

# Maßnahmen zur Optimierung der Traktion



# DLG-Mitgliedschaft. Wir geben Wissen eine Stimme.



## Jetzt Mitglied werden!

Die DLG ist seit mehr als 130 Jahren offenes Netzwerk, Wissensquelle und Impulsgeber für den Fortschritt.

Mit dem Ziel, gemeinsam mit Ihnen die Zukunft der Land-, Agrar- und Lebensmittelwirtschaft zu gestalten.

[www.DLG.org/Mitgliedschaft](http://www.DLG.org/Mitgliedschaft)



# DLG-Merkblatt 461

## Maßnahmen zur Optimierung der Traktion

### Autoren

- Dr. Norbert Uppenkamp
- Prof. Dr. Ludwig Volk
- Dr. habil. Michael Weißbach

Unter Mitwirkung des DLG-Ausschusses Technik in der Pflanzenproduktion

Alle Informationen und Hinweise ohne jede Gewähr und Haftung

Titelbild: Volk

Herausgeber:

DLG e.V.  
Fachzentrum Landwirtschaft  
Eschborner Landstraße 122, 60489 Frankfurt am Main

1. Auflage, Stand: 12/2020

© 2020

Vervielfältigung und Übertragung einzelner Textabschnitte, Zeichnungen oder Bilder (auch für den Zweck der Unterrichtsgestaltung) sowie Bereitstellung des Merkblattes im Ganzen oder in Teilen zur Ansicht oder zum Download durch Dritte nur nach vorheriger Genehmigung durch DLG e.V., Servicebereich Marketing, Eschborner Landstraße 122, 60489 Frankfurt am Main, Tel. +49 69 24788-209, M.Biallowons@DLG.org

## Inhalt

<b>1. Einleitung</b>	<b>5</b>
<b>2. Grundsätzliches zu Zugarbeiten</b>	<b>5</b>
2.1 Zugkraft und Zuggleistung	5
2.2 Schlupf	6
2.3 Zugkraft-Schlupf-Kurve	8
<b>3. Einflussfaktor Boden</b>	<b>9</b>
<b>4. Einflussfaktor Bereifung</b>	<b>10</b>
4.1 Reifengröße	10
4.2 Einfluss von Radlast und Reifendruck	11
4.3 Einfluss des Reifenprofils	13
<b>5. Einflussfaktor Ballastierung</b>	<b>15</b>
5.1 Ballastierungsvarianten	15
5.2 Einfluss der Ballastmasse auf Zugkraft und Schlupf	18
5.3 Einfluss der Achslastverteilung auf Zugkraft und Schlupf	19
<b>6. Assistenzsysteme</b>	<b>20</b>
<b>7. Ausblick</b>	<b>21</b>
<b>8. Literatur</b>	<b>22</b>

## 1. Einleitung

Nach dem DLG-Merkblatt 344 „Bodenschonender Einsatz von Landmaschinen“ [1] mit dem Schwerpunkt Boden und dem DLG-Merkblatt 356 „Reifen richtig wählen und einsetzen“ [2] mit dem Fokus auf den Reifen wird in diesem Merkblatt auf den Kontakt der beiden Bereiche Boden und Reifen eingegangen. Schwerpunktmäßig geht es hier um die Übertragung der Zugkraft. In den Worten „Schlepper“ und „Traktor“ ist diese Aufgabe der Schlüsselmaschine im landwirtschaftlichen Betrieb bereits enthalten. Zu Beginn der Motorisierung war dies, neben dem Riementrieb, die Hauptaufgabe des Traktors. Mit der Einführung von Zapfwelle und Hydraulik verlor die Zugkraftübertragung an Bedeutung, da vor allem über die Zapfwelle ein zunehmender Teil der Motorleistung zum Antrieb zapfwellengetriebener Geräte übertragen wurde. Dieser Trend ist vor allem in Großbetrieben rückläufig, da zapfwellengetriebene Geräte bei großen Arbeitsbreiten relativ teuer und bei pflugloser Bewirtschaftung und auf vielen Böden nicht unbedingt nötig sind.

Mit zunehmender Betriebsgröße steigen die Anforderungen an die Schlagkraft, die durch stärkere Traktoren, passive Bodenbearbeitungsgeräte mit großer Arbeitsbreite und hohe Fahrgeschwindigkeit zur Verfügung gestellt wird. Eine möglichst effektive Zugleistungsübertragung wird daher aus ökonomischer und auch aus ökologischer Sicht immer wichtiger. Dieses Merkblatt zeigt die Einflussfaktoren auf die Effektivität der Leistungsübertragung und gibt Hinweise, wie die Motorleistung des Traktors effizient, also mit möglichst wenig Verlust, bodenschonend in Zugleistung umgesetzt werden kann.

Die dominierende Traktorbauform ist der Standardtraktor mit Allradantrieb. Das vorliegende Merkblatt konzentriert sich daher auf die Leistungsübertragung mit Traktor-Ackerreifen.

## 2. Grundsätzliches zu Zugarbeiten

Für eine möglichst effektive und dabei bodenschonende Umsetzung der Schlepperleistung in Zugleistung ist die Kontaktfläche zwischen Reifen und Boden die entscheidende Zone. Das Ziel ist, die vom Gerät geforderte Zugkraft bei möglichst geringem Schlupf und Bodendruck bereitzustellen. Dabei sind mehrere Einflussfaktoren zu berücksichtigen (Abbildung 1).

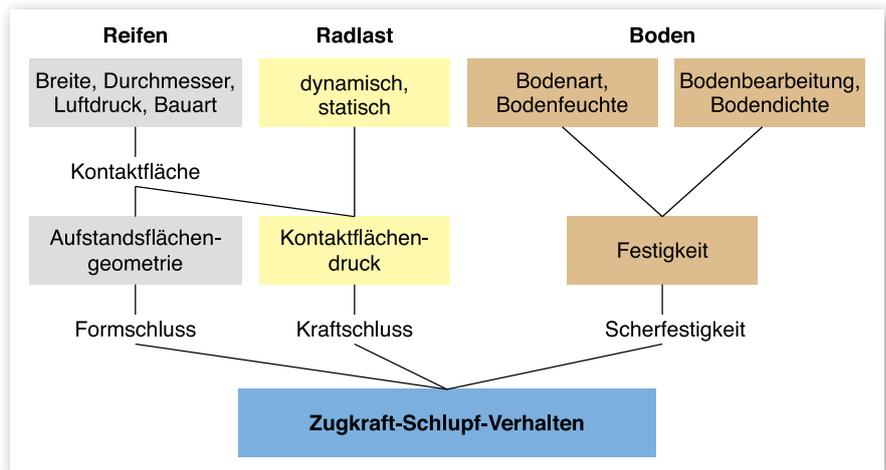


Abbildung 1: Einflüsse auf das Zugkraft-Schlupf-Verhalten  
(Quelle: Weißbach [3])

### 2.1 Zugkraft und Zugleistung

Aus wirtschaftlicher Sicht ist es sinnvoll, den Traktor mit einer hohen Motorauslastung einzusetzen. Gerät und Traktor sollten daher so aufeinander abgestimmt sein, dass der Traktor durch das Gerät in dem durch die Arbeitsqualität vorgegebenen Geschwindigkeitsbereich ausgelastet wird.

Die Zugleistung ( $P$  in kW) errechnet sich aus der Zugkraft ( $F$  in kN) und der tatsächlichen Fahrgeschwindigkeit ( $v_{\text{tat}}$  in km/h):

$$P = F \cdot v_{\text{tat}} / 3,6$$

Die Zugleistung des Traktors kann über eine hohe Zugkraft bei geringer Geschwindigkeit (z. B. Pflügen) oder durch eine geringe Zugkraft bei hoher Geschwindigkeit (z. B. Bodenbearbeitung mit Kurzscheibenegge) genutzt werden. Hohe Fahrgeschwindigkeiten haben den Vorteil, dass bei gleicher Traktorleistung geringere Zugkräfte auf den Boden übertragen werden müssen.

Das Drehmoment des Schlepperrades wird im Kontaktbereich Reifen/Boden auf den Boden übertragen. Dort verzahnt sich das Reifenprofil mit der Bodenoberfläche (Abbildung 2). Die Kraftübertragung erfolgt durch die Haftreibung zwischen Stollenoberfläche und Boden sowie durch die Scherkraft des Bodens zwischen den Stollen. Die Haftreibung nimmt mit steigendem Druck auf den Boden zu. Daher steigt die Zugkraft mit zunehmender Radlast, es steigt aber auch die Gefahr einer Bodenschadverdichtung.

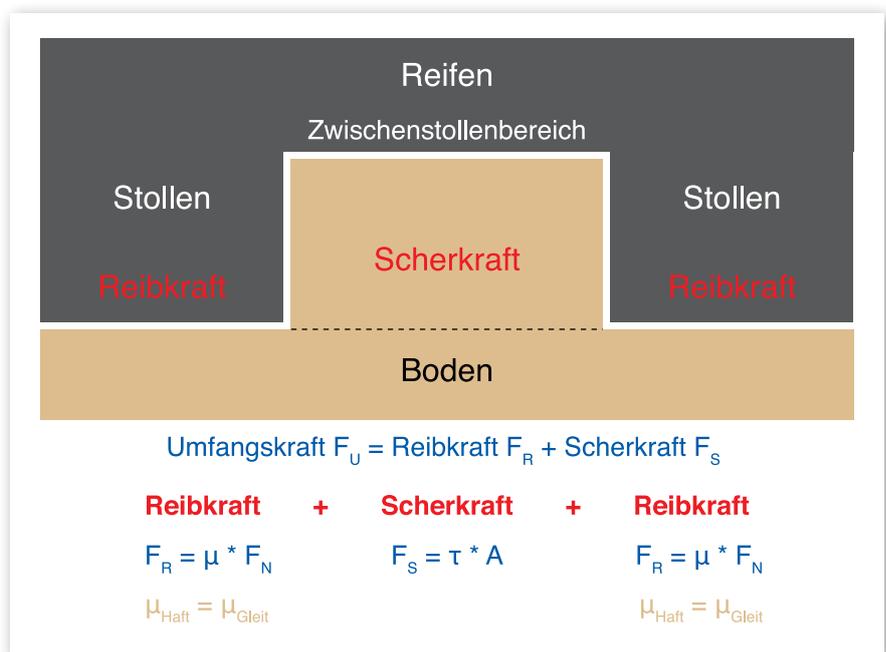


Abbildung 2: Kraftübertragung im Kontaktbereich Reifen/Boden  
(Quelle: Weißbach [3])

Die Scherkraft kann nur dann genutzt werden, wenn der Stollen in den Boden eindringt.

