

Dezember 1991 412

Schlagkräftige Mechanisierung – eine Gefahr für unsere Böden?

Eugen Kramer, Eidg. Forschungsanstalt für Betriebswirtschaft und Landtechnik (FAT), 8356 Tänikon

Bei der Wahl eines Mechanisierungsverfahrens stellt sich nebst den technischen und wirtschaftlichen Fragen auch diejenige der Bodenbelastung. Generell möchten wir wissen, ob eine leichtere Mechanisierung mit geringer Arbeitsbreite und viel Überfahrten oder eine schwerere Mechanisierung mit grösserer Arbeitsbreite und weniger Überfahrten bodenschonender sei. Als Beispiele denken wir dabei an ein- oder mehrreihige Ernteverfahren für Zuckerrüben und Mais, aber

die Frage stellt sich eigentlich für die gesamte Mechanisierung im Feldbau.

Während sieben Jahren sind wir in einer Ackerbau-Fruchtfolge (ohne Kunstwiese) dem Einfluss schwerer oder leichter Mechanisierung nachgegangen. Im 2., 5., 6. und 7. Versuchsjahr lagen die Erträge des leichteren Verfahrens statistisch gesichert höher als diejenigen des schwereren. Flächendeckende bodenkundliche Untersuchungen liessen kaum Unterschiede zwischen den zwei Verfahren erkennen.

Offenbar sind wir mit unseren bekannten Messgrössen für den Boden weniger in der Lage, die Bodenfruchtbarkeit zu beurteilen als dies unsere Pflanzen können.

Rechnerische Methoden zeigen zwischen den zwei Verfahren Differenzen in der Bodenbelastung, sowohl im Oberboden als auch im Unterboden. Durch das schwerere Verfahren entstehen mehr Schadverdichtungen. Für beide Verfahren muss das Pflügen (Furchenrad!) als stark bodenbelastend bezeichnet werden.

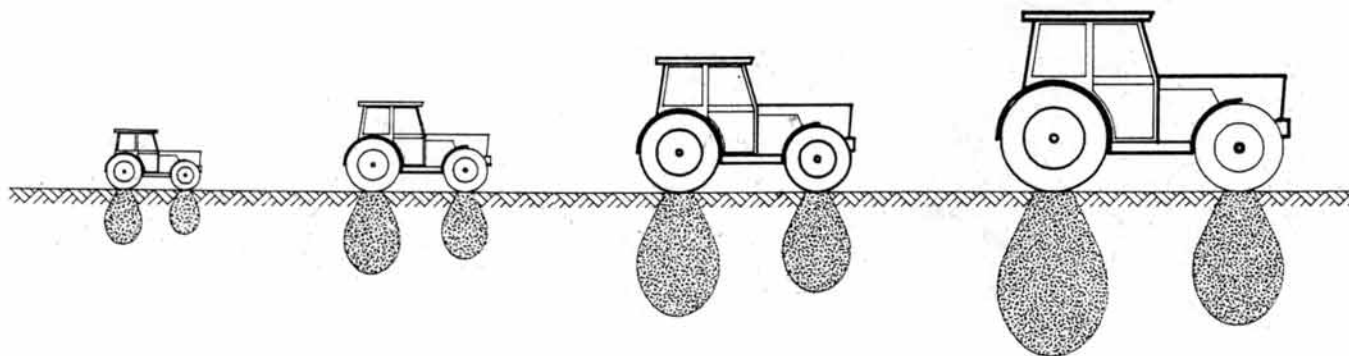


Abb. 1: Schlagkräftige Mechanisierung – eine Gefahr für unsere Böden? Je grösser das Gewicht, um so tiefer reicht die Druckfortpflanzung und somit die Schadverdichtung. Eine «grosse Maschine» kann erst dann Vorteile bringen, wenn sie unter eindeutig trockeneren Bodenbedingungen als eine kleine eingesetzt werden kann. Eine grosse Maschine braucht aber auch eine grosse Auslastung und in der Regel so viele verfügbare Feldarbeitstage wie eine kleine.

