



Hochschule Neubrandenburg
University of Applied Sciences

Fachbereich Agrarwirtschaft und Landschaftsarchitektur

Fachgebiet Landtechnik

Prof. Dr. Ludwig Popp

Dr. Michael Weißbach

“Bachelorarbeit“

**Zugkraftübertragung von Schlepperreifen bei der Stoppelbearbeitung mit
unterschiedlichen Profilhöhen**

von
Ingo Hoppe

August 2009

urn:nbn:de:gbv:519-thesis2009-0226-7

I

Inhaltsverzeichnis

Seite

| | |
|--|----|
| 1. Einleitung | 5 |
| 1.1. Problemstellung | 6 |
| 1.2 Zielsetzung | 7 |
| 2. Stand des Wissens | 7 |
| 2.1. Bodenbelastung und Bodenverformung | 8 |
| 2.1.1. Kontaktfläche | 9 |
| 2.2. Wechselwirkung zwischen Maschine und Boden | 11 |
| 2.3. Leistungsverluste vom Motor zum Reifen | 13 |
| 2.4. Aufbau des Reifens | 14 |
| 2.4.1. Reifenabmessungen und Reifenkennzeichnung | 15 |
| 2.4.2. Diagonal- und Radialreifen | 17 |
| 2.4.3. Anforderungen an Ackerschlepperreifen | 19 |
| 2.5. Ballastierung | 19 |
| 2.6 Schlupf | 22 |
| 2.7. Luftdruck | 24 |
| 3. Material und Methoden | 26 |
| 3.1 Versuchsstandort | 26 |
| 3.2. Maschinen und Geräte | 27 |
| 4. Durchführung des Versuches | 31 |
| 5. Ergebnisse und Diskussion | 34 |
| 5.1. Schlupf | 35 |
| 5.2. Fahrgeschwindigkeit | 38 |
| 5.3. Kraftstoffverbrauch | 41 |
| 5.4. Kostenrechnung | 44 |
| 6. Schlussfolgerungen und Ausblick | 47 |
| 7. Zusammenfassung | 49 |
| 8. Danksagung | 50 |
| 9. Quellenverzeichnis | 51 |

II

Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Abbildung 1: Bodendruck bei größerer Kontaktfläche | 9 |
| Abbildung 2: Kräfte am angetriebenen Rad | 10 |
| Abbildung 3: Kraftschluss mit dem Boden | 10 |
| Abbildung 4: Rollwiderstand am angetriebenen Rad in der Ebene | 11 |
| Abbildung 5: Energiefluss beim Traktor | 12 |
| Abbildung 6: Bezeichnung von Traktorreifen | 15 |
| Abbildung 7: Unterschiede zwischen Radial- und Diagonalreifen | 17 |
| Abbildung 8: Gewichtsentwicklung bei Traktoren | 19 |
| Abbildung 9: Versuchsfeld unbearbeitet | 26 |
| Abbildung 10: John Deere 8520 | 29 |
| Abbildung 11: Lemken Smaragd | 30 |
| Abbildung 12: Schlupf bei einem Luftdruck von 1,5 bar | 34 |
| Abbildung 13: Schlupf bei einem Luftdruck von 0,9 bar | 34 |
| Abbildung 14: Gegenüberstellung des Schlupfes bei 0,9 und 1,5 bar | 35 |
| Abbildung 15: Energieverluste eines Allradschleppers in Abhängigkeit des Schlupfes | 36 |
| Abbildung 16: Einfluss der Fahrbahn auf Zugkraft und Schlupf eines luftbereiften Ackerschleppers | 36 |
| Abbildung 17: Fahrgeschwindigkeit mit einem Luftdruck von 1,5 bar | 37 |
| Abbildung 18: Fahrgeschwindigkeit mit 0,9 bar Luftdruck | 38 |
| Abbildung 19: Gegenüberstellung der Fahrgeschwindigkeiten mit hohem und niedrigem Luftdruck | 39 |
| Abbildung 20: Vergleich Reifen glatt 0,9 bar, Reifen voll 1,5 bar | 40 |
| Abbildung 21: Kraftstoffverbrauch bei einem Luftdruck von 1,5 bar | 41 |
| Abbildung 22: Kraftstoffverbrauch bei einem Luftdruck von 0,9 bar | 42 |
| Abbildung 23: Gegenüberstellung des Kraftstoffverbrauchs bei hoher und niedriger Luftdruckeinstellung | 42 |
| Abbildung 24: John Deere 8520 mit Lemken Gigant 800 | 49 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|--|----|
| Tabelle1: Profilhöhen der Radsätze | 27 |
| Tabelle2: Technische Daten John Deere 8520 | 27 |
| Tabelle3: Ergebnisse der Versuchsfahrten | 33 |
| Tabelle4: Berechnung der Leistungen und Kosten der verschiedenen Profilhöhen | 44 |
| Tabelle5: Bearbeitungskosten des Beispielbetriebes | 45 |

1. Einleitung

Grundlage für die Produktion landwirtschaftlicher Erzeugnisse ist der Boden, dessen Ertragsfähigkeit zu erhalten und zu verbessern ist das Ziel des Landwirts. Dieses Verhalten wird mit den Begriffen „Nachhaltigkeit“ sowie „guter fachlicher Praxis“ beschrieben. Für die Erreichung dieses Zieles hat der Landwirt in der heutigen Zeit viele Möglichkeiten bezüglich des Anbauverfahrens und des Maschineneinsatzes.

Bei jedem Arbeitsvorgang werden in der Regel Ackerschlepper mit Reifenfahrwerken für die Bewältigung der Zugarbeit eingesetzt, deren größte Bauteile sind die Reifen. Diese stellen die direkte Verbindung zwischen Maschine und Boden dar. Bei Fahrt der Maschine wird die mechanische Bewegung des Schleppers auf den Untergrund übertragen, dieser besitzt je nach Ausgangsmaterial, Bearbeitungs- und Witterungseinflüssen unterschiedlichste Eigenschaften. Landmaschinen bewegen sich zwangsläufig auch im Straßenverkehr und unterliegen somit während der Fahrt auf öffentlichen Straßen der Straßenverkehrsordnung. Dabei treten unter anderem Konflikte mit breiten Reifen auf, doch die Breite ist für die Verminderung des Bodendruckes notwendig, da diese mit zunehmender Breite eine größere Aufstandsfläche besitzen und damit einen geringeren Druck auf den Boden übertragen. Doch immer größer werdende Reifen stellen auch einen immer größeren finanziellen Posten in der Nutzung der landwirtschaftlichen Zugmaschinen dar.

Diese Bachelorarbeit beschäftigt sich mit den ökonomisch idealen Profilhöhen und dem Zeitpunkt einer Neuanschaffung von Reifen. Der Reifen ist ein Verschleißteil und unterliegt damit einer begrenzten Nutzungsdauer, die jedoch nicht eindeutig definiert ist. Besonderer Beachtung gilt in diesem Zusammenhang dem Schlupf der Reifen, den Luftdrücken für Schlepperreifen, dem Kraftstoffverbrauch pro Flächeneinheit sowie dem zeitlichen Mehraufwand für die Arbeitserledigung. Für eine Bestimmung der verursachten Kosten ist eine Datengrundlage notwendig, diese wird durch einen praktischen Versuch in dieser Arbeit erstellt.

1.1. Problemstellung

Alle Maßnahmen, wie Bodenbearbeitung, Bestellung, Düngung, Pflege sowie der Ernte erfolgen unter heutigen Rahmenbedingungen mit hochwertigen und leistungsstarken Maschinen, die aus Gründen der termingerechten, fachlich richtigen und exakten Arbeitserledigung kosteneffizient eingesetzt werden müssen.

Maschinen und Fahrzeuge wirken auf den Boden durch verschiedene, in der Kontaktfläche auftretenden Kräfte. Dies sind zum einen vertikal wirkende Kräfte, die durch das Eigengewicht der Maschine sowie der Zuladung entstehen und zum anderen sind es horizontal wirkende Kräfte, die bei angetriebenen und gelenkten Fahrwerken auftreten. Die aus der Belastung resultierende Verdichtung des Bodens ist von mehreren Faktoren abhängig. Die Belastung in den Fahrspuren setzt sich aus Fahrzeugmasse, Bodenart und Bodenzustand, Fahrwerk und der Antriebskraft zusammen. Da der Landwirt auf die Bodenart und die Witterung keinen Einfluss nehmen kann, bleibt nur die Möglichkeit zum idealen Zeitpunkt und mit einer möglichst auf die Bedingungen angepassten Maschine zu arbeiten.

Die Energieumsetzung zum Beispiel bei der Bodenbearbeitung kann stark beeinflusst werden, denn durch verschiedene Maßnahmen kann der Schlupf auf ein ideales Maß von ca. 10% eingestellt werden. Möglichkeiten dafür sind die Auswahl und Einstellung des Fahrwerkes, sowie die Ballastierung und Einstellung des Traktors.

In der heutigen Zeit, in der die Rohstoffkosten stetig steigen, ist daher der kostengünstige Einsatz der Maschinen notwendig. Dabei stellt sich die Frage, ab welcher Profilhöhe ein kostengünstiger Einsatz nicht mehr gegeben ist bzw. wann ist es aus wirtschaftlicher Sicht rentabel, auf Grund des geringeren Energieeinsatzes und damit besserer Zugleistung und der daraus resultierenden höheren Arbeitsproduktivität die alten Reifen gegen neue zu ersetzen.

1.2 Zielsetzung

Die Maschinen und Traktoren in der Landwirtschaft sind in den letzten Jahren erheblich schwerer und leistungsstärker geworden. Jedoch stiegen die Achslasten und die Kontaktflächen nicht in dem gleichen Maße wie die PS-Größe der Traktoren. Daher ist das Leistungsgewicht reduziert. Das stellt neue Anforderungen an die Nutzung der Traktoren, da ohne zusätzliche Maßnahmen zwangsläufig die Kraftübertragung schlechter wird. Aus diesem Grund ist es notwendig Kenntnisse darüber zu erlangen, wie groß die Abnutzung der Reifen sein sollte, um eine ausreichende Zugkraftübertragung zu gewährleisten.

Ziel dieser Bachelorarbeit soll es ein, Reifen mit unterschiedlicher Profilhöhe in einem praktischen Versuch auf die Effizienz, den verursachten Kosten bei der Bodenbearbeitung in Form von Stoppelbearbeitung zu unterscheiden. Dafür werden verschiedene Messungen im praktischen Einsatz durchgeführt und ausgewertet. Das Ergebnis soll Aufschluss darüber geben, wieviel Profilhöhe auf den Reifen für die Stoppelbearbeitung notwendig ist.

2. Stand des Wissens

Um uns selbst oder ein beliebiges Objekt an einen anderen Ort zu bewegen muss eine Kraft und somit Energie aufgewendet werden. (VINCKEN, D., 2005) Bei einem Kraftfahrzeug bedeutet dies den Verbrauch von Kraftstoff. (MICHELIN, DER REIFEN, 2005) Der Kraftaufwand hängt von mehreren Faktoren ab welche sich gegenseitig addieren und in

- Rollwiderstandskraft (F_{RR})
- Aerodynamische Kräfte (F_{AERO})
- Fahrzeuginnere Reibungskräfte (F_{reib})
- Gravitationskräfte (F_G) → Hangabtriebskräfte
- Trägheitskräfte ($F_{träg}$)

unterschieden werden.

Die Summe dieser Kräfte ergibt den Gesamt-Fahrwiderstand (F_{FW}).

(VINCKEN, D., 2005)

Beim Einsatz landwirtschaftlicher Maschinen und Geräte sind aufgrund der vergleichsweise langsamen, konstant bleibenden Geschwindigkeiten die Kräfte F_{AERO} und $F_{TRÄG}$ zu

vernachlässigen. F_{RR} und F_{Reib} hingegen verzehren zwischen 25% und 40% des gesamten Energie-Inputs bei landwirtschaftlichen Zugarbeiten. Aus eigenen Messungen bleibt festzuhalten, dass in der landwirtschaftlichen Praxis mit Wirkungsgraden von 12%-25% gearbeitet wird. Dieser Unterschied, von bis zu 200%, bezogen auf den Input, ist vornehmlich auf das Handlungsgeschick des Anwenders zurück zu führen. (VOLK 2006-2007)

Der Faktor F_{Reib} ergibt sich aus den Reibungskräften innerhalb des Antriebsstranges: Reibungskräfte im Getriebe, im Differenzial, in den Radnaben, den Radlagern sowie in den Bremsanlagen.

Der Rollwiderstand ist als der Energieverbrauch des Reifens bezogen auf die zurückgelegte Strecke definiert und begründet sich durch den Rollwiderstandskoeffizienten C_{RR} . Dies ist eine dimensionslose Zahl, die in Prozent angegeben wird und den Koeffizienten von Gewichtskraft und Rollwiderstandskraft darstellt. Bsp.: „14 kg/t“ bedeutet, dass bei einer Radlast von 1t eine Rollwiderstandskraft von 140 N besteht. (ISO 8767, 2000)

Der Wert des Rollwiderstandes entsteht nicht allein aus der Gewichtskraft und den elastischen Eigenschaften des Gummis, sondern wird erheblich von den Eigenschaften des Untergrundes beeinflusst. Denn je weicher und verformbarer der Untergrund ist, desto stärker wird dieser während der Überfahrt verformt. Die für die Verformung benötigte Energie bildet in der Summe mit der für die Verformung der Reifen notwendigen Energie den Wert F_{RR} . Der Untergrund für Traktoren in der Landwirtschaft ist in der Regel der Boden, dieser weist nur geringe physikalische elastische Eigenschaften auf. Daher bildet sich während der Überfahrt eine Fahrspur, durch die plastische Verformung des Bodens.

2.1. Bodenbelastung und Bodenverformung

Aus der Vergangenheit betrachtet sind die Radlasten sowie die Kontaktflächendrücke gestiegen, einzig die Überrollhäufigkeit hat abgenommen, das ist ein Effekt größerer Arbeitsbreiten, welche nicht nur aus energiewirtschaftlicher Sicht, sondern auch unter Bodenschutzgesichtspunkten sinnvoll ist. (ZAPF, R., 1997)

Der Boden ist Pflanzenstandort und Fahrbahn zugleich, und somit besitzt er eine wichtige Funktion zur Sicherstellung der Fortbewegung in möglichst breiten Zeitfenstern und mit möglichst geringen Energieverlusten. Eine gute Fahrbahn zeichnen Tragfähigkeit und gutes Gefüge aus. Erhöhte Lagerungsdichten können auch durch Bodenschadverdichtungen hervor

gerufen werden. Von einer Schädverdichtung wird erst dann gesprochen, wenn die Gefügeveränderung negative Auswirkungen auf einzelne Bodenfunktionen hat (Produktionsfunktion, Lebensraumfunktion, Regelungsfunktion). Die Entstehung einer Bodenschädverdichtung ist abhängig vom Standort, der aktuellen Bodenfeuchte zum Zeitpunkt des Befahrens, der Bodenbearbeitung sowie der eingesetzten Maschine.

(SOMMER, C. UND BRUNOTTE, B. 2001)

Radlast bzw. Kontaktflächendruck sind die mechanische Bodenbelastung. Die hierdurch zugeführte Kraft verursacht bei Überschreitung der Eigenstabilität des Bodengefüges Bodenverformungen. Sobald die Bodenverformung das Maß erreicht hat, bei dem die Bodenfunktionen beeinträchtigt sind, handelt es sich um eine Bodenschädverdichtung. Bodenschädverdichtungen entstehen hauptsächlich durch die mechanische Belastung infolge des Befahrens, umgekehrt mit sinkender Bearbeitungsintensität steigt die Tragfähigkeit der Böden. (SOMMER, C., 1999)

Die Kräfte werden über die Kontaktfläche Rad-Boden in den Boden eingeleitet und wirken dort als Bodendruck. Die notwendigen Gegenkräfte stellen im Boden die Reibungsspannung der Kontaktpunkte zwischen den Bodenteilchen und die Wasserspannung in den Menisken (Wölbung der Oberfläche einer Flüssigkeit) zwischen den Bodenpartikeln. Reicht die verfügbare Gegenkraft nicht aus, wird der Boden verformt. Im Grenzbereich kann der Boden elastisch reagieren, das heißt nach Beendigung des Druckimpulses kehren die Bodenteilchen zumindest teilweise wieder in ihre Ausgangsposition zurück. Der als Bodenspannung ausgedrückte Umkehrpunkt von vorwiegend elastischer- zu überwiegend plastischer Verformung, wird als „Vorbelastung“ bezeichnet. Plastische Verformung bedeutet die Zunahme der Kontaktpunkte und damit der mobilisierbaren Reibspannung als Gegenkraft. Der Boden erwirbt höhere Tragkräfte, die aber mit dem Verlust von luftführenden und wasserleitenden Grobporen verbunden ist. Dieser Vorgang findet in unterschiedlichem Ausmaß bei jeder Überrollung statt, zumindest im Bereich des Stolleneingriffs. (HORN, R. UND LEBERT, M., 1991)

2.1.1. Kontaktfläche

Durch die Veränderung der Reifensysteme und der Reifeninnendrucke ist zu erwarten, dass sich ebenfalls die Kontaktflächen verändern. Eine große Kontaktfläche verringert bei gleicher

Radlast die Bodenbelastungen und trägt zur Verbesserung der Zugkraft bei. Radiale Reifen stützen das Gewicht des Traktors fast vollständig über das im Reifen gespeicherte Luftvolumen ab. Das bedeutet, dass der Kontaktflächendruck dem im Reifen eingestellten Luftdruck näherungsweise gleichgesetzt werden kann. (WEISSBACH, M., 2003)

