So kommt Zugkraft auf den Boden

Zugkraftübertragung **Traktoren werden immer leistungsstärker. Wie lässt sich diese Motorleistung als Zugleistung auf den Boden bringen? Was passiert, wenn der Reifeninnendruck nicht angepasst ist? Lesen Sie die Ergebnisse der TU München, wie Ballast und Reifendruck die Zugleistung beeinflussen.**

Wie groß ist der Nutzen durch die Anpassung der Reifeninnendrücke und in welchen Grenzen lässt sich Ballast durch richtigen Reifendruck ersetzen? Um diesen Fragen nachzugehen, führten Mitarbeiter der TU München im Sommer 2009 umfangreiche Feldversuche mit einem Fendt Vario 936 mit 265 kW (360 PS) auf unbearbeiteten Stoppelackerflächen durch.

Oft unterschätzt werden die Folgen von unangepasster Ballastierung und ungeeigneten Reifenfülldrücken. Die Maschine kann ihre Leistung nicht vollständig „auf den Boden bringen". Höhere Schlupfwerte und geringere Zugleistung sind die Folge. Um Schlupf zu verringern und damit die Zugleistungsübertragung zu steigern, wird oft Ballast angebaut – meist ein unnötiger Schritt, wie die Versuche zeigen. Er schadet sowohl dem Boden als auch der Wirtschaftlichkeit.

Bei geringen Arbeitsgeschwindigkeiten um 8 km/h – etwa bei der Grundbodenbearbeitung – begrenzt der Reifen-Boden-Kontakt die Zugleistung (siehe Grafik „*Motor- und Zugleistung*"). Der Boden ist nicht in der Lage, die hohen Radumfangskräfte abzustützen. Durchdrehende Räder übertragen die Motorleistung nicht vollständig und die Leistungsverluste entstehen durch Zunahme des Schlupfs. Alles, was den Kraftschluss zwischen Reifen und Boden verbessert, erhöht hier die Zugleistungsübertragung. Eine Möglichkeit sind Ballastgewichte: Sie erhöhen die Achslasten und verstärken da-

Der erste Schlepper wurde ballastiert, der Reifendruck angepasst und die Zugkraft und Zugleistung gemessen.

Foto: TU München

durch den Bodendruck. Je nach Ballastgewicht steigt die Zugleistung um bis zu 15 Prozent (siehe *„Einfluss des Ballast auf die Zugleistung“*). Allerdings können irreparable Verdichtungen des Unterbodens und verringertes Pflanzenwachstum die Folge sein.

Anders bei höheren Geschwindigkeiten um 15 km/h, wie beispielsweise bei der Stoppelbearbeitung: Hier begrenzt die verfügbare Motorleistung die maximal übertragbare Zugleistung. Die Motorleistung wird fast vollständig durch eine angepasste Getriebeübersetzung ausgenutzt. Durch den stufenlosen Antrieb wurde bei 15 km/h mit 100 Prozent Motorauslastung gefahren. Zusätzlicher Ballast steigert hier nicht mehr die maximal übertragbare Zugleistung, weil die Motorauslastung ja schon maximal ist. Wie viel es bringt, den Traktor mit zusätzlichem Ballast auszustatten, oder den Luftdruck der Reifen anzupassen, ist also von der geforderten Geschwindigkeit abhängig.

Weniger Druck, mehr Leistung

Mit verringerten Reifeninnendrücken federn die Reifen weiter ein und die Reifen-Boden-Kontaktfläche nimmt zu. Die Radlast stützt sich auf einer größeren Fläche ab. Durch den geringeren Kontaktflächendruck sinken die Reifen weniger in den Boden ein. Der Rollwiderstand nimmt ab und weniger Leistung geht in Form von Bodenverdichtungsarbeit verloren. Außerdem verbessert sich durch die größere Aufstandsfläche die Reifen-Boden-Verzahnung, wodurch der Boden höhere Antriebskräfte abstützen kann. Niedriger Reifendruck hat also zwei Effekte: Der Reifen kann mit einer größeren Aufstandsfläche höhere Kräfte übertragen. Gleichzeitig sinkt der Rollwiderstand und so die Verluste.

