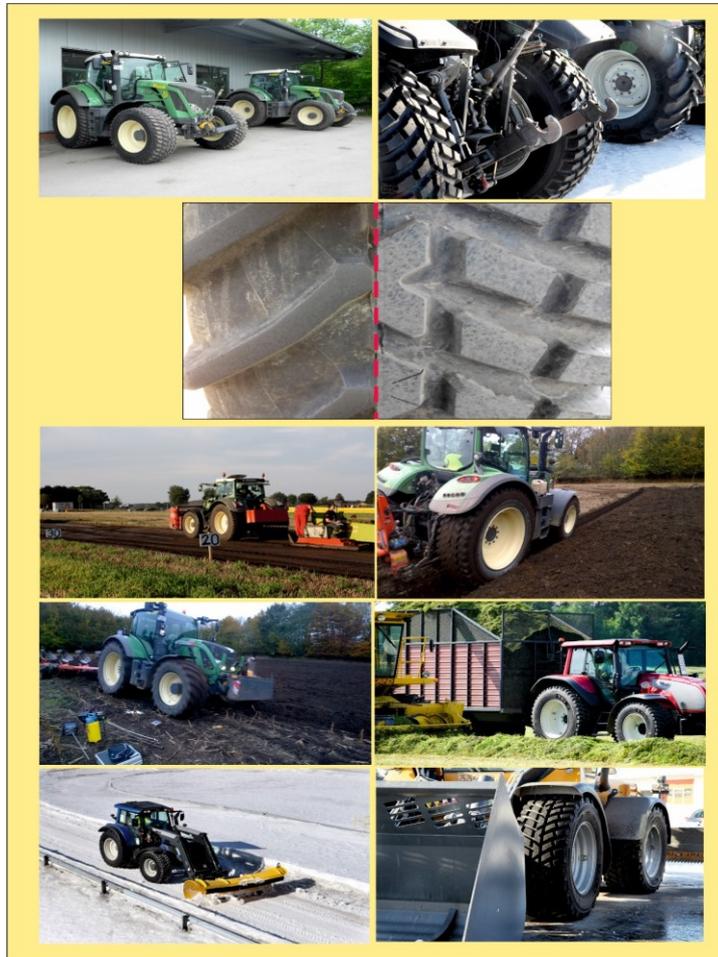




Rationalisierungs-Kuratorium
für Landwirtschaft

Anforderungen an Reifen und Bodenschutz

Industrie- oder AS-Profil im landwirtschaftlichen Einsatz



Prof. Dr. Yves Reckleben

Anforderungen an Reifen und Bodenschutz – Industrie- oder AS-Profil im landwirtschaftlichen Einsatz

April 2019

Prof. Dr. Yves Reckleben, Fachhochschule Kiel – Fachbereich Agrarwirtschaft,
Fachgebiet Landtechnik

Aus den Abschlussarbeiten von M. Sc. Niels Schäfer, B. Sc. Matthis Domscheidt,
B. Sc. Sven Conrad Jensen

Die vorliegende Arbeit ist das Ergebnis einer von der Prof.-Udo-Riemann-Stiftung
geförderten Untersuchung.

Herausgeber:

Rationalisierungs-Kuratorium für Landwirtschaft (RKL e.K.)

Albert Spreu

Grüner Kamp 15-17, 24768 Rendsburg, Tel. 04331-708110

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 1000 Betriebe aus dem ganzen Bundesgebiet angeschlossen.