Ein Schlepper mit großer Kontaktfläche aber unzureichender Masse und/oder Ballastierung kann sein Potential nicht entfalten, wenn die Stollen nicht tief genug in den Boden eindringen. Man spricht dann auch von einer „Überbereifung“.

## 2.2 Schlupf

Anders als bei Zahnrad und Zahnstange einer Zahnradbahn ist der Boden komprimierbar. Wird Zugkraft durch den Reifenstollen auf den Boden im Zwischenstollenbereich übertragen, wird dieser Bodenbereich zusammengedrückt und verdichtet. Dadurch entsteht zwangsläufig der Schlupf.

Schlupf bedeutet eine Relativbewegung zwischen Reifenkontaktfläche und Fahrbahn. Anders ausgedrückt: Die Reifenoberfläche bewegt sich schneller als die gesamte Maschine. Somit legt das Rad einen weiteren Weg im Vergleich zur gesamten Maschine zurück (Abbildung 3). Schlupf ist also Verlust an Wegstrecke, Flächenleistung und Energie. Daher muss das Ziel darin bestehen, die Leistung des Schleppers bei niedrigen Schlupfwerten zu übertragen.

Für die Berechnung des Schlupfes (S) müssen theoretische ( $s_0$ ) und tatsächliche Wegstrecke ( $s_{\text{tat}}$ ) bestimmt werden.

$$S = (s_0 - s_{\text{tat}}) / s_0 * 100 [\%]$$

Bei einem Schlupf von 100% dreht das Rad auf der Stelle.

Wenn der Traktor nicht über eine Schlupfanzeige verfügt, können Sie den Schlupf bestimmen, indem Sie die theoretische Geschwindigkeit ( $v_0$ ) und die tatsächliche Geschwindigkeit ( $v_{\text{tat}}$ ) gleichzeitig ablesen und mit folgender Formel verrechnen:

$$S = (v_0 - v_{\text{tat}}) / v_0 * 100 [\%]$$

Die theoretische Geschwindigkeit ( $v_0$ ) kann von der Traktoranzeige, die tatsächliche Geschwindigkeit ( $v_{\text{tat}}$ ) kann von Navigations- oder Tracking-Apps vom Smartphone abgelesen werden. Vorteilhaft sind Apps, die bei geringen Geschwindigkeiten mindestens eine Nachkommastelle anzeigen. Auch die Beobachtung des Spurbildes hinter dem ziehenden Reifen gibt Hinweise auf zu hohen Schlupf (Abbildung 4).

Abbildung 5 zeigt die Auswirkungen von niedrigem Schlupf und hohem Schlupf auf den Boden. In einem Versuch wurde der Boden bei einem Schlupf

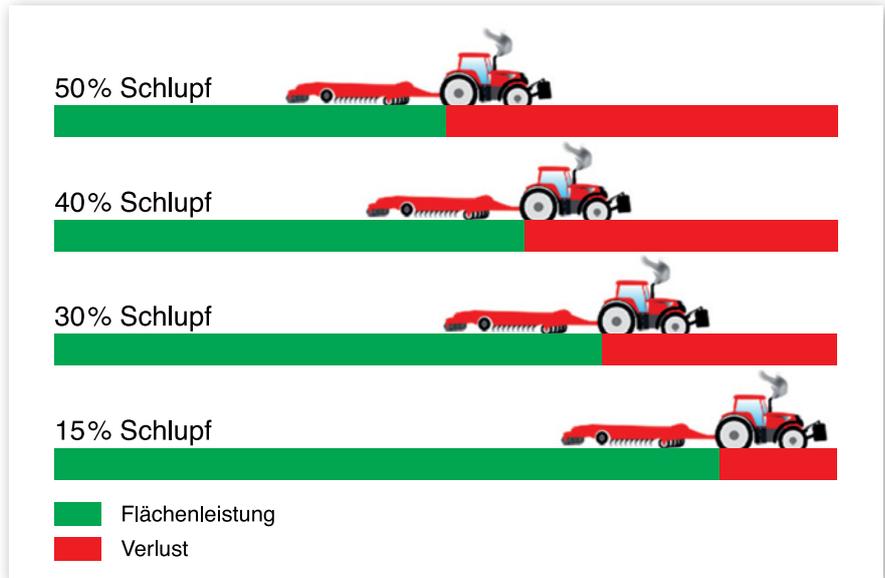


Abbildung 3: Verlust von Wegstrecke bei unterschiedlichem Schlupf. Die tatsächliche Wegstrecke (grün) und die Verluststrecke (rot) ergeben die theoretische Wegstrecke (Quelle: Weißbach)



Abbildung 4: Das Spurbild zeigt hohen Schlupf von 20%; die Erdblocke aus den Stollenzwischenräumen sind verschoben, die Grasnarbe abgeschert (Quelle: Volk)

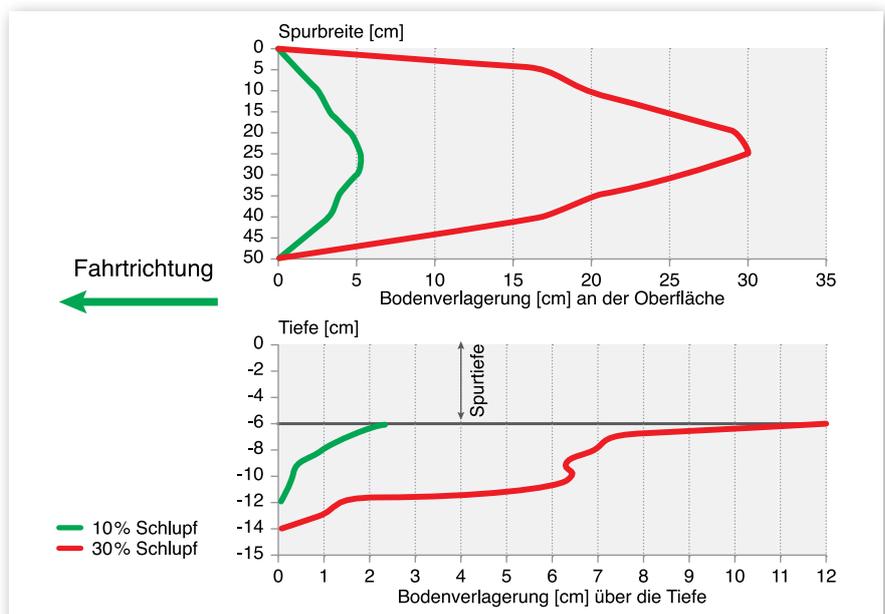


Abbildung 5: Bodenverlagerung bei niedrigem und hohem Schlupf (Quelle: Weißbach)

von 10% um 5 cm im Kontaktbereich Reifen/Boden verschoben. Bei hohem Schlupf von 30% wird der Boden im Kontaktbereich sogar um etwa 30 cm verschoben. Ein Blick in die Tiefe zeigt eine Bodenverformung bis ca. 13 cm. Im Kontaktbereich auf der Spursohle ist in der Tiefe von 6 bis 8 cm eine deutliche Verschmierung zu erkennen. Die Bodenverformung reichte jedoch noch tiefer und zwar bis ca. 9 cm.

Ist der Schlupf zu hoch, wird der Boden im Kontaktbereich Reifen-Boden und auch in tieferen Schichten verschoben und abgeschert.

Dies bleibt nicht ohne Auswirkung auf das spätere Pflanzenwachstum. Speziell die flache Bearbeitung zur Saat kann diesen Bereich oft nicht lockern. Als sichtbares Zeichen von zu hohem Schlupf ist die Fahrspur nach der Saat zu sehen (Abbildung 6).



Abbildung 6: Spuren der vorhergehenden Bodenbearbeitung werden nach der Saat deutlich sichtbar (Quelle: Weißbach)

Das Bodengefüge ist gestört und die Wurzeln finden keinen direkten Weg in tiefere Bodenschichten. Typische Wurzelwuchsformen auf einer verdichteten Sohle sind zu erkennen (Abbildung 7).



Abbildung 7: Auswirkung verdichteter Bereiche auf das Wurzelwachstum von Raps (links: ungestörter Boden; rechts: Störschicht durch Schlupf) (Quelle: Volk, Weißbach)

### 2.3 Zugkraft-Schlupf-Kurve

Wie gut nun ein Rad oder eine gesamte Maschine die Kraft in Trieb- oder Zugkraft umsetzen kann, wird bei konstanter Radlast in so genannten Triebkraft- oder Zugkraft-Schlupf-Kurven dargestellt (Abbildung 8). Eine Triebkraft-Schlupf-Kurve beschreibt ein einzelnes Rad, die Zugkraft-Schlupf-Kurve die gesamte Maschine (Schlepper).

Die Trieb- oder Zugkraft wird über den Schlupf, der zwischen Reifen und Fahrbahn auftritt, aufgetragen. Wichtig: Die Zugkraftübertragung ist immer mit Schlupf verbunden und steigt mit zunehmenden Schlupf bis auf ein Maximum an. Die Triebkraft bzw. die Zugkraft wird oft als Triebkraft- bzw. Zugkraftbeiwert in einer dimensionslosen Größe angegeben. Der Beiwert gibt an, wie viel Prozent der Radlast oder des Schleppergewichtes in Triebkraft/Zugkraft umgesetzt werden kann. So bedeutet zum Beispiel

ein Beiwert von 0,5 bei einem Maschinengewicht von 10 Tonnen, dass die Maschine 50 kN (5 t) Zugkraft aufbringen kann.

Wichtig ist jedoch, dass die Triebkraft und der Laufwerkwirkungsgrad ihr jeweiliges Maximum bei unterschiedlich hohem Schlupf erreichen (Abbildungen 8 und 9).

