

Dirk Rautmann, Hans-Jürgen Osteroth, Andreas Herbst, Hans-Joachim Wehmann, Heinz Ganzelmeier

Prüfung abdriftmindernder Maissäegeräte

Testing of drift reducing maize sowing machines

153

Zusammenfassung

Die meisten der heutzutage eingesetzten Maiseinzelkornsäegeräte arbeiten mit Unterdruck. Im Süden Deutschlands sind insbesondere Monosem-Geräte aber auch Kuhn-, Amazone- und Gaspardo-Geräte im Einsatz.

Das Hauptproblem der mit Unterdruck arbeitenden Geräte besteht darin, dass Staubabrieb hohe Mengen an Beizmittel enthält, der durch die Gebläseabluft an die Umgebung abgegeben wird und durch Abdrift auf nahe gelegene blühende Bestände gelangt (teilweise auch auf entferntere Bestände). Das Julius Kühn-Institut (JKI) hat in Abstimmung mit den Herstellern ein Abdriftmessverfahren erarbeitet, um modifizierte Maiseinzelkornsäegeräte im Vergleich zu Standard-Säegeräten prüfen zu können. Im Herbst 2008 wurden die Säegeräte namhafter Hersteller vom Institut für Anwendungstechnik im Pflanzenschutz des JKI getestet und diejenigen, die eine Abdriftminderung von mindestens 90 % erreichten, in die JKI-Liste abdriftmindernder Maiseinzelkornsäegeräte eingetragen.

In der Zwischenzeit wurden die gesetzlichen Regelungen geändert, um eine höhere Beizqualität und eine Driftreduktion sicherzustellen. Die Aufhebung des Ruhens der Zulassung von Mesurool ist an die Bedingung geknüpft, dass mit Mesurool gebeiztes Maissaatgut nicht mit Unterdruck arbeitenden Säegeräten ausgebracht werden darf, es sei denn, diese Säegeräte sind modernisiert und erreichen eine Abdriftminderung von mehr als 90 %. Einzelkornsäegeräte, die in der JKI-Liste „abdriftmindernde Maissäegeräte“ eingetragen sind, erfüllen diese Anforderung. Diese Anforderungen sind nicht relevant für mechanisch oder mit Überdruck arbeitende Säegeräte.

Maiseinzelkornsäegeräte, die bereits im praktischen Einsatz sind, können mit diesen vom JKI geprüften und eingetragenen Nachrüstsätzen ausgestattet werden. Einzelkornsäegeräte, für die es keine geprüften / gelisteten Nachrüstsätze gibt, können nicht mehr eingesetzt werden. Ein Umbau der Maiseinzelkornsäegeräte durch den Landwirt selbst ist nicht erlaubt.

Stichwörter: Maiseinzelkornsäegeräte, Säegeräte, Staubabrieb, Abdriftreduzierung, abdriftmindernde Maissäegeräte, Nachrüstsätze zur Abdriftreduzierung

Abstract

The sowing machines used today are mostly precision airplanters with vacuum singling. In southern Germany, Monosem sowing machines are widespread but Kuhn, Amazone and Gaspardo are also used.

The main problem with all sowing machines with vacuum singling is that abrasion dust which contains a lot of seed treatment products is blown through the fan outlet into the air and drifts to flowering plants nearby (but sometimes also further afield).

Together with the manufacturers Julius Kühn-Institute (JKI) has established a drift test where modified sowing machines are tested against standard machines with high drift. In autumn 2008 the sowing machines of all well known manufacturers were tested by the Institute for Application Techniques in Plant Protection and those which proved a drift reduction of at least 90 % were registered in the JKI-list "drift reducing maize sowing machines".

Institut

Julius Kühn-Institut – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Anwendungstechnik im Pflanzenschutz, Braunschweig

Kontaktanschrift

Dr.-Ing. Heinz Ganzelmeier, Julius Kühn-Institut – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Anwendungstechnik im Pflanzenschutz, 38104 Braunschweig, Messeweg 11/12, Germany, E-Mail: heinz.ganzelmeier@jki.bund.de

Zur Veröffentlichung angenommen

März 2009

In the meantime the legal regulations have been modified resulting in both a higher quality of seed coating as well as drift reduction. The first re-registration of an insecticide for maize seed shows that maize seed treated with Mesurool may not be sown by precision airplanters with vacuum singling unless they have been modernised so that a drift reduction of more than 90 % is guaranteed. Precision airplanters registered in the JKI-list "drift reducing maize sowing machines" fulfil these demands. This requirement is not relevant for precision airplanters with mechanical or overpressure singling.