Versuchsanlage in Kürze

1984 wurde in Tänikon ein lang-jähriger Versuch mit **zwei Mechanisierungsverfahren (2S und 3S)** angelegt, zwecks Abklärung des Einflusses schwerer oder leichter Mechanisierung auf die Bodenstruktur und den Ertrag. Die zwei Verfahren standen – soweit möglich – im Gewichts- und Leistungsverhältnis von 2 zu 3. Das Versuchsfeld war ein **schwerer Boden** mit 35% Ton, 34% Schluff und 31% Sand (toniger Lehm). Als Fruchtfolge wurde gewählt: Roggen, Raps, Silomais, Winter-



Abb. 2: Spurschäden vom Säen: Roggen-Ertrag auf den ehemaligen Traktorspuren 57,7 kg/a, zwischen den Spuren 70,2 kg/a.

Mechanisierungsverfahren

1. Für die Verfahren 2S und 3S unterschiedliche Mechanisierung

	Verfahren 2S		Verfahren 3S	
	Traktor	Maschine	Traktor	Maschine
Pflügen	45 kW	2-Schar	65 kW	3-Schar
Eggen ¹⁾	45 kW	2,8 m gezogen	65 kW	4,2 m gezogen
Eggen ¹⁾	45 kW	3 m ZW-Antrieb	65 kW	3 m ZW-Antrieb
Düngen Gülle	45 kW	4000 l	65 kW	6000 l
Düngen Mist	30 kW	3,2 m ³	45 kW	4,2 m ³
Mähdrusch		3-m-Balken		4,5-m-Balken
Maisernte	45 kW	1-reihig	65 kW	2-reihig
ZR-Ernte	45 kW	1-reihig	²⁾	6-reihig 3-phasig

¹⁾ Traktor mit Doppelbereifung

²⁾ Schipper und Roder getrennt selbstfahrend (System Kloppenburg, geändert), Ladebunker gezogen (90 kW).

2. Für die Verfahren 2S und 3S identische Mechanisierung

	Traktor	Maschine
Düngen Kunstdünger	45 kW	12-m-Exaktstreuer
Pflanzenschutz	45 kW	12-m-Spitzbalken
Säen	45 kW	3 m bis 1988 4 m ab 1989
Strohernte 1985	45 kW	Rundballenpresse
	55 kW	Ballen-Transport
Strohernte 1990	45 kW	Hartballenpresse + Zweiachs-Anhänger

weizen, Zuckerrüben, Winterweizen, also eine Fruchtfolge ohne Kunstwiese (Regeneration?).

Die **unterschiedlichen Mechanisierungsverfahren** bezogen sich in erster Linie auf die **Bodenbearbeitung** (Grundbodenbearbeitung und Saatbettbereitung) und auf die **Ernte**, das heisst vor allem auf bodenbelastende Arbeiten, sei dies wegen des Gewichtes oder des Bodenzustandes (Feuchtigkeit). Auch bei der Hofdüngung (Gülle, Mist) wurden die Verfahren differenziert. Nicht unterschieden wurden die Arbeiten auf den Fahrgassen (Düngung mit Kunstdünger und Pflanzenschutz). Auch die Strohernte und die Saat waren mangels entsprechender Maschinen oder Verfahren für 2S und 3S in der Regel identisch.

Während der Versuchsdauer wurden sämtliche Arbeitsgänge auf den Versuchspartellen registriert, um anschliessend **Bodenbelastungskalkulationen** durchführen zu können. Dabei wurden die Fahrspurflächen-An-

teile einzelner Arbeiten und die dabei erzeugten Drücke im Oberboden (15 cm Tiefe) und im Unterboden (40 cm Tiefe) berechnet. Die Drücke wurden dann pro Tiefe in je elf Klassen zwischen 0 N/cm^2 ($1 \text{ N/cm}^2 \approx 0,1 \text{ kp/cm}^2$) und 22 N/cm^2 aufgeteilt. In einem Häufigkeitsdiagramm konnten den Klassen die entsprechenden Fahrspurflächenanteile sämtlicher Arbeiten der sieben Versuchsjahre zugeordnet werden. Daraus entstanden die Druck-Fahrspurflächen-Diagramme der beiden Verfahren für je zwei Bodentiefen (Abb. 3 + 4).

Während der gesamten Versuchsdauer wurden verschiedentlich **Bodenkenngrößen** ermittelt und stets Ertragserhebungen und -analysen durchgeführt.

