

Höheres Maschinengewicht im Feldbau? Zugkraftumstellung von 50 kW auf über 80 kW wirkt sich auf Boden und Ertrag unbedeutend aus

Etienne Diserens, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT), CH-8356 Tänikon

Die Landwirtschaft ist sich des Problems der Bodenverdichtung, welche das Maschinengewicht verursacht, grundsätzlich bewusst. Maschinen mit über zwei Tonnen Radlast kommen immer häufiger vor. Aus der Sicht des Bodenschutzes ist das Maschinengewicht im Zusammenhang mit der Anzahl Überfahrten auf dem Feld zentral. In einem langjährigen Feldversuch auf dem Areal Tänikon wurde der Boden unter schwereren Maschinen nur tendenziell stärker mit ungleichmässigen, eher negativen Auswirkungen auf den Ertrag beeinträchtigt. Aus

Sicht der Praxis sind die Unterschiede wegen der höheren Maschinenlasten ohne Bedeutung. Werden die einzelnen Kulturen miteinander verglichen, belastet der Zuckerrübenanbau den Boden am stärksten. Die Beurteilung der Bodenbeanspruchung stützt sich auf zwei Berechnungsindikatoren: die sogenannte gewichtete Bodenbelastung (ein Mass für die Strukturgefährdung im Oberboden) und die maximale Druckspannung bei 20 cm Bodentiefe (ein Mass für die Tragfähigkeitsgefährdung unterhalb der Ackerkrume).

Inhalt	Seite
Versuch	2
Beurteilungsindikatoren	2
Bodenveränderungen	4
Erträge	6
Schlussfolgerungen	7
Literatur	8



Abb. 1. Leichte Maschine mit mehr Überfahrten ...

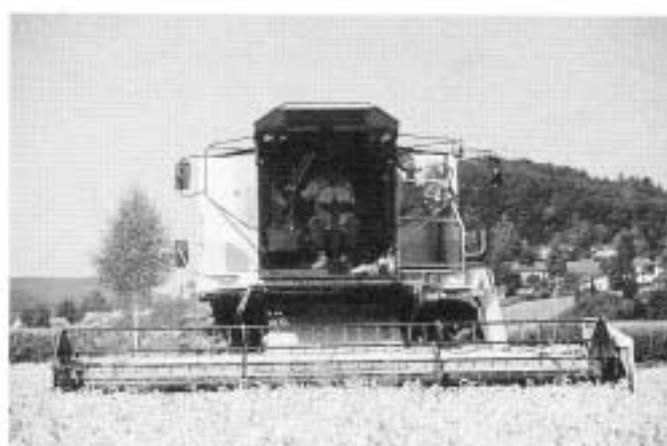


Abb. 2. ... oder schwere Maschine mit wenigen Überfahrten.

Tabelle 1. Mechanisierungsverfahren

Arbeitsgang	* leichte* Mechanisierung		*schwere* Mechanisierung	
	Traktor	Arbeitsgerät	Traktor	Arbeitsgerät
1. Unterschiedliche Mechanisierung für die Verfahren "leicht" und "schwer"				
Grubbern *	48 kW	Grubber mit Nachläufer 2,45 m	70 kW	Grubber mit Nachläufer 2,45 m
Stoppelbearbeitung	48 kW	Spatenrollegge 2,75 m	81 kW	Spatenrollegge 2,75 m
Pflügen	48 kW	2-Scharpflug	81 kW	3-Scharpflug
Eggen*	48 kW	Federzinkenegge 2,8 m	81 kW	Federzinkenegge 4,2 m
Eggen*	48 kW	Zinkenrotor 3 m	81 kW	Zinkenrotor 3 m
Güllen	48 kW	Druckfass 4 m ³	74 kW	Druckfass, Tandemachse, 6 m ³
Miststreuen	30 kW	Mistzetter 3,2 m ³	48 kW	Mistzetter 4,2 m ³
Mähdrusch	74 kW	Mähbreite 3 m	96-151 kW	Mähbreite 4-5 m
Maisernt	48 kW	Anbauhäcksler 1-reihig	70-81 kW	Anbauhäcksler 2-reihig
Zuckerrübenerte	48 kW	gezogen, 1-reihig	70 kW	6-reihig, 3-phasig** Ladebunker gezogen
2. Gleiche Mechanisierung für die Verfahren "leicht" und "schwer"				
Parapflug	77 kW	Paraplow 1,7 m		
Eggen	48-50 kW	Federzinkenegge 2,8 m		
Walzen	48 kW	Glattwalze 5,2 m		
Kunstdünger*	39-50 kW	Pneum. Breitstreuer 12 m		
Pflanzenschutz	30-50 kW	Feldspritze 12 m		
Säen	35-50 kW	Getreide inkl. Raps 3 und 4 m		
Strohernte	48-50 kW	Rund-, Hartballenpresse		

* Traktor mit Doppelbereifung, zum Teil auch beim Grubbern, Düngen

** Schipper und Roder getrennt, selbstfahrend

Versuchs- und Standortbeschreibung

Ein langjähriger Feldversuch wurde 1984 angelegt, um die Auswirkungen auf die Bodenstruktur und Ertragsfähigkeit bei schweren Maschinen mit weniger Überfahrten im Vergleich zu leichteren Maschinen mit mehr Überfahrten abzuklären (Kramer 1991). Der praxisbezogene Versuch erstreckte sich bis Herbst 1990 über eine

Fläche von 2,4 ha, 14 Parzellen (24 m × 74 m – je sieben Parzellen pro Verfahren), später nur noch über acht Parzellen (je vier Parzellen pro Verfahren). Es gelangten praxisübliche Maschinen zum Einsatz (Tab.1). Die Leistung und das Gewicht beider Verfahren stehen in einem Verhältnis von etwa 2 zu 3 (50 kW zu 80 kW, 4 m³ zu 6 m³ Güllefass).

