

Aufgaben und Funktion der Wälzgege in einer Saatbettkombination

Claus Sommer

Institut für Biochemie des Bodens der FAL

Miloslav Zach

Institut für Pflanzenbau und Saatgutforschung der FAL, Braunschweig-Völkenrode

1. Einleitung

In einer Saatbettkombination, wie sie heute zur Bodenbearbeitung eingesetzt wird, soll die Wälzgege eine ganze Reihe von Aufgaben übernehmen. Unter ihnen ist das Zerkleinern grober Schollen die wichtigste. Bei einzelnen Gerätekonstruktionen gestattet sie die exakte Tiefenführung der Vorlaufgeräte, wenn der Tragrahmen in der Dreipunkt-hydraulik des Schleppers hängt und sich hinten auf den Krümlern abstützen kann. Dies erleichtert die heute angestrebte Möglichkeit, ein Saatbett nur ganz flach durchzuarbeiten. Des weiteren unterstützt die Wälzgege das Vorlaufgerät bei der Einebnung des Ackers und verbessert in vielen Fällen die Bearbeitungsgrenze von Egge oder Grubber, wenn diese unbearbeitete Stege im Boden stehen gelassen haben. In gewissem Maße vermag eine Wälzgege das Absetzen des geeegten Feldes zu beschleunigen, wenn sie mit genügender Belastung gefahren wird.

Diese Vielzahl von Aufgaben kann vor allem bei unterschiedlichen Böden und wechselnden Bedingungen verständlicherweise ein einzelner Wälzgegentyp nicht erfüllen. Darin ist die Tatsache begründet, daß eine Vielfalt solcher Wälzgegen von der Landmaschinenindustrie angeboten wird. Die vorliegenden Untersuchungen sollen eine repräsentative Auswahl von Wälzgegentypen bezüglich ihres Arbeitseffektes und ihres Zugleistungsbedarfs vergleichen¹⁾.

2. Versuchsdurchführung

Bild 1 gibt eine Zusammenstellung der zur Zeit gebräuchlichsten Wälzgegen. Alle Geräte haben eine Arbeitsbreite von 1 m und werden als Nachlaufgeräte in Saatbettkombinationen eingesetzt. Nur den Spitzenspiralkrümler findet man — allerdings mit größerem Durchmesser — auch als Pflugnachläufer.

Mit diesen sechs Wälzgegen wurden in den Jahren 1969 bis 1971 Feldversuche gefahren, bei denen ein Meßrahmen die Krümler in Tandemanordnung aufnahm (Bild 2). Dieser Rahmen gestattet mit den elektrischen Drehzahlmessern (5), (6), (7) die Ermittlung der Schlupfwerte für verschiedene Belastungen G [kp] und bei verschiedenen Fahrgeschwindigkeiten v_f [km/h]. Dabei werden je Umdrehung der Wälzgegen beziehungsweise der Seilrolle (15) vier Impulse abgegeben und gezählt. Der Umschlingungswinkel des Seiles ist durch eine Zwischenrolle (10) vergrößert, damit die Meßstrecke über das ablaufende Seil genau gemessen werden kann. Mit Hilfe der hydraulischen Zugkraftmeßdose (13) wird der jeweils notwendige Zugkraftbedarf aufgenommen und auf einem Meßschrieb festgehalten.

Die Versuchsböden waren ein schluffiger Lehm (A) und ein lehmiger Schluff (B) mit einem Wassergehalt von etwa 20 Gewichtsprozent. Die Korngrößenverteilung geht aus Tafel 1 hervor, der Mittelwerte über die Tiefe 0 bis 15 cm zugrundeliegen. Die Felder waren kurz vor den Versuchen gepflügt und einmal geeeggt worden.

3. Ergebnisse der Untersuchungen

Entsprechend den Aufgaben, deren Erfüllung von einem Gerät erwartet wird, sind die Arbeitseffekte zu untersuchen. Diese hängen bei der Drahtwälzgege von den Bahnkurven der Drähte und Sterne und von dem entstehenden Rutsch ab [1]. Letzterer wird unter anderem von der Fahrgeschwindigkeit beeinflusst, wie übrigens die Krümelungswirkung auch, weshalb die Geschwindigkeitsverhältnisse an einer solchen rotierenden Egge es wert sind untersucht zu werden. Schließ-

¹⁾ Die Arbeit wurde im ehemaligen Institut für Bodenbearbeitung der FAL durchgeführt. Die Verfasser danken Herrn Prof. Dr. H. Frese für die Förderung der Arbeit und Herrn sGL H. Klügel für die technische Hilfe bei der Versuchsdurchführung.

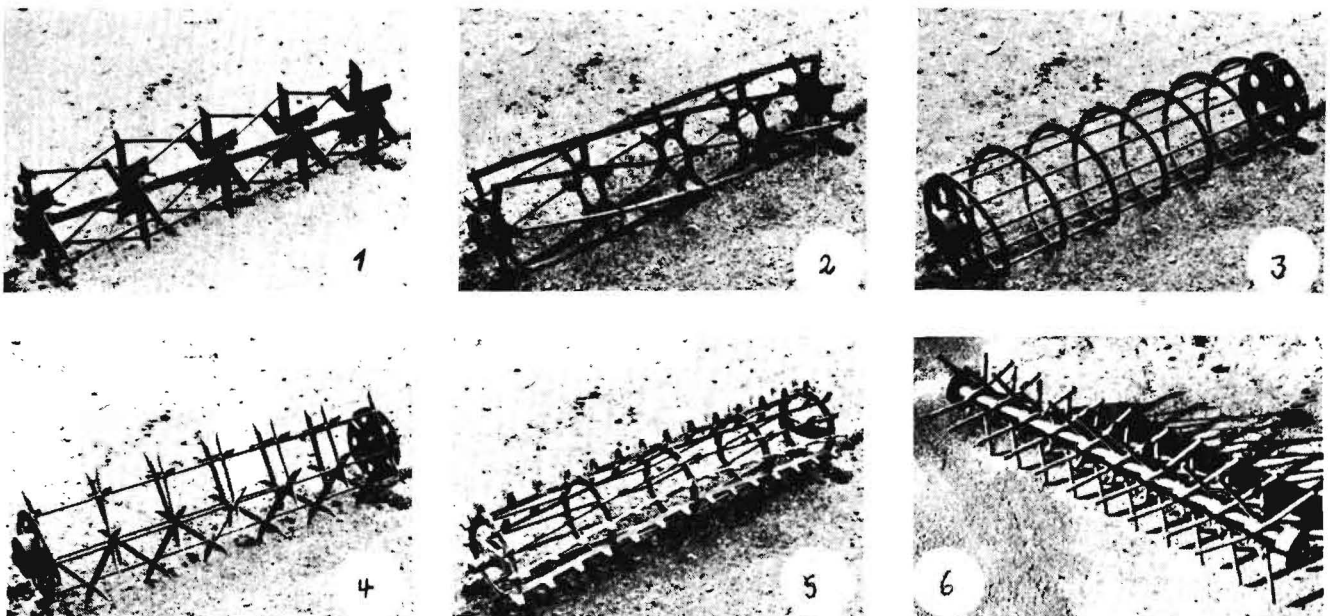


Bild 1: Eine Wälzgegenauswahl

1 Drahtwälzgege
4 Spitzenspiralkrümler

2 Schrägstabwälzgege
5 Zahnkrümler

3 Wendelstabwälzgege
6 Schrägzinkenkrümler

- 1 Meßrahmen
- 2 Zusatzgewicht
- 3,4 Walzgegen
- 5,6,7 elektrische Drehzahlmesser
- 8 Seil
- 9 Verankerung
- 10 Zwischenrolle
- 11 Seiltrommel
- 12 Backenbremse
- 13 hydraulischer Zugkraftmesser
- 14 Schlepper - Dreipunkthydraulik
- 15 Seilrolle