Folgende Annahme wurde getroffen:

$$P_K = \frac{F}{A}$$

P_K = Kontaktflächendruck [bar] F = Radlast [kg] A = Kontaktfläche [cm²]

Formel 1: Der Kontaktflächendruck

Die Vergrößerung der Kontaktfläche wird über den Reifendurchmesser, das Querschnittsverhältnis und über die Reifenbreite erreicht. Eine Vergrößerung der Reifenkontaktfläche bei gleichbleibender Radlast führt dabei zu einem sinkenden Kontaktflächendruck. (WEISSBACH, M., 2003)

- Bei gleichem Kontaktflächendruck wirken Vertikalspannungen unter einer höheren Radlast bis in größere Tiefe als unter kleinen Radlasten.
- Bei gleicher Radlast verringern sich unter einer größeren Kontaktfläche (Breitreifen, abgesenkter Innendruck) der Kontaktflächendruck und damit die Spurtiefe sowie die im Boden eingetragene Spannung. (VDI 6101, 2007)

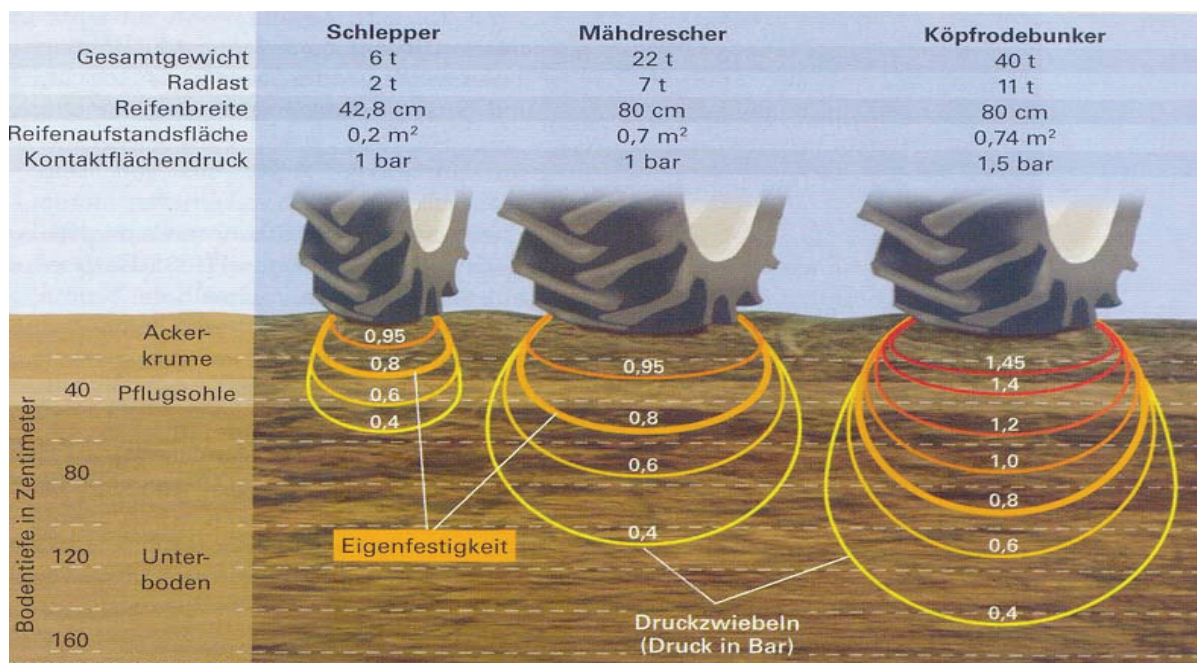
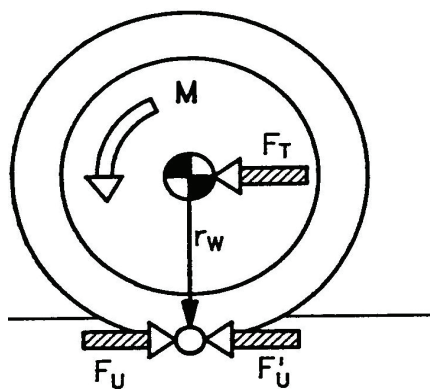


Abbildung 1: Bodendruck bei größerer Kontaktfläche und größerer vertikaler Belastung
 (S.A. [HTTP://WWW.SCHERNDL-FIGL.AT](http://www.scherndl-figl.at))

2.2. Wechselwirkung zwischen Maschine und Boden

Am treibenden Rad wirken Kräfte und Momente. Ein durch das Antriebsmoment M angetriebenes Rad stützt die Radlast F_G als Vertikalkraft und die Umfangskraft F_U M/r_0 als Horizontalkraft ab. Infolge der Reifen- und Bodenverformungen entstehen Rollwiderstand F_R und Schlupf. Ein Teil der Umfangskraft wird zur Überwindung des Rollwiderstandes benötigt, der verbleibende Anteil steht als Triebkraft F_T zur Verfügung. Triebkraft- und Rollwiderstand bzw. deren auf die Radlast bezogenen Beiwerte, sind in Abhängigkeit vom Schlupf Bewertungskriterien für Treibradreifen. Schlupf definiert sich durch die verlorene Wegstrecke. Die Differenz der Radgeschwindigkeit und Bewegungsgeschwindigkeit, ins Verhältnis gesetzt zur Radgeschwindigkeit, ist gleich Schlupf. (VDI 6101, 2007)

Die nachfolgenden Abbildungen stellen die am Rad wirkenden Kräfte und Momente in Sinnbildern dar. Darin enthalten sind die Formeln für die Reaktionskraft F_U , der Triebkraft F_T , der Rollwiderstandskraft F_R sowie der Radzugkraft F_{ZR} .

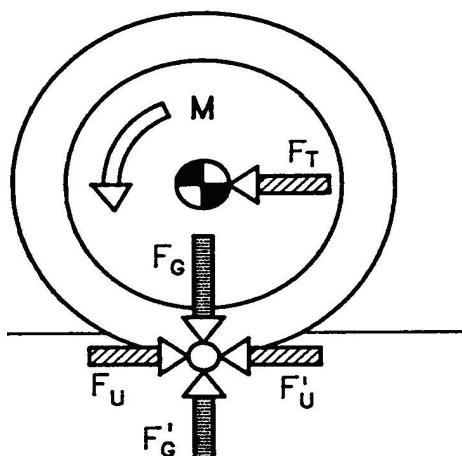


- M = Treibradmoment (antiparalleles Kräftepaar F_T und F_U)
- r_w = wirksamer Radradius
- F_U = Radumfangskraft
- F'_U = Reaktionskraft (Abstützkraft)
- F_T = Triebkraft

$$F_U = \frac{M}{r_w}$$

Ziel: Umsetzung M in F_T

Abbildung 2: Kräfte am angetriebenem Rad (SCHÖN, 1990)



- F_G = Gewichtskraft Schlepper
- F'_G = Reaktionskraft (Abstützkraft) Boden
- χ = Triebkraftbeiwert (Reifen/Boden)

$$F_T = F_G \cdot \chi$$

Abbildung 3: Kraftschluss mit dem Boden (SCHÖN, 1990)

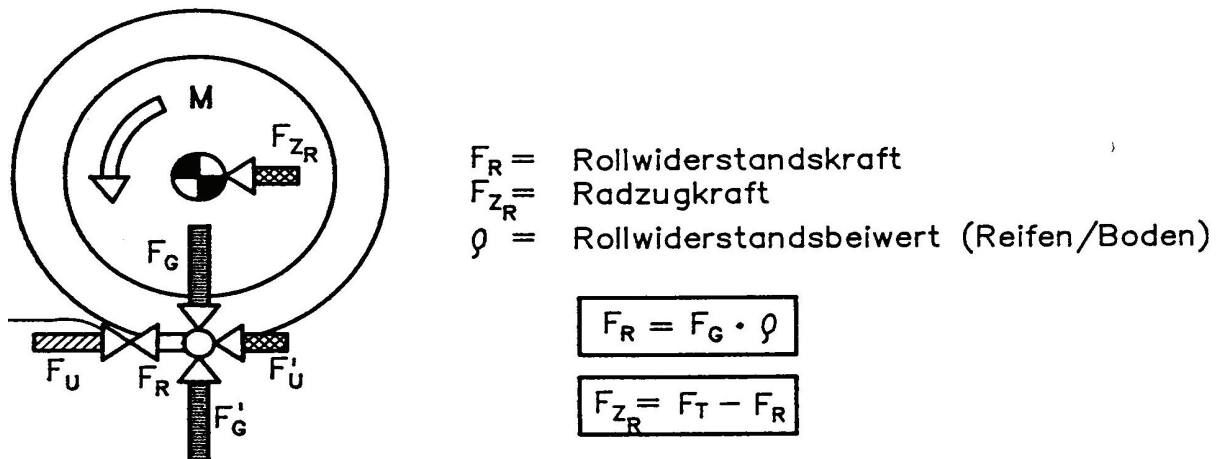


Abbildung 4: Rollwiderstand am angetriebenen Rad in der Ebene (SCHÖN, 1990)

Bei der Abstützung von Triebkräften muss der Boden einen entsprechenden Reibungswiderstand mobilisieren, was zu einer Verformung führt. Diese Bodenverformung ist die Hauptursache für den großen Schlupf auf Ackerböden. Die Reifenverformung hingegen hat nur einen geringen Anteil am Schlupf. Einerseits führt die Vergrößerung des Raddurchmessers und der Kontaktfläche bei gleichem Schlupf zu einer Steigerung der Triebkraft und andererseits zu einer höheren Bodenbeanspruchung. Die Angabe des Triebkraftbeiwertes bezieht sich immer auf ein einzelnes Rad. Betrachtet man ein gesamtes Fahrzeug mit wechselnden dynamischen Radlasten spricht man von der Gesamtmasse und dem Zugkraftbeiwert. Bei gleichem Schlupf und gleicher Bodenverformung verhält sich die Zugkraft proportional zum Reifendurchmesser, sprich bei größerem Reifenaußendurchmesser ist die Zugkraft ebenfalls größer. (SÖHNE, W., 1951)

Bei der Gewichtskraft verhält es sich ähnlich, sie wirkt positiv auf die Zugkraftübertragung durch die Radlast jedoch negativ als Bodenbelastung. Die Horizontalkräfte wirken der Scherfestigkeit des Bodens entgegen. Die Achs- oder Radlast resultieren aus der Gewichtskraft. Front- und Heckanbaugeräte entlasten oder belasten die Achsen durch ihr Gewicht und die Hebelwirkung, letztere ergibt sich aus den Abständen der Gewichte vom Gewichtsschwerpunkt, den Achsabständen und den statischen Achslasten. Die dynamischen Gewichtskräfte verschieben sich innerhalb des Fahrzeuges entgegengesetzt der Fahrtrichtung. Das Ausmaß der dynamischen Gewichtsveränderung wird von der Höhe des Anlenkpunktes sowie durch Größe der Geschwindigkeit und des Zugwiderstandes beeinflusst. (VDI 6101, 2007)

Aus den dynamischen Gewichtskräften resultieren die eigentlichen Radlasten und Kontaktflächendrücke, welche nur sehr schwer zu ermitteln sind.

2.3. Leistungsverluste vom Motor zum Reifen

Als Hauptenergieträger für den Antrieb landwirtschaftlicher Maschinen kommt Dieselkraftstoff zum Einsatz. Dieser Kraftstoff unterliegt der DIN 51601. Die Norm besagt, dass Dieseltreibstoff eine Dichte von 0,84 kg/l sowie eine Energiedichte von 9,85 kW/l bei einer Temperatur von 15°C aufweisen muss. Von dieser im Diesel enthaltenen Primärenergie steht dem eigentlichen Verfahren jedoch nur ein Anteil zur Verfügung, die restliche Energie geht in Form von Prozessverlusten verloren. Der Prozess mit den höchsten Verlusten ist die Verbrennung der Kraftstoffes im Motor, der Wirkungsgrad von Dieselmotoren liegt zwischen 28 und 40 %. In der folgenden Abbildung sind die Anteile an den Prozessverlusten in den einzelnen Baugruppen dargestellt.

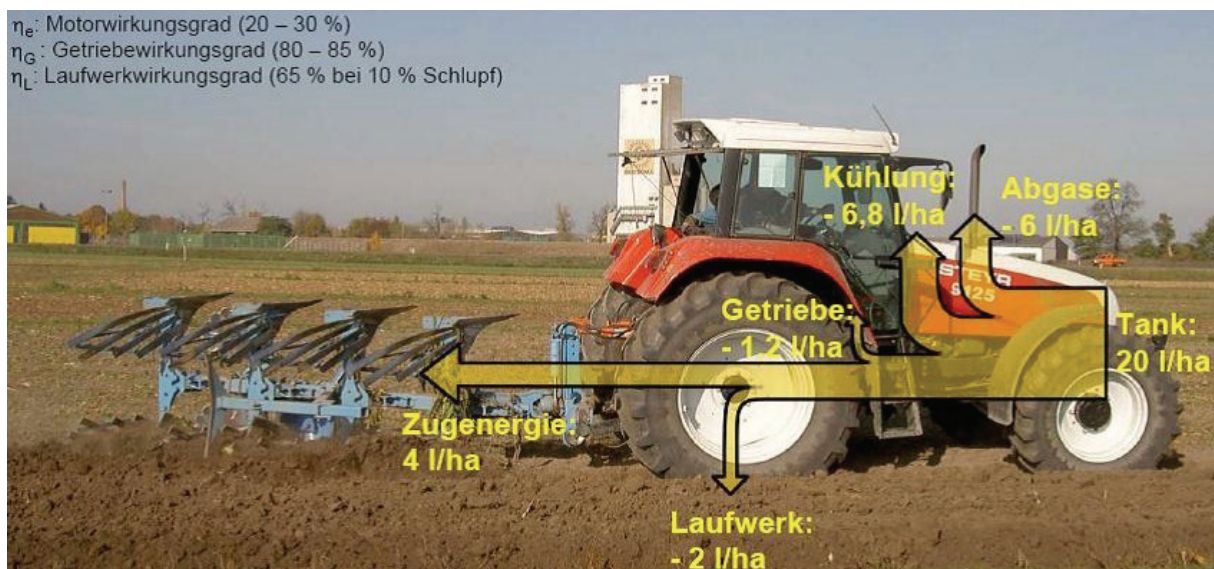


Abbildung 5: Energiefluss beim Traktor (BOXBERGER, 2008)

Von der Primärenergie des Kraftstoffes stehen am Motorausgang noch etwa 3,2 kW/l als mechanische Energie zu Verfügung. Diese mechanische Energie reduziert sich weiterhin während der Übertragung durch das Getriebe, so gehen durch das Getriebe und den Antriebsstrang weitere 10 bis 30 % verloren. Dem eigentlichen Antriebselement stehen nur noch 2,76kW/l zugeführter Diesel zur Verfügung, dies entspricht einem Anteil von etwa 35 % der Primärenergie. Schlussendlich stehen für die eigentliche Bearbeitung lediglich 10 bis 30 % der Primärenergie zu Verfügung. Die Differenz wird für Reifen und Bodenverformung verbraucht. (EICHORN, H., 2000)

2.4. Aufbau des Reifens

Reifen bestehen in der Regel zum größten Teil aus Gummi, genauer gesagt aus vulkanisierten Elastomeren. Man unterteilt die Reifen in Lauffläche und Karkasse. (TU– BERLIN 2006)

Die Elastomere bestehen aus einem oder mehreren Polymeren, d.h. langen Molekülketten, die spontan die Form eines Balls oder Knäuels annehmen können und sich untereinander verstricken. Bei der Herstellung eines Reifens werden diese Stoffe vulkanisiert, sie werden unter Druck, Hitze und der Einbindung von Schwefel miteinander vernetzt. Bei diesem Vulkanisierungsprozess entstehen zwischen den Polymeren Schwefelbrücken. Wird eine einzelne Polymerkette an einem Punkt verankert, so verhält sie sich wie eine kleine Feder. Es ist daher anzunehmen, dass ein solches Netzwerk ein perfektes Federsystem darstellt und somit als vollkommen elastisch zu betrachten ist. Befindet sich das Gummi jedoch in Bewegung, reiben die Kettensegmente zwischen den Schwefelbrücken aneinander. Dieser Vorgang verleiht dem vulkanisierten Gummi seine viskosen Eigenschaften.

Zusammengefasst verhalten sich Reifen also visko – elastisch. Sie vereinen die Eigenschaften einer vollkommen elastischen Feder und die einer viskosen Flüssigkeit. Ein visko – elastischer Stoff kehrt, ist er einmal verformt, erst nach einer gewissen Zeit in seinen Ausgangszustand zurück, was jedoch für das bloße Auge nicht immer sichtbar ist. Dieser Vorgang, welcher Hysterese genannt wird, ist zwangsläufig mit einem Energieverlust, in Form von nicht nutzbarer Wärmeenergie, verbunden. (VINCKEN, 2005)

Gummi selbst ist ein schlechter Wärmeleiter, somit wird die entstandene Wärmeenergie nur langsam im Betrieb des Reifens abgeführt. So entsteht bei hoher Geschwindigkeit, zu hoher Last sowie einem zu geringem Reifeninnendruck durch eine zu hohe Temperatur eine Devulkanisierung des Gummis. Ab ca. 70° Celsius lösen sich die Schwefelbrücken, der Reifen löst sich förmlich auf. Geschwindigkeit, Last und Reifeninnendruck bedingen sich und müssen im Zusammenhang betrachtet werden.

2.4.1. Reifenabmessungen und Reifenkennzeichnung

Die Abmessungen von Reifen, deren zulässige Höchstgeschwindigkeit, zulässige Tragfähigkeit und Einsatzbedingungen sind gesetzlich geregelt und können der DIN 7807 entnommen werden.