Mit anderen Worten: Die maximale Zugkraft ist nicht gleichzusetzen mit der effizientesten Kraftübertragung. Vielmehr muss der Blick darauf gerichtet sein, bereits bei niedrigem Schlupf eine hohe Zugkraft zu übertragen

Bei weniger Schlupf kann z. B. der Traktor zu schwer sein, das Gerät ist zu schmal, oder arbeitet zu flach. Bei zu viel Schlupf wird der Ertrag und der Gewinn gemindert.

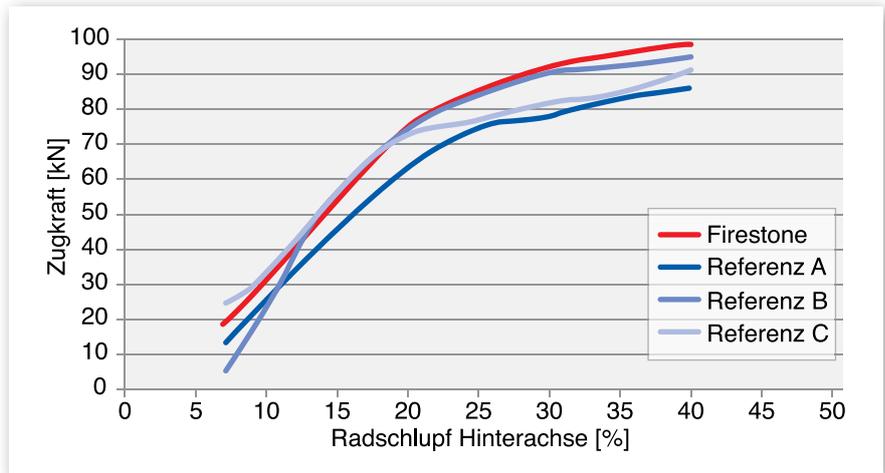


Abbildung 8: Zugkraft-Schlupf-Kurve (Quelle: DLG-Test 6164F)

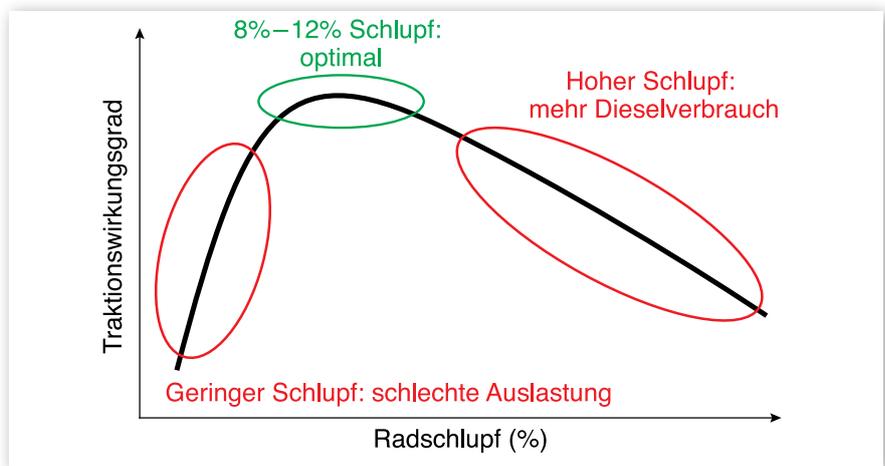


Abbildung 9: 8 bis 12% Schlupf sind bei Zugarbeiten mit Ackerreifen optimal (Quelle: Volk)

Fazit: Aus energetischer und pflanzenbaulicher Sicht sollte die Zugkraft im Schlupfbereich zwischen 5 und 15% übertragen werden.

### 3. Einflussfaktor Boden

Gute Traktion entsteht durch mehr Haftreibung zwischen den Reibpartnern Gummireifen und Erde und durch eine hohe Scherkraft. Die Scherkraft wiederum hängt u. a. von der Kohäsion ab, der Haftung zwischen Bodenteilchen, auf der auch die Ausbreitung der Druckzwiebel nach unten und zur Seite beruht. Lehm- und Tonböden mit vielen kleinen Bodenteilchen haben eine größere Oberfläche und damit eine höhere Kohäsion als Sandböden mit wenigen großen Sandkörnern. Unter trockenen Bedingungen kann bei gleichem Schlupf auf schweren Böden mehr Zugkraft übertragen werden als auf Sandböden. Mit zunehmender Bodenfeuchte verringert sich generell die Zugkraft, auf schweren Böden mehr als auf leichten Sandböden. Wasser zwischen den Bodenteilchen mindert die Kohäsion und der Boden ist weniger tragfähig (Abbildung 10). Auf schluff- und tonreichen Böden erhöht ein hoher Wassergehalt zudem die Adhäsion, das heißt die Bindungskräfte zwischen Boden und Reifen. Die Folge: der Boden haftet zwischen den Reifenstollen, verstopft damit die Stollenzwischenräume und die Zugkraft sinkt rapide, weil die Zugkraft nur noch durch die Haftreibung erzeugt wird. Druckspannungen durch Reifen

werden im feuchten Boden erst in der Tiefe abgestützt und können zu schädlichen Verdichtungen auch in größerer Tiefe führen. Trockener Boden ist tragfähiger und die Zugkraft wird mit weniger Schlupf auf den Boden übertragen. Der richtige Zeitpunkt für die Befahrung und Bodenbearbeitung kann daher den Ertrag erheblich beeinflussen, vor allem auf schweren Böden. Während in der Maschine eine möglichst geringe Reibung durch hochwertige Lager und ausreichende Schmierung angestrebt wird, führt bei der Zugkraftübertragung mehr Reibung zwischen Gummi und Boden zu einem besseren Wirkungsgrad, weniger Schlupf, geringerer Spurtiefe und geringerem Dieselverbrauch.



Abbildung 10: Trockener Boden ist tragfähiger und kann höhere Zugkräfte übertragen (Quelle: Volk)

## 4. Einflussfaktor Bereifung

### 4.1 Reifengröße

Größere Reifendimensionen (Durchmesser und Breite) bewirken größere Aufstandsflächen. Ausgehend von der Standardbereifung können wegen einer verbesserten Zugleistungsübertragung mit radialen Breitreifen oder mit einer Doppelbereifung deutlich höhere Flächenleistungen erreicht und damit die Kosten gesenkt werden (Abbildung 11). Im praktischen Einsatz liegt die Obergrenze der Reifenbreite bei 900 mm. Mit dieser Abmessung bleiben auch die leistungsstarken Schlepper noch in der Grenze der 3 m Außenbreite. Zweifellos ist die Doppelradbereifung auf Vorder- und Hinterachse die beste Variante. Jedoch ist ein Fahren auf der Straße nicht mehr zulässig, da die Maschinenbreite oft über 3,5 m liegt. Ein effizientes Schnellwechsel- und Transportsystem ist bis heute am Markt nicht verfügbar, wäre aber wünschenswert.

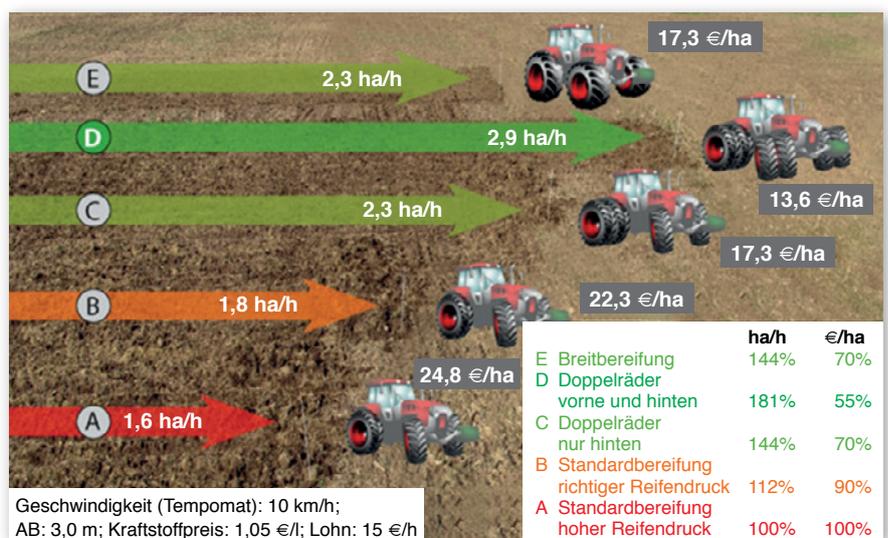


Abbildung 11: Einfluss der Bereifungsart auf Flächenleistung und variable Kosten beim Grubbern (Quelle: Weißbach)

## 4.2 Einfluss von Radlast und Reifendruck

Wenn die Radlast steigt und der Reifendruck abnimmt, federt der Reifen stärker ein. Dadurch wird die Kontaktfläche zum Boden länger und in geringerem Umfang auch breiter. Mit einer größeren Kontaktfläche können sowohl bei niedrigem als auch bei höherem Schlupf größere Zugkräfte übertragen werden (Abbildung 12). Daraus folgt, dass bei einer größeren Kontaktfläche die gleiche Zugkraft mit weniger Schlupf erzeugt wird.

Eine hohe Radlast ermöglicht eine hohe Zugkraft, erhöht aber auch die Gefahr schädlicher Bodenverdichtungen.

Der positive Einfluss der Luftdruckreduzierung auf die Bodenbelastung und -verdichtung ist bereits ausführlich im DLG-Merkblatt 356 „Reifen richtig wählen und einsetzen“ [2] dargestellt worden.

Darüber hinaus wirkt sich ein geringer Reifendruck aber auch positiv auf die maximale Zugkraft aus (Abbildungen 13 und 14).

