

# Zugkraft- und Drehmomentmessung zur Bodenkartierung

*Für die teilflächenspezifische Düngung und Bodenbearbeitung sowie eine höhere Informationsdichte in der rechnergestützten Landwirtschaft ist es notwendig, Kenntnisse über die räumliche Verteilung von Bodeneigenschaften zu erlangen. Herkömmliche Methoden wie etwa die Bodenbeprobung sind sehr teuer und zeitintensiv. Daher wurden in Hohenheim Bodenunterschiede durch Zugkraft- und Drehmomentmessungen während der Bodenbearbeitung erfasst. Durch die Verknüpfung mit genauen Positionsdaten eines RTK (Real Time Kinematic) GPS-Empfängers können damit Zugkraft- und Drehmomentkarten erstellt werden, die die Verteilung von Bodenparametern über der Fläche widerspiegeln.*

Dipl.-Ing. sc.agr. Peter Droll ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl Verfahrenstechnik in der Pflanzenproduktion mit Grundlagen der Landtechnik (Leiter: Prof. Dr.-Ing. Dr.h.c. H.D. Kutzbach), Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim, Garbenstr. 9, 70599 Stuttgart; e-mail: droll@uni-hohenheim.de, kutzbach@uni-hohenheim.de

## Schlüsselwörter

Bodenkartierung, Zugkraftmessung, GPS, GIS, Bodenbearbeitung

## Keywords

Soil mapping, draft force measurement, GPS, GIS, tillage

Literaturhinweise sind unter LT 01103 über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/localliteratur.htm> abrufbar.

Die rechnergestützte Landwirtschaft gewinnt mehr und mehr an Bedeutung für die Landwirtschaft. Die Entwicklung von teilflächenspezifischen Methoden zur Erfassung von Erträgen, Unkräutern, Nährstoffen und Bodeneigenschaften hat in den letzten Jahren stark zugenommen. Für teilflächenspezifische Arbeitsschritte wie beispielsweise Düngung, Bodenbearbeitung oder Saat ist es wichtig, die genaue räumliche Verteilung von Bodeneigenschaften zu kennen. Bodenbeprobung ist eine gängige Methode, um Informationen über die Verteilung von Nährstoffen und Bodenarten auf landwirtschaftlichen Kulturflächen zu erhalten. Allerdings lässt der zeitliche und finanzielle Aufwand nur eine grobe Rasterung bei der Bodenbeprobung zu. Daher ist es notwendig, eine Erfassungsmethode für Bodeneigenschaften zu entwickeln, die günstig, zuverlässig sowie zeitsparend ist und eine flächendeckende Erfassung ermöglicht [1 bis 7].

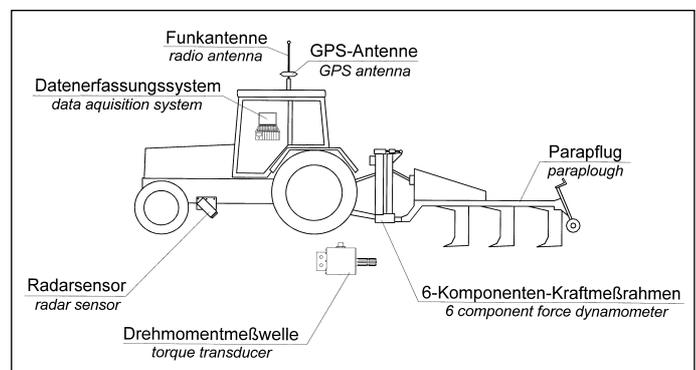
eine Drehmomentmesswelle, eine RTK GPS-Einheit und ein Datenerfassungssystem (Bild 1).

Der 6-Komponenten-Kraftmessrahmen wird zwischen Traktor und Bodenbearbeitungsgerät eingebaut. Er besteht aus zwei Rahmenelementen die über sechs Kraftmessdosen miteinander verbunden sind. Drei Messaufnehmer erfassen die Kräfte in longitudinaler Richtung, zwei die vertikalen Kräfte und eine Messdose die laterale Kraft. Die Maximalbelastung der einzelnen Messdosen beträgt 100 kN, so dass der Messbereich für alle Bodenbearbeitungsprozesse auch für das Pflügen und die Tiefenlockerung ausreichend ist.

Für angetriebene Bodenbearbeitungsgeräte wird zusätzlich eine Drehmomentmesswelle verwendet, deren Messbereich bis maximal 4 kNm reicht. Dies ist ausreichend für gängige Arbeitstiefen bei Arbeitsbreiten von drei Metern und mittelschweren Böden. Die gemessenen Kräfte, das Drehmoment sowie

Bild 1: Versuchsaufbau zur Zugkraft- und Drehmomentkartierung

Fig. 1: Experimental design for draft force and torque mapping



## Versuchsaufbau

Am Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim wurde eine Methode untersucht, während der Bodenbearbeitung die Zugkraft zwischen Traktor und Bodenbearbeitungsgerät und das Drehmoment an der Zapfwelle zu messen. Aus den gewonnenen Daten werden Rückschlüsse auf Bodeneigenschaften gezogen. Der Versuchsaufbau besteht aus einem Kraft- und Drehmomentmesssystem zwischen Traktor und angebautem Bodenbearbeitungsgerät, das mit einer Positions- und Geschwindigkeitserfassung erweitert wurde. Die Hauptelemente der Messeinrichtung sind ein 6-Komponenten-Kraftmessrahmen,

die Drehzahl an der Zapfwelle werden über einen Messverstärker zu einem Notebook PC zur Datenspeicherung übermittelt.

