

Schlaggestaltung – kostensenkend und bodenschonend

Joachim Brunotte, Norbert Fröba

KTBL-Schrift 460



Autoren

PD Dr. sc. agr. Joachim Brunotte
Institut für Betriebstechnik und Bauforschung der FAL
Bundesallee 50 | 38116 Braunschweig

Dr.-Ing. Norbert Fröba
Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL)
Bartningstraße 49 | 64289 Darmstadt

Projektbetreuung

KTBL-Arbeitsgruppe "Optimale Schlaglängen":
PD Dr. sc. agr. Joachim Brunotte | Institut für Betriebstechnik und Bauforschung
der FAL, Braunschweig
Dr. Joachim Degner | Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena
Dr. Waldemar Gruber | Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Bonn
Dr. habil. Andreas Herrmann | VDI-MEG, Düsseldorf
Dr. Eberhard Nacke | Claas CSE, Harsewinkel
Dr. Rolf Peters | Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Versuchsstation Dethlingen
Dr. Reinhold Roth, Müncheberg | vormals ZALF Müncheberg
Klaus Seidel, Braunschweig | vormals ZALF Müncheberg

Für Entscheidungen, die auf Basis der Angaben in dieser Schrift getroffen werden und deren Folgen, schließt das KTBL jegliche Haftung aus.

© 2007

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL)
Bartningstraße 49 | 64289 Darmstadt
Telefon 06151 7001-0 | Fax 06151 7001-123
E-Mail: ktbl@ktbl.de | www.ktbl.de

Alle Rechte vorbehalten. Die Verwendung von Texten und Bildern, auch auszugsweise, ist ohne Zustimmung des KTBL urheberrechtswidrig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigung, Übersetzung, Mikroverfilmung sowie die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Herausgegeben mit Förderung des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) | Bonn

Lektorat
Christine Weidenweber | Weibersbrunn

Redaktion
Monika Pikart-Müller | KTBL

Titelfoto
Dr.-Ing. Norbert Fröba | KTBL

Vertrieb
KTBL | Darmstadt

Druck
Druckerei Lokay | Reinheim

Printed in Germany
ISBN 978-3-939371-47-2

Vorwort

In den deutschen Agrarregionen sind die Längen und Breiten landwirtschaftlicher Flächen durch die oft alten Flurstücksgrenzen, aber auch durch natürliche Begrenzungen wie Hecken und Gräben festgelegt. Bei zu kleinen Flächen entstehen hohe Bewirtschaftungskosten; daher war und ist es Zweck der Flurbereinigung, durch Flächenzusammenlegung Arbeitserleichterungen und Kostensenkungen zu ermöglichen. Im Wege des anhaltenden Strukturwandels, des Kostendrucks und der Verfügbarkeit immer leistungstärkerer Maschinen und Geräte sind die landwirtschaftlichen Unternehmerinnen und Unternehmer heute bestrebt, insbesondere die Ackerflächen zu vergrößern. In Ostdeutschland kam es bereits in der Vergangenheit zur Bildung großer Schläge. Hier zeigt sich vor allem bei Ernteverfahren, dass der kombinierte Einsatz mehrerer Maschinen und die Flächengrößen aufeinander abgestimmt werden müssen, um nicht durch Stillstand und Leerfahrten Kostenvorteile zu verlieren. Das ist eine komplexe Aufgabe. Die damit einhergehende Energieeinsparung hat zwar Bedeutung für die Wettbewerbsfähigkeit, aber es geht nicht nur um ökonomische Aspekte: Den Zielen einer nachhaltigen Landbewirtschaftung entsprechend ist auch dem vorsorgenden Bodenschutz gedient, wenn die Befahrung der Böden mit schweren Maschinen soweit wie möglich reduziert wird. Dies setzt der weiteren Zunahme der Schlaglängen Grenzen. Optimale Schlaggrößen tragen zum Bodenschutz bei und helfen, den Kraftstoffverbrauch zu verringern, was heute auch unter Klimaschutzgesichtspunkten positiv zu werten ist. Deshalb hat dieses Thema eine hohe Aktualität.

Das Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL) hat die anspruchsvolle Aufgabe übernommen, unter Beteiligung namhafter Experten den derzeitigen Erkenntnisstand zusammenzustellen und daraus praxisgerechte Handlungsempfehlungen für die Schlaggestaltung und Arbeitsverfahren abzuleiten. Hierfür danke ich dem KTBL und wünsche der Publikation eine breite Aufmerksamkeit.