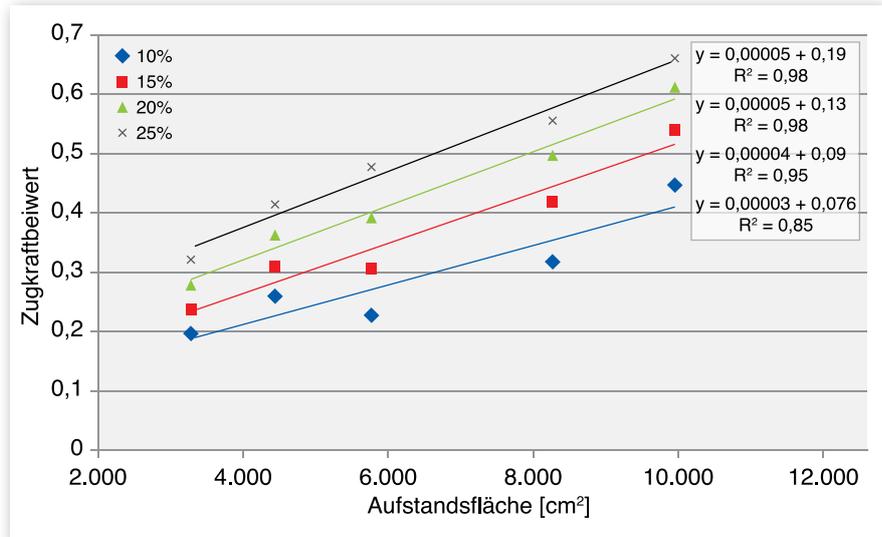


Abbildung 12: Zusammenhang zwischen Zugkraftbeiwert und Aufstandsfläche bei einem Schlupf von 10%, 15%, 20% und 25% (Quelle: Weißbach)

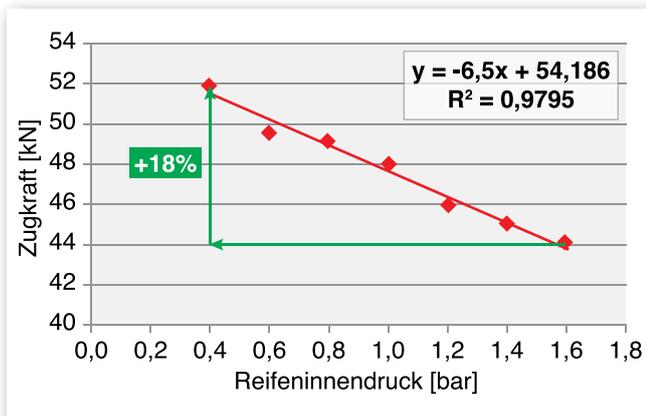


Abbildung 13: Einfluss des Reifendrucks auf die Zugkraft auf abgesetztem Boden (Reifen: Michelin XM 108) (Quelle: Volk, verändert)

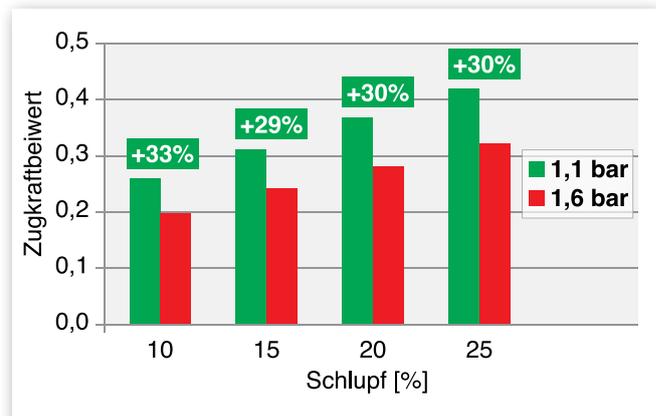


Abbildung 14: Einfluss von Luftdruck und Schlupf auf die Zugkraft im lockeren Boden (Quelle: Weißbach)

In jedem Fall muss allerdings der vom Hersteller für den jeweiligen Reifen angegebene **Mindestluftdruck** eingehalten werden. Bei hoher Zugkraft ist das oftmals 0,8 bis 1,0 bar oder der Mindestluftdruck, der für 30 km/h Fahrgeschwindigkeit eingehalten werden muss. Bei sehr geringem Reifendruck besteht die Gefahr, dass der Reifen auf der Felge wandert. Dies kann durch einen Kreidestrich auf Felge und Reifen überprüft werden: wenn sich der Teilstrich auf dem Reifen gegenüber dem Teilstrich auf der Felge versetzt hat, muss entweder die Zugkraft verringert oder der Reifendruck erhöht werden. Spezial-

folgen mit geriffelten Felgenhörnern vermindern durch einen besseren Reibschluss, also intensiveren Kontakt zwischen Felge und Reifenwulst, die Gefahr, dass der Reifen auf der Felge wandert.

Die praktischen Auswirkungen der Veränderung des Reifeninnendruckes kann der Landwirt auf seinem Betrieb selbst testen: Der Schlepper wird nacheinander mit unterschiedlichem Reifendruck eine definierte Zeit bei sonst gleichen Rahmenbedingungen (Bodenzustand, Arbeitsgerät, Arbeitstiefe, Geschwindigkeit) gefahren. Danach wird die zurückgelegte Strecke gemessen.

Unter der Voraussetzung gleicher Wendezeiten kann so aus der Zeit, dem zurückgelegten Weg und der Arbeitsbreite die Flächenleistung ermittelt werden, wie das Beispiel in Abbildung 15 verdeutlicht.

Am Schlepper wurde der Luftdruck von 1,4 auf 0,8 bar abgesenkt. Der Schlepper fuhr zwei Spuren jeweils 30 Sekunden nebeneinander. In dieser sehr kurzen Zeit fuhr der Schlepper mit abgesenktem Luftdruck 7 m weiter. Auf einen Arbeitstag mit 10 h hochgerechnet bedeutete das bei einer Arbeitsbreite von 3 m eine zusätzliche Flächenleistung von 2,5 ha!

Doch Vorsicht! Die Luftdruckangaben der Hersteller müssen eingehalten werden. Zu finden sind diese in den jeweiligen Handbüchern. Achten Sie auf den Zusatz „Luftdruck bei hohen Zugkräften“. Denn ein zu niedriger Luftdruck kann zu irreparablen Schäden führen (Abbildung 16 links)!

Aus Sicht der Bodenschonung ist es sinnvoll, die notwendige Schleppermasse so auf die Räder zu verteilen, dass die Reifen mit dem gleichen, möglichst geringen Reifendruck gefahren werden können. Betrachtet man die Standardbereifungen der Schlepperhersteller, zeigt sich, dass bei gleichem Reifendruck die Vorderreifen etwa 40%, die Hinterreifen etwa 60% der Schleppermasse tragen können. Daraus folgt die Empfehlung, bei Standardschleppern eine Gewichtsverteilung von ebenfalls 40% vorne und 60% hinten anzustreben.

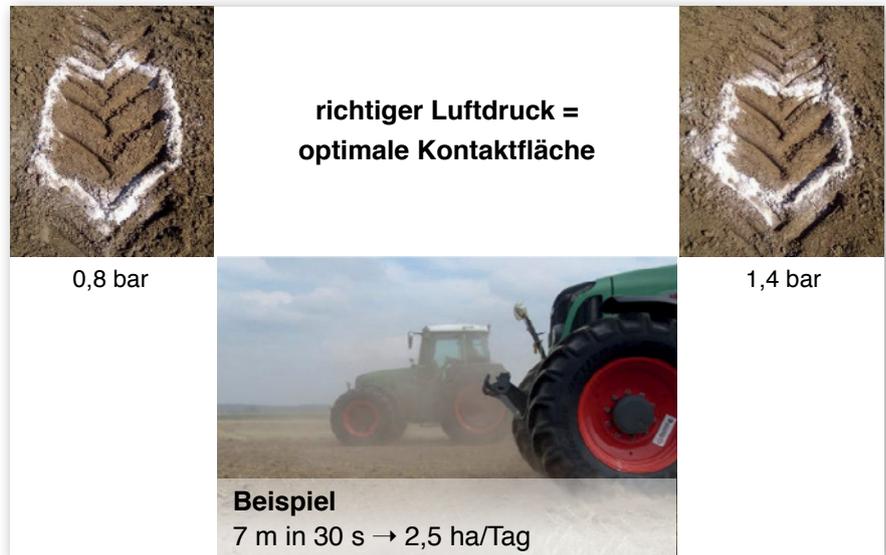


Abbildung 15: Auswirkungen eines geringeren Reifendrucks auf die Flächenleistung (Quelle: Weißbach)



Abbildung 16: links: So sollte der Reifen bei der Zugkraftübertragung nicht aussehen. Bei einer derartigen Faltenbildung sind Reifenschäden nicht auszuschließen. (Quelle: Weißbach); rechts: Bei geringer Zugkraft schadet dagegen eine starke Einfederung nicht (Quelle: Volk)

Die Gewichtsverteilung lässt sich im Stand leicht durch eine Waage ermitteln. Problematisch ist die Bestimmung der Gewichtsverteilung bei Zugarbeiten, da durch die Zugkraft, durch die Regelhydraulik oder durch Zugkraftverstärker die Hinterachse während der Arbeit zusätzlich belastet wird. Wird der Schlepper für schwere Zugarbeiten eingesetzt, sollte daher im statischen Zustand die Vorderachse etwa 45 % bis 50 % der Schleppermasse tragen. Zur Optimierung der Zugkraft und zur Minimierung der Bodenbelastung sollte zuerst die Ballastierung angepasst werden und anschließend der Reifendruck auf den notwendigen Wert eingestellt werden.

Die zahlreichen Möglichkeiten, den Reifendruck anzupassen, sind im DLG-Merkblatt 356 „Reifen richtig wählen und einsetzen“ [2] ausführlich dargestellt.

### 4.3 Einfluss des Reifenprofils

An das Reifenprofil werden im Wesentlichen folgende Anforderungen gestellt:

- Übertragung hoher Zugkräfte auf den Boden bei geringem Schlupf
- Gute Selbstreinigung
- Ruhiger Lauf auf der Straße
- Geringer Verschleiß.

