

Tafel 2. Gesamtleistungsbedarf für einen angenommenen mittleren Durchsatzanteil $Q_{tr} = 20$ dz/h.

Maschine	Leistungsbedarf				
	an der Zapfwelle N_{zw}	an der Zugöse N_z		insgesamt $N_{zw} + N_z$	
	PS	Teillast PS	Vollast PS	Teillast PS	Vollast PS
A	26,8 (31,3*)	7,9 (11,9)	10,9 (16,4)	34,7 (43,2)	37,7 (47,7)
C	31,6 (37,0*)	6,2 (9,3)	8,6 (12,9)	37,8 (46,3)	40,2 (49,9)

*) Klammerwerte auf Schleppermotor bezogen

den. Die errechnete Motorleistung bewegt sich bei der schmalen Maschine A zwischen 43 und 48 PS, während die breitere Ausführung C zwischen 46 und 50 PS benötigt.

Auf ähnliche Weise läßt sich derjenige Durchsatz Q_{tr} errechnen, bei dem beide Maschinen dieselbe Motorleistung benötigen; dieser ist, wie schon angedeutet wurde, kleiner als der nach Bild 16 ermittelte.

Wie im Vorstehenden der translatorische Leistungsanteil der Schlegelfeldhäcksler aufgrund der bekannten Gesetzmäßigkeiten der Fahrmechanik und der Erfahrungswerte für Rollwiderstandsbeiwert usw. errechnet werden kann, müßte auch der rotatorische Leistungsanteil zu beherrschen sein. Das weitere Ziel dieser Arbeit ist deshalb, für die in den vorstehenden Diagrammen enthaltenen Versuchsergebnisse eine mathematische Beziehung für Leistung und Durchsatz aufzustellen, die den Einfluß aller behandelten Parameter beinhaltet, unter anderem auch die technologischen Eigenschaften des Halmgutes.

Aufgrund der Vielzahl der in Frage kommenden Parameter konnte dieses Ergebnis noch in keine konkrete Form gebracht werden. Als Zielfunktion steht die aufzubringende Leistung in Abhängigkeit des Durchsatzes. Die Bedeutung der einzelnen Parameter kann aufgrund der Ergebnisse dieser Untersuchung abgeschätzt werden. Von großem Einfluß ist die Trommeldrehzahl. Gleichbedeutend ist der Einfluß der in dem Halmgut bei

der Verarbeitung enthaltene Feuchtegehalt. Die Arbeitsbreite der Trommel ist je nach Durchsatz von Einfluß auf den Leistungsbedarf. Die Art des Halmgutes scheint dagegen von geringer Bedeutung zu sein.

Lassen sich alle diese Einflüsse in einer Gleichung für den Leistungsaufwand erfassen, so wird diese bei betriebstechnischen Überlegungen im Rahmen von Verfahrensvergleichen eine wertvolle Hilfe sein.

6 Zusammenfassung

In Feldversuchen wurde mit Schlegelfeldhäckslern verschiedener Herkunft die erforderliche Antriebsleistung ermittelt. Neben Drehzahl und Drehmoment wurden der Gutedurchsatz, der Feuchte- und der Rohfaseranteil des Gutes bestimmt, um eine Beziehung zwischen Leistung und dem Gutedurchsatz zu erhalten.

Von großem Einfluß ist die Drehzahl der Trommelwelle auf den Leistungsbedarf; diese Abhängigkeit ließ sich bereits bei den Leerlaufmessungen erkennen. Die Drehzahl ist außerdem von erheblichem Einfluß auf die Wurfwirkung beim Beladen. Jedenfalls dürfen Leistungsmessungen bei Schlegelfeldhäckslern nur bei gleicher Drehzahl miteinander verglichen werden. Die Deutung des Einflusses verschieden großer Arbeitsbreiten auf den spezifischen Leistungsbedarf ist schwierig. Erst von einem bestimmten Durchsatz ab arbeitet die breitere Trommel energetisch besser als die schmale. Der Gesamtleistungsbedarf wurde in einem Beispiel aus dem rotatorischen und dem translatorischen Anteil für einen bestimmten Betriebsfall errechnet.