Bundesministerium für Ernährung,
Landwirtschaft und Verbraucherschutz

DR. JÖRG WENDISCH
Ministerialdirektor

Inhalt

1	Einleitung und Aufgabenstellung.	9
2	Sachstand	12
2.1	Einfluss der Schlaggestaltung auf die Rentabilität von Arbeitsverfahren	12
2.1.1	Zusammensetzung der Gesamtkosten.	12
2.1.2	Einfluss der Schlaglänge und -größe auf die Arbeits erledigungszeit	14
2.1.2.1	Nicht transportgebundene Arbeitsgänge.	14
2.1.2.2	Transportgebundene Arbeitsgänge.	15
2.1.3	Einfluss nicht schlagspezifischer Größen auf den Arbeitszeitbedarf	18
2.1.3.1	Zeitbedarf je Einzelwendevorgang	18
2.1.3.2	Arbeitsgeschwindigkeit	19
2.1.3.3	Arbeitsbreite.	19
2.1.3.4	Feld-Hof- und Feld-Feld-Entfernung	20
2.1.3.5	Fahrgeschwindigkeit Feld-Hof und Feld-Feld.	21
2.1.3.6	Belade-/Füllzeit	21
2.1.3.7	Fahrtgeschwindigkeit „Füllfahrten“	21
2.1.3.8	Anteil Verlust-/Störzeiten.	22
2.1.3.9	Zugänglichkeit des Schlages.	22
2.1.3.10	Schlagform.	23
2.1.4	Arbeits erledigungskosten in Abhängigkeit von der Schlaglänge und -größe.	24
2.2	Einfluss der Schlaggestaltung auf Bodenschadverdichtungen	25
2.2.1	Definition und Ursachen von Bodenverdichtungen	26
2.2.2	Bestimmung von Bodenverdichtungen.	29
2.2.3	Verbreitung von Schadverdichtungen	30
2.2.4	Modelle zur Abschätzung der potenziellen Verdichtungsgefährdung	31
2.2.5	Ansatz zur Beschreibung der aktuellen Befahrbarkeit	32
2.2.6	Fazit.	34
2.3	Einfluss der Schlaggestaltung auf die Bodenerosion	36

3	Optimierung der Schlaglängen für Arbeitsverfahren	41
3.1	Bodenbearbeitung	41
3.1.1	Stoppelbearbeitung	41
3.1.2	Grundbodenbearbeitung	43
3.1.2.1	Pflügen	43
3.1.2.2	Grubbern (Tiefgrubbern)	47
3.1.3	Saatbettbereitung	49
3.2	Säen und Kartoffellegen	49
3.2.1	Säen mit Getreidesämaschinen	49
3.2.2	Kartoffellegen	52
3.2.3	Einzelkornsaat	54
3.3	Bestandesführung	55
3.3.1	Unkrautregulierung und Schädlingsbekämpfung	55
3.3.1.1	Mechanische Unkrautregulierung	55
3.3.1.2	Thermische Unkrautregulierung	56
3.3.1.3	Chemische Unkrautregulierung und Schädlingsbekämpfung	56
3.3.2	Düngung	59
3.3.2.1	Mineraldüngerausbringung	59
3.3.2.2	Stallmist-/Kompostausbringung	63
3.3.2.3	Gülleausbringung	70
3.4	Ernte	74
3.4.1	Mähdrusch	75
3.4.2	Zuckerrübenenernte	80
3.4.3	Kartoffelernte	84
3.4.4	Silomaisernte	88
3.5	Futterwerbung und -bergung	94
3.5.1	Futterwerbung	94
3.5.2	Futterbergung	94

