte Flüssigkeit durch ein unipolar ionisiertes elektrisches Feld hindurchtritt. Die Flüssigkeitströpfchen werden elektrisch geladen, indem sie an ihrer Oberfläche freie Ladungsträger (Ionen oder Elektronen) auf- bzw. mitnehmen [4]. Diese freien Ladungsträger entstehen durch eine Koronaentladung aus neutralen Luftmolekülen. Die hierzu notwendige hohe elektrische Feldstärke wird an der Spitze einer oder mehrerer an Hochspannung gelegter Sprühelektroden erzeugt. Dabei werden die Tröpfchen im gleichen Ladungssinn wie die Sprühelektrode aufgeladen. Die gesamte von einem Tropfen bei einer bestimmten Feldstärke aufnehmbare Ladung hängt ab von seiner Oberfläche, seinen dielektrischen Eigenschaften (Aufladungskoeffizient) sowie seiner Verweilzeit im ionisierten Bereich. Die Ladung eines Tropfens kann berechnet werden [5]:

$$q_T = 4\pi r^2 E \epsilon_0 \chi f \quad (1),$$

mit  $q_T$  Tropfenladung [C]  
 $r$  Tropfenradius [m]  
 $E$  elektrische Feldstärke [V/m]  
 $\epsilon_0$  Dielektrizitätskonstante des Vakuums =  
 $8,86 \cdot 10^{-12}$  [C/(V m)]  
 $\chi$  Aufladungskoeffizient  
 $f$  Aufladungswirkungsgrad.

\*) Prof. Dr.-Ing. E. Moser ist Leiter des Fachgebietes "Verfahrenstechnik für Intensivkulturen" am Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim; Dipl.-Ing. agr. S. Eckert ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am gleichen Institut.

Der dimensionslose Faktor  $f$  berücksichtigt die durch Anwesenheit freier Ladungsträger bedingte Raumladung und die Tropfenverweilzeit im Aufladebereich. Für beliebig große Verweilzeiten  $t$  bzw. unendlich hohe Raumladungsdichten  $\rho_E$  nimmt  $f$  theoretisch den Wert 1 an, für kleine  $\rho_E$  und/oder  $t$  wird  $f = 0$ .

$$0 < f < 1$$

Wegen des Wirkungsgradcharakters der Aufladung wird  $f$  als "Aufladungswirkungsgrad" bezeichnet.

Durch dielektrische Eigenschaften der Flüssigkeitsteilchen erfolgt in deren unmittelbarer Umgebung eine Bündelung des elektrischen Feldes. Die hierdurch hervorgerufene "Begünstigung" des Aufladevorganges wird durch den dimensionslosen Aufladungskoeffizienten  $\chi$  charakterisiert [6],

$$\chi = 1 + 2 \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 2} \quad (2)$$

mit  $\epsilon_r$  Dielektrizitätszahl der Flüssigkeit.

Der Aufladungskoeffizient gibt an, inwieweit die Bewegungsrichtung der freien Ladungsträger auf die Flüssigkeitsteilchen hin gerichtet ist [5].

Für Flüssigkeiten mit hoher Dielektrizitätszahl (z.B. Wasser:  $\epsilon_r \approx 80$ ) nimmt  $\chi$  den Wert 3 an. Bei Flüssigkeiten mit niedrigen Dielektrizitätszahlen, wie z.B. Ölen ( $\epsilon_r = 2-5$ ), wird  $\chi = 1,5-2,2$ . Im Gegensatz zur Influenz- und Kontaktaufladung hat bei Koronaaufladung die elektrische Leitfähigkeit der Flüssigkeit keinen direkten Einfluß auf den Aufladevorgang [7].

Für verschiedene Düsenquerschnitte oder durch Änderung des Spritzdruckes ergeben sich unterschiedliche Bedingungen bezüglich Tropfengröße, -anzahl und -geschwindigkeit bei der Aufladung von Spritztropfen im unipolar ionisierten Feld.