7 Schrifttum

- [1] *Vornkahl, W.*: Vergleichende Untersuchungen über den Leistungsbedarf von Feldhäckslern mit vereinfachten Mäh- und Häckselwerkzeugen. Landtechn. Forsch. **13** (1963) H. 3, S. 79/84.
- [2] *Gluth, M., und H. Voß*: Vergleichende Betrachtungen zum Leistungsbedarf von Feldhäckslern. Landtechn. Forsch. **16** (1966) H. 5, S. 172/76.
- [3] *Dolling, C.*: Untersuchungen über den Leistungsbedarf von Feldhäckslern. Landtechn. Forsch. **7** (1957) H. 3, S. 65/70.

DK 632.982

Zur Frage der Verteilung von Granulaten, insbesondere von Herbiziden

Von **Horst Göhlich**, Berlin

Das früher übliche mechanische Hackverfahren zur Unkrautbekämpfung wird nur noch dort angewandt, wo gleichzeitig eine Verbesserung der Oberflächenstruktur des Bodens notwendig ist. Als wirtschaftlichstes Verfahren hat sich im vergangenen Jahrzehnt die Anwendung chemischer Unkrautbekämpfungsmittel durchgesetzt. Die chemische Unkrautbekämpfung erfolgt heute fast ausschließlich mit Spritzmitteln in einer Aufwandmenge von etwa 400 l pro Hektar. Diese Flüssigkeitsmenge ist erforderlich, um eine gleichmäßige Verteilung des Wirkstoffes zu gewährleisten. Eine erhebliche Reduzierung der Ausbringungsmenge läßt sich dadurch erreichen, daß man den Wirkstoff an feste Trägerteilchen (Granulate) anlagert. Voraussetzung hierbei ist allerdings ein Verfahren, das eine gleichmäßige Verteilung dieser Feststoffteilchen unter Berücksichtigung der erforderlichen Wirkstoffverteilung auf dem Boden bzw. auf der Pflanzenoberfläche ermöglicht.

Die Anwendung von Feststoffen anstelle von Flüssigkeiten als Trägermittel bei der Verteilung von Pflanzenschutzstoffen hat unter gewissen Bedingungen nach wie vor sowohl technische als auch ökonomische Bedeutung. Man kann beim Verteilen von Granulaten mit einfachen robusten Geräten arbeiten und kann

o. Prof. Dr.-Ing. Horst Göhlich ist Direktor des Instituts für Landmaschinen der Technischen Universität Berlin.

gleichgroße Flächen mit geringerem Aufwand an Zeit und Arbeitskräften behandeln als beim Spritzen.

Bislang spielte im Pflanzenschutz Staub als Trägerstoff eine wichtige Rolle, wobei die Partikel eine Größe von 5 bis 50, z. T. auch bis 100 μ m haben. Sowohl Feststoffteilchen als auch Tröpfchen im Größenbereich unter 100 μ m können bei üblichen Windgeschwindigkeiten von 1 bis 3 m/s einer gefährlich großen Abtrift unterliegen. Das ist auch bei Mineraldünger der Fall, dessen Kornzusammensetzung häufig einen Anteil unter 100 μ m aufweist, wobei allerdings keine so großen Gefahren mit einer Abtrift verbunden sind. Um möglichst windunabhängig und technisch mit einfachen Mitteln Düngstoffe gleichmäßig verteilen zu können, werden deshalb die auszustreuenden Teilchen möglichst groß, d. h. größer als 100 μ m, hergestellt.

Im Bereich des Pflanzenschutzes kommen heute in überwiegend Maße Herbizide (ätzende oder wuchsstoffhaltige Unkrautbekämpfungsmittel) zur Anwendung. Wesentlich geringere Mengen kommen als fungizide (pilztötende) und insektizide (insektentötende) Mittel zum Einsatz. Etwa 70% der gesamten Getreidefläche der Bundesrepublik werden vorwiegend mit wuchsstoffhaltigen Unkrautmitteln und einer durchschnittlichen Aufwandmenge von 400 l je Hektar gespritzt. Eine Vereinfachung und eine bedeutsame Verminderung des Arbeitsaufwandes könnte mit der Verteilung des Wirkstoffes mit Hilfe

