

Tagungsbeitrag zu:  
Sitzung der Kommission V der DBG  
Titel der Tagung: Böden der Küste und deren Genese im Spannungsfeld von Landnutzung und Klimawandel  
Veranstalter: Kom. V der DBG  
Termin und Ort der Tagung: 03.-05.09.08, Oldenburg  
Berichte der DBG

## **Zur mechanischen Stabilität von Kalkmarschen-Bodenstabilitätsmessungen und Überfahrungsversuche in Dithmarschen**

**Alexander Zink, Heiner Fleige, Rainer Horn**

### **Einleitung**

Ein Problem des Ackerbaus im Bereich der Schleswig-Holsteinischen Marsch stellen die im Jahresverlauf auftretenden hohen Bodenfeuchtegehalte und die damit verbundene geringe Eigenstabilität bzw. hohe Verdichtungsempfindlichkeit der Böden dar. Viele Ackerflächen dieser Bodenregion sind daher künstlich drainiert. Für die rasche Abtrocknung und Stabilisierung der Böden spielt ihre Bodenstruktur, d.h. ein funktionierendes Porensystem und eine intakte hydraulische Leitfähigkeit, eine entscheidende Rolle, die den Ablauf der Bewirtschaftung beeinflusst. Auf Anfrage des Gemüsebauberatungsringes Dithmarschen e.V. wurde am Beispiel von zwei Ackerflächen mit unterschiedlichem Bodenbearbeitungssystem die Verdichtungsempfindlichkeit von Kalkmarschen untersucht. Hierzu wurde zum einen die horizontspezifische Vorbelastung (mechanische Stabilität) gemessen sowie zum anderen die Spannungseinträge der vor Ort gebräuchlichen Landmaschinen ermittelt.

### **Material und Methoden**

Die Untersuchungen fanden im April 2007 auf zwei unbestellten Ackerschlägen zu ei-

---

Alexander Zink  
Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde  
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel  
Olshausenstraße 40, 24105 Kiel  
[a.zink@soils.uni-kiel.de](mailto:a.zink@soils.uni-kiel.de)

nem Zeitpunkt hoher Bodenfeuchte nahe der Feldkapazität statt. Die Flächen unterscheiden sich bezüglich ihrer Bodenbearbeitung und werden zum einen konventionell wendend auf 50cm (tief-)gepflügt und zum anderen konservierend mit Minimalbodenbearbeitung auf 10cm gefräst. Beide Versuchsstandorte weisen in Ihrer Profilschichtung deutliche Texturheterogenitäten auf. Entsprechend dieser Horizontierung wurden vor den Befahrungsversuchen Misch- und ungestörte Stechzylinderproben (100cm<sup>3</sup>; 236cm<sup>3</sup>) entnommen um im Labor die bodenphysikalische Grundanalytik durchzuführen. Eine Übersicht der Standorteigenschaften ist in den Tabellen 1 und 2 dargestellt.

Tiefe [cm]	Horizont	S [Gew %]	U [Gew %]	T [Gew %]	Bodenart KA 5	ρ <sub>t</sub> [g/cm <sup>3</sup> ]	GPV [Vol %]
-38	(r)Ap	43	52	5	Us	1,41	47
-140	Go	22	67	11	Ut2	1,49	44
>140	Gr	86	12	2	Su2	1,36	49

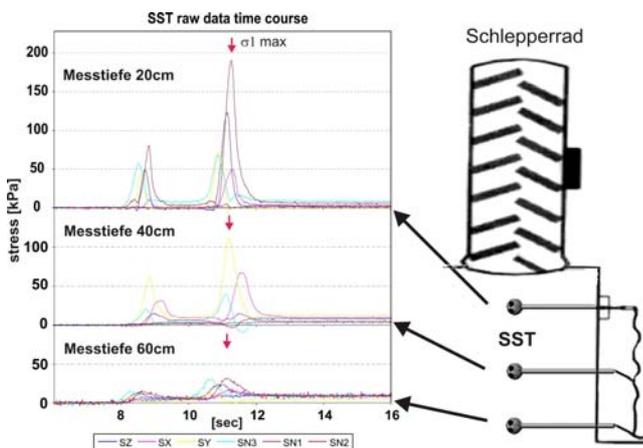
**Tabelle 1: Bodenphysikalische Eigenschaften der Kalkmarsch mit konservierender Bodenbearbeitung im Kronprinzenkoog**

Tiefe [cm]	Horizont	S [Gew %]	U [Gew %]	T [Gew %]	Bodenart KA 5	ρ <sub>t</sub> [g/cm <sup>3</sup> ]	GPV [Vol %]
-50	Ap	26	56	18	Lu	1,47	44
-110	Go	53	42	5	Su4	1,60	39
>110	Gr	85	13	2	Su2	1,48	43

**Tabelle 2: Bodenphysikalische Eigenschaften der Kalkmarsch mit konventioneller Bodenbearbeitung im Kaiser-Wilhelm-Koog**