Zu Beginn, d.h. bei elektrisch neutralen Tropfen, treffen freie Ladungsträger in größerer Anzahl auf diese. Mit zunehmender Aufladung werden immer weniger Ladungsträger adsorbiert, da diese infolge des gleichen Ladungssinnes abgestoßen werden, bis schließlich eine maximal mögliche Aufladung, die sogenannte "Sättigungsladung" erreicht ist. Der Vorgang kann durch folgende Differentialgleichung beschrieben werden [6]:

$$\frac{dq}{dt} = \chi \pi r^2 \left[1 - \frac{q}{q_{Ts}}\right]^2 h \quad (3)$$

mit  $\frac{dq}{dt}$  Differentialquotient, Ladungszunahme je Zeiteinheit [C/s]

$q$  Momentane Ladung [C]

$q_{Ts}$  Sättigungsladung [C]

$h$  Ionenstromdichte [ $A/m^2$ ]  $h = \rho_E u E$

$\rho_E$  Raumladungsdichte [ $C/m^3$ ]

$u$  Ionenbeweglichkeit [ $m^2/Vs$ ].

Danach wird die Ladungszunahme je Zeiteinheit umso kleiner, je mehr sich  $q$  dem Wert  $q_{Ts}$  nähert. Der Quotient  $q/q_{Ts}$  ist identisch mit dem Aufladungswirkungsgrad  $f$ :

$$f = \frac{q}{q_{Ts}} = \frac{\rho_E u t}{4 \epsilon_0} = \frac{\rho_E u t}{4 \epsilon_0 + \rho_E u t} \quad (4)$$

Mit wachsendem Wert des Produkts  $\rho_E u t$  steigt der Aufladungswirkungsgrad.

Die Ionenbeweglichkeit charakterisiert die Art der an der Aufladung beteiligten freien Ladungsträger. Raumladungsdichte und Tropfenverweilzeit sind variable Größen. Die Raumladungsdichte kann über die geometrische Anordnung der Elektroden sowie über die Elektrodenspannung beeinflusst werden. Die Verweilzeit wird von der Tropfengeschwindigkeit im Aufladebereich (abhängig von Druck, Düsenquerschnitt, Tropfengröße) und der "Aufladestrecke" (Elektrodenausführung bzw. -anordnung) bestimmt. Bild 1 verdeut-

licht für verschiedene Tropfengrößen die Beziehung zwischen Verweilzeit und elektrischer Ladung je Liter Spritzflüssigkeit (volumenbezogene Ladung). Die Kurven wurden berechnet anhand von Kenndaten (Feldstärke, Raumladungsdichte, Tropfengröße, Tropfengeschwindigkeit), die in dieser Größenordnung speziell für den Fall einer Koronaaufladung von Spritzflüssigkeiten zugrunde gelegt werden können [5, 7].

Bei gleicher Verweilzeit nimmt die volumenbezogene Ladung mit zunehmender Tropfengröße ab, wobei sie umgekehrt proportional zum Radius der Tropfen ist ( $q_v \sim 1/r$ ).

In Verbindung mit Flachstrahldüsen finden meist Einzelsprühelktroden Verwendung, die etwa 10 cm unterhalb der Düsenmündung angebracht sind. Für eine solche geometrische Anordnung ergeben sich im Aufladebereich je nach Tropfengröße, Düsenquerschnitt und Spritzdruck Tropfenverweilzeiten in der Größenordnung von 0,01 bis 0,1 s.

So hat z.B. bei einer mittleren Strahlaustrittsgeschwindigkeit von  $v_0 = 20$  m/s ein Tropfen mit dem Radius  $r = 100 \mu m$  in 10 cm Entfernung von der Düse noch eine Geschwindigkeit von  $v_T = 14$  m/s [8]. Unter Annahme eines Aufladebereiches von 5 cm vor bis 5 cm hinter der Sprühelktrode ergibt sich für diesen Tropfen eine mittlere Verweilzeit von  $t = 0,007$  s. Der Tropfen erreicht dann eine volumenbezogene Ladung von  $q_v = 107 \mu C/l$ , das sind 33 % seiner Sättigungsladung  $q_{vs}$  (Bild 1). Im Gegensatz dazu wird ein Tropfen mit dem Radius  $r = 50 \mu m$  bei derselben Anfangsgeschwindigkeit nach 10 cm Flugstrecke bereits auf eine Geschwindigkeit von 7 m/s verzögert. Mit der resultierenden Verweilzeit von 0,013 s ergibt sich daraus eine volumenbezogene Ladung des Tropfens von  $q_v = 308 \mu C/l$ , das entspricht etwa 50 % seiner Sättigungsladung ( $f = 0,48$ ).

Um bei der gegebenen Raumladungsdichte  $\rho_E = 12 \mu C/m^3$  99 % der maximal möglichen Tropfenladung zu erreichen, wäre theoretisch eine Aufladezeit von etwa 1,5 s notwendig.

