

# Bodenspannungsmessung zur Beurteilung von Fahrwerken

Dipl.-Ing. U. Köhler, KDT, Institut für Energie- und Transportforschung Meißen/Rostock der AdL der DDR

National und international werden große Anstrengungen unternommen, die negativen Wirkungen, die durch das Befahren der Ackerböden für das Pflanzenwachstum entstehen, abzuschwächen. Das Suchen nach bodenschonenden Fahrwerkslösungen ist eine Seite des Problems, die andere ist die Suche nach zweckmäßigeren Methoden für den Konstrukteur zur Beurteilung der Fahrwerkelemente und kompletten Fahrwerke. Die derzeitigen Methoden, wie die Bestimmung der Trockenrohdichte, des Durchdringungswiderstands oder die Dichtebestimmung mit radioaktiver Strahlung, sind teilweise sehr aufwendig bzw. langwierig und widerspiegeln nur die Verhältnisse nach, nicht während der Überfahrt (Tafel 1).

Eine andere Methode ist der Nachweis der im Boden auftretenden Kräfte mit Hilfe von Drucksensoren. Diese Messung der Bodenspannung, kurz Spannungsmessung genannt, wird international vorwiegend in der Baugrundmechanik angewendet und dient z. B. zur Bestimmung und Messung des Erd drucks von Staudämmen. Es existiert jedoch auch eine Reihe von Beispielen, bei denen Fahrwerksuntersuchungen mit der Spannungsmessung durchgeführt wurden [1, 2]. Darauf soll nachfolgend näher eingegangen werden.

## Beschreibung der Druckaufnehmer

Die vom Rad- oder Kettenfahrwerk auf den Boden ausgeübten Kräfte verursachen im Boden Spannungen in 3 Ebenen, die je nach Fahrzustand unterschiedliche Intensität haben. Die höchsten und relativ unabhängig vom Fahrzustand auftretenden Spannungen werden durch die Radlast in vertikaler Richtung verursacht. Horizontal in Fahrtrichtung wirken die Zug- und Bremskräfte im Boden, und am Hang bzw. bei der Kurvenfahrt müs-

sen zusätzlich die Seitenkräfte horizontal senkrecht zur Fahrtrichtung im Boden abgestützt werden.

In der Literatur [1 bis 5] werden die verschiedenen Druckaufnehmer genannt, grundsätzlich werden diese nach der Anzahl der Meßebenen, in denen sie arbeiten, und nach der Art der Meßsignalaufnahme und Umsetzung unterschieden.

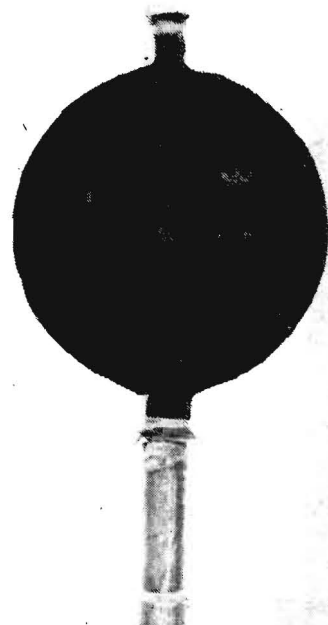
Druckaufnehmer für einaxiale Spannungen sind vorwiegend als flache Zylinder mit einer mit Dehnmeßstreifen bestückten Biegeplatte

ausgeführt, oder es kommen runde, mit einer Flüssigkeit gefüllte, elastische Kissen zur Anwendung (Bilder 1 und 2). Die Messung der Spannungen in 2 Ebenen erfolgt vorrangig durch eine entsprechende Anordnung von einaxialen Drucksensoren. Selten werden flüssigkeitsgefüllte Schläuche verwendet, mit denen die resultierenden Kräfte aus 2 Ebenen nachweisbar sind. 3 Kraftebenen werden ebenfalls durch Kombination von einaxialen Druckaufnehmern bzw. wiederum durch flüssigkeitsgefüllte elastische Körper,

