

**Zeitschrift:** Landtechnik Schweiz  
**Herausgeber:** Landtechnik Schweiz  
**Band:** 56 (1994)  
**Heft:** 6

**Artikel:** Leichte oder schwere Mechanisierung? : Bodenverdichtungen:  
Zusatzlasten und sehr feuchte Böden entscheidend  
**Autor:** Diserens, Etienne  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1081290>

#### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

#### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

#### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 03.02.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

Herausgeber: Eidg. Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT)

CH-8356 Tänikon TG

Tel. 052-62 31 31

Fax 052-61 11 90

## Leichte oder schwere Mechanisierung?

### Bodenverdichtungen: Zusatzlasten und sehr feuchte Böden entscheidend

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

Bei der Maschinenanschaffung sind Leistung und Schlagkraft unbestreitbare Kriterien. Deshalb wird oft der Erwerb einer schweren Maschine in Kauf genommen. Mit welchen Risiken muss der Landwirt rechnen, wenn er «schwer» fährt?

Nach neun Jahren eines mehrjährigen Feldversuchs wird festgestellt,

dass der Boden durch das höhere Maschinengewicht trotz der damit verbundenen Reduktion des Fahrspuranteils beeinträchtigt wird. Die Wasserverfügbarkeit unterhalb der Pflugsohle geht leicht zurück. Die Ertragsunterschiede sind klein und variieren von einem Jahr zum anderen. Immerhin lässt sich der negative Ein-

fluss des Radgewichts nicht verneinen. Weil beim konventionellen Pflügen sowohl die Druckspannung in die Tiefe als auch die Anzahl Durchgänge verhältnismässig hoch sind, stellt das Furchenrad bezüglich Bodenverdichtung eine besondere Gefahr dar.

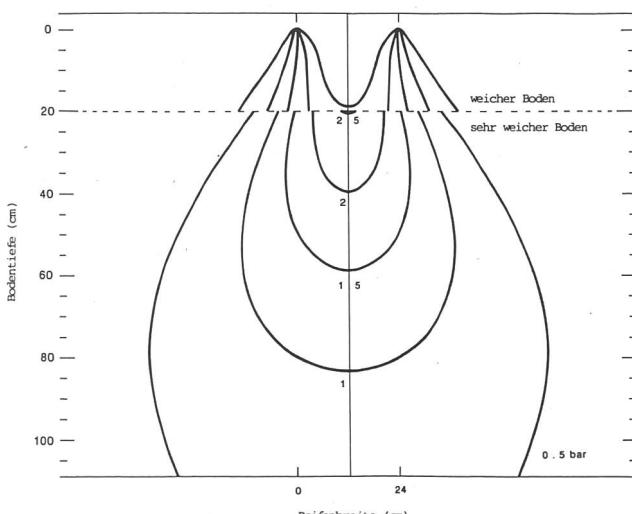


Abb. 1. Druckfortpflanzung im heterogenen Boden. Beispiel: Schipper, Bereifung 9.5 R 48/8, Radlast 3,3 t.

Inhalt	Seite
Versuch	36
Druckspannung im Boden	36
Bodenveränderung	37
Erträge	37
Schlussfolgerungen	38
Literatur	39

## Verdichtungsanfälligkeit des untersuchten Bodens

Mit zunehmendem Tongehalt nimmt die Durchlässigkeit des Bodens ab. Der tonige, wenig durchlässige Horizont bei 70–80 cm (Tabelle 1) verhindert die weitere Wasserzufuhr in die Tiefe. Daher ist der Boden bis zu einer Tiefe von 80 cm häufig gesättigt. Bis zu einer Tiefe von 60 cm ist der Boden lehmig und wegen der oft vorkommenden Feuchtigkeit und stärkeren Durchlässigkeit ausserordentlich verdichtungsanfällig. Beim Befahren mit einer schweren Maschine kann das Wasser seitlich ausweichen, wobei die Bodenaggregate zusammengedrückt werden.

## Der Versuch in Kürze

### Grosse Versuchsparzellen

Der Versuch erstreckt sich über eine Fläche von 1,4 ha, aufgeteilt in acht Parzellen (24 x 74 m). Bis Herbst 1990 waren es 14 Parzellen mit einer Gesamtfläche von 2,4 ha. Die Parzellen liegen nebeneinander, so dass sämtliche Manöver auf den Grasstreifen am Rand durchgeführt werden können. Die Anordnung und Grösse der Parzellen sind so, dass die Versuchsbedingungen auch beim Einsatz der grössten Maschinen (Mähdrescher, Vollernter) der Praxis entsprechen.