Precision airplanters for maize already used by farmers can be equipped with drift reduction kits tested and registered by the JKI. Precision airplanters, for which drift reduction kits have not been tested or listed, cannot be used any more. A modification of the sowing machines by the farmer himself is not allowed.

Key words: Precision airplanters for maize, sowing machines, abrasion dust, drift reduction, drift reducing maize sowing machines, drift reduction kits

Einleitung

Im Frühjahr 2008 traten in Süddeutschland und dabei vor allem im Oberrheingraben erhebliche Bienenschäden auf. Als Ursache wurde die Aussaat von Maissaatgut, das mit dem Insektizid Poncho Pro (Wirkstoff Clothianidin) gebeizt war, ermittelt. Die Beizqualität war sehr schlecht, so dass sehr viel Abriebstaub im Saatgut enthalten war. Die von Maisanbauern häufig genutzten mit Saugluft arbeitenden Einzelkornsäegeräte haben den im Saatgut vorhandenen Abriebstaub durch den zentralen Luftauslass in die Umwelt abgegeben, der dann durch Abdrift auch auf blühende Pflanzen gelangte, wo die Bienen das Insektizid aufgenommen und in den Bienenstock getragen haben (PISTORIUS et al., 2009).

Die Ursachenanalyse zeigte, dass die Qualität des gebeizten Maissaatgutes verbessert und die Luftführung dieser Geräte geändert werden muss. Sehr schnell wurde hierbei deutlich, dass Säegeräte so ausgeführt bzw. umgerüstet werden sollten, dass die vorhandene Gebläseabluft möglichst nur geringe Beizstaubmengen enthält und deren Austritt und Abgabe an die Umgebung bodennah erfolgt. Die Abdrift des Beizstaubes soll somit verhindert und in jedem Fall auf ein technisch unvermeidbares Niveau abgesenkt werden.

Es zeichnete sich bereits damals ab, dass die Zulassung der Beizmittel für die Maisaussaat im Frühjahr 2009 nur dann wieder erfolgen wird, wenn bestimmte Auflagen, so z. B. das Aussäen von gebeiztem Maissaatgut nur mit driftmindernden Einzelkornsäegeräten erfolgen darf.

Das JKI sah sich deshalb veranlasst, eine Prüfmethode zur Bestimmung des beim Aussäen von gebeiztem Saatgut freigesetzten Beizstaubes zu erarbeiten, um neue und umgerüstete Säegeräte hinsichtlich einer ausreichenden Driftminderung prüfen zu können. Bereits im September 2008 wurden vom Institut für Anwendungstechnik im Pflanzenschutz des JKI erste Tests durchgeführt und vorgestellt; dies veranlasste die Hersteller von Maiseinzelkornsäegeräten schließlich im Herbst 2008, ihre Neugeräte und Umrüstsätze für Altgeräte im Institut für Anwendungstechnik im Pflanzenschutz in Braunschweig prüfen zu lassen.

Die Prüfung beinhaltet im Wesentlichen einen Abdrift- und Abriebtest. Mittlerweile wurden acht Gerätetypen hinsichtlich der Abdrift und Abrieb erfolgreich geprüft. Die zunächst noch festgestellten geringen Mängel an den Geräten wurden umgehend abgestellt und auch die vom JKI angeforderten Unterlagen kurzfristig bereitgestellt, so dass eine erste Liste abdriftmindernder Maissäegeräte noch im Dezember 2008 veröffentlicht werden konnte. Mit Stand vom 30. Januar 2009 sind nun alle im Herbst 2008 geprüften Umbausätze in die Liste eingetragen.