Das Beispiel zeigt, daß bei dieser Elektrodenanordnung aufgrund der bei Koronaaufladung von Spritzflüssigkeiten relativ kurzen Verweilzeiten nur 30-60 % der maximal möglichen Tropfenladungen erreicht werden können. Außerdem wird deutlich, daß bei feinerer Zerstäubung eine höhere Aufladung der Spritzflüssigkeit erfolgt.

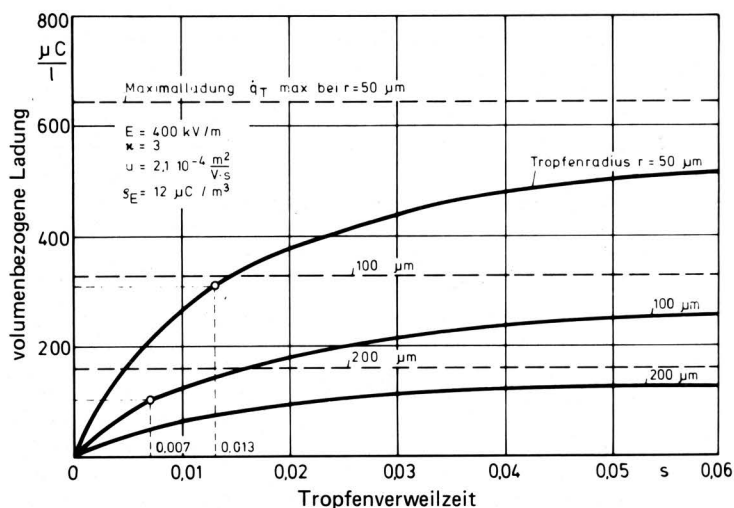


Bild 1. Volumenbezogene Ladung in Abhängigkeit von Tropfengröße und -verweilzeit (Koronaaufladung).

## 2.2 Kontaktaufladung

Die elektrische Ladung eines Tropfens bei Kontaktaufladung hängt ab von der an der Düse angelegten Spannung, der Tropfenoberfläche sowie der elektrischen Leitfähigkeit der Flüssigkeit

$$q_T = f(U, 4\pi r^2, \gamma) \quad (5)$$

mit  $U$  Düsenspannung [V]  
 $4\pi r^2$  Tropfenoberfläche [m<sup>2</sup>]  
 $\gamma$  elektrische Leitfähigkeit [S/m].

Es gilt außerdem die Randbedingung [9]:

$$\tau < t_F$$

$\tau$  Relaxationszeit [s]

$$\tau = \frac{\epsilon_r \epsilon_0}{\gamma}$$

$t_F$  Tropfenbildungszeit [s].

Die Relaxationszeit  $\tau$  ist die Zeit, die aufgrund der elektrischen Eigenschaften der Flüssigkeit ( $\epsilon_r$ ,  $\gamma$ ), für den Ladungstransfer benötigt wird. Die Tropfenbildungszeit  $t_F$  ist die zur Entstehung eines Tropfens (Lamellenzerfall: Größenordnung von  $t_F \approx 10^{-3}$  s) notwendige Zeit. Sie ergibt sich aus der Strahlaustrittsgeschwindigkeit und der räumlichen Ausdehnung des Strahls bzw. Flüssigkeitsfilms vor dem Zerfall in einzelne Tropfen. Bei gut leitenden Flüssigkeiten wie Leitungswasser ( $\gamma \approx 3 \cdot 10^{-2}$  S/m,  $\epsilon_r \approx 80$ ) wird wenig Zeit für den Ladungstransfer benötigt ( $\tau \approx 2 \cdot 10^{-8}$  s). Bei schlechten elektrischen Leitern (z.B. Dieselöl:  $\gamma \approx 2 \cdot 10^{-8}$  S/m,  $\epsilon_r \approx 2$ ,  $\tau \approx 10^{-3}$  s) reicht die Zeit, in der Tropfen entstehen, nicht aus, die gesamte elektrische Ladung von der Düse auf die Tropfen zu übertragen. (Ähnliches gilt auch für Influenzaufladung.)