Gliederung	Seite
1. Einleitung	521
2. Stand des Wissens	522
2.1 Transportmengen- und Entfernungen.....	522
2.2 Anforderungsprofil an landwirtschaftliche Reifen.....	523
2.3 Exkurs Reifenluftdruckanpassung	527
3. Reifenvergleich im Straßentransport.....	531
3.1 Kraftstoffverbrauch	532
3.2 Zusammenfassung Straßentransport	534
4. Reifenvergleich im Feldeinsatz	536
4.1 Ergebnisse	537
4.2 Schlußfolgerung Feldeinsatz	540
5. Zusammenfassung.....	541

1. Einleitung

Der Strukturwandel in der Landwirtschaft führte in den vergangenen Jahren zu einer stetigen Abnahme der Betriebszahlen. Betriebe müssen so zunehmend mehr Fläche bewirtschaften, woraus sich steigende Transportwege innerhalb der Betriebe ergeben. Die Wirtschaftlichkeit der Straßenfahrt ist aufgrund gestiegener Rohölpreise in den letzten Jahren zu einer der wichtigsten Entscheidungsgrundlagen bei der Wahl des Transportsystems geworden. Viele Betriebe setzen spätestens seit dem Ausbau des Agrarenergiesektors und dem damit verbundenen hohen Transportaufkommen auf Lastkraftwagen (Lkw). Der Traktor als zentrale Zugmaschine auf einem landwirtschaftlichen Betrieb hat zunehmend mehr Transportarbeiten zu absolvieren, trotzdem sind die klassischen Arbeiten außerdem bodenschonend und effizient zu erledigen. Die Vielfältigkeit der landwirtschaftlichen Anforderungen sowie die engen Zeitfenster für die Bodenbearbeitung und Ernte, erfordern dennoch Fahrzeuge, die speziell für den Transport, auf dem Acker und der Straße eingesetzt werden können. Der Reifen bildet das Bindeglied zwischen Maschine und Oberfläche. Dabei bildet er bei jeder Umdrehung ein Luftpolster zwischen Boden und Fahrzeug. Die Hauptunterscheidungsmerkmale sind neben Rollwiderstand, Vibrationsdämpfung und Geräuschminderung auch die Kontaktfläche, das Traktionsverhalten, der Kraftstoffverbrauch und der Verschleiß.

Die technischen Entwicklungen der letzten Jahrzehnte zeigen den Trend hin zu leistungsstärkeren Maschinen, der nicht zuletzt auch steigende Eigengewichte der Fahrzeuge mit sich bringt. Gerade auf dem Feld stellt die Bodenverdichtung aufgrund hoher Gewichtsbelastung ein zunehmendes Problem dar.

Möglichst geringe Reifeninnendrucke und große Aufstandsflächen stellen für die Praxis den Weg zum vorsorgenden Bodenschutz dar und helfen den Acker zu schonen – entsprechen aber nicht den Anforderungen auf der Straße. Für den Transporteinsatz sorgt ein hohes Gewicht für höhere Energieaufwendungen, die durch einen geringen Reifendruck noch zusätzlich verstärkt werden, da der Rollwiderstand aufgrund der größeren Kontaktfläche zunimmt. Diese gegensätzlichen Anforderungen sorgen in der landwirtschaftlichen Praxis oft für Kompromisshandlungen beim eingestellten Reifeninnendruck, um Zeit für die Anpassungen zu sparen.

Der Transportanteil im landwirtschaftlichen Sektor hat sich in den letzten Jahren kontinuierlich erhöht. Neben dem Einsatz von Schleppern gewinnt auch der Einsatz von LKW auf landwirtschaftlichen Betrieben stetig an Bedeutung. Dabei wäre bezüglich des Bodenschutzes eine generelle Trennung zwischen Feld- und Straßenfahrt wünschenswert. Auf dem Feld werden bodenschonende Fahrzeuge mit großen Bodenkontaktflächen und für die Straßen Transporte LKW mit energieeffizienten Hochdruckreifen eingesetzt, um jeweils die Belastung, Verschleiß und Kraftstoffverbrauch zu senken. Als Nachteil erweisen sich dabei der höhere Organisationsaufwand und der erweiterte Maschinenpark.

2. Stand des Wissens

2.1 Transportmengen- und Entfernungen

Im Durchschnitt werden in Deutschland ca. 500 Mio. Tonnen Güter von Landwirten über eine durchschnittliche Hof-Feld Entfernung von vier Kilometern pro Jahr transportiert. Eine Gegenüberstellung zum gesamten Güterverkehr stellt die Abbildung 1 dar.