von festen Trägerstoffen verbunden sein. Grundsätzlich ist es möglich, nahezu alle Wirkstoffe, die üblicherweise in Flüssigkeiten aufgelöst oder suspendiert werden, auch an feste Trägerpartikeln anzulagern. Hierdurch kann das zu verteilende Gewicht wesentlich reduziert werden, wenn die anteilige Gleichmäßigkeit in der Flächenverteilung gewährleistet ist. Da wuchsstoffhaltige Herbizide nun aber nicht einfach wie Bodenherbizide als Granulate auf den Boden ausgestreut werden können, sondern auf den Blatteilen haften müssen, muß das Korngrößenspektrum entsprechend klein sein, damit ein Haften an den Blättern, vornehmlich an den Unkräutern erfolgt, **Bild 1**. Die zu verteilenden Mengen können bei diesen Blattherbiziden (handelsüblich auch als Mikrogranulat bezeichnet) sehr klein (6 bis 10 kg/ha) sein, **Tafel 1**. An die Dosier- und Verteiltechnik werden hierbei besonders hohe Anforderungen gestellt, die durch den Einsatz verschiedener Granulatarten mit unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften noch erschwert werden. Es ist aber mit einem gewissen technischen Aufwand durchaus möglich, eine optimale Verteilung von staubförmigen, feingranulierten und grobgranulierten Materialien zu erreichen.

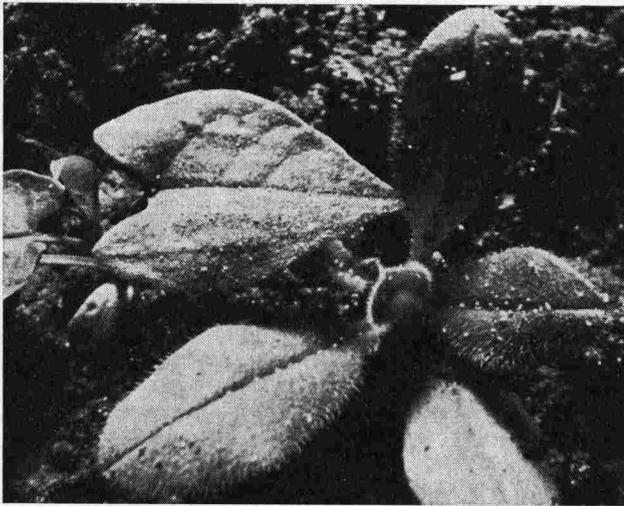


Bild 1. Ablagerung des Feingranulats auf der Pflanzenoberfläche.
(Foto: Riedel-deHaën)

Die Teilchen müssen gerade so groß sein, daß ein Abrollen von der Pflanzenoberfläche weitgehend verhindert wird. Genaue Angaben über die Verteilung auf der Blattoberfläche können nicht gemacht werden und sind auch von den Biologen nicht vorgeschrieben.

Tafel 1. Mittlere Ausbringungsmengen verschiedener Stäube und Granulate.

Material	Ausbringungsmenge kg/ha
Blattherbizid	6—10
fungizider Staub	20—30
Bodenherbizid	30—60
Kalkstickstoff	50—200
Volldünger	250—500

In **Bild 2** sind einige physikalische Eigenschaften verschiedener zur Verteilung kommender Stoffe zusammengestellt; die voneinander abweichenden Größen, insbesondere das Teilchengrößenspektrum, haben das unterschiedliche Verhalten bei der Dosierung und Verteilung zur Folge.

Die gleichmäßige Verteilung eines Stäubemittels wird bei gleichbleibender Arbeitsbreite beurteilt

1. nach der Gleichmäßigkeit der in Fahrtrichtung, also je Wegeinheit ausfließenden Menge und
2. nach der Gleichmäßigkeit der quer zur Fahrtrichtung, also entlang der Arbeitsbreite ausfließenden Menge.

Beide Komponenten stehen nicht in unmittelbarem Zusammenhang und müssen von Stäubemittel zu Stäubemittel gesondert betrachtet werden.

