

# Elektrostatische Aufladung von Spritzflüssigkeiten zur Verbesserung der Applikationstechnik

Von Heinz Ganzelmeier und Eberhard Moser,  
Stuttgart-Hohenheim\*)

Mitteilung aus dem Sonderforschungsbereich 140 Landtechnik "Verfahrenstechnik in der Körnerfruchtproduktion" der Universität Hohenheim

DK 632.9:632.981.1:621.319

Eine Verbesserung der Applikationstechniken ist insbesondere im Hinblick auf umweltfreundliche und wirkstoffsparende Pflanzenschutzverfahren zwingend. Eine der möglichen Maßnahmen ist die elektrostatische Aufladung der Spritzflüssigkeit. Die elektrische Ladung der Tropfen entwickelt zwischen den Tropfen und dem pflanzlichen Bestand Kraftwirkungen, die zu einer verbesserten Anlagerung der Teilchen an den Zielflächen führen.

Im vorliegenden Beitrag wird von Teilergebnissen aus Labor- und Freilandversuchen berichtet, die das Ziel verfolgten, für verschiedene elektrische Aufladungssysteme wesentliche Einflußgrößen auf die Wirkstoffanlagerung zu ermitteln.

## 1. Einleitung, physikalische Grundlagen

Seit einigen Jahren wird, ausgehend von den sehr positiven Ergebnissen bei elektrostatischen Lackierverfahren, die Aufladung von Flüssigkeitstropfen zur verbesserten Anlagerung und verringerten Abdrift im chemischen Pflanzenschutz versucht [1, 2]. Zur Erzeugung bzw. Herstellung aufgeladener Flüssigkeitsteilchen bieten sich unterschiedliche Aufladungsmechanismen an, Bild 1, [3, 4]:

- die Koronaaufladung,
- die Kontaktaufladung und
- die Influenzaufladung.

Als Zerstäuber kommen auch hier Düsen mit hydraulischer Druckzerstäubung, pneumatischer und Zentrifugalzerstäubung in Frage.

Bei der Koronaaufladung ist die Sprühelektrode an Hochspannung gelegt. An der Elektrodenspitze bildet sich eine große Anzahl von Ionen (Korona), die durch intensiven Ionenbeschuß die hindurchtretenden Flüssigkeitsteilchen unipolar im gleichen Ladungssinn wie die Sprühelektrode aufladen.

Bei der Kontaktaufladung wird die elektrische Spannung direkt an die zu zerstäubende Flüssigkeit angelegt. Die Aufladung, beispielsweise durch Ladungsmittelnahme an den unter Spannung stehenden Düsen, setzt voraus, daß die gesamte Flüssigkeitsmasse elektrisch voll isoliert wird.

Der Fa. Ernst Mueller KG, Elektrostatik, Winnenden sei herzlich gedankt für das Bereitstellen von Geräten.

\*) Prof. Dr.-Ing. E. Moser ist Leiter des Fachgebiets "Verfahrenstechnik für Intensivkulturen" des Instituts für Agrartechnik der Universität Hohenheim; Dr.-Ing. H. Ganzelmeier war wissenschaftlicher Mitarbeiter des Sonderforschungsbereiches 140 an diesem Institut.

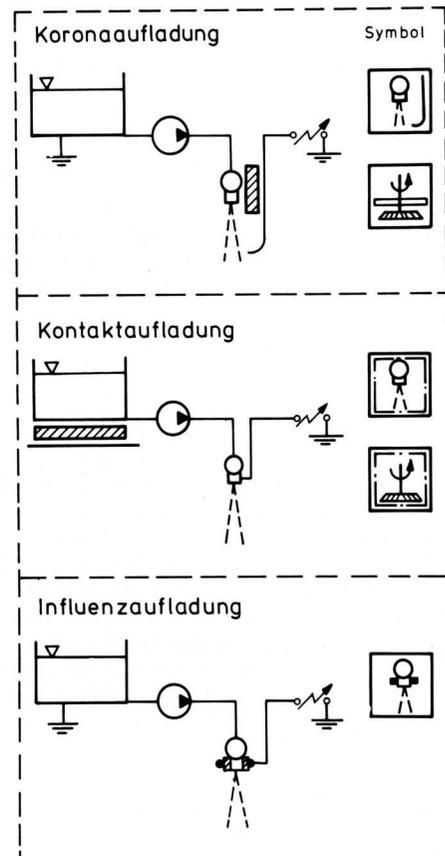


Bild 1. Verfahren zur elektrostatischen Aufladung von Flüssigkeiten.