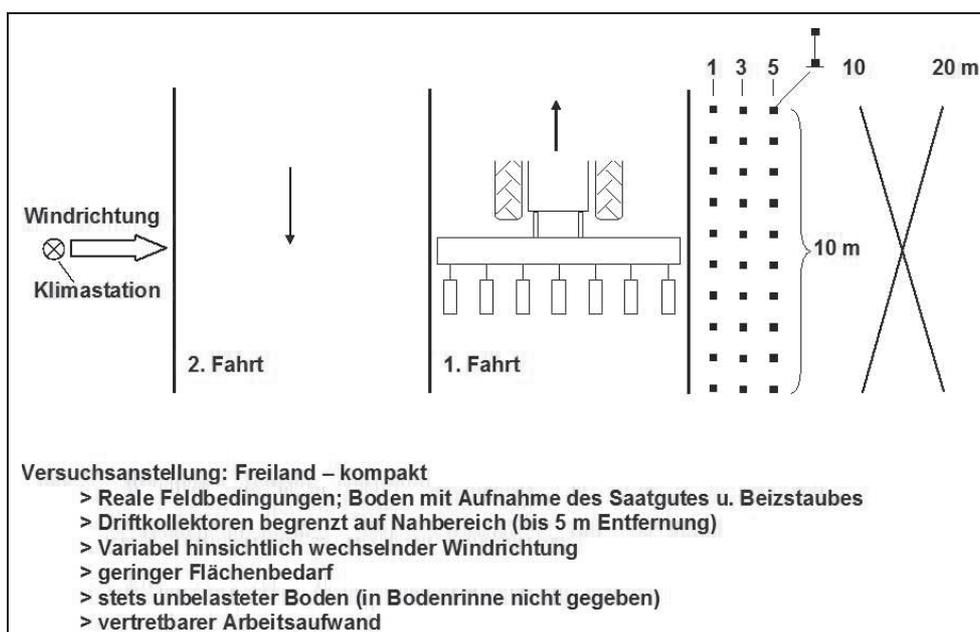


Abb. 1. Versuchsanstellung für die Messung der Abdrift des beim Aussäen von gebeiztem Maissaatgut freigesetzten Beizstaubes mit dem Ersatzpulver Brillantsulfolavin (BSF).

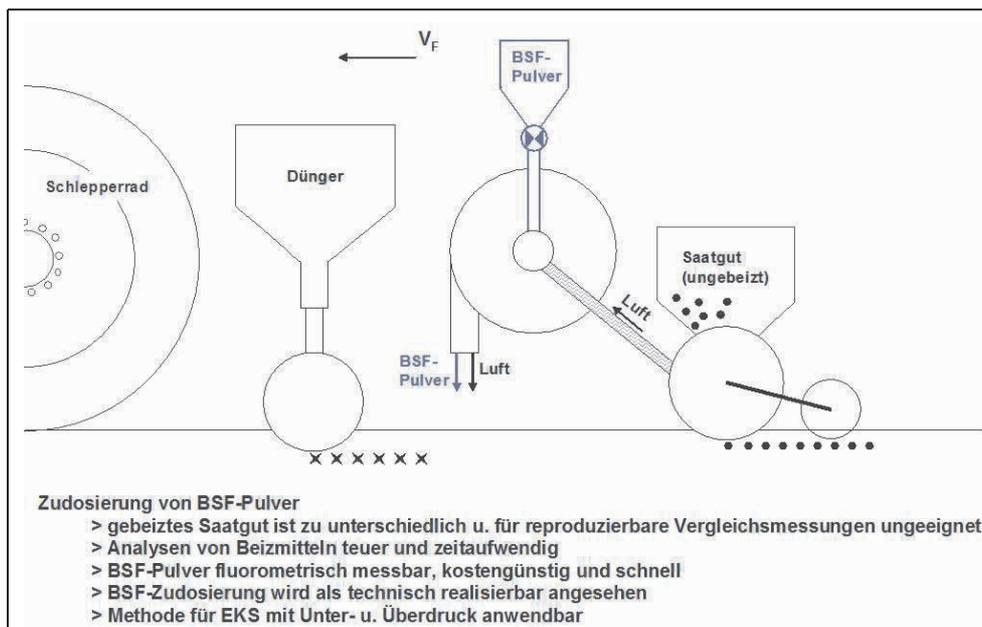


Abb. 2. Versuchsanstellung für die Zudosierung des BSF-Pulvers mittels eines Bürstendosierers zur Erzeugung eines konstanten, kontinuierlichen Partikelstroms in der Geräteabluftströmung.



Abb. 3. Traktor mit Maiseinzelkornsäuger bei Abdriftmessungen im Freilandversuch.

Material und Methode

Die Abdrift zu vermeiden oder möglichst gering zu halten ist eine Aufgabe, die im Pflanzenschutz nicht neu ist. Die Messung der Abdrift erfolgt deshalb in Anlehnung an eine Messanleitung zur Driftmessung von Spritz- und Sprühgeräten im Freiland (ISO 22866).

Im Unterschied hierzu wird die Ausbreitung von Staubpartikeln gemessen und nicht wie beim Spritzen und Sprühen die Ausbreitung von feinen schwebefähigen Tröpfchen. Zu diesem Zweck wird das Sägerät unter realen Einsatzbedingungen betrieben. Hierbei kommt es darauf an, dass der Umgebungswind, der verantwortlich

ist für die Abdrift, quer zur Fahrtrichtung bläst und eine Geschwindigkeit zwischen 2 und maximal 5 m/s erreicht. Insgesamt werden 24 Reihen gesät. Die hierbei eintretenden und durch den Umgebungswind verfrachteten Staubpartikel werden auf der in Windrichtung angrenzenden Freifläche in Petrischalen aufgefangen. Die Petrischalen werden über eine Distanz von 10 m Fahrstrecke und in den Entfernungen von 1, 3 und 5 m von der gesäten Fläche angeordnet. Dieses Raster hat sich als ausreichend gezeigt, um einerseits die gerätetechnischen Unterschiede in der Drift zu erfassen und andererseits den Flächenbedarf und den messtechnischen Aufwand vertretbar zu halten (Abb. 1).