4	Optimierung der Schlaglängen für Modellbetriebe	97
4.1	Beschreibung der Betriebe	97
4.2	Ökonomische Bewertung	99
4.2.1	Kleinere Marktfruchtbetriebe	99
4.2.2	Größere Marktfruchtbetriebe	100
4.2.3	Kleinere Gemischtbetriebe	102
4.2.4	Größere Gemischtbetriebe	104
4.2.5	Fazit und Schlussfolgerungen	105
4.3	Analyse der Bodenbelastung	105
4.3.1	Transportgebundene Arbeitsverfahren	105
4.3.2	Verteilung der Überfahrten auf dem Schlag	107
4.3.3	Radlasten und Reifeninnendruck	109
4.3.3.1	Kleinere Marktfruchtbetriebe	109
4.3.3.2	Größere Marktfruchtbetriebe	113
4.3.3.3	Kleinere Gemischtbetriebe	117
4.3.3.3.1	Ackerfläche	117
4.3.3.3.2	Grünland	120
4.3.3.4	Größere Gemischtbetriebe	124
4.3.3.4.1	Ackerfläche	124
4.3.3.4.2	Grünland	127
5	Fazit und Handlungsempfehlungen	131
5.1	Bodenbearbeitung, Bestellung und Bestandesführung	132
5.2	Erntearbeiten	136
6	Schlussfolgerungen	141
	Literatur	144
	Anhang	
A1	Für Straßentransporte mögliche Transportkapazitäten	148
A2	Abhängigkeiten zwischen Schlaglänge, Arbeitsbreite, Ertrags-/Aufwandmenge und Bunker-/ Transportkapazität	150
A3	Mechanisierungsstrategie der Modellbetriebe	152
A4	Fruchtfolgen und Arbeitsgänge in den Modellbetrieben	159
A5	Überrollhäufigkeiten auf den Gemischtbetrieben bei Stallmistdüngung zu Raps	173
	KTBL-Veröffentlichungen	175

3.3 Bestandesführung

3.3.1 Unkrautregulierung und Schädlingsbekämpfung

3.3.1.1 Mechanische Unkrautregulierung

Bei allen Arbeitsgängen zur mechanischen Unkrautregulierung handelt es sich um transportunabhängige Verfahren. Die auf den Boden wirkenden Fahrzeug- und Gerätemassen bleiben somit während der Bearbeitung gleich. Die Gesamtarbeitszeit des Verfahrens und damit seine Schlagkraft wird von der benötigten Hauptzeit, den Wendezeiten und den Rüst- und Anfahrtszeiten bestimmt.

Striegeln

Beim Striegeln ergeben sich hinsichtlich des Arbeitszeitbedarfs in Abhängigkeit von Schlaglänge und Schlaggröße qualitativ ähnliche Verhältnisse wie bei der Bodenbearbeitung mit größeren Arbeitsbreiten (siehe Kap. 3.1). Hinsichtlich der Bodenbelastung treten beim Striegeln bei gleichen Arbeitsbreiten geringere Werte als bei der Bodenbearbeitung auf, da die notwendigen Zugkräfte viel geringer sind und mit leistungsschwächeren und leichteren Traktoren gearbeitet werden kann.

Hacken

Der Arbeitszeitbedarf beim Hacken verhält sich qualitativ entsprechend der Arbeitsgängen zur Bodenbearbeitung (siehe Kap. 3.1). Bei diesen Arbeiten fährt der Traktor zwischen den Reihen der Feldfrüchte, wodurch die Breite der Reifen begrenzt ist. Die Reifenbreite sollte möglichst 30 cm nicht überschreiten. Bei einer Arbeitsbreite von 3 m sind die Geräte etwa 500 kg schwer und es werden Traktoren mit einer Motornennleistung von etwa 40 kW benötigt. Die Wahl des Traktors wird hier durch die Hubkraft und die zulässigen Rad-/Achslasten beim Transport und nicht durch den Motornennleistungsbedarf bestimmt. Während der Arbeit stützen sich die Geräte über Stütz-/Tiefenführungsräder ab. Es wird nur wenig vertikale Belastung auf den Traktor übertragen. An diesen Traktoren können Pflegereifen mit einem Reifeninnendruck von 1,2 bar eingesetzt werden. Für die Fahrten vom und zum Feld ist meist wegen der höheren Fahrgeschwindigkeiten ein höherer Reifeninnendruck nötig. Die Radlasten liegen hier in der Regel noch unter 1 000 daN. Bei Arbeitsbreiten von 6 m wiegen die Geräte etwa 1 000 kg und es werden dann Traktoren der 50-kW-Klasse benötigt. Auch hier kann noch Pflegebereifung mit einem Reifeninnendruck von 1,2 bar beim Hacken verwendet werden. Die Radlasten liegen meist unter 1 200 daN, selten werden beim Hacken 1 500 daN erreicht. Bei größeren Arbeitsbreiten oder bei der Kombination mit Bandspritzung oder Reihendüngung sind Gerätemassen von über 1 500 daN nicht selten. Bei den Traktoren der 70-kW-Klasse erreichen die Radlasten während der Arbeit 1 500 bis 2 000 daN und es muss ein Reifeninnendruck von 2 bar eingehalten werden.