Probleme der Ausbringung und Verteilung von staubförmigem Gut sollen hier nicht näher betrachtet werden. Hierüber sind

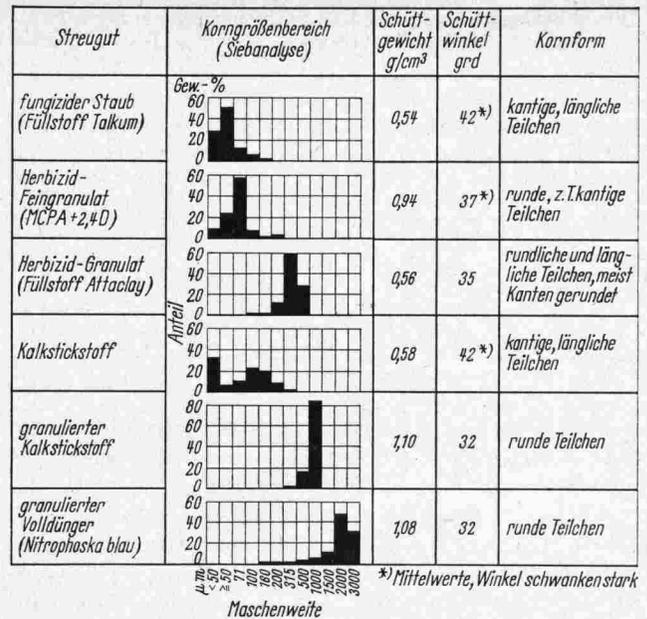


Bild 2. Korngrößenspektrum, Schüttgewicht und Kornform einiger Verteilgüter.

mannigfaltige Untersuchungen angestellt und Ergebnisse veröffentlicht worden [1 bis 3]. Abweichungen in der Dosierung, wie sie u. a. Gallwitz [4] bei verschiedenen Geräten festgestellt hat, **Bild 3**, sind gar nicht selten und auch bei heutigen Geräten noch anzutreffen. Die Ursachen für diese stark schwankenden Ausflußmengen sind sehr vielfältig. Nicht zuletzt haben Schwingungen, hervorgerufen durch den Antriebsmotor, ihren besonderen Einfluß hierauf. Es laufen im Institut für Landtechnik Berlin Untersuchungen, die zur Klärung dieser Fragen beitragen sollen.

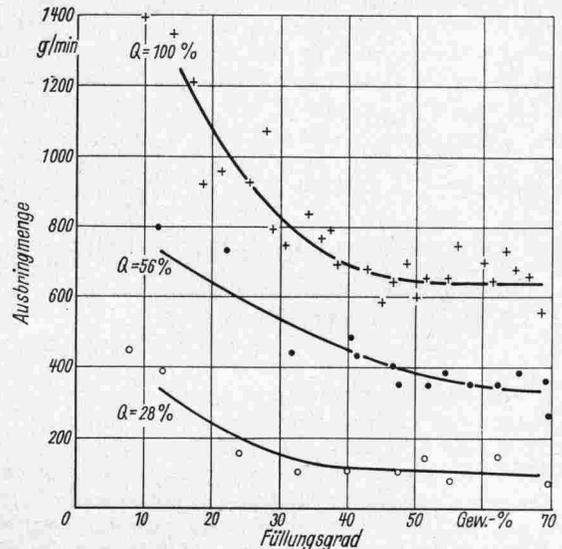


Bild 3. Abhängigkeit der Ausbringungsmenge eines Gerätes vom Füllgrad des Behälters nach Gallwitz [4].

Q Öffnungsgrad der Dosiereinrichtung

In **Bild 4** sind einige bei praktischen Geräten bekanntgewordene Dosiersysteme dargestellt. Eine einfache Staubsdosierung mit Rührstift nach **Bild 4a** ist für Staub unbrauchbar, kann aber für rieselfähige Grob- und Feingranulate ausreichend und zweckmäßig sein. Ein Dosierorgan mit Förderspiralen, **Bild 4b**, eignet sich für Staub besser, aber wegen der auftretenden starken Reibung für Granulate schon weniger gut. Der Trommelverstäuber nach **Bild 4d** ist lediglich für Staub gut geeignet. Sein etwas umständlicher Aufbau hat ihn praktisch nur wenig zur Verwendung kommen lassen. Die Dosiereinrichtung nach **Bild 4c** ist für Staub und auch für Feingranulat zweckmäßig. Bei nicht zu stark abriebgefährdetem Material arbeitet dieses System relativ gleichmäßig. Die nach **Bild 4e** ausgeführte einfache pneumatische Dosiereinrichtung ist nur für Staub geeignet;

- a Staubsosierung mit Rührstift
- b Staubsosierung mit Förderspiralen
- c Dosiereinrichtung mit senkrecht stehender Förderschnecke
- d Trommelverstäuber
- e pneumatische Staubrührung
- f Granulat-Schlitzdosierung