Eine weitere Möglichkeit der Aufladung von Tropfen ist gegeben durch elektrische Influenz. Dieses System kann ähnlich wie dasjenige der Koronaaufladung ohne Vollisolierung, jedoch mit nur relativ niedrigen Spannungen betrieben werden.

Der elektrostatischen Aufladung von Tropfen sind jedoch Grenzen gesetzt, die sich dadurch ergeben, daß beim Überschreiten eines bestimmten Maximalwertes der Ladung (Rayleigh-Begrenzung) die Oberflächenspannung der Flüssigkeit nicht mehr ausreicht und die Tropfen platzen.

Damit sich die elektrischen Kräfte zwischen den aufgeladenen Teilchen und dem Zielobjekt voll entfalten können, muß zwischen Pflanze und Boden die Möglichkeit eines Ladungsaustausches gegeben sein [5]. Verhält sich die Pflanze gegenüber dem Ladungstransfer wie ein Widerstand, so wird der Ladungsaustausch behindert, die Anziehungskraft zwischen Pflanze und geladenem Teilchen nicht voll wirksam und die optimale Tropfenanlagerung nicht erreicht. Stellt die Pflanze dagegen einen guten (elektrischen) Leiter dar, sind von Seiten der Ausbildung des elektrischen Feldes alle Voraussetzungen für eine gute Wirkstoffablagerung erfüllt.

Eine Entwicklungsdepression oder -beeinflussung der behandelten Pflanzen ist nach bisherigen Erkenntnissen für diese Verfahren nicht zu befürchten.

Bei der Analyse der elektrischen Kräfte, die zwischen den geladenen Teilchen und der Pflanze wirken, ist zwischen Nah- und Fernwirkung zu differenzieren. Die Coulombsche Anziehungskraft dominiert im Nahbereich, ist aber bereits im Abstand von mehr als 2 bis 3 mm von der Zielfläche im Vergleich zur Schwerkraft vernachlässigbar klein [6]. Die Feld- bzw. Fernkräfte, die über größere Distanzen (bis einige Meter) wirken, können nur durch Modellbetrachtungen näherungsweise bestimmt werden [7]. Man kann jedoch davon ausgehen, daß diese Feldkräfte Größenordnungen erreichen, die ein Vielfaches der Schwerkraft eines Partikels ausmachen.

## 2. Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung

Neben Untersuchungen im Labor wurden auch Applikationsversuche im Freiland an natürlichen Pflanzen in die Untersuchungen mit einbezogen, da die Pflanze selbst aktiv am elektrostatischen Anlagerungsprozess beteiligt ist.

Die Laboruntersuchungen konzentrierten sich in erster Linie darauf, den Einfluß technisch-physikalischer Parameter wie Art der Zerstäubung, Ladungsstrom, Tropfengröße, Klima, Luftgeschwindigkeit bzw. Abdrift auf die Anlagerungseffizienz korona- und kontaktaufgeladener Teilchen aufzuzeigen. Die Bewertung erfolgte aufgrund von fluorometrischen Anlagerungsmessungen (0,1 %iges Brillantsulfoflavin, BSF) im Labor an einem kreiszylindrischen Rohrabchnitt (Achse waagrecht im rechten Winkel zur Fahrtrichtung angeordnet), dessen Mantel mit Filterpapier belegt wurde.

Für die Feldversuche wurde ein Versuchsgerät gebaut, das nach dem Prinzip der Koronaaufladung arbeitete. Diese Versuche in Getreidebeständen bei unterschiedlichen Entwicklungsstadien (Sommerweizen: Stad. K-O, Erscheinen des letzten Blattes bis Ende des Ährenschiebens) sollten verdeutlichen, inwieweit sich die im Labor ermittelten Wirkstoffanlagerungen auch an natürlichen Pflanzen einstellen. Im einzelnen wurde die Anlagerungsmasse in verschiedenen Höhen des Pflanzenbestandes auf den Blattober- und -unterseiten sowie an den Ähren durch direktes Abwaschen des fluoreszierenden Farbstoffes bestimmt.