3.3.1.2 Thermische Unkrautregulierung

Beim Abflammen handelt es sich um einen transportgebundenen Arbeitsgang mit sehr kleiner Aufwandmenge (20 kg/ha Gasbedarf), der hinsichtlich des Arbeitszeitbedarfs wegen der niedrigeren Arbeitsgeschwindigkeit verglichen mit der Einzelkornsaat (siehe Kap. 3.2.1) eine geringere Abhängigkeit von der Schlaglänge und der Schlaggröße aufweist. Hinsichtlich der Bodenbelastung kann dieser Arbeitsgang wie das Hacken bei kleinen Arbeitsbreiten (siehe Kap. 3.3.1.1) behandelt werden.

3.3.1.3 Chemische Unkrautregulierung und Schädlingsbekämpfung

Bei der chemischen Unkrautregulierung und Schädlingsbekämpfung wird meist mit Aufwandmengen von 100 bis 400 l/ha gearbeitet. Die Arbeitsbreiten reichen heute von 12 m bis 36 m in Einzelfällen bis 48 m und es stehen Behälter von 600 l bis über 4 000 l Inhalt zur Verfügung. Bis 1 000 l Behälterinhalt werden die Geräte in der Regel am Traktor angebaut. Größere Behältervolumina werden dann bei Aufbau- und Anhängespritzen und natürlich bei Selbstfahrern verwendet. Eine Übersicht der bei verschiedenen Behältervolumina in Abhängigkeit von der Arbeitsbreite und Ausbringmenge erreichbaren Ausbringstrecken zeigt Tabelle 3.3.1. In Anhang A2 ist die Vorgehensweise zur betriebs-spezifischen Kalkulation der Ausbringstrecken dargestellt.

Tab. 3.3.1: Ausbringstrecken von Pflanzenschutzspritzen in Abhängigkeit der Arbeitsbreite, des Behältervolumens und der spezifischen Aufwandmenge

Arbeitsbreite m	Behälter- volumen [l]	Spez. Behälter- volumen ¹⁾ [l/m]	Aufwandmenge [l/ha]			
			100	200	300	400
12	600	50	5 000	2 500	1 667	1 250
18	600	33	3 333	1 667	1 111	833
18	800	44	4 444	2 222	1 481	1 111
21	800	38	3 810	1 905	1 270	952
21	1 000	48	4 762	2 381	1 587	1 190
24	1 000	42	4 167	2 083	1 389	1 042
24	1 500	62	6 250	3 125	2 083	1 563
27	1 500	56	5 556	2 778	1 852	1 389
27	2 000	74	7 407	3 704	2 469	1 852
27	2 500	93	9 259	4 630	3 086	2 315
36	3 000	83	8 333	4 167	2 778	2 083
36	4 000	111	11 111	5 556	3 704	2 778
42	4 000	95	9 524	4 762	3 175	2 381

¹⁾ Auf Arbeitsbreite bezogen.

Wird die Pflanzenschutzspritze jeweils am Hof gefüllt, hat die mögliche Ausbringstrecke keinen Einfluss auf den Arbeitszeitbedarf. Bei Feldrandbefüllung sind bei ungünstigen Kombinationen von Arbeitsbreite, Behältervolumen und Aufwandmenge zusätzliche „Füllfahrten“ nötig, wenn die Ausbringstrecke kleiner als die Schlaglänge (Befüllung an beiden Schlagenden) oder kleiner als die doppelte Schlaglänge (Befüllung an einem Schlagende) ist. Beim chemischen Pflanzenschutz kommt dies in der Regel nicht vor.

Aber auch ohne zusätzliche Füllfahrten nimmt der Arbeitszeitbedarf nicht immer mit steigender Schlaglänge und Schlaggröße ab. Abbildung 3.3.1 zeigt dies am Beispiel einer Pflanzenschutzmaßnahme (3 000-l-Anhängespritze, 27 m Arbeitsbreite) mit einer Ausbringmenge von 200 l/ha. Die Gründe hierfür sind im Kapitel 3.2.1 (Getreidebestellung) beschrieben.

