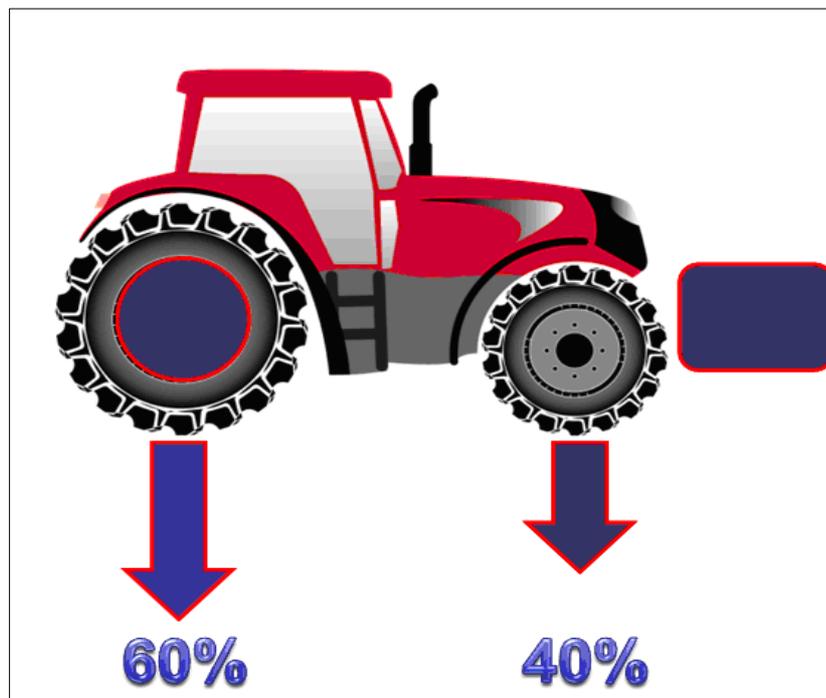




Einsparpotential am Schlepper durch richtige Ballastierung und Reifenwahl



Dr. Michael Weißbach

Einsparpotential am Schlepper durch richtige Ballastierung und Reifenwahl

RKL-Tagung Januar 2009

Dr. Michael Weißbach ist Mitglied der Geschäftsleitung von Grasdorf-Wennekamp, Ziegeleistraße 29, 31188 Holle, Tel.: (05062) 902-0, Fax: (05062) 20 20, E-Mail: info@grasdorf-rad.eu

Herausgeber:

Rationalisierungs-Kuratorium für Landwirtschaft (RKL)

Prof. Dr. Yves Reckleben

Am Kamp 15-17, 24768 Rendsburg, Tel. 04331-708110, Fax: 04331-7081120

Internet: www.rkl-info.de; E-mail: mail@rkl-info.de

Sonderdruck aus der Kartei für Rationalisierung

Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit Zustimmung des Herausgebers

Was ist das RKL?

Das Rationalisierungs-Kuratorium für Landwirtschaft ist ein bundesweit tätiges Beratungsunternehmen mit dem Ziel, Erfahrungen zu allen Fragen der Rationalisierung in der Landwirtschaft zu vermitteln. Dazu gibt das RKL Schriften heraus, die sich mit jeweils einem Schwerpunktthema befassen. In vertraulichen Rundschreiben werden Tipps und Erfahrungen von Praktikern weitergegeben. Auf Anforderung werden auch einzelbetriebliche Beratungen durchgeführt. Dem RKL sind fast 1400 Betriebe aus dem ganzen Bundesgebiet angeschlossen.

Wer mehr will als andere, muss zuerst mehr wissen. Das RKL gibt Ihnen wichtige Anregungen und Informationen.

Inhalt	Seite
1. Einführung	478
2. Weniger Spuren.....	478
3. Noch immer Pflegereifen	481
4. Reifen - immer größer?.....	483
5. Reicht die Radlast?.....	486
6. Fazit.....	491

1. Einführung

Beachtliche Reserven in Leistung und Kosten tun sich auf, wenn Landwirt und Händler im Beratungsgespräch die Ausstattung mit Reifen diskutieren. Beim Schlepper geht es im besonderen Maße darum, die Zugkraft zu übertragen, bei Anhänger und Mähdrescher verlagert sich der Anspruch auf die Wirkung auf den Boden, namentlich die Spurtiefe. Der Begriff „Schadverdichtung“ trifft hier nicht mehr zu, so wie er noch teilweise in der Wissenschaft benutzt wird.

In jedem Fall geht es darum, einen groß dimensionierten Breitreifen anzustreben, so sehr das Ausmaß an Grenzen stößt: Ob in der Fahrzeugbreite mit 3m beim Schlepper und 3,5m bei großen Arbeitsmaschinen oder dem Freiraum unterhalb des Fahrzeugs oder Mähdrescher. Dort werden Reifen mit 3 bar eingesetzt, während an der Vorderachse beispielsweise 1,8 bar genügen.

Mit dem richtigen Reifen lassen sich Kosten sparen und negative Folgen für die Arbeitsverfahren, etwa die pfluglosen, vermeiden. Dazu werden Beispiele vorgestellt.

2. Weniger Spuren

Der Sinn der Fahrgasse liegt darin, den Fahrverkehr auf eine Spur zu konzentrieren und damit die gesamte Fläche zu schonen. Folglich wird diese Spur häufig befahren, der Reifen sinkt mehr und mehr ein - oder man begegnet dem mit angepasster Bereifung.

Ein geringer Luftdruck vergrößert die Aufstandsfläche, der Reifen

- schiebt nicht so viel Boden vor sich her

- passt sich flexibel der Bodenoberfläche an, ohne den Boden zu verformen.

Wenn das nicht eingehalten ist, sind sie Folgen im Boden zu erkennen. In Abb. 1 kennzeichnen die dunklen Streifen die Fahrspuren, in früheren Messungen mit dem Horizontal-Penetrometer des Kieler Landtechnik-Instituts in 20 cm Tiefe erfasst. Zwischen den weiten Fahrgassen verlaufen die Spuren von Mähdrescher und Abfahrer. Dieser verfestigte Boden in der Krume wird gelockert, und das benötigt Kraft und Diesel, die bei richtiger Reifenwahl zu vermeiden wären.

