

Überprüfung und Verwendung von Zugkraftwerten aus der Bodenbearbeitung

Klaus Hank, Peter Wagner

Professur für Landwirtschaftliche Betriebslehre
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Ludwig-Wucherer-Straße 2
06099 Halle
klaus.hank@landw.uni-halle.de
peter.wagner@landw.uni-halle.de

Abstract: Zugwiderstandswerte von Böden könnten eine bestimmende Variable in Precision-Farming-Modellen darstellen. Diese sollen mit möglichst geringem Aufwand gewonnen werden. Deshalb stellt sich die Frage nach Minimalanforderungen für valide Werte. Theoretische Überlegungen und Ergebnisse eines Versuches weisen darauf hin, dass bei Arbeit im gleichen Schlepperleistungsbereich gemessene Werte als relative Bodenparameter verwendet werden können.

1 Einleitung

Precision Farming versucht, u.a. die Heterogenität von Bodenparametern bei der Bewirtschaftung zu berücksichtigen. Zur Abgrenzung von Managementzonen müssen jedoch zunächst geeignete Indikatoren gefunden werden. Diese sollen möglichst ohne zusätzliche Arbeitsgänge und ohne Zerstörung des Bodens erhoben werden. Eine Möglichkeit zur Gewinnung solcher Daten stellt die positionsbezogene Messung von Zugkraftwerten bei der Bodenbearbeitung dar. Wichtige Vorarbeiten für eine praxisgerechte Durchführung solcher Messungen haben Schutte und Kutzbach [SK03] geleistet. Ein mit einem experimentellen Messsystem ausgestattetes Arbeitsgerät erfasste Zugkraftbedarf, Arbeitstiefe und weitere Parameter. Parallel wurde der Zugkraftbedarf über serienmäßige Unterlenkerkraftmessbolzen und die Arbeitstiefe über die Hubwerksposition des Schleppers erfasst. Dabei zeigte sich eine gute Übereinstimmung der Ergebnisse von experimentellem Messsystem und Praxissystem. Weigert [We06] setzte Zugkraftwerte erstmals als Variable in einem neuronalen Netz zur Bestimmung optimaler Stickstoffdüngermengen bei der ersten Gabe ein.

Der Zugwiderstand eines Bodenbearbeitungsgerätes wird von einer Reihe von Faktoren bestimmt. Bei einem Grubber sind dies das Gerät (Masse, Zahl, Form und Anordnung der Zinken), die Arbeitstiefe, die Arbeitsgeschwindigkeit und der spezifische Zugwiderstand des Bodens. Während die Parameter des Gerätes während der Arbeit bzw. Messung konstant betrachtet werden können (von Abnutzungserscheinungen einmal abgesehen!) sind die drei anderen Einflussfaktoren variabel. Gemessene Zugkraftwerte dürfen allenfalls dann als Bodenparameter interpretiert werden, wenn sie mit dem gleichen Gerät bei gleicher Arbeitstiefe und gleicher Arbeitsgeschwindigkeit gewonnen wurden.

In der Praxis sind die beiden letzten Forderungen jedoch nicht streng einzuhalten, da Grubber die Tendenz aufweisen, bei steigendem Zugwiderstand des Bodens tiefer in diesen einzudringen und durch den dadurch erhöhten Zugkraftbedarf die Arbeitsgeschwindigkeit zu drosseln. In dieser Situation stellt sich die Frage, ob das gesteckte Ziel der Abgrenzung von Managementzonen unter geeigneten Messbedingungen trotzdem unter Verwendung der gemessenen rohen Zugkraftwerte erreicht werden kann.

Physikalisch entspricht die Zugleistung (P) dem Produkt aus Zugkraft (F) und Arbeitsgeschwindigkeit (v): $P = F \cdot v$, bzw. die Zugkraft dem Quotienten aus Zugleistung und Arbeitsgeschwindigkeit: $F = P/v$. Sind sowohl die Leistung als auch die Arbeitsgeschwindigkeit variabel, lassen die gemessenen Zugkraftwerte selbst bei konstanter Arbeitstiefe keine direkten Aussagen über den spezifischen Zugwiderstand des Bodens zu. Wird jedoch bei konstanter Geschwindigkeit oder mit konstanter Zugleistung gearbeitet, dann ergeben sich bei konstanter Arbeitstiefe einfache Beziehungen: Bei Arbeit mit konstanter Geschwindigkeit stehen Zugkraft und Zugleistung in einer direkt proportionalen, bei Arbeit mit konstanter Zugleistung stehen Zugkraft und Geschwindigkeit in einer indirekt proportionalen Beziehung.