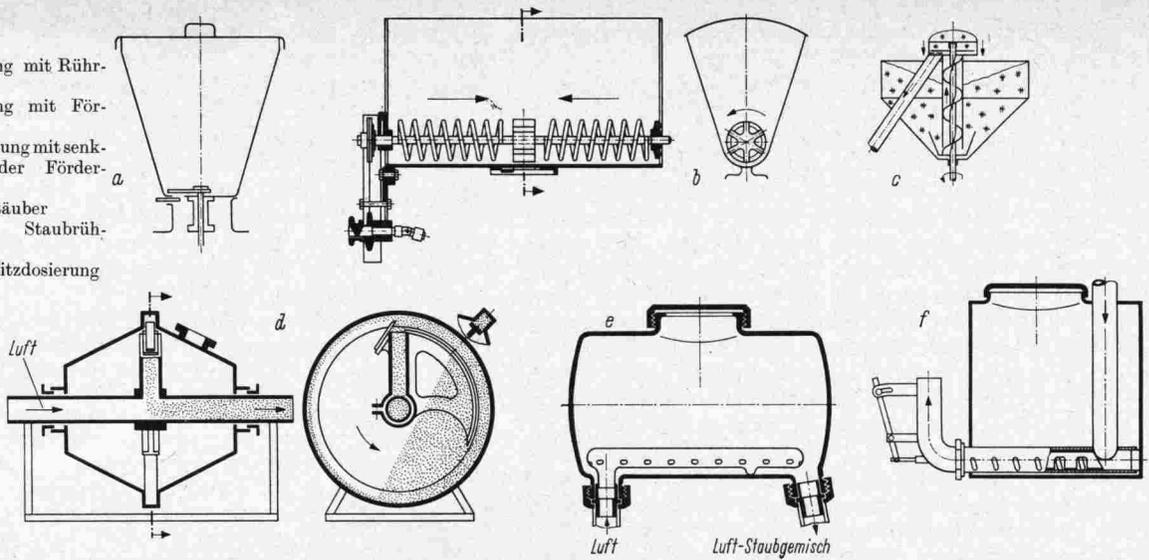


Bild 4. Verschiedene Zuteilvorrichtungen für Staub und Granulate.

Die Dosierung erfolgt bei den Vorrichtungen nach a, b und c ohne Zuhilfenahme von Luft. Die Ausbringung und die Verteilung bei staubförmigen und feingranulierten Materialien erfolgt in jedem Fall unter Zuhilfenahme von Trägerluft.

sie zeigt allgemein große Abweichungen. Eine einfache Dosiermöglichkeit zeigt Bild 4f, die allerdings lediglich für rieselfähiges, also granuliertes Gut funktionsfähig ist.

Schwieriger als die Dosierung selbst, d. h. die konstante Ausflußmenge pro Zeiteinheit, ist eine ausreichend exakte Flächenverteilung mit einer zulässigen mittleren Abweichung von 15 bis 20%. Die mittlere Abweichung ist, wenn x_1 die Meßwerte, $\bar{x} = (\sum x_1)/N$ der Mittelwert und N die Anzahl der Meßwerte sind:

$$s = \frac{100}{\bar{x}} \sqrt{\frac{\sum (x_1 - \bar{x})^2}{N}} [\%].$$

Der Toleranzbereich wird um so enger, je mehr man selektiv wirkende Herbizide, d. h. Unkraut tötende und Kulturpflanzen schonende, in Granulatform anwenden will; beispielsweise muß ein Mikrogranulat auf MCPA-Basis (2-Methyl-4 Chlorphenoxyessigsäure) und 2,4-D-Basis (Dichlorphenoxyessigsäure) in einer mittleren Ausbringungsmenge von 6 bis 10 kg/ha gestreut werden, Tafel 1. Die selektive Wirkung der Mittel hängt einerseits von der stärkeren Ablagerung des Wirkstoffes auf den Unkräutern infolge unterschiedlicher Blattbeschaffenheit gegenüber den Kulturpflanzen und andererseits von den unterschiedlichen Wachstumsstadien der Pflanzen ab.

Untersuchungen über die Verteilung von feingranulierten Herbiziden mit Geräten, wie sie bei der Düngemittelverteilung Verwendung finden, haben keine positiven Ergebnisse gezeigt. Dagegen kann granulierter Kalkstickstoff als Herbizid durchaus erfolgreich mit üblichen Streugeräten ausgebracht werden [5].

