

Klaus Nolting, Joachim Brunotte, Claus Sommer und Berthold Ortmeier

# Reifeneinfederung kontra Radlast

Moderne Reifen bieten großes Potenzial im Hinblick auf Boden schonenden Maschineneinsatz was selten konsequent genutzt wird. Der Einsatz im Grenzbereich mit minimalem Reifennendruck für maximale Bodenschonung birgt das Risiko eines Reifenschadens durch Überbelastung und ist in der Praxis schwer beherrschbar. Die vom Hersteller in den Reifentabellen vorgegebenen Grenzen können nur ausgeschöpft werden, wenn die im Betrieb auftretenden dynamischen Belastungen des Reifens bekannt sind. Es wird gezeigt: Die online gemessene Einfederung des Reifens ist ein verlässlicher Indikator und liefert ein präziseres Bild der tatsächlichen Lastsituation als die alleinige Berücksichtigung statischer Radlasten.

## Schlüsselwörter

Bodenschutz, Radlast, Reifen, Reifeneinfederung, Reifennendruck, Soil Load Monitor

## Keywords

Soil protection, wheel load, tyres, tyre deflection, inflation pressure, Soil Load Monitor

## Abstract

Nolting, Klaus; Brunotte, Joachim; Sommer, Claus and Ortmeier, Berthold

## Tyre deflection versus wheel load

Landtechnik 66 (2011), no. 3, pp. 194–197, 5 figures, 4 references

Regarding soil protective machine management modern tyres offer great potential which, however, is rarely used consistently. Operation at the limit region with an optimal low inflation pressure for maximum soil protection bears the risk of damage by overload and is hardly to handle. The limits given by the manufacturer specifications can only be utilized if the dynamic stress occurring during operation is known. It will be explained, that the online measured tyre deflection is a reliable indicator and gives a more precise image of the actual stress situation than the exclusive consideration of static wheel loads.

■ Beim Befahren des Bodens mit Landmaschinen ist seit längerem nicht nur die Effizienz der Kraftübertragung, sondern auch der Bodenschutz wichtig. Besonders die mechanische Belastung des Bodens durch hohe Radlasten steht in der Kritik. Deshalb wurden Entscheidungshilfen für Boden schonenden

Maschineneinsatz entwickelt (VDI-Richtlinie 6101). Die Anpassung des Reifennendruckes (nachfolgend kurz: Reifendruck) an die Lastverhältnisse spielt dabei eine besondere Rolle. Die Anzahl der Fahrzeuge, die mit Reifendruckregelanlagen oder zumindest mit Kupplungen zur schnellen Änderung der Reifendrucke ausgestattet sind, nimmt zwar stetig zu, aber die Entscheidung, welcher Druck der richtige ist, liegt nach wie vor beim Fahrer. Dieser regelt den Druck meist anhand statisch ermittelter Radlasten oder nach Erfahrungswerten. Die Online-Messung von Radlasten mit herkömmlichen Techniken wie Kraftmessdosen bzw. Dehnungsmessstreifen erweist sich als problematisch bedingt durch die Fahrwerkskonstruktionen. Dies ist einer der Gründe dafür, dass auch bei der Ertragsmessung zumeist auf andere Methoden zur Gewichtserfassung zurückgegriffen wird. Im Zusammenhang mit der Einstellung des Reifendruckes hat sich gezeigt: Die Messung der Reifeneinfederung ist eine erfolgreiche Alternative, um die Radlast zu bestimmen.



Abb. 1

Messeinrichtung für Reifeneinfederung und Reifendruck am Hinterrad eines Traktors

Fig. 1: Measuring device for tyre deflection and inflation pressure, installed on the rear wheel of a tractor

Vor diesem Hintergrund wurde eine Technik entwickelt (Abbildung 1), mit der die Einfederung und der Innendruck von Reifen an landwirtschaftlichen Fahrzeugen und Erntemaschinen während der Fahrt gemessen und per Funk zur Weiterverarbeitung in die Fahrerkabine übertragen werden können. Ähnliche, aber technisch deutlich aufwendigere Messrichtungen sind bereits seit Mitte der 90er-Jahre aus der agrartechnischen Forschung bekannt [1]. Die neue Technik ist für den Einsatz in der Praxis geeignet und dank der Funkübertragung leicht zu installieren.

