

Bodenverdichtung: Vorbelastung als Stabilitätsmass

Bodenstabilität ist mit der Vorbelastung charakterisierbar

Michael Gysi, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik, Tänikon (FAT), 8356 Ettenhausen

Bei der Verwendung von schweren landwirtschaftlichen Maschinen können Unterbodenverdichtungen auftreten. Das Ausmass und die Ausprägung hängen weitgehend von der mechanischen Stabilität des Bodens ab. Die mechanische Stabilität eines Bodens wird mit der Vorbelastung charakterisiert. Die Vorbelastung ist der Druck, der ein Boden ohne bleibende Verformungen tragen kann. Ist die einwirkende Last höher als die Vorbelastung, sind Bodenverdichtungen zu erwarten. Bei Lasten tiefer als die Vorbelastung verformt sich der Boden elastisch, das heisst der Boden entspannt sich nach Aussetzen der Last in seine ursprüngliche Form. Die

Vorbelastung eines Bodens hängt stark von der Bodenfeuchtigkeit ab. Gemessen wird die Vorbelastung mit Hilfe eines Oedometers, das im Labor eine Druck-Setzungskurve aufzeichnet.

In den Jahren 1997, 1998 und 1999 untersuchte die FAT die Verdichtungsempfindlichkeit zweier verschiedener Böden. Dabei überrollte man den Boden mit einer Radlast von 10,7 Tonnen einfach und vierfach. Die Böden waren zum Zeitpunkt der Befahrung feucht bis sehr feucht. Stellvertretend sind hier die Resultate des Feldversuchs 1998 dargestellt. 1998 konnte eine Bodenverdichtung bis in eine Tiefe von 0,35 m gemessen wer-

den, darunter veränderte sich die Bodenstruktur nicht. Diese Beobachtung bestätigte sich in den Versuchen aus den Jahren 1997 und 1999. Die untersuchten Böden haben also grössere Lasten getragen, als bisher vermutet wurde. Diese Resultate wurden auf zwei Böden erhoben und erlauben keine generelle Aussagen zu anderen Böden und Feuchtigkeiten.

Mittels eines finiten Element-Rechenmodells kann man die Verdichtung am Computer voraussagen. Der Aufwand, an den entsprechenden Bodenproben die mechanischen Eingangsgrossen im Labor zu messen, ist sehr hoch.

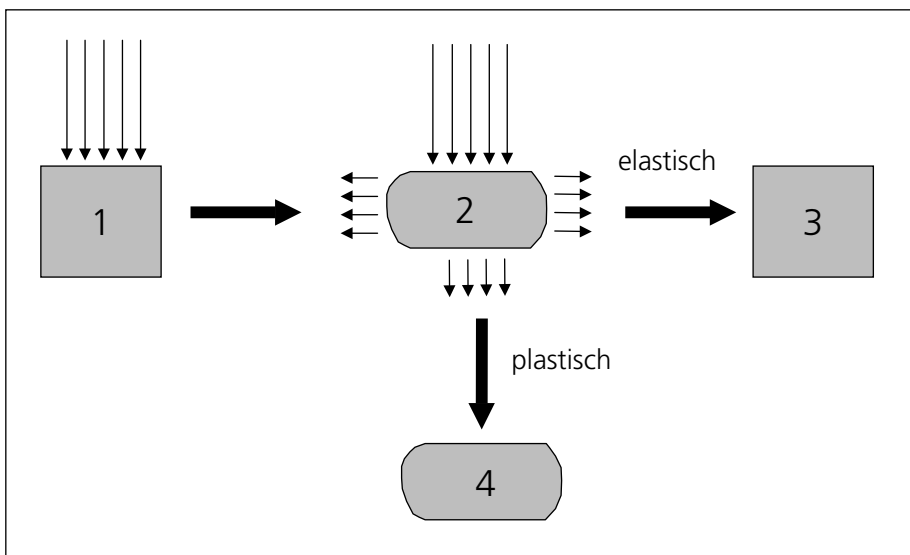


Abb. 1: Schematische Darstellung plastischer und elastischer Verformung. Wird ein Bodenelement einem Vertikaldruck ausgesetzt (1), verformt sich das Element und gibt den Druck an seine Nachbarelemente weiter (2). Nach Abfallen des Drucks zeigt sich eine elastische (3) oder plastische (4) Verformung. Tritt eine elastische Verformung auf, zeigt das Element nach der Druckbelastung dieselbe Form, währenddem bei der plastischen Verformung eine bleibende Formveränderung festzustellen ist.

Inhalt	Seite
Vorbelastung	2
Bandbreite der Vorbelastung	3
Einfluss der Feuchtigkeit	3
Feldversuch	3
Messparameter	4
Finites Element-Modell	5
Literatur	7

Saugspannung und Feldkapazität

Die Saugspannung bezeichnet den benötigten Unterdruck (in kPa oder hPa), um einem Boden Wasser zu entziehen. Überschreitet die Saugspannung einen gewissen Wert, sind die Wurzeln also nicht mehr in der Lage, Wasser aus dem Boden aufzunehmen. Dieser Zustand wird mit permanentem Welkepunkt bezeichnet. Das Wasser wird im Boden durch Kapillarkräfte der Poren zurückgehalten, kleine Poren halten das Wasser stärker zurück als Poren mit grossen Radien. Trocknet ein Boden aus, werden zuerst die grossen Poren (Grobporen) entwässert, erst dann folgen die Poren mit den kleinen Radien (Mittel- und Feinporen). Mit Feldkapazität wird die Saugspannung bezeichnet, die zwei bis drei Tage nach einer vollständigen Sättigung und anschliessendem Entwässern durch die Gravitationskraft auftritt. Die Feldkapazität liegt etwa bei 0,4–1,6 kPa. Die Saugspannung kann auch als Mass für das pflanzenverfügbare Wasser verstanden werden. Hohe Saugspannung bedeutet trockener Boden und tiefe Saugspannung feuchter oder nasser Boden. Die Menge des pflanzenverfügbaren Wassers hängt aber nicht nur von der Menge des vorhanden Wassers ab, sondern auch von der Grösse der Poren, in denen es gespeichert ist.