2 Ein Versuch

Auf einem 64 ha Schlag des Lehr- und Versuchsgutes Görzig der MLU Halle wurden im Sommer 2004 bei der Stoppelbearbeitung mit einem Grubber die Werte der Unterlenkerkraftmessbolzen aufgezeichnet. Zusätzlich wurde geografische Position, Getriebe- geschwindigkeit, Bodengeschwindigkeit, Motordrehzahl und Treibstoffverbrauch erfasst. In Abbildung 1 sind diese Werte für eine willkürlich gewählte Überfahrt dargestellt.

Die Grafik umfasst alle Datensätze vom ersten Überschreiten einer Bodengeschwindigkeit von 8 km/h nach dem Wendevorgang bis zum letztmaligen Unterschreiten dieser Grenze vor dem nächsten Wendevorgang bei einer Aufzeichnungsfrequenz von knapp 10 Hz. Zunächst ist zu erkennen, dass es anfangs zu stärkeren Ausschlägen kommt. Diese entstehen durch Eingriffe der Schlepperhydraulikregelung während und nach dem Senken des Geräts in den Boden und dürfen keinesfalls als Bodenparameter interpretiert werden. Die ersten 200 Datensätze werden deshalb ausgeblendet.

Ganz oben findet sich die gemessene Zugkraft (ohne Einheiten), unmittelbar darunter ist die Motordrehzahl (rpm) dargestellt. Ein Vergleich dieser beiden Kurven zeigt, dass mit sinkendem Zugkraftbedarf steigende Motordrehzahlen und steigende Arbeitsgeschwindigkeiten verbunden sind. Die Graphen der Geschwindigkeiten finden sich im mittleren Teil der Abbildung. Die zugehörigen Werte in km/h sind auf der rechten Ordinate aufgetragen. Zunächst ist zu erkennen, dass die Getriebe- geschwindigkeit systematisch über der Bodengeschwindigkeit liegt. Dies hat seine Ursache darin, dass Zugkraft letztlich immer durch Schlupf erkaufte wird. Die Daten lassen zudem erahnen, dass die Größe des Schlupfes in einem funktionalen Zusammenhang zum Zugwiderstand steht: Die Relation zwischen Getriebe- geschwindigkeit und Bodengeschwindigkeit steigt mit dem Zugwiderstand. Wird der Schlupfanteil nach der Beziehung $(a-b)/a$ mit der Getriebe- geschwindigkeit a und der Bodengeschwindigkeit b berechnet und dieser mit der Zugkraft verglichen, dann zeigt sich ein Pearson'scher Korrelationskoeffizient von 0,400. Als letzter Indikator ist schließlich im unteren Bereich der Abbildung noch der Treibstoffverbrauch dargestellt. Dieser liegt relativ konstant bei 550 (ohne Einheiten), zeigt jedoch einen

gewissen Einbruch zwischen dem 2.000sten bis 2.500sten Datensatz. Auch dies dürfte seine Ursache im, in diesem Bereich geringeren, Zugwiderstand haben. Der Anstieg der Motordrehzahl führt dazu, dass das Motordrehmoment stark abnimmt, wodurch die Motorleistung sinkt. Leider wird dieser Effekt teilweise dadurch kompensiert, dass in diesem Drehzahlbereich der spezifische Treibstoffverbrauch mit zunehmender Motordrehzahl ansteigt. Trotzdem beträgt die Korrelation zwischen Zugkraft und Treibstoffverbrauch bei allen Datensätzen im Arbeitsbereich 0,824.