**Reifen unter Last**

Als Abplattung oder Einfederung wird die Verformung eines Reifens an der Aufstandsfläche bezeichnet. Bei bekanntem Reifendruck ist sie ein guter Maßstab für die Gewichtskraft, die auf das Rad einwirkt; sie wird landläufig als Radlast bezeichnet. Die zulässige Belastung eines Reifens für sicheren Betrieb ohne Schadensrisiko ist nicht nur abhängig vom Reifendruck, sondern auch von der Fahrgeschwindigkeit. Unter anderem wegen der zunehmenden dynamischen Lastspitze bei zunehmender Fahrgeschwindigkeit reduziert sich die zulässige statische Radlast (Abbildung 2).

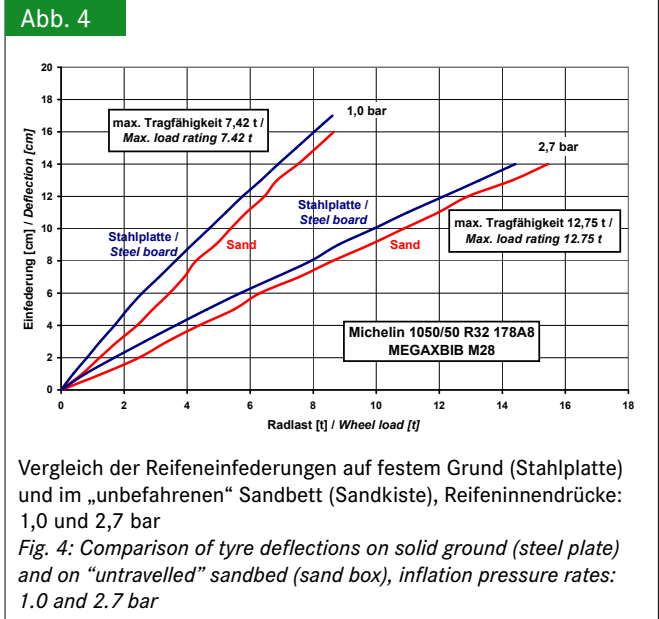
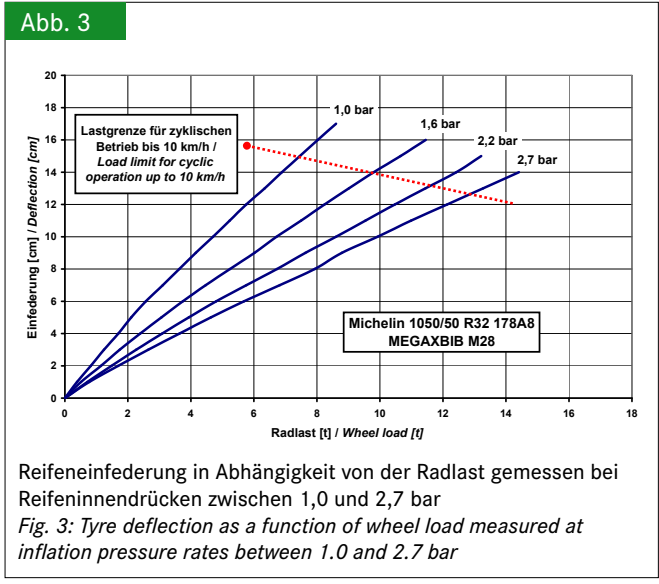
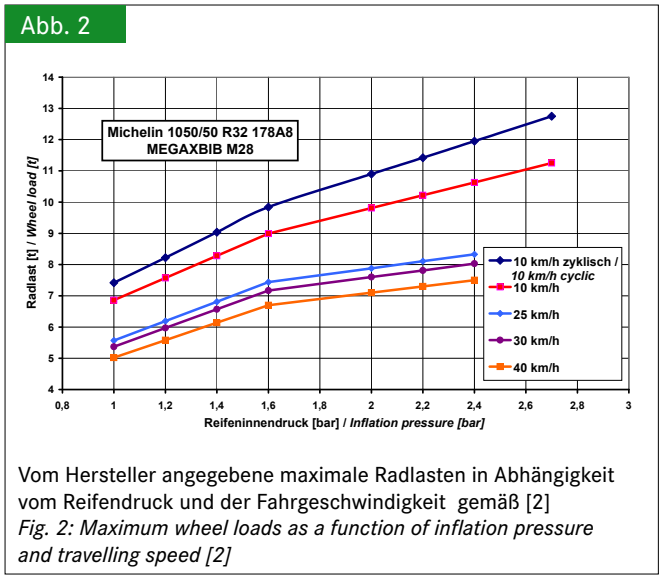
Der Zusammenhang zwischen Einfederung und Radlast für verschiedene Reifennindrücke ist in Abbildung 3 dargestellt. Wenn man die vom Hersteller angegebenen Lastgrenzen zugrunde legt, ergibt sich für den zyklischen Betrieb auf dem Acker mit bis zu 10 km/h eine maximale Reifeneinfederung von ca. 130-150 mm.