Vorbelastung

Wird ein Boden mechanisch belastet, verformt er sich in einem ersten Schritt elastisch. Wird die Auflast weiter erhöht, verformt sich der Boden plastisch. Nach Wegfallen der Auflast bleibt somit eine Formveränderung zurück (Abb. 1). Der Boden verdichtete sich. Der Druck beim Übergang von elastischer zu plastischer Verformung wird mit Vorbelastung bezeichnet und mit einer Druckeinheit (kPa) charakterisiert. Belastet man einen Boden über die Vorbelastung hinaus, verformt er sich plastisch, wird also verdichtet. Die Vorbelastung erhöht sich bis zu dem Druck, dem der Boden maximal ausgesetzt war.

Eine hohe Vorbelastung eines Standortes kann durch eine Verdichtung durch landwirtschaftliche Maschinen bedingt sein, aber auch natürliche Gründe haben. So haben beispielsweise durch Gletscher überfahrene Böden eine vergleichsweise hohe Vorbelastung. Inwiefern eine hohe Vorbelastung antropogenen oder natürlichen Ursprungs hat, ist heute schwierig abzuschätzen.

Im Feld werden ungestörte Bodenproben in Metallzylindern entnommen und im Labor auf eine bestimmte Saugspannung konditioniert. Anschliessend verdichtet man die Bodenprobe direkt im Metallzylinder (Abb. 2). Durch die starre Wand des Metallzylinders ist die Ausdehnung der Bodenprobe in horizontaler Richtung behindert. Es findet also nur eine Verdichtung in vertikaler Richtung statt (uniaxiale Verdichtung). Der Verdich-

tungsvorgang erfolgt stufenweise und ist druckgesteuert. Jede Druckstufe dauert üblicherweise 30 Minuten, und am Ende jeder Stufe werden die Setzung und der Druck aufgezeichnet.

In einem halb logarithmischen Diagramm sind Druck und Setzung dargestellt (Abb. 3). Die Kurve weist einen charakteristischen Knickpunkt auf. Die Vorbelastung befindet sich in diesem Bereich. Der genaue Wert der Vorbelastung lässt sich mittels der Casagrande-Konstruktion (Casagrande 1936) errechnen. Der Bereich unterhalb der Vorbelastung, das heisst mit tieferen Drücken als die Vorbelastung, ist der Wiederverdichtungsbe- reich. Der Boden reagiert hier elastisch. Oberhalb der Vorbelastung beginnt der Erstbelastungsbereich. Der Boden verformt sich plastisch, er wird verdichtet. Unter statischen Drücken kann die Vorbelastung direkt als Mass für die Stabilität eines Bodens dienen. Wird die Vorbelastung durch die Belastung überschritten, ist mit Verdichtungen zu rechnen. Mit Kenntnis der Vorbelastung und der Druckausbreitung unter dem Rad können also Vorhersagen zur Verdichtung gemacht werden. Es existieren Ansätze, die versuchen, die Vorbelastungen aus verschiedenen kartierten Grössen wie La-

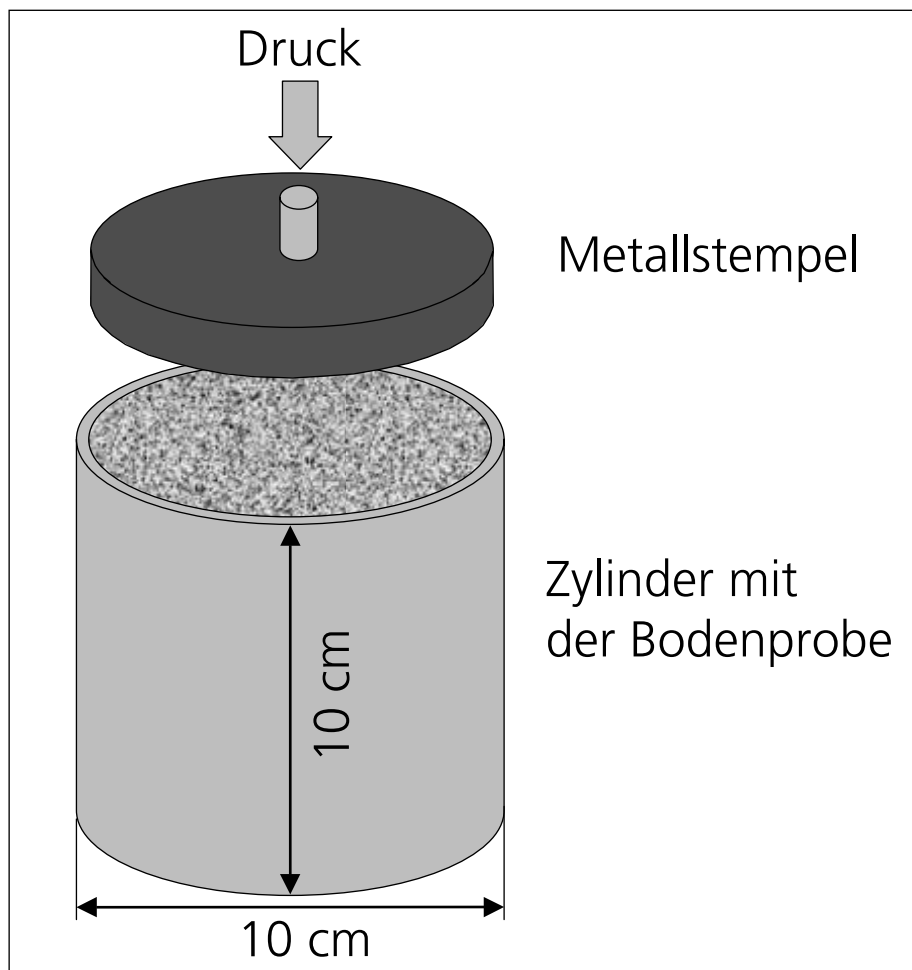


Abb. 2: In einem Metallzylinder werden die Bodenproben im Feld ausgestochen und ins Labor transportiert. Ein Metallstempel, der in den Zylinder passt, verdichtet die Bodenprobe stufenweise. Das Messgerät als Ganzes wird Oedometer genannt.

