

Genauigkeit, Fehlereinflüsse und Optimierungspotential einer einfachen Kraftsensorik am Heckhubwerk

Norbert Barta¹, Steven Luthra¹, Marcus Eichinger^{1, 2}, Hannes Pfurtscheller¹, Markus Hofinger³, Johannes Antlinger³, Alexander Bauer¹ und Andreas Gronauer¹

Abstract: Moderne Traktoren verfügen über Zugkraftsensoren in den Unterlenkern, welche während der Bodenbearbeitung Informationen für Precision Farming-Anwendungen liefern können. In der vorliegenden Arbeit wurde das Hubwerk mit zusätzlichen Drucksensoren am Oberlenker erweitert, um die Genauigkeit zu erhöhen. Eine statische Kalibrierung zeigte, dass verschiedene Traktoren deutliche Abweichungen in der Kraftkennlinie der Unterlenkersensoren aufweisen. Mit einer neuen Kalibrierung waren jedoch reproduzierbare Messungen möglich. Eine Messung im Feldeinsatz während einer Bodenbearbeitung mit einem Grubber zeigte eine gute Korrelation der Daten mit den Messwerten eines Kraftmessdreiecks für die horizontalen (x-Achse; $R^2=0,965$) und vertikalen (z-Achse; $R^2=0,901$) Kräfte. Die übertragene Kraft des Oberlenkers ergab eine größere Streuung ($R^2=0,810$).

Keywords: Zugkraftmessung, Heckhydraulik, Drucksensoren, Precision Farming

1 Einleitung

Messungen der Zugkraft während der Bodenbearbeitung können Informationen über die Bodenvariabilität liefern [Ber01] und besitzen das Potenzial Arbeitsprozesse zu optimieren. Moderne Traktoren verfügen lediglich über Kraftmessbolzen in den Unterlenkern (UL). Eine präzise Bestimmung der Hauptkraftkomponenten zwischen Anbaugerät und Traktor ist mit diesem Messaufbau nicht möglich. Für genaue Messungen werden Kraftmessdreiecke (KMD) oder mehrachsige Kraftsensoren eingesetzt. [Por13, Sli15]

Mit einer zusätzlichen Messung der Kräfte am Oberlenker (OL) und des Arbeitshubes des OLs können die resultierenden Kräfte zwischen Traktor und Anbaugerät mithilfe der Kinematik bestimmt werden [Yul99]. Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein OL mit integriertem Messsystem für den Zylinderhub mit zusätzlichen Drucksensoren ausgestattet. Ziel war es, ein kostengünstiges Messsystem zu entwickeln, welches Messungen in großem Umfang mit zufriedenstellender Genauigkeit erlaubt. Die Genauigkeit dieser Messmethode in Kombination mit einem kinematischen Modell wurde mit statischen Prüfstands- und dynamischen Feldversuchen überprüft.

¹ Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Landtechnik, Peter-Jordan-Straße 82, A-1190 Wien, Österreich, norbert.barta@boku.ac.at

² AlPS GmbH Grabenweg 68, A-6020 Innsbruck, Österreich

³ Pöttinger Landtechnik GmbH, Industriegelände 1, A-4710 Grieskirchen, Österreich