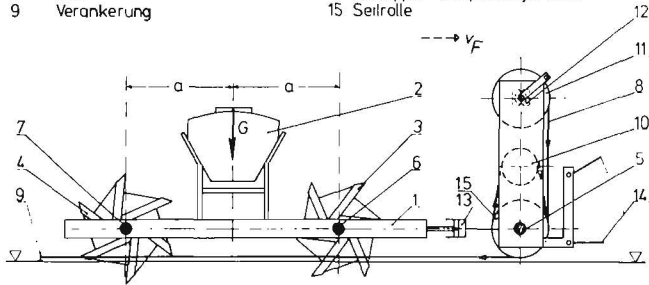


Bild 2: Meßrahmen für Walzgegenuntersuchung

lich wird im folgenden auf die Verdichtungswirkung, die Verbesserung der Bearbeitungsgrenze und auf allgemeine Erfahrungen, die mit den genannten Geräten gesammelt werden konnten, eingegangen. Die Versuchsergebnisse werden mit Zugleistungsdiagrammen, wie sie aus den aufgenommenen Meßschrieben ermittelt wurden, abgeschlossen.

3.1. Das Rutsch-Schlupf-Verhalten

3.1.1. Zur Definition des Schlupfes

Allgemein wird der Schlupf definiert als das Verhältnis „Schlupfweg s_1^* “ zum schlupflosen Weg s_0 . Statt mit den Wegen könnte man ebensogut mit den Geschwindigkeiten oder auch mit den Umdrehungen je Meßstrecke arbeiten.

Positiver Schlupf entsteht bei einem angetriebenen (ziehenden) Rad. Es gilt dann:

$$\sigma_a = \frac{s_1^*}{s_0} = \frac{s_0 - s_1}{s_0} \cdot 100 \text{ [%]} \quad (1)$$

Tafel 1: Korngrößenverteilung der Versuchsböden

Versuchsfeld	Sand (S) (2000-63 μ)	Schluff (U) (63-2 μ)	Ton (T) (< 2 μ)
A (Schüttekamp)	20	58,8	21,2
B (Lengeder Weg)	2	85	13

Tafel 2: Regressionskoeffizienten und Bestimmtheitsmaße der Funktion $\sigma = a + bv$

Gerät	Durchmesser	Gewicht [kp]	a_v [1]	a_h [1]	b_v [1]	b_h [1]	B_v [1]	B_h [1]
Drahtwälzgege	d_{max}	50	-6,11	-10,14	0,71	0,74	71,53	81,73
		75	-2,10	-8,76	0,74	0,93	70,35	86,47
		125	1,86	-5,34	0,24	0,34	25,49	65,86
	d_{min}	50	15,82	12,54	0,56	0,59	71,49	81,71
		75	18,99	13,64	0,58	0,74	70,47	86,40
		125	22,07	16,35	0,19	0,27	25,55	65,87
Zahnkrümmler	d_{max}	50	-1,24	-4,86	0,63	0,37	76,03	75,44
		75	0,40	-4,40	0,21	0,19	38,12	56,33
		125	3,37	-3,61	0,15	0,27	27,00	61,14
	d_{min}	50	26,51	23,93	0,46	0,27	76,10	73,41
		75	27,70	24,21	0,15	0,14	37,93	56,24
		125	29,85	24,79	0,11	0,20	27,01	61,00
Schrägzinkenkrümmler	d_{max}	50	6,95	3,48	0,23	0,24	36,76	53,56
		75	8,68	2,11	0,40	0,67	57,75	80,35
		125	6,31	2,94	0,81	0,65	75,09	81,51
	d_{min}	50	33,01	30,51	0,16	0,18	36,56	53,67
		75	34,25	29,59	0,29	0,47	57,73	88,21
		125	32,55	30,12	0,58	0,47	75,01	81,37

!) v: vordere Wälzgege; h: hintere Wälzgege

Rutsch entsteht bei einem gebremsten (gezogenen) Rad. Da nach Gl. (1) Rutschwerte auftreten könnten, die der Vereinbarung

$$0 \leq |\sigma| \leq 100$$

zuwider liefen, bezieht man den „Schlupf“ beim gezogenen Rad auf den tatsächlich zurückgelegten Weg s_2 [2]:

$$\sigma_b = \frac{s_2^*}{s_2} = \frac{s_2 - s_0}{s_2} \cdot 100 \text{ [%]} \quad (2)$$

wonach für das rutschende Rad ($s_2 > s_0$) positive σ -Werte herauskommen.

3.1.2. Die Meßergebnisse

Nach Gl. (2) sind die Meßwerte, wie sie in dreifacher Wiederholung bei Meßstrecken von jeweils 25 m aufgenommen wurden, ausgewertet und in den nächsten Bildern dargestellt. In einem σ, v_F -Koordinatensystem sind Werte für Rutsch positiv und solche für Schlupf unterhalb der Abszisse aufgetragen. Statt der Meßpunkte selbst sind die entsprechenden Regressionsgeraden verwendet, für die Tafel 2 die Regressionskoeffizienten a, b und die Bestimmtheitsmaße B angibt. In jedem Bild sind zwei Schare von Geraden zu finden: die untere gilt jeweils für den maximalen Durchmesser an der Wälzgege (d_{max}), die obere für den „minimalen“ (d_{min}). Bei der Drahtwälzgege ist dies die Einspannstelle der Drähte, bei dem Zahnkrümmler ein mittlerer Durchmesser der Zahnstangen und bei dem Schrägzinkenkrümmler ein entsprechend gewählter Abstand auf den Zinken.

Obleich bei allen drei Wälzgegen die Belastungsstufen von $G = 50, 75$ und 125 kp keine eindeutige Tendenz aufweisen, sind die Schlupfwerte für sie dennoch eingetragen. Als weitere Parameter sind $\sigma_{v,i}$ und $\sigma_{h,i}$ betrachtet. Dies weist auf die vordere beziehungsweise hintere Wälzgege in dem Meßrahmen hin.

Bei der Drahtwälzgege ($d_{max} = 300$ mm, $d_{min} = 238$ mm) ist der Anstieg der Rutsch/Schlupf-Werte mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit v_F am größten (Bild 3). Bezogen auf den maximalen Durchmesser (Sternspitzen) nimmt der Schlupf (Ausnahme: $\sigma_{v,125}$) immer mehr ab, bis er sogar in Rutsch übergeht (Ausnahme: $\sigma_{h,50}$; $\sigma_{h,125}$). Stets ist:

$$\sigma_{h,i} < \sigma_{v,i}$$

wodurch sehr deutlich wird, daß die hintere Wälzgege eine nicht mehr so raue Oberfläche vorfindet und daß bezüglich der Krümelung ebenfalls von der vorderen Wälzgege Vor-

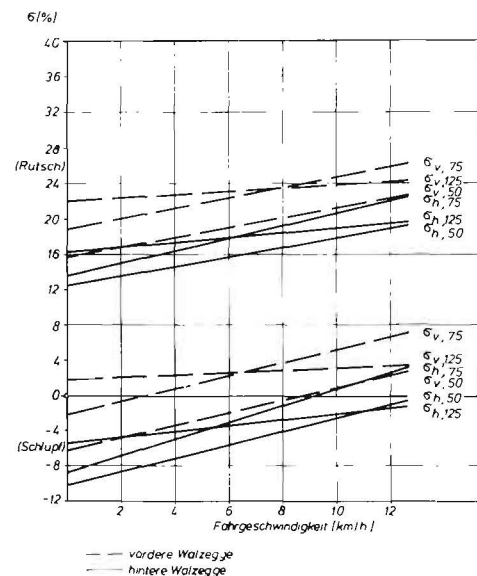


Bild 3: Rutsch/Schlupf-Verhalten der Drahtwälzgege

Boden A, 1970
(untere Geradenschar: $d_{max} = 300$ mm; obere Geradenschar: $d_{min} = 238$ mm)

arbeit geleistet wurde. Das macht sich dann auch in der Streuung der Meßwerte bemerkbar. Die Bestimmtheitsmaße B sind für die hintere Wälzgege stets besser (Tafel 2).