Der qualitative Kurvenverlauf in Abbildung 3 kann als repräsentativ für einen breiten Querschnitt untersuchter Reifen angesehen werden. Es zeigt sich, dass für die jeweiligen Reifennindrücke ein nahezu linearer Zusammenhang zwischen Einfederung und Radlast besteht.

**Reifeneinfederung und Untergrund**

Die Einfederung eines Reifens ist aber nicht nur vom Innendruck und der Last abhängig, sondern auch von der wirksamen Aufstands- oder Kontaktfläche, auf die sich die Gewichtskraft verteilen kann. Die dargestellten Messwerte (Abbildung 3) wurden am Reifenversuchsstand auf einer ebenen harten Unterlage (Stahlplatte) erfasst, die nur Kontakt mit den Stollen des Reifens hatte. Dies entspricht in etwa den Verhältnissen bei einer Straßenfahrt. Auf dem Acker sinkt der Reifen mehr oder weniger in den Boden ein. Durch das Einsinken vergrößert sich die Länge der Kontaktfläche und auch deren Breite je nach Auswölbung der Reifenflanken. Außerdem können die Bereiche zwischen den Stollen des Reifens mehr Kräfte übertragen, da sie in direkten Kontakt mit dem Boden treten. Die Summe dieser Effekte vergrößert die wirksame Aufstandsfläche, wodurch sich die Einfederung des Reifens bei konstanter Last reduziert. Der Einfluss des Untergrundes auf die Reifenkontaktfläche wurde von Diserens [3] eingehend untersucht.

Wenn man davon ausgeht, dass nicht die angegebene Maximallast der Reifentabelle, sondern die Verformung eines Rei-



fens der begrenzende Faktor für den sicheren Betrieb ist, kann ein Reifen auf nachgiebigem Untergrund stärker belastet werden. Alternativ könnte bei gleicher Last der Luftdruck im Sinne eines Boden schonenden Befahrens reduziert werden. Wird also der Zusammenhang zwischen Radlast und Reifeneinfederung betrachtet, müssen die Eigenschaften des Untergrundes berücksichtigt werden. Untersuchungen dazu finden sich auch in der Literatur [4].

**Abbildung 4** demonstriert die unterschiedlichen Reaktionen des Reifens auf fester Unterlage und auf Sand bei Mindest- und Maximalwerten des Reifeninnenrucks. Mit den Messungen im ca. 15 cm tiefen Sandbett sollten die Verhältnisse auf nachgiebigem Boden simuliert werden. Alle Messungen wurden auf dem Reifenversuchsstand durchgeführt.

Im Sand blieb nach dem Versuch ein gut ausgeformtes Negativ des Reifenprofils zurück, da das nachgiebige Material in alle Zwischenräume der Stollen gedrückt wurde. Aus dem Diagramm ist abzulesen: Der Reifen im Sandbett kann im Mittel ca. 0,7 t mehr Last aufnehmen, um die gleiche Einfederung zu erreichen wie auf der Stahlplatte. Die Kurvenverläufe Platte/Sand sind mit annähernd gleicher Steigung nur parallel verschoben. Die Parallelverschiebung bildet sich schon bei kleinen Lasten aus. Dies könnte damit begründet werden, dass das nachgiebige Sandbett sich bereits bei kleiner Krafteinwirkung optimal an den Reifen anformt, wodurch die wirksame Aufstandsfläche schon frühzeitig vergrößert wird. Es ist davon auszugehen, dass sich der Reifen auf einem Ackerboden tendenziell ähnlich verhält. Im Versuch scheint die Differenz zwischen „Straße“ und „Acker“ auf den ersten Blick eher marginal. Bei 1,0 bar Reifendruck wären die 0,7 t bezogen auf die maximale Tragfähigkeit von 7,42 t aber immerhin ein Gewinn von fast 10 %. Bei gleicher Last könnte alternativ auch der Reifendruck im Sinne der Bodenschonung um ca. 0,2 bar gesenkt werden.