## 3. Ergebnisse der Laboruntersuchungen

Als besonders günstig für eine Koronaaufladung bei Flachstrahl- und Rotationsdüsen haben sich die in Bild 2 dargestellten Ausführungen ergeben. Für die Flachstrahldüsen, links, handelt es sich um eine einfache Spitzenelektrode, die, gemessen von der Düsenmündung, horizontal auf etwa 25 mm und vertikal auf 95 mm an den Spritzschleier herangeführt ist. Die Elektrode beim Rotationszerstäuber (Scheibendurchmesser 80 mm), rechts, ist als Ringelektrode mit einem Durchmesser von 280 mm ausgebildet und zentrisch zum Zerstäuber mit einem vertikalen Abstand von ca. 60 mm angebracht. Der Metallring trägt an der unteren Peripherie eine größere Anzahl von Spitzen (Sägeblatt), um die Ausbildung einer Korona über den gesamten Austrittsbereich der Tropfen sicherzustellen.

Die Kontaktaufladung erfolgte bei beiden Zerstäuberarten über eine direkte Ladungszuführung an die Spritzflüssigkeit vor der eigentlichen Strahlauflösung. Dies setzt eine gute Isolation des gesamten Spritzsystems voraus, die in der Praxis nicht immer ganz einfach zu erreichen sein dürfte.

Da beiden Aufladungssystemen (Korona-, Kontaktaufladung) unterschiedliche Mechanismen zugrundeliegen, wurde die Effektivität dieser Aufladungsprinzipien am Beispiel der Flachstrahldüse verglichen. Als Bewertungskriterium wurde die Spritzbelagsmasse herangezogen, die auf einen Filterstreifen am Mantel des Stahlblech-Kreiszylinders (110 mm  $\phi$ ) deponiert wurde. In Bild 3 sind die Ergebnisse der Belagsmessungen in Abhängigkeit vom Aufladungsstrom für beide Systeme dargestellt.

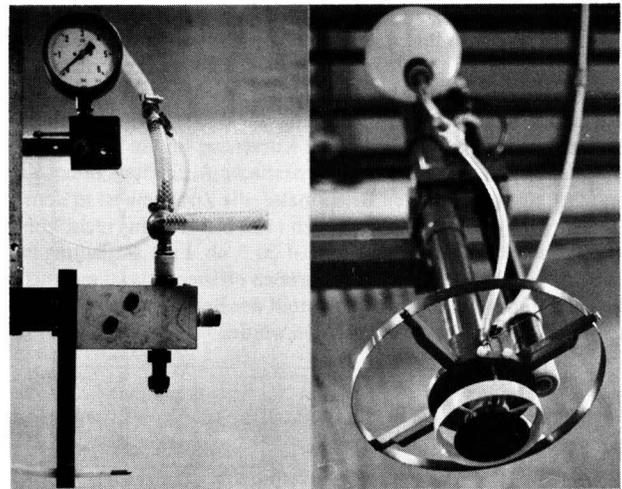


Bild 2. Koronaaufladung der Spritzflüssigkeit; links Flachstrahldüse mit Spitzenelektrode, rechts Rotationsdüse mit Ringelektrode.

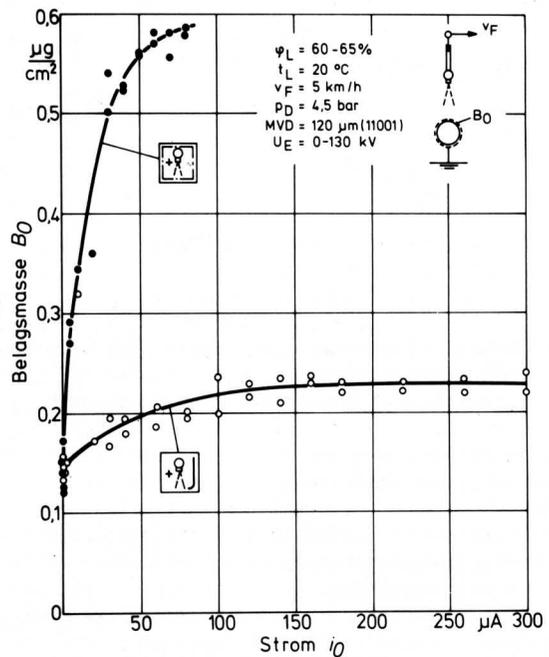
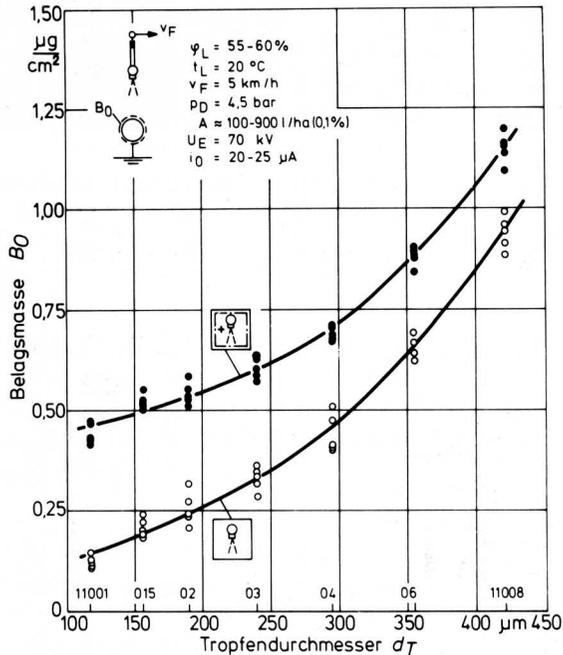