Die Regressionsgeraden für den Zahnkrümmler ($d_{\text{max}} = 270$ mm, $d_{\text{min}} = 196$ mm) liegen in Bild 4 einmal dichter zusammen, zum anderen ist ihr Anstieg geringer als bei der Drahtwälzgege. Bei dem Schrägzinkenkrümmler ($d_{\text{max}} = 250$ mm, $d_{\text{min}} = 180$ mm) fällt in Bild 5 auf, daß auch in niedrigen Geschwindigkeitsbereichen nur Rutschwerte gemessen wurden, die für den kleineren Durchmesser bis zu 40 % ansteigen. Besser als bei den beiden anderen Krümmlern stimmen hier die Steigungen der Geraden für σ_v und σ_h für jede der drei Belastungsstufen überein.

3.2. Die Geschwindigkeitshodographen

Um sich eine genaue Vorstellung über die Geschwindigkeitsverhältnisse an einer Wälzgege zu machen, kann man von der Bahn eines beziehungsweise mehrerer ihrer Punkte in einem x, y -Koordinatensystem ausgehen. Man erhält die sogenannten Zykloiden, die von gewöhnlicher (a), verschlungener (b) oder gestreckter (c) Form sein können. Dies hängt bei einem Punkt am Außendurchmesser eines Rades davon ab, ob sich letzteres ohne Schlupf (a), mit Schlupf (b) oder mit Rutsch (c) bewegt. Zu solchen Kurven kommt man auch, wenn ein Kreis mit einem Radius r_0 ohne zu gleiten auf einer Geraden abläuft und man entweder einen Punkt mit dem Radius $r = r_0$ (a), einen solchen mit $r > r_0$ (b) oder schließlich $r < r_0$ (c) betrachtet.

An diese Bahnkurven kann man nun in jedem Punkt die zeitliche Ableitung des Ortsvektors (Geschwindigkeit) in geeignetem Maßstab antragen, womit man einen guten Überblick über die Geschwindigkeitsverhältnisse bekommt. Selbstverständlich führt man dies nur für eine Radumdrehung aus und nimmt dabei vereinfachend an, daß die Drehgeschwindigkeit ω [1/s] der Wälzgege innerhalb der Meßstrecke konstant ist.

Für die praktische Auswertung empfiehlt sich dieses Vorgehen jedoch nicht, da bei einer größeren Anzahl eingezeichneter Punkte die Darstellung zu unübersichtlich wird. Es bietet sich an, sämtliche Geschwindigkeitsvektoren nach Größe und Richtung von einem gemeinsamen, willkürlich wählbaren Ursprung O_i aus abzutragen. Die Spitzen dieser Vektoren beschreiben dann eine Kurve, die man einen Hodographen nennt, in diesem Fall also den Geschwindigkeitshodographen. Sinngemäß spricht man noch von dem Beschleunigungshodographen, während der Hodograph des Ortes die Bahnkurve selbst darstellt. Um nun Betrag und Richtung eines jeden Geschwindigkeitsvektors nicht einzeln berechnen zu müssen, wird im folgenden die allgemeine Gleichung des Hodographen für das gezogene Rad abgeleitet.

3.2.1. Ableitung des Hodographen

Legt man für das gezogene Rad bezüglich des Schlupfes Gl. (2) zugrunde, so wird die Bahnkurve eines Punktes durch folgende Koordinaten beschrieben.

$$x = r \left(\frac{\omega t}{1-\sigma} - \sin \omega t \right) \quad (3),$$

$$y = r (1 - \cos \omega t) \quad (4),$$

wobei r [m] der Radius des betrachteten Kreispunktes, ω [1/s] die Winkelgeschwindigkeit und t [s] die Zeit bedeuten.

Durch Ableitung nach der Zeit erhält man die Geschwindigkeit dieses Punktes mit dem Komponenten v_x und v_y :

$$v_x = r\omega \left(\frac{1}{1-\sigma} - \cos \omega t \right) \quad (5),$$

$$v_y = r\omega \sin \omega t \quad (6).$$

Durch Verknüpfen der Gleichungen (5) und (6) läßt sich der Hodograph der Geschwindigkeit ableiten:

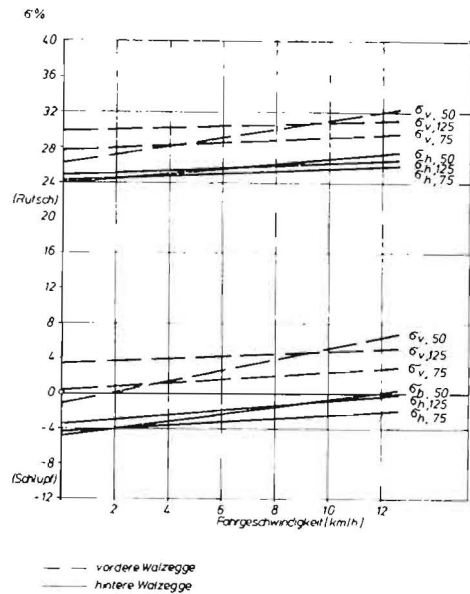


Bild 4: Rutsch/Schlupf-Verhalten des Zahnkrümlers
Boden A, 1970
(untere Geradenschar: $d_{\text{max}} = 270$ mm; obere Geradenschar: $d_{\text{min}} = 196$ mm)

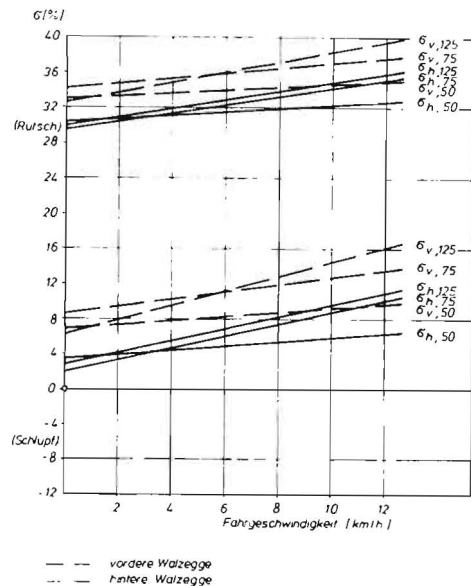


Bild 5: Rutsch/Schlupf-Verhalten des Schrägzinkenkrümlers
Boden A, 1970
(untere Geradenschar: $d_{\text{max}} = 250$ mm; obere Geradenschar: $d_{\text{min}} = 180$ mm)

$$v_x^2 + v_y^2 = r^2\omega^2 \left[\left(\frac{1}{1-\sigma} - \cos \omega t \right)^2 + \sin^2 \omega t \right]$$

$$v_x^2 - r^2\omega^2 \left(\frac{1}{1-\sigma} \right)^2 + 2r^2\omega^2 \frac{1}{1-\sigma} \cos \omega t + v_y^2 = r^2\omega^2$$