2 Material und Methoden

Die statische Kalibrierung der Kraftsensoren in den UL erfolgte mit drei Traktoren vom Typ CVT 6240 (Fa. Steyr Traktoren GmbH, St. Valentin, Österreich, Traktor 1 (T1) Bj. 2015; T2 Bj. 2016; T3 Bj. 2017). Die Zuglast wurde auf einem Prüfstand mithilfe einer Seilumlenkung über den hydraulischen OL aufgebracht. Als OL wurde der Typ MOLH-C 90 (GNK Walterscheid GmbH, Lohmar, Deutschland) mit integriertem Wegmesssystem eingesetzt. Zusätzlich wurde der Zylinder mit zwei Drucksensoren vom Typ HDA 4400 (HYDAC INTERNATIONAL GmbH, 66280 Sulzbach/Saar, Deutschland) bestückt. Die Messsignale wurden über ein CAN-Modul mit einer Auflösung von 1 mV/Bit aufbereitet. Die Aufzeichnung erfolgte mit einem GL3000 CAN-Datenlogger (Vector Informatik GmbH, 70499 Stuttgart, Deutschland). Position und Kraft des Unterlenkers wurden aus dem ISOBUS (ISO 17783) aufgezeichnet. In den UL waren zwei Kraftmessbolzen KMB der Baureihe 30 (Bosch Rexroth AG, Schwieberdingen, Deutschland) mit einem Nennlastbereich von ± 90 kN verbaut. Die Einstellung der Zugkraft erfolgte mithilfe eines Manometers in Kombination mit einem Druckregelsitzventil. Die Messungen fanden am 14.09.2016 (T1), 28.02.2017 (T2), 24.03.2017 (T2) und 12.05.2017 (T3) statt. Als Referenzmesssystem diente bei der ersten Messung eine U2A Wägezelle (Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH, Darmstadt, Deutschland, Nennlast 2 t). Bei den weiteren Messungen wurde ein Kraftaufnehmer vom Typ UB (GTM Testing and Metrology GmbH, Blickenbach, Deutschland, Nennlast 50 kN) eingesetzt. Bei jedem Messtermin erfolgte die Messung mit vier verschiedenen Winkeln des UL ($2,9^\circ$, 0° , $-7,3^\circ$ und $-11,7^\circ$). Dieser Winkelbereich entspricht den Einstellungen der Bearbeitungstiefe des Grubbers Synkro 3030 (Pöttinger Landtechnik GmbH, Grieskirchen, Österreich, Arbeitsbreite 3 m) von 0 cm bis 30 cm. Für jede Winkelstellung wurden je zwei Messreihen mit ansteigender und je zwei mit abfallender Kraft aufgenommen.

Die aus den statischen Messungen bestimmten Faktoren wurden mit einer dynamischen Messung mit dem Traktor T2 während der Grundbodenbearbeitung mit einem 3 m Grubber Synkro 3030 am 24.10.2016 überprüft. Als Referenzmessgerät diente ein KMD (Eigenbau Fa. Pöttinger Landtechnik GmbH, Grieskirchen, Österreich). Die Versuche fanden auf einem Schlag der Versuchswirtschaft der Universität für Bodenkultur Wien in Groß Enzersdorf, Österreich (Breite $48,196505^\circ$; Länge $16,568712^\circ$) statt. Der Bodentyp am Versuchsfeld bestand aus Tschernosem und Feuchtschwarzerde (lehmgiger Schluff). Um die unterschiedlichen Kraftbedingungen zu erhalten, wurde in fünf Tiefen (10 cm, 15 cm, 20 cm, 25 cm und 30 cm) gearbeitet. Die Messdatenaufbereitung sowie die kinematische Berechnung erfolgte mit der Software Matlab (The Mathworks Inc., Natick, Massachusetts, USA).

3 Ergebnisse

In Tabelle 1 sind die Ergebnisse der statischen Messung für den UL dargestellt. Zwischen den Traktoren sind deutliche Unterschiede zu erkennen. T3 wurde in neuen Zustand gemessen. T1 war bereits ein Jahr in Betrieb und wurde für intensive Grundbodenbearbeitung eingesetzt. T2 zeigt die größten Abweichungen, wobei hier die Lasthistorie nicht bekannt ist. Abweichungen zwischen den Traktoren lassen sich durch das Hystereseverhalten der induktiven Kraftsensoren bei hohen Zuglasten an den Unterlenkern erklären. Die beiden Messungen mit T2 zeigen, dass reproduzierbare Messungen möglich sind.

Messung	k	d	R ²	k _{Err} (%)	d _F (kN)
ISO 11783-7	0,01000	-320,00	1	0	0
T1 14.09.2016	0,01106	-351,96	98,69	10,6	1,96
T2 28.02.2016	0,01176	-366,89	99,30	17,6	9,43
T2 24.03.2016	0,01186	-368,73	99,34	18,6	10,79
T3 12.05.2016	0,01026	-328,63	99,35	2,6	-0,31

Tab. 1: Lineare Kennlinienwerte $F(UL)=k*(\text{Wert ISOBUS})+d$; Steigungsfehler k_{Err} und Kraftoffset d_F des Zusammenhangs von HW mit KMD sowie Referenzwerte aus der ISO 11783-7

Die dynamische Messung zeigt eine gute Korrelation für die horizontal und vertikal gemessenen Kräfte (siehe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** links für Kräfte in horizontaler x-Achse sowie Tab. 2). Die Kräfte, welche durch das Kraftmessdreieck am oberen Anschlag übertragen werden, zeigen eine höhere Streuung (siehe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** rechts).