## 3. Experimentelle Untersuchungen zum Aufladevorgang

Die Versuchsanordnung ist in Bild 2 schematisch dargestellt. Der Druckbehälter (30 l) wurde gegen Erde isoliert aufgehängt. Die Befüllung mit Spritzflüssigkeit erfolgte über einen Schlauch, der während der Messungen entfernt war, so daß kein Strom über die Zuführleitung abfließen konnte. Über einen Kunststoffschlauch wurde dem Druckbehälter Preßluft zugeführt. Der Spritzdruck konnte über ein Druckregelventil stufenlos eingestellt werden.

Die netzbetriebene Hochspannungsquelle ermöglicht negative Gleichspannungen von -100 kV (negative Korona). Durch einen in Reihe zur Sprühelektrode geschalteten Schutzwiderstand wurde der Hochspannungsstrom begrenzt. Die Aufladezone befand sich in einem nach oben und unten offenen, geerdeten Faradaykäfig. Er verhinderte, daß die bei der Ionisation entstehende Raumladung die Messung überlagert und dadurch unmöglich macht. Die Abmessungen des Abschirmkäfigs wurden so bemessen, daß mit den verwendeten Düsen auch bei hohen Drücken genügend Raum für den Spritzschleier vorhanden war, um eine Entladung der Flüssigkeitsteilchen am Abschirmkäfig zu verhindern. Lage und Anzahl der Elektroden konnten in Grenzen variiert werden.

Die gesamte Flüssigkeitsmenge wurde durch einen nach oben geöffneten, mit feinem Drahtnetz bespannten Auffangkäfig geleitet, der sich in einem Kunststoffbehälter befand. Der mit einem Abfluß versehene Behälter und der Auffangkäfig waren gegen Erde isoliert (PVC-Rohre), so daß die gesamte von der Spritzflüssigkeit abgegebene elektrische Ladung über ein Drehspulinstrument (Meßbereich: 0–10  $\mu$ A) abfließen konnte. Zum Schutz des Meßinstrumentes wurde ein Kondensator (10 nF) parallelgeschaltet. Außerdem diente eine Glimmlampe zur Abführung von Spannungsspitzen.

Als Meßgröße wurde der über das Drehspulinstrument gegen Erde abfließende mittlere Gleichstrom  $I$  bestimmt. Daraus wurde die volumenbezogene Ladung  $q_v$  berechnet nach:

$$q_v = 60 \frac{I}{q_i} \quad (7)$$

mit  $q_v$  volumenbezogene Ladung [ $\mu$ C/l]  
 $I$  mittlerer Gleichstrom [ $\mu$ A]  
 $q_i$  Düsenvolumenstrom [l/min].

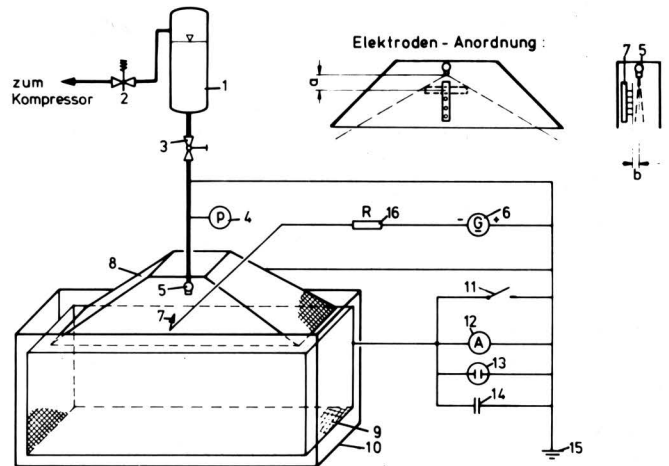
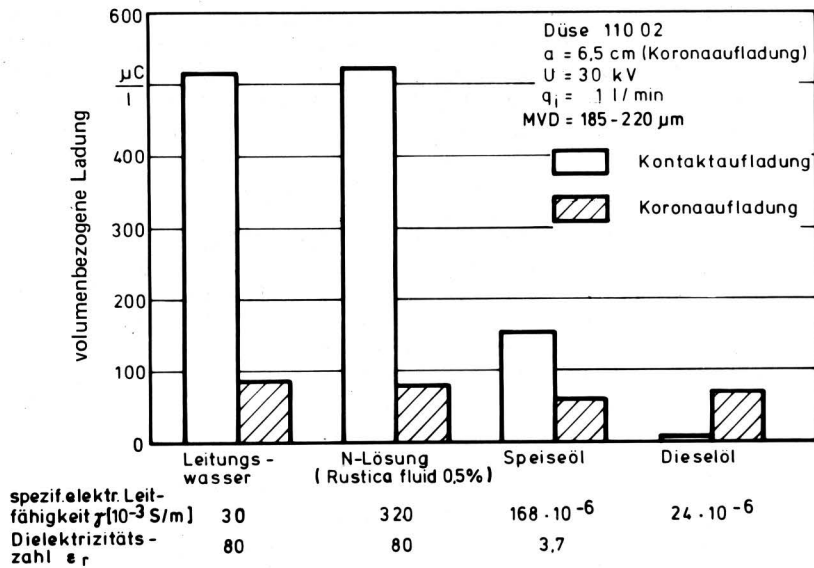


