

Messung der Reifenverformung bei verschiedenen Radlasten und Luftdrücken

Eine große Kontaktfläche zwischen Reifen und Boden bewirkt einen entsprechend geringen Kontaktflächendruck und leistet einen wichtigen Beitrag zur Bodenschonung. Die Kontaktfläche ist jedoch nicht direkt mess- und regelbar. Daher werden geeignete Hilfsgrößen gesucht, die möglichst eng mit der Kontaktfläche korrelieren, einfach zu messen sind und eine Regelung der Kontaktfläche ermöglichen.

In den letzten Jahrzehnten wurde die Leistungsfähigkeit von Landmaschinen erheblich gesteigert. Damit haben sich auch deren Gesamtgewichte und Radlasten erhöht, so dass das Risiko von Bodenschädigungen gestiegen ist. Aus diesem Grunde fordern einige Bodenkundler gesetzliche Obergrenzen für Radlasten von Landmaschinen. Starre Grenzwerte sind aber nicht sinnvoll, weil sie den aktuellen Bodenzustand nicht berücksichtigen. Es ist sinnvoller, nach technischen Lösungen zu suchen, die flexibel auf wechselnde Bodenbedingungen und Radlasten reagieren können.

Auf dem Acker soll eine möglichst große Kontaktfläche zwischen Reifen und Boden zustande kommen, damit der Kontaktflächendruck gering bleibt. Voraussetzung ist allerdings eine gleichmäßige Druckverteilung in der Kontaktfläche. Der Kontaktflächendruck ist der Ausgangswert für den Bodendruck. Mit zunehmender Tiefe wird der Druck im Boden abgebaut. Ein geringer Kontaktflächendruck bewirkt daher auch einen entsprechend geringen Bodendruck.

Die Verformung eines Reifens ist nicht nur von Radlast und Reifenluftdruck abhängig, sondern auch von der Beschaffenheit des Bodens. Bei gleicher Radlast und gleichem Reifenluftdruck verformt der Reifen auf hartem Untergrund stärker als auf weichem. Somit ist die Reifenverformung ein Ansatzpunkt für ein Regelsystem, das die Bodenbeschaffenheit in die Regelung einbezieht.

Ziel dieses Projekts

Ist es daher, ein Regelsystem zu entwickeln, das unter den ständig wechselnden Bedingungen von Boden und Radlast mit Hilfe des Reifeninnendruckes stets die optimale Kontaktfläche einstellt.

Da die Zielgröße Kontaktfläche nicht direkt mess- und regelbar ist, gilt es zunächst, geeignete Hilfsgrößen zu finden, die möglichst enge Beziehungen zur Kontaktfläche aufweisen, einfach zu messen sind und den Betrieb einer Regelanlage ermöglichen.

Die Kontaktfläche wächst mit der Einfederung des Reifens. Diese Abplattung verringert das Volumen des Reifens an dieser Stelle. Die verdrängte Luft müsste sich also in der Verformung des Reifens an anderer Stelle oder in veränderten Drücken äußern. In diesem Sinne werden die Auswölbungen der Lauffläche und der Reifenflanke, der Reifenquerschnitt sowie der Anpressdruck zwischen Reifen und Felge gemessen.

Eine große Kontaktfläche erreicht man durch groß dimensionierte Reifen und geringen Reifeninnendruck.

Die Untersuchungen

erfolgten zunächst im Reifenprüfstand am stehenden Rad für einen Radlastbereich von 6 bis 12 t. Dieser Radlastbereich entspricht dem heutigen Großmaschinen.

Der verwendete Reifen ist ebenfalls charakteristisch für Großmaschinen. Es handelt sich um einen Continental-Reifen 800/65 R 32 AC 70H, montiert auf einer Felge DW 27 AX 32. Die Messgrößen und die dazugehörigen Sensoren zeigt Bild 1.