Der Boden mit über 30% Schluff und über 30% Ton ist ein toniger Lehm (Tab. 2). Wird die scheinbare Dichte betrachtet, so lässt sich eine spürbare

Verdichtung auf 20 cm Tiefe erkennen (Tab. 3). Von der Textur her können diese Werte nicht als ausgesprochen hoch bezeichnet werden. Wegen der feinen Körnung einerseits und den hohen Niederschlägen mit 1166 mm im Mittel der Versuchsjahre (Tab. 4) andererseits ist der Boden schwer durchlässig und meistens feucht bis nass. Der Boden wurde dadurch oft unter suboptimalen Bodenverhältnissen bearbeitet (Abb. 3).

Tabelle 2. Bodentextur. Bodenprobe Juni 1984

Tiefe [cm]	Sand [%]	Schluff [%]	Ton [%]
0-45	31	34	35

Tabelle 3. Scheinbare Dichte und Gesamtporenvolumen Bodenprobe: September 1995 Mittelwerte beider Varianten

Tiefe [cm]	Scheinbare Dichte [g/cm ³]	Gesamtporenvolumen [%]
5-10	1,30	50,9
20-25	1,40	48,0
35-40	1,38	49,0

Beurteilungsindikatoren

Die gewichtete Bodenbelastung als Indikator für die Bodenbeanspruchung

Wie lässt sich die Bodenbelastung durch mehrere Fahrzeuge beim Feld-

Tabelle 4. Niederschlag-Jahressumme für die Periode 1985–1995 und Jahrgang

Mittelwert [mm]	Minimum [mm]	Maximum [mm]
1166	985 (1985)	1428 (1995)

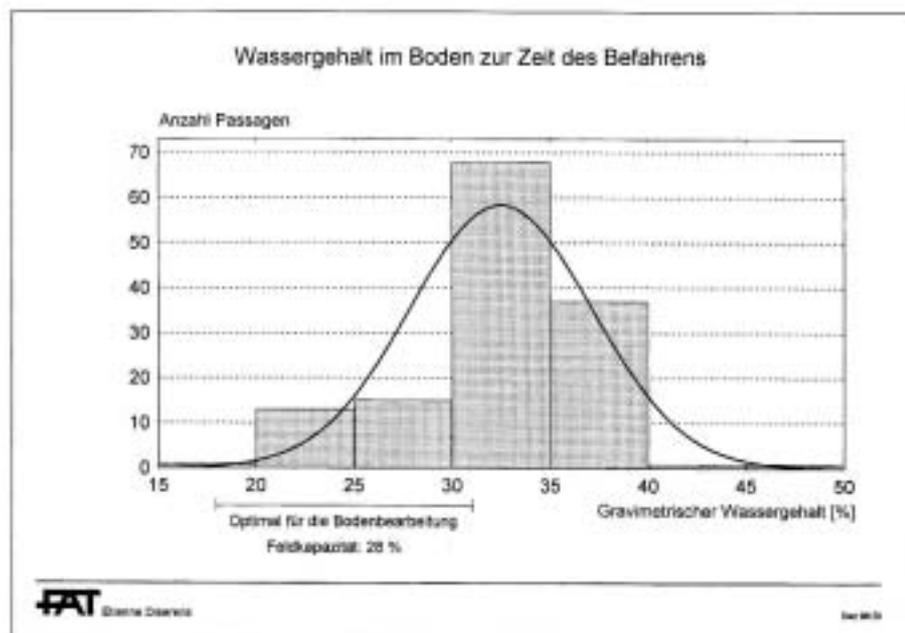


Abb. 3. Verteilung des gravimetrischen Wassergehaltes im Boden zur Zeit des jeweiligen Befahrens. Zwei vollständige Fruchtfolgezyklen. Periode 1985–1996.

einsatz quantifizieren und beurteilen? Als Massstab diente die gewichtete Bodenbelastung. Die dabei errechnete Belastung in den Fahrspuren bezieht sich auf die gesamte Arbeitsbreite bzw. auf das gesamte Feldareal. Als Folge ist das Resultat ein gewichteter Druck [bar]. Dieser Indikator ist somit eine Funktion der Radlast, der Radgrösse, der Arbeitsbreite, der Anzahl Durchfahrten, des Absetzungsgrades des Bodens und der Bodenfeuchte. Es handelt sich um einen Wert, der die potentielle Gefährdung des Oberbodens quantitativ beschreibt. Bleiben die Bodenparameter konstant, lässt sich die Maschinenbelastung eines oder mehrerer Fahrzeuge beurteilen und vergleichen.

Nähere Angaben zur Methodik finden sich unter «Die gewichtete Bodenbelastung» (vgl. Kasten).

Begriffe

Scheinbare Dichte [g/cm³]: Verhältnis zwischen der getrockneten Bodenmasse und dem entsprechenden ungestörten Bodenvolumen.

Gravimetrischer Wassergehalt [%]: Verhältnis zwischen dem Wassergewicht und dem getrockneten Bodengewicht für ein bestimmtes Volumen.

Volumetrischer Wassergehalt [%]: Verhältnis zwischen dem Wasservolumen und dem entsprechenden Volumen des feuchten Bodens.

Wasserspannung [mbar]: Kraft des Bodens, um Wasser aufzunehmen. Im ungesättigten Zustand entsteht ein Unterdruck, im übergesättigten ein Überdruck.