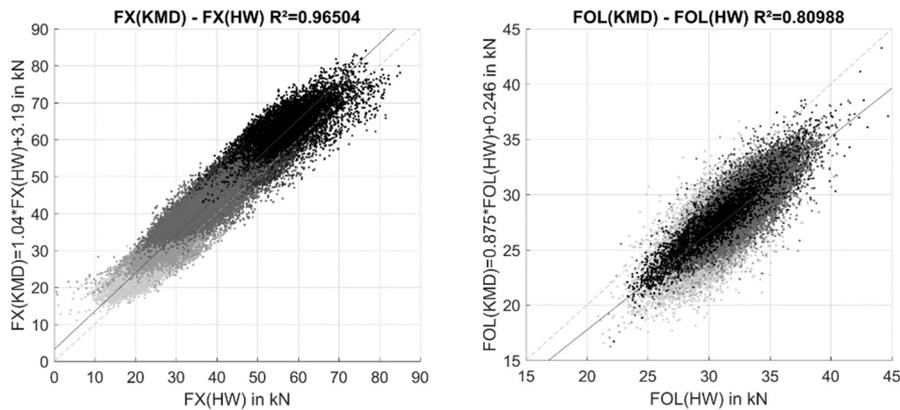


Abb. 3: Korrelation der berechneten Kraftwerte des Heckhubwerkes mit den Ergebnissen des KMD für die resultierende Kraft FX in horizontaler Richtung (links) und für die Kraft des KMD am oberen Anschlagpunkt (rechts) aus der Feldmessung. Die Grauskala entspricht der Arbeitstiefe (hellstes Grau: 10 cm; Hellgrau: 15 cm; Grau: 20 cm; Dunkelgrau: 25 cm und Schwarz: 30 cm)

Vergleichskomponenten	k	d (kN)	R ²
x-Achse KMD-HW UL	0,990	-21,34	0,960
x-Achse KMD-HW	1,035	3,19	0,965
z-Achse KMD-HW	0,881	2,35	0,901
OL KMD-HW	0,875	0,24	0,810

Tab. 2: Lineare Korrelationsfaktoren (k, d) und Bestimmtheitsgrad (R²) der Kraftkomponenten

Diskussion und Ausblick

Die statischen Messungen ergaben, dass deutliche Abweichungen für die Traktortypen vorhanden waren. Diese sind durch die Hysterese der Kraftsensoren in den UL zu erklären. Für eine präzise Messung müssen diese regelmäßig kalibriert werden. Die dynamische Messung lieferte gute Ergebnisse für die horizontalen und vertikal übertragenen Kräfte. Die verbleibenden Fehler könnten durch die Nickbewegung des Traktors bei höheren Zugkräften, sowie durch Abweichungen der Messung im Oberlenker hervorgerufen werden. Eine zusätzliche Messung des Traktorwinkels könnte die Genauigkeit erhöhen.

4 Danksagung

Das Projekt wurde im COMET Programm über das K1-Zentrum AlpS ermöglicht und durch die österreichische Forschungsförderungsgesellschaft und die Fa. Pöttinger Landtechnik GmbH gefördert

Literaturverzeichnis

- [Ber01] van Bergeijk, J.; Goense, D.; Speelman, L.: Soil tillage resistance as tool to map soil type differences. *Journal of Agricultural Engineering Research* 79(4)/2001, 371-387, 2001
- [Por13] Porteš, P.; Bauer, F.; Cupera, F.: Laboratory-experimental verification of calculation of force effects in tractor's three-point hitch acting on driving wheels. *Soil and Tillage Research* 128/2013, 81-90, 2013
- [Sli15] Slimařík, D.; Dostál, P.; Polcar, A.: Static testing of draft sensors for three point hitch dynamometer utilization. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis* 63/2015, 835-839, 2015
- [Yul99] Yule, I. J.; Kohnen, G.; Nowak, M.: A tractor performance monitor with DGPS capability. *Computers and Electronics in Agriculture* 23(2)/1999, 155-174, 1999