Die Untersuchungen wurden mit drei Luftdruckvarianten durchgeführt:

In der Variante „angepasster Luftdruck“ wurde der Reifenluftdruck nach den Herstellerangaben an die jeweilige Radlast ange-

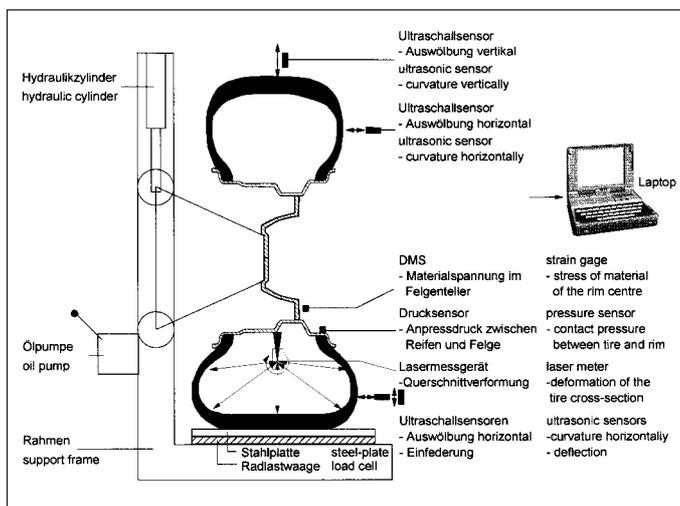


Bild 1: Reifenprüfstand Fig. 1: Wheel test rig

M. Sc. Dipl.-Forstw. Volker Höltekemeyer ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Landwirtschaftliche Verfahrenstechnik der Universität Kiel (Direktor: Prof. Dr. E. Isensee), Max-Eyth-Str. 6, 24118 Kiel; e-mail: vhoeltkemeyer@ilv.uni-kiel.de

Schlüsselwörter

Reifenverformung, Einfederung, Kontaktfläche

Keywords

Tire deformation, deflection, contact area

Der einzustellende Reifenluftdruck

richtet sich zunächst nach Radlast und Fahrgeschwindigkeit. Darüber hinaus sollte der Bodenzustand berücksichtigt werden. Je feuchter und weicher ein Boden ist, desto empfindlicher reagiert er.

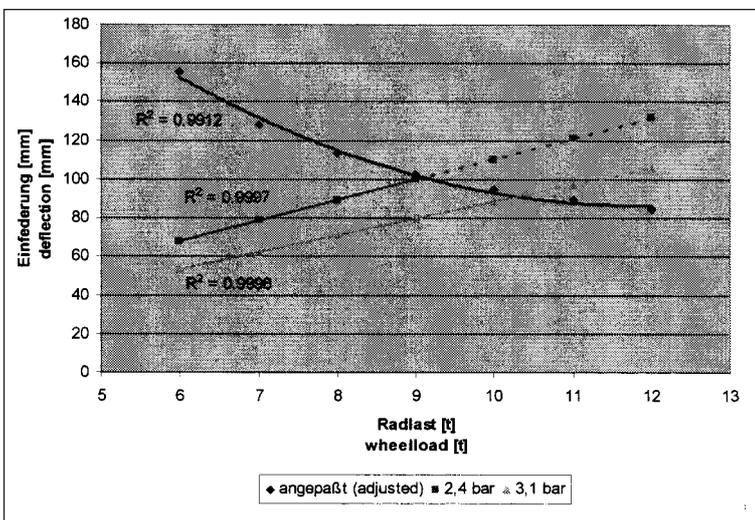


Bild 2: Einfederung bei verschiedenen Radlasten und Luftdruckvarianten

Fig. 2: Deflection at various wheel loads and inflation pressures

passt und zwar für zyklische Radlasten und 10 km/h.

Der konstante Luftdruck von 3,1 bar ist der höchste Wert, der in der Reifentabelle angegeben ist. Eine Maschine ohne Reifen-druckverstellanlage müsste ständig mit diesem Reifendruck fahren, um Reifenschäden zu vermeiden. Bei einer Radlast von 12 t ist dieser Wert noch zu niedrig. Wenn man die Reifentabelle extrapoliert, kommt man für 12 t Radlast auf einen Reifenluftdruck von 3,8 bar.

Der konstante Luftdruck von 2,4 bar ist ein praxisüblicher Wert. Für Radlasten über 9 t ist dieser Luftdruck zu niedrig, so dass auf Dauer mit Reifenschäden zu rechnen ist.

Die Messung der Verformung im oberen Bereich des Reifens hätte im praktischen Einsatz den Vorteil, dass man einen Ultraschallsensor im Radkasten positionieren und von dort aus die Lauffläche oder die Flanke des Reifens anmessen könnte.

Im Bereich der Aufstandsfläche reagiert der Reifen sichtlich stärker auf die Radlast. Die Messung der Reifenverformung von außen ist aber problematisch wegen der Bodennähe der Sensoren und der Spurbildung auf dem Acker. Die Messung im Reifeninnern erfordert den Einbau der Messtechnik in den Reifen sowie die Strom- und Messdatenübertragung zwischen dem drehenden Rad und dem stehenden Fahrzeuggumpf. Das verursacht einen höheren technischen Aufwand.