Porenwasserdruck [mbar]: aktive Kraft, die durch das Bodenwasser übertragen wird.

Desorptionskurve: Gibt den Verlauf der Wasserspannung als Funktion des Wassergehaltes (volumetrisch) wieder. Basisinformation über den Wasserhaushalt im Boden.

Feldkapazität: Bodenfeuchte bei entleerten Grobporen (Porendurchmesser > 10 µm, Wasserspannung zwischen -80 und -120 mbar)

Konsolidation: Bodenverformung in gesättigtem Zustand als Folge einer Zunahme der scheinbaren Dichte.

Verdichtung: Bodenverformung in ungesättigtem Zustand als Folge einer Zunahme der scheinbaren Dichte.

Die gewichtete Bodenbelastung (B_{gew})

$$\text{Gew. Bodenbelastung} = \frac{2 \times \text{Pneubreite}}{\text{Arbeitsbreite}} \times \text{Druckspannung}_{20\text{cmTiefe}} \times \text{Faktor} \quad (1)$$

Für die Formel (1) gelten folgende Annahmen:

- Die ausgewählte Tiefe bei der Berechnung der Druckspannung im Boden ist 20 cm (Ackerkrumtiefe). Es ist die kritische Tiefe der Pflugsohle, unterhalb der eine Auflockerung stark erschwert ist.
- Für die Berücksichtigung der Tragfähigkeit wurde der Boden in drei Klassen unterteilt: aufgelockerter, teilabgesetzter und abgesetzter Boden.
- Die Bodenfeuchte wurde für alle drei Klassen in je zwei Unterklassen eingeteilt: eher trockener, eher feuchter Boden.
- Für die Mehrfachbefahrung wird für jede Achse ein Faktor F angenommen.

Das Rad mit der höchsten Druckspannung wird normal berechnet (Faktor = 1); das Rad mit der zweithöchsten Druckspannung bekommt den Faktor 0,5; das Rad mit der dritthöchsten Druckspannung den Faktor 0,25 usw.

Der Absetzungsgrad und die Bodenfeuchte lassen sich durch eine Variable (von 2 bis 5) berücksichtigen, die als Exponent in der Gleichung von Smith (1985) zur Berechnung der Druckspannung vorkommt. Der Zustand des Bodens und die Berechnung des Faktors F werden empirisch erfasst, da praktische Werte noch fehlen.

Zur Bewertung der Belastung bei den einzelnen Arbeitsgängen werden die Werte jeder Achse (2) aufsummiert (siehe Beispiel Abb. 4 und Tab. 5). Für die betroffene Kultur werden die einzelnen Werte der Arbeitsgänge zusammengezählt (Abb. 5).

$$B_{\text{gew (Mährecher)}} = \frac{2 \times 47}{300} \times 1.10 \times 1 + \frac{2 \times 31}{300} \times 0.73 \times 0.5 = 0.42 \quad (2)$$

Bodenbelastung: geringe Unterschiede zwischen «leichter» und «schwerer» Mechanisierung

Wird die gewichtete Belastung betrachtet, so ist sie bei den schweren Maschinen meistens höher (Abb. 5). Die Unterschiede bleiben jedoch klein. Dreimal ist die Belastung bei den schweren Varianten gleich oder leicht tiefer (1985, 1988 und 1991). Im Jahr 1985 lag der Grund bei einem 63 kW-Traktor (4,5 t) zum Pflügen (3-Scharpflug), der später durch einen 81 kW-Traktor (5,3 t) ersetzt wurde. In den Jahren 1988 und 1991 sind die Unterschiede auf die optimalen Bodenfeuchteverhältnisse zur Zeit der Ernte und 1991 auf die breitere Bereifung des neu eingesetzten 5-m-Mähdeschers zurückzuführen.

Raps und Zuckerrüben: die höchsten Bodenbelastungen

Werden die Kulturen miteinander verglichen, ergeben sich für Raps wegen häufigem Düngen und Spritzen und für Zuckerrüben wegen der schweren Vollerntemaschinen und hohen Fahrspuranteilen die höchsten Belastungswerte. Bei Raps sind im Jahr 1986 die höheren Werte als 1992 auf die Mistgabe zurückzuführen. Bei den Zuckerrüben beziehen sich 50% und mehr der Belastung (über 1,0 bar) ausschließlich auf die Erntearbeit, die unter ungünstigen Bodenverhältnissen erledigt wurde (Herbst 1989).

Der Mais bringt für den Anbau keine ausgesprochen hohe Bodenbelastung. Erst bei der Ernte lag die Belastung für 1987 und 1993 in beiden Verfahren zwischen 1,7 und 2,0 bar; dies wegen der relativ geringen Arbeitsbreite mit hohem Fahrspuranteil (55%) und der schlechten Bodenfeuchteverhältnisse. In der gewählten Fruchtfolge wirkt das Getreide am bodenschonendsten. Die Werte liegen zwischen 1,6 und 1,7 bar. Wegen einer intensiveren Bodenbearbeitung, eines häufigeren Befahrens beim Düngen und der Strohernte sind die Werte für den Weizen (1990) relativ hoch. Dies gilt auch für Roggen (inkl. Einsatz des Parapflugs im Herbst 1990).