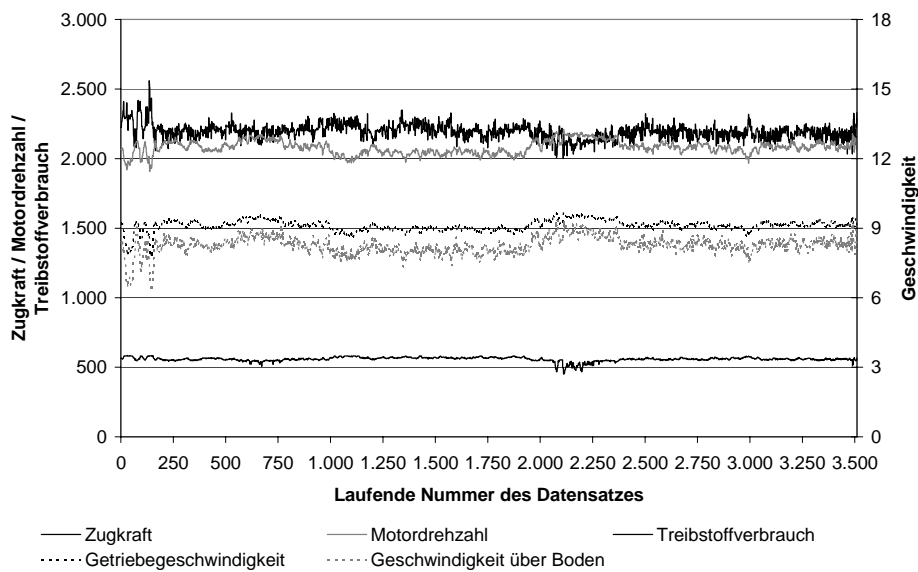


Abbildung 1: Ausgewählte Variablen einer willkürlich gewählten Überfahrt

3 Analyse der Zugkraftwerte

Werden alle Datensätze bei Arbeitsgeschwindigkeit (Bodengeschwindigkeit ab 8 km/h) betrachtet, dann zeigen die 215.655 Datensätze mit Zugkraftwerten von 851 bis 2.674 einen Mittelwert von 2.174 und eine Standardabweichung von 162. Der Variationskoeffizient liegt damit bei lediglich 7,4 %. Der Schlag ist somit bezüglich des Zugkraftbedarfes weitgehend homogen. Umso interessanter ist es, unter diesen Voraussetzungen das Zusammenspiel zwischen Zugkraft, Arbeitsgeschwindigkeit, Motordrehzahl und Treibstoffverbrauch zu betrachten. In der folgenden Tabelle sind Pearson'sche Korrelationskoeffizienten zwischen jeweils zweien dieser Variablen dargestellt.

Werden sämtliche 313.912 Datensätze betrachtet, dann ist zu erkennen, dass ausschließlich mehr oder weniger ausgeprägte positive Beziehungen auftreten, z.B. ist mit höherer Zugkraft ein höherer Treibstoffverbrauch zu erwarten, mit steigender Geschwindigkeit steigt die Zugkraft usw. Werden lediglich die bereits oben abgegrenzten 215.655 Datensätze mit Bodengeschwindigkeiten ab 8 km/h berücksichtigt, dann ändert sich das Bild. Zwar ist Zugkraft und Treibstoffbedarf weiterhin positiv korreliert, diese beiden Variablen weisen in dieser Teilmenge der Datensätze aber negative Beziehungen zu Motordrehzahl und Geschwindigkeit auf. Diese Werte sind in der Tabelle grau hinterlegt.

Pearson'sche Korrelationskoeffizienten	Treibstoffverbrauch	Motordrehzahl	Getriebe- geschwindigkeit	Boden- geschwindigkeit
Alle Datensätze, N = 313.912				
Zugkraft	0,889	0,089	0,748	0,677
Treibstoffverbrauch		0,351	0,865	0,788
Motordrehzahl			0,433	0,462
Getriebe- geschwindigkeit				0,976
Datensätze mit Bodengeschwindigkeit ab 8 km/h, N = 215.655				
Zugkraft	0,847	-0,404	-0,249	-0,542
Treibstoffverbrauch		-0,443	-0,340	-0,688
Motordrehzahl			0,401	0,508
Getriebe- geschwindigkeit				0,710

Diese Beobachtungen decken sich mit den eingangs dargestellten physikalischen Zusammenhängen. Im Nennleistungsbereich des Schleppers führt ein höherer Zugkraftbedarf zu einer Drückung des Motors und damit sinkender Arbeitsgeschwindigkeit. Da gleichzeitig der Schlupfanteil zunimmt, ist dies bei der Bodengeschwindigkeit noch deutlicher ausgeprägt als bei der Getriebe-
geschwindigkeit.

4 Ergebnis

Die Messung von Zugkraftwerten bei konstanter Geschwindigkeit hat den Vorteil, dass die Korrelation zwischen Zugkraft und Arbeitsgeschwindigkeit vernachlässigt werden kann und damit der Zugwiderstand einzig vom spezifischen Zugwiderstand des Bodens abhängt. Bei der praktischen Durchführung zeigt sich jedoch, dass sich eine konstante Geschwindigkeit im engeren Sinne nicht darstellen lässt. Bei der oben dargestellten Überfahrt schwankt die Bodengeschwindigkeit um $\pm 1,0$ km/h. Dennoch weisen die Datensätze ein konsistentes Bild auf, da sie bei weitgehend konstanter Zugleistung erhoben wurden. Die gemessenen Werte dürfen damit als Bodenparameter interpretiert werden. Welcher Erklärungsgehalt ihnen innewohnt, ist derzeit noch nicht geklärt. In Anbetracht der relativ einfachen Erhebung, sollte aber ihr Einsatz in Precision-Farming- Modellen etwa zur Ableitung von Entscheidungsregeln für die Stickstoffdüngung erwogen werden.

Literaturverzeichnis

- [SK03] Schutte, B.; Kutzbach, H. D.: Positionsbezogene Erfassung von Zugkraftwerten. In: Landtechnik, Band 58, Heft 6, 2003; S. 376-377.
- [We06] Weigert, G.: Entwicklung von ökonomisch optimierten Entscheidungsregeln zur kleinräumigen Stickstoffausbringung. Dissertation, Weihenstephan 2006 (im Druck).