Bild 2. Versuchsanordnung (schematisch).

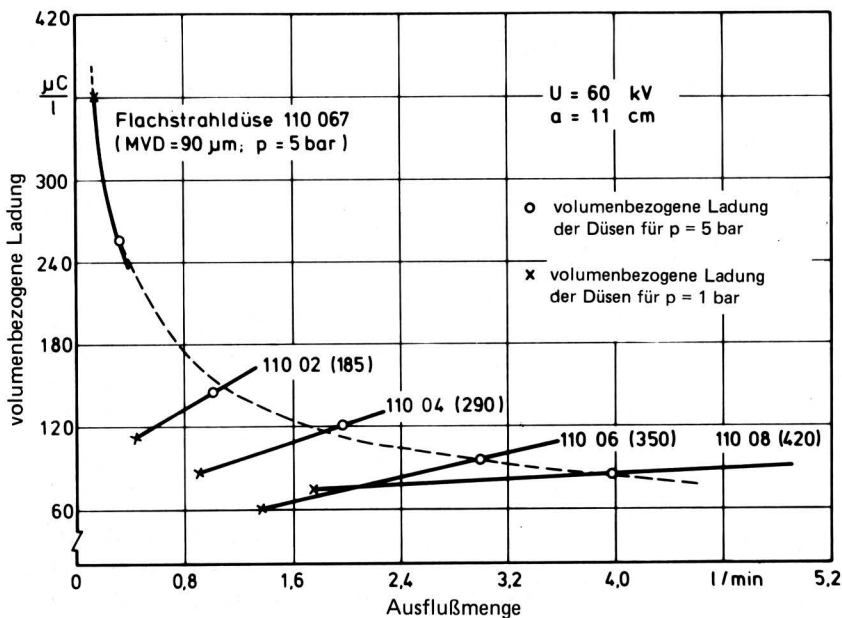
- |                       |                                      |
|-----------------------|--------------------------------------|
| 1 Druckbehälter       | 9 Auffangkäfig                       |
| 2 Druckregelventil    | 10 Kunststoffbehälter (isoliert)     |
| 3 Absperrhahn         | 11 Kurzschlußschalter                |
| 4 Manometer           | 12 Amperemeter                       |
| 5 Düse                | 13 Glimmlampe                        |
| 6 Hochspannungsquelle | 14 Kondensator (10 nF)               |
| 7 Sprühelektroden     | 15 Erdung                            |
| 8 Abschirmkäfig       | 16 Schutzwiderstand (50 M $\Omega$ ) |

Bei konstanten Werten von Düsenquerschnitt, Volumenstrom und Aufladespannung wurden für verschiedene Flüssigkeiten die Aufladesysteme "Koronaaufladung" und "Kontaktaufladung" bezüglich der jeweils erreichbaren volumenbezogenen Ladung miteinander verglichen, Bild 3. Bei Wasser bzw. wäßrigen Lösungen wird mit der Kontaktaufladung gegenüber der Koronaaufladung eine 5–6mal höhere Aufladung der Spritzflüssigkeit erreicht. Aufgrund der höheren Dielektrizitätszahl (Koronaaufladung) bzw. Leitfähigkeit (Kontaktaufladung) lassen sich Wasser oder wäßrige Lösungen besser aufladen als Öle. (Außerdem werden Öle bei gleichem Druck aufgrund der höheren Viskosität weniger fein zerstäubt als wäßrige Lösungen.) Bei Dieselöl konnte im Gegensatz zu den anderen Flüssigkeiten mit Kontaktaufladung wegen der sehr geringen elektrischen Leitfähigkeit nahezu keine Aufladung erreicht werden.