Bild 3. Masse des Spritzbelags in Abhängigkeit vom Aufladungsstrom bei Flachstrahldüsen für Koronaaufladung (unten) und Kontaktaufladung (oben).

Der Ausgangspunkt beider Kurven ist der Spritzbelag des nicht aufgeladenen Spritzsystems bei einem Strom  $i_0 = 0$ . Eine Steigerung des Aufladungsstromes führt bei beiden Aufladungssystemen zu größeren elektrischen Kräften zwischen Teilchen und Zielobjekt und damit auch zu einer größeren Belagsmasse. Bei Koronaaufladung (untere Kurve) nimmt die Belagsmasse bis zu einem Ladestrom von ca. 150  $\mu\text{A}$  zu und erreicht dann einen konstanten Wert, der ca. 60 % über dem Anfangswert liegt. Bei der Kontaktaufladung (obere Kurve) steigt die Belagsmasse auf etwa 400 % des ursprünglichen Wertes an. Für die gewählte Anordnung scheint eine Steigerung des Stromes über 150  $\mu\text{A}$  bei Korona- bzw. über 70 bis 80  $\mu\text{A}$  bei der Kontaktaufladung nicht gerechtfertigt.

Die Auswirkung unterschiedlicher Tropfengrößen auf die Anlagerung der Spritzflüssigkeit bei elektrostatischer Aufladung ist für Flachstrahl Düsen in Bild 4 angegeben. Die Veränderung der Tropfengröße wurde durch unterschiedliche Düseneinsätze (Bezeichnung der Düsen an der Abszisse) erreicht. Aufgrund größerer Düsenansätze bzw. steigender Tropfengröße tritt bekanntlich eine Belagszunahme ein, wie der untere Kurvenzug für ein Spritzsystem ohne Aufladung zeigt. Eine elektrostatische Aufladung, obere Kurve, führt zu einer größeren Belagsmasse; die Zunahme ist in dem untersuchten Tropfengrößenbereich (120 bis 420  $\mu\text{m}$ ) nicht konstant, sondern nimmt von 230 % auf 20 % ab. Eine Aufladung ist insbesondere bei kleinen Tropfengrößen effizient. Es ist anzunehmen, daß ohne den Kleintropfenanteil der Belagszuwachs bei größeren Düsen noch geringer ausfallen würde.

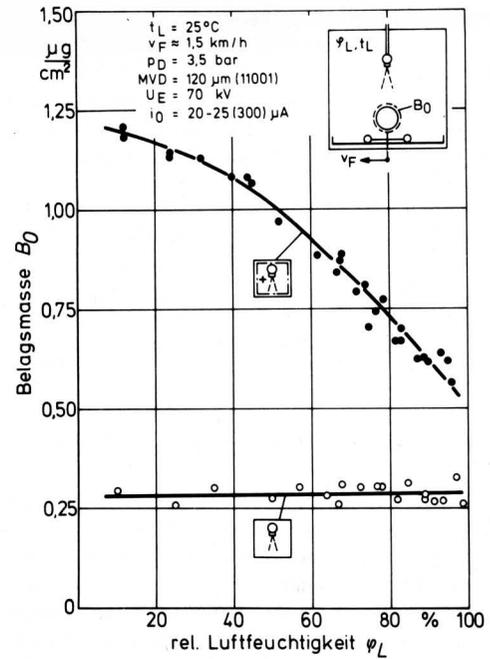


**Bild 4.** Masse des Spritzbelags in Abhängigkeit vom mittleren volumetrischen Tropfendurchmesser beim konventionellen (unten) und beim aufgeladenen Spritzsystem (Kontaktaufladung).