### Leichte und schwere Mechanisierung

Es werden zwei praxisbezogene Varianten mit einem konventionellen Maschinenpark gewählt:

- leichte Variante: 2S (Zweischarpfug)
- schwere Variante: 3S (Dreischarpfug)

Das Verhältnis zwischen der Anzahl Durchgänge bei schwerer und leichter Mechanisierung beträgt 2:3 beim Pflügen, Mistsetzen, Güllen und Dreschen; 1:2 beim Maishäckseln und bei der

**Tabelle 1. Körnung des Versuchsbodens**  
(Parabraunerde, tendenziell hydromorph)

Tiefe (cm)	0–15	30–40	50–60	70–80	90–100	130–140
Ton (%)	22,9	27,4	23,0	31,9	34,7	12,3
Schluff (%)	46,9	44,0	44,7	30,5	23,7	24,1
Sand (%)	26,1	27,1	31,2	37,1	41,0	63,2

Zuckerrübenernte. Für das Säen, die Strohernte sowie das Düngen und Spritzen in den Fahrgassen werden bei beiden Verfahren die selben Maschinen eingesetzt. Beim leichten Verfahren werden nicht mehr als 50 kW, beim schweren nicht mehr als 95 kW eingesetzt. Die Liste der im Versuch eingesetzten Maschinen findet sich in FAT-Bericht Nr. 412.

fass, Mistzetter, Ladewagen beim Maishäckseln). Die berechneten Druckspannungen beziehen sich auf eine Tiefe von 40 cm, das heisst auf den unbearbeiteten Teil des Bodens. In Anbetracht der grossen Zahl berechneter Werte wird nur der Spannungsbereich mit dem für das entsprechende Verfahren repräsentativsten Wert grafisch dargestellt (Abb. 2 und 3).

Das Rechnungsmodell stützt sich auf die Gleichungen von Boussinesq (Lang et al., 1990). Beim Erweichen des Bodens (höherer Wassergehalt oder Lockerung) sind die zwei Grundprinzipien des Modells einerseits eine Abnahme des mittleren Kontaktflächen-drucks (da die betroffene Fläche durch das Eindringen des Rades in den Boden grösser wird) mit einem Korrek-turfaktor für die Maximalbelastung un-terhalb der Radachse, und anderer-seits eine allgemeine Konzentration der Druckspannungen gegen die Radach-se dem gesamten Profil entlang. Für einen heterogenen Boden (Tab. 2) erhält man die Druckspannungen in 40 cm Tiefe, indem man jene in 20 cm Tiefe als neuen Kontaktflächendruck be- trachtet und den Rechenvorgang unter Berücksichtigung des Festigkeits-grads des Unterbodens wiederholt (Abb. 1).

Der Raddruck pflanzt sich im Boden mit abnehmender Intensität fort. Bei einem bestimmten Kontaktflächendruck ver-läuft diese Abnahme umso schneller, je kleiner die Kontaktfläche und je härter der Boden ist.

## Druckspannung im Boden: hohe Belastung durch das Furchenrad!

Es werden die Druckspannungen im Boden berechnet. In diesem Zusam-menhang spielt die Bodenfestigkeit eine zentrale Rolle. Der Boden wird in die Kategorien «fest», «weich» und «sehr weich» unterteilt, je nach Was- sergehalt, der nach jedem Arbeits-durchgang im Horizont Ap gemessen wird. Der Lockerungsgrad des Bodens wird ebenfalls berücksichtigt (Tab. 2). Für jede Gerätekombination (inklusive Traktor) wird nur der Maximaldruck erfasst. Dies betrifft das Hinterrad des Traktors oder der selbstfahrenden Ma-schine (Bodenbearbeitung, Saat, Dün-gerstreuen, Schädlingsbekämpfung, Silomais- und Zuckerrübenernte), das Vorderrad des Mähdreschers sowie eines der Räder des Anhängers (Druck-

**Tabelle 2. Bodenfestigkeitskategorien gemäss Rechnungsmodell.**  
Der Wassergehalt wird in einer Tiefe von 0–20 cm erhoben.