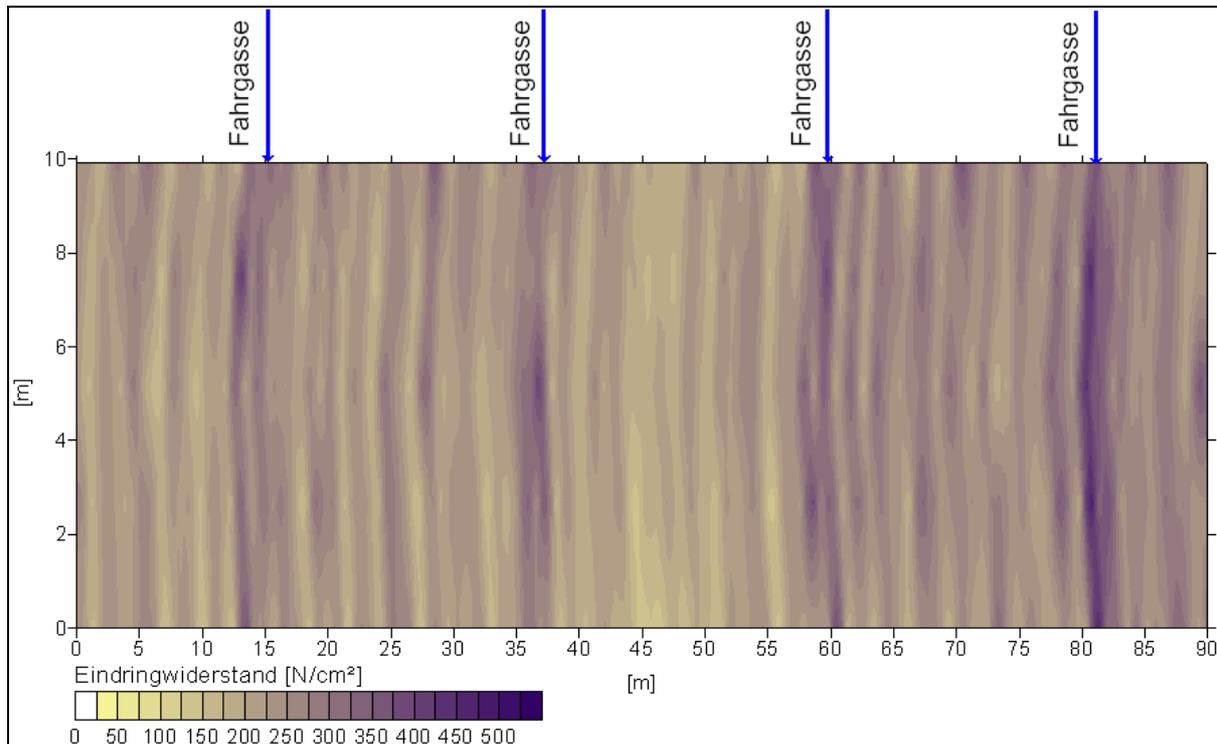


Abb. 1: Fahrspuren auf einer abgeernteten Getreidefläche, gemessen mit dem Horizontal-Penetrometer

Die falsche Bereifung findet sich am ehesten am Anhänger, häufig überaltert oder ehemals hinter dem Lkw gefahren. Die Abb. 2 vergleicht den Reifen für Lkw und Straße mit dem für den Acker. Der ist zwar etwas teurer, 1.200 € (runderneuert) gegenüber 2.800 € für vier Räder inklusive Felgen, aber er lohnt sich. Denn er hinterlässt eine wesentlich flachere Spur und rollt leichter ab.

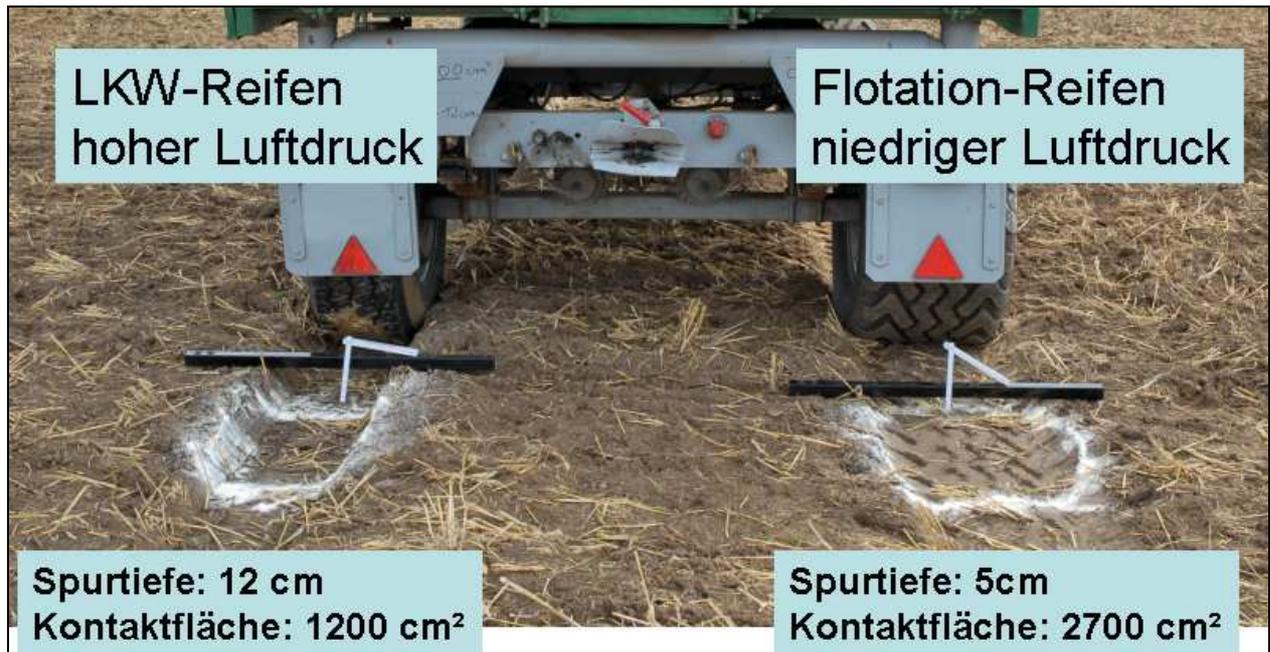


Abb. 2: Bereifung und Fahrspurtiefe am Anhänger (385/65 R 22.5 gegenüber 560/45 R 22.5)

Gewiss gehört der Reifen mit 6 bis 9 bar nicht auf den Acker; auf der Straße hingegen setzt die geringe Kontaktfläche nur geringen Rollwiderstand entgegen.