Im Bereich der Ackerschlepper werden Treibradreifen, Lenkradreifen und Implementreifen unterschieden. Als Implementreifen bezeichnet man alle landwirtschaftlichen Reifen, die an Anhängern und Geräten eingesetzt werden. Diese können frei rollend, also nicht angetrieben sein, aber ebenso gut auch im Mischeinsatz benutzt werden und somit unter Umständen auch gelenkt sein. (VDI 6101, 2007)

Lenkradreifen dienen fast ausschließlich dem Lenken und sind auf nicht angetriebenen Achsen montiert. Sie können häufig zum Bremsen benutzt werden.

Der Reifen mit der größten Relevanz in dieser Arbeit ist der Treibradreifen, dieser überträgt die Kraft zum Boden. Es gibt diesen Reifen in verschiedenen Ausführungen als Standard-, Breit-, Großvolumen-, und Pflegereifen. Die Einteilung beruht auf dem Querschnittsverhältnis, dem Verhältnis von Reifenhöhe zur Reifenbreite (H/B). Der Standardreifen weist ein H/B Verhältnis von 0,85 auf, wie zum Beispiel 18.4 R 38 oder 460/85 R 38. Breitreifen werden in den H/B Verhältnissen von 0,75 bis 0,45 zugeordnet. Man bezeichnet diese auch als Serie 75 bis 45. (VINCKEN, 2005)

Der Großvolumenreifen (Terrareifen) zeichnet sich nicht zwangsläufig durch sein Querschnittsverhältnis aus, die Namensgebung beruht viel mehr auf dem großen Volumen. Man versucht höhere Tragfähigkeiten und höhere Zugkraftübertragungen durch die Konstruktion eines Breitreifens mit hohem Querschnitt zu erhalten. Unter die Bezeichnung Pflegereifen fallen Reifen, die dem Außendurchmesser Standard- oder Breitreifen entsprechen, jedoch in ihrer Breite auf 300 mm beschränkt sind. Sie werden in der Pflege und Bestandsführung von Kulturen eingesetzt, dabei ist das Ziel, möglichst wenig Pflanzen zu überfahren. Diese schmalen Reifen weisen ein Höhe-/Breiteverhältnis von 0,95 zu 1 auf. Reifen werden auch über das Verhältnis von Reifenbreite zum Reifendurchmesser eingeteilt:

- Standardreifen: $B < 0,33 * D$
- Breitreifen: $0,33 * D < B < 0,5 * D$
- Terrareifen $B > 0,5 * D$

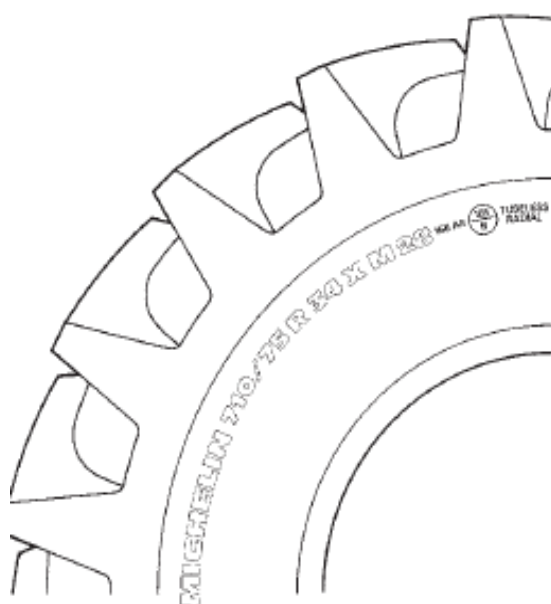
(B= Reifenbreite; D= Reifendurchmesser)

(MEYER, H., 2009)

Kennzeichnungen sind auf jedem Reifen zu finden. Sie geben eine Reihe von oftmals nicht sofort verständlichen Informationen, die jedoch eine große Bedeutung in der Nutzung des Reifens haben. Die vorab wichtigsten Angaben sind die Kennzeichnungen zum Hersteller, zum Modell des Reifens und seiner Größe sowie die Angaben zum Load und Speed Index. Der Hersteller kann die meisten Informationen zu seinem Produkt liefern, aus dem Modell ist der Einsatzbereich des Reifens ersichtlich. Ackerschlepperreifen können für die reine Zugkraftübertragung konzipiert sein, aber auch das Tragen schwerer Lasten oder ein geringer Abrieb auf der Straße können im Vordergrund stehen. Die Reifengröße ist die für den Landwirt wichtigste Kennzeichnung. Sie gibt die Geschwindigkeit des Fahrzeugs sowie dessen Breite in gewissem Maße vor, dadurch dass sie den Abrollumfang und die Reifenbreite enthält. Die Bezeichnung der Größe enthält drei Angaben:

1. Die Millimeterangabe der Reifenbreite, diese kann bei Standardreifen auch in Zoll als Maßeinheit angegeben sein.
2. Die Verhältnisangabe der Flankenhöhe zu der Reifenbreite in Prozent, ist diese Angabe nicht vermerkt entspricht die Flankenhöhe zu 85 % der Reifenbreite.
3. Der Felgendurchmesser in Zoll, dieser entspricht dem Reifeninnendurchmesser.

Die folgende Abbildung verdeutlicht die Bedeutung der verschiedenen Bezeichnungen auf dem Reifen, einige dieser Werte müssen aus Tabellen entnommen werden, da anstelle der Werte lediglich definierte Zeichen stehen.



| | |
|-----------------|---|
| MICHELIN | Hersteller |
| 710 | Reifenbreite in mm (oder in Zoll, z. B. 16.9) |
| 75 | Das Verhältnis von Reifenhöhe zu Reifenbreite beträgt 75:100 |
| R | Radialreifen |
| 34 | Nenndurchmesser in Zoll |
| X | Radial Michelin X: geschütztes Zeichen |
| M 28 | Profilausführung |
| 168 | Tragfähigkeitskennzahl: 5600 kg |
| A8 | Geschwindigkeitssymbol: 40 km/h |
| 165 | Tragfähigkeitskennzahl: 5150 kg |
| B | Geschwindigkeitssymbol: 50 km/h |
| Tubeless | Schlauchlosreifen |
| Radial | Bauart |

Abbildung 6: Bezeichnung von Traktorreifen (MICHELIN, 2009)

Aus Sicht der Verkehrssicherheit ist nicht nur wichtig die Reifengröße zu standardisieren, sondern auch die maximale vertikale Kraft in Form eines „Load Index“ anzugeben, den der Reifen tragen kann, um diesen überprüfen zu können. Der „Load Index“ (LI) gibt somit die maximale Tragfähigkeit eines Rades an. Der LI ist immer in Verbindung mit dem „Speed Index“ (SI) zu sehen, denn dieser gibt die maximal zulässige Fahrgeschwindigkeit des Reifens vor. Es besteht auch die Möglichkeit von jedem Index zwei Angaben auf dem Reifen vorzufinden. In diesem Fall gilt der geringere SI für den größeren LI, bei kleinerem LI kann je nach Herstellerfreigabe die max. Geschwindigkeit gefahren werden.

Ackerschlepperreifen obliegen der Besonderheit, dass sie Betriebsanleitungen bzw. Ratgebern unterliegen, in denen der Mindestluftdruck bei gegebener Radlast und Geschwindigkeit angegeben wird. Das Niveau der Tragfähigkeit wird vom Reifenmodell und der Reifengröße bestimmt. Der Luftdruck sollte also dem aktuellem Einsatz angepasst werden. (ETRO ISO – NORM)

2.4.2. Diagonal- und Radialreifen

Reifen werden aufgrund ihrer Bauweise in Diagonal- und Radialreifen unterteilt. Diagonalreifen sind aus Sicht der Entwicklung die Vorläufer der Radialreifen. Sie bestehen aus Gewebelagen, bei denen die Karkassen durchgehend verlaufen. (MEYER, H., 2009)

Die einzelnen Lagen bei dem diagonalen Reifen kreuzen sich in einem Winkel von 35°, engere Winkel erhöhen die Zugkraft, größere Winkel erhöhen die Flexibilität und verbessern den Fahrkomfort. Konstruktionsbedingt ist die Lagenzahl in der Lauffläche und der Seitenwand gleich. Der Radialreifen besteht aus zwei Karkassen und dem Gürtel. Die Karkassenlagen verlaufen von Wulst zu Wulst im rechten Winkel. Der Gürtel in Umfangsrichtung ist zusätzlich mit eigenen Gewebelagen ausgestattet, die sich in einem Winkel von 15 bis 20° kreuzen. Die geringere Lagenzahl in der Seitenwand erhöht die Flexibilität gegenüber dem Diagonalreifen, so wird eine bessere Einfederung des Radialreifens und folglich eine größere Kontaktfläche erreicht. (VINCKEN, 2005)

Radialreifen können aufgrund ihrer Bauart von Gürtel und Lauffläche wesentlich leichter walken. Dafür benötigen sie weniger Energie, erwärmen sich dementsprechend nicht so stark und können bei gleicher Last und gleicher Geschwindigkeit mit geringerem Luftinnendruck gefahren werden. Außerdem weisen Radialreifen einen geringeren Kontaktflächendruck auf als Diagonalreifen, wie in der folgenden Abbildung zu sehen ist.

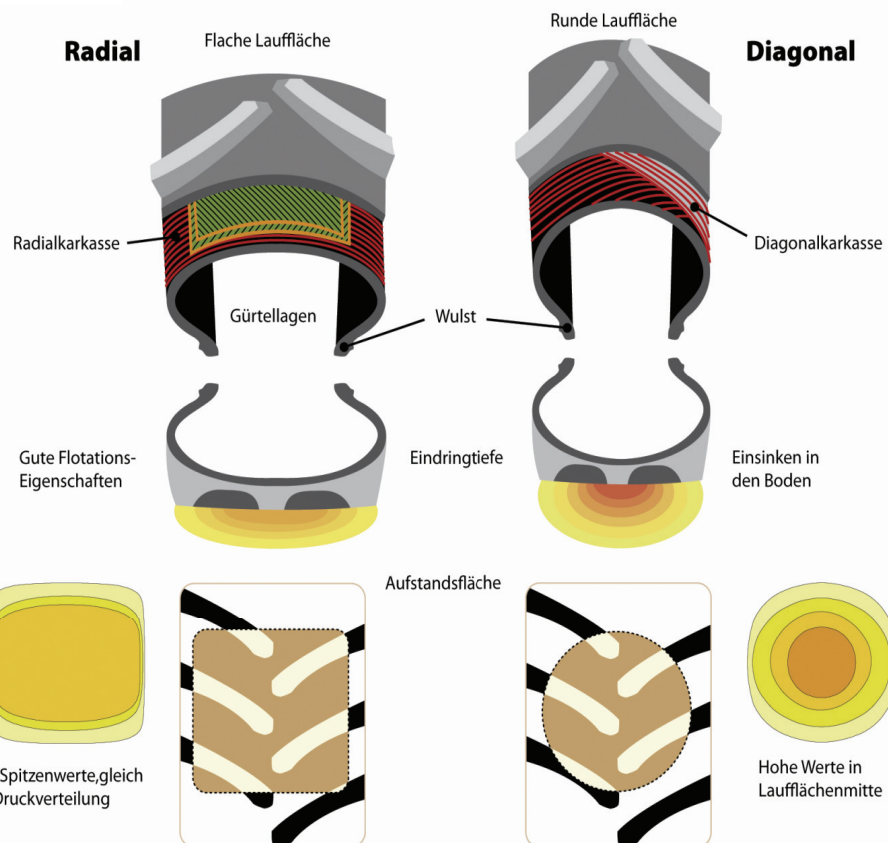


Abbildung 7: Unterschiede zwischen Radial- und Diagonalreifen (GRASDORF WENNEKAMP GMBH, 2009)

Je nach Aufbau besitzen die verschiedenen Reifen unterschiedliche Eigenschaften, es gibt Reifen mit radialem und diagonalem Aufbau. Ein radialer Aufbau wird durch den Buchstaben „R“ gekennzeichnet, während ein diagonaler Reifen in der Regel nicht gesondert gekennzeichnet wird. (TRELLEBORG, 2008)

Die Radialreifen unterscheiden sich gegenüber den Diagonalreifen in folgenden Punkten, sie besitzen einen geringeren Rollwiderstand, eine höhere Lebensdauer, eine weichere Einfederung des Traktors sowie geringeren Bodendruck und eine bessere Zugkraftübertragung. Jedoch bringen diese Vorteile auch einige Nachteile mit sich, so hat der Seitenhalt der Reifen nachgelassen, wie auch die Widerstandskraft der Karkasse, die durch scharfe Kanten leicht durchdrungen werden kann. (MEYER, H., 2009)

Zwei Drittel aller Neureifen entsprechen der Radialbauart. (EICHORN, H., 2000)

2.4.3. Anforderungen an Ackerschlepperreifen

In der Landwirtschaft werden besondere Anforderungen an die Bereifung gestellt. Der Traktor soll im Straßenverkehr ein ähnliches Fahrverhalten wie ein Lastkraftwagen mit hohem Fahrkomfort und geringem Rollwiderstand besitzen und im Feldeinsatz unter unterschiedlichsten Bedingungen den Boden schonen und möglichst effizient die Zugkraft übertragen. Das heißt für den Reifen, dass er im Straßenverkehr alle Unebenheiten abfangen, also einfedern und dämpfen soll. Allerdings soll er sich nicht verformen, um den Rollwiderstand gering zu halten. Im Einsatz auf dem Feld wird von einem Ackerschlepperreifen erwartet, dass er eine möglichst große Kontaktfläche bildet, um erstens den Kontaktflächendruck gering zu halten und zweitens möglichst viele Reifenstollen mit dem Boden zu verzahnen. Eine Verringerung des Kontaktflächendrucks bewirkt eine Verminderung der Einsinktiefe in den Boden und die Erhöhung der Verzahnung zwischen Reifen und Boden. (HÖLTKEMEYER, V., 2006)

2.5. Ballastierung

Zur Übertragung der Zugkraft gehört eine ausreichende Gewichtskraft. Denn das Eigengewicht steht im direktem Zusammenhang mit der Zugkraft, die wiederum hängt von der Kontaktfläche zwischen Rad und Boden ab. (WEISSBACH, M., 2009)

Um bei immer größer werdenden Anbaugeräten für die Lenksicherheit eine ausreichende Vorderachslast, von mindestens 20 % des Fahrzeuggewichtes, zu gewährleisten, wurde der Schwerpunkt der Traktoren immer weiter nach vorn verlagert. Im oberen Leistungssegment weisen Standardtraktoren eine ausgeglichene Gewichtsverteilung auf, obwohl es bisher üblich war, etwa zwei Drittel auf die Hinterachse zu positionieren. Dabei bleibt zu berücksichtigen, dass das Leistungsgewicht im Zuge der Leistungssteigerung bei der Entwicklung abgenommen hat. Im Feldeinsatz ist die Achsverteilung durch die dynamische Gewichtsverlagerung wahrscheinlich gleich geblieben. (EICHHORN, H., 2000)

Bei Betrachtung der heutigen Großtraktoren (> 250 kW) stellt man fest, dass sich sowohl die zulässige Radlast als auch die Radlast im unballastierten Zustand mit Steigerung der Schlepperleistung erhöht. Die Vergrößerung der Lasten steigt aber im Vergleich zur Leistung geringer an. So besitzt ein Schlepper mit 50 kW Motorleistung etwa das zwanzigfache an

Radlast und das vierzigfache an zulässiger Radlast der Leistung in kW, also 1000 kg und 4000 kg. Im 200 kW Bereich bewegen sich die Leerlasten im 15- fachen der Leistung in kW und die zulässigen Radlasten im Bereich des 20 bis 25- fachen der Leistung. (WEISSBACH, M., 2003)

Das Gewicht des Traktors und die Radlastverteilung nehmen direkten Einfluss auf die Zugkraft:

$$F_z = F_g * k$$

F_z = Zugkraftbeiwert, F_g = Schleppergewicht, k = Konstante

Formel 2: Der Zugkraftbeiwert (HÖLTKEMEYER, V., 2006)

In der folgenden Abbildung sind die Leistungsgewichte in Bezug auf die Motorleistung und das Gesamtgewicht der Traktoren dargestellt, die sich durch die fortlaufende Entwicklung ständig verändern und in der Regel in Bezug auf Leistungsgewicht immer leichter werden.