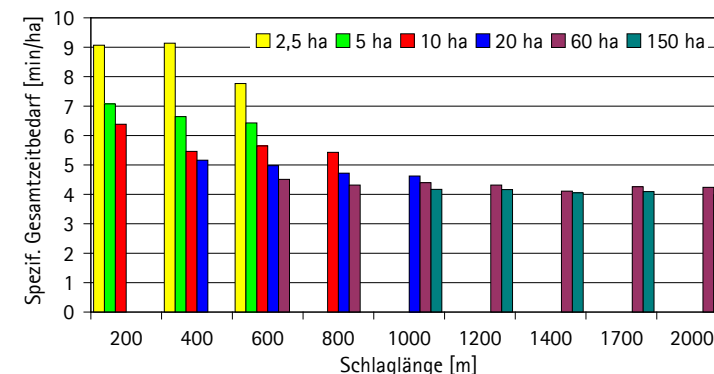


Abb. 3.3.1: Spezifischer Gesamtzeitbedarf für die Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln ab Feldrand in Abhängigkeit von der Schlaglänge und der Schlaggröße (3 000-l-Anhängespritze, 27 m Arbeitsbreite, Ausbringmenge 200 l/ha, Position Wasserwagen optimiert, einseitige Schlagerschließung)

Zur Verdeutlichung sind in Tabelle 3.3.2 die in diesem Zusammenhang wichtigen Größen in Abhängigkeit von der Schlaglänge für die Arbeit auf 60-ha-Schlägen dargestellt.

Wegen der großen Arbeitsbreiten ist die überrollte Feldfläche relativ klein. Mit dem Traktor mit Anhängespritze werden bei Verwendung von Fahrgassen mit dem Ausgangsfahrwerk 3,4 % der Feldfläche mindestens einmal überrollt und 2,6 % dreifach überrollt. Bei der optionalen Bereifung werden 3,85 % der Feldfläche mindestens einmal überrollt und 3,1 % dreifach überrollt. Bei Verwendung der breiteren Reifen ist aber ein geringerer Reifeninnendruck zur Erreichung der benötigten Tragfähigkeit ausreichend. Die wichtigsten Fahrwerksdaten der Ausgangsvariante und der Option sind in Tabelle 3.3.3 aufgeführt.

Tab. 3.3.2: Fahrstrecken und Zeitbedarf für die Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln auf 60-ha-Schlägen in Abhängigkeit von der Schlaglänge (3 000-l-Anhängespritze, 27 m Arbeitsbreite, Ausbringungsmenge 200 l/ha, Position Wasserwagen – 12 m³ Füllmenge – optimiert, einseitige Schlagerschließung)

		Schlaglänge [m]					
		800	1 000	1 200	1 400	1 700	2 000
Anzahl Füllvorgänge pro Schlag ¹⁾	[-]	6	7	6	5	8	7
Gesamtfahrtstrecke Ausbringung	[m]	23 140	24 530	24 450	22 820	24 100	24 250
Gesamtwendezeitbedarf pro Schlag	[min]	20,25	17,25	14,25	11,25	9,75	8,25
Gesamtfahrtzeitbedarf auf Schlag	[min]	147,92	154,83	153,96	146,13	154,25	155,24
Gesamtfüllzeitbedarf pro Schlag	[min]	63,00	63,50	63,00	62,50	64,00	63,50
Gesamtzeitbedarf pro Schlag	[min]	258,95	263,76	25,99	246,63	255,50	254,38
Spezifischer Gesamtzeitbedarf	[min/ha]	4,32	4,40	4,32	4,11	4,26	4,24

¹⁾ Um Anschlussfahrten zu vermeiden, wird die Spritze aufgefüllt, wenn die Restmenge nicht mehr bis zur nächsten „Vorbeifahrt“ am Wasserwagen ausreicht. Dadurch ergeben sich höhere Werte als bei vollständiger Ausnutzung des Behältervolumens (hier vier Füllungen).