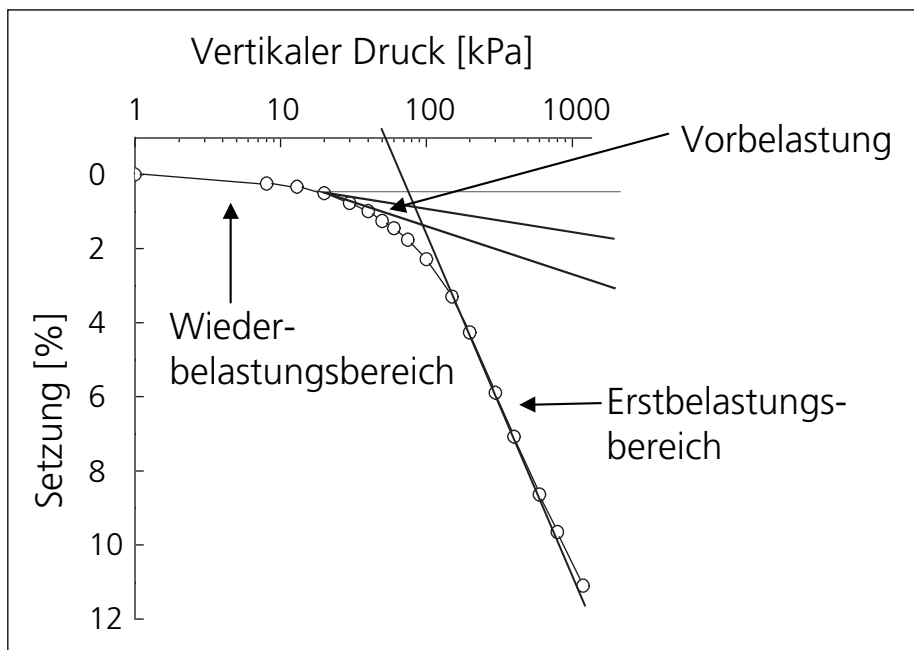


Abb. 3: Klassischerweise wird die Druck-Setzungskurve als halb logarithmisches Diagramm dargestellt. Auf der y-Achse wird die Zusammendrückung oder Setzung abgetragen und auf der x-Achse der Logarithmus der Vertikalspannung oder des Druckes. Die Kurve zeigt einen charakteristischen Knickpunkt im Bereich der Vorbelastung. Die exakte Vorbelastung kann mit Hilfe der Casagrande-Konstruktion ermittelt werden. Der Bereich unterhalb der Vorbelastung wird mit Wiederverdichtung bezeichnet und der Bereich über der Vorbelastung mit Erstverdichtung.

gerungsdichte, Humusgehalt usw. vorherzusagen (Blume et al. 1995). Dadurch würde eine flächendeckende Abschätzung der Stabilität möglich. Leider stimmen die prognostizierten Vorbelastungen nur teilweise mit den im Feld gemessenen überein.

Einfluss der Feuchtigkeit

Aus der Erfahrung wissen wir, dass ein Boden mit hoher Feuchtigkeit eine tiefere Stabilität aufweist als ein Boden in ab-

Feldversuch

In den Jahren 1997, 1998 und 1999 führten wir je einen gross angelegten Feldversuch durch. In allen drei Versuchen un-

Bandbreite der Vorbelastung

In einem gross angelegten Versuch wurden im Rahmen des Gasleitungsbaus die Vorbelastungen von vielen unterschiedlichen Böden untersucht (Berli, mündliche Mitteilung). Es hat sich dabei gezeigt, dass Stabilitäten von 20 bis 158 kPa erreicht werden. Der Grossteil der Böden befindet sich in einem Bereich zwischen 20 und 100 kPa. Abbildung 4 zeigt die Abhängigkeit der Vorbelastungen von der Lagerungsdichte. Eine schwache Korrelation der Vorbelastung mit der Lagerungsdichte ist festzustellen. Inwiefern die Vorbelastungen natürlich oder antropogen verursacht sind, lässt sich nicht bestimmen.

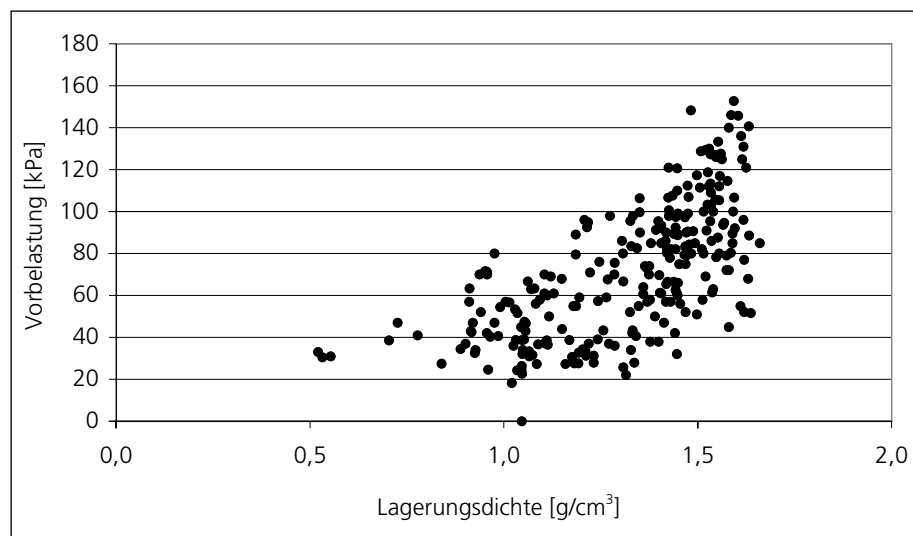


Abb. 4: Entlang dem Trasse der Gasleitung Transigaz 2 und 3 wurden vom Institut für terrestrische Ökologie der ETH an 258 Bodenproben Vorbelastungen und Lagerungsdichten gemessen. Eine gewisse Korrelation zwischen Lagerungsdichte und Vorbelastung ist zu erkennen. Die Vorbelastungen reichen von 20 bis 158 kPa.

getrocknetem Zustand. In Abbildung 5 sind die Resultate einer Messserie aufgezeichnet, bei der derselbe Boden bei unterschiedlichen Feuchtigkeiten auf seine Vorbelastung untersucht wurde (Berli, mündliche Mitteilung). Es zeigt sich dabei, dass die Stabilität vor allem in ganz feuchtem Zustand stark abnimmt. Böden, die feuchter sind als die Feldkapazität (~ 5 kPa), zeigen eine deutlich reduzierte Stabilität. Das intuitive Wissen, dass Böden in trockenem Zustand grössere Lasten tragen können, hat sich somit als richtig erwiesen. Wenn immer möglich empfiehlt es sich, nach grösseren Niederschlägen zwei bis drei Tage zu warten, bis der Boden Feldkapazität erreicht hat.