Bild 1. Meßgeber: Biegeplatte mit Dehnmeßstreifen



Bild 2. Meßgeber: Flüssigkeitsgefüllte Gummimembran



Tafel 1. Meßverfahren zur Bestimmung mechanischer Bodeneigenschaften

Meßverfahren	Lagerungsdichte bzw. Trockenrohdichtebestimmung	Scherfestigkeitsbestimmung	Eindringwiderstandsbestimmung	Dichtebestimmung mit radioaktiver Strahlung
Durchführung	Masse eines festgelegten Volumens vom Ausgangszustand und Endzustand, d. h. nach Befahren, wird bestimmt, getrocknet und wieder die Masse bestimmt	Bodenteilchen werden mit einem entsprechenden Meßgerät abgesichert – die dazu notwendige Kraft wird gemessen  bekanntestes Meßgerät: Ringschergerät	Boden wird mit Sonden, d. h. Metallstäben mit kegelförmiger Spitze, durchstoßen  horizontal bzw. vertikal durchstoßen zur Aufnahme von Bereichen konstanter Verdichtung bzw. des Verdichterprofils	Quelle und Detektor werden in den Boden in einem bestimmten Abstand eingebracht; die im Detektor gemessene, von der Quelle gesendete Strahlung gibt Aufschluß über die Feuchtedichte
Bedingungen	homogener, mit optimaler Feuchte lagernder Boden  mehrere eingearbeitete Fachkräfte erforderlich  gibt den Belastungsverlauf nicht wieder, zusätzliche Kompressionsversuche mit Boderproben	eingearbeitete Fachkraft erforderlich  es sind nur horizontal bzw. tangential vom Boden abstützbare Kräfte an der Bodenoberfläche meßbar  gibt Belastungsverlauf nicht wieder	homogener Boden ohne großen Steinbesatz  elektronische Penetrometer mit entsprechender Auswertetechnik, 1 Meßperson erforderlich gibt Belastungsverlauf nicht wieder	z. Z. verwendete Geräte sind nur für geringe Schichtdicken, rd. 20 cm, gut geeignet Quelle und Detektor können nicht überfahren werden (Lageänderung und Fremdkörper im Boden) höherer gerätetechnischer Aufwand keine spezielle Vorbereitung des Bodens notwendig Exaktheit der Positionierung von Quelle und Detektor
Ziel	Messung der Dichte bzw. Verdichtung	Messung der Bearbeitbarkeit, des Pflugwiderstands und der Standfestigkeit	Beurteilung der Durchwurzelbarkeit, technologischen Eig-nung und Verdichtungswirkung	Bestimmung der Feuchtedichte



Bild 3. Kalibrierung der Meßgeber im Boden  
(Fotos: G. Kotte)

wie z. B. eine Kugel, gemessen. Welcher von den genannten Meßgebern zur Anwendung kommt, richtet sich nach der konkreten Meßaufgabe, d. h. welche Kräfte am Fahrwerk untersucht werden sollen.

**Einflußfaktoren bei der Spannungsmessung.**  
Die Spannungsmessung widerspiegelt den Spannungszustand im Boden zum Zeitpunkt der Bodenbelastung bzw. Überfahrt eines Mechanisierungsmittels. Dabei ist die Spannungsausbreitung von folgenden Faktoren abhängig:

- Spannungs-Dehnungs-Verhalten des Meßgebers

- Abmessung und Form des im Boden eingebetteten Meßgebers
  - Spannungszustand des Bodens
  - Anzahl und Geschwindigkeit der Belastungen.
- Der Spannungszustand des Bodens ist wiederum abhängig von
- Bodenart
  - Bodenfeuchte
  - Bodendichte.