Je tiefer die Spur, desto tiefer muss der Grubber in den Boden. Der Zugkraftbedarf des Schleppers steigt, seine Flächenleistung sinkt, wie Tab. 1 für mehrere Parameter belegt. Angewandt auf das vorige Beispiel steigt der Dieserverbrauch im 5 l/ha, also 6 €/ha. Ein Betrieb mit 300 ha würde also 1.800 €/Jahr sparen, der Mehrpreis wäre also im ersten Jahr verdient. Angesichts der Laufleistung derartiger Reifen könnte die Investition 20.000 € für vier Reifen betragen. Tatsächlich verlangt der Händler 1.600 € mehr für den „guten“ Reifen gegenüber dem für die Straße.

Tab. 1: Einfluss der Arbeitstiefe auf Parameter zur Leistung

Arbeitstiefe [cm]	Geschwindigkeit [km/h]	Schlupf [%]	Zugleistung [kW]	Flächenleistung [ha/h]	Dieserverbrauch [l/ha]
10	7,6	5,1	59,7	2,3	8,5
15	6,8	10,5	71,9	2,0	11,6
20	5,7	22,4	77,3	1,7	19,4

3. Noch immer Pflegereifen

Dem Trend zum Breitreifen steht der Gedanke entgegen, sie könnten im Pflanzenbestand zu breite Spuren hinterlassen. Der Pflegereifen ist mit 300 mm so schmal, dass er in die Reihenkulturen und die noch verbreitete schmale Fahrgasse passt. Besonders widersprüchlich erscheint, wenn der Schlepper mit breiten Reifen eine Spritze mit Pflegereifen zieht. Doch die Tragfähigkeit wird angesichts des geringen Luftvolumens schnell überschritten, sie erfordert einen hohen Innendruck. Ihr Vorzug mag in dem großen Durchmesser liegen, also der hohen Bodenfreiheit für die Pflanzenschutzspritze. Dieser Vorteil geht verloren, da nach mehrmaligem Befahren die Spur immer tiefer wird.

Der Effekt tiefer Fahrgassenspuren haben wir gemeinsam mit Prof. Reckleben, FH Kiel, in Thüringen auf einem Praxisschlag von 900 m Länge untersucht. Statt Pflegereifen erhielt die Spritze die gleichen Reifen wie der Schlepper: den Michelin XEOBIB mit 650 mm Breite, dem auf dem Acker wie auf der Straße 0,8 bar genügen. Das Ergebnis spricht für sich: eine 15 cm tiefe Spur gegenüber 5 cm nach all den Überfahrten am Ende der Vegetation. Also auch hier die Aufgabe, diese Vertiefung wieder aufzuheben.

Dies ist gezielt mit einer Grubber-Scheibeneggen-Kombination (Centaur) durchgeführt, um die Unterschiede im Zugkraftbedarf zu verdeutlichen. Der Grubber arbeitete längs der Spur in allen Varianten mit 20 cm Tiefe.

Auf der unbefahrenen Fläche sind 50 kW Zuleistung (Unterlenker) nötig, die breite Fahrgasse erhöht ihn um 10 kW (Tab. 1). Die schmale Spur hingegen erfordert mit 80 kW wesentlich mehr. Der Unterschied in den Varianten fällt wesentlich stärker aus, wenn verfahrensbedingt nur die Fläche mit Pflegereifen tief gelockert wird, den übrigen reicht eine flachere Bearbeitung. Aufgrund der Daten in Abb. 3 erfolgt aus der um 10 cm vertieften Grubberarbeit ein Dieserverbrauch von 15 l/ha bzw. 18 €/ha, für den Fahrgassenstreifen und 3 m Arbeitsbreite. Angesichts des Abstandes der Fahrgassen ergeben sich 2 €/ha gesamter Fläche.

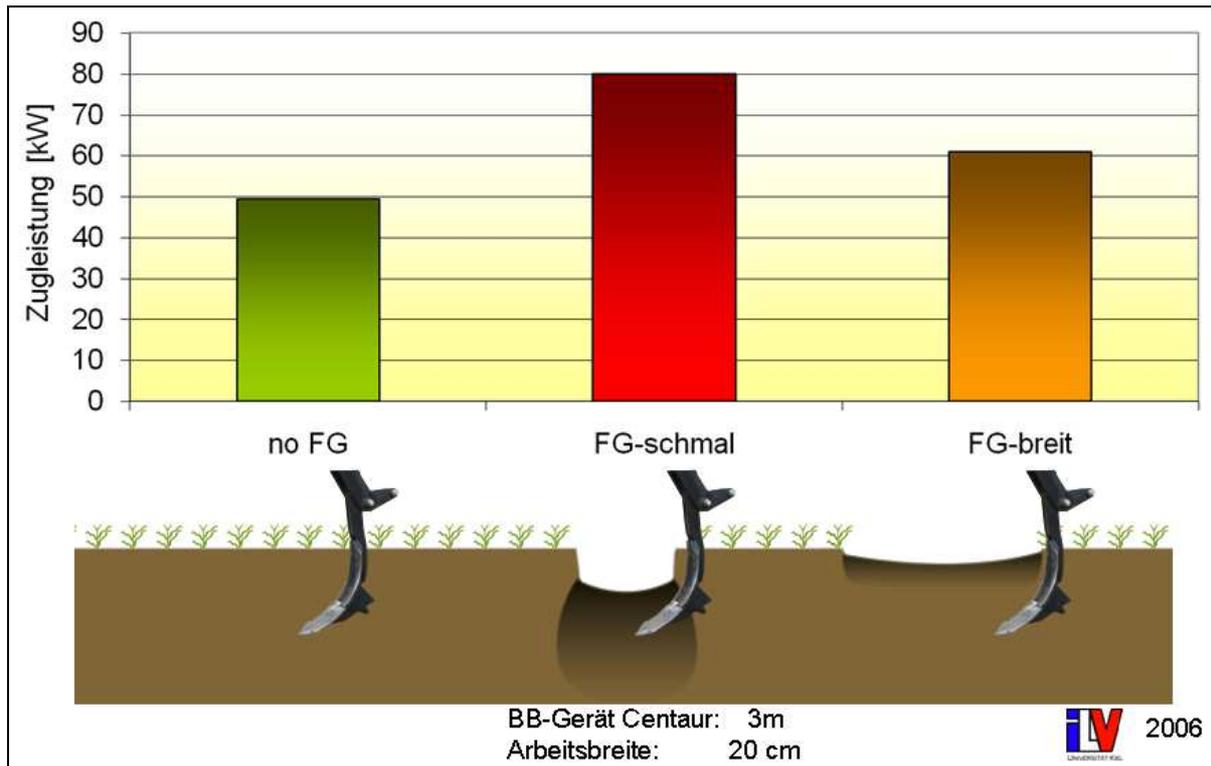


Abb. 3: Zugleistungsbedarf für den Grubber (20 cm tief) auf Streifen mit schmaler und breiter Fahrgasse