In den Untersuchungen der Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau Zürich-Reckenholz (FAL), der Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik Tänikon (FAT) und des Instituts für terrestrische Ökologie an der ETH (IToe) der Jahre 1997 bis 2000 wurden die Bodenproben auf 6 kPa konditioniert.

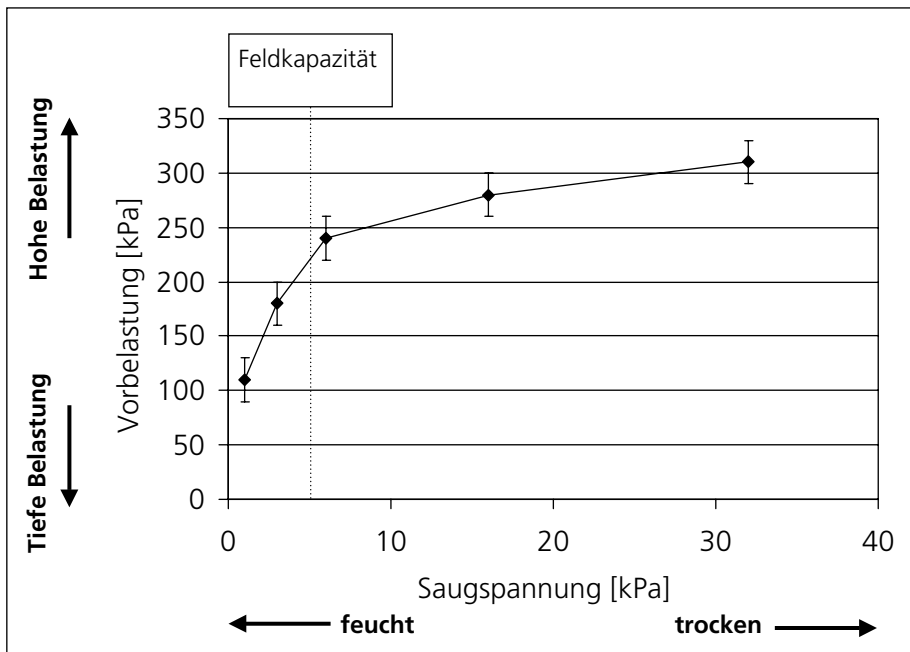


Abb. 5: Die Vorbelastung wurde an identischen Bodenproben bei unterschiedlichen Saugspannungen gemessen (Berli, nicht publiziert). Die Vorbelastung nimmt mit zunehmender Feuchtigkeit ab, in starkem Mass vor allem unterhalb der Feldkapazität.

tersuchte man eine einfache und in den Jahren 1998 und 1999 eine vierfache Überfahrt. Die Befahrungen fanden mit dem rechten Vorderrad eines sechsreihigen, selbstfahrenden Zuckerrübenvollernters, Kleine SF 10 statt. Dieses Rad war mit einem Goodyear-Radialreifen der Dimension 710/70 R 38 bereift. An dieser Stelle werden stellvertretend die Resultate der Kontrolle und der einfachen Überfahrt aus dem Jahre 1998 dargestellt. Der Pneuinnendruck, die Radlast, die Kontaktflächen sowie der durchschnittliche Kontaktflächendruck sind aus Tabelle 1 ersichtlich. Die Gesamtlast des verwendeten Zuckerrübenvollernters betrug 22,4 t, davon wurden 10,7 t über das rechte Vorderrad abgestützt. Durch die angehobenen Rodeorgane und die seitlich ausgefahrene Überladeklappe ergab sich diese sehr hohe Radlast auf dem rechten Vorderrad. Der Versuch fand auf

Tab. 1: Pneuinnendruck, Radlast, Kontaktfläche und Kontaktflächendruck, die beim Feldversuch von 1998 verwendet wurden.

Parameter	Einheit	Versuch 1998
Radlast	t	10,7
Kontaktfläche	m ²	0,71
Pneuinnendruck	bar	2,2
Kontaktflächendruck	bar	1,5

einer skelettfreien, tiefgründigen Kalkbraunerde statt. Die Körnung sprachen wir mit einem sandigen Lehm an. Die Saugspannungen und der volumetrische Wassergehalt des Bodens zum Zeitpunkt der Befahrung sind in Abbildung 6 dargestellt. Der Boden wies zum Zeitpunkt der Befahrung einen durchwegs feuchten bis sehr feuchten Zustand auf, der typisch für die Befahrung durch Zuckerrübenvollernter im Herbst ist, siehe auch FAT-Bericht Nr. 492. In den Jahren vor

dem Versuch wurde auf den untersuchten Parzellen eine bodenschonende Bewirtschaftung ohne Pflug praktiziert, es konnte daher keine Pflugsohle festgestellt werden.

Messparameter

Die Messung der Druckausbreitung erfolgte mit Bollingsonden (FAT-Bericht Nr. 400) in der Mitte der Fahrspur auf den Tiefen 15, 35 und 55 cm. Bollingsonden bestehen aus einem harten, steifen PVC Rohr, an dessen Ende ein elastischer Silikon Schlauch angebracht ist. Am anderen Ende des PVC Rohres befindet sich ein Manometer mit einem Schleppzeiger. Der Druck, der auf den Gummischlauch ausgeübt wird, kann also mit dem Manometer gemessen werden. Auf dem Feld wird ein Loch so vorgebohrt, dass die Spitze der Bollingsonde genau unter die Spurmittle zu liegen kommt. Während der Überfahrt mit dem Zuckerrübenvollernter überträgt der Boden, der die Bollingsondenspitze umgibt, den Druck über Wasser in der Sonde an das Manometer, siehe auch Niederer 1991. In Abbildung 7 sind die Vorbelastung und der mit den Bollingsonden gemessene Druck dargestellt. In 0,15 m Tiefe überstieg der Druck die Stabilität des Bodens, eine Verdichtung musste erwartet werden. In den darunter liegenden Bodenschichten war der Bollingsondendruck immer deutlich