In weiteren Versuchen wurde für verschiedene Flachstrahldüsen in Abhängigkeit vom Spritzdruck bzw. des Volumenstromes die volumenbezogene Ladung bei Koronaaufladung ermittelt, Bild 4. Mit zunehmendem Volumenstrom einer Düse bzw. abnehmendem mittlerem volumetrischem Durchmesser (MVD) nimmt die je Liter Spritzflüssigkeit mitgeführte elektrische Ladung in der Regel etwa linear zu, da dabei für den Ladungstransport je Zeiteinheit eine größere Flüssigkeitsmenge zur Verfügung steht und sich gleichzeitig die Gesamtoberfläche des Tropfenspektrums vergrößert (Zunahme der Tropfenanzahl und größerer Anteil kleiner Tropfen). Der Vergleich verschiedener Düsen ergab, daß mit zunehmender Düsengröße trotz höherer Gesamtladung (Stromstärke) die volumenbezogene Ladung abnimmt, da sich dabei die zur Ladungsaufnahme befähigte Gesamtladungsfläche verkleinert. Die Kennlinie von Düse 110067 unterscheidet sich von den Kennlinien der übrigen Düsen; mit 360  $\mu$ C/l wird zwar, verglichen mit den anderen Düsen, die höchste volumenbezogene Aufladung erzielt, jedoch nimmt hier mit zunehmendem Volumenstrom die Ladung  $q_v$  ab. — Bei sehr kleinen Düsen mit hohen Tropfengeschwindigkeiten scheint der Effekt einer Aufladezeit-Verkürzung gegenüber dem "Oberflächenvergrößerungseffekt" zu überwiegen.



**Bild 3.** Elektrische Eigenschaften und volumenbezogene Ladung verschiedener Flüssigkeiten bei Kontakt- und Koronaaufladung.



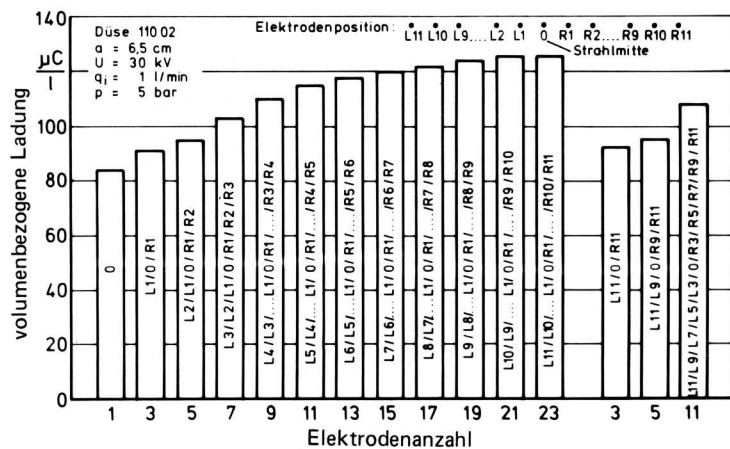
**Bild 4.** Volumenbezogene Ladung in Abhängigkeit vom Düsenvolumenstrom bei verschiedenen Düsen (Koronaaufladung).

Im Hinblick auf eine Optimierung der Koronaaufladung von Spritzflüssigkeiten ist die Frage nach der Elektrodenanordnung von besonderem Interesse. Zunächst wurde untersucht, wie weit einzelne Sprühelektroden an den Spritzstrahl herangeführt werden können, ohne daß eine Beeinträchtigung der Koronaentladung durch vorhandene Flüssigkeitsteilchen im Bereich der Sprühelektrode stattfindet. Für  $b = 2-3$  cm, Bild 2, konnte die beste Aufladung erzielt werden. Bei kleineren Abständen wurde die Elektrodenspitze befeuchtet (Beeinträchtigung der Ionisation). Ferner wurde für Düse 11002 die Elektrodenanzahl sowie deren Abstand  $a$  zur Düsenmündung variiert, wobei Druck, Volumenstrom und Elektrodenspannung konstant blieben ( $p, q_i, U = \text{const.}$ ). Hierzu diente eine Mehrfachelektrode, die wahlweise mit 1-23 Stahlnadeln in je 1 cm Abstand bestückt werden konnte. Die Anbringung erfolgte in Verlängerung der Düsenachse symmetrisch zum Spritzstrahl (siehe Bild 2). Die in Gießharz eingebetteten Nadelbuchsen der Elektrode sind parallel an die Hochspannungsquelle geschaltet. Nicht bestückte Buchsen wurden mit Verschlusskappen luftdicht isoliert, so daß sich an diesen Stellen keine Korona ausbilden konnte.