Die aktuelle Position der Messeinrichtung wird mit einem hochgenauen RTK GPS bestimmt. Mit Hilfe einer Referenzstation und der Verwendung der Trägerphasenauswertung ist es so möglich, die Position des Messfahrzeugs wenige Zentimeter genau zu bestimmen. Die Fahrgeschwindigkeit misst ein Radarsensor. Position und Geschwindigkeit werden gemeinsam mit den Kraft- und Drehmomentdaten im Notebook PC gespeichert. Die Messrate für alle erfassten Werte beträgt 5 Hz.

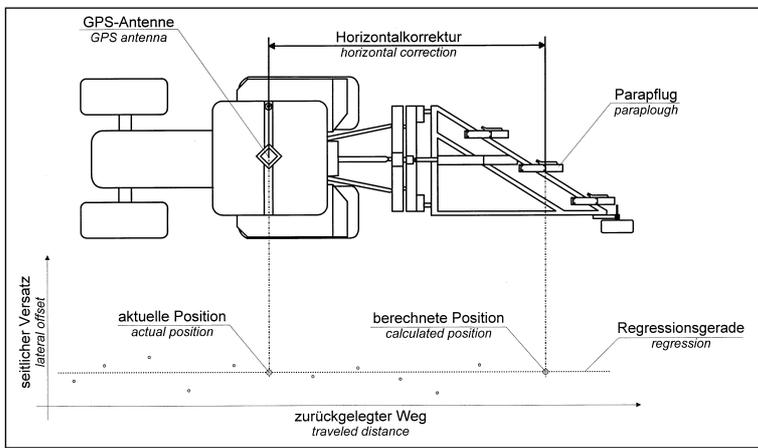


Bild 2: Bestimmung der tatsächlichen Geräteposition

Fig. 2: Determination of real implement position

Die GPS-Antenne ist auf dem Traktordach angeordnet. Die Kräfte und Momente werden jedoch am Arbeitsgerät gemessen. Daher müssen die Positionsdaten in longitudinaler und vertikaler Richtung nach den Felduntersuchungen entsprechend umgerechnet werden (post processing). Dazu wird unter Berücksichtigung der Fahrtrichtung und eines vorgegebenen Korrekturmaßes (Bild 2) die tatsächliche Position mit Hilfe einer Regressionsgeraden durch die fünf zuletzt gemessenen und fünf nächsten Positionen berechnet. Die gemessene topographische Höhe wird um die Antennenhöhe (GPS) über der Erdoberfläche vermindert. Um Fehler durch Maschinenschwingungen und andere Störeinflüsse auszugleichen, werden je nach Fahrgeschwindigkeit Mittelwerte über fünf bis zehn Messwerte gebildet. Zur graphischen Darstellung der Daten dient eine GIS-Software.

### Ergebnisse und Diskussion

Viele verschiedene Parameter nehmen Einfluss auf die Kräfte und Momente während der Bodenbearbeitung. Einerseits das Arbeitsgerät selbst, andererseits aber auch die Arbeitstiefe, Arbeitsbreite und Geschwindigkeit, natürlich auch verschiedene Bodenparameter wie etwa Bodenart, Feuchte und Bodenverdichtung.

Zahlreiche Versuche wurden auf einer Versuchsstation der Universität Hohenheim durchgeführt. Die Flächengröße der bearbeiteten Schläge lag bei 3 ha. Für die Untersuchungen wurden jahreszeitbedingt folgende

Bodenbearbeitungen durchgeführt: Stoppelbearbeitung mit Flügelscharrubber, Rototiller und Scheibenegge sowie Tiefenlockerung mit einem Parapflug.

Bild 3 zeigt den Zugkraft-, Vertikalkraft- und Drehmomentverlauf für eine Überfahrt bei der Stoppelbearbeitung mit dem Rototiller auf einem abgeernteten Erbsenschlag. Die drei Kurven haben über weite Bereiche einen ähnlichen Verlauf. Innerhalb der einzelnen Kurvenverläufe sind Unterschiede im jeweiligen Kraft- und Drehmomentbedarf zu erkennen. Am Anfang und am Ende der Kurven sind sehr große Schwankungen sichtbar, die auf Bodenverdichtungen, Bodenunebenheiten und ungleichmäßige Fahrgeschwindigkeiten am Vorgewende zurückzuführen sind. Die Unterschiede über den gesamten Kurvenverlauf werden verursacht durch Bodenartunterschiede, Bodenverdichtungen und vernässte Zonen.

