

# Einfluß der Arbeitsgeschwindigkeit und der Bodenfreiheit von Mineraldüngerstreuern und Pflanzenschutzmaschinen auf den Ertrag

Dr. agr. L. Hannusch, Institut für Düngungsforschung Leipzig – Potsdam der AdL der DDR  
 Dipl.-Agr.-Ing. O.-A. Lubadel, Institut für Getreideforschung Bernburg – Hadmersleben der AdL der DDR  
 Dr. agr. R. Frießleben, Institut für Kartoffelforschung Groß Lüsewitz der AdL der DDR  
 Dr. agr. E. Koschitzke, KDT, Institut für Rübenforschung Klein Wanzleben der AdL der DDR  
 Dr. agr. A. Jeske, KDT, Institut für Pflanzenschutzforschung Kleinmachnow der AdL der DDR

Bei der Erarbeitung von agrotechnischen Forderungen sind die für den Konstrukteur notwendigen maschinenbautechnischen Parameter nach Möglichkeit aus exakten wissenschaftlichen Untersuchungen abzuleiten. Naturwissenschaftlich begründete Parameter haben unter den gegenwärtigen Reproduktionsbedingungen für die Entwicklung neuer und die Vervollkommnung bestehender Maschinensysteme eine vorrangige Bedeutung. Da auf dem Gebiet der Anwendung von Agrochemikalien Untersuchungen über die Beziehungen zwischen den maschinenbautechnischen Parametern (z. B. Bodenfreiheit, Arbeitsgeschwindigkeit, Bodendruck und Arbeitsbreite) und dem Pflanzenertrag bisher fehlten, wurden auf der Grundlage eines gemeinsamen Versuchsprogramms verschiedener Institute der Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR in den Jahren 1979 bis 1982 spezifische Untersuchungen zu dieser Fragestellung durchgeführt. Die Anlage der Parzellenversuche mit den Fruchtarten Winterweizen, Wintergerste, Winterroggen, Kartoffeln und Zuckerrüben erfolgte als drei- und teilweise als zweifaktorielle Streifenpaltanlage. Untersucht wurden beim Getreide die Faktoren Feekes-Stadium, Bodenfreiheit und Arbeitsgeschwindigkeit, bei Kartoffeln die Faktoren Bodenfreiheit, Arbeitsgeschwindigkeit und Maschineneinfluß, bei Zuckerrüben die Faktoren Arbeitsgeschwindigkeit und Bodenfreiheit. Bei der Versuchsdurchführung wurden folgende Arbeitsgänge imitiert:

- Getreide (4 Arbeitsgänge)**
- Applikation von Wachstumsregulatoren
  - 2. N-Gabe
  - Mehлтаubekämpfung
  - 3. N-Gabe

- Kartoffeln (7 Arbeitsgänge)**
- Herbizidapplikation
  - 5 × Phytophthorabekämpfung
  - Krautabtötung

## Zuckerrüben (4 Arbeitsgänge)

- Herbizidapplikation
- Schädlingsbekämpfung
- N-Düngung
- Schädlingsbekämpfung.

Die Versuchsmaschine hatte einen besonders geformten, glatten Unterboden, der nach vorn stumpfwinklig weitergezogen wurde, so daß alle in Fahrtrichtung auftretenden Pflanzen nicht plötzlich, sondern kontinuierlich auf die fahrzeugbedingte Bodenfreiheit gedrückt worden sind (Bild 1).

Die Bodenfreiheit wurde in den Stufen 350, 500, 650 und 800 mm und die Arbeitsgeschwindigkeit in den Stufen 6, 16 und 26 km/h untersucht.

## Ergebnisse der Untersuchungen

### Einfluß der Arbeitsgeschwindigkeit und der Bodenfreiheit auf den Ertrag von Getreide

Bei der Bonitur des Getreides wurden verschiedene Beschädigungsarten durch die landtechnischen Arbeitsmittel im Achsenbereich ermittelt. Dabei zeigte sich, daß die einzelnen Getreidearten unterschiedlich auf die mechanischen Belastungen im Halm- und Ährenbereich reagieren. Als wesentlichste Wirkungen von Arbeitsgeschwindigkeit und Bodenfreiheit auf den Pflanzenbestand ergeben sich:

- Abreißen der oberen Halme im interkalaren Bereich des letzten Halmknotens (typisch bei Winterweizen)
- Quetschungen des oberen Halmbereichs mit späterem Abknicken der Ähren (typisch bei Wintergerste)
- Abreißen von ganzen Ähren und teilweises Herausschlagen von Ährenabschnitten (bei allen Getreidearten beobachtet).