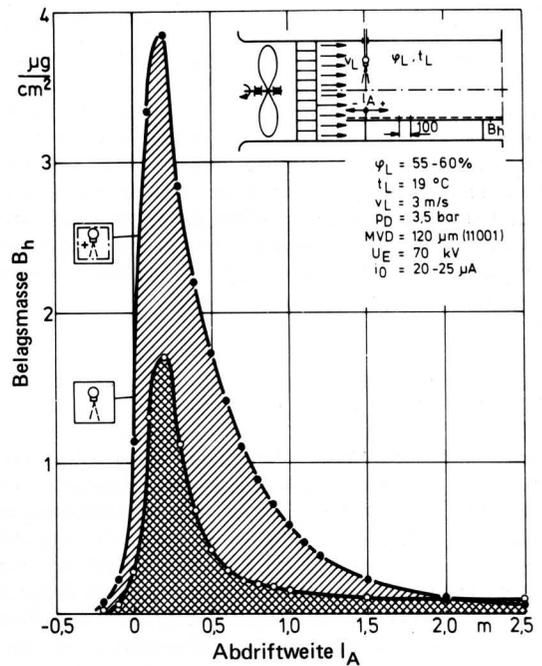
Versuche über die Auswirkung unterschiedlicher Klimafaktoren auf die Anlagerung wurden unter reproduzierbaren Bedingungen in einer Klimakammer durchgeführt. Bild 5 zeigt für kontaktaufladene Tröpfchen den Einfluß der relativen Luftfeuchtigkeit. Beim konventionellen Spritzen, untere Kurve, bleibt bei konstanter Lufttemperatur und Luftfeuchten zwischen 10 und 95 % der Spritzbelag konstant. Mit elektrisch geladenen Tropfen sind, wie bereits gezeigt, wesentlich größere Belagsmassen zu erzielen (im Beispiel von Bild 5 ergibt sich bei 10 % rel. Luftfeuchte etwa die 4fache Belagsmasse). Der Mehrbetrag an Belagsmasse nimmt jedoch mit wachsender relativer Luftfeuchte stark ab, so daß bei 95 % rel. Luftfeuchte die Belagsmasse durch die Aufladung nur etwa verdoppelt wird. Dieses Absinken in der Wirkung der Aufladung hängt vermutlich mit der Bildung zusätzlicher Wege des Ladungsverlustes zusammen, die letztlich zu geringeren elektrischen Kraftwirkungen zwischen Teilchen und Zielobjekt führen.

Eine Veränderung der Lufttemperatur zwischen 10 und 40 °C zeigte keine Unterschiede in der Belagsbildung.

Bekanntlich wirken elektrische Kräfte geladener Teilchen auch über größere Distanzen, wodurch auch das Driftpotential über die elektrische Aufladung reduziert werden kann. Für diese Untersuchungen wurde eine Flachstrahl Düse mit Kontaktaufladung in einem Windkanal mit senkrecht zur Strömungsrichtung der Luft ausgerichtetem Spritzschleier angebracht (Schema der Anordnung oben in Bild 6). Mit Objektträgern, die unterhalb der Düse angebracht waren, wurde die Niederschlagsverteilung in axialer Richtung des Kanals ermittelt.



**Bild 5.** Masse des Spritzbelags in Abhängigkeit von der relativen Luftfeuchtigkeit beim konventionellen (unten) und beim aufgeladenen Spritzsystem (Kontaktaufladung).



**Bild 6.** Verteilung der Belagsmasse einer Flachstrahl Düse auf horizontalen Objektträgern im Windkanal ( $v_L = 3 \text{ m/s}$ ) mit und ohne Kontaktaufladung der Tropfen.