Tab. 1. Exakte Beschreibung der Methode zur Messung der direkten Abdrift beim Aussäen von Maissaatgut im Freiland und zur Bestimmung der Abdriftminderung von mit Saugluft arbeitenden Maiseinzelkornsäegeräten**1. Definition**

Direkte Abdrift ist der Anteil der ausgebrachten Wirkstoffmenge, der während des Sävorganges über die Aussaatfläche infolge von Luftbewegungen hinausgetragen wird. Ein Wirkstoffaustrag nach der Aussaat (Sekundärverlagerung) wird nicht der direkten Abdrift zugeordnet und ist gesondert zu betrachten.

2. Versuchsfläche

Als Versuchsfläche ist ein für die Aussaat vorbereitetes Feld zu nutzen. Je Wiederholung sind mindestens 24 Reihen auszusäen. Die Länge der Versuchsfläche ist so zu wählen, dass bei Windrichtungsänderungen innerhalb des zulässigen Bereichs die direkte Abdrift noch immer die Messfläche trifft.

Da für jede Wiederholung eine neue, nicht kontaminierte Teilfläche gebraucht wird, muss die Fläche groß genug sein, um alle Wiederholungen zu ermöglichen.

In Windrichtung neben der Versuchs(teil-)fläche muss sich eine freie Fläche befinden, die als Messfläche dient.

3. Versuchsdurchführung

Bei jeder Wiederholung erfolgt die Aussaat von möglichst ungebeiztem Maissaatgut. Über einen Staubdosierer wird dem Abluftstrom des Säegerätes während des gesamten Sävorganges Brilliantsulfolavin zugeführt. Die Zufuhr muss dabei konstant sein und ca. 150 mg/s betragen.

Jeder Versuch ist mindestens in 3-facher Wiederholung durchzuführen.

Als Vergleichsgerät ist ein Maissäegerät mit horizontalem oder nach oben gerichtetem Gebläseausslass zu verwenden. Liegen dem Versuchsansteller bereits Daten für das Vergleichsgerät aus vorhergehenden eigenen Versuchen vor, müssen diese nicht neu ermittelt werden.

Während der Versuchsdurchführung sind folgende Wetterdaten kontinuierlich zu erfassen:

- Windrichtung
- Windgeschwindigkeit

Die Messungen der Wetterdaten sind 5 m von der Versuchsfläche in der Mitte der Messfläche in 2 m Höhe durchzuführen.

Die Windgeschwindigkeit darf 1 m/s nicht unterschreiten und 5 m/s nicht überschreiten. Die mittlere Windrichtung darf nicht mehr als 30° von der Senkrechten zur Fahrtrichtung abweichen. Die Versuchsparameter sind vollständig zu protokollieren.

4. Messmethode

Die direkte Abdrift wird erfasst als

- Bodensediment:

Petrischalen mit einem Durchmesser von 145 mm werden in horizontaler Lage auf dem Boden ausgelegt. Auf den Boden jeder Petrischale wird ein Filterpapier ausgelegt, dass unmittelbar vor Versuchsbeginn je nach Verdunstungsbedingungen mit 5 bis 10 ml Wasser befeuchtet wird.

5. Messorte

Die Objektträger zur Bestimmung des Bodensediments sind in 1 m, 3 m und 5 m Entfernung von der Versuchsfläche in jeweils 10-facher Wiederholung (Abstand zwischen den Petrischalen 1 m) aufzustellen.

Nullpunkt für die Bestimmung der Abstände von der Versuchsfläche ist eine halbe Reihenweite von der letzten Reihe.

6. Auswertung

Nach dem Trocknen der Filterpapiere wird fluorometrisch die Menge des sedimentierten Farbstoffes bestimmt. Aus den jeweils 30 Messwerten pro Entfernung sind für das Versuchsgerät und das Vergleichsgerät die Mittelwerte zu berechnen und anschließend zu addieren. Diese Summen sind in das Verhältnis zu setzen und die prozentuale Abdriftminderung zu berechnen.

Um bei den Prüfungen stets eine konstante Staubmenge in der Saugleitung des Gebläses gewährleisten zu können, wird ein Bürstendosierer eingesetzt, der die Staubpartikel in geringer Konzentration kontinuierlich einspeist (Abb. 2) (LÖFFLER und ZAHNRADNICEK, 1976). Auf diese Art und Weise kann der Einfluss der Beizqualität des Saatgutes und der Abriebfestigkeit des Beizmittels eliminiert und die Effektivität der Einrichtungen zur bodennahen

Ausbringung der mit Beizstaub kontaminierten Gebläseluft hinsichtlich Abdriftminderung sicher und reproduzierbar gemessen werden.