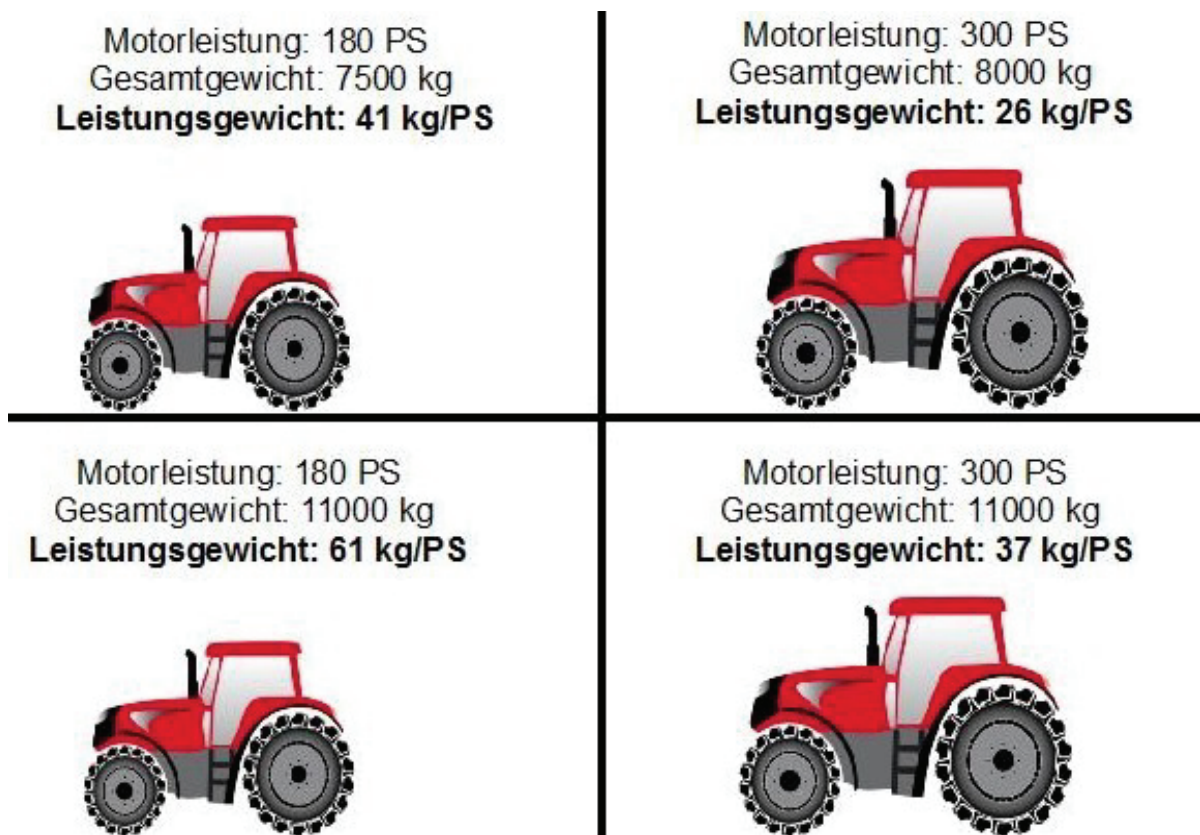


Abbildung 8: Gewichtsentwicklung bei Traktoren (GRASDORF- WENNEKAMP GMBH, 2009)

Das Leistungsgewicht errechnet sich folgendermaßen:

$$m_{PF} = \frac{m_F}{P_e}$$

m_{PF} = Leistungsgewicht des Fahrzeuges

m_F = Masse des Fahrzeuges

P_e = Leistung des Fahrzeuges

Formel 3: Leistungsgewicht eines Fahrzeugs (s.a. <http://www.kfz-tech.de>)

Mit steigenden Motorleistungen steigt auch das Gewicht des Ackerschleppers an, jedoch ist die Steigerung der Motorleistung wesentlich größer. Der Grund für diese Entwicklung ist der technische Fortschritt, zum Beispiel werden Motoren mit gleichem Hubraum und Gewicht immer leistungsfähiger, bzw. stufenlose Getriebe auf Grund von Hydraulik immer leichter.

Um zusätzliches Gewicht an den Traktor anzubauen, gibt es folgende Möglichkeiten, Front-, Rad-, Heckgewichte sowie Wasser in den Reifen und die Möglichkeit der Gewichtsverlagerung vom Anbaugerät auf den Schlepper. Diese Maßnahmen bringen sowohl Vorteile als auch Nachteile mit sich. Als vorteilhaft ist die Erhöhung der Zugkraft, damit die Verringerung des Schlupfes und die somit verbundene Kosteneinsparung anzusehen. Als Nachteil können die zusätzlichen Massen angesehen werden, denn diese müssen ständig mit beschleunigt und wieder abgebremst werden, auch wenn diese beispielsweise für Transportarbeiten nicht benötigt werden und es sind zusätzliche Bauteile, die z.B. beim Radwechsel in Form von Radgewichten hinderlich sein können und unter ungünstigen Umständen auch zu Unwuchten führen können. (WEISSBACH, M., 2009)

Zu dem gilt: Bei einer Erhöhung der Lastfrequenz, beispielsweise durch höhere Radlasten, kommt es zu verstärktem Walken, dabei erhöht sich der Anteil der Hysterese am Energieaufwand, die Federungseigenschaft lässt nach, mehr Energie wird aufgenommen und die Erwärmung verstärkt sich. (VINCKEN, 2005)

2.6 Schlupf

Der Schlupf ist der Unterschied zwischen dem geometrischen Radumfang und der tatsächlich zurückgelegten Strecke bei einer Radumdrehung. Einhundert Prozent Schlupf liegen vor, wenn die Räder durchdrehen oder blockieren. Je größer die Antriebs- oder Bremskräfte, desto größer der Schlupf. (MICHELIN, 2009)

Bei einer Kraftübertragung treten zwischen dem Boden und einem Laufwerk gewisse Bewegungen auf. Diese Bewegungen sind relativ klein und darauf zurückzuführen, dass sich je nach Härte der Fahrbahn entweder die Fahrbahn oder das Laufwerk, in den meisten Fällen sogar beide, vorspannen. Dies geschieht solange, bis Fahrbahn bzw. Laufwerk die entsprechenden Kräfte aufnehmen können. Steigen die Antriebskräfte über ein gewisses Maß, kommt es zum Eintritt des Gleitens. Das Gleiten sowie die vorhergehende Vorspannungsbewegung bilden zusammen den Schlupf. Im Bereich des Ackerbodens kann die Vorspannungsbewegung auch große Werte annehmen. (Dencker, C. H., 1961)

$$i = \frac{(V_{rad} - V_{eff})}{V_{rad}} = 1 - \frac{V_{eff}}{V_{rad}}$$

V_{rad} = Radgeschwindigkeit V_{eff} = Fahrgeschwindigkeit

Formel 4: Schlupf am Rad (Sommer, C. und Brunotte, B., 2001)

Aus pflanzenbaulicher Sicht ist ein Schlupfwert bis 15% gerade noch zu tolerieren, in der Pflugfurche sollten es nicht mehr als 10% sein, um eine zu große nur sehr schwierig aufzubrechende Verdichtung im Untergrund zu vermeiden. Aus energetischer Sicht sind Schlupfwerte von > 20% nicht mehr akzeptabel. Deshalb muss die Reduzierung des Schlupfes oberstes Ziel der Bewirtschaftung sein. (SOMMER, C. UND BRUNOTTE, B., 2001)

Fachleute unterscheiden bei der Kraftübertragung zwischen Maschine und Boden in Haftung und Traktion. Haftung bezeichnet die Fähigkeit einer Laufflächen-Gummimischung sich möglichst intensiv mit dem Untergrund zu verbinden. Traktion hingegen ist die Fähigkeit Motorleistung durch Verzahnung mit der Fahrbahnoberfläche in Vortrieb umzuwandeln. (Michelin, 2009)

Laut Hutinger 2008 definiert sich die Traktion ebenfalls durch eine enge Verzahnung der Reifenstollen mit dem Boden, wobei zur Kraftübertragung mehr Boden als der, unmittelbar unter der reinen Fahrspur genutzt wird. Der Boden im Stollenzwischenraumbereich wird durch die Antriebskraft des Reifens von der Mitte des Reifens weggedrückt. Der dort entstehende horizontale Druckbereich stützt die Antriebskraft in einem breiteren Bereich als der eigentlichen Fahrspur ab. Traktion ist natürlich nicht unter allen Bedingungen zu finden. So muss der gesamte Stollenzwischenbereich mit Boden gefüllt sein. Traktion benötigt ein Mindestmaß an Schlupf, welches ca. 10% sind. Ab einem Schlupfbereich von etwa. 25% lässt die Traktion nach. Dies sind nur Richtgrößen, die von den jeweiligen Bodengegebenheiten abhängen. Entsteht keine Traktion, so überträgt sich die Kraft ausschließlich über Haftung. (HUTINGER, W., 2008)

Aus diesem Grund können schon länger gefahrene Reifen mit durch Abnutzung verkürzten Stollen genauso leistungsfähig wie Neureifen sein. (RÖSSLER, 2008) Im Umkehrschluss heißt das aber auch, dass bei Neureifen die Maschine höher ballastiert werden muss, um ein Einsinken der Reifenstollen in den Ackerboden zu gewährleisten. Bei mehr als 25% Schlupf erfolgt ein Abriss der Traktion und das Rad „wühlt“ sich nur noch durch den Boden. Bei <10% Schlupf spricht man nicht von Traktion sondern von Haftung. (HUTINGER, W., 2008)

2.7. Luftdruck

Der Luftdruck hat starke Auswirkungen auf den Boden, weshalb seine korrekte Einstellung und vor allem die Anpassung an verschiedene Arbeiten eine der wichtigsten Maßnahmen zur Einstellung des Traktors ist.

Die Ackerschlepperreifen, vor allem Radialreifen besitzen eine geringe Eigentragsfähigkeit, so dass nahezu die gesamte Radlast über den Luftdruck abgestützt werden muss. Somit besteht ein direkter Zusammenhang zwischen dem Luftdruck und dem Bodendruck in zehn Zentimetern Tiefe. Die Entwicklung der modernen Traktorreifen zeigt, dass die Reifen vom Außendurchmesser immer größer werden und dass die Felge immer kleiner wird, um ein höheres Luftvolumen zu erhalten, welches die Radlast trägt. Auf abgesetzten Böden z.B. bei der Ernte sollte der Luftdruck den Wert von zwei Bar nicht überschreiten, bei der Ernte auf lockerem, feuchtem Boden liegt die Grenze bei einem Bar Reifeninnendruck. (Weißbach, M., 2001)

Ein angepasster Luftdruck hat gerade auf dem Ackerboden eine Reihe von Vorteilen.

1. Verringerung des Bodendrucks/ Vermeidung tiefer Fahrspuren

Durch einen angepassten Reifendruck wird der Bodendruck verringert, dadurch ist der Boden weiterhin in der Lage Regenwasser aufzunehmen und dieses zeitnah in das Grundwasser weiterzuleiten. Beim Düngemittleinsatz sind die Wurzeln besser in der Lage die Düngesalze aufzunehmen, was sich auch positiv auf die Menge an eingesetztem Dünger auswirkt. Gleichzeitig wird das Grundwasser weniger belastet.

2. Steigerung der Pflanzenerträge

Durch die geringere Bodenverdichtung bei angepasstem Reifeninnendruck wird die gute Durchwurzelbarkeit sowohl des Ober- als auch des Unterbodens erhalten. Dadurch wird Staunässe vermieden und die aerobararbeitenden Mikroorganismen bleiben erhalten.

3. Geringerer Rollwiderstand

Je größer der Rollwiderstand, desto größer der Leistungsverlust. Bei abgesenktem Reifendruck vergrößert sich die Reifenaufstandsfläche und somit wird der Kontaktflächendruck reduziert. Infolgedessen sinken die Räder nicht mehr so tief ein und die Spurtiefe verringert sich. Der zu überwindende Bodenkeil verringert sich, der Rollwiderstand wird geringer. Je nach Beschaffenheit des Bodens kann über eine Anpassung des Reifeninnendrucks der Rollwiderstand um bis zu 30 Prozent reduziert werden.

4. Höhere Zugkraft bei reduziertem Schlupf

Bei angepasstem Luftdruck kann der Reifen besser einfedern, durch die erhöhte

Aufstandsfläche greift mehr Profil im Ackerboden und kann sich mit diesem verzahnen. Dies geht mit der Verbesserung der Traktion einher, so dass auf feuchten Äckern die Traktion um bis zu 25% steigen kann. Der Zugkraftbedarf des Bearbeitungsgerätes bleibt gleich und somit reduziert sich der Schlupf. Bei angepasstem Reifeninnendruck kann den Schlupf nahezu halbiert werden.

5. Bessere Selbstreinigung des Profils

Bei weniger Reifeninnendruck wird der Reifen weicher, folglich kann er besser walken. Durch die höhere Walkzahl kommt es zu einer besseren Selbstreinigung des Profils. Besonders auf klebrigen Böden setzen sich die Zwischenstollenbereiche nicht mehr zu einer Walze zu, somit kann die Verzahnung des Reifens mit dem Boden erhalten bleiben. Damit wird letztendlich wieder die Erhöhung der Zugkraft sowie die Verringerung des Schlupfes positiv beeinflusst.

6. Gesteigerte Flächenleistung

Summiert man die Vorteile wie höhere Zugkraft, weniger Schlupf, bessere Selbstreinigung des Reifens sowie geringerer Rollwiderstand, so führt dies zu einer deutlichen Erhöhung der tatsächlichen Arbeitsgeschwindigkeit auf dem Feld.

7. Deutliche Kraftstoffersparnis

Die vorher genannten Punkte führen nicht nur zu einer gesteigerten Flächenleistung sondern auch zu einem geringeren Kraftstoffverbrauch. Je nach Art der Arbeit sowie der Bodenbeschaffenheit kann die Ersparnis bei bis zu 2,5 Litern pro Schlepperstunde liegen.

8. Verbesserter Fahrkomfort

Bei geringerem Reifeninnendruck profitiert der Fahrer von der Federdämpfungszone des Reifens, welcher dann ähnlich wie ein Stoßdämpfer wirkt. In Untersuchungen wurde nachgewiesen, dass bei verschiedenen Geschwindigkeiten auch auf unebenen Ackerflächen die vertikale Beschleunigung um mehr als die Hälfte verringert wird. Somit wird die Gesundheit des Fahrers geschont und gleichzeitig auch die Maschine weniger stark beansprucht.

9. Längere Saisoneinsatzzeiten

Aus den vorhergegangenen Punkten zeigt sich, dass mit dem Traktor bei angepasstem Reifenluftdruck auch bei kritischen Bodenverhältnissen noch ein Arbeiten möglich ist, besonders im Frühjahr und im Herbst, wenn die Flächen noch eine hohe Bodenfeuchtigkeit haben. (<http://www.ptg.info>, 2009)

3. Material und Methoden

Ziel dieses Versuches ist die Untersuchung der Auswirkung verschiedener Reifenprofilhöhen auf die Leistung des Schleppers während einer praxisüblichen Bodenbearbeitungsmaßnahme. Besonderer Wert wird bei der Messung auf den Schlupf und daraus resultierend auf den Kraftstoffverbrauch gelegt, sowie auf einen eventuellen Mehraufwand in Bezug auf die Arbeitszeit. Die Erfassung der Messwerte erfolgt während des Arbeitsvorgangs.

3.1 Versuchsstandort

Für den Erhalt repräsentativer Messergebnisse sollte die Versuchsfläche möglichst homogen sein, sowie eben und ohne Bodenverdichtungen. Weiterhin von Bedeutung ist die Wahl eines für den Ackerbau typischen Standortes, sowie Bodenlagerungs- und Feuchtigkeitsbedingungen, welche dem Zeitpunkt einer praxisüblichen Bodenbearbeitung entsprechen. Das für diesen Versuch ausgewählte Feld liegt in Minzow bei Röbel/Müritz, folgende spezifische Eckdaten sind der Ackerschlagskartei zu entnehmen:

| | |
|---------------|---------------------------|
| Name: | Am Karpfenteich |
| Gemarkung: | Minzow |
| Flur: | 5 |
| Größe: | 42,67 ha |
| Boden: | sandiger Lehm (45 BP) |
| Frucht/Sorte: | Stoppelacker Wintergerste |

Die Fläche wird von der Agrar GmbH Minzow zur Verfügung gestellt. Das Unternehmen bewirtschaftet insgesamt 1160 Hektar landwirtschaftliche Nutzfläche, davon sind etwa 900 Hektar reine Ackerfläche. Die durchschnittliche Höhenlage liegt bei 98 Metern über NN, die mittlere Jahrestemperatur beträgt 9° Celsius und der Jahresniederschlag erreicht im Mittel 540 mm. Die Bodenpunkte betragen im Durchschnitt 32. Die Böden setzen sich aus 40 Prozent Sand und 60 Prozent Lehm zusammen. Bezüglich der Grundbodenbearbeitung ist zu bemerken, dass 80 Prozent der Flächen gepflügt werden.

Die Versuchsfläche war mit Hybridwintergerste bestellt, deren Ertrag bei 82 Dezitonnen pro Hektar lag, das Gerstenstroh verblieb auf der Fläche. Die Fruchtfolge auf der Fläche setzt sich aus den drei Fruchtfolgegliedern Winterraps, Winterweizen, sowie Wintergerste zusammen. Das heißt die Vorfrucht der Wintergerste war Winterweizen und die Vorvorfrucht Winterraps, zu allen drei Fruchtfolgegliedern wurde der Acker gepflügt. Auf dem folgenden Bild ist das Versuchsfeld zu sehen, der gegrubberte Streifen markiert die Grenzen der Messstrecke.



Abbildung 9: Versuchsfeld unbearbeitet

3.2. Maschinen und Geräte

John Deere 8520

Der genutzte Schlepper befindet sich im Besitz der Agrarunion Kogel e.G.. Der Traktor ist Baujahr 2006 und wird fast ausschließlich für die Bodenbearbeitung auf dem Betrieb eingesetzt. Er besitzt einen Dieselmotor mit Turbolader und Ladeluftkühlung sowie einen wassergekühlten Sechszylindermotor, dessen Zylinder in Reihen angeordnet sind und eine Common Rail Einspritzanlage. Der Schlepper hat ein Powershift-Lastschaltgetriebe und eine einzelradgedeferte Vorderachse mit Allradantrieb. Er ist mit 1000 kg Frontgewicht, sowie mit zwei Radgewichten von jeweils 650kg ausgestattet. Die Reifengröße beträgt 600/70 R 30 vorn und 650/85 R 38 hinten, diese Reifendimensionen waren ausschlaggebend für die Auswahl dieses Schleppers. Aufgrund eines Fabrikationsfehlers erhielt der Schlepper bereits bei 2500 Betriebsstunden einen neuen Satz Reifen, somit waren diese neuwertig.