Leichtere Mechanisierung – höhere Erträge

Während der sieben Versuchsjahre konnten bei Getreide, Raps und Silomais durchschnittliche bis gute Erträge geerntet werden, die Zuckerrüben-Erträge lagen unterdurchschnittlich. Im 2. Jahr (Raps), im 5. Jahr (Zuckerrüben), im 6. Jahr (Winterweizen) und im 7. Jahr (Roggen) resultierten gesicherte Ertragsunterschiede zugunsten des leichteren Verfahrens, im letzten Jahr sogar mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 1%. Die Ertragsdifferenzen betrugen 2,4% bis 7,5%. In drei Versuchsjahren (1. Jahr: Roggen, 3. Jahr: Silomais, 4. Jahr: Winterweizen) lagen die Erträge schwach bis sehr schwach höher beim schwereren Verfahren. Bezüglich Tausendkorngewicht und hl-Gewicht beim Getreide, Nährstoffe beim Mais und Aus-

beute bei den Zuckerrüben liessen sich keine Unterschiede feststellen.

Bodenstruktur lässt Fragen offen

Physikalische Kenngrößen des Bodens wie Gesamtporen, Grob-, Mittel- und Feinporen, scheinbare Dichte und Aggregatstabilität (Krümelstabilität) zeigten in der Regel kein klares Bild. Lediglich im April 1987 ergaben sich bei der scheinbaren Dichte und der Aggregatstabilität gesicherte Unterschiede

zugunsten des leichteren Verfahrens. Allerdings waren die Unterschiede sehr klein.

Allgemein liessen sich in diesem Versuch durch physikalische, chemische oder biologische Kenngrößen des Bodens nur sehr schwer Unterschiede zeigen. Wir müssen uns fragen, ob wir mit unseren bekannten Messgrößen in der Lage sind, den Boden, das Bodengefüge und die Bodenfruchtbarkeit zu beurteilen. – Eher führt wohl letztendlich die Summe oder das Zusammenspiel diverser kleiner Veränderungen gemeinsam mit dem Faktor Zeit zu Bodenfruchtbarkeits- und somit zu Ertragsdifferenzen.

Tabelle 1: Ertragsentwicklung bei unterschiedlicher Mechanisierung (2S und 3S)

Jahr	Kultur	Verfahren 2S (kg/a)	Verfahren 3S (kg/a)	Signifikanz	KGD (5%)
1985	Roggen	65,5	66,8	n.s.	3,61
1986	Raps	35,1	32,7	*	2,20
1987	Mais	121,0	125,0	n.s.	6,02
1988	Winterweizen	79,1	80,0	n.s.	2,00
1989	Zuckerrüben	427,9	411,9	*	15,62
1990	Winterweizen	66,3	64,7	*	1,45
1991	Roggen	71,6	66,2	**	2,72

2S = mittelschwere Mechanisierung mit mittlerer Arbeitsbreite

3S = schlagkräftige, schwere Mechanisierung mit grosser Arbeitsbreite

n.s. = statistisch nicht gesicherte Unterschiede

* = statistisch gesicherte Unterschiede bei 5% Irrtumswahrscheinlichkeit

** = statistisch gesicherte Unterschiede bei 1% Irrtumswahrscheinlichkeit

KDG = kleinste gesicherte Differenz

Tabelle 2: Physikalische Bodenkenngrossen nach drei Versuchsjahren

Kenngrossen	2S	3S	Signifikanz	KGD (5%)
Scheinbare Dichte (kg/dm^3)	1,41	1,45	*	0,014
Gesamtporen (%)	54,0	54,1	n.s.	0,96
Grobporen (%)	10,4	10,9	n.s.	0,54
Aggregatstabilität A	78,04	77,22	*	0,81

2S = mittelschwere Mechanisierung mit mittlerer Arbeitsbreite

3S = schlagkräftige, schwere Mechanisierung mit grosser Arbeitsbreite

n.s. = statistisch nicht gesicherte Unterschiede

* = statistisch gesicherte Unterschiede bei 5% Irrtumswahrscheinlichkeit

KDG = kleinste gesicherte Differenz

A = Mass für Sackungsstabilität, je grösser desto besser

Berechnungen bringen es an den Tag

Für die Beurteilung der berechneten Bodendrücke orientieren wir uns an den Schadschwellen von 8 N/cm^2 für den Oberboden und von 6 N/cm^2 für den Unterboden (Weisskopf und Schwab, 1988).

Was verursacht Schadverdichtungen?