H <sub>2</sub> O (%) grav.	< 25	25 - 35	> 35
Gelockerter Boden (0 – 20 cm)	sehr weich	sehr weich	sehr weich
Abgesetzter Boden (0 – 20 cm)	fest	weich	sehr weich
Unterboden (40 cm)	weich	sehr weich	sehr weich

Die Druckspannungen lassen sich je nach Arbeitsvorgang gruppieren (Abb. 2 und 3). Im schweren und leichten Verfahren werden die höchsten Werte (2 bzw. 1,3 bar) beim einmaligen Durchgang mit dem Schipper bzw. dem Zuckerrüben-Vollernter erreicht. Ein beinahe so hoher Wert, nämlich gegen 1 bar (2S) und mehr (3S) wird jedes Jahr für das Furchenrad ermittelt.

Bei beiden Verfahren verursacht die Hofdüngerausbringung etwas höhere Spannungen als die Ausbringung mineralischer Dünger (Abb. 3). In den Fahrspuren sind die Spannungen wegen der geringen Reifenbreite (24–35 cm) nicht unerheblich.

Die Räder der schweren Mähdrescher (3S) verursachen schwächere Druckspannungen als jene der leichteren (2S), beanspruchen jedoch eine grössere Bodenfläche. Der Fahrspuranteil wird um 10% und mehr verringert, wenn mit dem Dreischarfplug oder der Federzinkenegge 4,2 m anstelle des Zweischarfplugs oder der Federzinkenegge 2,8 m gearbeitet wird. Wegen der geringen Furchenbreite (35 cm) beim Pflügen und der Doppelbereifung beim Eggen ist der Fahrspuranteil in beiden Varianten verhältnismässig hoch. Die Vorteile der grösseren Arbeitsbreite sind gering.

## Bodenveränderung durch Druckspannungen

### Untersuchte Bodeneigenschaften und Methode

Die Bodenfestigkeit, der Wassergehalt bei der Sättigung sowie der Wasserfluss werden 10 cm unterhalb der Pflugsohle (das heisst in 30 cm Tiefe) ermittelt. Die Bodenfestigkeit wird auf der gesamten Versuchsfläche mit einem Penetrometer gemessen. Der volumenbezogene Wassergehalt und die Saugspannung (das heisst der Anziehungseffekt, der durch die eng miteinander verbundenen Bodenaggregate auf das Wasser ausgeübt wird) werden mit TDR-Sonden (Time Domain Reflectometry) bzw. Tensiometern erhoben. Die Messung des Wasserflusses erfolgt mit Hilfe von Saugkerzen,

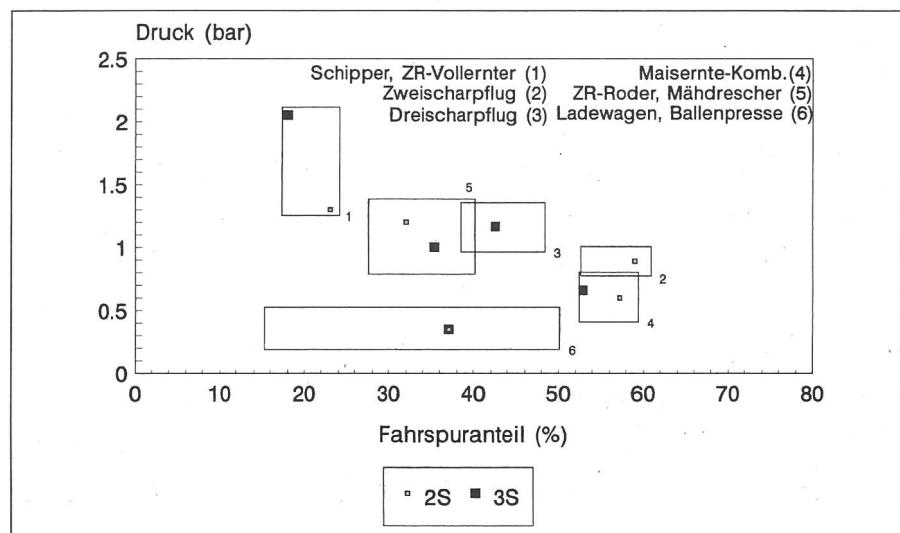


Abb. 2. Druckspannung in 40 cm Tiefe und Fahrspuranteil beim Ernten und Pflügen.