Für die Bewertung der Strukturgefährdung durch die Maschinenlast zwischen verschiedenen Kulturen sollten Kulturen mit ähnlichem Wurzelwerk und Wurzelmasse pro Bodenvolumen

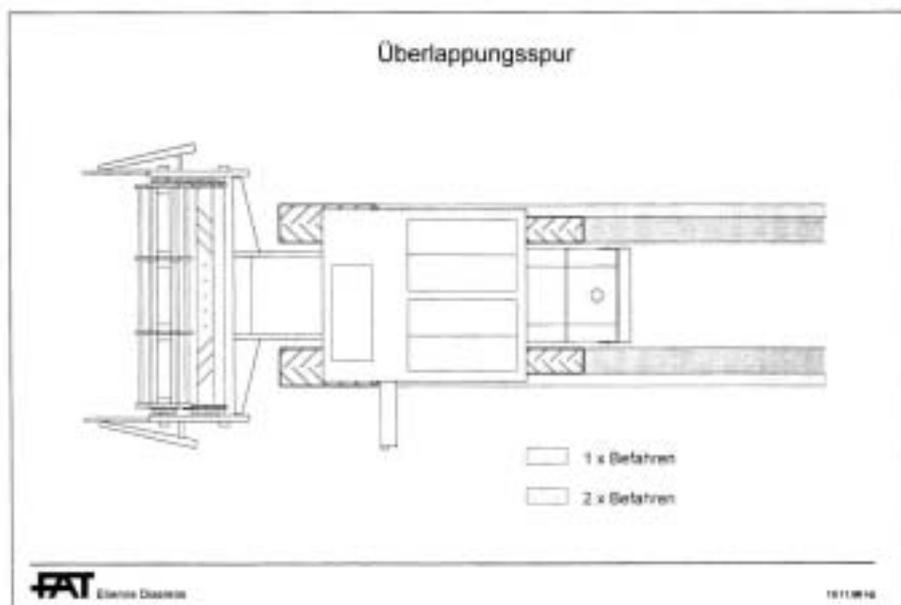


Abb. 4. Fahrspur mit Überlappungsspur beim Mähdescher (3 m Schnittbreite).

Tabelle 5. Daten zur Berechnung der gewichteten Bodenbelastung beim Mähdrusch (Claas Dominator, Weizen, 1994), Boden abgesetzt und trocken

		Vorderrad	Hinterrad
Bereifung		18,4 - 30	12,5/80 - 18
Pneubreite	[cm]	47	31
Aufstandfläche	[cm ²]	2015	811
Radlast	[kg]	3600	1500
Kontaktdruck	[bar]	1,79	1,85
Druckspannung bei 20 cm	[bar]	1,10	0,73
Gewichtete Bodenbelastung je Achse	[bar]	0,34	0,08
Gewichtete Bodenbelastung total	[bar]	0,34 + 0,08 = 0,42	

ausgewählt werden (zum Beispiel Weizen und Gerste).

Bodenveränderungen

Der maximale Druck bei 20 cm Bodentiefe: ein Indikator zur Abschätzung der Verdichtungsgefahr auf der Höhe der Pflugsohle

Im kritischen Bereich der Pflugsohle bei 20 cm Bodentiefe wird der Druck sowohl durch die Radlast als auch durch den Kontaktdruck stark beeinflusst. Es handelt sich um den maximalen Druck, der bei halber Befüllung der Maschinen erreicht wird. Hier zeigen die Verfahren «leicht» und «schwer» keine eindeutige Tendenz (Tab. 6).

Der höchste Druck von 1,6 bar wurde bei der Zuckerrübenenernte mit einem 12-t-Ladebunker, Variante «schwer», bei recht ungünstigen Bodenverhältnissen erreicht. Dabei steht der Fahrspuranteil bei 44%. Beim Mähdrusch schwanken die Werte zwischen 1,0 und 1,6 bar. Ab 1988 sind die Druckspannungen mit dem 5-m-Mähdescher allgemein tiefer als mit dem 3-m-Mähdescher (Tab. 6). Dies liegt eindeutig an der vergleichsweise schwach dimensionierten Bereifung des 3-m-Mähdeschers (18,4-30, Radlast 3600 kg). Beim Maisanbau liegen die Höchstwerte ohne selbstfahrenden Häcksler (Tab. 1) zwischen 1,0 und 1,1 bar beim Pflügen oder Spritzen (schmale Bereifung auf den Fahrspuren). Bei solch hohen Werten sind Strukturschäden wie das Schmieren in den Fahrspuren und Bodenverdichtung im Oberboden unvermeidlich. Im elften Versuchsjahr wurden die