Für die Befahrbarkeitsuntersuchungen wurden auf beiden Kalkmarschen Überfahrungsversuche mit Bodendruckmessungen für zwei betriebseigene Maschinen (MB Trac 900 und Fendt Vario 716) durchgeführt und die Maschinenparameter Radlast und Reifenkontaktfläche bestimmt, um die in den Boden übertragenen mittleren Kontaktflächendrücke zu berechnen. Die Bodendrucke und Druckfortpflanzung während der dynamischen Lasteinträge wurden mit dem Stress State Transducer (SST) gemessen. Die Sensormessung basiert auf der Technik der gerichteten Spannungsmessung mit sechs Einzeldehnmessstreifen (S<sub>x,y,z</sub>; S<sub>n1,2,3</sub>) (Gräsele, 1999; Kühner, 1997). Die

Spannungseinträge werden in der Form mechanischer Dehnung gemessen und als elektrische Widerstandsänderungen wiedergegeben. Für die vollständige Beschreibung des Spannungszustandes während der Überfahrt werden die Hauptspannungen zum Zeitpunkt des maximalen Spannungseintrages nach den Gesetzen der Statik im Kontinuum aus den sechs Einzelspannungen berechnet (Nichols et al., 1987). Die Bodendruckensensoren wurden in drei Mess-tiefen 20/40/60cm direkt unter der Fahrspur in den ungestörten Boden eingebaut (siehe Abb.1).



**Abb. 1: Feldversuchsaufbau der Bodendruckmessung**

Vor und nach den Befahrungsversuchen wurden horizontspezifisch ungestörte Bodenproben entnommen (n=6), definiert entwässert (pF1,8) und über den Ödometer-test die Stabilität der Böden in Form des Vorbelastungswertes nach dem Verfahren von Casagrande (1936) bestimmt (vgl. Horn, 1981) und nach DVWK (1995) bewertet.

## Ergebnisse und Diskussion

### Gesamtlast, Kontaktflächendruck und Druckfortpflanzung

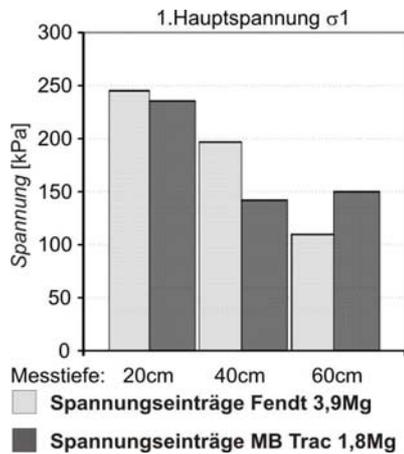
Die Ergebnisse der Kontaktflächenbestimmung und der berechneten mittleren Kontaktflächendrücke sind in der Tabelle 3 dargestellt. Die beiden untersuchten Maschinen unterscheiden sich in ihrer Bereifung und Gesamtlast und weisen dadurch deutlich unterschiedliche Radlasten und Reifenkontaktflächen auf. Die Spannungseinträge in der Kontaktfläche Reifen/Boden sind stark von der Aufstandsfläche des Reifens ab-

hängig und zeigen höhere Kontaktflächendrücke für die leichtere Maschine. Der MB Trac hat durch seine schmale Bereifung geringere Aufstandsflächen, die trotz beinahe halbiertes Radlast zu höherem Kontaktflächendruck führen als bei der schweren Maschine (Fendt) mit größeren Reifenaufstandsflächen.

Maschine	Radlast [Mg]	Reifentyp	Reifen- druck [kPa]	Kontakt- fläche [cm <sup>2</sup> ]	Kontakt- flächendruck [kPa]
MB Trac 900	1,8	8.3R36 A-350	140	805	224
Fendt Vario 716	3,9	650/65R38	140	2785	141