Detail-Legende zu Abb. 3 - 4

Düngung (Hofdünger)

- 1 Miststreuer-Achse
- 2 Druckfass-Achse
- 3 Traktor-Hinterachse beim Ausbringen der Gülle
- 4 Traktor-Hinterachse beim Miststreuen

Zuckerrüben-Ernte

- 5 Vollernter-Achse, 1-reihig
- 6 Traktor-Hinterachse mit Vollernter
- 7 Ladebunker-Achse, 6-reihig
- 8 Schipper-Hinterachse, 6-reihig
- 9 Schipper-Vorderachse, 6-reihig
- 10 Roder-Vorderachse, 6-reihig
- 11 Roder-Hinterachse, 6-reihig
- 12 Traktor-Hinterachse mit Ladebunker

Mähdrusch

- 13 Mähdrösch-Vorderachse
- 14 Mähdrösch-Hinterachse

Silomais-Ernte

- 15 Häckselwagen-Vorderachse
- 16 Häckselwagen-Hinterachse

Bodenbearbeitung

- 17 Traktor-Hinterachse beim Pflügen (Landrad)
- 18 Traktor-Hinterachse beim Pflügen (Furchenrad)
- 19 Traktor-Vorderachse beim Pflügen (Furchenrad)
- 20 Traktor-Hinterachse beim Eggen

Aus den Druck-Fahrspurflächen-Diagrammen für den **Oberboden** (15 cm Tiefe, Abb. 3) geht deutlich hervor, dass nebst den Erntemaschinen für

Getreide und Zuckerrüben auch die Belastungen durch die Anhänger (Miststreuer, Güllefass, Häckselwagen für Silomais) schädliche Bodendrücke von

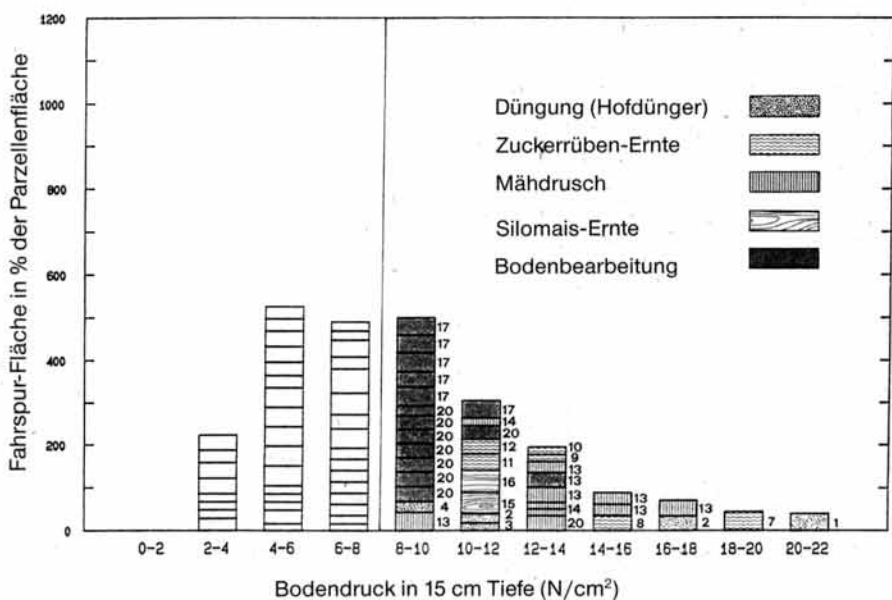
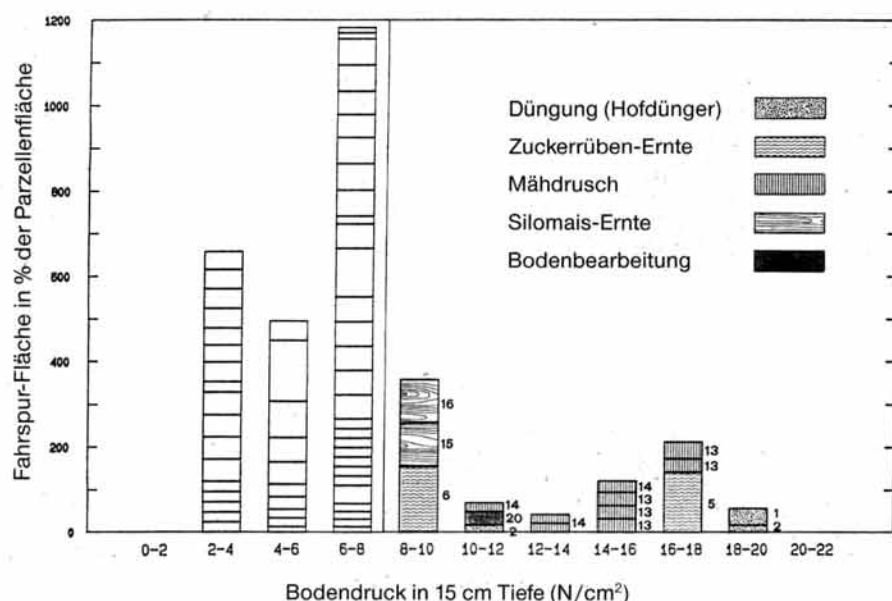