$$v_x^2 + r^2\omega^2 \left(\frac{1}{1-\sigma} \right)^2 - 2r\omega \underbrace{\left[\frac{1}{1-\sigma} - \cos \omega t \right]}_{v_x} \frac{r\omega}{1-\sigma} + v_y^2 = r^2\omega^2$$

$$\left(v_x - \frac{r\omega}{1-\sigma} \right)^2 + v_y^2 = r^2\omega^2$$

$$\left(v_x - b \right)^2 + v_y^2 = R^2 \quad (7)$$

$$\text{mit } b = \frac{r\omega}{1-\sigma}$$

$$R = r\omega$$

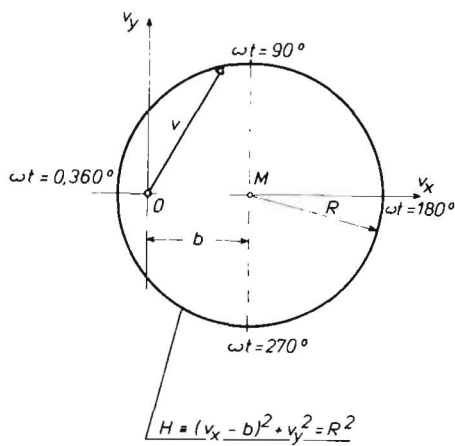


Bild 6: Kenngrößen des Geschwindigkeitshodographen

Demnach ist der Hodograph der Geschwindigkeit in dem v_x, v_y -Koordinatensystem ein Kreis mit dem Radius R , dessen Mittelpunkt auf der positiven v_x -Achse um b verschoben ist. Die Kenngrößen dieses Geschwindigkeitshodographen sind in Bild 6 zusammengestellt.

3.2.2. Die Meßergebnisse

Mit Hilfe von Gl. (7) werden im folgenden die Geschwindigkeitsverhältnisse an der Drahtwälzgege und an dem Schrägzinkenkrümmler untersucht. Hierzu soll nur der maximale Durchmesser der jeweils hinteren Wälzgege herangezogen werden, so daß die Zahlenwerte für b wie folgt zu erhalten sind:

$$r = \frac{1}{2} d_{\max} \text{ [m]},$$

$$\omega = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{I_{Kr}}{t} \text{ [s}^{-1}\text{]},$$

$$\text{mit } \omega = \frac{\pi n}{30}, \quad n = \frac{I_{Kr}}{t \cdot 4} \cdot 60,$$

wobei I_{Kr} die gemessene Impulszahl für die hintere Wälzgege (die verwendeten Drehzahlmesser zeigen für jede Umdrehung 4 Impulse I an) und t die gemessene Zeit [s] für die Meßstrecke von 25 m bedeuten.

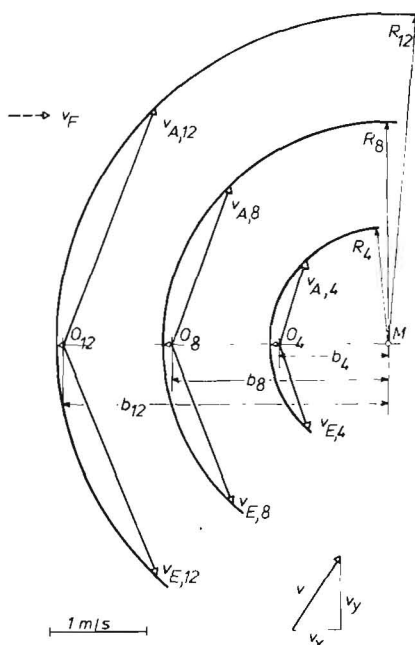


Bild 7: Hodographen der Drahtwälzgege (d_{\max}); $G = 50 \text{ kp}$

Die σ -Werte werden für drei ausgewählte Fahrgeschwindigkeiten $v_F = 4, 8, 12 \text{ km/h}$ den Bildern 3 und 5 entnommen, womit man drei Kreise zeichnen kann, deren Mittelpunkte in den gemeinsamen Punkt M gelegt wurden.

Die folgenden Abbildungen zeigen jeweils die wichtigsten Teile der erhaltenen Kreise. Diese beginnen zum Zeitpunkt des Eintauchens, zu dem ein Punkt der Wälzgege am Außendurchmesser die Geschwindigkeit $v_{E,i}$ [m/s] besitzt. Seine Geschwindigkeit wird dann rasch kleiner, bis schließlich am tiefsten Punkt bei Vorhandensein eines Rutsches eine der Fahrgeschwindigkeit v_F gleichgerichtete und im Falle von Schlupf eine entgegengesetzte kleine Geschwindigkeit für den Punkt verbleibt. Von da ab nimmt diese wieder rasch zu, was schließlich für die Krümelungswirkung von jenem Zeitpunkt ab ohne Interesse wird, nachdem das Auftauchen aus dem Boden mit $v_{A,i}$ [m/s] erreicht wurde.

Die Bilder 7 und 8 zeigen die Hodographen für die Drahtwälzgege, wenn sie einmal mit $G = 50 \text{ kp}$, zum anderen $G = 125 \text{ kp}$ belastet wird. Der Unterschied ist weniger in den Schlupfwerten als vielmehr in den Richtungen und Beträgen der ein- und auftauchenden Geschwindigkeitsvektoren zu sehen. Dies liegt natürlich bei allen Wälzgegen im wesentlichen an der unterschiedlichen Arbeitstiefe bei verschiedener Belastung.

Die Verhältnisse für den Schrägzinkenkrümmler sollen die Bilder 9 und 10 erläutern. Zunächst geht aus ihnen noch einmal deutlich hervor, daß im tiefsten Punkt der Bahnkurve eine Absolutgeschwindigkeit in Richtung v_F verbleibt, was die waagerechten in positive v_x -Richtung weisenden Vektoren — aus O_i kommend — deutlich machen. Für die Geschwindigkeiten beim Eintauchen in den Boden $v_{E,i}$ und beim Auftauchen $v_{A,i}$ macht sich das Fehlen von Querstäben bei der Schrägzinkenwälzgege bemerkbar. Ihre Vektoren schließen kleinere Winkel mit der v_x -Achse ein und sind deshalb dem Betrag nach auch größer. Bei gleicher Belastung verhindern die Drähte der Drahtwälzgege und die Zahnstangen des Zahnkrümlers ein so tiefes Einsinken in den Boden, wie es beim Schrägzinkenkrümmler zu beobachten ist.