Richtiger Luftdruck bringt Leistung

Für die Feldversuche wurde als Reifeninnendruck der in Abhängigkeit von der Achslast erforderliche Mindestdruck bei einer Geschwindigkeit von 65 km/h (schnelle Straßenfahrt) als unangepasst und bei 10 km/h und hoher Drehmomentbelastung als angepasst angenommen. Der Mindestdruck ist der vom Reifenhersteller vorgeschriebene Mindest-Reifeninnendruck für die genannte Anwendung und darf nicht unterschritten werden. Die Drücke in den Reifen schwankten zwischen 0,6 und 1,6 bar im Feld und 0,8 bzw. 2,4 bar für den Straßendruck (*siehe Tabelle unten links*). Im Versuch wurden für jede Ballastierungsvariante die Achslasten verwogen und die jeweils passenden Drücke eingestellt. Zum Einsatz kamen 600/70-R34-Reifen vorne und 710/75-R42-Reifen hinten.

Je nach Ballastierung und Fahrgeschwindigkeit liegen die Leistungsverluste bei unangepasstem Reifeninnendruck gegenüber angepasstem Reifeninnendruck bei 5 bis 15 Prozent (siehe Grafik *„Falscher Reifendruck senkt Leistung“*). Als Beispiel werden so bei 8 km/h ohne Ballastierung mit dem falschen Reifendruck 15 Prozent Leistung verschenkt. Das heißt, ohne Ballast nur durch

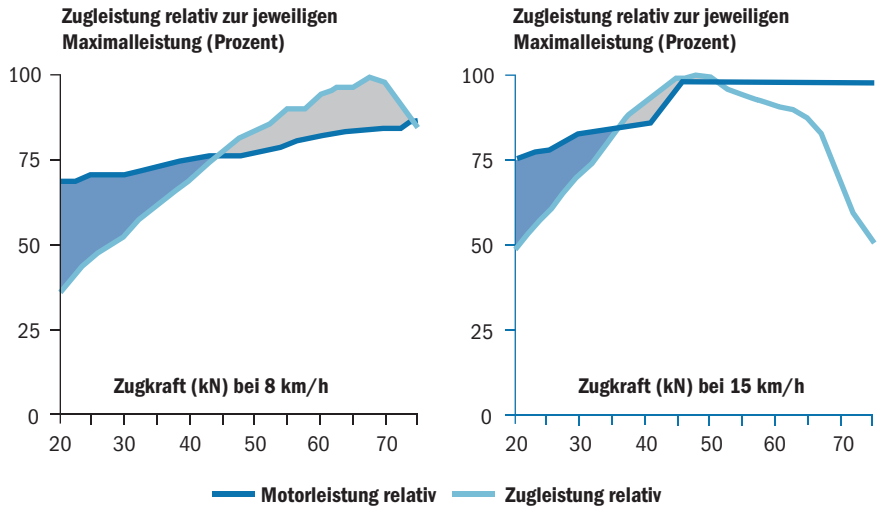
So wurde Reifendruck an die Ballastierung angepasst

	Reifeninnendruck			
	Straße		Feld	
Front-ballast	Front *1	Heck *2	Front *1	Heck *2
0 kg	0,8 bar	1,6 bar	0,6 bar	0,6 bar
1.250 kg	1,4 bar	1,6 bar	1,2 bar	0,6 bar
2.500 kg	2,4 bar	1,6 bar	1,6 bar	0,6 bar

Reifen: Trelleborg TM 900 High Power
*1 vorn: 600/70 R34; *2 hinten: 710/75 R42

dlz 2010

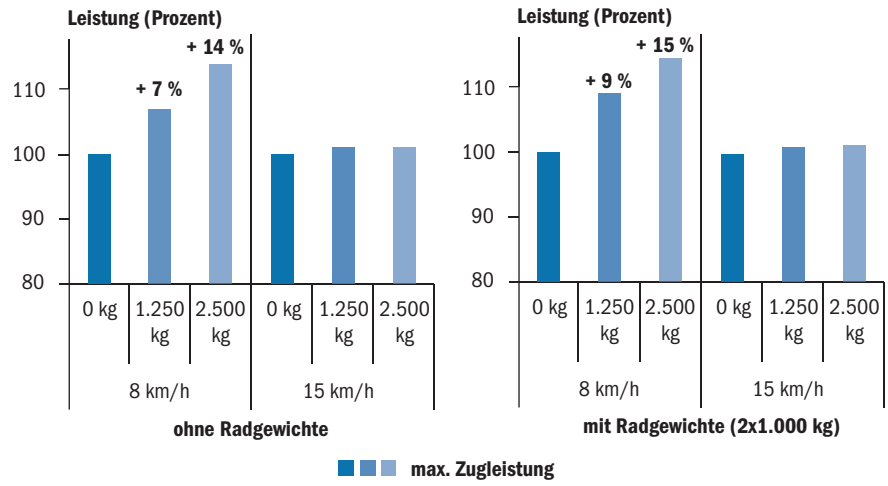
Motor- und Zugleistung



Verlauf von Motor- und Zugleistung jeweils relativ zur Maximalleistung, dargestellt jeweils in Abhängigkeit von der übertragenen Zugkraft. Quelle: TUM