Quer stehende Stollen sichern eine gute Zugkraftübertragung, auf der Straße sorgen sie allerdings für einen unruhigen Lauf bei hohem Verschleiß. Längs angeordnete Stollen sorgen bei geringem Verschleiß für eine gute Laufruhe auf der Straße, können aber keine großen Zugkräfte übertragen. Als Kompromiss haben sich in Europa radiale Reifen mit schräg angeordneten Stollen durchgesetzt (AS-Profil) (Abbildung 17 Nr. 1). In der Reifenmitte eher längs angeordnete Stollen für ruhige Straßenfahrt und an den Reifenseiten querstehende Stollen für gute Zugleistung verbinden die beiden gegensätzlichen Anforderungen (Abbildung 17 Nr. 2). Auf Grünland sind radiale Reifen mit abgerundeten Stollenkanten für mehr Narbenschonung zu empfehlen.

Die optimale Stollenhöhe ist stark bodenabhängig. Bei feuchtem und weichem Boden ist die intensive Verzahnung mit dem Boden wichtig und eine ausreichende Stollenhöhe notwendig. Je härter und trockener der Boden, desto geringer sollte die Stollenhöhe sein, damit die Stollen ganz in den Boden eindringen können und der Verschleiß vermindert wird. Auf leichten Sandböden, die wegen der geringen Kohäsion zwischen den Bodenteilchen nur geringe Scherkräfte übertragen können, ist generell eine geringe Stollenhöhe von Vorteil, um die Gefahr des „Eingrabens“ zu verringern. Für Zugarbeiten nur noch bedingt taugliche „abgefahrene“ Reifen mit weniger als 50 % der ursprünglichen Stollenhöhe



Abbildung 17: Reifenprofile für Ackerschlepper (von links nach rechts): 1. Mitas HC 2000, 2. Vredestein Traxion, 3. Michelin RoadBib, 4. Mitas HCM, 5. Trelleborg TH 500, 6. Nokian TRI 2 (Quelle: Uppenkamp)

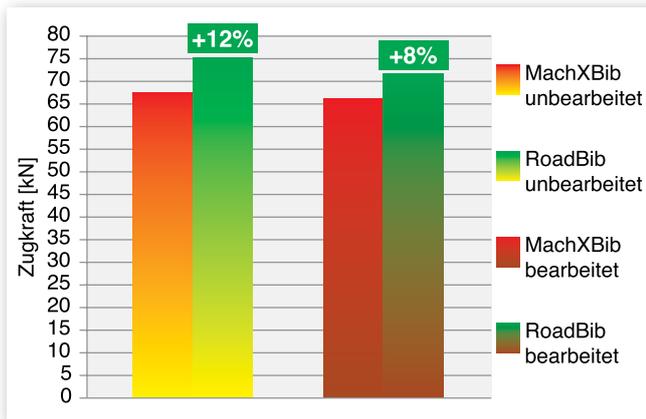


Abbildung 18: Zugkraft bei 20% Schlupf auf unbearbeitetem (linke Säulen) und bearbeitetem (rechte Säulen) Sandboden (Quelle: top agrar [5])

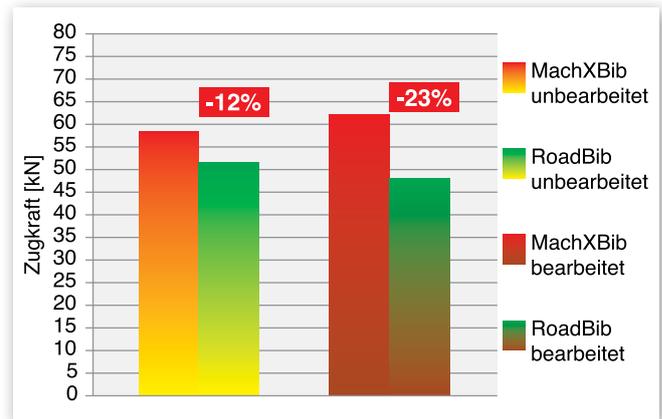


Abbildung 19: Zugkraft bei 20% Schlupf auf unbearbeitetem (linke Säulen) und bearbeitetem (rechte Säulen) feuchtem Lehm Boden (Quelle: top agrar [5])

können am Hofschlepper, der nur auf Beton oder Asphalt fährt, oder bei Arbeiten mit geringem Zugkraftbedarf gute Dienste leisten.

Vermeehrt bieten die Reifenhersteller Reifen mit Blockstollen (Industrieprofil), die bisher vornehmlich im Bau- und Kommunalbereich eingesetzt wurden, auch für den landwirtschaftlichen Einsatz an (Abbildung 17 Nrn. 3–6). Diese Reifen mit einem relativ hohen Stollenanteil und entsprechend geringem Freiraum zwischen den Stollen sorgen ebenso für einen ruhigen Lauf auf der Straße bei geringem Verschleiß. Der enge Zwischenstollenbereich setzt sich aber bei feuchtem, bindigem Boden schnell zu und die Zugkraftübertragung wird schlechter.

Zugkraftmessungen von top agrar [5] zeigen, dass auf Sandboden bei etwa 20% Schlupf das Industrieprofil um etwa 10% höhere Zugkraft übertragen kann als das AS-Profil (Abbildung 18). Die Einsatzgrenze wird beim Industrieprofil auf feuchtem, bindigem Boden erreicht, da der Zwischenstollenbereich verstopft (Abbildung 19).

Die Vorteile dieser Profilform sind beim Einsatz auf der Straße besonders deutlich. Messungen von top agrar [6] und der FH Kiel [7] zeigen, dass Kraftstoffeinsparungen zwischen 5% und 14% möglich sind. Beim Einsatz in einem Lohnunternehmen mit relativ hohem Transportanteil wurde eine etwa 3-fach höhere Haltbarkeit des Industrieprofiles gemessen.

Eine Zwischenstellung zwischen dem AS-Profil und dem Industrieprofil soll die Neuentwicklung „EvoBib“ der Firma Michelin einnehmen (Abbildung 20).



Abbildung 20: Für den Einsatz in Kombination mit einer Reifendruckregelanlage konzipierter Reifen „EVOBIB“ der Firma Michelin (Foto: Michelin)

Der Reifen ist für den Einsatz in Kombination mit einer Reifendruckregelanlage konzipiert. Bei Straßenfahrt mit hohem Reifendruck wölbt sich die Lauffläche, so dass nur der mittlere Teil des Reifens mit einem hohen Stollenanteil die Straße berührt. Das soll Kraftstoffverbrauch und Verschleiß minimieren. Messungen von niederländischen und skandinavischen Fachzeitschriften [8] sowie von top agrar [5] zeigen allerdings, dass der

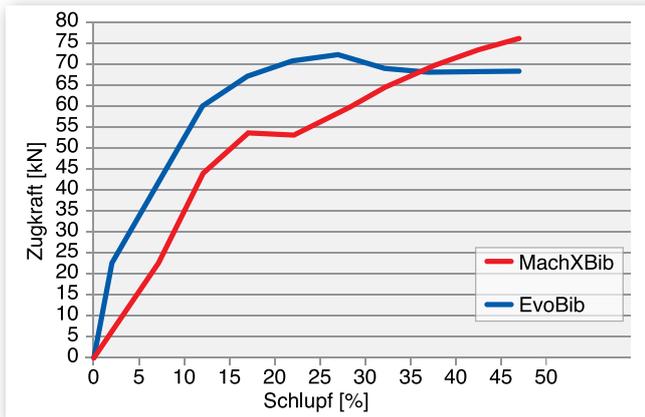


Abbildung 21: Zugkraft in Abhängigkeit vom Schlupf (Quelle: profi [8])

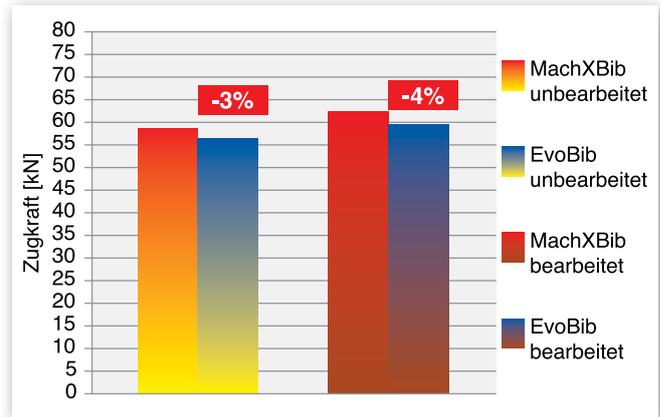


Abbildung 22: Zugkraft bei 20 % Schlupf auf unbearbeitetem (linke Säulen) und bearbeitetem (rechte Säulen) feuchtem Lehmboden (Quelle: top agrar [5])

Kraftstoffverbrauch im Vergleich zu einem AS-Reifen auf der Straße mit hohem Reifendruck nicht deutlich geringer ist. Im Vergleich zu einem vergleichbaren AS-Reifen ist die Aufstandsfläche auf der Straße 15 % größer, auf dem Acker bei abgesenktem Reifendruck sogar 50 %. Auf dem Acker zeigte der Reifen im Test eine deutlich größere Zugkraft vor allem bei geringem Schlupfniveau (Abbildung 21).

Ähnlich, wenn auch nicht ganz so deutlich wie beim Industrieprofil, verringert sich der Zugkraftvorteil auch hier auf feuchten, bindigen Böden (Abbildung 22).

## 5. Einflussfaktor Ballastierung

Ballast ist eigentlich etwas Überflüssiges: er verursacht einen höheren Kraftstoffverbrauch bei Straßenfahrten und eine stärkere Belastung des Bodens mit der Gefahr, Schadverdichtungen zu erzeugen. Dennoch ist das Thema „Ballastierung“ in den letzten Jahren zunehmend in den Vordergrund gerückt. Ein Grund dafür ist sicherlich die Zunahme sehr leistungsfähiger Standardtraktoren mit geringem Leistungsgewicht. Da das Traktorgewicht ein entscheidender Faktor für die mögliche Zugkraft ist, müssen diese Traktoren für schwere Zugarbeiten ballastiert werden, um die Motorleistung in Zugleistung umsetzen zu können. Ein weiterer Faktor ist der Schlupf, der aus Sicht des Bodens und aus ökonomischen Gründen möglichst gering sein soll. Durch eine abgestimmte Ballastierung kann der Schlupf deutlich gesenkt werden. Dabei gilt es zwischen Zugkrafterhöhung und Schlupfminderung einerseits sowie Schutz des Bodens andererseits abzuwägen. Ein Schlupf von 10% wird für schwere Zugarbeiten als optimal angesehen, mehr als 15% sollten vermieden werden [9]. Zudem ist bei einem Schlupf von etwa 10% der Radwirkungsgrad am besten [10]. Da der Zugkraftbedarf vom Gerät und vom Boden vorgegeben wird, muss mit einer optimalen Ballastierung versucht werden, den angestrebten Schlupfbereich zu erreichen.