Wie wirkt sich die Breite der Fahrgassen auf den Ertrag aus? Angesichts des Abstandes von 27 m ergibt sich der nicht bestellte Flächenanteil von 3,3 % und 5,2 %. Beim Ertrag erwartet man einen Ausgleich, da die Reihen am Rand von mehr Sonne und Nährstoff profitieren.

Der Ertrag wurde ermittelt, indem der Mähdrescher mit seiner Schnittbreite von 7 m den Streifen mit Fahrgassen und parallel ohne Spur erntete. Das Ergebnis weist zunächst einen Unterschied von 12 % bei der breiten und 8 % bei der schmalen Fahrgasse auf. Beide Varianten mussten auf verschiedenen Schlägen angelegt werden, wie das Ertragsniveau andeutet. Innerhalb der Schlaglänge streut der Ertrag um +/- 10 dt/ha.

Korrekterweise muss man die Streifenerträge auf die Fläche umrechnen. Dann ergibt sich für die

- breite Fahrgasse ein Ertrag von 98 dt/ha, also 3 % Einbuße
- schmale Fahrgasse ein Ertrag von 119 dt/ha, also 2 % Einbuße.

Die Differenz beträgt also 1 % oder 20 €/ha, je nach Preisniveau. Das aber ist nur ein scheinbarer Effekt. Die negativen Folgen für den Boden stehen dem entgegen.

4. Reifen - immer größer?

Bodenschonung und Kraftübertragung weisen den Weg zu immer größer werdenden Reifen. Der Durchmesser steigt und hat 2,15 m erreicht (Abb. 4). Zusätzlich erhöht man das Luftvolumen, indem die Felge kleiner ausgelegt wird. Damit verringert sich der Umfang, also der Kontakt zwischen Felge und Wulst. Trotz der hohen Drehmomente, die ein Großschlepper mit 300 PS aufbringt, besteht kein Risiko, dass der Reifen auf der Felge wandert. Denn die Passung zwischen Reifen und Felge sowie die fachmännische Montage sind in den letzten Jahren wesentlich präziser geworden. Bei den 20.000 Felgen, die unser Unternehmen im Jahr produziert, ist in den beiden letzten Jahren kein Fall bekannt geworden.

- Der Trend geht zu großen Reifendurchmessern mit kleinen Felgen.
- Ziel: Erhöhung des Luftvolumens



Abb. 4: Entwicklung zu größerem Durchmesser des Reifens

Die Entwicklung von Technik und Dimension veranschaulicht Abb.5, für 40 km/h und 1 bar anhand von Beispielen der Fabrikate Continental und Michelin. Damit sind Werte zugrundegelegt, die für Acker und Straße gelten. Den Ausgangspunkt bildet der 20.8-Reifen, der im zweiten Fall mit der größeren Felge 10 cm im Durchmesser gewinnt. Die Breite von 650 mm wird mit unterschiedlichen Felgen ausgestattet. Die kleinere Felge und der auf 2,07 m erhöhte Durchmesser lassen ein höheres Luftvolumen zu und folglich eine mit 1,2 t deutlich höhere Tragfähigkeit. Dieser Wert lässt sich nochmals um 700 kg steigern, wenn bei gleicher Bauhöhe die Breite auf

900 mm erweitert wird. Der Felgendurchmesser bleibt gleich, das Querschnittsverhältnis verändert sich von 85 auf 60. Die Säulen daneben kennzeichnen nochmals die Wirkung von Breite und Höhe: Der schmalere 710-Reifen kompensiert dieses Maß mit dem Durchmesser.