Die Geschwindigkeitsverhältnisse sind bei den Wälzgegen in zweierlei Hinsicht von Bedeutung: die gewünschte — dünne oberste — Krümelnschicht besteht um so mehr aus feinen Aggregaten, je größer die Fahrgeschwindigkeit v_F gewählt war. Und zum zweiten hängt von ihnen die Feinheit des Saatbettes über der gesamten Arbeitstiefe ab. Die

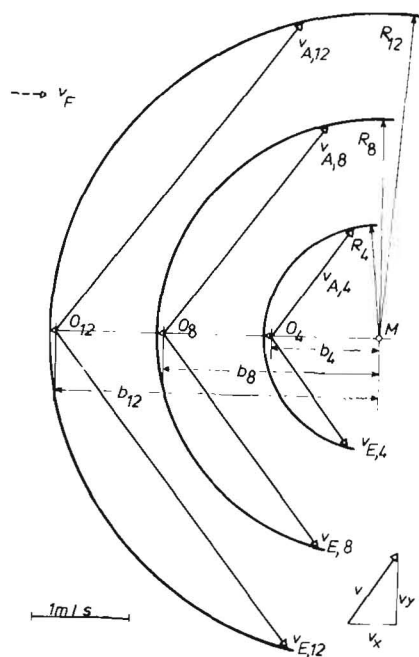


Bild 8: Hodographen der Drahtwälzgege (d_{\max}); $G = 125 \text{ kp}$

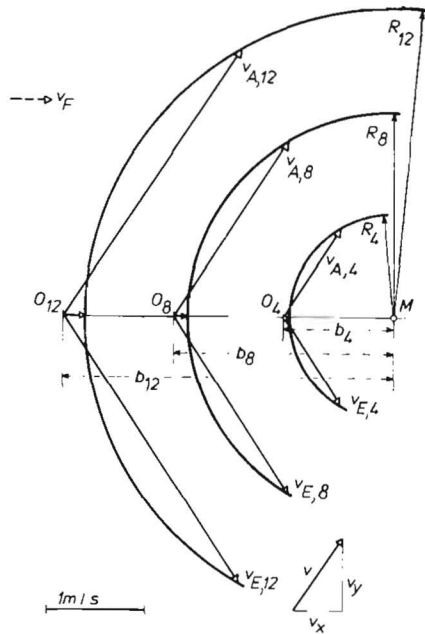


Bild 9: Hodographen des Schrägzinkenkrümlers (d_{max}); $G = 50 \text{ kp}$

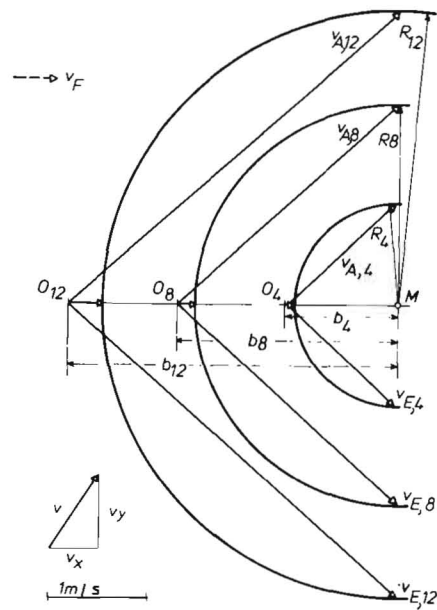


Bild 10: Hodographen des Schrägzinkenkrümlers (d_{max}); $G = 125 \text{ kp}$

beschriebenen Rutsch/Schlupf-Werte und Geschwindigkeitsverhältnisse sollen einen Einblick in die Funktion solcher Geräte geben. Es konnten dabei immer nur einzelne Punkte auf verschiedenen Durchmessern betrachtet werden. In Wirklichkeit wechseln an einer solchen rotierenden Egge die Bahnkurven, die Rutsch/Schlupf-Werte und auch die Beträge und Richtungen der Geschwindigkeitsvektoren andauernd. Zudem variieren die Radien — zumindest bei einigen Konstruktionen — sehr stark. Dadurch werden die Bahnkurven, deren Phasenverschiebungen und die Geschwindigkeitshodographen beeinflusst.

3.3. Die Krümelungswirkung

Der Vergleich der Krümelungswirkung erfolgt in Diagrammen, in denen auf der Abszisse die Krümelgrößen, wie sie durch bestimmte Maschenweiten verschiedener Siebe hindurchgehen, aufgetragen werden und der entsprechende Anteil der Krümel in Gewichtsprozent die Ordinatenbezeichnung darstellt. Die Anteile der Krümel $> 40 \text{ mm}$ sind in Säulendarstellung zusätzlich eingetragen.

Will man sich bezüglich der Krümelung nicht auf die teuren zapfwellenangetriebenen Geräte stützen, dann ist es besonders wichtig, einen Bodenzustand abzuspannen, bei dem auch die geringere Zerkleinerungsintensität gezogener Geräte noch ausreichend ist. In einer Saatbettkombination spielen die Vorlaufgeräte eine wichtige Rolle. In Bild 11 schneidet die Ackeregge — alleine gefahren — am schlechtesten und die Kombination aus Löfflegege und Zahnkrümmer am besten ab, weil diese praktisch keine Krümel $> 40 \text{ mm}$ zurückgelassen hat.

Auf gut krümelfähigem Boden nehmen mit höherer Fahr-geschwindigkeit die Anteile der Aggregate $< 2 \text{ mm}$ zu, die $> 40 \text{ mm}$ ab (Bild 12 und 13).

Die Parameter Belastung und Geschwindigkeit haben bei den verschiedenen Wälzegen unterschiedlichen Einfluß auf die Krümelung. Bei der Drahtwälzgege führen höhere Geschwindigkeiten nicht notwendigerweise auch zu feinerer Krümelung. Diese wird eher durch eine höhere Belastung der Wälzgege zu erreichen sein. Die gleiche Aussage trifft — sogar etwas ausgeprägter — für den Zahnkrümmer zu. Die Schrägzinkenwälzgege reagiert dagegen erst, wenn Belastung und Fahrgeschwindigkeit gesteigert werden. So eindeutig, wie die Summenkurven von Krümel-fractionen für den Spitzenspiralkrümmer den Einfluß von Fahrgeschwindigkeit und Belastung ausweisen (Bild 14), sind die Messungen für die anderen Wälzegen allerdings nicht immer.

3.4. Die Verdichtungswirkung

Hauptziel des Einsatzes von Wälzegen ist neben einer guten Krümelung das mechanische Absetzen des Bodenbereiches, auf den die Saat zu liegen kommt. Dies ist für die Wasserversorgung des Keimlings von besonderer Wichtigkeit.

Untersuchungen hierzu wurden nur für den Zahnkrümmer durchgeführt, wobei die verwendete Methode (Stechzylinder nach von NITZSCH) dazu zwang, eine Freilandbodenrinne zu benutzen. Ansonsten wären Ergebnisse nur bei enormer Steigerung des Aufwandes zu erzielen gewesen. Es wurden Bodenrinnen mit zwei verschiedenen Böden herangezogen. Beide wurden vor dem Krümelgang mit einem Eggenstrich aufgeraut. Auf dem Lößboden war ein Wassergehalt von 13,5 Gewichtsprozent zu wenig, als daß überhaupt eine setzende Wirkung erzielt werden konnte, obgleich das Ausgangsporenvolumen mit 47 Volumenprozent relativ hoch war. Die erhaltenen Werte für die Verminderung des Porenvolumens lagen innerhalb der Fehlergrenze des Streubereiches. Anders sind die Verhältnisse auf dem Tonboden. Das Ausgangsporenvolumen lag um etwa 8 % höher und der gewichtsprozentige Wassergehalt bei 17,5 %. Durch den Einsatz der Wälzegen trat in der Schicht von 5...10 cm unterhalb der Bearbeitungsgrenze eine Porenvolumen-Ver-

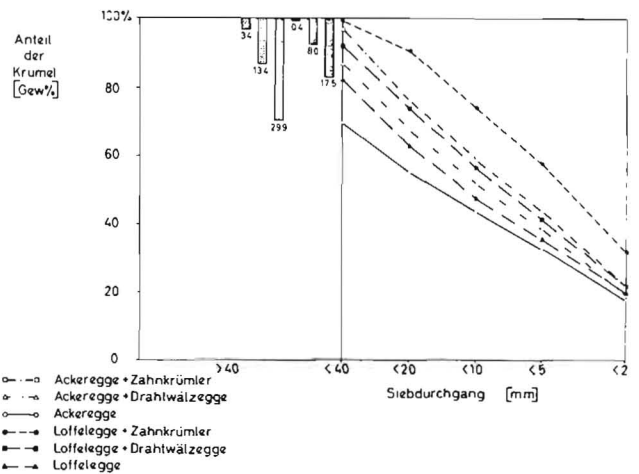


Bild 11: Summenkurven von Krümel-fractionen verschiedener Vor- und Nachlaufgeräte Boden B, 1969