Bei den für Mineraldünger geeigneten Schleuderstreuern zeigen sich bei Verwendung feinerer Granulate folgende Erscheinungen:

1. Wegen der kleinen Austrittsöffnungen, die zwischen 30 bis 50 mm², d. h. 6 bis 8 mm \varnothing , liegen, sind die Öffnungsgrößen schon wegen der häufig unzulänglichen Schieberanordnungen nicht immer genau einzuhalten. Ausflußschwankungen von $\pm 50\%$ treten nicht selten bei handelsüblichen Maschinen trotz jeweils gleicher Einstellung am Gerät infolge zu großen Spiels in den Übertragungselementen auf. Außerdem neigen die rieselfähigen Feingranulate dazu, bei Wellendurchführungen und anderen kleinen Undichtigkeiten beträchtlich auszulaufen und damit Anhäufungen an unerwünschten Stellen zu verursachen.

2. Die ausreichende Breitenverteilung von Feingranulaten mittels Schleuder- oder Pendelstreuer scheidet (abgesehen von der unzulänglichen Genauigkeit der Verteilung) an der für den Feldeinsatz zu geringen Arbeitsbreite bzw. Flächenleistung. Die

Bild 5. Verteilung von Attaclay mit Einscheibenstreuer (ohne Überlappung).

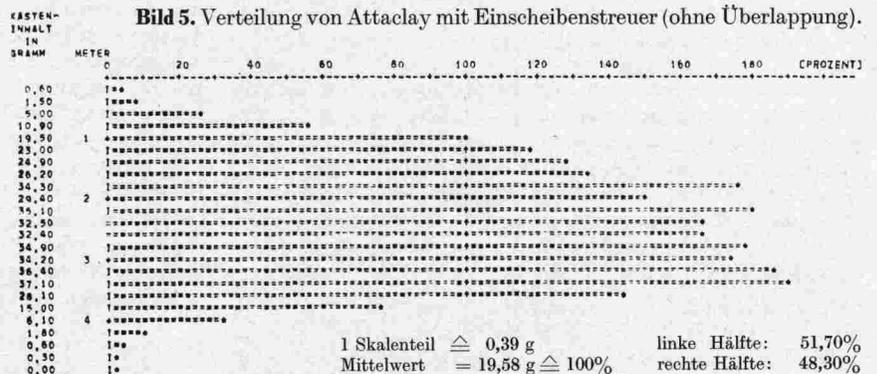


Bild 6. Verteilung von Attaclay mit Einscheibenstreuer (Überlappung bei Rundfahrt).

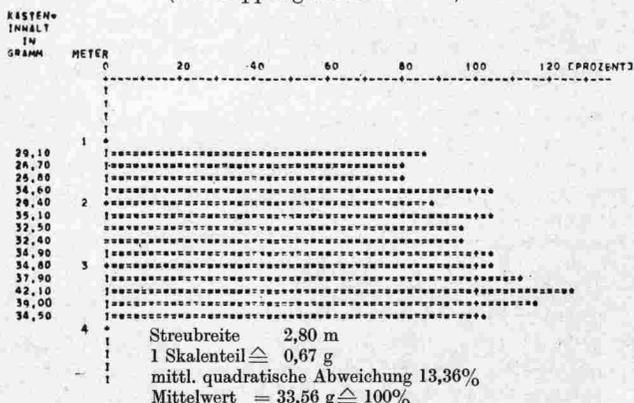


Bild 7. Verteilung von Mikrogranulat mit Pendelstreuer (Überlappung bei Rundfahrt).



effektive Streubreite beträgt, mit oder ohne Windschutzeinrichtungen, im günstigen Falle 2,8 bis 3 m.

Bild 5 zeigt eine Verteilung von Attaclay (Korngrößenbereich von 0,3 bis 1 mm) mit einem Schleuderstreuer so, wie man sie auf dem Versuchsstand ohne Windeinfluß erreicht. Will man nun durch entsprechende Überlappung die günstigste Verteilung mit dem geringsten Wert für die durchschnittliche quadratische Abweichung von $s = 13,3\%$ erreichen, so ergibt sich eine Verteilung nach **Bild 6**, wobei allerdings die Arbeitsbreite nur noch 2,80 m beträgt. Die Auswertung erfolgte mit Hilfe einer programmgesteuerten Rechenanlage [6]. Bei einem noch feineren Granulat (Mikrogranulat) ergibt sich eine noch ungünstigere Verteilung, **Bild 7**; bei gleicher Arbeitsbreite von 2,80 m beträgt die mittlere quadratische Abweichung bereits $s = 19,35\%$. Auch hier ist die Arbeitsbreite, ob mit oder ohne Windschutz (Prallwand), nicht über 2,80 m zu steigern.