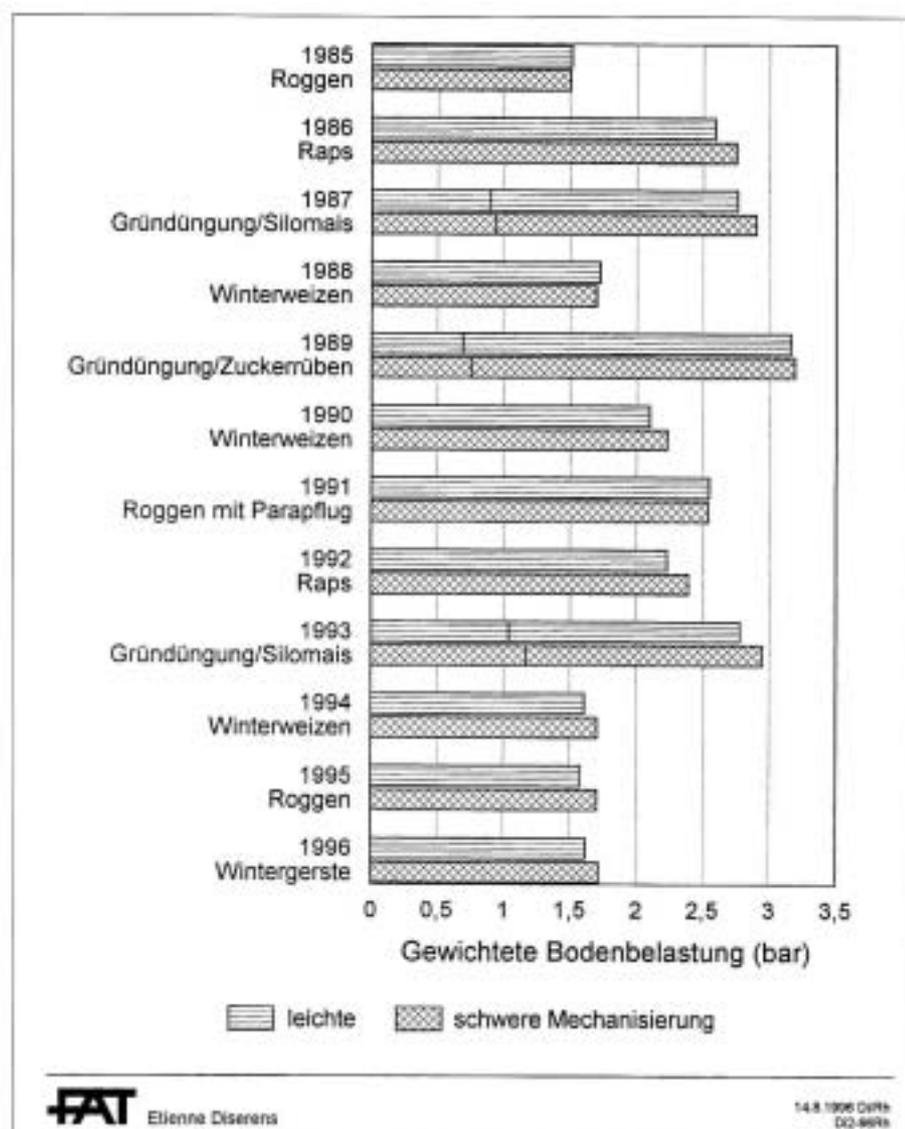


Abb. 5. Gewichtete Bodenbelastung der einzelnen Kulturen für die Periode 1985–1996.

scheinbare Dichte und das Porenvolumen aufgenommen (Tab.7). Dabei sind leicht höhere Dichten in der schweren Variante bis 25 cm festzustellen. Bei festerem Bodenzustand in der Pflugsohle sind keine signifikanten Unterschiede mehr ersichtlich. Die Werte der Porenvolumen verlaufen in die gleiche Richtung, sind aber statistisch nicht gesichert. Der Einfluss hoher Radlast (über 4 t bei schweren Maschinen) lässt sich im Unterboden nicht eindeutig nachvollziehen. Die Werte lassen sich unter 25 cm nicht differenzieren. Der Unterboden kann mit der Zeit als Folge der natürlichen Verlagerung von feinen Partikeln, des eigenen Bodengewichtes und als Folge des Furchenrades beim Pflügen als verfestigt bezeichnet werden.

Wasserverfügbarkeit in der Pflugsohle: kein bedeutender Unterschied zwischen der leichten und der schweren Mechanisierung

Im August 1995 wurden die Wasserspannung und die Menge des entzogenen Wassers mit dem Sauglysimeter gemessen (Abb. 6). Die Messperiode war trocken. Das Wasserregime liess sich in der Pflugsohle zwischen 25 und 30 cm, aber kaum durch die Wetterverhältnisse beeinflussen. In beiden Varianten blieb der Boden nahe bei der Sättigung (Wasserspannung = 0). Nur unter den Fahrgassen trocknete der Boden schneller aus. Der Oberboden war zusammengedrückt, der Kapillaraufstieg wurde dadurch stark gefördert.

Sind auf dem Feld die Grobporen nicht entleert, so kann durch Teilvakuum mehr Wasser als unter den Fahrgassen mit geringerem Grobporenvolumen abgesaugt werden. Ausserhalb der Fahrsuren lässt sich beim Wasserentzug kein deutlicher Unterschied zwischen leichten und schweren Maschinen beobachten.

In Abbildung 7 ist die Desorptionskurve für die Bodentiefe von 25 bis 30 cm eingetragen. Der Grobporenbereich (mit leicht entfernbarem Wasser) ist für beide Varianten ähnlich. In dem unteren Mittelporenbereich von 80 bis 160 mbar (bei leicht pflanzenverfügbarem Wasser) ist ein schwacher Unterschied zugunsten der leichten Variante festzustellen. Vergleicht man diese Resultate mit dem Verlauf des Wasserentzuges ausserhalb der Fahrsuren (Abb. 6), bleibt der Unterschied in diesem Mittelporenbereich praktisch unbedeutend. Eine Verdichtung durch höhere Maschinenlast in Form einer Abnahme der Grobporenvolumen lässt sich bei dieser Tiefe nicht feststellen. Es ist zu vermuten, dass im dauernd gesättigten Bereich der tonigen Pflugsohle die Maschinenlast auch durch das Wasser (hoher Porenwasserdruck) und nicht ausschliesslich durch die Bodenaggregate selber getragen wird (Horn et al., 1990).

