

**Tagungsbeitrag zu:**

Jahrestagung der DBG, Kommission VI

**Titel der Tagung:**

Böden – Lebensgrundlage und Verantwortung

**Veranstalter:** DBG

**Termin und Ort der Tagung:** 7. – 12. September 2013, Rostock

Berichte der DBG (nicht begutachtete online Publikation); <http://www.dbges.de>

## **Einfluss von üblichen Forst- und Spezialmaschinen auf die Bodenstruktur und –stabilität**

Roland Riggert<sup>1</sup>, Heiner Fleige<sup>1</sup>, Bettina Kietz<sup>2</sup>, Thorsten Gaertig<sup>2</sup>, Rainer Horn<sup>1</sup>

### **Zusammenfassung**

Die aktuellen Spannungseinträge (erste Hauptspannung) von unterschiedlichen Forst- und Spezialmaschinen wurden während eines Überfahrungsversuches gemessen und der Eigenstabilität des Bodens (Vorbelastung) gegenüber gestellt. Die Untersuchungen haben ergeben, dass besonders die erste Überfahrt Auswirkungen auf die Bodenstabilität hat und dass Spezialmaschinen die Spannungseinträge reduzieren können.

**Schlüsselworte:** Bodenverdichtung, Spannungsmessungen, erste Hauptspannung (S1), Vorbelastung (Pv), Forstmaschinen

### **Einleitung**

Im Rahmen des RÜWOLA Projektes werden im Teilprojekt 4 „Schadensvermeidung bei mechanischer Belastung“ die Einflüsse von unterschiedlichen Forst- und Spezialmaschinen sowie verschiedenen Antriebssystemen auf die Bodenstabilität begutachtet. Das Projekt RÜWOLA ist ein Kooperationsprojekt der HAWK Holzminden/Hildesheim/Göttingen und der Hochschule Osnabrück. Gefördert wird dieses Projekt vom niedersächsischen Ministerium für Wissenschaft und Kultur.

### **Material und Methodik**

Die Untersuchungen fanden auf drei unterschiedlichen Standorten in Niedersachsen statt und beinhalten einen Feld- sowie einen Laborteil.

**Standort 1:** *Reinshof bei Göttingen; Pseudogley-Parabraunerde aus Lösslehm (JD 1270e, Ponsse Buffalo).*

**Standort 2:** *Hasbruch bei Oldenburg; Pseudogley aus Geschiebedecksand über Geschiebelehm (F14, Elliator).*

**Standort 3:** *Lenglern bei Göttingen; Braunerde aus lösshaltigen Fließerden (Hägglungs, Holzanhänger, JD 6320).*

Im Feld wurden ungestörte Zylinderproben (236 cm<sup>3</sup>) aus drei Tiefen [20 cm, 40 cm & 60 cm] entnommen, um die Vorbelastung (Pv) zu bestimmen (Pneumatische Drucksetzungsanlage; Vorbelastungsstufen: 20, 40, 60, 80, 100, 150, 300 & 400 kPa; Vorbelastungszeit: 2 Stunden). Außerdem wurden weitere bodenphysikalische Parameter (Luftkapazität, ungesättigte Wasserleitfähigkeit, Luftleitfähigkeit, Porengrößenverteilung) anhand von kleinen Stechzylindern (98 cm<sup>3</sup>) bestimmt.

Zusätzlich haben Spannungsmessungen in den jeweiligen Tiefen mit verschiedenen Forst- und Spezialmaschinen sowie unterschiedlichen Antriebssystemen (variables & starres Kettenlaufwerk sowie Kufen) stattgefunden. Die Spannungsmessungen wurden mit dem *stress state transducer system* „SST“ durchgeführt. Mit Hilfe des SST kann unter anderem die erste Hauptspannung (S1), die senkrecht nach unten gerichtete Spannungskomponente während einer Maschinenüberfahrt, bestimmt werden. Das System besteht aus drei Sensorköpfen (eingebaut in 20 cm, 40 cm & 60 cm) mit je sechs Dehnmessstreifen, welche die verschiedenen Spannungskomponenten

<sup>1</sup> Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde, CAU zu Kiel, Hermann-Rodewald-Str. 3, 24118 Kiel

<sup>2</sup> Fakultät Ressourcenmanagement, HAWK Hildesheim/Holzminden/Göttingen, Büsgenweg 1a, 37077 Göttingen

im Boden registrieren können (Methoden vgl. Zink et al. 2010).