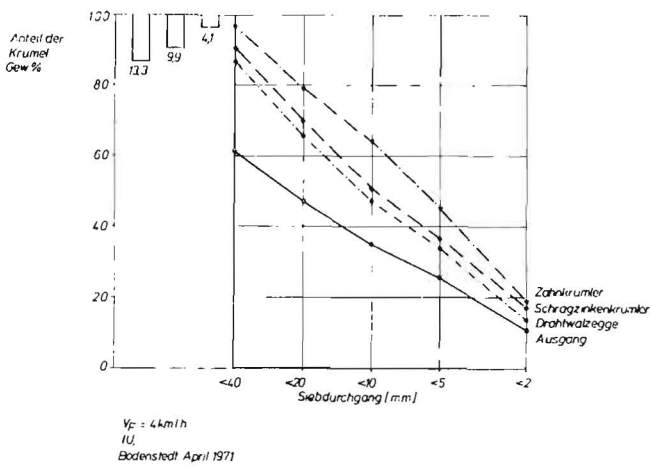


Bild 12: Siebanalyse für drei Wälzegen
Boden B, 1971; $v_F = 4$ km/h

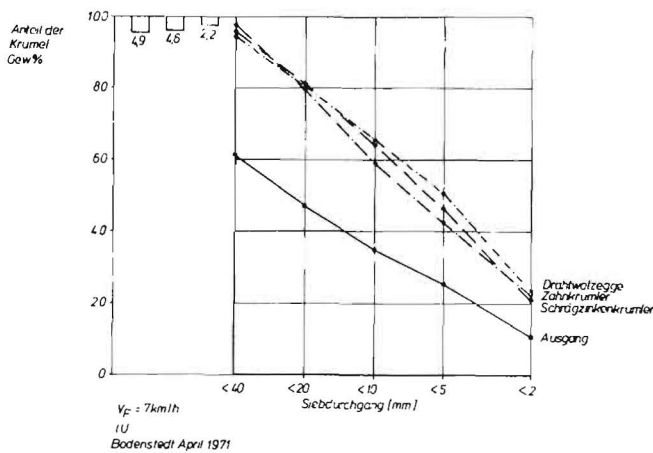


Bild 13: Siebanalyse für drei Wälzegen
Boden B, 1971; $v_F = 7$ km/h

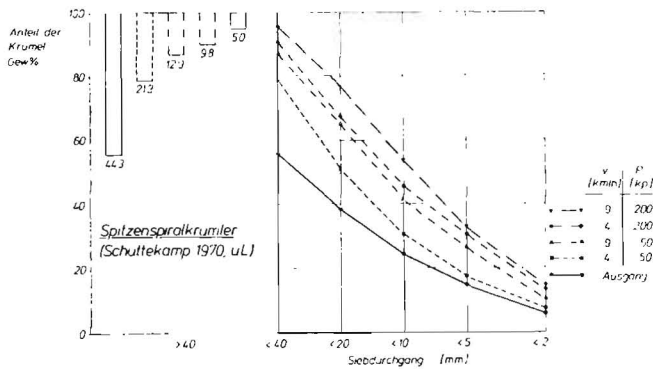


Bild 14: Siebanalyse für den Spitzenspiralkrümeler
Boden A, 1970

minderung von 5 bis 7,5 Volumenprozent ein, allerdings bei dem sehr hohen Ausgangsniveau von 55 Volumenprozent. Brachte man den Lößboden auf einen Feuchtigkeitsgehalt von 16,5 und den Tonboden auf einen solchen von 19,5 Gewichtsprozent, dann zeigte die Erhöhung der Belastung von 80 auf 200 kp für die gesamte Tandemanordnung eine stärkere Verdichtung bis in die Tiefe 10...15 cm.

Im Rahmen weiterer Untersuchungen wird der Messung dieses Arbeitseffektes stärkere Bedeutung zukommen, wobei insbesondere auch andere Methoden zu Hilfe genommen werden sollen.

3.5. Die Verbesserung der Bearbeitungsgrenze

Für ein gutes Saatbett gilt unter anderem die Forderung, daß die Grenzfläche zwischen dem Wurzelraum mit möglichst unzerstörtem Kapillarsystem und der darüberliegenden, gut gekrümelten und lockeren Schicht möglichst eben sein soll [3]. Zinkenabstand und Einstellung der Vorlaufgeräte spielen dabei eine wesentliche Rolle.

Im Boden unbearbeitete — also stehengebliebene — Stege können der Saat keine gleichmäßigen Wachstumsbedingungen schaffen, bieten dagegen dem Unkrautsamen Unterschlupf und lassen diesen ungestört wachsen. Ein zweiter Arbeitsgang, quer zu dem ersten gefahren, verbessert die Bearbeitungsgrenze; jedoch ist es nach eigenen Feststellungen schwierig, hierbei das Gerät auf exakt gleichem Tielgang zu halten. Meist läuft es tiefer, und somit entstehen neue Längsrillen im Saathorizont.

Wegen eines besseren Mischeffektes wurde in früheren Jahren oft eine frei laufende Egge gewünscht. Bild 15 gibt die Arbeit einer pendelnd laufenden Löfflegge wider, nachdem die Bearbeitungsgrenze mittels Prebluft freigelegt worden ist. So gesehen schneidet also das Gerät besonders schlecht ab. Wie die Nachläufer eine schlechte Bearbeitungsgrenze verbessern können, wird in Bild 16 für die Drahtwälzge, in Bild 17 für den Zahnkrümeler gezeigt. Bild 18 verdeutlicht den beträchtlichen Prozentsatz unbearbeiteten Bodens für diese beiden Wälzgentypen bei unterschiedlicher Einspannung. Dabei ist der Querschnitt [cm²] der stehengebliebenen Stege auf Arbeitsbreite × Arbeitstiefe [cm²] bezogen.

3.6. Der Zugleistungsbedarf

Die benötigte Zugleistung errechnet sich nach:

$$N_z = \frac{Z \cdot v}{270} \text{ [PS]} \quad (8)$$

mit Z [kp], v [km/h]

Der hydraulische Zugkraftmesser in Bild 2 gestattete die Aufnahme des Zugkraftbedarfs, der für jeweils ein Wälzgenpaar mit einer Arbeitsbreite $b = 1$ m gilt. In Bild 19 sind die erhaltenen Meßwerte für den Schrägzinkenkrümeler über der Fahrgeschwindigkeit aufgetragen. Diese Wälzge benötigte wegen ihres größeren Tiefgangs höhere Zugkräfte als alle anderen Geräte. Nimmt man als Verlauf des Zug-