**Tabelle 3: Übersicht der Maschinenparameter und Kontaktflächendrücke**

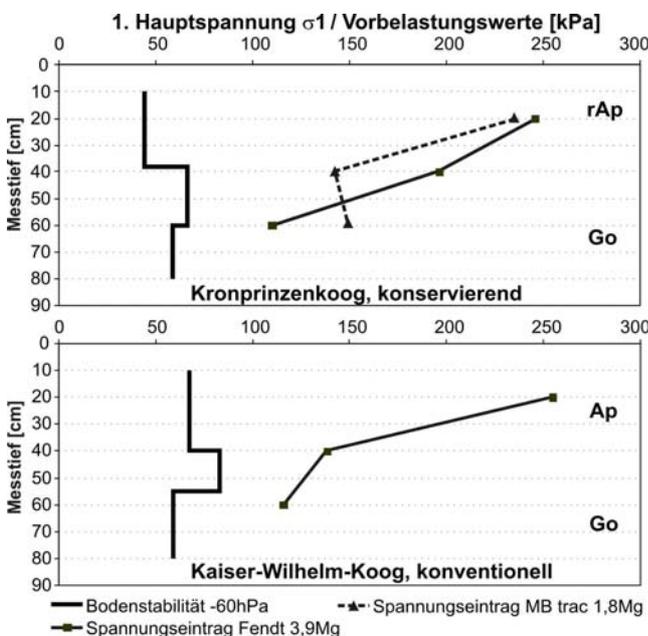
Die Bodendruckmessungen spiegeln einzelne Tendenzen der Ergebnisse der Kontaktflächenberechnung wieder. Die Abb.2 zeigt die Gegenüberstellung der Spannungseinträge beider Maschinen in den drei Sensor-mess-tiefen. Die in den Boden eingetragenen Bodendrücke liegen im Oberboden mit nahe 250 kPa über den ermittelten mittleren Kontaktflächendrücken und weisen mit diesen hohen Spannungseinträgen in 20cm Tiefe auf die bei der Kontaktflächenberechnung nicht berücksichtigte inhomogene Druckverteilung an der Reifenoberfläche hin. Durch das Profil der Bereifung kommt es im Bereich der Stollenaufstandsflächen und in der Spurmitte zu Spannungskonzentrationen die weit höhere Drücke in den Boden übertragen als die Stollenzwischenräume und Außenbereiche der Aufstandsfläche (Döll, 1999). Auffällig sind die hohen Spannungseinträge der leichteren Maschine, die über alle Messhorizonte vergleichbaren Bodendruck der schweren Maschine aufweist. Die geringe Aufstandsfläche der Bereifung hat hier anscheinend zu einer schmalen Druckzwiesel mit großer Tiefenwirkung der Spannungsfortpflanzung geführt (Söhne, 1953).



**Abb. 2: Gegenüberstellung der Spannungseinträge ( 1) der betriebseigenen Maschinen auf dem Ackerschlag mit konservierender Bodenbearbeitung**

### Bodenstabilität und Bodendruck

Die Gegenüberstellung der gemessenen Spannungseinträge ( 1) der Überfahrungsversuche und der ermittelten horizontspezifischen Bodenstabilitäten vor den Befahrungen ist in der Abb. 3 dargestellt. Die ursprüngliche Bodenstabilität der beprobten Profile lässt sich bei Feldkapazität als gering bis mittel klassifizieren. Die Spannungseinträge der Maschinen liegen auf beiden Versuchsflächen bis in die Messtiefe 60cm über



**Abb. 3: Gegenüberstellung der horizontspezifischen Bodenstabilität (pF1, 8) (n=6 arith. Mittelwert) und der gemessenen Spannungseinträge ( 1) der untersuchten Maschinen**

der aktuell ermittelten Strukturstabilität dieser Bodenhorizonte und weisen damit auf

eine plastisch irreversible Setzung und die Gefahr der Verdichtung des Bodens bis unterhalb der regelmäßig bearbeiteten Ackerkrume hin.

### Zusammenfassung

Für die vor Ort gebräuchlichen Maschinen ergaben sich mit der aktuellen Bereifung Kontaktflächendrücke und Spannungseinträge die bei Feldkapazität über dem Stabilitätsgrenzwert der untersuchten Kalkmarschen liegen. Dieses Überschreiten der Bodentragfähigkeit durch Befahrung bei zu hoher Bodenfeuchte, kann in diesen Böden langfristig zu flächenhafter Unterbodenverdichtung führen.

Die Untersuchungen zeigen zudem, dass auch geringe Gesamtlasten mit unterdimensionierter Bereifung erhebliche Spannungseinträge im Boden hervorrufen.

### Literatur

CASAGRANDE, A. (1936): The determination of preconsolidation load and its practical significance. Proc. of the 1st Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng., Cambridge 3: 60-64.

DÖLL, H. (1999): Bewertung von Landwirtschaftsreifen nach agrotechnischen, ökologischen und technisch-energetischen Kriterien. D. G. f. A. Commission of the European Communities, 86-94. Experiences with the impact and prevention of subsoil compaction in the European Community, Wageningen

DVWK (1995): Gefügestabilität ackerbaulich genutzter Mineralböden; Teil 1: Mechanische Belastbarkeit. Merkblätter zur Wasserwirtschaft Heft 234.

GRÄSLE, W. (1999): Numerische Simulation mechanischer, hydraulischer und gekoppelter Prozesse in Böden unter Verwendung der Finite Elemente Methode. Schriftenreihe Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde Universität Kiel 48

HORN, R. (1981): Eine Methode zur Ermittlung der Druckbelastung von Böden anhand von Drucksetzungsversuchen. Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung 22: 20-26.

KÜHNER, S. (1997): Simultane Messung von Spannung und Bodenbewegungen bei statischen und dynamischen Belastungen zur Abschätzung der dadurch induzierten Bodenbeanspruchung. Schriftenreihe Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde, Universität Kiel 39.

NICHOLS, T. A., A. Bailey, C. Johnson, R. Grisso (1987): A stress state Transducer for soil. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers 30(5): 1237-1241.

SÖHNE, W. (1953): Druckverteilung im Boden und Bodenverformung unter Schlepperreifen. Grundlagen der Landtechnik Heft 5: 49-63.