Alle Überfahrungsversuche wurden ca. bei Feldkapazität durchgeführt.

Neben einfachen Überfahrungsversuchen (John Deere 1270e und Ponsse Buffalo) in Göttingen wurden bei der Antriebssystemmessung in Lengler zusätzlich Versuche mit einem Baumstamm (Durchmesser 14 cm) durchgeführt. Der Stamm wurde optional über den Sensorkopf in 20 cm bzw. 40 cm platziert. Ziel dieses Versuchsteils war es herauszufinden, ob eines der beiden Ketten-Antriebssysteme in der Lage ist, Hindernisse bodenschonend zu überqueren. Bei dem Vergleich des konventionellen radgetriebenen Forwarders (Rottne F14) und des Spezial-Ketten-Forwarders (EMB Elliator) im Hasbruch bei Oldenburg wurde jeweils die gleiche Menge an Holz (ca. 10 Mg) geladen, um Gewichtseffekte auszuschließen.

#### **Eingesetzte Maschinen:**

**John Deere 1270e:** Harvester; max. Radlast 4,0 Mg; Gesamtgewicht 24 Mg; Kontaktflächendruck 157 kPa; 6-Rad-Maschine

**Ponsse Buffalo:** Forwarder; max. Radlast 4,7 Mg; Gesamtgewicht 28 Mg; Kontaktflächendruck 235 kPa; 8-Rad-Maschine

**Rottne F14:** Forwarder; max. Radlast 3,9 Mg; Gesamtgewicht 28 Mg; Kontaktflächendruck 90 kPa; 8-Rad-Maschine

**EMB Elliator:** Spezial-Forwarder; Gesamtgewicht 41 Mg; Kontaktflächendruck 29 kPa; starres Kettenlaufwerk (14m<sup>2</sup>)

**Hägglunds:** Spezialmaschine; Gesamtgewicht 6,6 Mg; Kontaktflächendruck 15 kPa; variables Kettenlaufwerk

**Holzanhänger:** Gesamtgewicht 6,1 Mg; Kontaktflächendruck 33 kPa; Schlittensystem (Kufen)

**John Deere 6320:** Traktor; Radlast 2 Mg; Gesamtgewicht 6 Mg; Kontaktflächendruck 56 kPa; starres Kettenlaufwerk (Deltalaufwerk)

#### **Ergebnisse & Diskussion**

##### **Einfluss von forstüblichen Holzerntemaschinen (JD 1270e & P. Buffalo)**

Die Ergebnisse aus Abb. 1 zeigen, dass der Harvester John Deere 1270e bei der ersten Überfahrt die maximalen Spannungseinträge (S1) in den drei gemessenen Tiefen erzielt. Obwohl der Forwarder Ponsse Buffalo ein höheres Gesamtgewicht, eine höhere Radlast und einen höheren Kontaktflächendruck aufweist, erreichen seine gemessenen Spannungseinträge nicht den Maximalwert. Besonders in 20 cm Bodentiefe liegen beide Werte sehr weit auseinander.