Der Betrieb in Minzow hingegen besitzt einen John Deere 8320, welcher Reifen mit halber Profilhöhe und gleichen Reifendimensionen aufweist, die somit den zweiten Radsatz darstellten. Den Reifensatz mit abgefahrenem Profil stellte die Firma Gummi Grassau in Neubrandenburg zur Verfügung. Die benötigten Felgen lieferte die Firma Grasdorf-Wennekamp, so dass diese noch in Neubrandenburg vollständig montiert werden konnten. Die Profilhöhen der Reifen sind aus der folgenden Tabelle ersichtlich:

Tabelle 1: Profilhöhen der Radsätze

| Profilhöhe | Abgefahren | Mittel | Voll | Neuzustand |
|------------------------------|-----------------|---------------------|-----------------|------------|
| Vorderreifen | 10 mm | 28 mm | 55 mm | 56 mm |
| Reifenhersteller / Reifentyp | Goodyear DT 820 | Michelin MACH X BIB | Goodyear DT 824 | |
| Hinterreifen | 15 mm | 36 mm | 64 mm | 64 mm |
| Reifenhersteller / Reifentyp | Kleber Topker | Kleber Topker | Goodyear DT 824 | |
| Vorderreifen | 18,00% | 50,00% | 98,00% | 100,00% |
| Hinterreifen | 23,00% | 56,00% | 100,00% | 100,00% |

Anhand der prozentualen Abnutzung an den Vorder- beziehungsweise Hinterrädern wurden die Radsätze in 20%, 50% und 100% Profilhöhe eingeteilt.

Im Folgenden sind die technischen Daten des John Deere 8520 tabellarisch zusammengefasst.

Tabelle 2: Technische Daten John Deere 8520 (DLG TEST, 02/2003)

| | |
|--------------------------------|---|
| Motor: | |
| Typ | 6081HRW38 |
| Nennleistung (nach ECE-R24) | 217 kW/ 295 PS |
| Maximalleistung (nach ECE-R24) | 224 kW/ 325 PS |
| Kraftstoffverbrauch: | |
| Spezifisch bei Nenndrehzahl: | 58,9 l/h |
| Spezifisch bei max. Leistung: | 63,2 l/h |
| Getriebe: | PowerShift 16/5, Lastabhängige Schaltung, |
| | Geschwindigkeiten 1,9 - 42 km/h |
| Hydraulik: | 200 bar, 160 l/min (load sensing) |
| | Hubkraft 10790 daN |
| Kraftstofftankinhalt: | 606 l |
| Leergewicht: | 9700 kg |

Bevor der Traktor von Kogel nach Minzow überführt wurde, erfolgte eine Wägung mit der Waage der Agrarunion Kogel e.G.. Dabei ergab sich ein Gewicht von 13060 kg im vollgetankten Zustand, wovon 6480 kg die Vorderachse und 6580 kg die Hinterachse belasteten. Die Nennleistung des Motors beträgt 295 PS, das Gewicht des Schleppers 13 Tonnen. Teilt man nun das Gewicht durch die Leistung, erhält man ein spezifisches Leistungsgewicht für diesen 8520 von 44,3 kg/PS. Dieser Wert ist für einen Schlepper in dieser Leistungsklasse als gut zu bewerten, denn Leistungsgewichte von über 50 kg/PS sind als ungünstig zu bezeichnen, da bei Bestell- und Pflegearbeiten die Gefahr unvermeidbarer Bodendruckschäden besteht. (Dencker, C. H., 1961)

Der Trend bei der Ballastierung von Standard Großschleppern ist derzeit ein ausgeglichenes Gewichtsverhältnis auf Vorder- und Hinterachse. (Eichhorn, H., 2000)

Da das Gewicht des Versuchsschleppers auch nahezu gleichmäßig auf Vorder- und Hinterachse wirkt, beträgt die Gewichtsverteilung jeweils 50 %. Diese Gewichtsverteilung ist als vorteilhaft anzusehen, da durch die dynamische Gewichtsverteilung während der Zugarbeit, in dem Fall über das Zugpendel, Kräfte wirken. Durch die Belastung der Hinterachse und der Entlastung der Vorderachse wird die Gewichtsverteilung in die Richtung der erwünschten Verhältnisse verlagert.

Für die Bodenbearbeitung wäre eine Gewichtsverteilung im Verhältnis 60 % auf die Hinterachse und 40% auf die Vorderachse wünschenswert. (Weißbach, M., 2009)

Für die Versuchsfahrten wurde der Schlepper im zehnten Gang auf eine Motordrehzahl von 2000 U/min eingestellt, dies entsprach einer Geschwindigkeit von 10 km/h. Die Höchstleistung des Motors liegt laut DLG bei 1900 U/min, so dass eine möglichst ideale Einstellung der Drehzahl, in Bezug auf Leistung, Drehmoment und Kraftstoffverbrauch erfolgte. Das nachfolgende Bild zeigt den Traktor mit der Profilvariante 50 % und 1,5 bar Luftdruck, gut zu erkennen ist die Markierung zum Zählen der Radumdrehungen.



Abbildung 10: John Deere 8520

Lemken Smaragd Gigant 800

Als Bodenbearbeitungsgerät wurde der Lemken Smaragd Gigant 800 ausgewählt. Der Grubber ist ein angehängtes Gerät, das folglich beim Zug kaum Stützlasten auf das Zugpendel des Traktors überträgt. Er kann sowohl für die tiefe Bodenbearbeitung bis zu 20 Zentimetern als auch für die flache Bodenbearbeitung, mit jedoch mindestens fünf Zentimetern eingesetzt werden. Die Arbeitsbreite beträgt acht Meter. Der Grubber besitzt 18 Wechselflügelschare und neun schräggestellte Hohlscheiben, welche jeweils mit einer Überlastsicherung ausgestattet sind. Des Weiteren verfügt er über eine Tandem-Doppelwalze, welche aus einer Rohr- und einer Flachstabwalze besteht, beide haben jeweils einen Durchmesser von 400 mm. Die Wechselflügelschare dienen dem ganzflächigen Schneiden, Lockern und Mischen. Hohlscheiben hingegen ebenen ein und vermischen nochmals Boden und Bewuchs. Die Tandem-Doppelwalze sorgt schließlich für die optimale Rückverfestigung. Die Tiefenführung des Grubbers erfolgt ebenfalls über die Tandem-Doppelwalze. Der Grubber besitzt ein Gesamtgewicht von 5,1 Tonnen und hat daher zum Transport und zum Ausheben auf dem Feld ein eigenes Fahrwerk mit zwei Aufsattelrädern. Während des Versuches hatte der Gigant 800 eine Arbeitstiefe von 12 Zentimetern, was für diesen Grubber einer optimalen Tiefe entspricht, auch die Arbeitsgeschwindigkeit von 9,5 km/h war bestmöglich gewählt. Der Leistungsbedarf pro Meter Arbeitsbreite beträgt mindestens 30 PS. Die folgende Abbildung zeigt den Smaragd Gigant in Arbeitsstellung und Fahrt.



Abbildung 11: Lemken Smaragd

4. Durchführung des Versuches

Im Folgenden sollen drei Reifensätze mit verschiedenen Profilhöhen auf ihre Zugkraftübertragung untersucht werden. Es stellt sich die Frage, wie sich der Schlupf bei der Stoppelbearbeitung mit verschiedener Profilhöhe verändert und daraus abgeleitet, wie sich die Kosten für die Bearbeitung eines Hektars Stoppelacker entwickeln.

Für die Messungen wurden zwei Grubberstriche auf dem Versuchsfeld so platziert, dass sie einen Abstand von genau 1000 Metern hatten und somit die Teststrecke markierten. Das Versuchsfeld wurde mit einem Maßband vermessen. Da das Feld länger als ein Kilometer ist, wurde bot das Vorgewende Orientierung. Das Vorgewende gab zusammen mit den Fahrgassen die Ausrichtung des Parallelogrammes vor, dass durch die Form der Versuchsfläche entstand. Dabei wurde die Fahrgasse des Vorgewendes herausgemessen, damit diese die Messwerte nicht verfälscht, da dort starke Bodenverdichtungen bestehen. Von jedem Ende dieser am Vorgewende markierten Strecke wurden 1000 m in Richtung des anderen Vorgewendes abgemessen. Die Fahrgassen boten hierbei Orientierung, da diese mit GPS angelegt wurden und somit eine Genauigkeit auf zwei Zentimeter aufwiesen. Die Endpunkte wurden mit Fluchtstäben markiert. Nach der Vermessung wurde jeweils ein Grubberstrich gezogen, der die Anfangs- bzw. Endpunkte markierte.

Am Versuchstag stand einen John Deere 8520 sowie ein Lemken Gigant 800 für die Testzwecke zur Verfügung. Der John Deere 8520 wurde ausgewählt, weil der Kraftstoffverbrauch über das Motorsteuergerät erfasst werden kann und die drei Radsätze mit unterschiedlicher Profilhöhe zur Verfügung standen. Die drei verschiedenen Radsätze wurden nacheinander an den Schlepper montiert, wobei mit dem am JD 8520 vorhandenen vollem

Profil begonnen wurde.

Am Morgen des Versuchstages, dem 26.07.2009, wurde als erstes ein Laptop mit dem John Deere Service Advisor, welcher als Software aufgespielt war, mit der Diagnosesteckdose des Schleppers verbunden. Mit dem Motorsteuergerät des Traktors wurde eine Verbindung hergestellt und der Kraftstoffverbrauch konnte aufgezeichnet werden. Des Weiteren wurde die iBt GPS-Maus auf dem Dach des John Deere befestigt und eine Verbindung mit dem Programm PocketArea der Firma Lacos des Pocket PC's hergestellt. Das empfangene Korrektursignal war EGNOS.

Die zweite Maßnahme war die Markierung der Hinterräder, um eine Zählung der Radumdrehungen zu ermöglichen.

Danach erfolgte die Arbeitsverteilung, Ingo Hoppe war für das Fahren des Traktors und Professor Popp für die Bedienung der beiden EDV-Programme zuständig. Anschließend erfolgte die Fahrt vom Betriebsgelände der Agrar GmbH Minzow zum Versuchsfeld. Dort wurde der Grubber in Arbeitsstellung und der Taktor in die richtige Position gebracht, der zehnte Gang eingelegt und die Drehzahl auf 2000 U/min begrenzt sowie der Allradantrieb eingeschaltet und der Grubber abgesenkt. Anschließend erfolgte die Aktivierung der Programme Service Advisor und Pocket Area, so dass mit so wenig Zeitverzögerung wie möglich losgefahren werden konnte. Neben dem Schlepper fuhr ein PKW, indem ein Helfer saß, welcher anhand der markierten Hinterräder eine Zählung der Radumdrehungen vornahm. Eine Messstrecke betrug 1000 m und die Fahrt dauerte in etwa sechseinhalb Minuten. Am Ende der Strecke als mehr als ein Kilometer erreicht war, wurde durch Herunterregeln der Motordrehzahl und gleichzeitigem Auskuppeln angehalten, um zum einen die Messung der Strecke als auch die Messung bzw. Aufzeichnung des Kraftstoffverbrauches zu beenden. Im Anschluss wurde gewendet und parallel zur vorhergehend bearbeiteten Fläche eine erneute Messfahrt mit gleichem Ablauf durchgeführt.

Nach drei Wiederholungen wurde jeweils mit abgehängtem Grubber eine Referenzfahrt durchgeführt, deren Länge 200 m betrug, auch dabei wurde sowohl die benötigte Zeit als auch die Strecke gemessen. Dann erfolgte die Absenkung des praxisüblichen Luftdruckes von 1,5 auf 0,9 bar und damit wurden noch einmal drei Strecken bearbeitet. Nach den sechs Wiederholungen mit dem Reifensatz wurde der Grubber abgestellt und der Traktor zum Maschinenhof zurückgefahren, wo der Radwechsel erfolgte.

Für den Radwechsel wurde der Traktor mit einem Wagenheber angehoben, die Radbolzen mit einem Luftschrauber herausgeschraubt und das Rad mit Hilfe eines Montagewagens abgenommen und zur Seite gestellt. Danach wurde das benötigte Rad mit dem Wagen geholt,

angesetzt (wobei auf das Ventil geachtet werden musste) und anschließend befestigt.

Nach der Montage des zweiten Radsatzes und der vollendeten zweiten Messfahrt mit diesen wurde deutlich, dass kein erhöhter Schlupf mit geringerer Profilhöhe zu verzeichnen war. Daher fiel die Entscheidung, die Arbeitstiefe von acht Zentimeter auf zwölf Zentimeter zu erhöhen, dieser Wert erschien als maximale Grenze für die Stoppelbearbeitung noch akzeptabel. Da die ersten acht Wiederholungen durch diesen Umstand mit den nun folgenden nicht vergleichbar waren und die bereits erfolgten Einstellungen in Bezug auf Profilhöhe und Luftdruck erneut durchgeführt werden mussten, wurde die Anzahl der Wiederholungen auf zwei begrenzt, da es sonst zeitlich nicht möglich gewesen wäre, an diesem Tag alle Versuchsfahrten durchzuführen.

Im Anschluss wurden die Versuche mit dem zweiten Radsatz unter den neuen Bedingungen durchgeführt, danach erfolgte die Montage des Radsatzes mit abgefahrem Profil und schließlich die erneute Montage des ersten Radsatzes.

Der Versuch wurde Ende Juli durchgeführt, dieser Zeitpunkt ist sehr praxisnah gewählt, da die Gerste die erste Getreideart ist, die gemäht wird und aufgrund der Fruchtfolge die Fläche bis Mitte August für den Raps vorbereitet sein sollte.

5. Ergebnisse und Diskussion

Im Folgenden werden die erfassten Daten und Messergebnisse vorgestellt und ausgewertet. Vorrangig ging es um die Erfassung des Schlupfes, der benötigten Zeit und des Kraftstoffverbrauchs. Die folgende Tabelle zeigt alle Werte bis auf den Kratstoffverbrauch, der grafisch dargestellt ist. Oben angegeben sind die Profilhöhen, dann erfolgte die Unterteilung in die Referenzfahrt (RF) und die regulären Messfahrten (MF). Die erste Spalte gibt die Nummer der Wiederholung an und den dabei benutzten Luftdruck. Alle „Rohdaten“ wurden genau auf 1000 m umgerechnet und sind jetzt in dieser Tabelle direkt vergleichbar. Die Strecke, die Zeit sowie die Hinterradumdrehungen sind gegebene Größen; die Meter pro Umdrehung, die Geschwindigkeit und der Schlupf sind auf der Grundlage der Daten errechnet.

Tabelle 3: Ergebnisse der Versuchsfahrten

| | | Reifen neu | | Reifen halb | | Reifen glatt | |
|------------------|-------------|------------|--------|-------------|--------|--------------|--------|
| | | RF | MF | RF | MF | RF | MF |
| Wh1-1 1,5 bar | Strecke [m] | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 |
| | Zeit [s] | 355,4 | 389,56 | 357,23 | 389,64 | 362,32 | 397,84 |
| | Umdrehungen | 170,1 | 181 | 167,5 | 182 | 169,4 | 182,5 |
| | km/h | 10,13 | 9,24 | 10,08 | 9,24 | 9,94 | 9,05 |
| | m/ U | 5,88 | 5,52 | 5,97 | 5,49 | 5,9 | 5,48 |
| | Schlupf % | -3,38 | -10 | -1,8 | -10,61 | -2,95 | -10,91 |
| Wh1-2 1,5 bar | Strecke [m] | | 1000 | | 1000 | | 1000 |
| | Zeit [s] | | 389,12 | | 394,54 | | 392,3 |
| | Umdrehungen | | 181,5 | | 182,3 | | 183 |
| | km/h | | 9,25 | | 9,12 | | 9,18 |
| | m/ U | | 5,51 | | 5,49 | | 5,46 |
| | Schlupf % | | -10,31 | | -10,79 | | -11,22 |
| Wh2-1 0,9bar | Strecke [m] | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 |
| | Zeit [s] | 365,43 | 388,94 | 352,8 | 387,9 | 357,5 | 388,51 |
| | Umdrehungen | 168 | 179 | 167,7 | 178 | 166,3 | 180 |
| | km/h | 9,85 | 9,26 | 10,2 | 9,28 | 10,07 | 9,27 |
| | m/ U | 5,95 | 5,59 | 5,96 | 5,62 | 6,01 | 5,56 |
| | Schlupf % | -2,1 | -8,79 | -1,92 | -8,18 | -1,07 | -9,39 |
| Wh2-2 0,9bar | Strecke [m] | | 1000 | | 1000 | | 1000 |
| | Zeit [s] | | 382,91 | | 393,44 | | 385,56 |
| | Umdrehungen | | 179,5 | | 179 | | 180 |
| | km/h | | 9,4 | | 9,15 | | 9,34 |
| | m/ U | | 5,57 | | 5,59 | | 5,56 |
| | Schlupf % | | -9,09 | | -8,79 | | -9,39 |

RF = Referenzfahrten MF = Messfahrten Wh = Wiederholungen

5.1. Schlupf

Der Schlupf ist ein Maß für die vorherrschende Traktion, dabei war zu erwarten, dass sich der Schlupf bei verringertem Luftdruck vermindert und bei geringerer Profilhöhe ansteigt. Die folgende Abbildung zeigt den Schlupf bei einem Luftdruck von 1,5 bar.