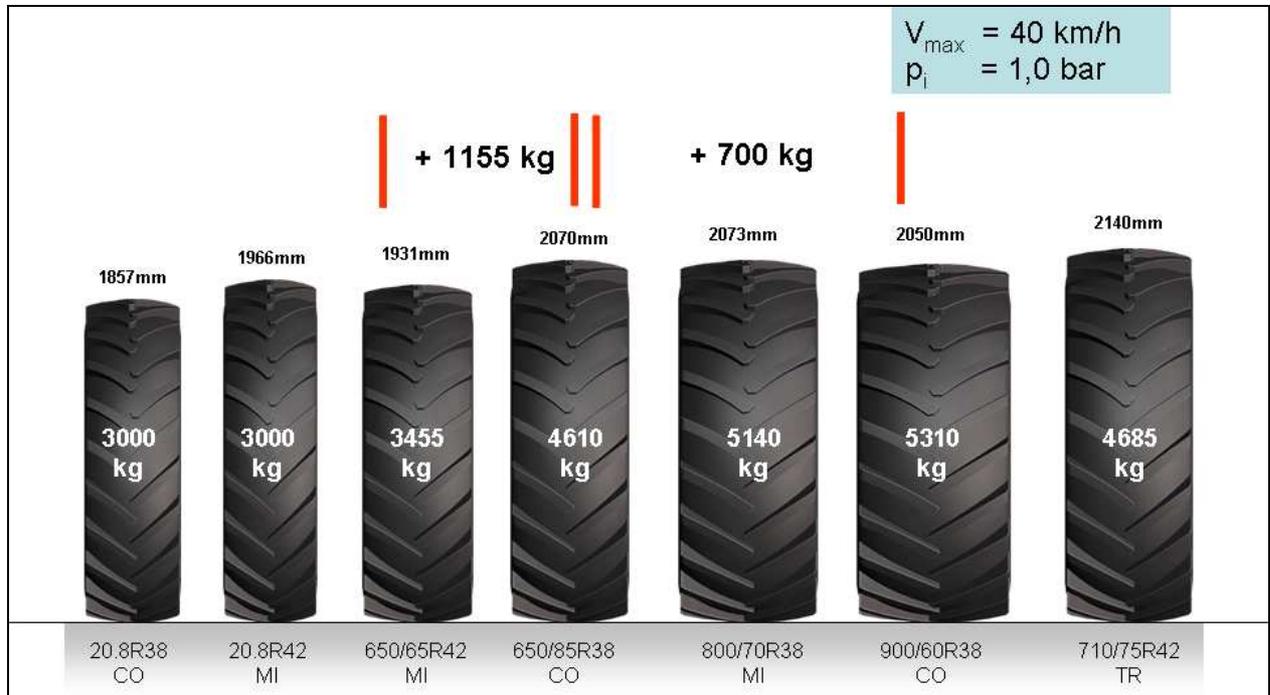


Abb. 5: Entwicklung der Radial-Reifen für Traktoren (Beispiele von Continental und Michelin)

Insgesamt zeigt Abb. 5 das breite Spektrum an Auslegungen für Großschlepper. Doch nicht jeder Reifen passt unter jeden Schlepper auf Grund des Freiraums im Bereich von Achse und Kotflügel sowie der Geräteanhangung. Allgemein gilt der Reifen mit 900 mm als Maximum, weil das zulässige Außenmaß des Schleppers von 3m noch einzuhalten ist.

Gewiss bedeutet ein Mehr an Reifendimension auch ein Mehr an Investition. Lohnt also der Effekt in der Praxis?

Dazu haben wir unter realen Bedingungen vergleichende Messungen durchgeführt. Der Schlepper zog mit konstanter, Tempomat-geführter Geschwindigkeit einen Grubber, der Status der Bereifung wurde variiert. Die Fahrzeit blieb gleich, also war über die zurückgelegte Strecke der jeweilige Effekt deutlich zu machen. Dieser Effekt und die gewählten Varianten veranschaulicht Abb. 6, ausgedrückt mit der rechnerischen Flächenleistung.

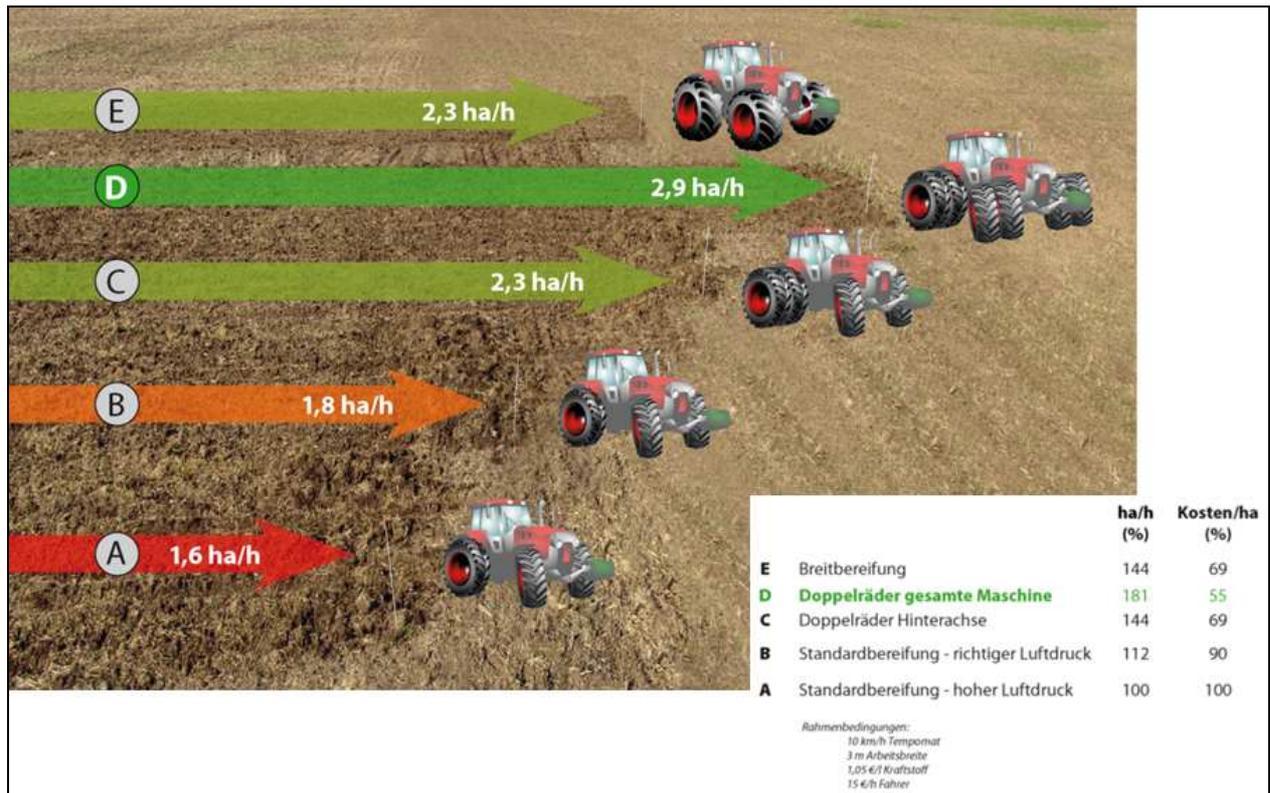


Abb. 6: Steigerung der Flächenleistung mit angepasster Reifenausstattung (Basis 135 kW)

Die Standardbereifung lässt erneut den Effekt des richtigen Reifeninnendruck mit 12% erkennen. Die Breitbereifung erzielt den gleichen Wert wie die Doppelräder an der Hinterachse - mit 2,3 ha/h knapp die Hälfte mehr als die Referenz. Wird zusätzlich die Vorderachse doppelt bereift, wächst der Effekt auf 80 %. Das gleiche Ergebnis von Breit- und Doppelrad erübrigt, Zwillinge zu montieren; man bleibt im vorgegebenen Außenmaß des Schleppers. In unserem Unternehmen war seit einigen Jahren aufgefallen, dass weniger Doppelräder nachgefragt wurden. Dennoch: Das gesamte Potential von Großschleppern lässt sich nur über Doppelräder an der gesamten Maschine ausschöpfen. Das aber bedeutet langwieriges Umbauen zwischen Feld und Straße.