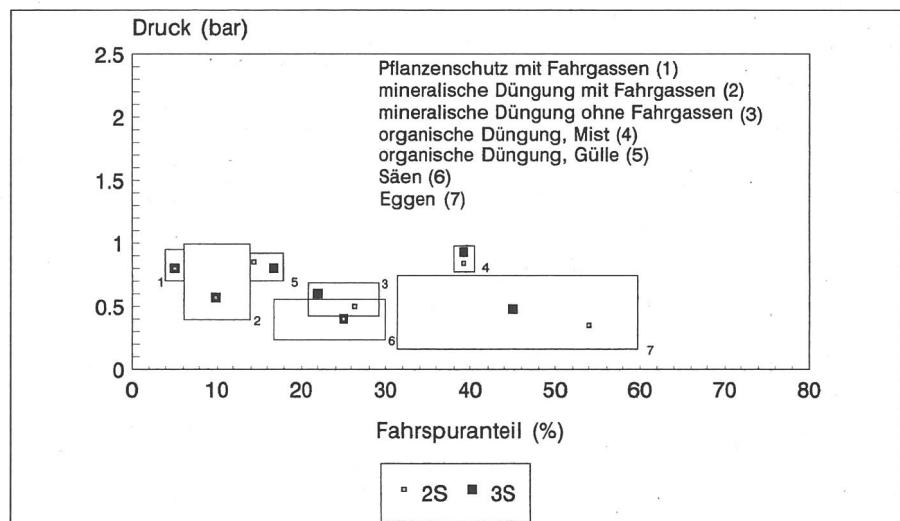


Abb. 3. Druckspannung in 40 cm Tiefe und Fahrspuranteil beim Eggen, Spritzen und Düngen.

die unter Teilvakuum stehen. Die Messungen auf je einer Versuchsparzelle für jedes Verfahren erfolgen auf einer beschränkten Fläche.

Die penetrometrischen Messungen (Abb. 4) ergeben, dass die Bodenfestigkeit bei der schweren Variante (3S) zu Beginn der Erhebungen höher ist als bei der leichten Variante (2S). Der Wasserhaushalt wurde im August und September 1993 erhoben. Bei Sättigung, wenn die Saugspannung gleich Null oder grösser ist, ist der Wassergehalt bei der leichten Variante höher (Abb. 5). Gleichzeitig sind bezüglich des Wasserflusses tendenziell höhere Werte zu Gunsten der leichten Mechanisierung feststellbar (Tab. 3).

## Erträge: wider-sprüchliche Resultate

Während der ersten acht Jahre haben die zusätzlichen Druckspannungen einen tendenziell grösseren Einfluss auf die Erträge als die Reduktion des Fahrspuranteils (Abb. 6). Im neunten Jahr ist dagegen für die schwere Variante keine Ertragsabnahme festzustellen. Die von der Druckspannung unabhängigen, variablen Bodeneigenschaften (Körnung, Durchlässigkeit in die Tiefe) können dem negativen Einfluss der Mechanisierung entgegenwirken.

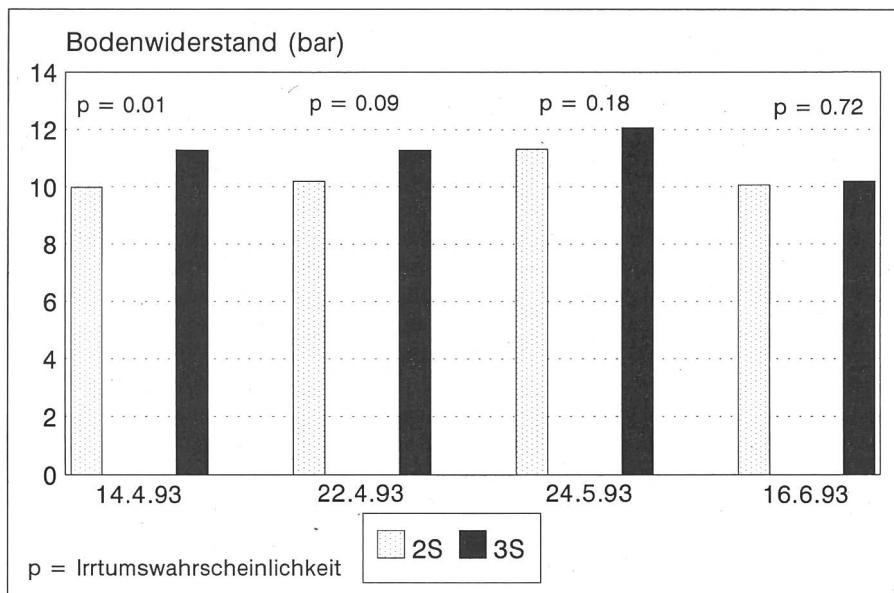


Abb. 4. Messungen mit dem Penetrometer in 30 cm Tiefe. Je grösser der Bodenwiderstand gegenüber einer geeichten konischen Spitz, desto fester ist der Boden.