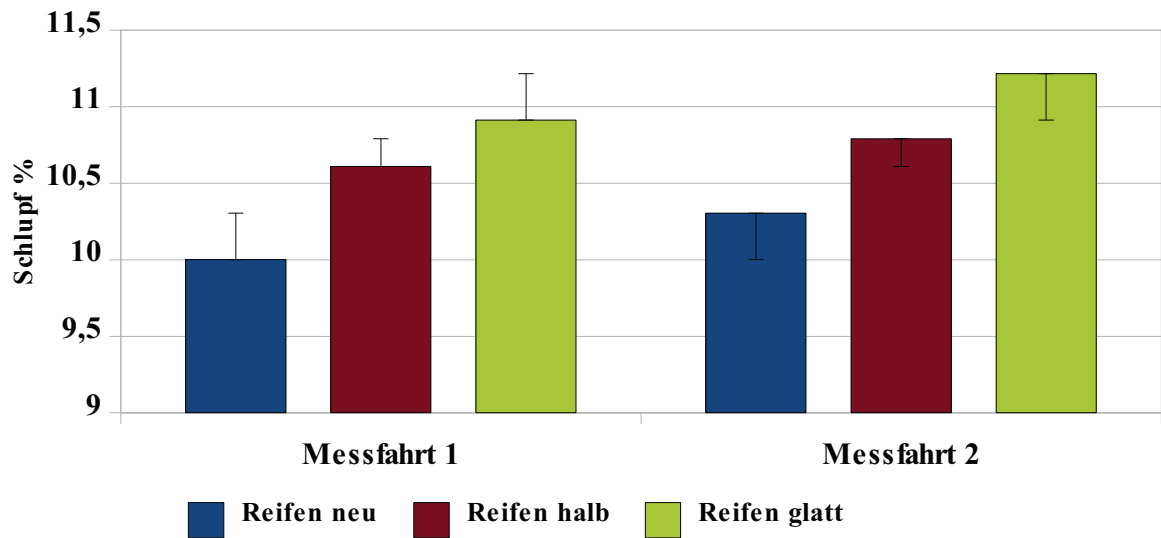


Abbildung 12: Schlupf bei einem Luftdruck von 1,5 bar

Bei einem Luftdruck von 1,5 bar schwankt der Schlupf zwischen 10 % und 11,2 %, diese Werte sind für die Bodenbearbeitung ideal. Wider der allgemeinen Annahme gibt es zwischen den verschiedenen Profilhöhen kaum Unterschiede. Die folgende Abbildung 13 zeigt den Schlupf mit auf 0,9 bar abgelassenen Luftdruck.

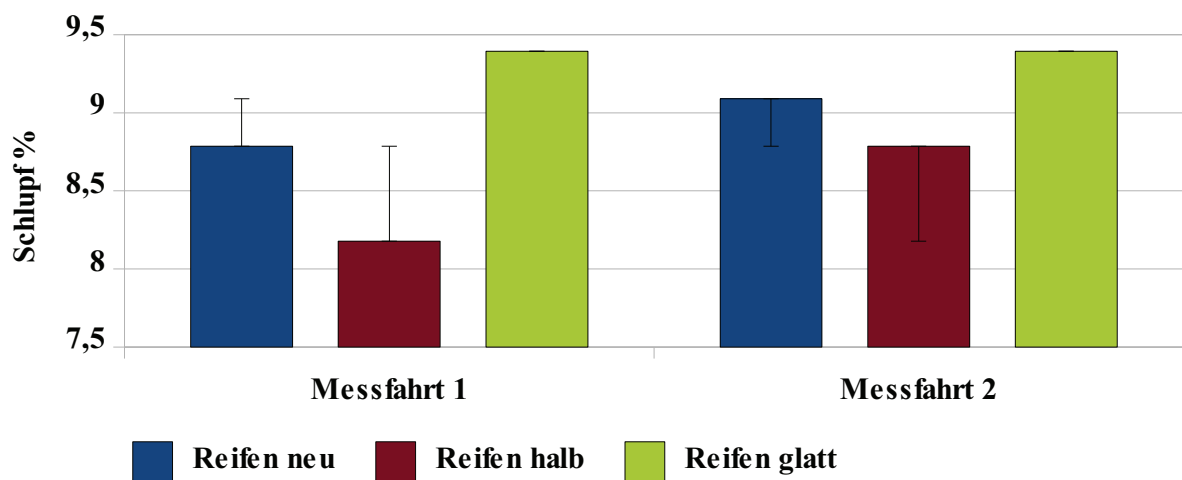


Abbildung 13: Schlupf bei einem Luftdruck von 0,9 bar

Wird der Luftdruck auf 0,9 bar abgesenkt, so verringert sich der Schlupf um bis zu zwei Prozent, mindestens jedoch um einen Prozentpunkt. Bei der in der Grafik 14 dargestellten Gegenüberstellung wird dieses Ergebnis noch deutlicher.

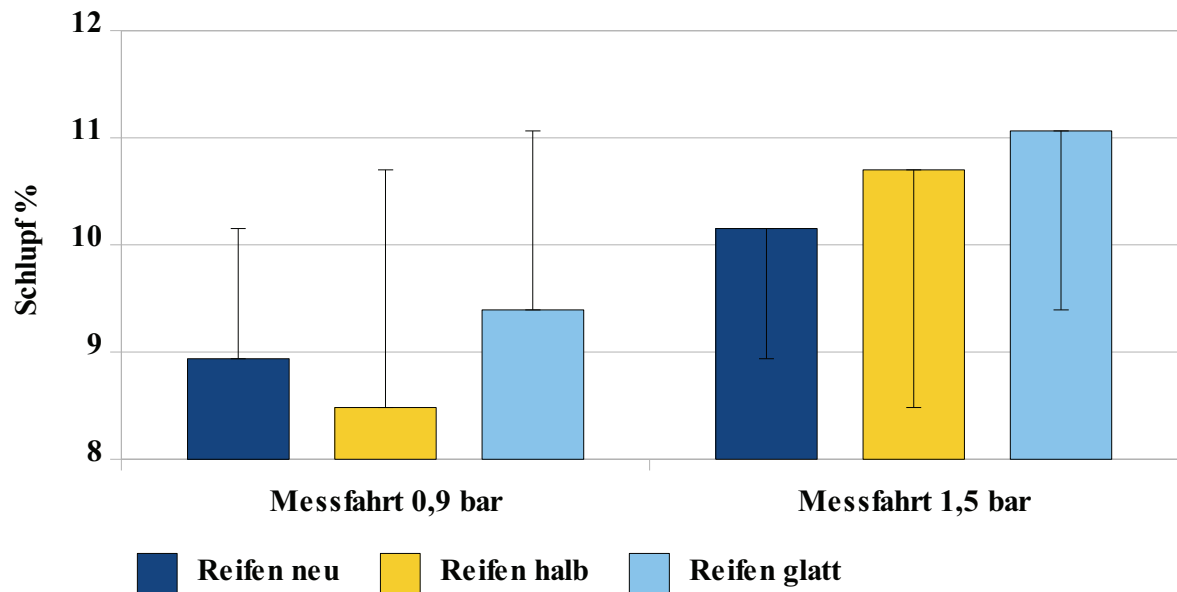


Abbildung 14: Gegenüberstellung des Schlupfes bei 0,9 und 1,5 bar

Aus dieser Gegenüberstellung ist ersichtlich, dass eine Reduzierung des Reifeninnendruckes den Schlupf vermindert. Diese Veränderung liegt vor allem an der größeren Kontaktfläche zwischen Reifen und Boden, der Reifen kann sich durch die größere Auflagefläche besser mit dem Boden verzahnen und bringt mehr Zugkraft auf den Boden. Zusätzlich zu der besseren Übertragung der Zugkraft wird der Boden gleichzeitig durch den verminderten Auflagedruck vor Schadverdichtungen geschützt, da der Kontaktflächendruck deutlich reduziert ist.

Als Veranschaulichung der sehr guten Traktion auf dem Stoppelacker und der idealen Einstellung des Schlupfes im Versuch zeigt die folgende Abbildung die Energieverluste in Abhängigkeit von dem vorhandenen Schlupf auf dem Stoppelacker.

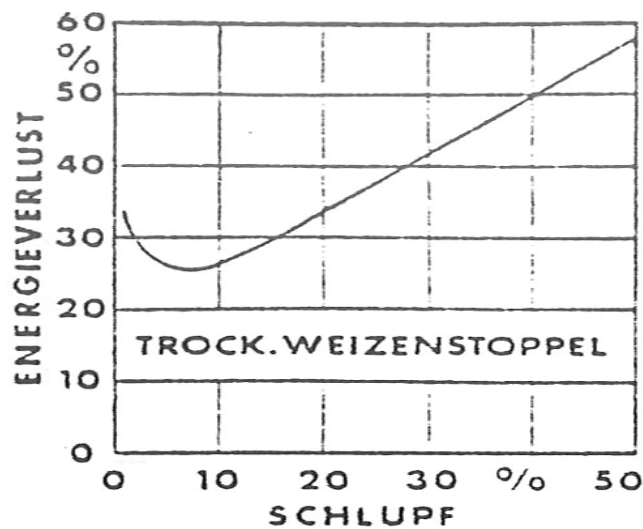


Abbildung 15: Energieverluste eines Allradschleppers in Abhängigkeit des Schlupfes (RENIUS, K., 1980)

Aus der Abbildung ist ersichtlich, dass sich die bestmögliche Energieausbeute zwischen fünf und zehn Prozent Schlupf während der Bearbeitung einstellt. Die nachfolgende Abbildung 16 stellt den Einfluss des Untergrundes auf den Schlupf und die Zugkraft dar.

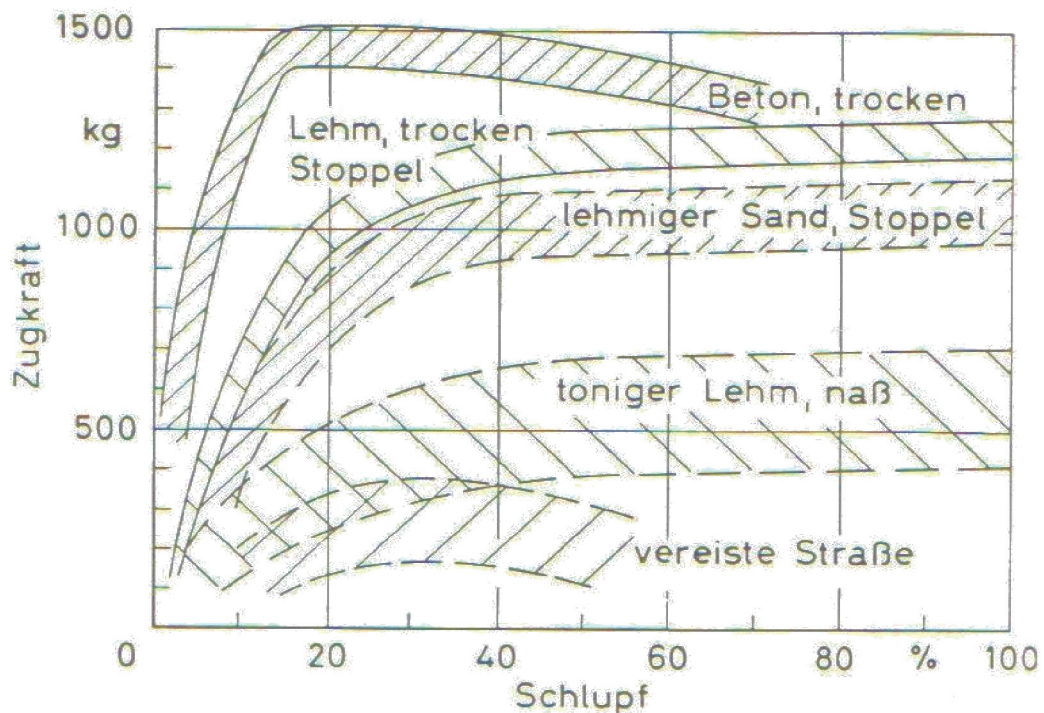


Abbildung 16: Einfluss der Fahrbahn auf Zugkraft und Schlupf eines luftbereiften Ackerschleppers (Dencker, C. H., 1961)

5.2. Fahrgeschwindigkeit

Die Fahrgeschwindigkeit ist ein wichtiges Maß für die Flächenleistung, denn diese setzt sich aus Fahrgeschwindigkeit und Arbeitsbreite zusammen. Es ist davon auszugehen, dass mit abnehmender Profilhöhe die Fahrgeschwindigkeit sinkt und mit niedrigem Luftdruck steigt, da weniger Vortrieb durch das Verschieben des Bodens verloren geht. Abbildung 17 zeigt die Fahrgeschwindigkeit mit einem Luftdruck von 1,5 bar.

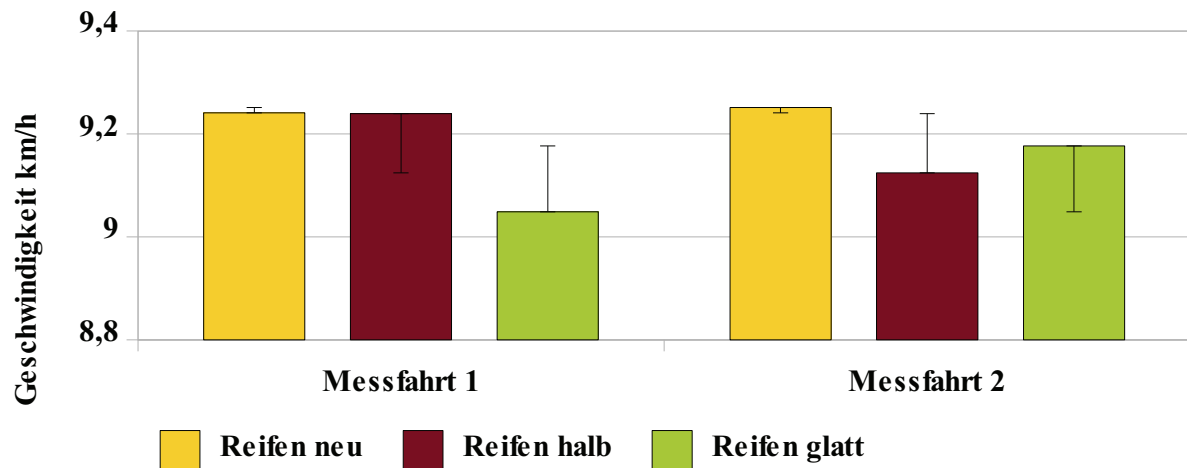


Abbildung 17: Fahrgeschwindigkeit mit einem Luftdruck von 1,5 bar

Die Grafik stellt die unterschiedlichen Fahrgeschwindigkeiten dar, bei der Referenzfahrt erreichte der Traktor Geschwindigkeiten von bis zu 9,7 km/h. Die kleinste Geschwindigkeit, etwa 9,05 km/h, wurde mit dem abgefahrenen Radsatz erreicht. Die größte Geschwindigkeit, etwa 9,25 km/h, konnte mit dem neuwertigen Profil verzeichnet werden. Die Differenz zwischen der langsamsten und der schnellsten Fahrt beträgt genau 0,2 km/h und liegt damit deutlich unter dem erwarteten Wert. Um zu veranschaulichen, ob die Reduzierung des Schlupfes auch die Geschwindigkeit erhöht folgt die Abbildung 18.

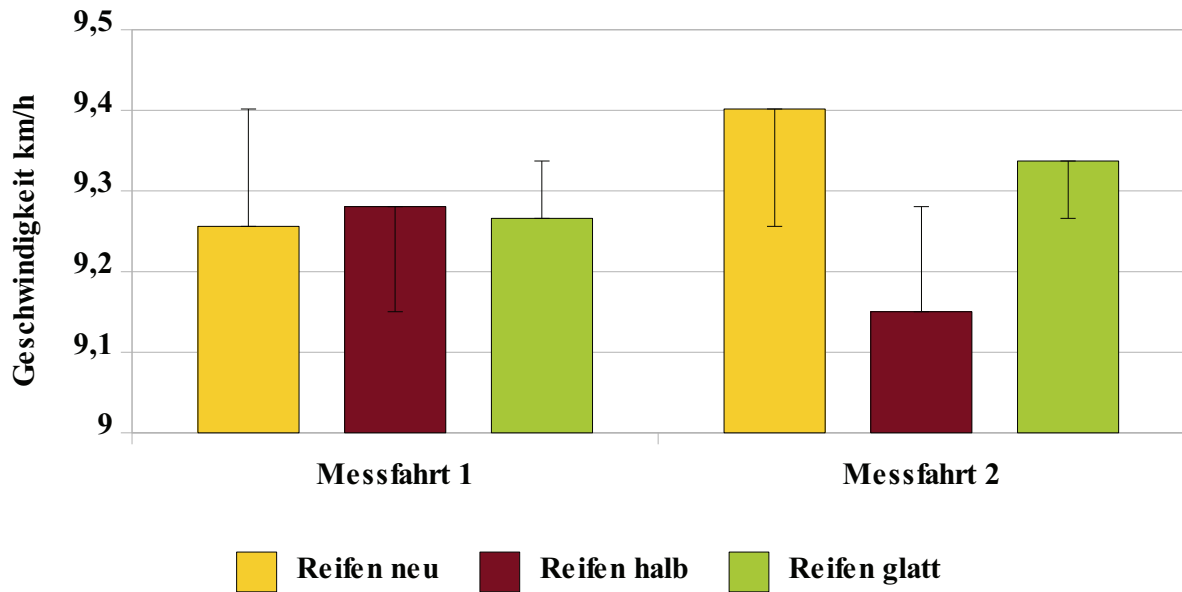


Abbildung 18: Fahrgeschwindigkeit mit 0,9 bar Luftdruck

Die 18 Abbildung stellt die Fahrgeschwindigkeiten bei abgesenktem Luftdruck dar, im Vergleich zu den Geschwindigkeiten mit dem hohen Luftdruck wird ersichtlich, dass bei geringerem Schlupf auch mit einem kleineren Außendurchmesser des Rades die Fahrgeschwindigkeit steigt. Somit steigt die Flächenleistung an, der Boden wird geschont und die Lebensdauer des Reifens erhöht sich bei korrekter Druckanpassung ebenfalls. Den niedrigsten Geschwindigkeitswert erreichte hier der Radsatz mit halbem Profil in der zweiten Messfahrt (9,15 km/h). Eine Höchstgeschwindigkeit von 9,4 km/h konnte mit dem neuwertigen Profil ermittelt werden. Die Differenz beträgt hier 0,25 km/h. Es zeigt sich jedoch eine relativ große Streuung der Messergebnisse. Bereits zwischen der ersten und zweiten Messfahrt mit vollem Profil zeigt sich ein Unterschied von 0,14 km/h.