**Handhabung der Druckmeßgeber**  
Die Druckmeßgeber werden zunächst in einem Druckkessel mit einem flüssigen oder gasförmigen Medium kalibriert. Danach erfolgt die Einlagerung im Boden, d. h. entsprechend der festgelegten Meßebe und Tiefe werden die Geber in den Boden gebettet, und ihre Lage wird an der Oberfläche markiert. Durch Stampfen oder Überrollen wird der Boden über und um die Meßgeber verdichtet. Aufgrund der o. g. Einflußfaktoren auf die Spannungsausbreitung ist ein Kalibrieren im Boden mit exakt definierten Flächenlasten notwendig. Diese Kalibrierung kann mit Hilfe eines Hydraulikzylinders erfolgen, der auf eine zentrisch über dem Druckgeber liegende Platte drückt und die Meßstelle stufenweise be- und entlastet (Bild 3). Die so vorbereiteten und gekennzeichneten Meßstellen können anschließend mit den zu untersuchenden Fahrwerken überrollt werden. Das vom Druckgeber registrierte Signal wird über einen entsprechenden Meßverstärker einem Aufzeichnungsgerät zugeführt.

**Zusammenfassung**  
Die Spannungsmessung ist eine einfache und leicht zu handhabende Methode zur Beurteilung der Wirkung von Fahrwerksparametern auf den Boden, da die einmal eingerichtete Meßstelle von mehreren Fahrwerken überrollt werden kann. Zur Zeit sind jedoch mit der Spannungsmes-

sung keine Aussagen zur Bodendichteänderung und damit zu den für das Pflanzenwachstum entscheidenden Bedingungen möglich. Trotz dieses erheblichen Nachteils bieten sich mit der Spannungsmessung für den Konstrukteur von Fahrwerken wesentlich bessere Möglichkeiten der Fahrwerksoptimierung mit dem Ziel, die vom Fahrwerk auf den Boden ausgehenden Kräfte minimal zu halten. Der in [6] dargestellte Spannungsverlauf unter einem Gleisbandfahrwerk zeigt deutlich die Kraftverteilung und somit den Traganteil des Bandes. Eine derartige Beurteilung der einzelnen Fahrwerkelemente ist nur mit Hilfe der Spannungsmessung möglich. Um die Spannungsmessung zu dem genannten Zweck als Meßmethode zu verallgemeinern, sind jedoch noch eine Reihe von Untersuchungen zu den o. g. Einflußfaktoren von seiten des Bodens, der Art der Druckgeber und versuchsmethodisch zu lösen.

**Literatur**

- [1] Baganz, K.: Spannungs- und Verdichtungsmessungen im Boden bei verschiedenen Fahrgeschwindigkeiten. Archiv für Landtechnik, Berlin (1963/64) 4, S. 35–46.
- [2] Reaves, C. A.; Cooper, A. W.: Stress Distribution in Soil under Tractor Loads (Der Druckverlauf im Boden unter Traktorrädern). Agricultural Engineering, St. Joseph, Mich. 41 (1960) 1, S. 20–21.
- [3] Cooper, A. W.: Some Observations on Soil Compaction Tests (Einige Beobachtungen bei Bodenverdichtungsuntersuchungen). Agricultural Engineering, St. Joseph, Mich. 40 (1959) 5, S. 264–265.
- [4] Dudek, D.: Stabilitätsbestimmung an Tagebaugeräten durch Bodendruckmessung unter Raupenfahrwerken. Fördern und Heben, Mainz 33 (1983) 6, S. 436–440.
- [5] Hilmer, K., u. a.: Einbauempfehlung für Erd- und Sohlendruckgeber. Symposium „Meßtechnik im Erd- und Grundbau“, München 1983.
- [6] Rüdiger, A.; Köhler, U.: Abschätzung des mittleren Bodendrucks unter Gleisbandfahrwerken. agrartechnik, Berlin 37 (1987) 2, S. 76–78.