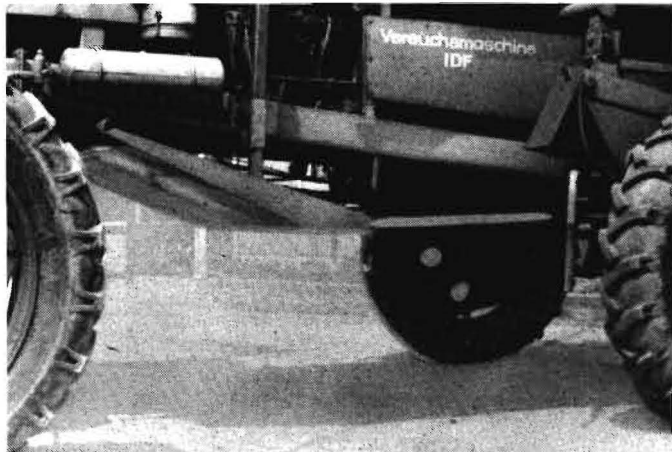
Die Untersuchungen zum Einfluß der Bodenfreiheit auf den Ertrag ergaben bei Winterweizen, Winterroggen und Wintergerste un-

terschiedliche Ergebnisse (Tafel 1). Während bei Wintergerste mit zunehmender Bodenfreiheit gesicherte Mehrerträge nachgewiesen werden konnten, reagierte Winterweizen kaum, und Winterroggen zeigte eine abnehmende Ertragstendenz, so daß sich hieraus Zusammenhänge zur größeren Bestandsgröße ableiten lassen. Bei Fahrten in einem frühen Entwicklungsstadium (Feekes-Stadium 10 bis 12) reagieren die Pflanzen wesentlich empfindlicher auf die Bodenfreiheit und die Arbeitsgeschwindigkeit, als in einem späteren Entwicklungsstadium (Feekes 15 bis 16). Wahrscheinlich haben die Pflanzen aufgrund der noch nicht abgeschlossenen Ligninbildung in einem frühen Entwicklungsstadium eine sehr geringe Widerstandskraft gegen mechanische Beschädigungen. Bei Wintergerste und Winterweizen waren die Ertragsdifferenzen signifikant, bei Winterroggen ist ein deutlicher Trend erkennbar.

Mit einer unterschiedlichen Arbeitsgeschwindigkeit konnte im Durchschnitt der Jahre 1980 bis 1982 bei Wintergerste und Winterweizen kein statistisch gesicherter Ertragsunterschied ermittelt werden. Auch ein Vergleich der einzelnen Jahre ergibt nur im Jahr 1981 eine statistisch gesicherte Differenz bei Wintergerste zwischen 6 und 16 km/h, jedoch nicht zwischen 6 und 26 km/h, so daß die Wirkung anderer Einflüsse nicht ausgeschlossen werden kann. Zu gleichen Ergebnissen führten die Untersuchungen bei Winterweizen.

Von allen untersuchten Getreidearten reagiert Winterroggen am deutlichsten mit einem abnehmenden Ertrag bei zunehmender Arbeitsgeschwindigkeit. Dieser Trend ist in allen Versuchsjahren nachzuweisen, wobei jedoch nur die Differenz zwischen 6 und 26 km/h statistisch gesichert ist.

Zusammenfassend ergibt sich, daß eine Bodenfreiheit > 350 mm offensichtlich nur bei



◀ Bild 1. Unterboden der Versuchsmaschine

Tafel 1. Einfluß von Arbeitsgeschwindigkeit, Bodenfreiheit und Befahrtermin auf den Ertrag von Wintergerste, Winterroggen und Winterweizen im Durchschnitt der Jahre 1980 bis 1982 (Standorteinheit Lö 1a)