Abb. 3: Druck-Fahrspurflächen-Diagramme für die **Oberbodenbeanspruchung** während sieben Jahren Ackerbau. Die Fahrspurflächen-Summen (Säulen) vermitteln ein Bild von den flächenhaften Beanspruchungen in den einzelnen Druckbereichen. Kritisch sind im Oberboden die Belastungen von über 8 N/cm^2 ($1 \text{ N/cm}^2 \approx 0,1 \text{ kp/cm}^2$).

- oben: mittlere Mechanisierung – Der Grossteil der Arbeiten lässt sich ausserhalb des kritischen Druckbereiches erledigen.
- unten: schwere Mechanisierung – Mehr als die Hälfte der Befahrungen findet im kritischen Druckbereich statt.

über 8 N/cm^2 verursachen. Dies gilt für beide Verfahren. Beim schwereren Verfahren kommen noch hohe Belastungen durch die Bodenbearbeitung dazu

(Pflügen, Eggen). Schliesslich bleibt es eine Frage der Häufigkeit, das heisst der Fahrspurflächen-Anteile dieser schädlichen Bodenbelastungen. Bei

gleicher Fruchtfolge und gleichem Düngungsregime sind beim schwereren Verfahren trotz grösserer Arbeitsbreite mehr schädliche Bodendrücke im Oberboden zu verzeichnen.

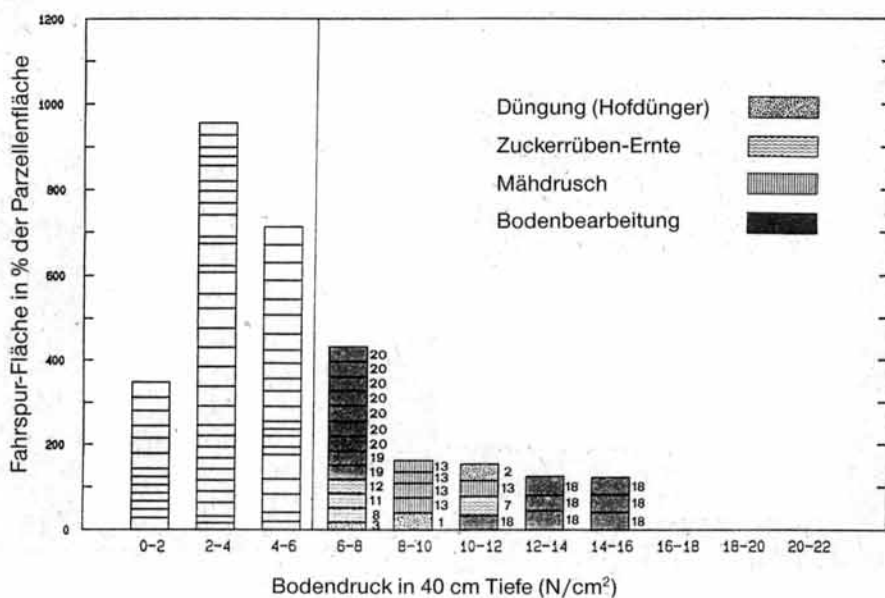
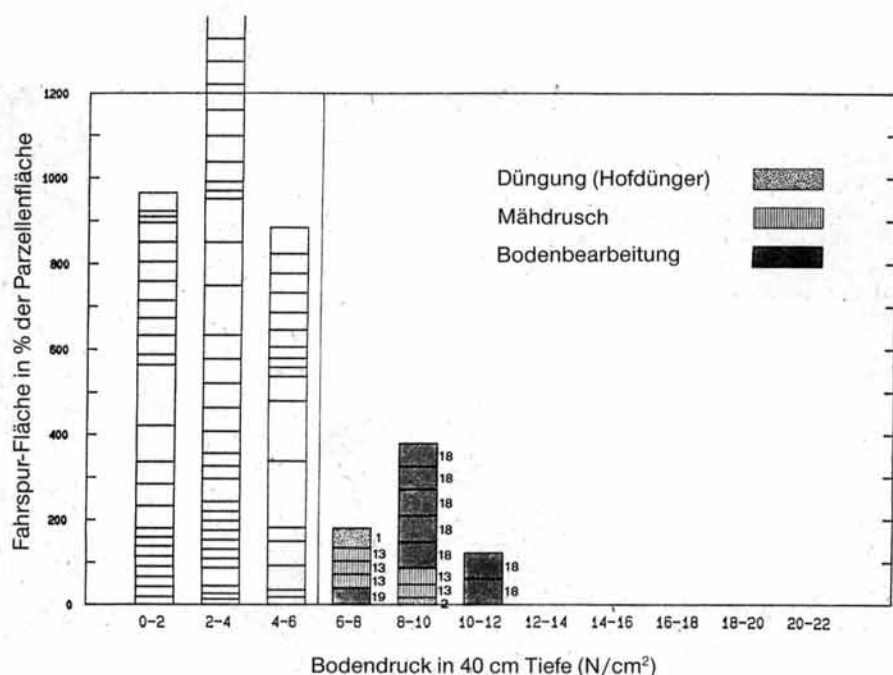