Als Beizstaub wird ein fluoreszierender Farbstoff (Pulver) eingesetzt, dessen auf der angrenzenden Freifläche sedimentierende Menge in den Petrischalen einfach aufgefangen und anschließend im Labor exakt fluorometrisch bestimmt werden kann. Siehe hierzu Abb. 3, die

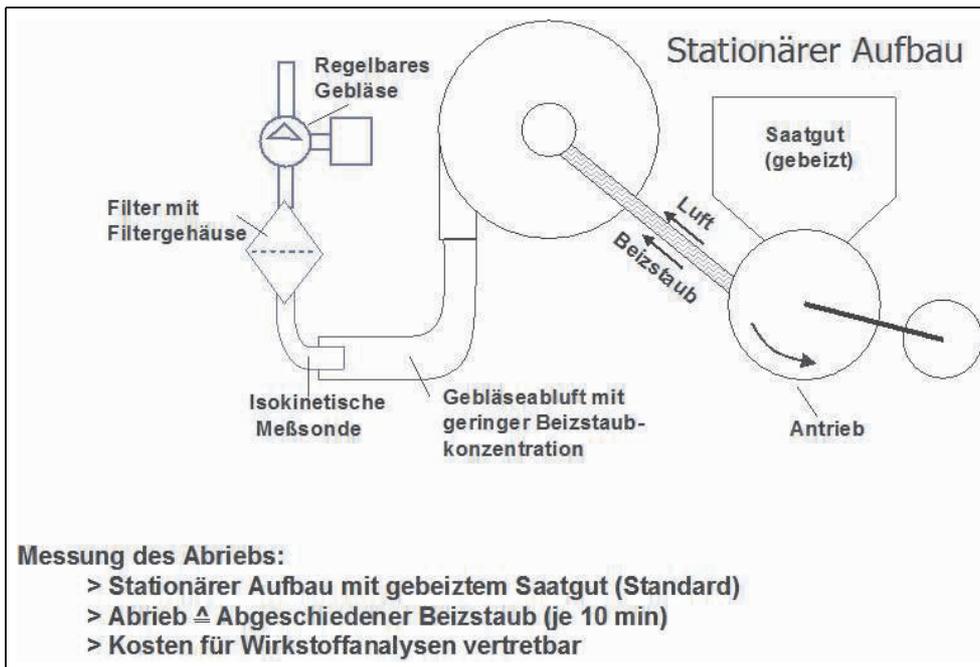


Abb. 4. Versuchsanstellung für die Messung des Beizmittelabriebs von behandeltem Mais-saatgut in der Gebläseabluft mittels isokinetischer Messsonde.