Fruchtart	Feekes-Stadium		Bodenfreiheit in mm			Arbeitsgeschwindigkeit in km/h		
	10 bis 12	15 bis 16	350	500	650	6	16	26
Wintergerste								
dt/ha	40,1	45,8 <sup>1)</sup>	41,8	42,7	44,3 <sup>1)</sup>	42,6	43,7	42,6
GD 5 %		0,9			1,4			2,0
Winterroggen								
dt/ha	47,1	48,8	49,9	47,4	46,5 <sup>1)</sup>	49,6	48,5	46,6 <sup>1)</sup>
GD 5 %		1,8			3,3			2,9
Winterweizen								
dt/ha	65,1	68,4 <sup>1)</sup>	67,1	67,1	66,1	67,1	66,7	66,7
GD 5 %		1,7			2,0			2,0

1) Signifikanz

Bodenfreiheit mm	1980		1981		1980/81 ( $\bar{x}$ )	
	a	b	a	b	a	b
350	401	483	337	330	369	406
500	406	511	286	324	346	417
650	400	503	339	348	370	425
800	414	499	347	337	380	418
GD 5 %	29		30			
Arbeitsgeschwindigkeit km/h						
6	404	495	329	337	366	412
16	409	505	325	339	367	421
26	404	497	328	329	366	413
GD 5 %	23		24			

Wintergerste eine ertragserhöhende Wirkung hat. Der gesicherte Mehrertrag bei Wintergerste darf jedoch nicht überschätzt werden. Der Einsatz einer Maschine mit einer Bodenfreiheit von 650 mm führt bei einer Nennspurweite von 1500 mm im Vergleich zu einer Maschine mit einer Bodenfreiheit von 350 mm bei einer Arbeitsbreite von 12 m zu einem Mehrertrag von 0,3 dt/ha und bei einer Arbeitsbreite von 18 m zu einem Mehrertrag von 0,2 dt/ha. Diese geringen Mehrerträge rechtfertigen nach dem derzeitigen Stand deshalb nicht die Entwicklung und Produktion von Spezialmaschinen mit Portalachsen. Ein Vergleich zwischen der besonderen Form des Unterbodens der Versuchsmaschine mit dem eines Traktors ergab, daß die konstruktive Gestaltung des Unterbodens einen erheblichen Einfluß auf den Beschädigungsgrad der Pflanzen ausübt. Mit einjährigen Versuchen wurde nachgewiesen, daß bei den in der Praxis nutzbaren Arbeitsgeschwindigkeiten von 10 bis 12 km/h ein glatter Unterboden am Traktor MTS-80 zu einem Mehrertrag bei Winterweizen von 0,2 bis 0,4 dt/ha führt.

Begrenzungen der Arbeitsgeschwindigkeit ergeben sich nach den vorliegenden Untersuchungen weniger aus der Sicht der Pflanze, sondern vielmehr aus ergonomischen Gründen (12 km/h als oberste Grenze der Arbeitsgeschwindigkeit bei Traktoren) und aus den Zusammenhängen zur Arbeitsqualität (16 km/h als oberste Grenze der Arbeitsgeschwindigkeit bei LKW).

Tafel 3. Zuckerrübenenertrag in dt/ha in Abhängigkeit von Arbeitsgeschwindigkeit und Bodenfreiheit (Standorteinheit Lö 1)

Bodenfreiheit mm	Spurbahn-nutzung	1979 Reihe				1980 Reihe				1981 Reihe			
		A	B	C	B/C ( $\bar{x}$ )	A	B	C	B/C ( $\bar{x}$ )	A	B	C	B/C ( $\bar{x}$ )
350	ohne	419	467	410	439	355	445	428	437	306	605	615	610
500	ohne	423	477	390	434	—	—	—	—	430	590	611	601
350	mit	566	444	425	435	588	411	428	420	679	555	—	—
500	mit	—	—	—	—	—	—	—	—	735	488	614	551
Arbeitsgeschwindigkeit km/h													
6	ohne	418	481	385	433	—	—	—	—	—	—	—	—
12	ohne	422	482	407	445	342	470	428	449	—	—	—	—
18	ohne	423	454	406	430	368	419	428	424	531	546	607	507
26	mit	566	444	425	435	—	—	—	—	543	573	620	597