Abb. 4: Druck-Fahrspurflächen-Diagramme für die Unterbodenbeanspruchung während sieben Jahren Ackerbau. Die Fahrspurflächen-Summen (Säulen) vermitteln ein Bild von den flächenhaften Beanspruchungen in den einzelnen Druckbereichen. Kritisch sind im Unterboden die Belastungen von über 6 N/cm^2 ($1 \text{ N/cm}^2 \approx 0,1 \text{ kp/cm}^2$).

- oben: mittlere Mechanisierung – Zu den kritischen Belastungen führen vor allem das Pflügen und der Mähdrusch.
- unten: schwere Mechanisierung – Zu den bedeutendsten Belastungen zählen hier nebst dem Pflügen auch das Eggen und nebst dem Mähdrusch auch die 6-reihige Zuckerrüben-ernte.

Fazit

Aufgrund der Entwicklung der Erträge während sieben Jahren in einer sechsjährigen Fruchtfolge mit zwei unterschiedlichen Mechanisierungsverfahren (mittelschwere Mechanisierung und schlagkräftige, schwere Mechanisierung) kann eine Tendenz zugunsten der leichteren Mechanisierung festgestellt werden. Die Ertragsdifferenzen liegen in vier von sieben Jahren zwischen 2,4% und 7,5% und sind statistisch gesichert. Sie haben sich in den letzten Versuchsjahren gehäuft. Sowohl im Oberboden (Ackerkrume) als auch im Unterboden (unterhalb der Pflugsohle) entstehen durch das schwerere Verfahren mehr Schadverdichtungen. Im Oberboden können



Abb. 5: Muss sich die Bodenbelastung durch das Pflügen jährlich wiederholen? – Das Rad in der oft feuchten Pflugfurche verursacht Schadverdichtungen.



Abb. 6: Leichtere oder schwerere Mechanisierung? Unter gleichen Einsatzbedingungen (Bodenfeuchte) und bei gleichem technischem Aufwand (Bodenbearbeitung/«Bodenlockerung», Düngung etc.) bringt ein leichteres Verfahren auf die Dauer höhere Erträge.

diese mit normalen Geräten wieder gelockert und «repariert» werden. Im Unterboden sind wir in der Regel allein auf die Natur angewiesen. Vor allem schwere Erntemaschinen (Mähdrescher, sechsstreihige Zuckerrüben-Erntemaschinen) erzeugen hohe Drücke bis in den Unterboden. Hier sollte der Betriebsleiter sowohl bei der Wahl als auch beim Einsatzzeitpunkt (Bodenfeuchte) dieser Maschinen massgebend mitbestimmen können. Generell muss auch das Pflügen (Furchenrad!) zu den gefährlichen Unterbodenverdichtungen gezählt werden; kommt noch hinzu, dass diese Arbeit oft unter ungünstigen Bedingungen ausgeführt wird.

Literatur

Weisskopf, P., Schwab, P. et al, 1988: Die Verdichtungsgefährdung schweizerischer Ackerböden, Bericht Nr. 20 des Nationalen Forschungsprogrammes «Nutzung des Bodens in der Schweiz», Liebefeld-Bern.