dlz 2010

Einfluss des Ballasts auf die Zugleistung



Effekte der Frontballastanbringung auf die Zugleistungsübertragung relativ zur Kontrolle ohne Frontballast (Reifeninnendruck jeweils angepasst, links ohne Hinterradgewichte, rechts mit 2.000 kg Hinterradgewichten; Basis (100 Prozent) jeweils ohne Frontballast und ohne (links) oder mit (rechts) Hinterradgewichten/Quelle: TUM

dlz 2010

Wie Zugleistung definiert ist

Zugleistung ist definiert als das Produkt aus Zugkraft und Effektivgeschwindigkeit über dem Boden (wie schnell sich der Traktor tatsächlich fortbewegt). Wird die tatsächliche Fahrgeschwindigkeit also verdoppelt ,halbiert sich bei gleicher Zugleistung die zu übertragende Zugkraft. Mit der tatsächlichen Geschwindigkeit fließen sowohl Verluste durch Schlupf als auch Verluste durch den Rollwiderstand in die Betrachtung ein:

- Mit wachsender Zugkraft steigen die Schlupfwerte; die Effektivgeschwindigkeit über Boden nimmt dadurch ab.
- Mit zunehmendem Rollwiderstand sinkt die übertragene Zugkraft.

Dabei gilt: Ohne Schlupf keine Zugkraft. Allerdings schädigt mehr als 15 Prozent Schlupf den Boden. Beim Rollwiderstand gilt auf der Straße: Je höher der Reifeninnendruck, desto geringer der Rollwiderstand. Im Feld gilt: Je geringer der Reifendruck, desto größer die Aufstandsfläche, desto weniger sinkt der Reifen ein und desto geringer ist auch der Rollwiderstand.

Anpassen des Reifendrucks kann die maximale Zugleistung übertragen werden.

Reifendruck ersetzt Ballast

Die Versuche zeigen, dass sowohl Ballast (abhängig von der Fahrgeschwindigkeit) als auch eine angepasster Reifendruck die Zugleistungsübertragung verbessert. Kann denn Ballast im Hinblick auf die Zugleistungsübertragung durch Reifendruckanpassung ersetzt werden? Die Antwort ist ganz klar: Ja! Die Zugleistung mit richtig gefüllten Reifen steigt bei 8 und 15 km/h bei jeder Ballastierungsvariante gegenüber dem falschen Reifendruck. Die Grafik „*Einfluss des Ballasts auf die Zugleistung*“ zeigt, dass ein angepasster Luftdruck ähnliche Auswirkungen auf die maximal übertragbare Zugleistung bringt wie durch den Anbau des nächsthöheren Frontballasts (in unserem Fall 1.250 kg). Es geht sogar noch darüber hinaus: Die positiven Effekte der Ballastanbringung lassen sich erst in Kombination mit einer Anpassung der Reifeninnendrücke realisieren. Der Traktor mit 1.250 kg zusätzlichem Ballast in den Rädern und falschem Luftdruck erreichte weniger Zugleistung als die ballastlose Variante mit dem richtigen Luftdruck (siehe Grafik „*Zugleistung in Abhängigkeit von Ballast und Reifendruck*“).

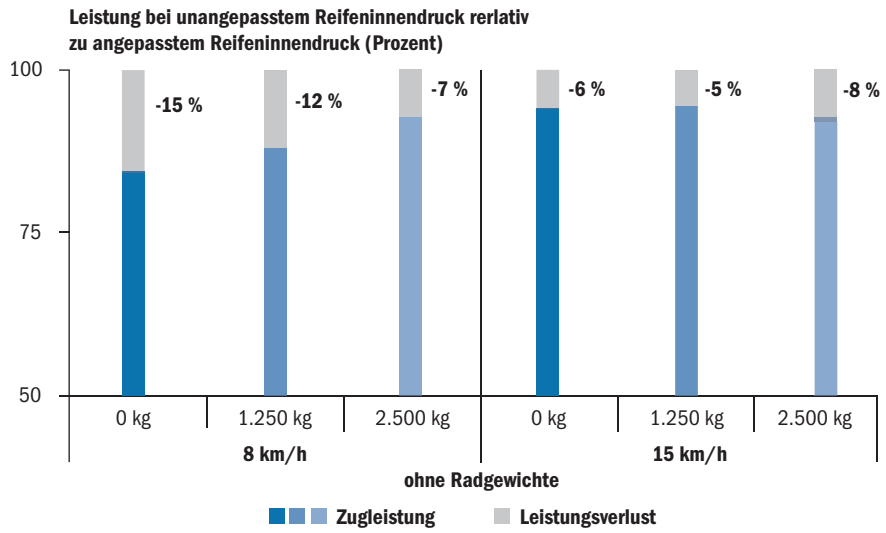
Fazit

Ballast und Reifeninnendruck sind wesentliche Stellschrauben zur Verbesserung der