### 5.1 Ballastierungsvarianten

Für den Schlepper stehen heute unterschiedliche Arten der Ballastierung zur Verfügung. Sie unterteilen sich in direkte und indirekte Ballastierung (Abbildung 23).

Bei einer indirekten Ballastierung wird Kraft vom Gerät auf den Traktor übertragen. Dies geschieht bei allen Zugarbeiten durch die horizontale Zugkraft. Neben der Stützlast des Gerätes kann mit der Zugkraftregelung oder einem Zugkraftverstärker zusätzlich eine Vertikalkraft auf den Traktor übertra-

gen werden. Dabei wird die Hinterachse des Schleppers belastet, die Vorderachse entlastet. Das Ausmaß der Hinterachsbelastung ist nicht konstant, sondern variiert mit den Bodeneigenschaften.

In einem Test der Zeitschrift profi [11] wurde die Wirkung eines Zugkraftverstärkers an einem Aufsattelpflug im Vergleich zu einem Anbaupflug ohne Zugkraftverstärker gemessen. Bei gleicher Arbeitsbreite, Arbeitstiefe und Ballastierung des Zugschleppers steigt der Schlupf beim Übergang vom Anbaupflug zum Aufsattelpflug deutlich an, da die Stützlast vom Pflug auf den Traktor von 20 kN auf 15 kN sinkt. Durch einen Zugkraftverstärker am Aufsattelpflug wird die Stützlast erhöht, so dass bei halbem Druck und 25 kN Stützlast das Schlupfniveau des Anbaupfluges erreicht wird, bei vollem Druck im Zugkraftverstärker mit 30 kN Stützlast sogar deutlich unterschritten wird (Abbildung 24).

Bei der direkten Ballastierung werden Gewichte an unterschiedlichen Anbauräumen am Schlepper angebracht.

In speziellen Frontgewichtsträgern eingehängte Koffergewichte können dem Ballastierungsbedarf entsprechend angebaut werden und benötigen keine Fronthydraulik, sind jedoch mühsam an- und abzubauen. Am weitesten verbreitet sind Frontgewichte, die in der Fronthydraulik mitgeführt werden (Abbildung 25).

Ein entscheidender Vorteil ist der schnelle und unkomplizierte An- und Abbau des Gewichtes. Nachteilig ist, dass eine Fronthydraulik benötigt wird. Da Frontgewichte vor der Vorderachse angeordnet

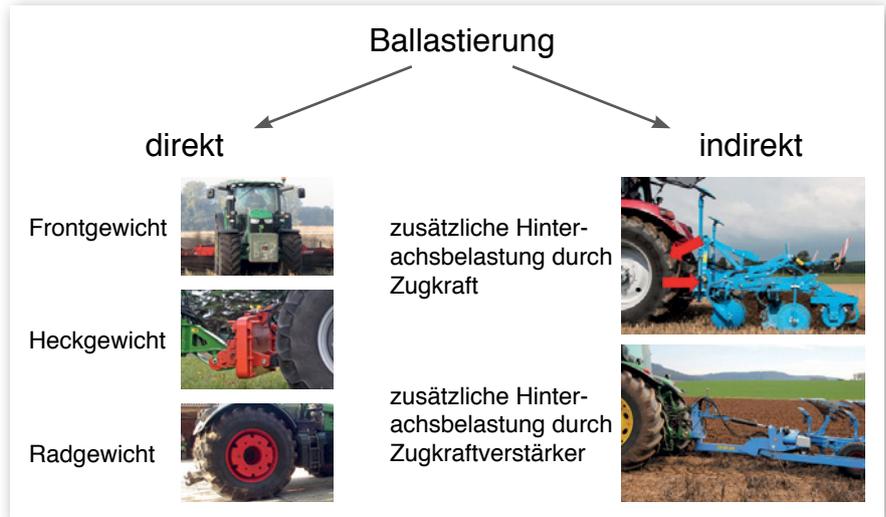


Abbildung 23: Varianten der Ballastierung (Quelle: Weißbach, Werkbilder Lemken)

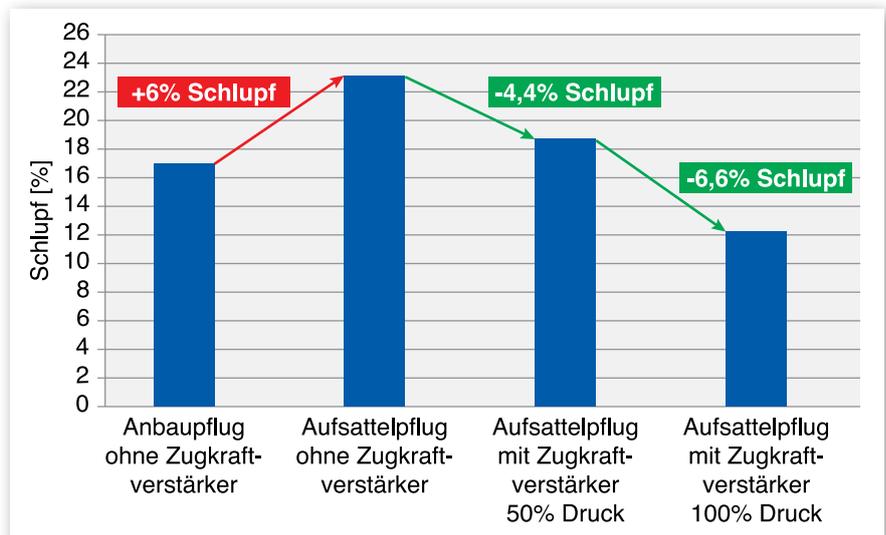


Abbildung 24: Auswirkung der Pflugbauart und des Zugkraftverstärkers auf den Schlupf (Quelle: profi [13])



Abbildung 25: Frontgewichte, links: Koffergewichte, mitte: „klassisches“ Frontgewicht in der Fronthydraulik, rechts: Frontgewicht mit Schnellwechsel-Gewichtsplatte (Quelle: Uppenkamp, Werkbild Claas)

sind, entlasten sie die Hinterachse und belasten die Vorderachse zusätzlich in Höhe der Hinterachsentlastung. Die Vorderachsbelastung kann mit folgender Formel berechnet werden:

$$\text{Vorderachsbelastung} = F_{FG} \times (1 + a_{FG} / R)$$

$F_{FG}$ : Gewicht des Frontgewichts

$a_{FG}$ : Abstand Schwerpunkt des Frontgewichts zur Mitte der Vorderachse

R: Radstand

Diese Zusatzbelastung sollte bei großem Überstand und kurzem Radstand nicht unterschätzt werden, denn es besteht die Gefahr, dass die zulässige Vorderachslast überschritten wird.

Ein ähnlicher Effekt tritt auch beim Einsatz eines Heckgewichtes auf. Da das Gewicht hinter der Hinterachse angeordnet ist, wird die Vorderachse entlastet und die Hinterachse um den gleichen Betrag zusätzlich belastet. Analog zum Frontgewicht beträgt hierbei die Zusatzbelastung der Hinterachse:

$$\text{Hinterachsbelastung} = F_{HG} \times (1 + a_{HG} / R)$$

$F_{HG}$ : Gewicht des Heckgewichts

$a_{HG}$ : Abstand Schwerpunkt des Heckgewichts zur Mitte der Hinterachse

R: Radstand

Das Heckgewicht wird im Dreipunktgestänge angebaut und verfügt über Durchführungen für Hydraulik, Druckluftbremse und Strom für die Beleuchtung. An der Rückseite können Geräte im Dreipunkt, in den Unterlenkern oder an einer K80-Kugel gekoppelt werden (Abbildung 26).

Im Unterschied zum Front- und Heckgewicht beeinflussen Radgewichte nur die Achslast an der Achse, an der sie montiert sind. Radgewichte werden nur selten an- und abgebaut, da dies sehr aufwändig ist. Neue Entwicklungen versuchen, durch



Abbildung 26: Heckgewicht der Firma Grasdorf  
(Quelle: Werkbild Grasdorf)



Abbildung 27: Zwischenachsgewicht „EZ-Ballast“: Die Gewichtsplatte (links) wird mit der Vorderachse des Traktors überfahren (mitte) und mit dem Hubrahmen am Traktor hydraulisch angehoben und verriegelt (Quelle: Uppenkamp)

Schnellwechseleinrichtungen das Problem zu lösen. Ebenfalls relativ neu ist das Zwischenachsgewicht eines Herstellers (Abbildung 27). Hier erfolgt der An- und Abbau schnell und bequem hydraulisch vom Schleppersitz aus.

Das 1.700 kg schwere Gewicht wird am Traktor so positioniert, dass sich die Gewichtsverteilung des Traktors nicht ändert. Vergleichsmessungen [12] zeigen, dass der Aufwand für den An- und Abbau sehr gering ist (Abbildung 28). Diese Ballastierung ist zurzeit allerdings nur für die Baureihe 7R der Firma John Deere verfügbar.

Eine preiswerte Alternative zu Radgewichten ist das Füllen der Reifen mit Wasser. Es sind fast keine Investitionen nötig, der Zeitaufwand für das Befüllen und Entleeren ist jedoch noch größer als bei Radgewichten und schließt eine schnelle Anpassung der Ballastierung praktisch aus. Durch das geringe verbleibende Luftvolumen im Reifen ist zudem der Federungskomfort deutlich schlechter.