Wasserinfiltration: ausgeglichene Werte

Die gesättigte Wasserleitfähigkeit k_s (für gesättigt) als Indikator für die Wasserbeweglichkeit im Boden wurde im Labor gemessen. Sie hängt nur von der Bodenbeschaffenheit (Textur, Anordnung der Aggregate, Struktur) ab. Verschiedene Werte sind in Tabelle 8 enthalten. Falls keine Regenwurmkonäle, Risse, Spalten, Höhlungen mit abgestorbenem oder teils zersetztem organischen Material vorhanden sind, bleiben die Werte des Versuchsbodens zwischen 25 bis 30 cm sehr tief. Der Boden kann in dieser Tiefe als weitgehend undurchlässig betrachtet werden.

Tabelle 6. Maximaler Druck bei 20 cm Bodentiefe für die Periode 1985–1996

Jahr	Kultur	Arbeitsvorgang	Boden- feuchte*	Druck [bar]		Fahrspuranteil [%]	
				"leicht"	"schwer"	"leicht"	"schwer"
1985	Roggen	Dreschen / id	FK	0,99	0,99	31,3	31,3
1986	Raps	Dreschen / id	FK-S	1,39	1,57	33,8	27,4
1986	Gründüngung	Güllen / id	S	0,78	0,73	17,1	21,5
1987	Silomais	Spritzen / Pflügen	S	0,98	1,07	4,7	41,0
1988	Weizen	Dreschen / id	S	1,37	1,27	31,3	27,1
1988	Gründüngung	Güllen / id	S	0,63	0,64	17,1	19,6
1989	Zuckerrüben	Ernte / id	S	1,10	1,63	71,1	44,4
1990	Weizen	Dreschen / id	T	1,11	0,97	31,3	34,2
1991	Roggen	Dreschen / id	FK-S	1,37	1,27	31,3	27,1
1992	Raps	Dreschen / id	S	1,36	1,13	31,3	34,2
1992	Gründüngung	Säen/Düngung	T	0,71	0,71	5,8	5,8
1993	Silomais	Spritzen / id	FK-S	1,04	1,04	4,0	4,0
1994	Weizen	Dreschen / id	T	1,10	0,95	31,3	34,2
1995	Roggen	Dreschen / id	FK	1,10	0,95	31,3	34,2
1996	Gerste	Dreschen / id	S	1,36	1,10	31,3	34,2

* T = trocken; FK = Feldkapazität (Groporen entleert); S = Sättigung

Erträge

Ungleichmässige Erträge, tendenziell negative Auswirkungen durch höhere Bodenbelastung

Werden die relativen Erträge betrachtet (Abb. 8), ergeben sich in acht Jahren tiefere Erträge (davon vier mit gesichertem Unterschied) bei der schweren Variante. Viermal gab es Unterschiede zuungunsten der leichten Variante. Der Mais ist die einzige Kultur, die bis jetzt auf ihren Standort nicht negativ reagierte. Die Erträge zeigen keinen eindeutigen Einfluss, nur ten-

denziell werden sie durch die leichte Mechanisierung bevorzugt.

In Abbildung 9 sind die Erträge der gewichteten Bodenbelastung gegenübergestellt. Hier wurde die berechnete Belastung zur Zeit der Ernte für die nächste Kultur angerechnet. Demzufolge sind die Werte für Winterweizen nach Zuckerrüben (1990) und nach Silomais (1994) besonders hoch. Auf elf Perioden verlaufen sechsmal die beiden Parameter in der erwarteten entgegengesetzten Richtung (1985–6, 1986–7, 1991–2, 1993–4, 1994–5, 1995–6). Die Ertragsschwankungen lassen sich in dem Fall nicht allein durch diesen Belastungsindikator erklären.

Weitere Faktoren, welche die Ertragsfähigkeit beeinflussen

Vergleicht man die Erträge der einzelnen Kulturen im Lauf der Versuchsjahre, ist tendenziell eine Abnahme bemerkbar, mit Ausnahme von Silomais (Abb. 8). Berücksichtigt man zugleich die Bodenfeuchte zur Zeit des Befahrens (Abb. 3), so ist zu vermuten, dass das Befahren bei oft ungünstigem Bodenzustand die Struktur eines tonigen Lehmbodens mittelfristig mit eher negativen Auswirkungen auf den Ertrag überall stark gefährdet.

Von 1993 bis 1995 wurde eine Teilparzelle, Variante «schwer», unter Kunstwiese gelegt. Im Frühherbst 1995 wurde auf diesem Teilstück wie sonst

Tabelle 7. Scheinbare Dichte und Gesamtporenvolumen. Bodenprobe September 1995

Bodentiefe [cm]	Scheinbare Dichte [g/cm ³]			Gesamtes Porenvolumen [%]		
	"leicht"	"schwer"	Signifikanz	"leicht"	"schwer"	Signifikanz
10-15	1,28	1,35	s.*	51,90	48,53	n.s.*
20-25	1,36	1,43	s.	48,93	47,10	n.s.
25-30	1,37	1,40	n.s.	49,23	48,13	n.s.
30-35	1,38	1,39	n.s.	48,90	48,47	n.s.
40-45	1,40	1,37	n.s.	48,17	48,53	n.s.