Tafel 2  
Knollengesamtertrag in dt/ha in Abhängigkeit von Bodenfreiheit und Arbeitsgeschwindigkeit in durch Bodendruck (a) und durch Bodenfreiheit (b) beeinflussten Reihen (Bodendruck 0,1 MPa, Standorteinheit Lö 2)

fällig. Der Ertragsanteil in der Fraktion > 60 mm ergab keine Beziehungen zur Bodenfreiheit. Durch eine unterschiedliche Arbeitsgeschwindigkeit wurde keine Fraktion im Ertragszuwachs beeinflusst. Die Untersuchungen ergaben, daß in radspurbeeinflussten Reihen 10 % Minderertrag gegenüber unterbodenbeeinflussten Reihen zu erwarten ist (Tafel 2, vgl. a und b). Unter feuchten Bodenbedingungen können diese Ertragsverluste bis 20 % betragen. Hervorgehoben werden diese Ertragsminderungen durch Bodenverdichtungen und Pflanzenbeschädigungen während der Durchfahrt. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, die bei der Pflanzung und Pflege angelegten Fahrspuren auch für die Durchfahrten der Pflanzenschutzmaschine zu nutzen und Arbeiten im wachsenden Bestand nur bei optimaler Bodenfeuchte durchzuführen.

Untersuchungen über den Einfluß des Fahrens mit der Versuchsmaschine auf die äußere Qualität der Kartoffeln ergab, daß unterschiedliche Arbeitsgeschwindigkeiten und Stufen der Bodenfreiheit keinen signifikanten Einfluß auf den Anteil ergrünter, deformierter und beschädigter Knollen haben. Der Anteil ergrünter Knollen im Erntegut schwankte in den einzelnen Jahren zwischen 0,2 und 9,9 %. Weder bei Kurzzeit- noch bei Langzeitlagerungen konnten Unterschiede zwischen den Varianten festgestellt werden. Die Untersuchungen zur Augenstecklingsprüfung ergaben keine eindeutige Aussage über eine mögliche mechanische Virusübertragung. Es wurden mit X-Virus verseuchte Knollen der Sorten 'Jubel', 'Sabine', 'Feldeslohn' und 'Eigenheimer' zwischen den Wiederholungen gepflanzt, die die gleiche Wuchshöhe wie die geprüften Sorten 'Arkula' und 'Adretta' hatten. Die Untersuchungsergebnisse zeigten, daß beim Blattrollvirus und leichtem Mosaik bei geringer werdender Bodenfreiheit keine Zunahme der Viruskrankheiten auftrat. Auch bei den zusätzlich untersuchten Viruskrankheiten (schweres Mosaik, X-, Y- und M-Virus) konnten keine Beziehungen zwischen der Bodenfreiheit und dem Krankheitsbefall festgestellt werden.

Einfluß von Arbeitsgeschwindigkeit und Bodenfreiheit auf den Ertrag von Zuckerrüben

Da in geschlossenen Rübenbeständen nur noch Arbeitsgeschwindigkeiten zwischen 8 km/h und 10 km/h gefahren werden können, machte sich zur Untersuchung von größeren Arbeitsgeschwindigkeiten die Anlage einer Variante „mit Spurbahn“ (2 x 90-cm-Spurbahn) erforderlich. Bezogen auf eine Arbeitsbreite von 18 m wurden keine signifikanten Ertragsunterschiede zwischen den Varianten „Spurbahn“ und „Zwischenreihen-fahren“ festgestellt. Der Rübenenertrag lag auf den unmittelbar beeinflussten Reihen A (neben dem Rad) der Varianten ohne Spurbahn signifikant unter dem der relativ unbeeinflussten Nachbarreihen B und C. Zurückzuführen ist diese Ertragsdepression auf die Wirkung des Raddrucks und auf die Beschädigung der Rüben beim Durchfahren des Bestands. Der Minderertrag auf den Reihen A basiert auf geringeren Einzelrübenmassen und nicht auf einer Minderung des Pflanzenbestands in der Reihe. Bezogen auf eine Arbeitsbreite von 18 m übten die Arbeitsgeschwindigkeit und die Bodenfreiheit keinen signifikanten Einfluß auf den Zuckerrübenenertrag aus.