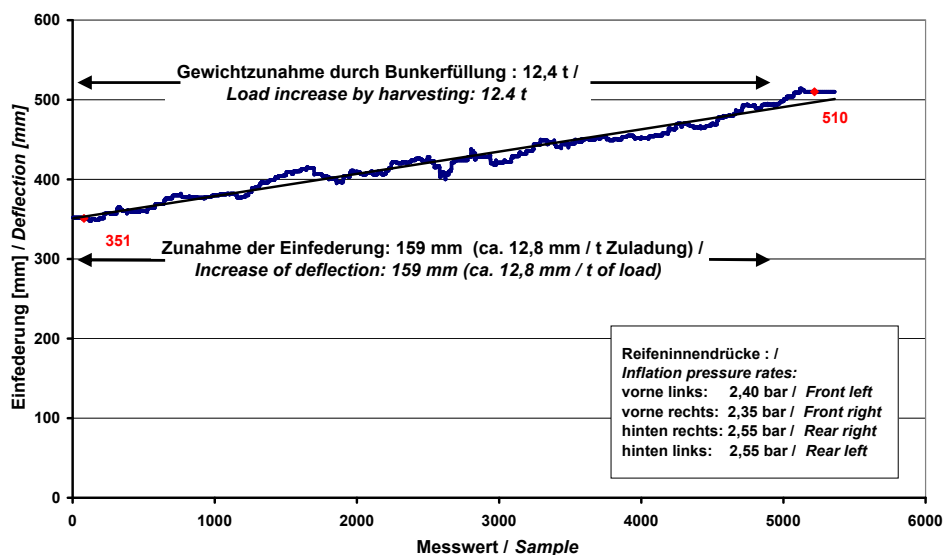
Die Ergebnisse von Diserens [3] deuten darauf hin, dass in der Praxis, gerade auf weichen, feuchten Böden mit noch deutlicheren Unterschieden gerechnet werden kann.

### Reifeneinfederung und Gesamtgewicht

Auch wenn anhand von Reifeneinfederung und Reifendruck Radlasten ermittelt werden können, ist die Bestimmung von Gesamtgewichten aus der Summe der Radlasten etwa zum Zwecke einer Ertragserfassung mit der in **Abbildung 1** dargestellten Technik nur unter bestimmten Voraussetzungen möglich. Da die Einfederung jeweils nur an einer Stelle am Umfang eines Reifens gemessen wird, liefert die Anlage pro Radumdrehung nur einen Messwert, der erfasst wird, wenn der Sensor senkrecht nach unten zeigt. Da die Räder eines Fahrzeuges aber nie synchron laufen, ist eine gleichzeitige Messung aller Reifen nicht möglich. Im ungünstigsten Fall muss ein Fahrzeug mit einem Raddurchmesser von 2 m eine Strecke von ca. 6 m zurücklegen, bevor alle Werte gemessen sind. Die Summe der Messwerte ergibt allerdings nur dann ein repräsentatives Ergebnis, wenn sich auf der Strecke die Lastverteilung auf die Räder nicht ändert. Während der Arbeit auf dem Feld ist diese Bedingung, im Allgemeinen, schwer einzuhalten.

Obwohl diese theoretischen Betrachtungen zeigen, dass eine Nutzung der Reifeneinfederung für die Ertragserfassung noch problematisch ist, lassen die Ergebnisse praktischer Versuche erkennen, dass sich weitere Forschungs- und Entwicklungsarbeit hier lohnen könnte. **Abbildung 5** veranschaulicht repräsentativ für eine ganze Versuchsreihe die Abhängigkeit des Summenwertes der Reifeneinfederung von der Bunkerfüllung eines Rübenrodgers während des Rodens mit konstanter Arbeitsgeschwindigkeit. Die fast linear ansteigende Kurve stimmt überraschend gut mit den theoretischen Erwartungen überein. Die Abweichungen sind der Fahrdynamik zuzuschreiben.