Weitere Versuche haben gezeigt, dass die Verwendung der Zugkraft die besten Ergebnisse liefert. In Bild 4 sind zwei Zugkraftkarten des selben Schlages dargestellt. Die obere Karte zeigt die Zugkraftverteilung gemessen mit dem Rototiller, während die untere ebenfalls die Zugkraftverteilung für die Tiefenlockerung mit dem Parapflug (drei Monate später gemessen) wiedergibt.

Die beiden Karten zeigen die gleiche räumliche Verteilung des Zugkraftbedarfes. Erkennbare Unterschiede zwischen den Karten sind auf unterschiedliche Arbeitstiefen der verwendeten Arbeitsgeräte zurückzuführen. An den Vorgewenden des Schlages sind starke durch Wendemanöver verursachte Verdichtungen zu erkennen.

Westlich der Mitte des Schlages liegt eine Tonader quer über dem Ver-

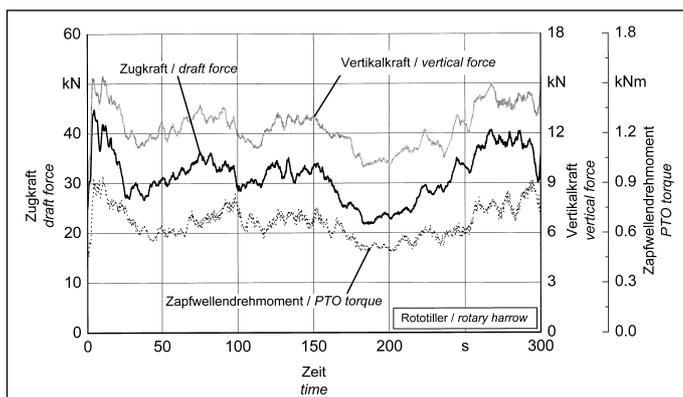


Bild 3: Zugkraft-, Vertikalkraft- und Drehmomentverlauf über der Zeit einer Fahrstrecke

Fig. 3: Draft force, vertical force and torque vs. time for one pass

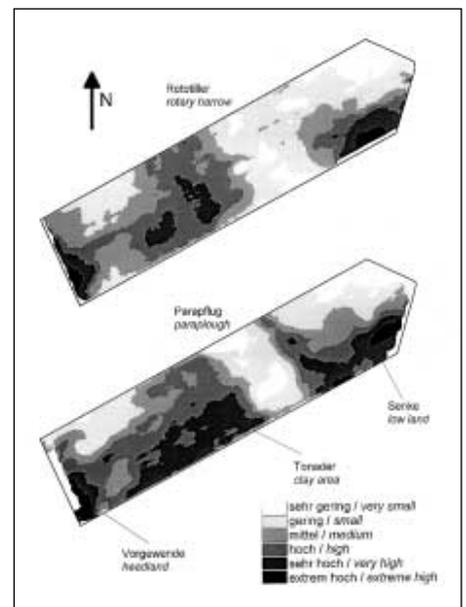


Bild 4: Zugkraftkarten für die Bodenbearbeitung mit Rototiller und Parapflug

Fig. 4: Maps of draft force for tillage with rotary harrow and paraplough

suchsfeld. In diesem Bereich fällt ebenfalls ein höherer Zugkraftbedarf auf. In der südöstlichen Ecke des Feldes liegt eine topographische Senke, die in Folge von Stauwasser stärker verdichtet ist und damit höhere Zugkräfte erfordert.

Die vorgestellten Ergebnisse belegen die mögliche Kartierung von Kraft- und Drehmomentunterschieden während der Bodenbearbeitung. Die gewonnenen Daten können auf vielfältige Weise verarbeitet und interpretiert werden. Doch gibt es zahlreiche Einflussfaktoren auf die gemessenen Daten, die eine genaue Spezifikation der Ursachen für die unterschiedlichen Kräfte und Momente erschweren. So etwa Bodenunebenheiten, Geschwindigkeitseinfluss, ungleichmäßige Arbeitstiefe, Bodenfeuchte, Schwingungen des gesamten Messsystems sowie durch das Arbeitsgerät verursachte Vibrationen.

### Ausblick

Mit der hier vorgestellten Messeinrichtung ist es möglich, Kräfte und Drehmomente direkt bei der Bodenbearbeitung zu erfassen und daraus in Kombination mit hoch genauen Positionsdaten einer RTK GPS-Einheit Karten der räumlichen Verteilung von Kraft- und Drehmomentwerten zu erstellen. Diese Karten spiegeln die räumliche Variation der Bodeneigenschaften wider. Bei dieser Kartierungsmethode müssen aber zahlreiche Einflussfaktoren berücksichtigt werden, die bei zukünftigen Entwicklungen in die Betrachtungen einfließen müssen, um die gemessenen Werte zu standardisieren. Um die Kosten des Verfahrens zu senken und das System zu vereinfachen, wird es notwendig sein, die in Traktoren heute bereits integrierten Zugkraftsensoren (EHR) und den CAN-Bus zu nutzen.