Hieraus ist zu folgern, daß die Verteilung solcher Feingranulate in gezielter Weise erfolgen muß, d. h., das Streugut muß durch kinetische oder pneumatische Energie bis unmittelbar an die Pflanzenoberfläche herangeführt werden. Eine Möglichkeit ist rein pneumatisch gegeben, wie man es auch von Stäubegeräten her kennt. Hinsichtlich der zu fordernden Genauigkeit der Verteilung sind allerdings noch bessere Verteilungssysteme zu entwickeln. Vor allem interessiert die Frage, wie man verschiedene Granulate mit unterschiedlicher Korngrößenzusammensetzung mit dem gleichen Gerät befriedigend verteilen kann. Je feiner die zu verteilenden Granulate sind, desto mehr Vorkehrungen sind zu treffen, um den Einfluß des Windes und damit die Abtrift gering zu halten.

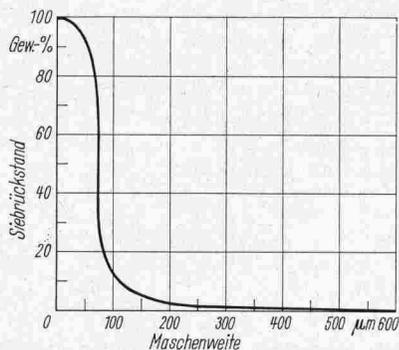


Bild 8. Siebanalyse von Mikrogranulat (inert).

Geht man von einem selektiv wirkenden Herbizidgranulat mit einer Korngrößenzusammensetzung nach **Bild 8** aus, so ist mit gewissen Abtrifterscheinungen zu rechnen. Die Größe der Abtrift wird von der Art der Einbringung dieses Stäubemittels in den Bestand abhängen. Nimmt man an, daß der Teilchenanteil $< 50 \mu\text{m}$ vernachlässigbar ist, so wird die Abtriftgefahr kleiner sein als beim üblichen Spritzen, da der Anteil der feinen Teilchen des Stäubemittels von vornherein definiert ist. Bei verspritzten Flüssigkeiten können sich die Tröpfchendurchmesser durch Verdampfung immer weiter verringern, ohne dabei an Wirkstoffmenge zu verlieren. Beim Spritzen ist deshalb wahrscheinlich die Gefahr der Abtrift, sowohl der Menge als auch den möglichen Entfernungen nach, größer. **Bild 9** zeigt bei dem vorliegenden

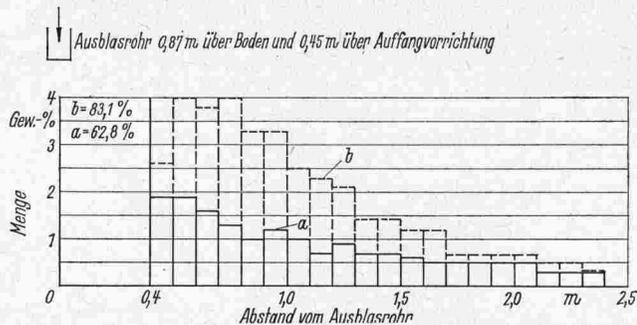


Bild 9. Abtriftversuche mit senkrecht gestellter Ausblasöffnung. Streugut: Mikrogranulat

	a	b
Blasgeschwindigkeit in Höhe des Bodens	14 m/s	5 m/s
Seitenwindgeschwindigkeit	1 m/s	1 m/s