Ein Grund für die höheren Spannungseinträge des Harvesters ist die Erstverdichtung. Durch die erstmalige Überschreitung der Eigenstabilität des Bodens (Pv) findet eine starke Kom-

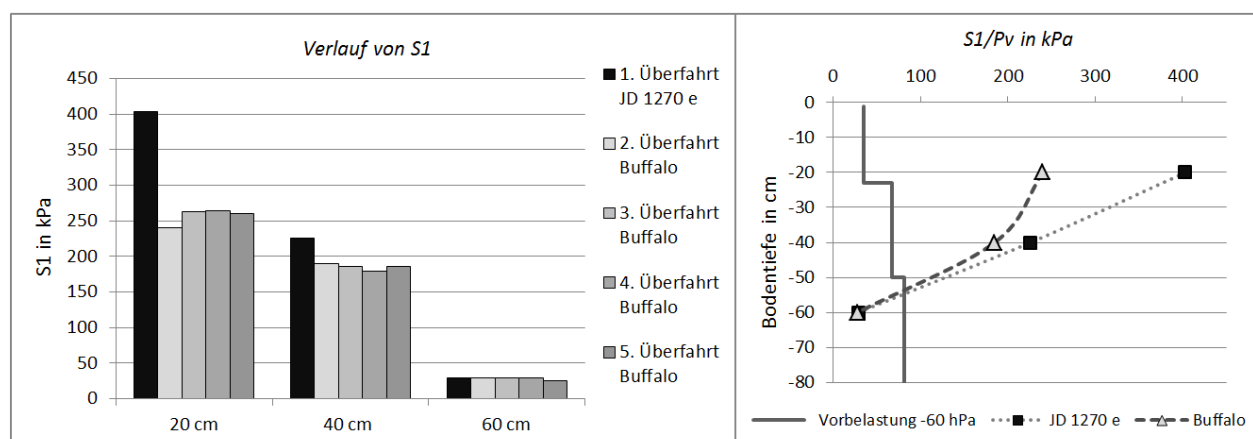


Abb. 1: Verlauf von S1 bei forstüblichen Holzerntemaschinen sowie Verhältnis zu Pv.

primierung und Konsolidierung statt, so dass ab der zweiten Überfahrt relativ konstante S1-Einträge zu verzeichnen sind. Die plastische Verformung kann ebenfalls anhand der Luftkapazität und der ungesättigten Wasserleitfähigkeit über das CVT abgeleitet werden (Zink et al. 2011).

Im rechten Teil der Abb. 1 erkennt man, dass in 20 cm und 40 cm sowohl die Spannungseinträge des Harvester als auch des Forwarders über der Eigenstabilität des Bodens liegen. In 60 cm Bodentiefe überschreitet keine Maschine Pv und man kann von stabilen Verhältnissen sprechen.

### **Vergleich zwischen radgetriebenem Forwarder (Rottne F14) und Spezial-Ketten-Forwarder (EMB Elliator)**

Im Vergleich zum radgetriebenen Forwarder sind die Spannungseinträge der Spezialmaschine geringer. Man erkennt in Abb. 2, dass die maximalen Spannungseinträge, besonders für den radgetriebenen Forwarder, während der ersten Überfahrt gemessen worden sind und dann eine Konsolidierung des Bodens einsetzt.

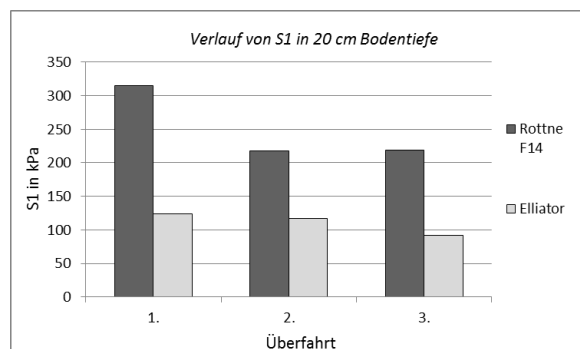


Abb. 2: Höhe von S1 in 20 cm Bodentiefe von Forwarder und Spezial-Forwarder.

Obwohl die Spannungseinträge der Spezialmaschine niedriger sind, liegen sie über Pv des Pseudogleys am Standort Hasbruch bei Oldenburg (vgl. Abb. 3). Dies bedeutet ebenso instabile Bodenverhältnisse für den EMB Elliator, trotz großer Aufstandsfläche und sehr geringem Kontaktflächendruck, wie auch für den Rottne F14 in 20 cm Bodentiefe.