Die unterschiedlichen Resultate lassen darauf schliessen, dass die Belastungszunahme bei gleichzeitiger Reduktion des Fahrspuranteils keinen markanten, dauernden Einfluss auf die Erträge hat. Die möglichen Gründe dafür:

- Der Oberboden wird vor der Saat durch das Pflügen einheitlich aufgelockert;
- Die sehr schweren Maschinen (Vollernter, Mähdrescher, Güllefass, Miststreuer) fahren auf einem eher tragfähigen Boden, sei es zum Zeitpunkt der Ernte oder kurz danach;
- Die eingesetzten Gerätekombinationen ausserhalb der Fahrspuren sind entweder mit Doppelrädern ausgerüstet (Eggen) oder lassen sich bezüglich ihrer Last zwischen den untersuchten Varianten kaum unterscheiden.

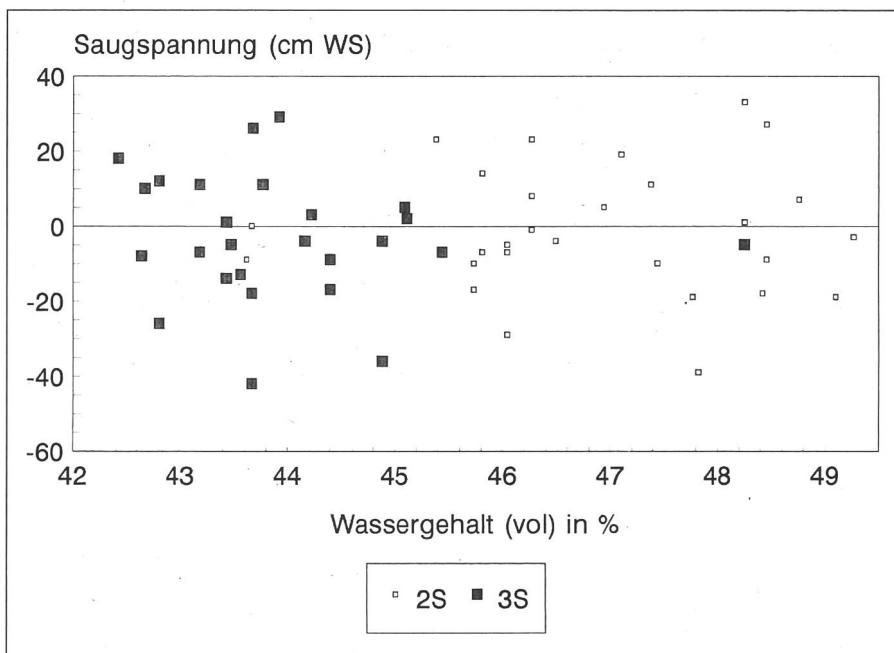


Abb. 5. Volumenbezogener Wassergehalt und Saugspannung 10 cm unterhalb der Pflugsohle. Bei der Abtrocknung des Bodens nimmt die Saugspannung ab; umgekehrt nimmt es zu, erreicht und übersteigt Null, wenn sich der Boden mit Wasser füllt. Bei Null und darüber ist der Boden gesättigt.

## Schlussfolgerungen

Der negative Einfluss der schweren Mechanisierung ist nicht jedes Jahr ersichtlich, stellt jedoch bezüglich der Erträge eine latente Gefahr dar. Auch der Wasserhaushalt unterhalb der Pflugsohle wird durch zusätzliche Lasten beeinträchtigt. Bei starker Trockenheit würde die Veränderung im Wasserhaushalt noch deutlicher zu Tage treten. Das Furchenrad spielt eine zentrale Rolle. Mit Ausnahme des Pflügens ausserhalb der Furche, muss in erster Linie das Traktorgewicht und erst dann die Arbeitsbreite berücksichtigt werden, vor allem bei lehmigen, oft gesättigten Böden.