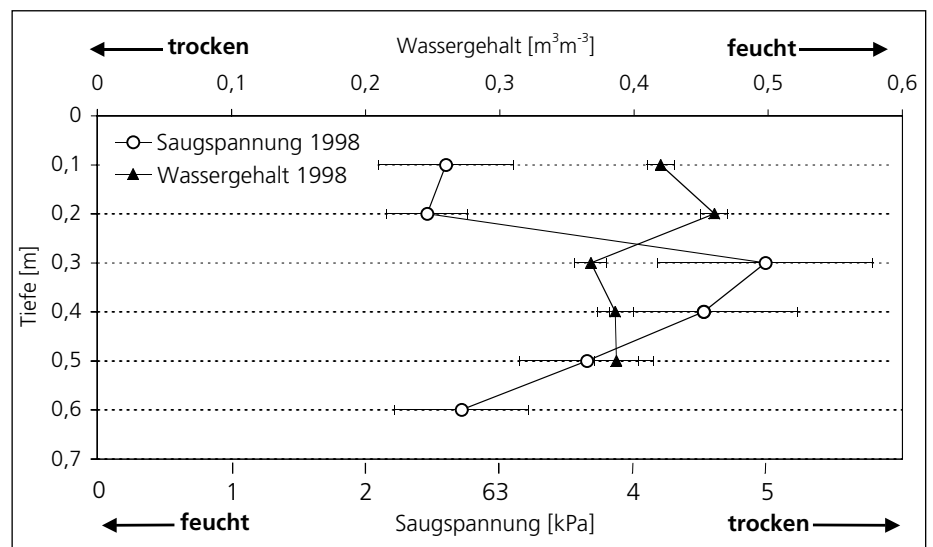
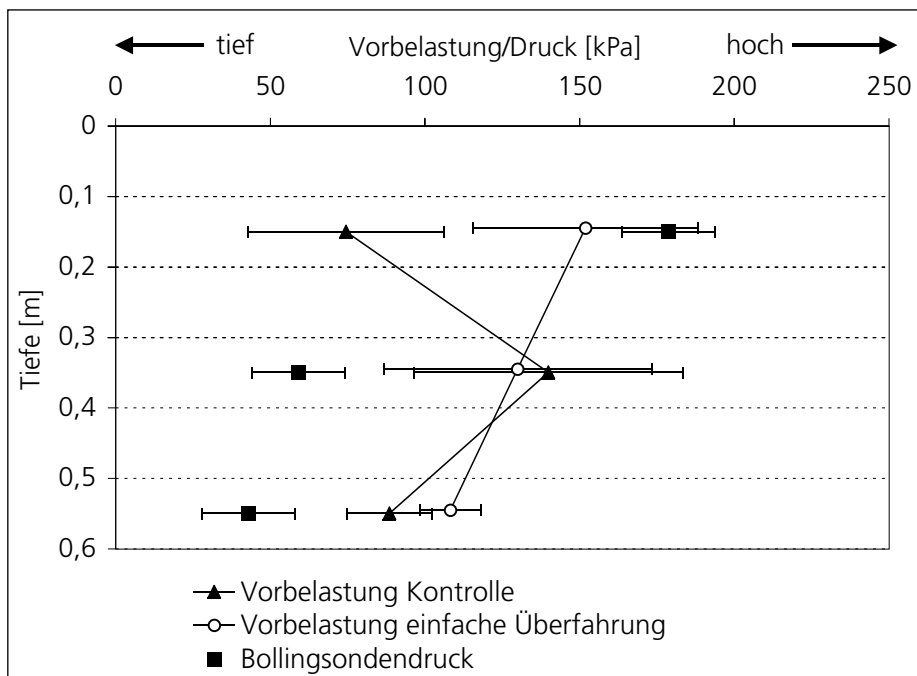


Abb. 6: Zum Zeitpunkt der Befahrung war der Boden des untersuchten Feldes durchwegs feucht bis sehr feucht. Die Saugspannungen reichen von 2,5 – 5 kPa.



werden konnten. Die Feldversuche von 1997 und 1999 haben ähnliche Resultate ergeben.

Finites Element-Modell

Neben den Feldmessungen lässt sich der Verdichtungsprozess unter einem Pneu- rad mit einem finiten Element-Modell am Computer simulieren. Dabei wird der Bodenquerschnitt in Dreiecke unterteilt. Die Bodenoberfläche belastet man mit einem dem Kontaktflächendruck äquivalenten Druck und ordnet den einzelnen Dreiecken (Elementen) die im Feld gemessenen Bodeneigenschaften zu. Nun lässt sich einerseits die Druckweitergabe von Element zu Element und andererseits die Verformung der Elemente bestimmen. Abbildung 10 zeigt hell das Netz vor der Überfahrt und dunkel das verformte Netz nach der Überfahrt durch den Zuckerrübenvollernter. Die Spurtiefe und der Druck in der Tiefe des Bodenprofils (gemessen mit Bollingsonden) können mit den Modellresultaten verglichen werden. Abbildung 11 zeigt einerseits die im Feld gemessene und andererseits die mit dem Modell errechnete Spurtiefe. Das Modell liefert sowohl den elastischen als auch den plastischen Anteil der Spurtiefe. Die

Abb. 7: Die Vorbelastungen der Kontrollfläche und der überfahrenen Fläche wurden direkt nach der Überfahrt gemessen. Weiter sind die mit Bollingsonden gemessenen Drücke abgetragen. Wie zu erwarten ist hat sich die Vorbelastung in 0.15 m Tiefe erhöht. In dieser Tiefe überstieg der Druck die Vorbelastung bei weitem. In 0.35 m und 0.55 m Tiefe blieb der Druck immer unterhalb der Vorbelastung.

tiefer als die Stabilität des Bodens. Eine Bodenverdichtung ist demnach nur bis 15 cm Tiefe zu erwarten.