Foto: landpixel

Nur über den Reifeninnendruck kann die Motorleistung als Zugkraft bei niedrigen Fahrgeschwindigkeiten auf den Boden gebracht werden.

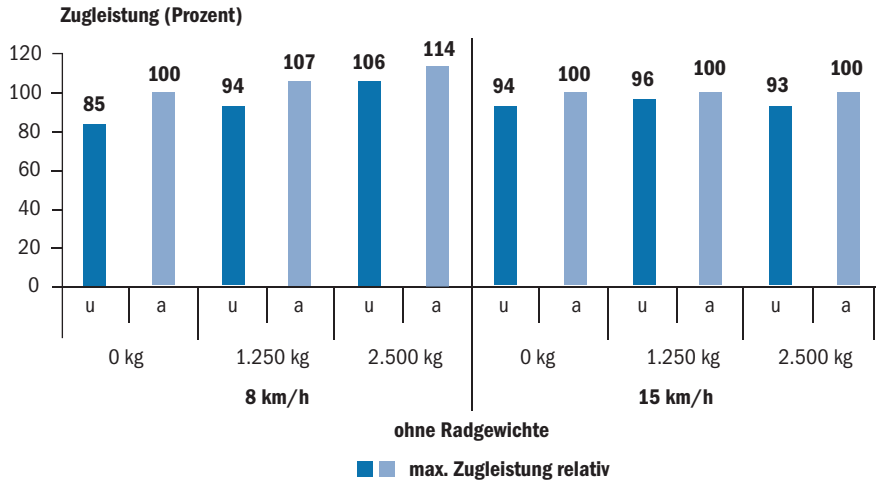
Falscher Reifendruck kostet Leistung



Übertragene Zugleistung und Leistungsverluste bei unangepassten Reifeninnendrücken gegenüber angepassten Reifeninnendrücken; jeweils relativ zur übertragenen Zugleistung bei abgesenkten Reifeninnendrücken/Quelle: TUM

dlz 2010

Zugleistung in Abhängigkeit von Ballast und Reifendruck



Zugleistung verschiedener Ballastierungskonzepte und Reifeninnendrücke, relativ zur Variante angepasster (a) und unangepasster (u) Reifeninnendruck ohne Frontballast bei den beiden Geschwindigkeitsstufen 8 und 15 km/h; Quelle: TUM

dlz 2010

Zugleistungsübertragung. Was zusätzlicher Ballast oder ein angepasster Luftdruck im Reifen bringen, ist von der Geschwindigkeit im Feld abhängig. Begrenzt der Reifen-Boden-Kontakt die Zugleistung, können sowohl Ballast als auch die Reduzierung der Reifeninnendrücke die Zugleistungsübertragung verbessern. Grundsätzlich sollte dabei, um den Boden zu schützen, die Reifendruckanpassung der Ballastanbringung vorgezogen werden.

Begrenzt die verfügbare Motorleistung die Zugleistung, wie dies bei hohen Geschwindigkeiten der Fall ist, kann die Zugleistung nur durch Reifendruckabsenkung verbessert werden, da dann der Rollwiderstand und damit die Verluste sinken. Das Anbringen von Ballast zeigte in unseren Versuchen keine positiven Effekte.

Problematisch ist jedoch, dass mit den niedrigen Reifendrücken auf der Straße ebenfalls nur 10 bis 15 km/h schnell gefahren werden kann. Da bei hohen Geschwindigkeiten die Reifen bei für das Feld angepasstem Luftdruck zu stark walken, und die Fahrsicherheit sowie die Haltbarkeit der Reifen gefährdet sind. Wer maximale Zugleistung will, muss den Reifendruck beim Wechsel von Feld und Straße anpassen, sei es über einen Reifenfüllanschluss oder ein Reifendruckregelanlage. *fe*

B.Sc. Thomas Machl
Dipl.-Ing. agr. Markus Heckmann
Prof. Dr. Heinz Bernhardt

Die Autoren forschen am Lehrstuhl für Agrarsystemtechnik der TU München in Weihenstephan.