*s. = Gesicherte Differenz, n.s. = Nicht gesicherte Differenz

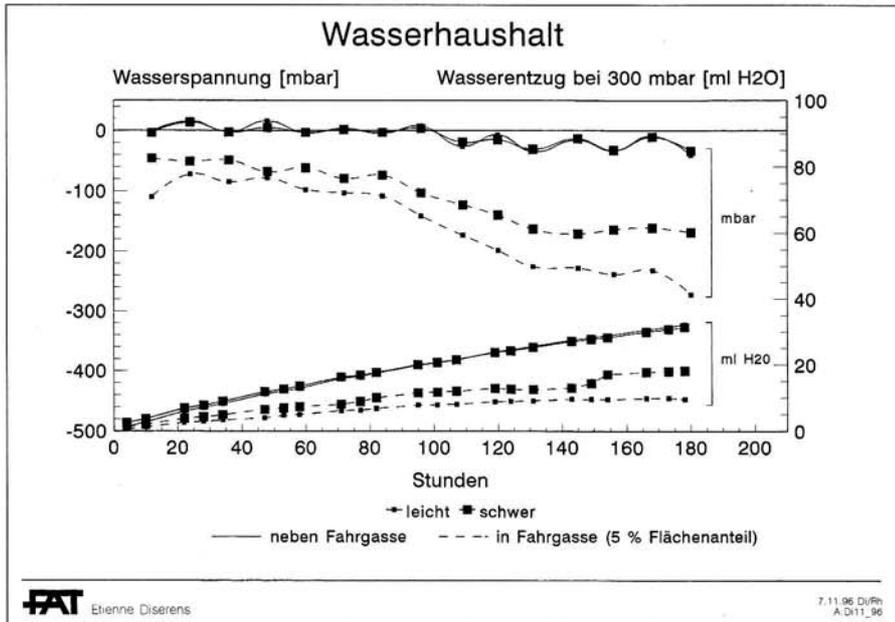


Abb. 6. Wasserspannung und Wasserentzug durch Teilvakuum in der Pflugsohle (25–30 cm). Messperiode: 15.–22.8.1995, Niederschlag: 3,4 mm.

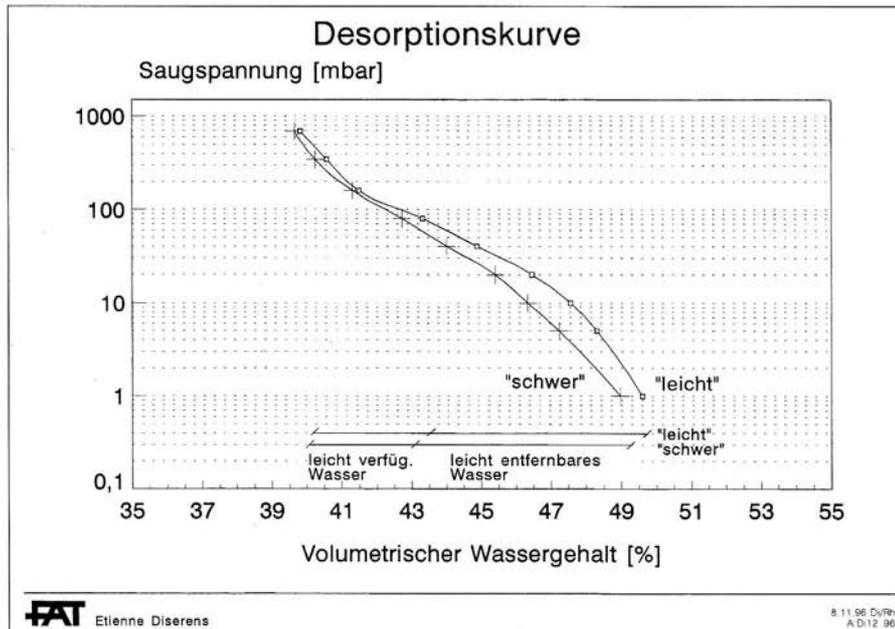


Abb. 7. Desorptionskurve in Grob- und Mittelporenvolumenbereichen, 25 bis 30 cm Bodentiefe. **Groporen** 0 bis 80 mbar: leicht entfernbare Wasser, **Mittelporen** 80 bis 690 mbar: leicht verfügbares Wasser, 690 bis 15000 mbar: schwer verwertbares Wasser; **Feinporen** > 15000 mbar: nicht verwertbares Wasser.

Tabelle 8. Wasserdurchlässigkeit in der Tiefe von 25–30 cm (ks-Werte, Infiltration in cm pro Tag)

Versuchsboden	Variante "leicht"	0,25	n.s. *
	Variante "schwer"	0,21	
Skala der Drainageklassen	übermässig durchlässig	über 100	
	normal durchlässig	10-100	
	gehemmt durchlässig	1-10	
	"undurchlässig"	unter 1	

* n.s. = Unterschied nicht signifikant

im Versuch Gerste gesät. Nach drei Jahren Kunstwiese war der Kornertrag trotz dem Einsatz schwerer Maschinen massiv höher (Tab. 9).

Schlussfolgerungen

Als Folge der Maschinenlast konnten zwischen den beiden Leistungsklassen «leicht» (35 bis 50 kW) und «schwer» (65 bis 80 kW) wesentliche Unterschiede weder auf die Bodenstruktur noch auf den Ertrag festgestellt werden.

Oberboden

Nur tendenziell wurde der Oberboden durch schwerere Maschinen stärker beansprucht. Die entsprechenden Erträge waren meistens auch leicht tiefer, obwohl sich keine enge Korrelation zwischen der Bodenbelastung und den Erträgen ergab. Das Befahren geschah für beide Varianten sehr oft in ungünstigen Bodenverhältnissen, und die Bodenstruktur wurde dadurch eher gleichmässig stark gefährdet; dies führte meistens für beide Varianten zu abnehmenden Erträgen.

Unterboden

Eine Verdichtung im Unterboden konnte nicht eindeutig bestätigt werden. Die Pflugsohle (ab 20 cm) ist stark ausgeprägt. Wegen des hohen Tonanteils, lässt sie sich in dem häufigen Sättigungszustand nur schwer verdichten (hoher Porenwasserdruck).