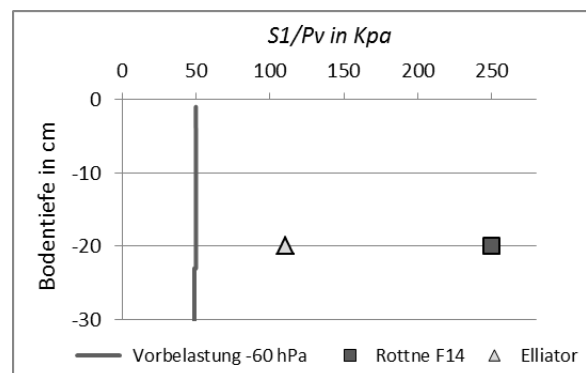


Abb. 3: Verhältnis von S1 zu Pv des Forwarders (F14) und des Spezial-Forwarders (Elliator).

### **Vergleich der unterschiedlichen Antriebssysteme im Waldbau**

In Abb. 4 sind S1-Werte für unterschiedliche Forstmaschinen und Bodentiefen abgebildet. Bei allen Maschinentypen ist eine Abnahme der Spannungseinträge über die Tiefe festzustellen.

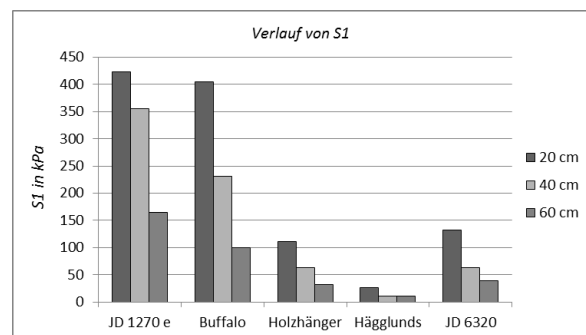
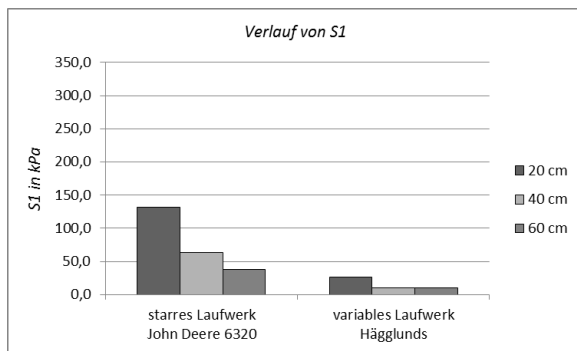


Abb. 4: Höhe von S1 der unterschiedlichen Forstmaschinen in drei Bodentiefen.

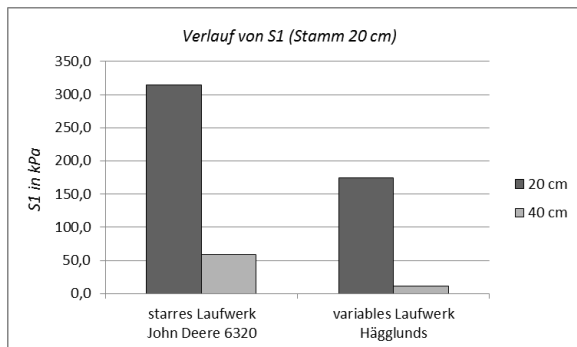
Auf Grund der deutlich höheren Gesamtgewichte von Harvester und Forwarder (24 bzw. 28 MG) und den daraus resultierenden höheren Kontaktflächendrücken, ist S1 für diese beiden Varianten deutlich erhöht. Bei ähnlichem Gewicht der drei anderen Maschinen (ca. 6 Mg) sind die S1-Werte beim Hägglunds wegen der hohen Aufstandsfläche (niedriger Kontaktflächendruck) geringer (vgl. Abb. 4 & 5).