All die Maßnahmen haben ihren Preis (komplett):

Standard	520/85 R 42 + 420/85 R 30	5.300 €
<u>Zwilling</u>		<u>6.800 €</u>
Breitreifen	710/70 R 38 + 600/70 R 30	8.600 €

Die höhere Investition lohnt dank geringerer Spuren und damit geringerer Arbeitstiefe. Angesichts der Lebensdauer von einigen 1000 ha liegt der Mehrpreis um 1 €/ha.

5. Reicht die Radlast?

Zur Zugkraftübertragung gehört eine ausreichende Gewichtskraft. Denn das Eigengewicht steht in direktem Zusammenhang mit der Zugkraft, diese wiederum hängt von der Kontaktfläche zwischen Rad und Boden ab.

In der Tendenz sind die Schlepper leichter geworden - ausgedrückt in Gewicht je kW Motorleistung (Abb. 7). Der Unterschied von 55 bzw. 35 kg/kW für den kleineren bzw. großen Schlepper wird ausgeglichen, wenn die Maschine zusätzlich ballastiert wird. Das gelingt bei dem großen mit 225 kW in geringem Maß - dort also müsste die Ballastierung hinten und vorn besonders sorgfältig auf das Verhältnis von 60:40 abgestimmt sein (Abb. 8).

<p>Motorleistung: 135 kW Gesamtgewicht: 7500 kg Leistungsgewicht: 55 kg/kW</p> 	<p>Motorleistung: 225 kW Gesamtgewicht: 8000 kg Leistungsgewicht: 35 kg/kW</p> 
<p>Motorleistung: 135 kW Gesamtgewicht: 11000 kg Leistungsgewicht: 81 kg/kW</p> 	<p>Motorleistung: 225 kW Gesamtgewicht: 11000 kg Leistungsgewicht: 49 kg/kW</p> 

Abb. 7: Leistungsgewicht von Schleppern mit und ohne Ballastierung

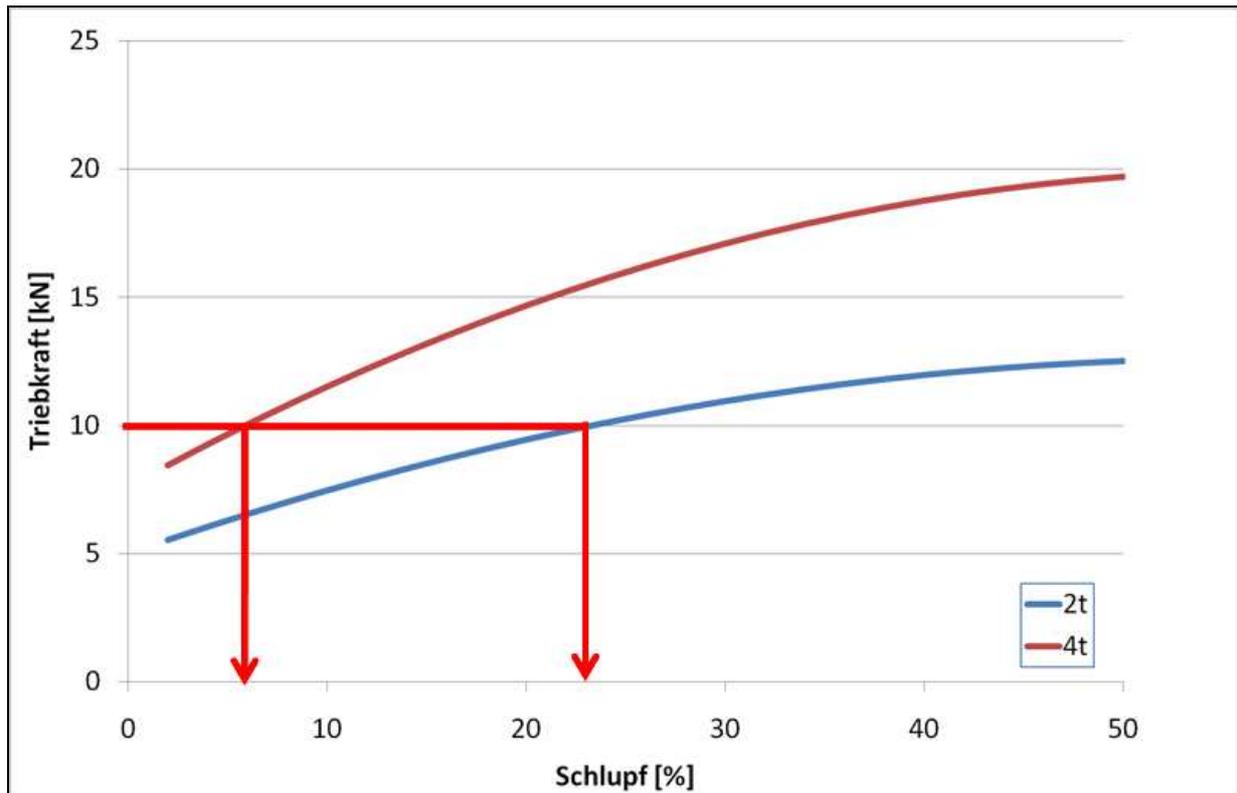


Abb. 8: Triebkraft, Radlast und Schlupf

Zur Veranschaulichung geben die beiden Kurven für 2 und 4 t Radlast die Zugkraft über dem Schlupf wieder. Soll der Schlepper 10 kN Zugkraft aufbringen, schafft er das bei hoher Radlast mit 6 %, bei niedriger mit 23 % Schlupf. Diese Differenz legt also nahe, den leichten Schlepper zu ballastieren, um den höheren Schlupf von 17 % zu mindern, unnötigen Verschleiß sowie Einsatz an Zeit und Diesel zu sparen. Dazu gibt es mehrere Möglichkeiten (Abb. 9).