Ungestörte Zylinderproben entnahm man in den Tagen nach der Überfahrt unter der Spur in 15 cm, 25 cm, 35 cm, 45 cm und 55 cm Tiefe. An diesen Zylindern erhob man die Lagerungsdichte und das Grobporenvolumen.

Um die Lagerungsdichte festzustellen, wird bei luftgetrocknetem (50 °C bei 12 Stunden) Boden das Volumen und dessen Gewicht bestimmt. In Abbildung 8 ist zu sehen, dass sich die Lagerungsdichte nur in 15 cm Tiefe statistisch signifikant verändert hat. Darunter ist keine signifikante Veränderung messbar.

Grobporen sind Poren, die einen Radius von mehr als 0,1 mm aufweisen. Das Grobporenvolumen gibt einen Hinweis auf die Möglichkeit der Versorgung der Pflanzenwurzeln mit Luft. Wird ein gewisser Wert an Grobporen unterschritten, sind Ertragsausfälle zu erwarten. Abbildung 9 zeigt die Verminderung der Grobporen in den Schichten 15 cm, 25 cm und 35 cm Tiefe. Darunter ist keine statistisch signifikante Veränderung zu erkennen.

Im darauf folgenden Jahr erhob man den Ertrag des Mais auf den verschiedenen Parzellen. Die Messungen des Kornge-

wichtes haben keinen Effekt der Befahrung gezeigt.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass unterhalb von 0,35 m Tiefe keine Veränderungen der Bodenstruktur gemessen

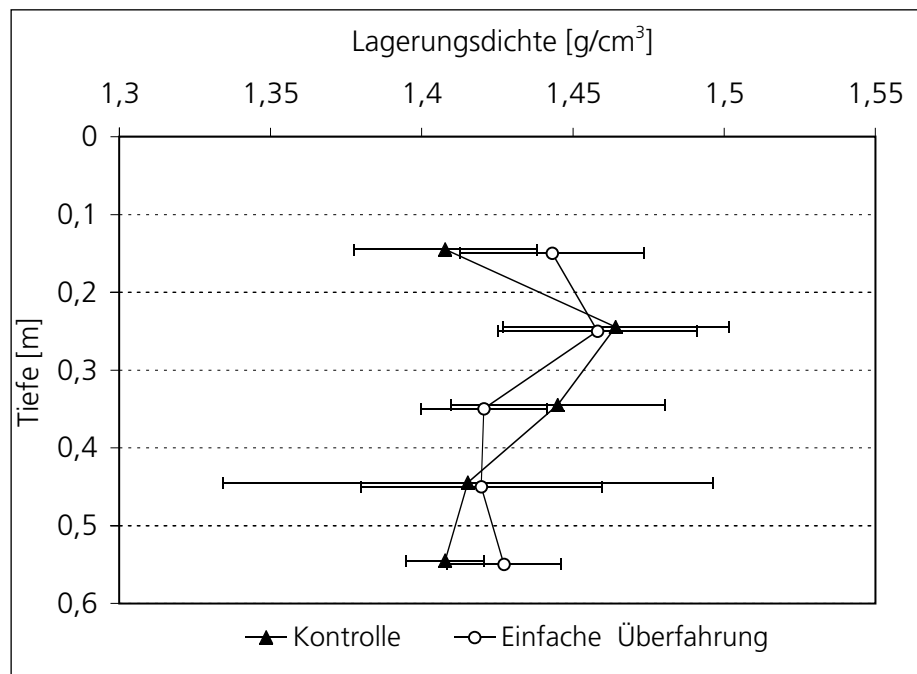
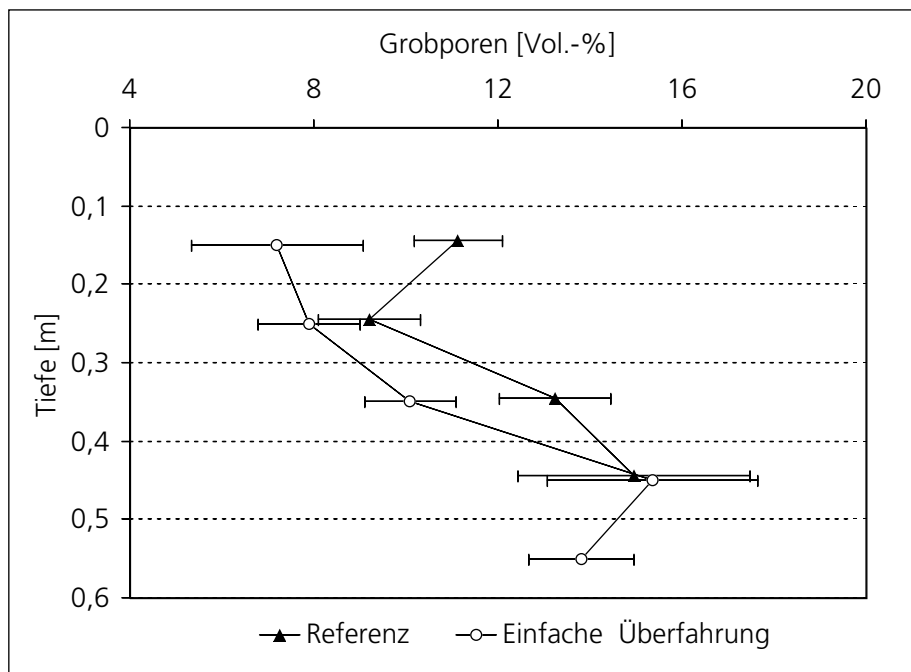


Abb. 8: Die Lagerungsdichte hat nur in einer Tiefe von 0.15 m zugenommen. Darunter ist kein Effekt aufgrund der Befahrung festzustellen.



gemessene Spurtiefe liegt zwischen der ausschliesslich plastischen und der elastischen und plastischen Spurtiefe. Das Modell ist in der Lage, unter Berücksichtigung der Drücke im Boden, den Verdichtungsprozess gut zu beschreiben. Grundsätzlich ist nun damit die Möglichkeit gegeben, Verdichtung vorauszusagen oder Karten zu erstellen, die die Tragfähigkeiten bei gegebenen Wassergehalten zeigen.

Abb. 9: Durch die einfache Überfahung mit einer Radlast von 10,7 Tonnen hat sich das Grobporenvolumen bis in eine Tiefe von 0.35 m verringert. Darunter kann keine Verringerung festgestellt werden.