Bei Verwendung von nur einer Sprühelektrode wurde bei der Flachstrahldüse 11002 für einen Abstand von  $a = 6-9$  cm mit  $q_v = 80 \mu\text{C/l}$  die beste Aufladung erzielt. Für Elektrodenabstände von  $a < 6$  cm befindet sich die Elektrode im bzw. vor dem Bereich des Strahlzerfalls, wodurch ein Großteil der elektrischen Ladung über die geerdete Düse abfließt (Ladungsverlust). Ebenso verschlechtert sich bei größeren Abständen ( $a > 10$  cm) die Aufladung infolge Abnahme der elektrischen Feldstärke ( $U = 30 \text{ kV} = \text{const.}$ ).

Eine Erhöhung der Elektrodenanzahl ergab im Fall senkrechter Anordnung der Elektroden nur geringfügige Unterschiede der Aufladung. Dies kann so interpretiert werden, daß unter den vorliegenden Geschwindigkeitsverhältnissen ( $v_T, t$ ) und Feldbedingungen ( $\rho_E, E$ ) die Tropfen bereits nach Passieren des Teilfeldes der obersten Elektrode ihre Sättigungsladung erhalten.

Im Gegensatz dazu konnte bei waagerechter Anordnung der Sprühelektroden mit zunehmender Elektrodenanzahl  $z$  eine deutliche Verbesserung der Aufladung nachgewiesen werden, Bild 5. Die höchste volumenbezogene Ladung von  $q_v = 126 \mu\text{C/l}$  wird hier mit 23 Sprühelektroden erreicht, wobei ab etwa 13 Elektroden nur noch eine geringe Ladungszunahme erfolgt. Bei einem Spritzdruck von  $p = 5$  bar wird bei Düse 11002 für  $a = 6,5$  cm mit 23 Elektroden in je 1 cm Abstand der gesamte Bereich der Strahlenebene vom Sprühfeld erfaßt und damit die Ladung innerhalb des Spritzschleiers gleichmäßiger als mit nur einer Elektrode verteilt. Auch wenn anstatt 23 Elektroden z.B. nur 3, 5 oder 11 Elektroden gleichmäßig über die Strahlbreite verteilt werden, wird der mit 23 Elektroden erzielte Maximalwert nicht erreicht.



**Bild 5.** Volumenbezogene Ladung in Abhängigkeit von der Elektrodenanzahl und -position bei waagerechter Anordnung der Sprühelektroden (Koronaaufladung).

## 5. Zusammenfassung

Unter besonderer Berücksichtigung der Koronaaufladung werden die physikalischen Gesetzmäßigkeiten des Aufladevorganges behandelt. Hierbei wird deutlich, daß für die in Verbindung mit Flachstrahlbüsen geltenden Geschwindigkeitsverhältnisse die Effektivität der Aufladung von der Tropfengeschwindigkeit im Aufladebereich beeinflusst wird. Bei kleinen Tropfen und niedrigen Tropfengeschwindigkeiten wird theoretisch die höchste Aufladung erreicht.

In Laborversuchen wird ermittelt, wie verschiedene Einflußgrößen die elektrostatische Aufladung von Spritzflüssigkeiten beeinflussen. Die Versuche bestätigen, daß in Abhängigkeit von den elektrischen Eigenschaften der verwendeten Spritzflüssigkeiten unterschiedlich hohe Aufladungen erzielt werden. Mit feinerer Zerstäubung (d.h. kleineren Tropfengrößen) kommt eine bessere Aufladung der Flüssigkeit zustande. Neben Spritzdruck, Ausflußmenge bzw. Tropfengröße haben Anzahl und Position der Elektroden erheblichen Einfluß. Das beste Ergebnis konnte erzielt werden, wenn anstelle einer Sprühelektrode gleichzeitig mehrere Elektroden symmetrisch zum Spritzstrahl in waagerechter Anordnung angebracht wurden, so daß der Spritzschleier in seiner gesamten Breite vom ionisierten Feld erfaßt wurde.