Die Belagsverteilung, wie sie sich in Strömungsrichtung bei einer Luftgeschwindigkeit von 3 m/s mit und ohne elektrische Aufladung der Tropfen einstellt, zeigt Bild 6. Die Belagsmasse an den einzelnen Meßstellen liegt bei aufgeladenen Tropfen wesentlich über den Werten, die sich ohne Aufladung der Flüssigkeitsteilchen einstellen. Die Inhalte der von den Kurven und der Abszisse eingeschlossenen Flächen stellen direkt ein Maß für die Menge der deponierten Spritzflüssigkeit dar. Bei den angegebenen Bedingungen verhalten sich die Mengen wie 5,4 : 1. Sie verdeutlichen unter idealisierten Versuchsbedingungen, inwieweit die Wirkstoffanlagerung durch elektrostatische Aufladung verbessert werden kann.

#### 4. Ergebnisse der Freilandversuche

Als Maß für die angelagerte Wirkstoffmasse in einem Weizenbestand (Entwicklungsstadium K-O) wurde die Belagsmasse an den Blättern in drei verschiedenen Höhen bestimmt. Dabei wurde auch zwischen der Anlagerung an der Blattober- und -unterseite unterschieden. In Bild 7 ist die insgesamt an den oberen 3 Blättern eines Getreidebestandes deponierte Belagsmasse für die Gerätevarianten mit und ohne elektrostatische Aufladung dargestellt. Elektrisch aufgeladene Tropfen erreichen im Fahnenblatt eine ca. 90 % größere Anlagerung. Die Wirkung der Aufladung fällt nach unten hin rasch ab und erzielt schließlich beim 3. Blatt nur noch einen ca. 40 % höheren Niederschlag. Die gesamte Belagsmasse bei der Koronaaufladung von Tropfen ist damit auch im mittleren Pflanzenbereich noch wesentlich höher als bei konventionellen Geräten. Durch einen Trägerluftstrom kann das Eindringvermögen aufgeladener Teilchen, wie Untersuchungen gezeigt haben, weiter verbessert werden [5].

Elektrisch aufgeladene Tropfen führen, wie Laborversuche ergeben haben, auch zu einer besseren Anlagerung auf den vom Spritzstrahl abgewandten Flächen, weshalb an der Oberseite und der Unterseite eines Blattes getrennte Belagsmessungen vorgenommen wurden. Wegen der uneinheitlichen Blattstellung wurde bei der Auftragung in Bild 8 der Höchstwert des Belages der Blattoberseite auf den kleinsten Belag der Blattunterseite bezogen.

Beim konventionellen Spritzverfahren liegt das Verhältnis der Belagsmassen auf Blattober- und Blattunterseite am Fahnenblatt bei etwa 2, beim elektrostatischen System dagegen bei etwa 4. Die Belagsmassen-Verhältnisse tiefer im Bestand (3. Blatt) stimmen bei beiden Verfahren wieder annähernd überein.

Die dargestellten Verhältnisse der Belagsmassen zeigen, daß mit der Aufladung eine gleichmäßigere Anlagerung auf zu- und abgewandten Flächen nicht erreicht wird:

Elektrisch geladene Teilchen führen an Blattoberseiten wie auch an weniger gut zugänglichen Flächen, wie Blattunterseiten, zu einer erhöhten Anlagerung. Die elektrischen Kräfte scheinen aber dort besonders effektiv zu sein, wo sie sich voll entfalten können, also auf den Blattoberseiten. Dies führt dazu, daß der an den Blattoberseiten bei elektrischer Aufladung hinzukommende Anteil des Belags größer ist, als der an den Unterseiten, wodurch eine Verschiebung des Belagsverhältnisses zu Ungunsten der elektrostatischen Aufladung zustande kommt.

#### 5. Zusammenfassung

Die Versuche zeigten, daß durch eine elektrostatische Aufladung der Teilchen eine insgesamt wesentlich bessere Anlagerung auch an Pflanzenteilen, die von der Zerstäubungsdüse abgewandt sind, erreicht wird. Verfahren, die mit einer Kontaktaufladung arbeiten, sind wirkungsvoller als Systeme mit Koronaaufladung der Flüssigkeitsteilchen. Diese Verfahren lassen eine umweltschonendere, wirkstoffsparende Applikation erwarten. Die zukünftigen Arbeiten müssen darauf ausgerichtet sein, noch wirkungsvollere Aufladungssysteme – Möglichkeiten dazu wurden durch die Laborversuche aufgezeigt – auch für die Bedingungen im praktischen Einsatz zu entwickeln.