Mikrogranulat, wie bei einer senkrechten Ausblasstellung der Düse und bei verschiedener Ausblasgeschwindigkeit die Abtriftverhältnisse liegen können. Wenn man berücksichtigt, daß die Austrittsöffnung noch tiefer zum Bestand hin liegen kann, so wäre zu folgern, daß auch ein Seitenwind stärker als 1 m/s noch keine gefährliche Abtrift bedeutet. Da es bei den selektiv wirkenden Herbizid-Granulaten insbesondere darauf ankommt, möglichst viel Wirkstoff auf den Blattoberflächen zum Haften zu bekommen, ist versucht worden zu ermitteln, welche Abhängigkeit zwischen der Anblasart und dem haftenbleibenden Anteil an bestimmten Blättern besteht. Dabei konnte in der Tendenz folgendes festgestellt werden, **Bild 10**: Wird waagrecht über dem Pflanzenbestand ausgeblasen, so treten große Schwankungen in der auf den Pflanzen abgelagerten Menge auf. Bei

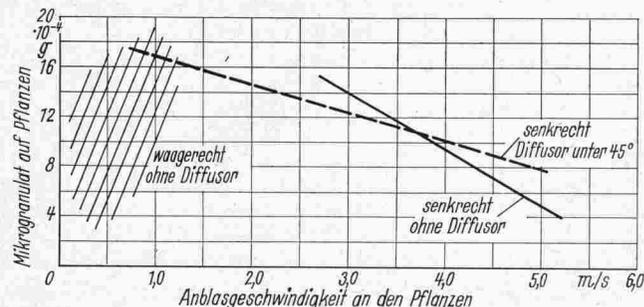


Bild 10. Ablagerungen auf flächengleichen Pflanzenblättern (Sommerraps) in Abhängigkeit von der Anblasgeschwindigkeit.

einem senkrechten ungestörten Strahl nimmt die abgelagerte Menge mit zunehmender Strahlgeschwindigkeit an der Pflanze ab, d. h., die Teilchen kommen bei zu hoher Anblasgeschwindigkeit nicht zur Ablagerung. Bei Verwendung eines Diffusors, der den Strahl auflöst und ablenkt, sind die Ablagerungsergebnisse nicht so stark von der Strahlgeschwindigkeit abhängig. Wegen der Windabtrift sollte die Strahlgeschwindigkeit am Bestand zwischen 3 bis 4 m/s liegen.

Zusammenfassung

An die Dosierung und Verteilung von Granulaten werden um so höhere Anforderungen gestellt, je kleiner die zu verteilenden Mengen sind und je geringer die Abweichungen bei der Flächenverteilung sein dürfen. Diese Anforderungen sind bei Blattherbiziden, die als Feingranulate im Teilchengrößenbereich um $100 \mu\text{m}$ ausgebracht werden müssen, gegenüber fungiziden oder insektiziden Pflanzenschutzstäuben und Mineraldüngern besonders hoch. Für die Gestaltung der Dosier- und Verteilgeräte sind entsprechende Folgerungen zu ziehen, die eine möglichst universelle Verwendbarkeit für verschiedene Stäube und Granulate und auch die Abtrift berücksichtigen. Gewöhnliche Schleuder- oder Pendelstreuer sind für Feingranulate nicht geeignet. Verteilssysteme, die den vielseitigen Anforderungen näherkommen, sind noch zu entwickeln.

Schrifttum

- [1] Gallwitz, K.: Neuere Untersuchungen an Stäubegeräten. Extrait du deuxième volume de comptes rendus du III. Congrès International de Phytopharmacie. Paris 1952. S. 794/801.
- [2] Gallwitz, K.: Neuere Untersuchungen an Pflanzenschutzstaub und Stäubegeräten. Overdruk uit de Medelingen van de Landbouwhoogeschool en de Opzoe Kingsstation van de Staat te Gent (1963) Deel 28, Nr. 3.
- [3] Czerny, H.: Die Entwicklung einer Prüfmethode für Stäubegeräte des Pflanzenschutzes, dargestellt an der Untersuchung einiger Gerätetypen. Diss. TH Stuttgart 1948.
- [4] Gallwitz, K.: Neue Entwicklungen in der Sprüh- und Staubtechnik. Verhandlung des IV. Internationalen Pflanzenschutz-Kongresses. Hamburg 1957, Bd. 2, S. 1801/06.
- [5] Mathes, A., und M. Brübach: Das Ausbringen von Perlkalkstickstoff mit Schleuderstreuern. Grndl. Landtechn. **16** (1966) Nr. 4, S. 156/59.
- [6] Mathes, A., und W. Preisberg: Das Auswerten landtechnischer Versuchsreihen mit programmgesteuerten Rechenanlagen. Grndl. Landtechn. **17** (1967) Nr. 4, S. 155/59.