### Schrifttum

- [ 1 ] Moser, E. u. H. Ganzelmeier: Elektrostatische Aufladung von Spritzflüssigkeiten zur Verbesserung der Applikationstechnik. Grundl. Landtechnik Bd. 30 (1980) Nr. 4, S. 122/25.
- [ 2 ] Moser, E., H. Ganzelmeier u. K. Schmidt: Einflußfaktoren bei der Anlagerung elektrostatisch geladener Spritzflüssigkeiten im chemischen Pflanzenschutz. Nachrichtenbl. Deutsch. Pflanzenschutzd. Bd. 33 (1981) Nr. 10, S. 145/57.
- [ 3 ] Moser, E., K. Schmidt u. D. Hussain: Besserer Pflanzenschutz mit elektrostatischer Aufladung. Teil I. DLG-Mitteilungen Bd. 97 (1982) Nr. 8, S. 442/44.
- [ 4 ] Marchant, J.A.: Electrostatic spraying – some basic principles. Proceedings of the British Crop Protection Conference 1980.
- [ 5 ] Law, S.E.: Electrostatic precipitation of LV and ULV pesticide sprays. Nat. Agric. Library Beltsville, Maryland, August 17/18, 1976.
- [ 6 ] Böhm, J.: Verzögerung der Aufladung von Teilchen in einem Elektrofilter. Staub-Reinhalt. Luft Bd. 28 (1968) Nr. 7, S. 270/73.
- [ 7 ] Moser, E. u. K. Schmidt: Physikalische Eigenschaften und elektrostatische Aufladung von Spritzflüssigkeiten. Grundl. Landtechnik Bd. 33 (1983) Nr. 2, S. 56/59.
- [ 8 ] Zaska, J.: Tropfengrößenanalyse unter besonderer Berücksichtigung der Zerstäubung im chemischen Pflanzenschutz. Diss. TU Berlin 1973.
- [ 9 ] Law, S.E.: Embedded – electrode electrostatic – induction spray – charging nozzle. Theoretical and Engineering Design. Trans. ASAE Bd. 21 (1978) Nr. 6, S. 1096/1104.

---

## Meßeinrichtung zur kontinuierlichen Bestimmung des Trocknungs- und Befeuchtungsverhaltens von Körnerfrüchten bei stationärem Luftzustand

Von Werner Hofacker, Werner Mühlbauer und Wolfgang Erich Mayer, Stuttgart-Hohenheim\*)

DK 664.8.047:531.751

Zur Auslegung und Optimierung von Körner Trocknungsanlagen muß das Trocknungsverhalten der Körner in Abhängigkeit von den Guteigenschaften und den Trocknungsparametern bekannt sein. Diese Zusammenhänge können experimentell durch das Trocknen von Einzelkörnern bzw. dünnen Kornsichten bei konstantem Luftzustand ermittelt werden.

In der vorliegenden Arbeit wird eine Meßeinrichtung zur Bestimmung des Trocknungsverlaufes und der Korntemperatur von Körnerfrüchten beschrieben. Eine Kompensation der von der Luft auf das Gut ausgeübten Kräfte durch konstruktive Maßnahmen erlaubt es, die Gewichtsveränderung der Körner während der Trocknung mit hoher Genauigkeit kontinuierlich zu messen.

Die Meßeinrichtung ist zur Trocknung sämtlicher Körnerfrüchte sowie anderer landwirtschaftlicher Produkte

geeignet. Die Temperatur der Trocknungsluft kann zwischen 5 und 250 °C, die Taupunkttemperatur zwischen 4 und 80 °C und die Luftgeschwindigkeit im Trockner im Bereich von 0,1 bis 1,5 m/s variiert werden.

### Inhalt

1. Einleitung
2. Aufgabenstellung
3. Meßverfahren
  - 3.1 Messung des Trocknungs- und Befeuchtungsverhaltens
  - 3.2 Messung der Korntemperatur
  - 3.3 Messung der Oberflächentemperatur
4. Anlagenbeschreibung
  - 4.1 Luft- und Wasseraufbereitung
  - 4.2 Luftbefeuchter
  - 4.3 Lufterhitzer
  - 4.4 Trockner
  - 4.5 Regelung
  - 4.6 Datenerfassung und -verarbeitung
5. Versuchsergebnisse
6. Zusammenfassung

---

\*) Dipl.-Ing. W. Hofacker, Dr.-Ing. W. Mühlbauer und Dipl.-Ing. W.E. Mayer sind wissenschaftliche Mitarbeiter am Lehrstuhl Grundlagen der Landtechnik (Lehrstuhlinhaber: Prof. Dr.-Ing. H.D. Kutzbach) des Instituts für Agrartechnik der Universität Hohenheim.