Bereits in den 1980er Jahren hat die Firma Schlüter mit dem Eurotrac eine Möglichkeit vorgestellt, die Achslastverteilung durch ein verschiebbares Gewicht während der Arbeit zu verändern. Das gleiche Ziel verfolgen schwenkbare bzw. ausfahrbare Frontgewichte (Abbildung 29) [13] und das auf der Agritechnica 2017 vorgestellte System „VarioPull“ der Firma Fendt (Abbildung 30). Hierbei kann die durch die Stützlast verursachte Entlastung der Vorderachse mittels einer in Längsrichtung verschiebbaren Anhängung variiert werden.

	Gewicht [kg]	Zeit für Anbau [min]	Zeit für Abbau [min]
Frontgewicht in Fronthydraulik	1.800	2,0	1,6
Zwischenachsgewicht	1.700	0,7–1,2	0,4
Radgewichte	1.800	16,0	20,0

Abbildung 28: Vergleich der Montagezeiten bei Front-, Zwischenachs- und Radgewichten (Quelle: top agrar [12])

Profi Fahrbericht an einem Claas Ares 697	
eingeklappt	ausgeklappt
VA: +1.200 kg	VA: +1.530 kg
HA: -250 kg	HA: -540 kg

Abbildung 29: Das Wittrock Flex-Weight als Beispiel für ein variables Frontgewicht mit Messergebnissen der Zeitschrift profi [11] (Quelle: Uppenkamp, Wittrock Informationsblatt Flex-Weight)

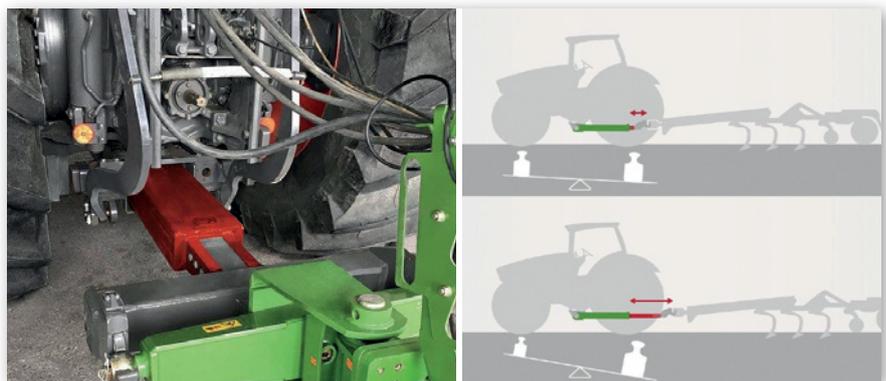


Abbildung 30: In Längsrichtung verschiebbare Untenanhängung zur Veränderung der Achslastverteilung (Fendt VarioPull) (Quelle: Werkbild Fendt)

## 5.2 Einfluss der Ballastmasse auf Zugkraft und Schlupf

Im Rahmen eines top agrar Tests mit einem John Deere 7310R [12] wurden Zugkraftmessungen mit einem Frontgewicht, dem Zwischenachsgewicht EZ-Ballast und Radgewichten durchgeführt. Die Gewichte wurden sowohl einzeln als auch in Kombination eingesetzt.

In Abbildung 31 ist der Schlupf in Abhängigkeit von der Zugkraft bei steigender Ballastmasse dargestellt.

Bei gleicher Zugkraft wird durch die Ballastierung der Schlupf gesenkt. Das Ausmaß der Schlupfsenkung nimmt mit zunehmender Ballastmasse ab. Die Aufballastierung von 3.600 kg auf 5.300 kg bringt in diesem Fall keinen Zugkraftvorteil mehr, sondern erhöht die Gefahr von Bodenschadverdichtungen.

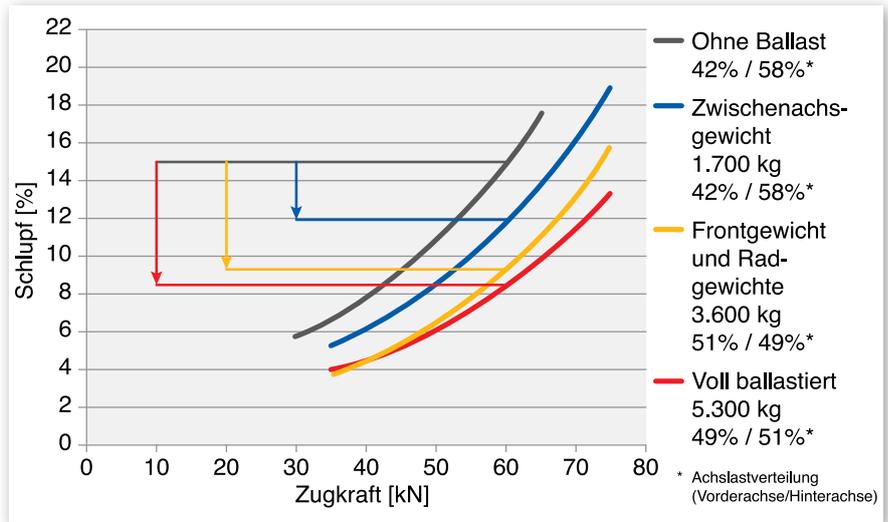


Abbildung 31: Einfluss der Ballastmasse auf den Schlupf in Abhängigkeit von der Zugkraft (Quelle: Uppenkamp, top agrar [12])

### 5.3 Einfluss der Achslastverteilung auf Zugkraft und Schlupf

Sowohl beim Frontgewicht als auch beim Heckgewicht wird die Achslastverteilung mehr oder weniger stark verändert. Allradgetriebene Standardtraktoren weisen in der Regel eine Achslastverteilung von 40%–45% auf der Vorderachse und 55%–60% auf der Hinterachse auf. Diese Achslastverteilung korrespondiert sehr gut mit der Bereifung: bei gleichem Reifendruck beträgt bei üblichen Reifenkombinationen die Tragfähigkeit der Hinterreifen etwa das 1,5-fache der Tragfähigkeit der Vorderreifen. Somit ergibt sich auch bei der Reifentragfähigkeit ein Verhältnis von etwa 40% Vorderachse zu 60% Hinterachse. Alle Reifen können deshalb bei einer Achslastverteilung von 40% zu 60% mit dem gleichen niedrigen Reifendruck gefahren werden.

Werden die Ballaste einzeln eingesetzt, variiert wegen der unterschiedlichen Anbauorte die Achslastverteilung (Abbildung 32).

Auf dem vorbereiteten Boden (gegrubbert) wurde der Schlupf umso mehr reduziert, je höher die Vorderachslast war. Hier wirkte sich der Multi-pass-Effekt stark aus.

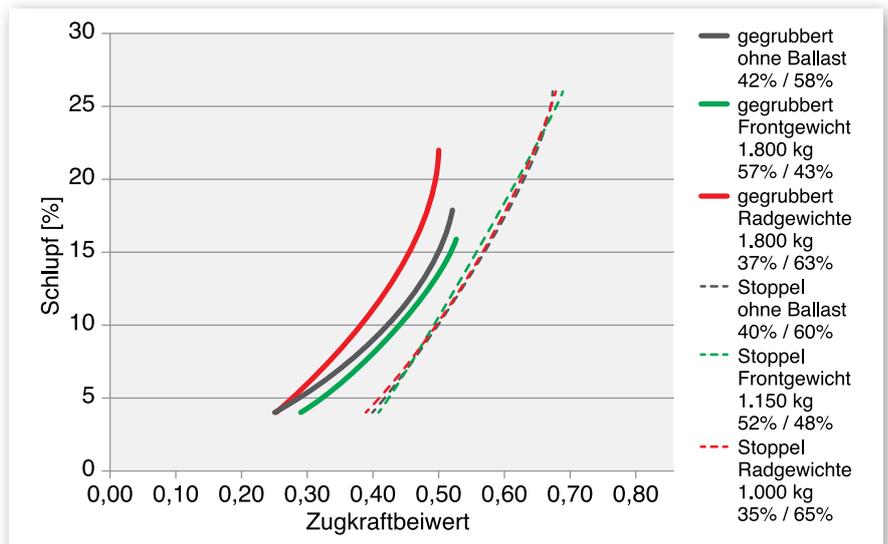


Abbildung 32: Einfluss der Achslastverteilung und des Bodenzustandes auf den Schlupf (Quelle: Uppenkamp, top agrar [12, 14])

Auf dem gleichen Standort wurde ein Jahr später mit dem gleichen Grubber und mit dem gleichen Messsystem Zugkraft und Schlupf bei unterschiedlicher Ballastierung eines John Deere 6250R und eines John Deere 7250R bestimmt [14]. Im Unterschied zum Vorjahr wurden die Messungen auf einem unbearbeiteten Stoppelacker mit sehr trockenem Untergrund durchgeführt. Die oberste Bodenschicht

wurde durch 16 mm Regen zwei Tage vor den Messungen so weit aufgeweicht, dass die Reifenstollen in den Boden eindringen konnten. Im Unterschied zum Vorjahr war bei gleicher Ballastmasse kein Unterschied in der schlupfmindernden Wirkung zwischen Front- und Radgewichten festzustellen. Die Bodenverhältnisse sorgten dafür, dass bei gleicher Traktormasse und bei gleicher Zugkraft mit geringerem Schlupf gefahren wurde als ein Jahr zuvor.

Die Versuchsergebnisse bestätigen die bekannte Erfahrung, dass der Bodenzustand einen entscheidenden Einfluss auf den Schlupf hat. Es zeigte sich aber auch, dass die Auswirkung einer unterschiedlichen Achslastverteilung vom Bodenzustand abhängt und nicht verallgemeinert werden kann.