Die letzte Abbildung zur Fahrgeschwindigkeit ist die Abbildung 19, darin werden die Fahrgeschwindigkeiten mit hohem und niedrigen Luftdruck gegenübergestellt.

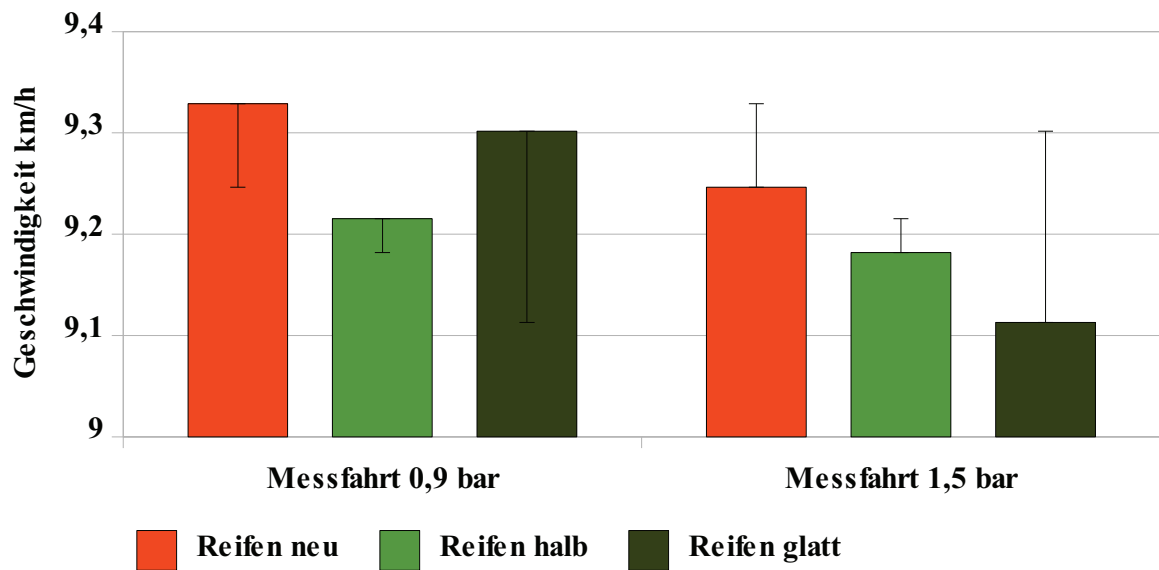


Abbildung 19: Gegenüberstellung der Fahrgeschwindigkeiten mit hohem und niedrigem Luftdruck

Den geringsten Unterschied in der Fahrgeschwindigkeit gab es bei dem Radsatz mit der halben Profilhöhe, dafür könnte die günstige Profilhöhe ein Grund sein, denn mit dem vollen Profil konnten die Stollen, aufgrund der hohen Tragfähigkeit nicht voll in den Boden einsinken und waren mit der größeren Kontaktfläche in der Lage die Traktion zu erhöhen. Der Radsatz mit dem abgefahrenen Profil konnte sich nur sehr bedingt mit dem Boden verzahnen, so dass die einzige Möglichkeit für diese Reifen mehr Zugkraft zu übertragen, in der Vergrößerung der Aufstandsflächen auf dem Boden lag.

Die Abbildung 20 zeigt den John Deere 8520 mit einem Vorderrad mit abgefahretem Profil und 0,9 bar Reifeninnendruck (rechts) und mit einem Vorderrad mit neuwertigem Profil und 1,5 bar Luftdruck (links).



Abbildung 20: Vergleich Reifen glatt 0,9 bar, Reifen voll 1,5 bar

Im Grunde kann gesagt werden, dass sich die Absenkung des Luftdruckes auf die Fahrgeschwindigkeit ähnlich positiv auswirkt wie auf den Schlupf. Denn alle Profilvarianten haben mit weniger Luftdruck, trotz des enormen optischen Unterschiedes, eine größere Fahrgeschwindigkeit realisieren können.

5.3. Kraftstoffverbrauch

Der Kraftstoffverbrauch ist bei der Bodenbearbeitung eine sehr relevante Größe in Bezug auf die Höhe der Kosten für einen bearbeiteten Hektar Fläche. Die Preise für Kraftstoff steigen stetig. Die immer größer werdenden Maschinen sind in der Lage, bei nicht optimalem Einsatz eine Menge an Kosten in Hinblick auf den mehr verbrauchten Diesel zu produzieren, dieser Mehrverbrauch kann sich pro bearbeitetem Hektar auf mehrere Euro belaufen. Die Abbildung 21 zeigt den Verbrauch an Diesel bei einem Luftdruck von 1,5 bar.

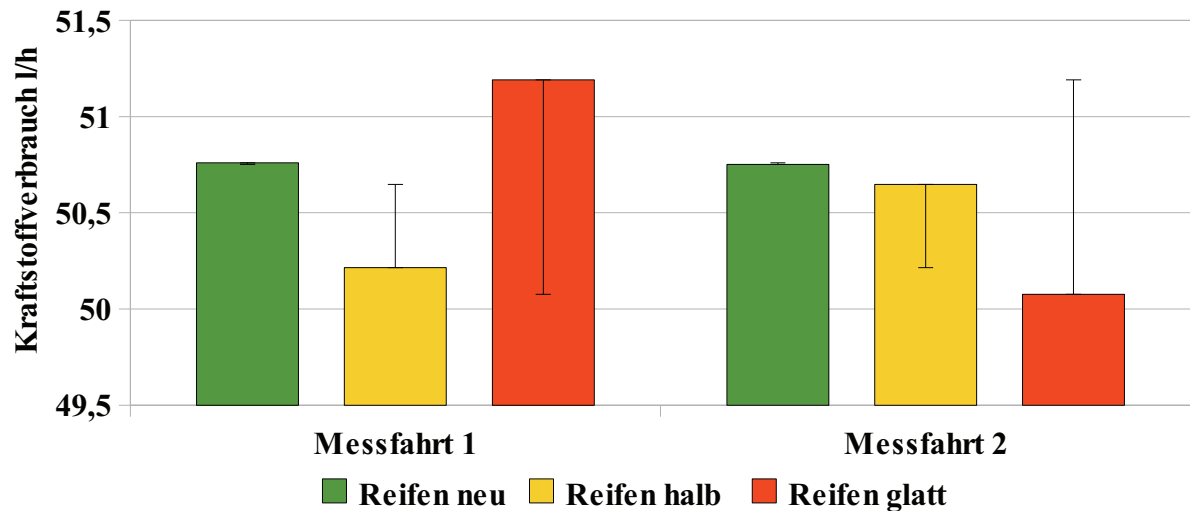


Abbildung 21: Kraftstoffverbrauch bei einem Luftdruck von 1,5 bar

Der jeweilige Kraftstoffverbrauch bei dem hohem Luftdruck lässt keinen Trend erkennen, alle Durchgänge liegen jedoch relativ nah beieinander, ungeachtet dessen sind die durchschnittlichen Verbrauchswerte recht schwankend. Der niedrigste Wert wurde erstaunlicherweise bei abgefahretem Profil erreicht, er beträgt 50,08 l/h. Der höchste Wert wurde ebenfalls bei abgefahretem Profil gemessen, allerdings zeigt er sich mit 51,95 l/h unverhältnismäßig hoch, da der Unterschied zum nächst niedrigeren Wert bereits etwa 0,9 l/h beträgt. Die anderen Messwerte schwanken im Mittel um 50,5 l/h. Diese Abweichungen sind aller Wahrscheinlichkeit nach Messfehler, wie der Wert der ersten Messfahrt bei glattem Profil.

Es könnte unter Umständen auch an dem Boden gelegen haben, das gerade in dieser Messfahrt eine Fahrgasse, die durch Unebenheiten etwas höher lag, über die gesamte Strecke durchgegrubbert wurde. Wie es bei dem Luftdruck von 0,9 bar aussah zeigt die folgende Grafik 22.

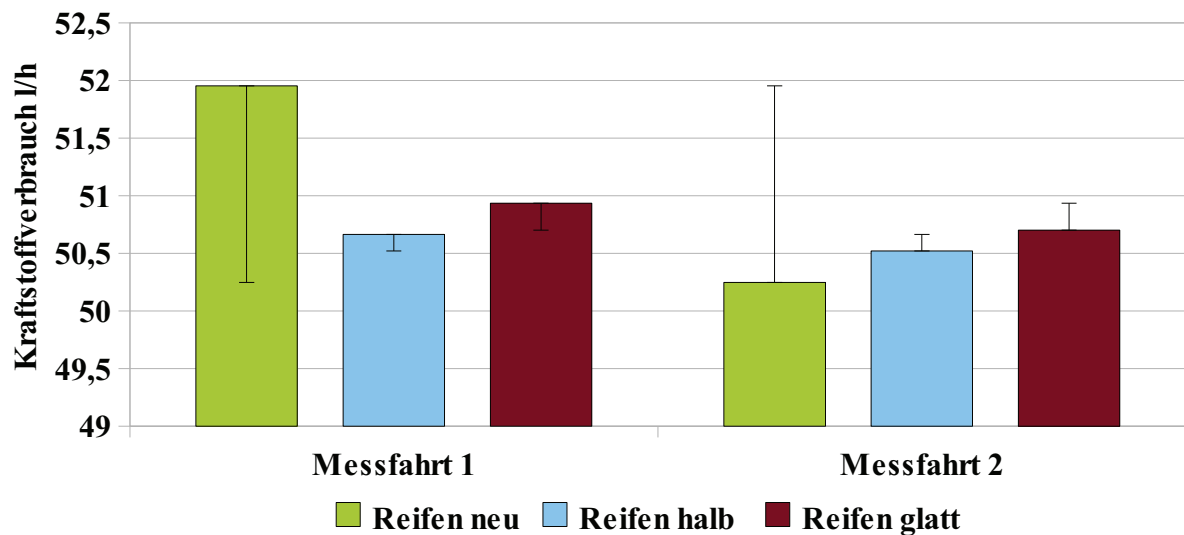


Abbildung 22: Kraftstoffverbrauch bei einem Luftdruck von 0,9 bar

Aus der Grafik 21 ist folgender Trend zu erkennen, bei der ersten Messfahrt wurde mehr Kraftstoff für die Bearbeitung benötigt als für die zweite Messfahrt. Der Wert für die erste Messfahrt bei voller Profilhöhe ist als Ausreißer zu bezeichnen, die Gründe dafür können zum einen Messfehler als auch Unregelmäßigkeiten in Bezug auf die Lagerungsdichte des Bodens sein.

Als letzte Abbildung für den Kraftstoffverbrauch folgt die Abbildung 23, diese bildet den Verbrauch an Kraftstoff bei einem Luftdruck von 1,5 und 0,9 bar ab.

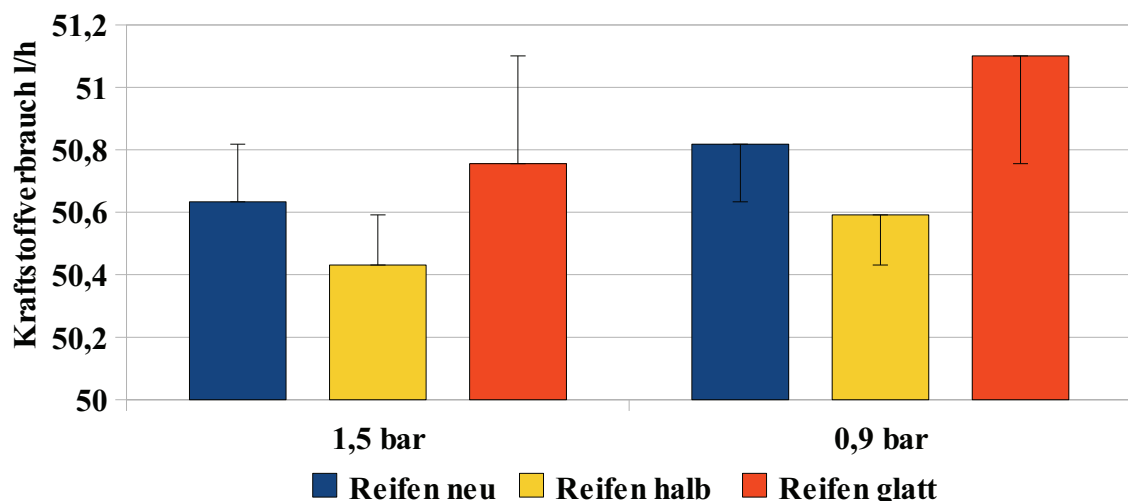


Abbildung 23: Gegenüberstellung des Kraftstoffverbrauchs bei hoher und niedriger Luftdruckeinstellung

Die Abbildung 23 zeigt deutlich, dass bei abgesenktem Luftdruck der Kraftstoffverbrauch pro Stunde um bis zu 0,3 Liter ansteigt. Dieser Mehrverbrauch kommt durch die erhöhte Walkarbeit. Im Durchschnitt wurde bei halbem Profil am wenigsten Kraftstoff verbraucht und

bei vollem Profil am meisten, die genauen Werte sind der Abbildung zu entnehmen. Obwohl der durchschnittliche Verbrauch um etwa 0,6 l/h variiert, war auch bei diesem Wert ein deutlicherer Unterschied erwartet worden. Der mit abgelassenem Luftdruck erhöhte Kraftstoffverbrauch wirkt sich nicht negativ auf die Kosten aus, da sich gleichzeitig durch die höhere Fahrgeschwindigkeit die Flächenleistung erhöht.

5.4. Kostenrechnung

Die Kostenrechnung dient der Erfassung aller Kosten des Traktoreinsatzes, die Kosten für den Grubber werden hierbei nicht berücksichtigt, da sie für die Auswertung dieses Versuches nicht relevant sind. Zudem liegen keine gesicherten Daten über den Grubber, wie beispielsweise Kosten durch Verschleißteilbedarf und Restwert vor. Die Schlepperkostenrechnung bezieht alle Kosten bis auf den Kraftstoffverbrauch mit ein. Die Abschreibung erfolgt über die Fixkosten. Folgende Daten liegen der Kostenrechnung zu Grunde:

| | |
|---------------------------|------------------------------|
| Neupreis John Deere 8520: | 130.000 € |
| Restwert: | 20.000 € |
| Nutzungsdauer: | 12 Jahre |
| Zinssatz: | 5 % |
| Versicherungssatz: | 0,5 % vom Neuwert |
| zusätzliche Kosten: | 55,38% vom Neuwert (7,5 €/h) |
| Jahresleistung: | 800 h |
| Dieselskosten: | 1,2 € /l |
| Lohnkosten: | 10 € /h |
| Wendezeit: | 10% der Bearbeitungszeit /ha |

Schlepperkosten pro Einsatzstunde:

$$\begin{aligned}
 & (((\text{Anschaffungskosten} - \text{Restwert}) : \text{Nutzungsdauer}) \\
 + & (((\text{Anschaffungskosten} + \text{Restwert}) : 2) * \text{Zinssatz}) \\
 + & ((\text{Wartungssatz} * \text{Anschaffungskosten}) : \text{Nutzungsdauer}) \\
 + & (\text{Versicherungssatz} * \text{Anschaffungskosten}) \\
 : & 800)
 \end{aligned}$$

Nach dieser Berechnung belaufen sich die Schlepperkosten für den John Deere 8520 auf 24,46€ pro Einsatzstunde.

Gesamtkostenrechnung pro Hektar:

$$\begin{aligned}
 & (\text{Dieselverbrauch in l/ha} * \text{Dieselpreis in €/l}) \\
 + & (\text{Flächenleistung in h/ha} * \text{fixe Schlepperkosten in €/h}) \\
 + & (\text{Lohnkosten in €/h} * \text{Flächenleistung in h/ha})
 \end{aligned}$$

Tabelle 4: Berechnung der Leistungen und Kosten der verschiedenen Profilhöhen

| | Glatt 1,5 bar | Glatt 0,9 bar | Halb 1,5 bar | Halb 0,9 bar | Voll 1,5 bar | Voll 0,9 bar |
|-------------------------|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Gesamtkosten pro Hektar | 14,52 € | 14,26 € | 14,37 € | 14,34 € | 14,32 € | 14,26 € |
| Hektar pro Stunde | 6,56 ha | 6,7 ha | 6,61 ha | 6,64 ha | 6,66 ha | 6,72 ha |
| Liter Diesel pro Hektar | 7,72 l | 7,59 l | 7,63 l | 7,62 l | 7,62 l | 7,61 l |

Die Gesamtkostenrechnung pro Hektar ist für die Landwirte ein wichtiges Entscheidungskriterium. Die geringe Abweichung von 0,26€ zwischen dem höchsten und dem niedrigsten Wert sollte keine vorzeitige Neubereifung bedingen, zumal der Tiefstwert von 14,26€ sowohl bei abgefahrenem als auch bei neuem Profil unter niedrigem Reifeninnendruck zu messen war. Der Höchstwert von 14,52€ stellte sich bei der Nutzung des abgefahrenen Radsatzes bei hohem Luftdruck ein. Bei der Bestimmung der bearbeiteten Hektar pro Stunde

zeigte sich nur ein geringer Unterschied von 0,16 ha/h und auch der Dieserverbrauch variierte nur geringfügig um 0,13 l/ha. Des Weiteren wurden die Gesamtkosten pro Stunde errechnet, der Wert liegt bei allen Varianten etwa bei 95€. Da die Messwerte des Versuches in vielfacher Hinsicht für die Berechnungen verwendet wurden und Messfehler nicht auszuschließen sind, können sich diese im Laufe der Kostenberechnung potenzieren und somit die Ergebnisse verfälschen.