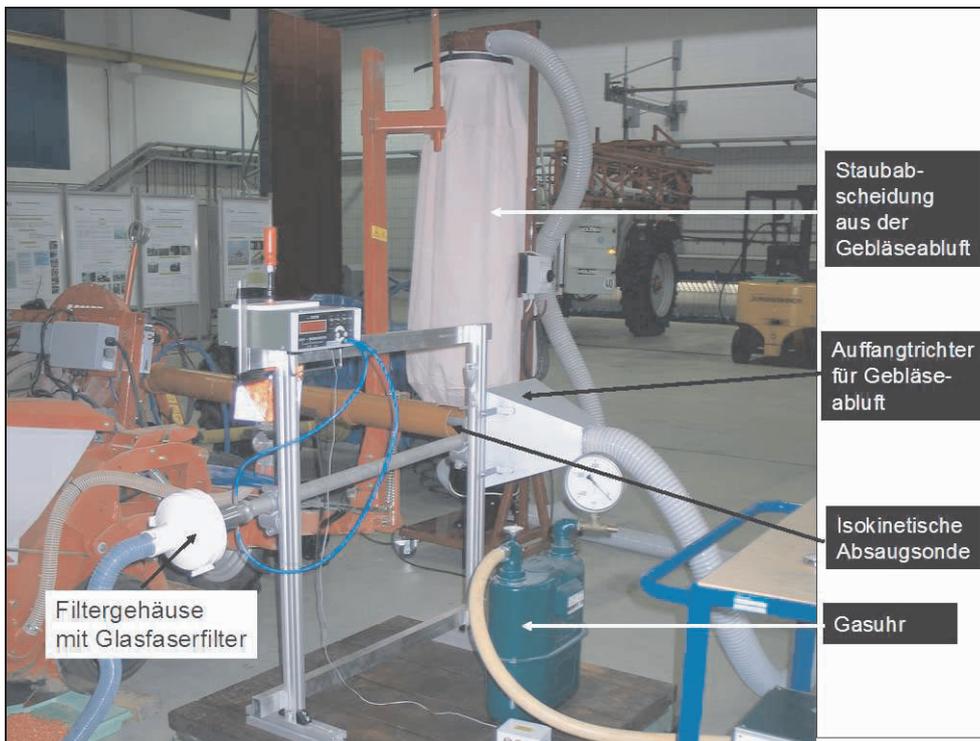


Abb. 5. Stationärer Versuchsaufbau eines Maiseinzelkornsägers in der Prüfhalle für die Messung des Beizmittelabriebs, wie er durch Säaggregate hervorgerufen wird.

den Versuchsaufbau für die Abdriftmessungen im Freiland verdeutlicht. Die weiteren technischen Spezifikationen, die für diesen Test wichtig sind und festzulegen waren, sind in Tab. 1 genannt.

In einem weiteren Prüfstandtest wird der Beizstaubabrieb, der durch die mechanische Beanspruchung des gebeizten Saatgutes entsteht, bestimmt. Hierbei wird in einem stationären Aufbau ein Sävorgang simuliert und dabei die Staubkonzentration in der Gebläseabluft gemessen (Abb. 4 und 5). Zur Messung der Staubkonzentration wird eine isokinetische Sonde verwendet, die eine nahe-

zu fehlerfreie Entnahme eines kleinen Teilluftstromes ermöglicht (GOTTSCHALK, 1996). Dessen Staubkonzentration wird mittels Filtertechnik bestimmt. Die übrige kontaminierte Gebläseluft wird abgesaugt und gefiltert, bevor sie nach außen abgegeben wird. Der Abrieb im Gerät hat zwar keinen direkten Einfluss auf die Abdrift, trotzdem soll er natürlich so gering wie möglich sein, um die Wirkung des Beizmittels zu gewährleisten und unnötige Einträge von Wirkstoff in die Umwelt zu vermeiden. Die weiteren technischen Spezifikationen dieses Abriebtests sind in Tab. 2 aufgeführt.

Tab. 2. Die Messung des Abriebs von Beizmittel in den Säaggregaten wird durch die nachfolgend genannten Bedingungen weitergehend spezifiziert

Saatgut:	Sorte Marcello, KWS, TKG 298 g gebeizt mit PonchoPro und Mesurol
Aussaatmenge:	73.000 Körner/ha
Nutzung von 4 Säaggregaten mit jeweils 3 kg Saatgut	
Bodenrest von ca. 1 kg in Saatguttüten belassen, wegen höherer Staubbelastung	
Absaugen über isokinetische Sonde und 150 mm Filter aus einem druckseitig angebrachten 100 mm PVC-Rohr	
Ende des Tests bei Auftreten der ersten Fehlstelle bei der Aussaat	
Fahrtgeschwindigkeit 6 km/h (stationärer Radantrieb)	
Dauer eines Tests:	17 min bis 19 min
„ingesäte“ Fläche:	0,55 ha

Ergebnisse

Das Angebot an Maiseinzelkornsäegeräten ist sehr übersichtlich. Alle namhaften Hersteller von mit Unterdruck arbeitenden Säegeräten haben ihre Geräte im JKI prüfen lassen. Neben Neugeräten mit verbesserter bodennaher Luftableitung wurden auch Nachrüst-/Umrüstsätze für Altgeräte geprüft. Die während der Prüfung aufgetretenen Mängel (wie z. B. Undichtigkeiten in der Luftführung) wurden seitens der Hersteller umgehend behoben. Zudem war dem JKI eine ausführliche Montageanleitung für Nachrüstsätze zur Prüfung vorzulegen, um sicherzustellen, dass die Nachrüstung an Altgeräten mit der geprüften Ausführung übereinstimmt und ordnungsgemäß erfolgt. Das JKI hat daher auch gefordert, dass der Anbau der Nachrüstsätze an bereits vorhandenen Säegeräten nur von autorisierten Personen (Fachwerkstätten, Werksvertretungen) ausgeführt werden darf. Für eine eindeutige Eintragung in die Liste war es notwendig, dass die Hersteller angeben, welche Nachrüstsätze für welche Säegerätetypen geeignet sind. Dies spiegelt sich in den Eintragungen wider.