A 4840

## Zum Verlustverhalten von Traktorgetrieben – Überblick zum Stand

Dr.-Ing. H. Schulz, KDT/Prof. Dr. sc. techn. K. Queitsch, KDT  
Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Sektion Mechanisierung der Pflanzenproduktion  
Dipl.-Ing. R. Blumenthal, KDT/Dipl.-Ing. G. Böttger, KDT  
Kombinat Fortschritt Landmaschinen, VEB Traktoren- und Dieselmotorenwerk Schönebeck  
Dr.-Ing. A. Skrobcki, Landwirtschaftliche Hochschule Warschau (VR Polen)

**Verwendete Formelzeichen**

$A_0 \dots A_5$	Koeffizienten
$a, b, c, d, g$	Koeffizienten
$F_{Zx}$	kN horizontale Zugkraftkomponente
$H_U$	kJ/kg unterer Kraftstoffheizwert
$i_G$	Getriebeübersetzung
$K_1 \dots K_6$	Koeffizienten
$M_A$	Nm Getriebeausgangsmoment
$\dot{m}_x$	kg/s Kraftstoffmassenstrom
$M_M$	Nm Motormoment $\hat{=}$ Getriebeeingangsmoment $M_E$
$M_{nenn}$	Nm Motornennmoment
$M_{Vb}$	Nm Verlustmoment durch Belastung
$M_{Vf}$	Nm Verlustmoment des Fahrwerks
$M_{Vg}$	Nm gesamtes Verlustmoment
$M_{V0}$	Nm Leerlaufmoment ( $\hat{=}$ $M_{E0}$ )
$m$	Steigungsmaß der Meßgeraden $M_E = f(M_A)$
$n_E$	U/min Getriebeeingangszustand ( $\hat{=}$ $n_M$ )
$n_M$	U/min momentane Motordrehzahl
$n_{nenn}$	U/min Motornendrehzahl
$P_A$	kW Getriebeausgangsleistung

$P_E$	kW	Eingangsleistung
$P_e$	kW	Motornennleistung
$P_M$	kW	Getriebeeingangsleistung (Motorleistung)
$P_{Vf}$	kW	Fahrwerksverlustleistung
$P_{Vg}$	kW	Getriebeverlustleistung
$P_{Vx}$	kW	Kupplungsverlustleistung
$P_{V_M}$	kW	Motorverlustleistung
$P_{Vv}$	kW	Verlustleistung der Traktor-Maschinen-Verbindung
$v_f$	km/h	Fahrgeschwindigkeit
$\eta_G$		Getriebewirkungsgrad
$\eta_{Gb}$		Teilwirkungsgrad des Getriebes bei Belastung
$\eta_{G0}$		Getriebewirkungsgrad ohne Last
$\lambda$		Motorauslastungsgrad
$v_G$		Verlustgrad
$v_l$		Lagerverlustgrad
$v_{lb}$		Lagerverlustgrad bei Belastung
$\nu_{01}$	mm <sup>2</sup> /s	Ölviskosität
$\nu_p$		Panschverlustgrad

$\nu_z$		Zahnverlustgrad
$\nu_{zb}$		Zahnverlustgrad bei Belastung
$\nu_0$		Gesamtverlustgrad ohne Last
$\omega_A$	1/s	Winkelgeschwindigkeit am Getriebeausgang
$\omega_M$	1/s	Winkelgeschwindigkeit des Motors (Getriebeeingang)

**1. Einleitung**  
Im Verlauf der Traktorenentwicklung wurde das Getriebe nahezu zur wichtigsten Baugruppe. Seine Bedeutung liegt einerseits im noch großen Einsatzspektrum der Traktoren im Vergleich zu klassischen Kraftfahrzeugen. Andererseits liegt es darin, daß ein Fahrer durch die Geschwindigkeitswahl (Gangwahl) mit Hilfe des Getriebes eine der wenigen Möglichkeiten hat, um die Produktivität und