Eine signifikante Ertragsdifferenz würde bei der Variante „Spurbahn“ zwischen der Reihe A und den anderen Reihen unabhängig von Arbeitsgeschwindigkeit und Bodenfreiheit festgestellt. Damit wurde durch die Spurbahnreihe gegenüber den unbeeinflussten Reihen ein Ertragsausgleich für die fehlende Reihe der Spurbahn von etwa 60 bis 80 % erreicht (Tafel 3).

Aus den Analysen des Saccharosegehalts und des Gehalts an löslicher Asche ist keine Abhängigkeit von den Prüffaktoren zu erkennen.

### Schlußfolgerungen

Aus den vorliegenden Untersuchungsergebnissen können folgende Schlußfolgerungen gezogen werden:

- Die geforderte Bodenfreiheit  $\geq 600$  mm für Maschinen, die in wachsenden Pflanzenbeständen arbeiten, kann für die Fruchtarten Winterweizen, Winterroggen, Kartoffeln und Zuckerrüben nicht bestätigt werden. Die vorhandenen Maschinen mit einer Bodenfreiheit  $\geq 350$  mm können

auch weiterhin eingesetzt werden, da keine wesentliche Ertragsbeeinflussung nachzuweisen war. Notwendig ist jedoch die Nachrüstung mit einem glatten Unterboden. Bei Neuentwicklungen ist dieser Aspekt in die agrotechnischen Forderungen einzuarbeiten.

- Unter Berücksichtigung des verwendeten Unterbodens ergibt sich, daß die Fruchtarten Wintergerste, Winterweizen, Kartoffeln und Zuckerrüben mit Spurbahn bei einem Zuwachs der Arbeitsgeschwindigkeit bis 26 km/h nicht mit Mindererträgen reagieren. Die Nutzung dieser Arbeitsgeschwindigkeit ist jedoch aus mehreren Gründen für Düngungs- und Pflanzenschutzmaßnahmen mit dem z. Z. vorhandenen Maschinensystem nicht möglich (Ergonomie, Einfluß auf Arbeitsqualität, fehlende Kontroll- und Meßeinrichtungen).

### Zusammenfassung

In den Jahren 1979 bis 1982 wurden mit den Fruchtarten Wintergerste, Winterweizen,

Winterroggen, Kartoffeln und Zuckerrüben Parzellenversuche über die Wirkung von Arbeitsgeschwindigkeit (6, 16, 26 km/h) und Bodenfreiheit (350, 500, 650 bzw. 800 mm) auf Ertrag und teilweise Produktqualität durchgeführt.

Bei zunehmender Bodenfreiheit reagierte nur Wintergerste mit einem signifikanten Mehrertrag. Winterroggen zeigte einen signifikanten und Winterweizen einen in der Tendenz angedeuteten Ertragsabfall mit steigender Bodenfreiheit. Bei den Getreidearten reagierte nur Winterroggen mit einer statistisch gesicherten negativen Ertragsdifferenz bei zunehmender Arbeitsgeschwindigkeit. Mit unterschiedlichen Stufen der Arbeitsgeschwindigkeit und der Bodenfreiheit konnten bei Kartoffeln und Zuckerrüben keine eindeutigen Einflüsse ermittelt werden. Begrenzungen ergeben sich beim Traktor aus ergonomischen Gründen (12 km/h) und beim LKW aus den Zusammenhängen zur Arbeitsqualität (16 km/h). Für alle in wachsenden Beständen fahrenden Arbeitsmaschinen ist ein glatter Unterboden erforderlich. A 4049

## Auswirkungen der physikalischen Eigenschaften der Mineraldünger auf Gestaltung und Effektivität der Applikationsverfahren

Dr. sc. K. Kämpfe/Dr. J. Lippert/Dr. H. J. Jäschke, KDT  
Institut für Düngungsforschung Leipzig – Potsdam der AdL der DDR