## 6. Assistenzsysteme

Wegen der komplexen Zusammenhänge zwischen Boden, Reifen und Achslasten ist der Landwirt bisher bei der Frage nach der richtigen Ballastierung und Ballastverteilung im Wesentlichen auf seine Einschätzung angewiesen. Zurzeit gibt es zwei Systeme, die den Landwirt bei der Entscheidungsfindung unterstützen. Das ältere der beiden Systeme ist der „Grip-Assistant“ der Firma Fendt (Abbildung 33). Hierbei bekommt der Landwirt Empfehlungen zur Einstellung des Reifendrucks, der Ballas-

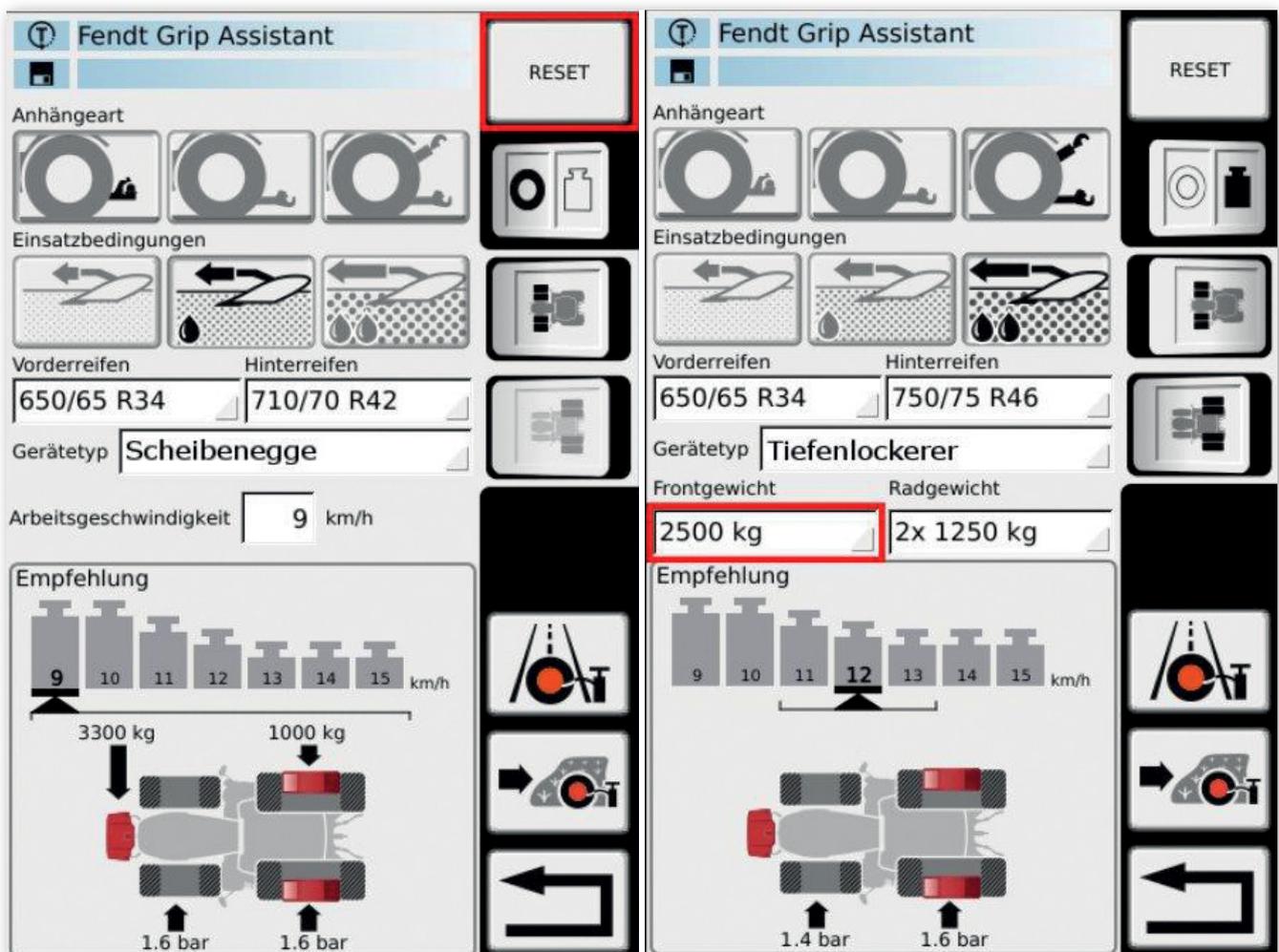


Abbildung 33: Beim Grip-Assistent der Firma Fendt bekommt der Landwirt neben einer Empfehlung zum Reifendruck entweder einen Hinweis zur optimalen Ballastierung bei vorgegebener Arbeitsgeschwindigkeit oder zur optimalen Arbeitsgeschwindigkeit bei vorgegebener Ballastierung (Quelle: Werkbilder Fendt)

tionierung und der Fahrgeschwindigkeit für unterschiedliche Arbeiten unter Berücksichtigung der Anhängung, der Bereifung und der Bodenfeuchte.

Einen etwas anderen Weg geht die Firma Claas beim CEMOS für Traktoren (Abbildung 34). Dieses umfassende Assistenzsystem dient zur Optimierung von Traktor, Gerät und der Traktor-Geräte-Kombination bei fast allen Arbeiten. Neben umfangreichem Datenbankwissen wird interaktiv auch die Beurteilung von Änderungsvorschlägen des Systems durch den Fahrer in den Optimierungsprozess einbezogen.

<p>Optimierung der Maschine vor Arbeitsbeginn</p>		<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">natürlichsprachiges Bediensystem</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Auswahl der Arbeitsaufgabe</li> <li>• Anbaugeräteauswahl</li> <li>• Kontextauswahl</li> <li>• Traktor Einstellungsempfehlung</li> </ul>
<p>Optimierung der Maschine für den Feldeinsatz</p>		
<p>Optimierung der Maschine während des Arbeitseinsatzes</p>		

Abbildung 34: Claas bietet mit dem CEMOS für Traktoren ein umfangreiches Assistenzsystem an (Quelle: Claas)

Vorschläge zur Optimierung der Zugarbeit werden nicht nur für den Reifendruck und die Ballastierung, sondern auch für gerätespezifische Parameter, wie z. B. den Druck im Zugkraftverstärker, gemacht. Wenn die Vorschläge des Assistenzsystems vom Fahrer umgesetzt werden, kann der Fahrer anhand einer visuellen Darstellung die Auswirkungen der Änderung beurteilen. Entsprechend den Beurteilungen des Fahrers schlägt das System nächste Schritte vor. Diese Vorgehensweise ermöglicht eine fortlaufende Anpassung an die jeweiligen Arbeitsverhältnisse. „CEMOS für Traktoren“ wurde im Jahr 2020 von der DLG geprüft und mit dem Prüfzeichen DLG-ANERKANNT ausgezeichnet (Prüfbericht 7096).

## 7. Ausblick

Zukünftig können Assistenzsysteme den Aufwand für den Landwirt zur Optimierung der Zugarbeit erheblich verringern. Wenn Sensoren kontinuierlich Werte zu Schlupf, Zugkraft, Achslasten, Lastverteilung im Antriebsstrang, Reifendruck, Spurtiefe und auch Bodenkennwerten wie Bodenfeuchte und Bodenart liefern, könnten diese Assistenzsysteme auch automatisiert werden. In Verbindung mit variabler direkter und indirekter Ballastierung wäre damit auch unter Berücksichtigung der dynamischen Kräfte eine kontinuierliche Anpassung an wechselnde Einsatzbedingungen möglich.

## 8. Literatur

- [1] Brandhuber, R.; Demmel, M.; Koch, H.-J.; Brunotte, J.: Bodenschonender Einsatz von Landmaschinen. DLG-Merkblatt 344 (2008)
- [2] Uppenkamp, N.; Weißbach, M., Heitmann, G.: Reifen richtig wählen und einsetzen. DLG-Merkblatt 356 (2009)
- [3] Weißbach, M.: Wirkung von Fahrwerken auf den Boden, insbesondere im Grenzbereich Boden/Pflanze. Dissertation Kiel (1994)
- [4] Weißbach: Landtechnische Untersuchungen zur Wirkung bodenschonender Fahrwerke an Schleppern und Arbeitsmaschinen mit verschiedenen Radlasten. Habilitationsschrift Kiel (2003)
- [5] Tastowe, F.: Mit Straßenprofil auf den Acker. top agrar (2020) 7 S. 86–89
- [6] Berning, F.: Wie viel Diesel sparen Straßenreifen? top agrar (2016) 8 S. 92–93
- [7] Schäfer, N.: Industriebereifung zur Effizienzsteigerung der landwirtschaftlichen Straßentransporte. RKL-Schrift (2013) 03 S. 494–516
- [8] Wilmer, H.: Was kann der EvoBib besser? profi (2020) 5 S. 73-75
- [9] Volk, L.: „Arbeitsschuhe“ für den Schlepper. Getreidemagazin (2017) 6 S. 38–42
- [10] Renius, K.: Traktoren. München: BLV Verlagsgesellschaft 1985
- [11] Hörner, R.: Weniger Schlupf und schnellere Arbeit. profi (2005) 12 S. 49
- [12] Höner, G.: Hydraulisch mehr Ballast – schnell und wirksam? top agrar (2018) 3 S. 118–121
- [13] Wilmer, H.: Machen Sie einfach mehr Druck. profi (2005) 12 S. 46-47
- [14] Höner, G.: 250 PS-Duell: Allrounder gegen Ackerhirsch. top agrar (2019) 2 S. 82–89

# DLG-ANERKANNT. Qualität für die Praxis geprüft



**GESAMT-PRÜFUNG  
HERSTELLER  
PRODUKT**  
DLG-Prüfbericht 0000

**Erst informieren, dann investieren!**

4.000 Prüfberichte online unter [www.DLG-Test.de](http://www.DLG-Test.de)

[www.DLG.org](http://www.DLG.org)



# DLG-Merkblätter. Wissen für die Praxis.

- DLG-Merkblatt 424  
**Ackerbau zukunftsfähig gestalten**
- DLG-Merkblatt 388  
**Satellitenortungssysteme (GNSS)  
in der Landwirtschaft**
- DLG-Merkblatt 387  
**Anhängevorrichtungen an Traktoren**
- DLG-Merkblatt 356  
**Reifen richtig wählen  
und einsetzen**
- DLG-Merkblatt 344  
**Bodenschonender Einsatz  
von Landmaschinen**



Download unter [www.DLG.org/Merkblaetter](http://www.DLG.org/Merkblaetter)



**DLG e.V.**  
**Mitgliederservice**  
Eschborner Landstraße 122 • 60489 Frankfurt am Main  
Deutschland  
Tel. +49 69 24788-205 • Fax +49 69 24788-124  
Info@DLG.org • www.DLG.org