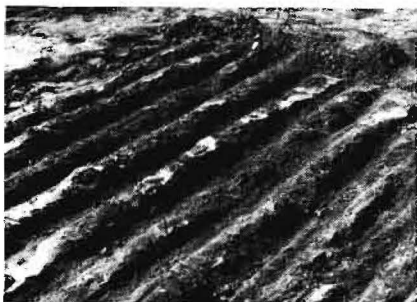


Bild 15: Freigelegte Bearbeitungsgrenze einer „pendelnden“ Egge
Boden B, 1969



Bild 16: Freigelegte Bearbeitungsgrenze nach Egge + Drahtwälzge
Boden B, 1969

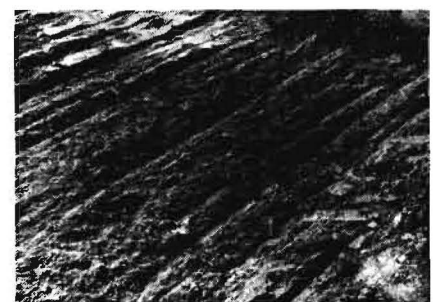


Bild 17: Freigelegte Bearbeitungsgrenze nach Egge + Zahnkrümeler
Boden B, 1969

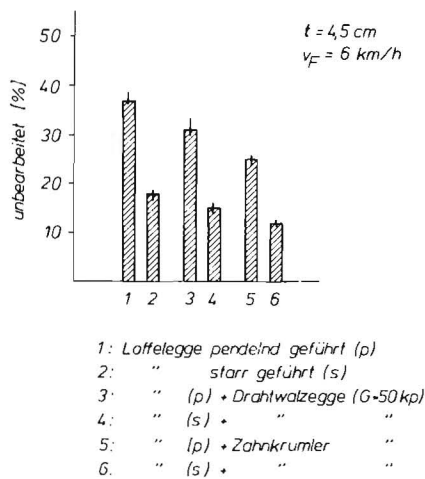


Bild 18: Profilschreibermessungen von Bearbeitungsgrenzen
Boden B, 1969; $t = 4,5 \text{ cm}$

widerstandes über der Fahrgeschwindigkeit eine Gerade an, um die sich die Meßwerte mit gewisser Streuung scharen, so lautet die Gleichung dafür

$$Z = a + b \cdot v \quad (9)$$

Aus den Gl. (8) und (9) erhält man:

$$N_Z = A \cdot v + B \cdot v^2 \quad (10)$$

Durch die mit Gl. (8) umgerechneten Meßwerte wird nun eine Kurve nach Gl. (10) so hindurchgelegt, daß die Summe der Quadrate aller Punkteabstände in y-Richtung zu der Kurve ein Minimum wird:

$$i_{(A,B)} = \sum_{i=1}^n (y_i - A \cdot x_i - B \cdot x_i^2)^2 = \min \quad (11)$$

Die beiden notwendigen Gleichungen für die unbekanntenen Koeffizienten A und B erhält man, indem die partiellen Ableitungen der Gl. (11) $\frac{\partial i}{\partial A}$ und $\frac{\partial i}{\partial B}$ gleich Null gesetzt werden.

Die folgenden Bilder zeigen die erhaltenen Kurven einschließlich der Meßwerte. Über der Fahrgeschwindigkeit ist die erforderliche Zugleistung für jeweils ein Wälzgegepaar aufgetragen, wobei nicht nur die Arbeitsbreite von 1 m Berücksichtigung fand, sondern für die Praxis das 3-m- und das 4-m-Gerät noch aufgenommen wurde. Hierzu wird angenommen, daß der Zugwiderstand mit der Arbeitsbreite linear ansteigt, wenn nur die Belastung G je laufendem Meter mit Hilfe der Dreipunkthydraulik des Schleppers gleichgehalten

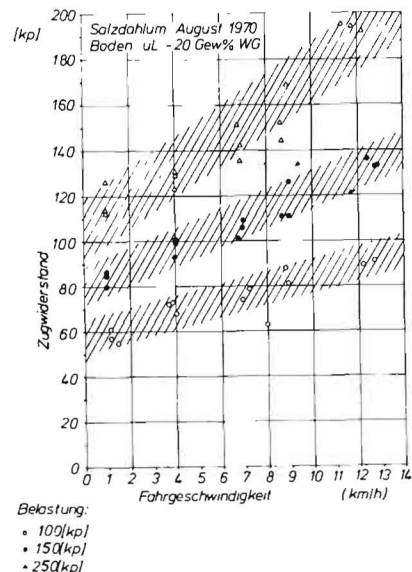


Bild 19: Zugwiderstand der Schrägzinkenkrümmer (Tandem)
Boden A, 1970; $b = 1 \text{ m}$; 20 Gewichtsprozent WG

wird. Die Drahtwälzgege und der Schrägzinkenkrümmer unterscheiden sich bezüglich des Zugleistungsbedarfs kaum (Bilder 20 und 22), während der Zahnkrümmer ein wenig tiefer liegt (Bild 21). Dies wird allerdings mit der witterungsbedingten Änderung des Bodenzustandes erklärt.

Für eine Saatbettkombination mit einer Arbeitsbreite von 4 m werden bei $v_F = 10 \text{ km/h}$ je nach Belastung etwa 12, 16 beziehungsweise 24 PS an Zugleistung für die Krümmer benötigt. Nach eigenen anderen Messungen heißt das, daß der Leistungsaufwand für die Wälzgegen in einem Tragrahmengerät bis zu einem Drittel des Gesamtleistungsbedarfs ausmachen kann.

4. Zusammenfassung

Gerade die Bodenbearbeitung stellt für den Landwirt eine echte Arbeitsspitze dar, weshalb Zugwiderstand- beziehungsweise Leistungsmessungen oft in den Vordergrund gerückt werden. Je mehr man aber um die Ansprüche der Kulturpflanze an den Boden weiß, um so lauter wird die Forderung, die Wirkung eines Gerätes während des Einsatzes genau zu studieren. Dies gilt auch für die Wälzgegen, die heute in modernen Saatbettkombinationen Verwendung finden.

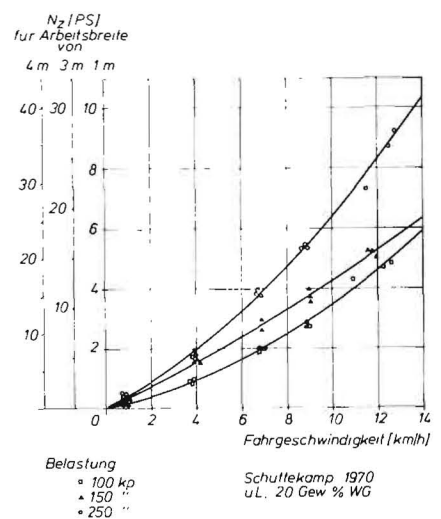
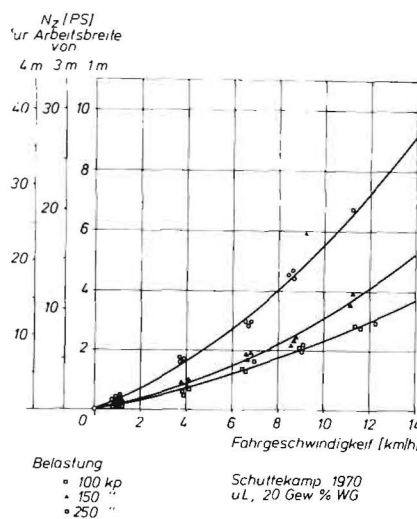
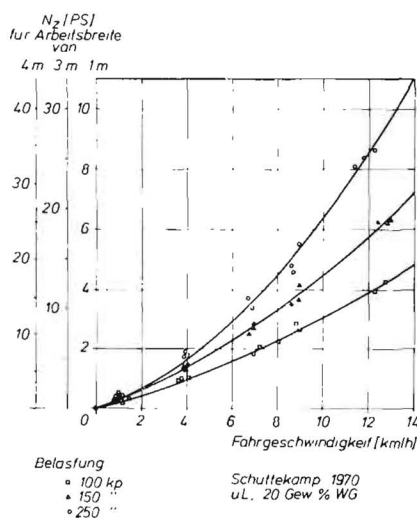