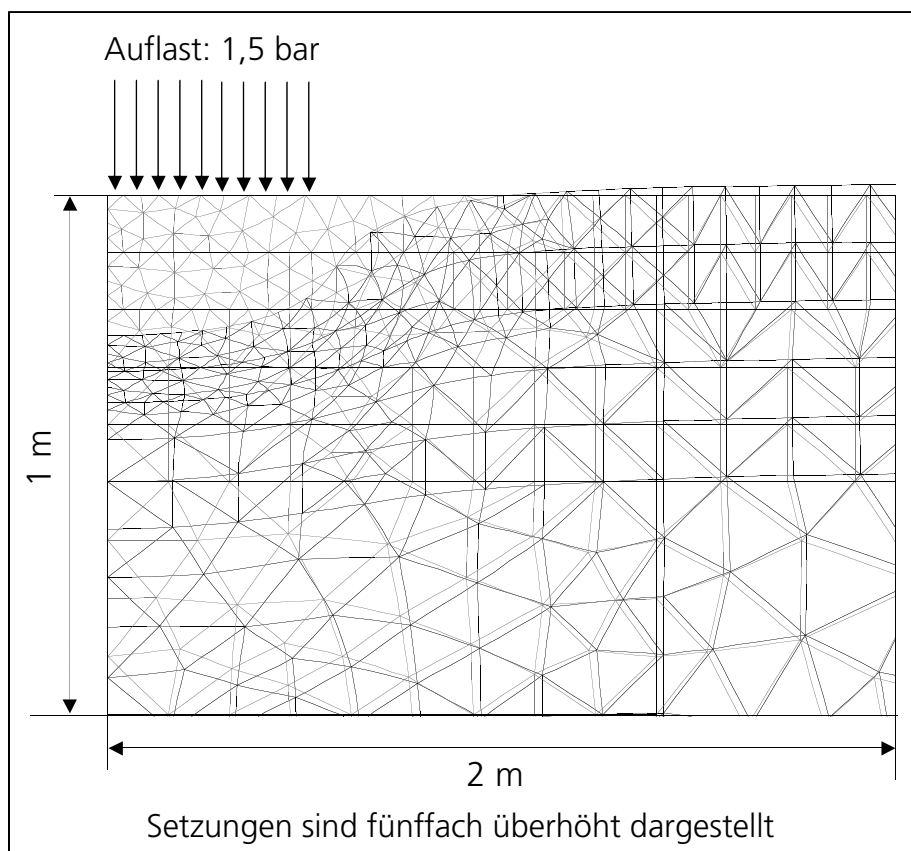


Abb. 10: Der modellierte Bodenquerschnitt wird in Elemente unterteilt. Einerseits verformen sich die Elemente aufgrund der Auflast und andererseits geben sie Elemente den Druck an die Nachbarelemente weiter. Damit wird es möglich, die Verformung des Netzes zu berechnen. Grau ist das ursprüngliche und schwarz das verformte Netz dargestellt.

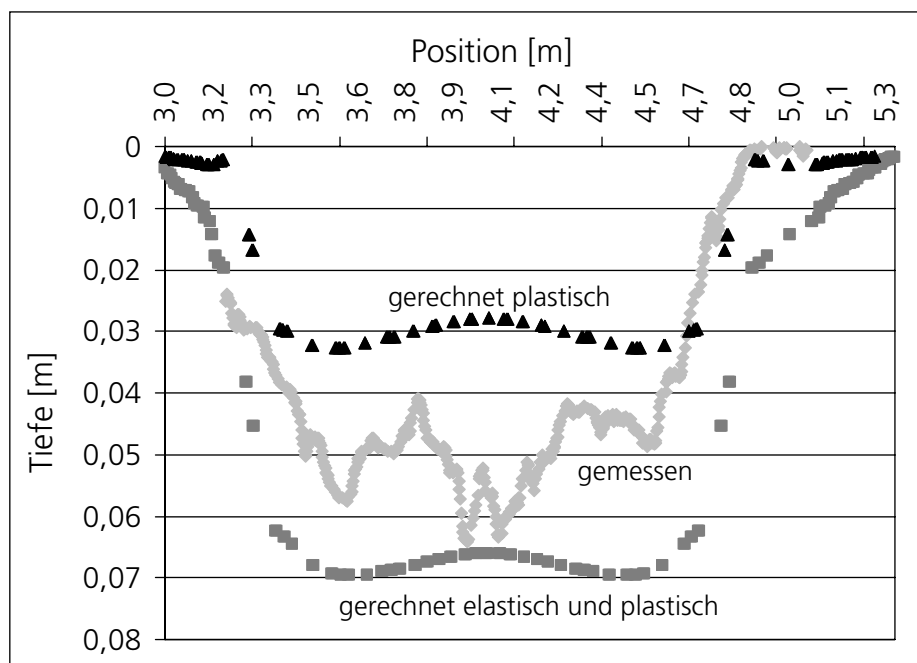


Abb. 11: In dieser Abbildung werden die berechneten mit den gemessenen Spurtiefen verglichen. Die berechneten Spurtiefen setzen sich aus einem plastischen und einem elastischen Anteil zusammen. Die gemessenen Spurtiefen übersteigen die plastischen Setzungen, dies wahrscheinlich vor allem aufgrund der Stollenabdrücke.

Literatur

- Blume, H.P., Bohne, K., Döring, H.W., Fleige, H., Horn, R., Krahmer, U., Zahn, M.T., 1995. Gefügestabilität ackerbaulich genutzter Standorte. Teil 1: Mechanische Belastbarkeit. DVWK Merkblätter zur Wasserwirtschaft, 234.
- FAT-Bericht Nr. 492, Diserens, E., 1996. Höheres Maschinengewicht im Feldbau? Kulli, B. und Berli, M., 1999. Beurteilung der mechanischen Belastbarkeit des Unterbodens beim Verlegen unterirdischer Rohrleitungen durch Kulturland, Dritter Zwischenbericht. Institut für terrestrische Ökologie, Zürich.
- Niederer, U., 1991. Bodendruck im Feld gemessen. FAT-Bericht Nr. 400.