Ergebnisse

Die Reifenverformung korrelierte an allen untersuchten Messstellen eng mit der Radlast. Im oberen Bereich reagierte der Reifen aber nur schwach auf Änderungen der Radlast. Pro Tonne Radlastdifferenz änderten sich die Messwerte nur um 0,2 bis 2 mm. Bei einer so schwachen Reaktion würden die Messungen durch die Verschmutzung des Reifens verfälscht. Somit erschien dieser Ansatz ungeeignet.

Die Auswölbung der Reifenflanke änderte sich im Aufstands-bereich um 2 bis 8 mm/t. Am stärksten reagierte die Einfederung. Sie

änderte sich je nach Luftdruckvariante um 4 bis 27 mm/t. Damit ist die Einfederung die am besten geeignete Messgröße. Bild 2 zeigt die Reaktion der Einfederung auf verschiedene Radlasten bei den drei Luftdruckvarianten.

Für die beiden konstanten Reifenluftdrücke von 2,4 und 3,1 bar nahm die Einfederung erwartungsgemäß mit steigender Radlast zu. Bei Anpassung des Luftdrucks an die jeweilige Radlast nahm die Einfederung dagegen mit steigender Radlast ab. Grund dafür sind die Luftdrücke, die sich in dieser Variante zwischen 0,8 bar bei 6 t Radlast und 3,8 bar bei 12 t Radlast bewegen. Um Reifenschäden bei hohen Radlasten sicher auszuschließen, wird eine überproportionale Luftdruckerhöhung vorgegeben, so dass die Einfederung zurückgeht.

Die Kontaktfläche veränderte sich analog zur Einfederung.

Bei 2,4 bar liegt die maximale Tragfähigkeit des Reifens bei etwa 9 t. Höhere Radlasten führen auf Dauer zu Reifenschäden. Geringere Radlasten bewirken nur eine schwache Abplattung des Reifens mit entsprechend kleinen Kontaktflächen. Somit bietet die Anpassung des Luftdrucks nach den Herstellervorgaben im unteren Radlastbereich zusätzliches Potenzial zur Bodenschonung, im oberen Radlastbereich zusätzliches Potenzial zur Reifenschonung.

Wenn die Regelanlage auf weichem Boden den Luftdruck für die aktuelle Radlast einstellt, ist die zulässige Einfederung des Reifens nicht voll ausgeschöpft. Man könnte den Luftdruck noch weiter absenken, ohne Reifenschäden zu riskieren.

Bild 3: Berechnung der Länge der Aufstandsfläche

Fig. 3: Calculation of the length of the contact area

Die Einfederung lässt sich aufgrund geometrischer Gegebenheiten mit der Kontaktfläche verknüpfen.

Die Kontaktflächenabdrücke wiesen eine rechteckige Form auf. Die Breite blieb im Prüfstand annähernd konstant, die Länge änderte sich aber stark. Also kann die Kontaktfläche aus den Messwerten des Lasers berechnet werden (Bild 3). Das auf dem Boden aufstehende Rad wird als Kreis betrachtet, der von einer Sekante geschnitten wird. Die Lage der Sekante ergibt sich aus der Messung der Einfederung oder der Querschnittshöhe. Es ergibt sich ein rechtwinkliges Dreieck, von dem nun die Länge einer Seite (b) bekannt ist. Die Länge der zweiten Seite (c) entspricht dem Lasermesswert bei unbelastetem Reifen. Die Länge der dritten Seite (a) - und somit die halbe Länge der Kontaktfläche - lässt sich nach dem Satz des Pythagoras berechnen.

Die vorgestellte Berechnung gilt für harten unverformbaren Untergrund. Das Verhalten des Reifens auf weichen verformbaren Ackerböden ist noch zu untersuchen.

Zusammenfassung

Die Reifenverformung wird bestimmt durch Radlast, Reifeninnendruck und Bodenzustand. Auf festem Untergrund ergeben sich enge Zusammenhänge zwischen der Radlast und den Ausformungen des Reifens an verschiedenen Stellen. Die stärkste Reaktion zeigt die Einfederung. Mit diesem Wert ist es möglich, die Kontaktfläche auf festem Untergrund zu berechnen. Es ist zu erwarten, dass auf Basis der Einfederung eine Regelung der Kontaktfläche auch auf Ackerböden möglich ist.

Das Projekt wird gefördert vom BMBF.