Tab. 3.3.3: Fahrwerksdaten bei der Pflanzenschutzmittelausbringung für die Ausgangsvariante und eine optionale Bereifung (70-kW-Traktor, 3 000-l-Anhängespritze, 27 m Arbeitsbreite)

	Radlast	Spurweite	Ausgangsvariante		Option	
	daN	mm	Reifen- größe	Reifen- innendruck ¹⁾ bar	Reifen- größe	Reifen- innendruck ¹⁾ bar
Vorderachse Traktor	0,6	1 800	14.9R24	0,6	440/65R24	0,5
Hinterachse Traktor	2,5	1 800	16.9R34	1,6	540/65R34	1,2
Achse Gerät	2,0	1 800	13.6R38	1,6	16.9R38	1,0

¹⁾ Zur Erreichung der benötigten Tragfähigkeit bei einer Geschwindigkeit von 20 km/h notwendiger Reifeninnendruck.

Werden im Kartoffelbau keine Fahrgassen angelegt, können nur schmale Reifen (maximal 12.4) verwendet werden, die zur Erreichung der erforderlichen Tragfähigkeit mit relativ hohem Reifeninnendruck betrieben werden müssen. Die Werte für eine häufig verwendete Variante zeigt Tabelle 3.3.4 beispielhaft.

Tab.: 3.3.4: Fahrwerksdaten bei der Pflanzenschutzmittelausbringung im Kartoffelbau ohne Fahrgassen (70-kW-Traktor, 3 000-l-Anhängespritze, 21 m Arbeitsbreite)

	Radlast	Spurweite	Ausgangsvariante	
	daN	mm	Reifengröße	Reifeninnendruck ¹⁾ bar
Vorderachse Traktor	0,6	1 500	11.2R32	1,2
Hinterachse Traktor	2,5	1 500	11.2R48	3,2
Achse Gerät	2,0	1 500	11.2R38	2,8

¹⁾ Zur Erreichung der benötigten Tragfähigkeit bei einer Geschwindigkeit von 20 km/h notwendiger Reifeninnendruck.

Dabei werden zwar nur 2,1 % der Feldfläche überrollt, aber dies bei jeder Maßnahme jeweils dreimal. Wegen der relativ häufigen Pflanzenschutzmaßnahmen im Kartoffelbau sind 20 bis 30 Überrollungen der gleichen Feldfläche während einer Vegetationsperiode nicht selten. Werden im Kartoffelbau auch Fahrgassen angelegt, kann die in Tabelle 3.3.3 beschriebene optionale Bereifung verwendet werden.

3.3.2 Düngung

Bei allen Arbeitsgängen zur Düngerausbringung handelt es sich um transportgebundene Verfahren. Die auf den Boden wirkenden Fahrzeug- und Gerätemassen ändern sich somit während der Bearbeitung. Die Gesamtarbeitszeit des Verfahrens und damit seine Schlagkraft wird von der benötigten Ausführungszeit, den Wendezeiten, den Rüst- und Anfahrtszeiten und besonders stark bei größeren Ausbringungsmengen von den Füllzeiten bestimmt.

3.3.2.1 Mineraldüngerausbringung

Bei der Mineraldüngerausbringung wird meist mit Aufwandmengen von 100 kg/ha bis 5 000 kg/ha (z.B. Kalkmergel) gearbeitet. Die Arbeitsbreiten reichen heute von 12 m bis 36 m, in Einzelfällen bis 48 m und es stehen Behälter von 250 l bis über 10 000 l Inhalt zur Verfügung. Anbaugeräte sollten nur bis 1 200 l Behälterinhalt verwendet werden, da bei größeren Volumina wegen der großen Dichte vieler Mineraldünger (Dichte über 1 000 kg/m³; Ausnahme Harnstoff 850 kg/m³) die Tragfähigkeit der Reifen und Hinterachse nicht mehr ausreicht. Auch kann das zulässige Gesamtgewicht überschritten werden und/oder die nötige Mindestvorderachslast auch mit Ballastierung nicht mehr eingehalten werden. Größere Behältervolumina sollten Aufbau- und Anhängestreuern und natürlich Selbstfahrern vorbehalten bleiben. Eine Übersicht der bei verschiedenen Behältervolumina in Abhängigkeit von der Arbeitsbreite und Ausbringungsmenge erreichbaren Ausbringstrecken zeigt Tabelle 3.3.5. Wegen der großen Spannweite der Ausbringungsmenge von 1 : 50 variieren die Ausbringstrecken natürlich in gleicher Größe (Einzelfallkalkulation nach Anhang A2 durchführen).