Fazit

Die Bodenstabilität lässt sich mit der Vorbelastung charakterisieren. Um die gemessenen Vorbelastungen miteinander vergleichen zu können ist es wichtig, dass die Vorbelastungen bei gleichen Bodenfeuchtigkeiten gemessen werden.

Die untersuchten Unterböden (tiefer als 0,35 m) tragen gemäss den vorliegenden Messungen grössere Radlasten als bisher angenommen. In keinem der drei Feldversuche aus den Jahren 1997, 1998 und 1999 konnten Unterbodenverdichtungen gemessen werden. Dies obwohl die Untersuchungen bei sehr feuchtem Boden und mit einer maximalen Radlast stattgefunden haben. Radlasten von über 10 Tonnen und feuchte Böden sind typisch für die Ernte von Zuckerrüben in der Schweiz. Dass die Unterböden nicht verdichtet werden, ist insofern nicht erstaunlich, da die gemessenen Vorbelastungen im Unterboden höher sind als die auftretenden Drücke in dieser Tiefe. Inwiefern diese hohen Vorbelastungen natürlich oder durch die Landwirtschaft bedingt sind, ist ungewiss.

Mit einem finiten Element-Rechenmodell kann die Verdichtung vorausgesagt werden. Zur Zeit ist der Aufwand, die diversen Modellparameter (zum Beispiel Saugspannung, Lagerungsdichte usw.) im Labor zu bestimmen, aber noch hoch. Diese Modellparameter sind nötig, um die Bodeneigenschaften zu charakterisieren.

Anfragen über das behandelte Thema und über andere landtechnische Probleme sind an die unten aufgeführten Berater für Landtechnik zu richten. Weitere Publikationen und Prüfberichte können direkt bei der FAT (CH-8356 Tänikon) angefordert werden. (Tel. 052 368 31 31, Fax 052 365 11 90).

E-Mail: info@fat.admin.ch, Internet: <http://www.admin.ch/sar/fat>

- ZH** Kramer Eugen, LIB Strickhof,
8315 Lindau, Telefon 052 354 98 60
Blum Walter, LIB Strickhof,
8315 Lindau, Telefon 052 354 98 60
- BE** Jutzeler Martin, Inforama Berner Oberland,
3702 Hondrich, Telefon 033 654 95 45
Hügi Kurt, Inforama Seeland,
3232 Ins, Telefon 032 312 91 11
Marti Fritz, Inforama Rütli und Waldhof,
3052 Zollikofen, Telefon 031 910 52 10
Hofmann Hans Ueli, Inforama Schwand,
3110 Münsingen, Telefon 031 720 11 21
- LU** Moser Anton, LBBZ Schüpfheim,
6170 Schüpfheim, Telefon 041 485 88 00
Hodel René, LBBZ, Centralstr. 21,
6210 Sursee, Telefon 041 925 74 74
Marti Pius, LBBZ Schüpfheim,
6170 Schüpfheim, Telefon 041 485 88 00
Widmer Norbert, LMS,
6276 Hohenrain, Telefon 041 910 26 02
- UR** Landw. Beratungsdienst, Aprostr. 44,
6462 Seedorf, Telefon 041 871 05 66
- SZ** Landolt Hugo, Landw. Schule Pfäffikon,
8808 Pfäffikon, Telefon 055 415 79 22
- OW** Müller Erwin, BWZ Obwalden,
6074 Giswil, Telefon 041 675 16 16
Landwirtschaftsamt, St. Antonistr. 4,
6061 Sarnen, Telefon 041 666 63 58
- NW** Wolf Franz, Landwirtschaftsamt, Kreuzstr. 2,
6371 Stans, Telefon 041 618 40 07
- GL** Amt für Landwirtschaft, Poststr. 29,
8750 Glarus, Telefon 055 646 67 00
- ZG** Gut Willy, LBBZ Schluethof,
6330 Cham, Telefon 041 780 46 46
Furrer Jules, LBBZ Schluethof,
6330 Cham, Telefon 041 780 46 46
- FR** Krebs Hans, Landw. Institut Freiburg (IAG),
1725 Posieux, Telefon 026 305 58 50
- SO** Wyss Stefan, Landw. Bildungszentrum Wallierhof,
4533 Riedholz, Telefon 032 627 09 62
- BL** Ziörjen Fritz, Landw. Zentrum Ebenrain,
4450 Sissach, Telefon 061 976 21 21
- SH** Landw. Beratungszentrum Charlottenfels,
8212 Neuhausen, Telefon 052 674 05 20
- AI** Koller Lorenz, Gaiserstrasse 8,
9050 Appenzell, Telefon 071 788 95 76
- AR** Vuilleumier Marc, Landwirtschaftsamt AR,
9102 Herisau, Telefon 071 353 67 56
- SG** Haltiner Ulrich, Landw. Schule Rheinhof,
9465 Salez, Telefon 081 757 18 88
Steiner Gallus, Landw. Schule Flawil,
9230 Flawil, Telefon 071 394 53 53
- GR** Urwyler Hansueli, Grabenstrasse 1,
7000 Chur, Telefon 081 257 24 03
Föhn Josef, Landw. Schule Plantahof,
7302 Landquart, Telefon 081 307 45 25
- AG** Müri Paul, LBBZ Liebegg,
5722 Gränichen, Telefon 062 855 86 27
- TG** Herrmann Samuel, LBBZ Arenenberg, Fachstelle
Betriebsberatung und Landtechnik, Amriswilerstr. 50,
8570 Weinfelden, Telefon 071 622 10 22
- TI** Müller Antonio, Ufficio consulenza agricola,
6501 Bellinzona, Telefon 091 814 35 53

Landwirtschaftliche Beratungszentrale, Abt. Landtechnik, 8315 Lindau, Telefon 052 354 97 58

Die FAT-Berichte erscheinen in zirka 20 Nummern pro Jahr. – Jahresabonnement Fr. 50.–. Bestellung von Abonnements und Einzelnummern: FAT, CH-8356 Tänikon. Tel. 052 368 31 31, Fax 052 365 11 90.

E-Mail: info@fat.admin.ch – Internet: <http://www.admin.ch/sar/fat> – Die FAT-Berichte sind auch in französischer Sprache als «Rapports FAT» erhältlich. – ISSN 1018-502X.