Da im Bereich der praktischen Landwirtschaft die Flächen in größeren Dimensionen bearbeitet werden soll errechnet werden, ob diese Unterschiede der Kosten zwischen den Radsätzen eine Neuanschaffung rechtfertigen. Als Beispielbetrieb dient die Agrar GmbH Minzow. Dort werden jährlich ca. 800 Hektar Stoppel bearbeitet. Die anschließende Tabelle enthält die Kosten für eine dem Versuch entsprechende Grubberarbeit, einschließlich der benötigten Arbeitsstunden

Tabelle 5: Bearbeitungskosten des Beispielbetriebs

| | Glatt 0,9 | Voll 0,9 | Voll 1,5 | Halb 0,9 | Halb 1,5 | Glatt 1,5 |
|--------------------------|---------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Bearbeitungs-kosten € | 11.402,00 € | 11.406,00 € | 11.456,00 € | 11.469,00 € | 11.496,00 € | 11.614,00 € |
| | <----- 212€ -----> | | | | | |
| Arbeits-stunden | 119,5h | 119,1h | 120,2h | 120,5h | 121,0 h | 121,9h |
| | <----- 2,8h -----> | | | | | |

Die Tabelle verdeutlicht, dass die Unterschiede selbst bei nicht angepassten Reifen sehr gering sind. Der abgefahrene Radsatz steht bei richtiger Einstellung des Luftdrucks den anderen Radsätzen in nichts nach. Er schnitt sogar am besten ab. Andererseits verursacht er die höchsten Kosten wenn eine optimale Einstellung vernachlässigt wird. Jedoch beträgt der Kostenunterschied selbst dann nur 212€. Der Radsatz mit neuwertigem Profil und 0,9 bar Reifeninnendruck verursacht laut der Messergebnisse erhöhte Kosten von 4€ im Gegensatz zum abgefahrenen Radsatz mit 0,9bar. Positiv zu bewerten ist aber eine geringere Arbeitsstundenanzahl von 0,4h. Auch die Arbeitsstunden unterscheiden sich insgesamt nur geringfügig. Die Gesamtdifferenz beträgt 2,8 Stunden. Das Ergebnis zeigt deutlich, dass selbst bei unangepassten Reifeninnendruck eine Neuanschaffung von Reifen nicht ökonomisch sinnvoll ist, da der Kostenunterschied von 212€ in keinem Verhältnis zu den Kosten eines Neuerwerbs von vier Reifen im Wert von ca. 10.000€ steht.

6. Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Bearbeitung eines Stoppelackers ist ein normaler Vorgang in der Landwirtschaft, allerdings zeigte sich, dass dieser Untergrund einen sehr hohen Triebkraftbeiwert besaß und der Schlupf somit sehr gering war. Es wäre daher ratsam einen nächsten Versuch unter anderen nicht abgesetzten Bodenverhältnissen durchzuführen. Zusätzlich sollte eine Erhöhung des Schlupfes angestrebt werden, beispielsweise durch eine Vergrößerung der Arbeitsbreite oder auch eine tiefere Bodenbearbeitung in Verbindung mit einer höheren Fahrgeschwindigkeit sowie einem geringeren Schleppergewicht. Letzteres wäre durch eine Demontage der Rad- und Frontgewichte möglich. Im Falle dieses Versuches hätte eine Erhöhung der Arbeitstiefe mit gleichzeitiger Verringerung der Fahrgeschwindigkeit die beste Möglichkeit dargestellt, allerdings wäre dann das Kriterium einer Stoppelbearbeitung nicht mehr gegeben gewesen. Da die Unterschiede der Messungen gering waren, ist es umso wahrscheinlicher, dass es durch menschliche Fehler während des Versuches zu Abweichungen kam. Die Radumdrehungen wurden durch Zählung ermittelt, allerdings beliefen sich die Unterschiede teilweise auf weniger als eine Radumdrehung. Die Stellung des Rades konnte jedoch nur auf eine Viertelumdrehung genau ermittelt werden, so dass es hier zu Abweichungen durch Auf- oder Abrunden kommen kann. Besonders bei der Referenzfahrt mit einer Strecke von nur 200 Metern trat dieses Problem stark zu Tage. Der Wert wurde auf einen Kilometer hochgerechnet und selbst bei einer Ungenauigkeit von weniger als einer Viertelumdrehung konnte sich der endgültige Wert um mehr als eine Umdrehung verändern. Es wäre daher von Vorteil in folgenden Versuchen die Radumdrehungen mit einer Zähleinrichtung zu erfassen.

Bei der Zeitmessung kam es zu ähnlichen Vorgängen, da durch die menschliche und technische Reaktionszeit, wie beschleunigen und abbremsen, Ungenauigkeiten aufgetreten sind. Der Schlepper hielt an der Anfangslinie und startete anschließend bereits in der Messstrecke, vorteilhafter wäre ein Anfahren außerhalb der Messstrecke, so dass diese bereits in voller Fahrt erreicht würde.

Die zeitgerechte Bedienung der technischen Hilfsmittel erwies sich als schwierig, was aber mit der oben genannten Maßnahme des Einfahrens in voller Fahrt verhindert werden kann. Der von dem John Deere-Vertriebspartner Harwart-Landtechnik in Neubrandenburg zur Verfügung gestellte Laptop mit dem aufgespielten Wartungsprogramm Service Advisor war

für die Messung nicht ideal eingestellt. Das Programm verfügt über zahlreiche Zusatzfunktionen über deren Verwendung keine Kenntnisse vorhanden waren. Es besteht zum Beispiel die Möglichkeit, die Auszeichnung des Kraftstoffverbrauchs erst ab einer bestimmten Geschwindigkeit oder Motordrehzahl erfolgen zu lassen.

Die Verwendung eines Parallelfahrersystems kann von Vorteil sein, denn es ist zwar irrelevant, ob ein schmaler Streifen unbearbeitet bleibt, doch wenn es zu Doppelbearbeitungen der Fläche kommt, wird der Arbeitsvorgang erleichtert und somit bei gleicher Drehzahl eine höhere Geschwindigkeit und ein niedrigerer Kraftstoffverbrauch möglich.

Während der Auswertung der Messergebnisse zeigte sich auch, dass eine höhere Anzahl an Messfahrten wünschenswert wäre, da sich eine gewisse Differenz der beiden Resultate zeigt. Eine Mindestanzahl von drei Messungen sollte eingehalten werden, durch den Umstand der Anpassung des Versuches an die Gegebenheiten, die Vergrößerung der Arbeitstiefe, war dies in diesem Falle zeitlich nicht mehr praktikabel. Eine Fortsetzung des Versuches am nächsten Tag war ebenfalls nicht einzurichten, da viele Hilfsmittel, wie Montagewagen, Wagenheber und auch die erforderliche Anzahl an Helfern nicht außerhalb des Wochenendes zur Verfügung standen.

Wie bereits oben angeschnitten, waren bei den unterschiedlichen Luftdruckeinstellungen bereits messbare Unterschiede zu verzeichnen. Die Differenz der Reifeninnendrucke betrug etwa 0,6 bar. Der hohe Luftdruck von 1,5bar könnte beibehalten werden, da er der Praxis nah ist, der niedrige Luftdruck von 0,9bar könnte vor allem an den Hinterrädern noch deutlich unterschritten werden. Durch die größeren Kontaktflächen zwischen Reifen und Boden ist ein geringerer Schlupf zu erwarten, wobei ein Folgeversuch auf anderen Bodenverhältnissen auch andere Resultate zeigen könnte.

Um eine wissenschaftlich fundiertere Auswertung zu gewährleisten wäre es vorteilhaft, die Rahmenbedingungen wie Lagerungsdichte oder auch Feuchtigkeitsgehalt des Bodens am Tage des Versuchs zu erfassen. Eine Messung der Spurtiefe wäre vor allem auf weniger tragfähigen Bodenverhältnissen als auf dem abgesetzten Stoppelacker von Interesse.

In weiteren Versuchen wird sich zeigen, ob die Ergebnisse auf die Stoppelbearbeitung auf relativ tragfähigem Untergrund begrenzt sind oder ob sie wider der momentanen Ansicht allgemein gültig einzustufen sind.

7. Zusammenfassung

Das Ziel des Versuchs war es, Erkenntnisse über den Schlupf eines Schleppers mit Radsätzen verschiedener Profilhöhen zu erhalten. Wünschenswert ist hierbei ein möglichst praxisnaher Versuch. Die Erwartung war ein deutlicher Unterschied zwischen den Radsätzen, allerdings hat sich diese Annahme nicht bestätigt.

Eines der Ergebnisse dieses Versuches ist, dass sich der Schlupf bei trockenen Bedingungen und tragfähigem Boden bei den verschiedenen Reifensätzen kaum unterscheidet. Die Differenz ist so gering, dass aus der ökonomischen Sicht eine Neuanschaffung von Reifen selbst bei zwanzig Prozent Profilhöhe als nicht rentabel zu bewerten ist.

Das Variieren des Luftdruckes hingegen brachte erstaunliche Ergebnisse, denn er hat einen größeren Einfluss als erwartet. Mit abgelassenem Reifeninnendruck kann der abgefahrene Reifen nahezu die selben Kräfte übertragen, wie ein Reifen mit neuem Profil, dies wird in der Abbildung 14 deutlich. Somit ist es ratsam, bei der Einstellung des Traktor verstärkt auf den Luftdruck zu achten, denn in den Bereichen Kraftstoff sparen und maximale Flächenleistung ist sicher Potential vorhanden. Zudem kann gesagt werden, je stärker der Reifen verschlissen ist, desto stärker wirkt sich eine nicht optimale Anpassung der Maschineneinstellungen negativ aus. Zu den richtigen Einstellungen gehört zum einen ein ausreichend hohes Leistungsgewicht und zum anderen eine möglichst optimale Einstellung des Luftdruckes der Reifen. Dafür ist es notwendig, dass der Fahrer Kenntnisse über das auf die Achsen wirkende Gewicht hat, um die Schlepperreifen auf einen möglichst geringen, der Belastung angepassten Wert einzustellen. Dabei ist es wichtig auf die Maßgaben des Herstellers zu achten, um Schäden am Reifen zu vermeiden. Die Wirkung des angepassten Reifeninnendruckes auf den Kraftstoffverbrauch ist ambivalent. Grundsätzlich ist eine Anpassung als positiv zu bewerten, vor allem da die Flächenleistung erhöht wird und sich somit ein Kraftstoffersparnis ergibt. Allerdings muss durch die hohe Verformung des Reifens eine höhere Kraft aufgewandt werden. Durch diesen Sachverhalt gleichen sich die Ersparnis und Mehraufwand an Kraftstoffverbrauch annähernd aus. Der Versuch zeigt, dass Reifen mit 20% Profil unter trockenen Bedingungen in jedem Fall für die Stoppelbearbeitung ausreichend sind. Somit ist es ökonomisch und ökologisch nicht zu vertreten, dieses Potential ungenutzt zu lassen. Das für die Herstellung von Reifen benötigte Erdöl ist nur in begrenzter Menge vorhanden und es sollte daher das Bestreben eines jeden Landwirtes sein, diesen fossilen Rohstoff auch für kommende Generationen nutzbar zu erhalten.

8. Danksagung

Die Danksagung gilt vor allem Prof. Dr. Ludwig Popp, der den Versuch erst möglich gemacht hat. Weiterhin gilt besonderer Dank den Helfern Judith Hoppe, Karin Hoppe, Maximilian Bushe und Bernd Grätz, sowie den Unternehmen, die den Versuch tatkräftig unterstützt haben. Die Unternehmen sind zum einen die Agrarunion Kogel e.G., die den John Deere 8520 sowie den Grubber zur Verfügung stellte, zum anderen die Agrar GmbH Minzow, die den John Deere 8320 bereit hielt und die Ackerfläche für den Versuch unbearbeitet ließ. Um den Kraftstoffverbrauch erfassen zu können, wurde eine spezielle Software benötigt, die mit dem dazugehörigen Laptop von Hawart Landtechnik für den Versuchstag ausgeliehen werden konnte.

Weiteres Dankeswort soll den Unternehmen zu Teil werden, die durch Sponsoring den Versuch durchführbar gemacht haben. Das Unternehmen Gummi Grassau Neubrandenburg stellte vier abgefahrene Reifen bereit und montierte diese auf die Felgen, die das Unternehmen Grasdorf Wennekamp für den Versuch produzierte.

Ohne den Wagenheber des Landtechnikcenter Röbel und den Montagewagen des Technikcenter Röbel wäre es nicht möglich gewesen den häufigen Radwechsel unter den gegebenen Umständen an einem Tag zu erledigen.

An alle Beteiligten: Vielen Dank!



Abbildung 24: John Deere 8520 mit Lemken Smaragd Gigant 800

9. Quellenverzeichnis

Dencker, Carl Heinrich: Handbuch der Landtechnik, Hamburg/Berlin: Paul Parey, 1961, S. 118-120

Eichhorn, H.: Landwirtschaftliches Lehrbuch-Landtechnik, Eugen-Ulmer, 2000

Höltkemeyer, V.: Regelung von Reifeninnendruck und Kontaktflächen bei wechselndem Einfluß von Radlast und Boden, Kiel: VDI-MEG, 1961

Horn, R./Lebert, M.: Vorhersage der mechanischen Belastbarkeit von Böden als Pflanzenstandort auf der Grundlage von Labor- und Institut-Messungen; München: Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen, 1991

Hutinger, W.. Mitarbeiter Michelin. Interview. 28.06.2008, zitiert nach Simon, M., 2008

Rhenius, K. T.: Wo bleibt die Motorleistung. In: Agrar-Übersicht 31 (1980), Nr. 10, S.14-16

Rössler, S.. Mitarbeiter Michelin. Interview. 28.05.2008, zitiert nach Simon, M., 2008

Söhne, W.: Die Verformbarkeit des Ackerbodens. In: Grundlagen der Landtechnik 3/1952, 1951, S. 51-59

Sommer, C.: Konservierende Bodenbearbeitung- ein Konzept zur Lösung agrarrelevanter Bodenschutzprobleme

Sommer, C./Brunotte, B.: Bodenschadverdichtungen, technische Möglichkeit zur Vorsorge gegen Bodenschadverdichtungen in der pflanzlichen Produktion. Landtechnik Jg.56 (5), S. 314-315

Trelleborg. 2008. Technischer Ratgeber für Landwirtschaftsreifen.

VDI 6101: In VDI-MEG, Maschineneinsatz unter Berücksichtigung der Befahrbarkeit landwirtschaftlicher genutzter Böden. Berlin: Beuth Verlag GmbH, 2007

Vincken, D.: Der Reifen. In: Rollwiderstand und Kraftstoffersparnis. Karlsruhe: Michelin Reifenwerke KGaA, 2005

Vincken, D.: Haftung. In: Der Reifen. Karlsruhe: Michelin Reifenwerke KGaA, 2005

Vincken, D.: Komfort – mechanisch und akustisch. In: Der Reifen. Karlsruhe: Michelin Reifenwerke KGaA, 2005

Weißbach, M.: Einsparpotential am Schlepper durch richtige Ballastierung und Reifenwahl. Rationalisierungs-Kuratorium für Landwirtschaft. Rendsburg, 2009

Weißbach, M.: Landtechnische Untersuchungen zur Wirkung bodenschonender Fahrwerke an Schleppern und Arbeitsmaschinen mit verschiedenen Radlasten. Kiel: Logos Verlag, 2003

Weißbach, M.: Bodenschonende Reifen für Großmaschinen und Schlepper. Rationalisierungs-Kuratorium für Landwirtschaft. Rendsburg, 2001

Weißbach, M.: Zugkraftverhalten von Großschleppern mit verschiedenartigen Fahrwerken. In: K.A. 233, Aktuelle Arbeiten aus Landtechnik und landwirtschaftlichem Bauwesen. Dresden: Landwirtschaftsverlag Münster Hilstrup, 1996

Zapf, R.: Mechanische Bodenbelastung durch die landwirtschaftliche Pflanzenproduktion in Bayern. Freisingen, München: Schriftreihe der Bayerischen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau, 1997

Huppertz, H.: Formelsammlung: Leistungsgewicht. Online im Internet. URL:
<http://www.kfz-tech.de/Formelsammlung/Leistungsgewicht.htm> (Stand 23.08.2009)

Landtechnik Scherndl-Figl: Informationsseite: Bodenschonender Einsatz von Landmaschinen.
Online im Internet. URL:

<http://www.scherndl-figl.at/scherndl-figl-informiert/bodenschonender-einsatz-von-landmaschinen.html> (Stand 22.08.2009)

Michelin Reifenwerke AG und Co. KGaA: Reifenlexikon. Online im Internet. URL:
<http://www.michelin.de/de/front/affich.jsp?codeRubrique=1043> (Stand 25.08.2009)

PTG Reifendruckregelsysteme GmbH: Informationsseite: Vorteile des Angepassten Reifendrucks. Online im Internet. URL:
http://www.ptg.info/Pages_DE/02Home_Reifendruck.html (Stand 23.08.2009)

Volk, L.: Vorlesungsunterlagen: Landtechnik. 29.06.2009. Online im Internet. URL:
<http://reifenregler.de/> (Stand 23.08.2009)