Die Ergebnisse der Prüfungen sind in den Darstellungen Abb. 6 und 7 zusammengefasst. Die Driftmessungen zei-

gen, dass die geprüften Einzelkornmaissäegeräte mit Nachrüstsätzen eine Abdriftminderung gegenüber den Standardausführungen von mindestens 90 % gewährleisten. Ebenso wird deutlich, dass der von den Säaggregaten hervorgerufene Beizstaubabrieb auch bei qualitativ hochwertig gebeiztem Maissaatgut noch eine gewisse Konzentration erreichen kann. Im realen Einsatz wird allerdings die gering belastete Gebläseluft „bodennah“ abgeleitet und die davon ausgehende Drift um mehr als 90 % vermindert, so dass der gerätebedingte Abrieb vertretbar erscheint.

Diskussion

Bei den Diskussionen im Sommer und Herbst 2008 hat sich recht bald herausgestellt, dass künftig eine Aussaat insektizidgebeizten Maissaatgutes nur noch mit modifizierten bzw. umgerüsteten Maiseinzelkornsäegeräten möglich sein wird. Die von Seiten der Zulassungsbehörden an diesen Gesprächen beteiligten Vertreter haben dies immer wieder betont und als eine wesentliche Voraussetzung für ein Aufheben des Ruhens der Zulassung für insektizide Beizmittel genannt. Mit der Veröffentli-

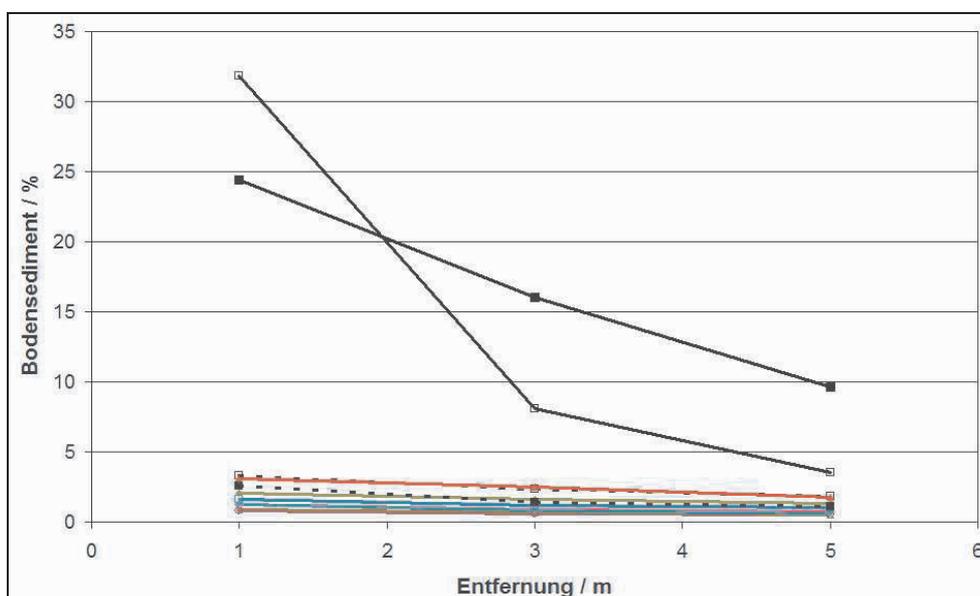


Abb. 6. Gegenüber den Standardgeräten (schwarze Linien) erreichten die umgerüsteten Geräte eine Abdriftminderung von mindestens 90%.

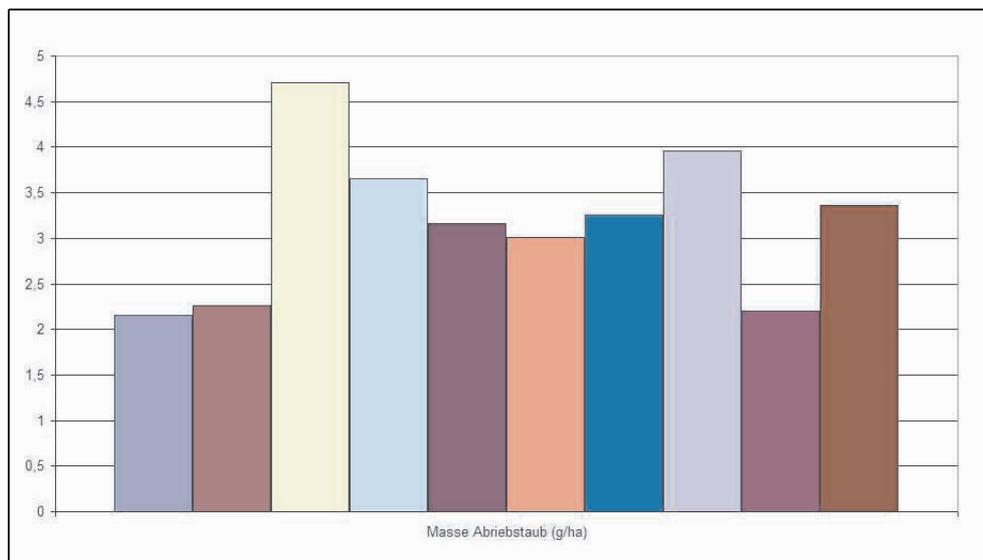


Abb. 7. Der Abrieb im Gerät erreichte bei den Versuchen zwischen 2 und 4,5 g/ha zudem zeigten sich keine großen Abweichungen zwischen den geprüften Gerätetypen. Ein Abrieb in dieser Größenordnung muss als technisch unvermeidbar angesehen werden.