Bild 20: Zugleistung N_z für Drahtwälzgegen (Tandem)
Boden A, 1970; $b = 1 \text{ m}$; 20 Gewichtsprozent WG

Bild 21: Zugleistung N_z für Zahnkrümmer (Tandem)
Boden A, 1970; $b = 1 \text{ m}$; 20 Gewichtsprozent WG

Bild 22: Zugleistung N_z für Schrägzinkenkrümmer (Tandem)
Boden A, 1970; $b = 1 \text{ m}$; 20 Gewichtsprozent WG

Von ihnen ist eine Auswahl im Feldversuch eingesetzt worden, um sie bezüglich ihrer Arbeitseffekte zu vergleichen. Dabei wurde von dem Rutsch/Schlupf-Verhalten ausgegangen. Bei allen Wälzegen nehmen die σ -Werte mit Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit zu, wobei für alle Belastungsstufen die Werte der vorderen über denen der hinteren Wälzgege liegen. Die Geschwindigkeitsverhältnisse an diesen rotierenden Eggen sind mit Hilfe der sogenannten Hodographen dargestellt. Die Geschwindigkeitsvektoren sind mit Betrag und Richtung vom Zeitpunkt des Eintauchens bis zum Wiederauftauchen aus dem Boden abzulesen und zeigen, daß die Arbeitstiefe — neben Fahrgeschwindigkeit und Durchmesser — dafür die ausschlaggebende Rolle spielt. Von den Geschwindigkeitsverhältnissen wird die Intensität der Zerkleinerung am stärksten betroffen. Allerdings haben diese wie auch die Belastung bei den verschiedenen Wälz-

eggen unterschiedlichen Einfluß auf die Krümelung. Die Belastung muß dagegen bei allen Wälzegen dann möglichst hoch sein, wenn eine schlechte Bearbeitungsgrenze durch Egge oder Grubber hinterlassen wurde. Schließlich ist noch der Zugleistungsbedarf festgestellt worden, der von der Belastung der Wälzgege stark abhängt. Dagegen unterschied er sich für die eingesetzten Krümmler nur wenig.

5. Schrifttum

- [1] SÖHNE, W.: Der Arbeitsvorgang bei der Drahtwälzgege. Grundlagen der Landtechnik 19 (1964) S. 65—66
- [2] PAVLICS, F.: Bevameter 100. A new type of field apparatus for measuring locomotive stress-strain relationships in soil. In: Proc. of the 1st Int. Conf. on the Mechanics of Soil-Vehicle-Systems. Turin 1961, S. 331—361
- [3] FRESE, H.: Aktuelle Probleme der Bodenbearbeitung. Archiv der DLG Band 44 (1969) S. 53—73

Anwendungstechnische Untersuchungen mit Feingranulaten

Horst Göhlich und Theodorios Papatheodossiou

Institut für Landtechnik, TU Berlin

1. Die Verwendung von Granulaten

Die Verwendung von Granulaten im Teilchengrößenbereich zwischen 0,1 und 0,3 mm kann besonders bei der Applizierung von Pflanzenschutz-Wirkstoffen besondere Vorteile haben; kleine Aufwandmengen, gezielte Ablagerung und geringe Abdriftgefahr sind hier zu nennen. Bisher war dieser Teilchengrößenbereich in der Applikationstechnik unbekannt: entweder hatte man es mit Stäuben zu tun ($\phi < 0,1$ mm) oder mit gröberen Granulaten ($\phi > 0,3$ mm) für Kalkstickstoff und andere Mineraldünger.

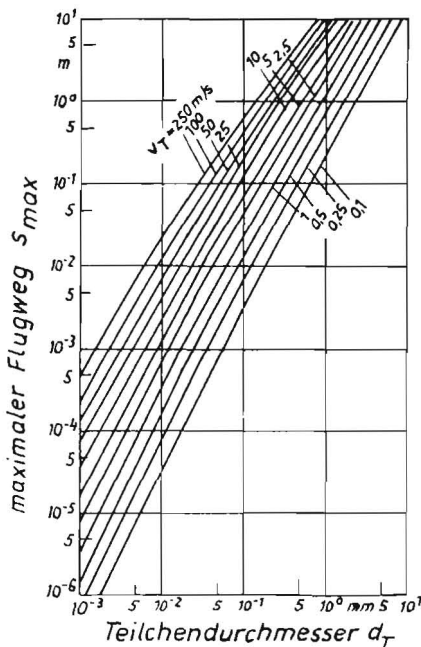


Bild 1: Abhängigkeit des maximalen Flugweges s_{max} kugelförmiger Teilchen von Teilchendurchmesser d_T beim Einschleifen mit verschiedenen Geschwindigkeiten v_T in ruhender Luft

nach BOHNET [2]
 $\rho_{Luft} = 1,2 \text{ kg/m}^3$
 $\rho_{Teilchen} = 1000 \text{ kg/m}^3$
 (Barometerstand: 760 Torr)
 $t_{Luft} = 20^\circ\text{C}$

Zur Kennzeichnung der Granulatformen bietet sich für den landwirtschaftlichen Bereich folgende Einteilung an:

2,0 ... 5,0 mm	Grobgranulat
0,3 ... 2,0 mm	Feingranulat
0,05 ... 0,2 mm	Feinst- oder Mikrogranulat

Nachdem wesentliche Fragen der Zuteilung (Dosierung) beim Ausfließen solcher Stoffe von KOHSIEK [1] untersucht sind, war es notwendig, Betrachtungen zur Verteilung insbesondere dieser neuartigen Fein- und Feinstgranulate anzustellen, wobei mit Aufwandmengen im Bereich zwischen 5 und 50 kg/ha gearbeitet wurde.

Aufgrund der Luftwiderstandsgesetze können die kleinen Teilchen nicht mit gleichen Verfahren und Geräten verteilt werden, wie sie bei den gröberen Teilchen (> 1 mm ϕ) angewendet werden. Die Abhängigkeit des maximalen Flugweges kugelförmiger Teilchen vom Teilchendurchmesser beim Einschleifen mit verschiedener Geschwindigkeit in ruhender Luft ist von BOHNET [2] dargestellt worden (Bild 1).

Wurfverteiler (Schleuderstreuer) oder ähnliche Geräte scheiden hiernach wegen der geringen Wurfweiten aus. Die sogenannten Kastenverteiler ergeben bei den kleinen Aufwandmengen Schwierigkeiten bei der gleichmäßigen Zuteilung. Auch Schub- oder Nockenrad-Dosierungen nach dem Prinzip der Sämaschinen sind wegen der erforderlichen Breitverteilung und der geringen Arbeitsbreiten nicht zweckmäßig. Nach einer im Institut für Landtechnik, Berlin, erfolgten Entwicklung eines speziellen Verteilgerätes mit Zellendosierung und pneumatischer Verteilung [3] erwies es sich als notwendig, die Gesetzmäßigkeiten des Zweiphasen-gemischtes Luft und Granulatteilchen im Durchmesser-Bereich von 0,05 bis 2 mm bei der Strömung näher zu untersuchen und hieraus Empfehlungen für eine pneumatische Verteilung unter diesen Voraussetzungen abzuleiten [4].

2. Der Verteilvorgang

Zunächst seien einige Betrachtungen zum Verteilvorgang vorausgeschickt. Ein Verteilgerät, das sich in Längsrichtung (Fahrtrichtung) bewegt, erzeugt über seine Arbeitsbreite eine bestimmte Dichteverteilung. Je nach Verteilsystem und Ausführung der Verteilelemente erhält man Verteilungs-