Bodenstruktur und Ertragsfähigkeit

Zur Erhaltung einer wurzelwachstumsfördernden Bodenstruktur (krümelig, locker aggregiert) ist hier weniger die Frage des Maschinengewichtes als viel mehr der Fruchtfolge (Kunstwiese) entscheidend.

Literatur

Horn R., Hartge K.H., 1990. Methoden und Konzepte der Bodenphysik. Teil A: Mechanische Eigenschaften von Bodenprofilen und Bodenstruktureinheiten, Weiterbildungsseminar der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft in Kandersteg vom 4.-7. April 1989, Zürich, 10/1990.

Kramer E., 1991. Schlagkräftige Mechanisierung – eine Gefahr für unsere Böden? FAT-Berichte 412. Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT).

Smith D.O., 1985. Compaction by wheels: a numerical model for agricultural soils. Journal of Soils Sciences, 36, 621–632.

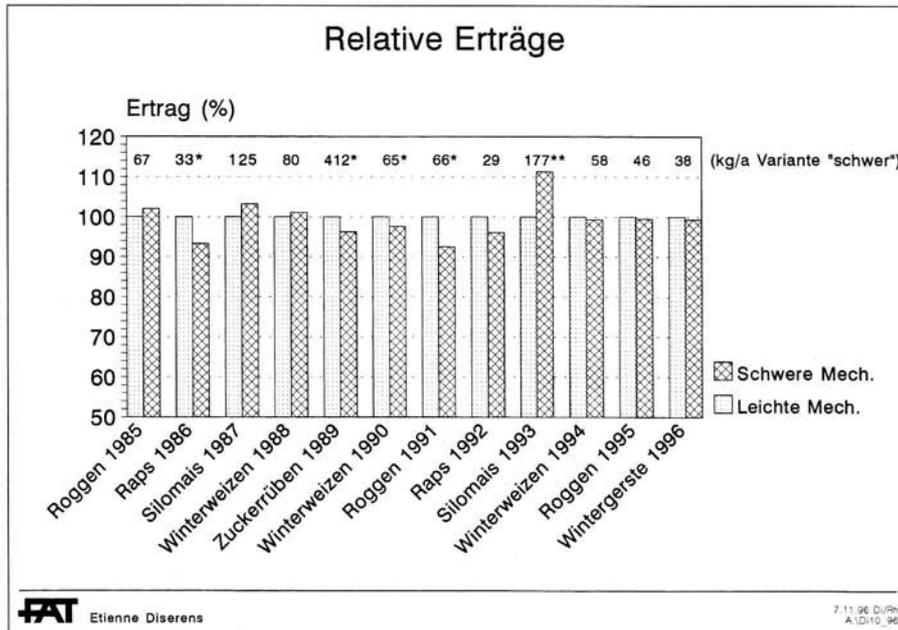


Abb. 8. Relative Erträge für die Periode 1985–1996 (Variante «leicht» = 100%). * gesicherter Unterschied, ** stark gesicherter Unterschied.

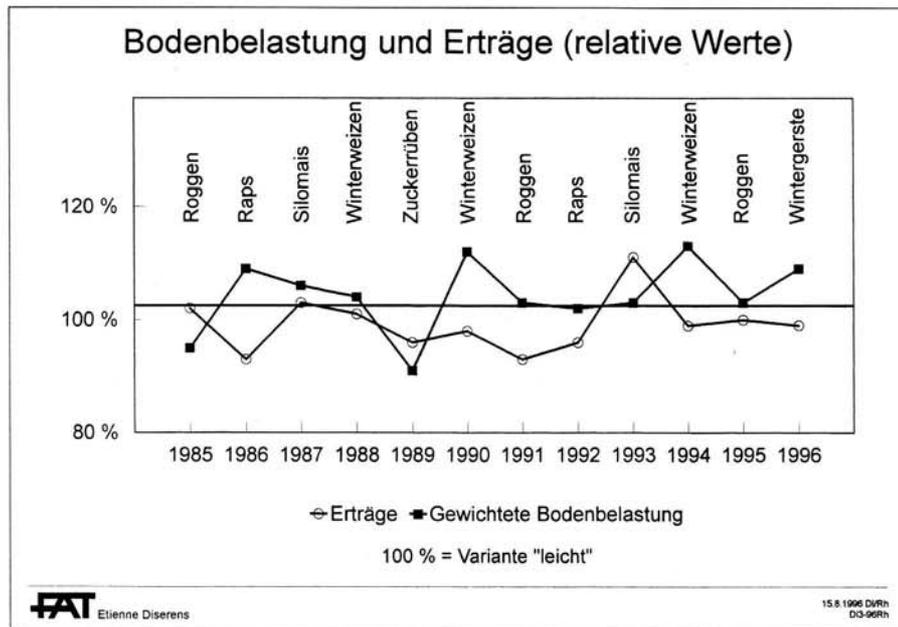


Abb. 9. Bodenbelastungs- und Ertragsverlauf für die Periode 1985–1996 bei der «schweren» Variante. Relative Werte (100% = Variante «leicht»).

Tabelle 9. Ertrag von Gerste nach dem Wiesenumbruch

Variante	B _{gew} * bar	Ertrag		Hektolitergewicht		Vorfrucht 1993-1995
		dt/ha	%	kg/hl	%	
"leicht"	1,62	38,7	100,0	66,8	100,0	1 x Mais, 2 x Getreide
"schwer"	1,72	38,4	99,2	66,5	99,6	1 x Mais, 2 x Getreide
"schwer"	1,72	54,4	140,6	67,1	100,5	3 x Kunstwiese

* Gewichtete Bodenbelastung