chung der abdriftmindernden Maiseinzelkornsäegeräte durch das Institut für Anwendungstechnik für Pflanzenschutz im Internet des JKI (www.jki.bund.de/geraete) noch im Dezember 2008 sind nunmehr die gerätetechnischen Voraussetzungen erfüllt.

Die vom JKI geprüften und für die Aussaat geeigneten Geräte sind der folgenden Aufstellung in komprimierter Form zu entnehmen (Tab. 3, Abb. 8). Geräte, die mechanisch oder mit Überdruck arbeiten, sind von der Einschränkung nicht betroffen, und dürfen ohne Umrüstung für die Aussaat genutzt werden.

Für das Frühjahr 2009 sind weitere Geräte zur Prüfung angemeldet worden, die aber vermutlich auf Grund der notwendigen Freilandversuche nicht rechtzeitig vor der Maisaussaat geprüft werden können und damit in diesem Jahr noch nicht zur Verfügung stehen werden.

Mitte Februar 2009 wurde eine Eilverordnung des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz erlassen und das Ruhen der Zulassung von Mesurool durch das Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit wieder aufgehoben. Für die Aussaat 2009 kann damit Mesurool-gebeiztes Saatgut zur Verfügung gestellt werden, wenn es nicht mehr als 0,75 g Abrieb je 100 000 Korn enthält. Die Aussaat ist aber durch die Verordnung an bestimmte Bedingungen gebunden. So darf das Saatgut nicht mit Einzelkornsäegeräten, die mit Unterdruck arbeiten, ausgesät werden, es sei denn, die Geräte sind mit einer Vorrichtung ausgestattet, die die Abdrift um 90% gegenüber Standardgeräten vermindert. Das JKI kann die Liste der geprüften Geräte und geeignete Messmethoden im Bundesanzeiger bekanntmachen. Dadurch werden auch an-

Tab. 3. Liste der abdriftmindernden Maiseinzelkornsäegeräte (komprimierte Form), für die eine 90%ige Abdriftminderung nachgewiesen wurde

Hersteller/Firma	Umrüstsatz	Umrüstsatz für Sägerätetyp	Anz.
Amazone	971680	ED/RP-ED	15x
Gaspardo	D4 mit Diffusoren	SP/ST/SI/MT/MTE/MTI	6x
	V4	SP/ST/SI/MT/MTE	5x
Kuhn	ADSPM10	Planter 3/Maxima 2	2x
	ADSPM20	Planter 3/Maxima 1&2	3x
	ADSPL2	Planter 2	1x
	ADSPLJ	Planter Junior	1x
Kverneland	Clean air	Accord Optima; Vicon-Rau Multicorn	2x
Monosem	ST turbine 642710	NGPlus, NGPlus2, NGPlus3, NGPlus4, NX, NG, NC	7x
	GD turbine 642710		7x
	DF turbine 642712		7x
	ST turbine 642711		1x



Abb. 8. Abbildungen der Mais-einzelkornsäegeräte mit modifizierter Gebläseabluftführung für die eine 90%ige Abdriftminderung nachgewiesen wurde und die in der Liste abdriftmindernde Maissäegeräte eingetragen sind (Stand: März 2009).

dere Versuchsansteller in die Lage versetzt, Prüfungen hinsichtlich der Abdriftreduzierung durchzuführen.

Literatur

PISTORIUS, J., G. BISCHOFF, U. HEIMBACH, 2009: Bienenvergiftungen durch Wirkstofffabrieb von Saatgutbehandlungsmitteln während

der Maisaussaat im Frühjahr 2008. Journal für Kulturpflanzen 61(1), 9-14.
 ISO (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION), 2005: ISO 22866:2005 Equipment for crop protection - Methods for field measurements of spray drift.
 LÖFFLER, F., A. ZAHNRADNICEK, 1976: Eine neue Dosiervorrichtung zur Erzeugung von Aerosolen aus vorgegebenen feinkörnigen Feststoffen. Staub-Reinhaltung der Luft 36. Nr. 11.
 GOTTSCHALK, O., 1996: Verbesserung der Abscheideleistung von Zyklonabscheidern durch Teilgasabsaugung. Diss. Technische Universität, Braunschweig.