Mit der erheblichen Verteuerung von Energieträgern und Rohstoffen ergibt sich auch für den Einsatz von Mineraldüngern die Forderung, vor einer weiteren Erhöhung des Einsatzes von Produktionsmitteln alle erschließbaren Reserven zu nutzen. Im Mittelpunkt steht dabei vor allem die Verbesserung des Aufwand-Nutzen-Verhältnisses durch einen effektiveren und ertragswirksameren Fondseinsatz. Bei der Erschließung der Reserven sind neben der weiteren Präzisierung der Düngungsempfehlungen sowohl die Verbesserung der physikalischen Eigenschaften der Mineraldünger durch die chemische Industrie als auch die Vervollkommnung der Maschinen für die Ausbringung durch die Landmaschinenindustrie, aber auch eine effektivere Gestaltung der Verfahren der Mineraldüngung durch die agrochemischen Zentren (ACZ) und LPG einzubeziehen. Von diesen drei Faktoren wird die Wirkung aller einzusetzenden Mineraldünger wesentlich mitbestimmt. Dabei ist jedoch auch zu berücksichtigen, daß zwischen den physikalischen Eigenschaften, der technisch-funktionellen Auslegung der Mineraldüngerstreuer und der Streugenaugigkeit, der Verfahrensleistung, dem Kraftstoffeinsatz, der erzielbaren Arbeitsbreite bei der Applikation und der damit notwendigen Befahrdichte der Böden enge Wechselbeziehungen bestehen.

Bei der Bewertung der Mineraldünger nach ihrem Gebrauchswert ist aus der Sicht der Landwirtschaft besonders von zwei Faktoren auszugehen:

### Nährstoffgehalt der Mineraldünger

Je höher der Nährstoffgehalt der Mineraldünger ist, desto niedriger sind die für die Prozesse Transport, Umschlag, Lagerung und Applikation notwendigen materiellen Aufwendungen je Nährstoffeinheit. Andererseits ergibt sich daraus die Forderung, daß hochkonzentrierte Mineraldünger, die in geringeren Ausbringungsmengen – teilweise unter 100 kg/ha – zu verabreichen sind, mit einer sehr hohen Streugenaugigkeit ausgebracht werden müssen. Der Einfluß des Nährstoffgehalts auf die Verfahrensleistung und den DK-Bedarf bei Transport und Applikation wurde am Beispiel von N-Düngern untersucht. Die Ergebnisse sind in Tafel 1 dargestellt. Um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten, mußte eine einheitliche Arbeitsbreite von 9 m unterstellt werden. Die Ausbringungsmengen schwankten bei 100 kg Reinnährstoff zwischen 220 und 470 kg/ha. Dies wirkt sich auf die Verfahrensparameter aus. Während z. B. eine Erhöhung des Stickstoffgehalts von 21 auf 28 % zu einer Zunahme der Verfahrensleistung um rd. 16 % führt, verringern sich die Verfahrenskosten um rd. 17 % und der DK-Verbrauch um rd. 13 %. Aufgrund dieser Ergebnisse wird deutlich, daß die Landwirtschaft bestrebt ist, Mineraldünger mit relativ hohen Nährstoffkonzentrationen einzusetzen.

### Technologische Eignung der Mineraldünger

Die technologische Eignung bestimmt die Verfahrensleistung, die Höhe der entstehenden Verfahrenskosten und den Energieverbrauch in den Verfahrensabschnitten Trans-

port, Umschlag, Lagerung und Ausbringung. Darüber hinaus beeinflussen die physikalischen Eigenschaften der Mineraldünger die Arbeitsbedingungen und den Umweltschutz. Die technologische Eignung der Mineraldünger wird im wesentlichen durch die Korngrößenzusammensetzung, die Kornfestigkeit, das Fließverhalten und die Entmischungsneigung charakterisiert.

Nachfolgend sollen die Beziehungen zwischen den wesentlichen physikalischen Eigenschaften ausgewählter Mineraldünger und der Verfahrensgestaltung einschließlich des Energiebedarfs analysiert werden.

### Einfluß der physikalischen Eigenschaften der Stickstoffdünger auf die Verfahrensparameter bei der Applikation

Da der Stickstoff ein Hauptfaktor bei der Ertragsbildung und Ertragssteigerung ist, muß

Tafel 1. Einfluß des Nährstoffgehalts auf Verfahrensleistung, Verfahrenskosten und DK-Verbrauch beim Transport und bei der Applikation mit dem LKW-Streuaufsatz D 035 ( $b_a = 9$  m)

Parameter		Nährstoffgehalt in %		
		21	28	46
N-Gabe	kg/ha	100	100	100
Ware	kg/ha	470	360	220
Verfahrensleistung				
in $T_{06}$	rel.	100	116	122
Verfahrenskosten	rel.	100	83	72
DK-Verbrauch	rel.	100	87	79