In den folgenden Abbildungen, wird ein Vergleich von S1 der zwei unterschiedlichen Antriebssysteme (variables Laufwerk – Hägglunds; starres Laufwerk – JD 6320) bewertet.



**Abb. 5: Vergleich von S1 der unterschiedlichen Antriebssysteme in 20, 40 & 60 cm Bodentiefe.**

Die hohen S1-Werte in Abb. 6 resultieren aus dem Einsatz eines Stammes (Durchmesser 14 cm) über dem Sensorkopf in 20 cm Tiefe. Der Stamm soll ein Hindernis während einer Überfahrt simulieren und die Auswirkungen auf die Spannungseinträge aufzeigen. Bei beiden Maschinen sind im Vergleich zur Normalsituation (vgl. Abb. 5) deutlich erhöhte Werte von S1 festzustellen.

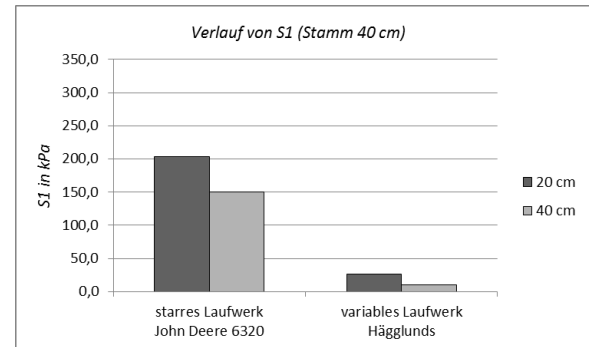


**Abb. 6: Vergleich der S1-Werte bei Einsatz eines Baumstammes (20 cm Sensorkopf).**

In Abb. 7 erkennt man eine Erhöhung der Werte beim starren Laufwerk in 20 cm & 40 cm Bodentiefe. Dies ist der Tatsache geschuldet, dass der Stamm während der Überfahrt in Richtung des 20 cm Sensorkopfes gedriftet ist. Beim variablen Laufwerk ist keine Erhöhung von S1 in 40 cm festzustellen.

Die Ergebnisse aus dem Antriebsversuch weisen darauf hin, dass ein variables Kettenlaufwerk mögliche Hindernisse bei Waldarbeiten besser kompensieren kann. Auch die subjektiven Beobachtungen im Feld sprechen dafür. So wurde der Stamm bei einer Überfahrt mit dem starren Kettenlaufwerk ca. 8 cm in den Boden gedrückt. Das variable

Laufwerk hat sich den Konturen des Stammes besser angepasst, so dass nur eine ca. 1,5 cm mächtige Eintiefung zu messen war.



**Abb. 7: Vergleich der S1-Werte bei Einsatz eines Baumstammes (40 cm Sensorkopf).**

### Schlussfolgerung

Die Ergebnisse zeigen, dass bei der ersten Überfahrt die größten Spannungseinträge erzielt werden, selbst wenn es sich im Waldproduktionszyklus um die eher „kleinere Maschine“ den Harvester handelt. Bereits dort besteht die Gefahr für irreversible Bodenschäden.

Weitere Untersuchungen zeigen, dass die Spezial-Ketten-Maschine in der Lage ist die Spannungseinträge, bei gleicher Beladung, im Vergleich zu einer konventionellen Maschine deutlich zu reduzieren.

Außerdem können beim Kettenlaufwerk zwei Arten von Antrieb unterschieden werden (variables und starres Laufwerk), wobei das variable Laufwerk anscheinend Hindernisse im Gelände, wegen seiner besseren Anpassungsmöglichkeiten an den Untergrund, bodenschonender Überfahren kann.

### Literatur

ZINK, A., FLEIGE, H. & HORN, R. (2010). Load Risks of Subsoil Compaction and Depths of Stress Propagation in Arable Luvsoils. Soil & Water Management & Conversation, 1733-1742.

ZINK, A., FLEIGE, H. & HORN, R. (2011). Verification of harmful subsoil compaction in loess soils. Soil & Tillage 114, 127-134.