Abb. 5



Summenwert der Einfederungen an 4 Reifen eines Holmer Terra DOS Rübenrodgers beim Füllen des Bunkers bis 12,4 t Zuladung  
Fig. 5: Cumulated deflections of 4 wheels of a Holmer Terra DOS sugar beet harvester filling the trunk up to 12.4 t

## Schlussfolgerungen

Die Einfederung ist die zentrale Größe zur Beurteilung der Lastsituation eines Reifens im Betrieb. Für beliebige Luftdruck-/Geschwindigkeitskombinationen kann die gemäß **Abbildung 2** maximal zulässige Radlast über den in **Abbildung 3** dargestellten Zusammenhang in eine maximal zulässige Reifeneinfederung umgesetzt und unter Kontrolle gehalten werden. Diese Aufgabe kann ein Bordrechner übernehmen, in dem die Reifendaten hinterlegt sind. Quasi als kostenlose Zugabe ist bei Erntemaschinen eine Ertragserfassung auf Basis der Reifeneinfederung denkbar. Man kann davon ausgehen: Für die mechanische Beanspruchung eines Reifens ist nicht allein die Radlast der maßgebliche Faktor, sondern die Verformung des Reifenmaterials beim Abrollen. Dabei wird deutlich, die Reifeneinfederung ist der Parameter, mit dem sich die tatsächliche mechanische Beanspruchung unmittelbar erfassen lässt. Sie ist eine Größe, die aus Untergrund, Reifendruck und einwirkender Gewichtskraft resultiert.

Das Institut für Agrartechnologie und Biosystemtechnik des Johann Heinrich von Thünen-Instituts (vTI) und die Fa. Grasdorf Wennekamp mit dem „Soil Load Monitor“ (**Abbildung 1**) verfolgten das Ziel, die Sollwerteneinstellung von Reifendruckregelanlagen – wenn möglich vollautomatisch – anhand der im dynamischen Betrieb gemessenen Reifeneinfederung vorzunehmen. Dies erweist sich hiermit als sinnvoll. Eine Reifendruckregelanlage ist nur dann wirkungsvoll, wenn mit ihrer Hilfe das Bodenschonende Potenzial der Bereifung durch exakt angepassten Reifendruck voll ausgeschöpft werden kann, ohne dass dabei die Gefahr einer Beschädigung des Reifens in Kauf genommen werden muss. Mit den Messergebnissen in **Abbildung 4** wurde gezeigt, dass die Kenntnis statischer Radlasten alleine zumeist nicht ausreicht, um den Innendruck eines Reifens optimal einzustellen – es muss auch die Nachgiebigkeit des Bodens

berücksichtigt werden. Noch erheblicher kann der Einfluss dynamischer Lastschwankungen sein, die z. B. beim Pflügen, bei Arbeiten am Hang oder allgemein durch fahrwerksbedingte Schwingungen auftreten können. Sie können zu deutlichen Überschreitungen der statischen Radlastwerte führen und damit einen höheren Reifendruck erforderlich machen. Aus diesen Zusammenhängen lässt sich folgern, dass die tatsächlich auftretende Beanspruchung des Reifens in der Regel nicht bekannt ist. Diese Unsicherheit führt dazu, dass der Landwirt sich bei der Einstellung des Reifendrucks eher in Richtung Betriebssicherheit des Reifens als für die Bodenschonung entscheidet. Die Möglichkeiten moderner Landwirtschaftsreifen, die bei niedrigen Innendrücken und den daraus resultierenden großen Kontaktflächen gefahren werden können, werden im Sinne des Bodenschutzes folglich nur unzureichend ausgenutzt.

## Literatur

- [1] Schwieger, H. (1996): Untersuchung neuartiger Laufwerke und laser-gestützte Erfassung der Reifen-/ Bodenverformung. Forschungsbericht Agrartechnik des Arbeitskreises Forschung und Lehre der Max-Eyth-Gesellschaft Agrartechnik, VDI (VDI-MEG), Nr. 289
- [2] Michelin Reifenwerke (2009): Auf allen Feldern erfolgreich – mit Michelin. Produktprogramm Landwirtschaftsreifen, Nr. 10
- [3] Diserens, E. (2002): Ermittlung der Reifen-Kontaktfläche im Feld mittels Rechenmodell. FAT Berichte, Nr. 582/2002, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT), Tänikon, Ettenhausen
- [4] Schlotter, V.; Kutzbach, H. D. (2001): Innenkontur eines Traktorreifens auf festem und nachgiebigem Boden. Agrartechnische Forschung 7(1), S. 23–27

## Autoren

**PD Dr. habil. Joachim Brunotte, Dr.-Ing. Claus Sommer, Dipl.-Ing. Klaus Nolting, und Ing. (grad) Berthold Ortmeier** sind wissenschaftliche Mitarbeiter am Institut für Agrartechnologie und Biosystemtechnik (Institutsleiter: **Prof. Dr. habil. Klaus-Dieter Vorlop**) am Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI), Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig, E-Mail: Klaus.Nolting@vti.bund.de