- Wasser in den Reifen
- Frontgewicht
- Radgewicht
- Gewichtsverlagerung vom Anbaugerät über den Oberlenker auf den Schlepper
- Heckgewicht

Abb. 9: Möglichkeiten zur Ballastierung

Den Vorzügen stehen auch Nachteile gegenüber (Abb. 10). Die zusätzlichen Massen sind zu beschleunigen und zu bremsen. Sie sind konstruktionsbedingt nicht ganz einfach unterzubringen. Gern schraubt man sie in die Felge, je nach Anzahl auch an die Innenseite. Dann aber wird die Radmontage arg erschwert. Im Rad bietet sich aus Sicht des Schlepperherstellers der beste Platz, da er direkt an der Hinterachse liegt. Der Anbieter von Felgen sieht aber einen kritischen Punkt: Handelsübliche Gussteile sind mit pragmatischen Toleranzen gefertigt. Darin liegt das Risiko von Unwucht, die mit zunehmender Geschwindigkeit zum Schaukeleffekt führt. Nicht das Rad hat einen Höhengschlag sondern das eingebaute Zusatzgewicht.

- **Vorteile**

- Erhöhung der Zugkraft
- Weniger Schlupf
- Kosteneinsparung

- **Nachteile**

- Zusätzliche Anbauteile
- Zusätzliche Massen müssen beschleunigt und abgebremst werden
- Unwucht an den Rädern

Abb. 10: Vor- und Nachteile der Ballastierung

Eine weitere Möglichkeit zu ballastieren, bietet das Wasser im Reifen. Deren großes Volumen nimmt ca. 3 t in allen vier Rädern auf. Das bringt Vorteile für die Zugkraft auf dem Acker, aber Nachteile auf der Straße. Es bleibt ungewiss, wie sich die hohe Masse in der Dynamik hoher Geschwindigkeit und Längs- oder Querbeschleunigung verhält. Wir raten im Grunde von dieser Lösung ab.

Als Alternative steht das Heckgewicht mit 1,2 t zur Verfügung. Das zwischen der Anhängung Schlepper-Gerät montiert wird. Dieser Weg wurde von uns konzipiert. Er stieß anlässlich der „agritechnica 2007“ auf großes Interesse. Den Erfolg gibt Tab. 2 wieder. Das übliche Frontgewicht wird durch das hintere ergänzt. Damit tritt weniger Schlupf auf, der Dieserverbrauch sinkt um mehrere l/ha.

Tab. 2: Ballastierung und Dieserverbrauch

Front [kg]	Heck [kg]	Dieserverbrauch [l/ha]	Dieserverbrauch [€/ha]
750	-	15,3	18
750	1264	9,4	11
1000	-	15,2	18
1000	1264	8,2	10

Das Ausmaß, zusätzliche Massen beschleunigen zu müssen, ist in einem gemeinsamen Versuch mit der TU Braunschweig festgestellt. Ein Schlepper mit 9 t Eigengewicht wurde zusätzlich mit 2 t belastet, und zwar in Form des Rad- oder des Heckgewichtes. Die Fahrt führte durch den Ort, über Land und über Feldwege, um ein praxisgemäßes Spektrum zu schaffen.

Die Ergebnisse werden der Anschaulichkeit wegen auf das ganze Jahr bezogen, in dem der Schlepper mit 500 h etwa die Hälfte seiner Zeit auf der Straße fährt (Tab. 3). Das Zuviel an Masse kostet also gut 1.000 € im Jahr mehr. Allerdings besteht entgegen der Erwartung kein Unterschied zwischen dem Radgewicht und der eigenen Lösung im Heck.

Tab. 3: Dieserverbrauch des Schleppers mit unterschiedlicher Ballastierung während der Straßenfahrt

	ohne Gewicht	Gewicht in Felge	Gewicht im Heck
Verbrauch (l in 500h)	4.800	5.700	5.700
Mehrverbrauch (l/Jahr)	---	900	900
Mehrkosten (€/Jahr)	---	1.080	1.080

Hervorzuheben ist das richtige Ausmaß der zusätzlichen Last: vorn darf nicht mehr als 40% des Gesamtgewichts aufgebracht werden. Es könnte zu Schäden an der Achse kommen. Um das Verhältnis 60:40 einzuhalten, muss man die tatsächlichen Achslasten mit dem jeweiligen Gerät in Arbeitsposition kennen. Die gesamte Einheit gehört also Achse für Achse auf die Waage, um die reale Rad- bzw. Achslast zu kennen. Danach kann man ballastieren sowie den Reifeninnendruck richtig einstellen.

Im System Schlepper-Gerät liegt die Chance, die Kräfte der Dreipunktaufhängung zu nutzen. Aus einem unserer Versuche stammen die Messkurven in Abb. 11. In beiden Unterlenkern treten Zugkräfte von gut 20 kN auf, der Oberlenker übt in etwa gleichem Maß Druck auf das Heck des Schleppers aus.