#### Schrifttum

Bücher sind durch • gekennzeichnet

- [ 1 ] Law, E.: Embedded – electrode electrostatic-induction spray-charging nozzle: theoretical and engineering design. Trans. ASAE Bd. 21 (1978) Nr. 6, S. 1096/1104.
- [ 2 ] Byass, J.B., A. Lockwood u. R. Andrews: The effect of electrical charging of spray drops on their movement into a cereal crop. Proceedings 1979 British Crop Protection Conference – Pests and Diseases, S. 295/302.

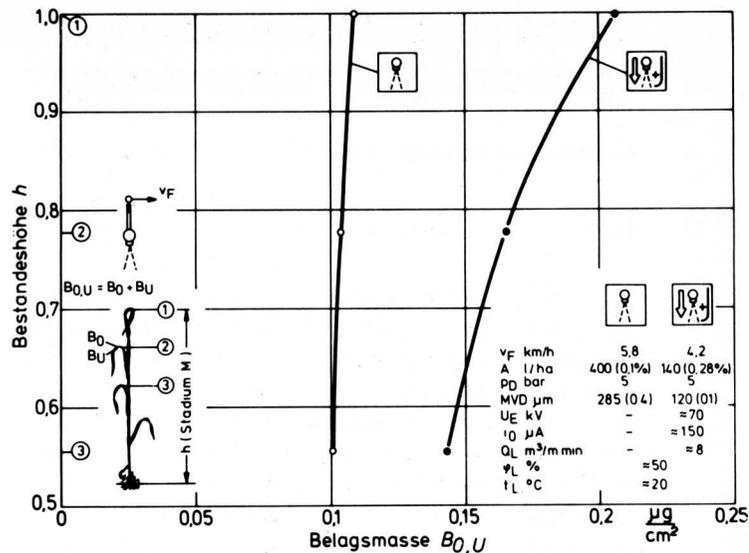


Bild 7. Spritzbelag an Blättern eines Getreidebestandes in Abhängigkeit von der Höhe im Bestand mit und ohne Koronaaufladung.

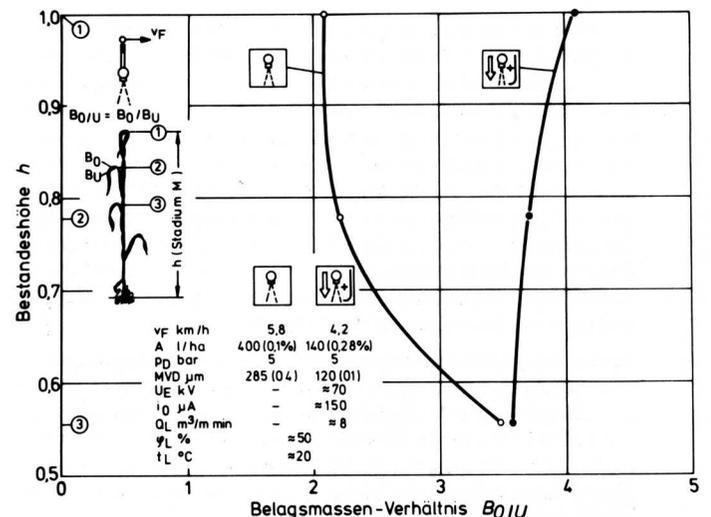


Bild 8. Verhältnis der an Blattober- und Blattunterseiten angelagerten Belagsmasse in Abhängigkeit von der Höhe im Bestand mit und ohne Koronaaufladung.

- [ 3 ] Splinter, W.E.: Electrostatic charging of agricultural sprays. Trans. ASAE Bd. 11 (1968) Nr. 4, S. 491/95.
- [ 4 ] • White, H.J.: Entstäubung industrieller Gase mit Elektrofiltern. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1969.
- [ 5 ] Lane, M.D. u. S.E. Law: Transient charge transfer occurring in living plants undergoing electrostatic spraying. ASAE-paper 79-1003 (1979).
- [ 6 ] Göhlich, H.: Untersuchungen zur Verbesserung der Niederschläge von Pflanzenschutzmitteln durch elektrostatische Aufladung. VDI-Forschungsheft 467, Düsseldorf: VDI-Verlag 1958.
- [ 7 ] Adams, J.: Über die natürliche und künstliche elektrische Aufladung beim Verstäuben von Pflanzenschutzmitteln. Fortschr.-Ber. VDI-Z. Reihe 14, Nr. 6, Düsseldorf: VDI-Verlag 1967.