**Solange die Druckspannungen und der Bodenzustand beim Befahren stabil bleiben,** ist eine auf das Maschinengewicht zurückzuführende Verschlechterung der Ertragsfähigkeit des Bodens langfristig unwahrscheinlich. Die Bodenaggregate bleiben im Gleichgewicht und verhalten sich elastisch, sofern sie nicht durch aussergewöhnlich hohe Druckspannungen verformt werden. Dies bestätigt erneut, dass im Hinblick auf Bodenverdichtungen sowohl **zusätzliche Lasten** als auch das Befahren und die Bearbeitung eines **sehr feuchten Bodens** eine zentrale Rolle spielen.

### Tabelle 3. Durchschnittlicher Wasserfluss (ml/h) und Standardabweichung- en in 30 cm Tiefe.

Je höher die Werte, desto leichter steht das Wasser den Pflanzen bei einem bestimmten Unterdruck zur Verfügung.

Teilvakuum (bar)	0,2	0,3	0,5
2S	0,12 (0,03)	0,20 (0,04)	0,45 (0,11)
3S	0,10 (0,03)	0,18 (0,06)	0,40 (0,09)

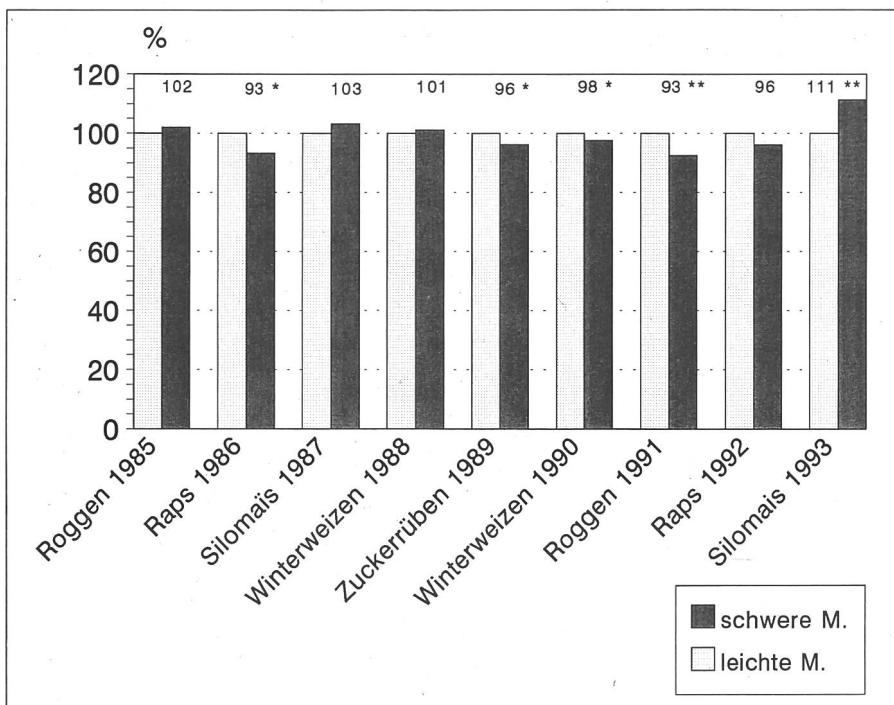


Abb. 6. Relative Erträge während neun Jahren (100 % = leichte Mechanisierung).

## Literatur

Kramer, E., 1991: Schlagkräftige Mechanisierung – eine Gefahr für unsere Böden?

FAT-Berichte Nr. 412. FAT, CH-8356 Tänikon.

Lang, H.-J., Huder, J., 1990: Bodenmechanik und Grundbau, 4. Auflage, Springer-Verlag.

Maillard, A., Neyroud, J.-A., Vez, A., 1984: Effets du tassement du sol avant la préparation finale du lit de semences. Revue suisse d'agriculture, 16 (5), p. 249–253.

Die FAT-Berichte erscheinen in zirka 20 Nummern pro Jahr. – Jahresabonnement Fr. 50.– Bestellung von Abonnements und Einzelnummern: FAT, CH-8356 Tänikon. Tel. 052 62 32 62, Fax 052 61 11 90. – Die FAT-Berichte sind auch in französischer Sprache als «Rapports FAT» erhältlich. – ISSN 1018-502X.