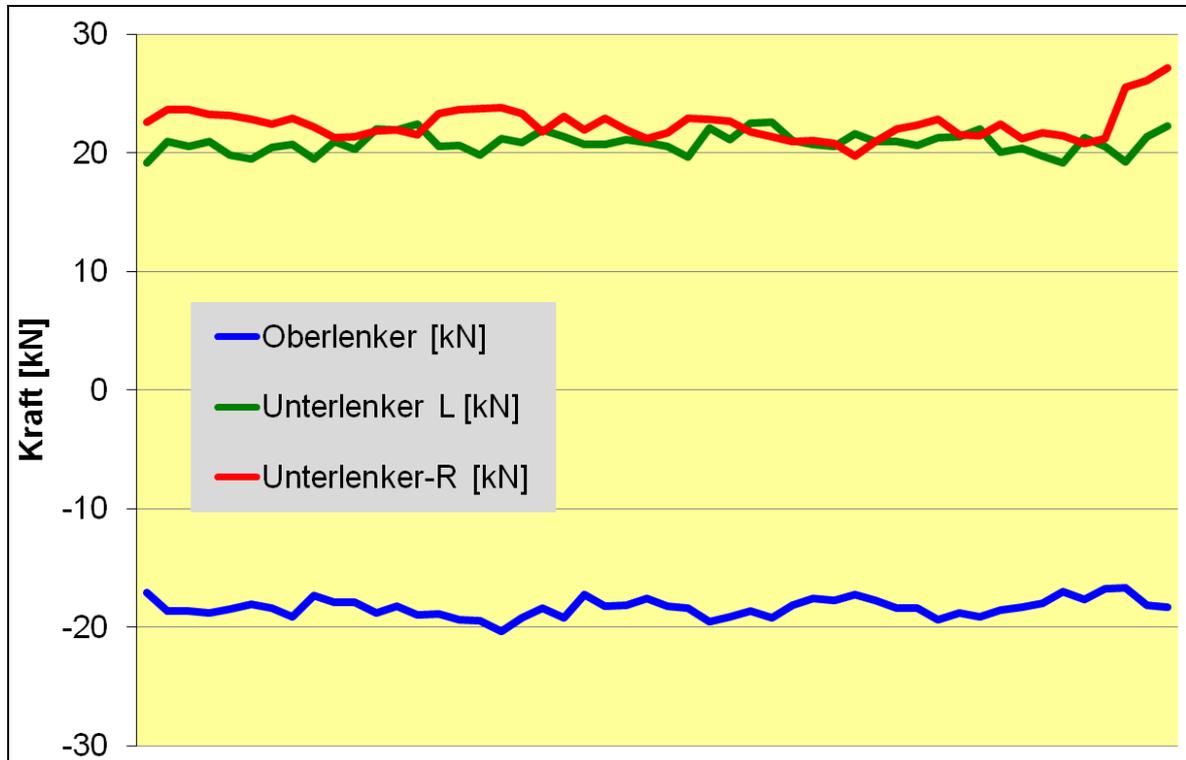


Abb. 11: Kräfte zwischen Dreipunkt-Anhängung und Gerät

Die bisherigen Lösungen beruhen auf der statischen Achslastverteilung. Während der Arbeit aber können sich die Achslasten ändern. Durch Regelhydraulik oder mitgeführte Last in dem Anbaustreuer oder der Pflanzenschutzspritze, der Aufsattellast des Einachskippers. Noch bedeutsamer ist das bei selbst fahrenden Arbeitsmaschinen, also Mähdrescher oder Rübenroder, wenn der Bunkerinhalt wechselt. Hier gehen wir einen neuen Weg, der in einem gemeinsamen Projekt der Kieler Landtechnik mit der FAL, heute von Thünen-Institut (vTI), entwickelt ist. Im Reifeninnern wird ein Abstands-Sensor installiert, der den Abstand zwischen Felge und Reifenmitte misst (Abb. 12), also die Einfederung.

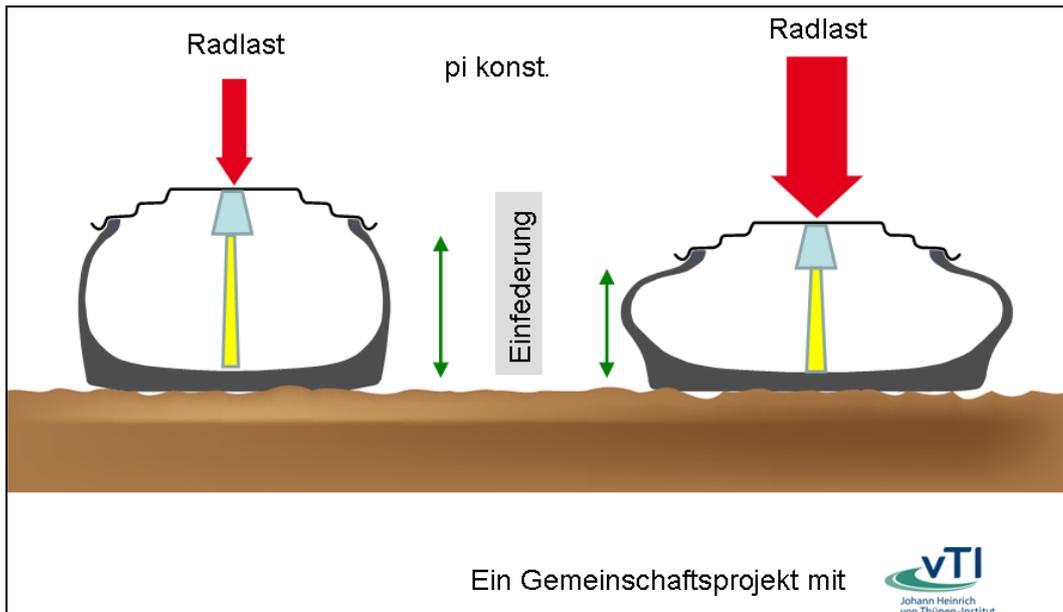


Abb. 12: Abstands-Sensor im Reifen für die dynamische Radlast

Sie hängt von Luftdruck und Radlast ab. Den Mindestwert, also geringsten Abstand, legt der Hersteller fest in Form der Reifentabelle. Es wäre also der Betriebszustand, der aus Sicht der Haltbarkeit des Reifens wie aus Sicht des Bodens einzuhalten ist. Wir haben vom Unternehmen aus gemeinsam mit Dr. Brunotte des vTI einen Schlepper mit der Technik ausgestattet, um näheren Einblick in das dynamische Verhalten des Reifens und die wirksame Radlast zu erhalten. Dann wollen wir den Kunden Empfehlungen zu Radlastverlagerung und Reifeninnendruck geben.

6. Fazit

In der Fahrwerksausstattung liegen beachtliche Reserven für Leistung und Kosten von Schlepper, Anhänger oder Arbeitsmaschine.

Tiefe Spuren lassen sich mit Breitreifen vermeiden. Mancher Praktiker scheut sich, sie in Fahrgassen einzusetzen. Aber der Pflegereifen hinterlässt eine sehr tiefe Spur, die zu erhöhtem Aufwand in der Bodenbearbeitung führt. Der erhöhte Anteil nicht bewachsener Fläche wirkt sich letztlich nicht aus.

Die Dimension von Reifen ändert sich: der Durchmesser nimmt zu, die Felge wird kleiner, um insgesamt ein höheres Luftvolumen und geringen Reifeninnendruck zu schaffen.

Bei allem Streben nach Bodenschonung - zur Übertragung von Zugkräften gehört eine ausreichende Gewichtskraft. Je höher die Motorleistung von Schleppern, desto geringer wird sie. Daher kann die richtige Ballastierung vorn und hinten den Schlupf senken und die Flächenleistung steigern. Um die Verhältnisse exakt abzustimmen, sollten die Achslasten mit abgesenktem Gerät auf der Waage festgestellt werden.