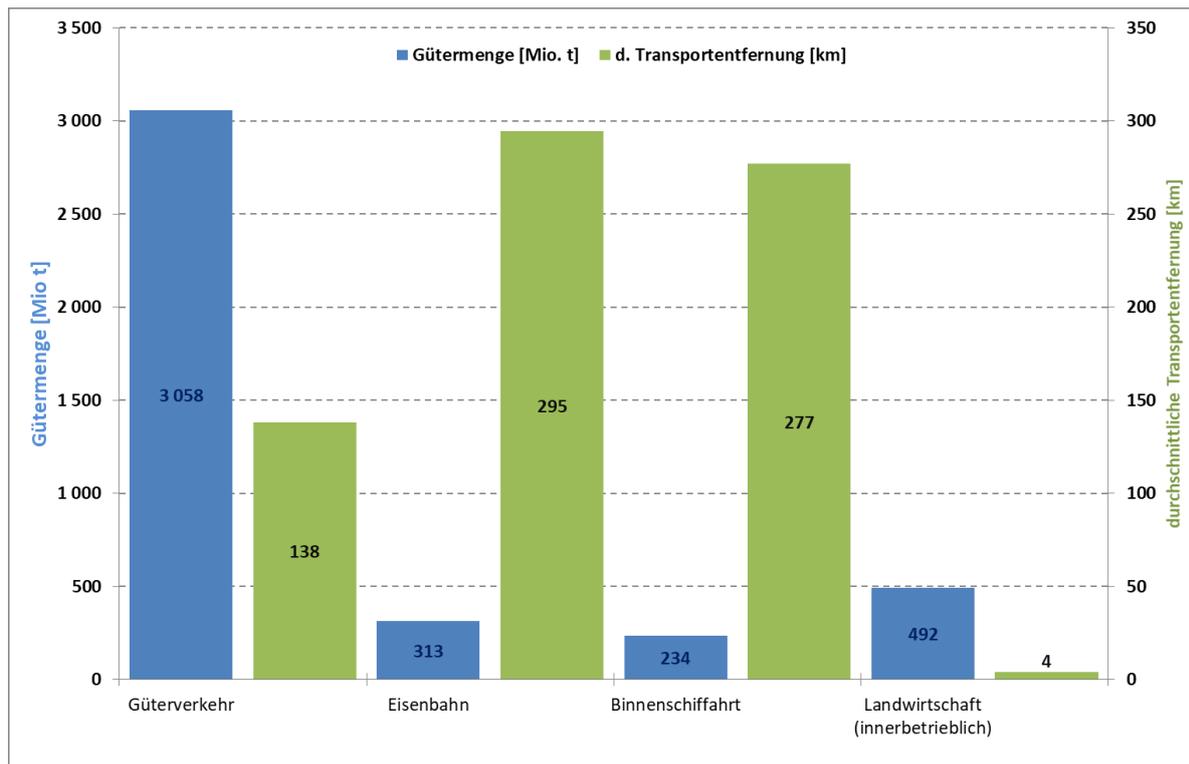


Abbildung 1: Gütermenge und Transportleistung in Deutschland (Engelhardt et al., 2007, Bernhardt 2014)

Die Abbildung 1 zeigt, dass die landwirtschaftliche Gütermenge den Mengen der Bahn und Binnenschifffahrt deutlich überwiegt. Die Transportleistung hingegen, von jährlich 1900 Mrd. km, fällt im Agrarsektor eher gering aus.

Die zu transportierenden Güter in der Landwirtschaft unterscheiden sich hinsichtlich ihrer physikalischen Eigenschaften und der anfallenden Mengen. Zudem ist die Transportentfernung von dem jeweiligen Gut abhängig. Grund dafür sind die unterschiedlichen Einsatzgebiete der Güter. Die innerlandwirtschaftlich genutzten Produkte werden in der Regel in der gleichen Region produziert und verarbeitet, dabei liegen die mittleren Transportentfernungen meistens unter 10 km. Güter die in außerlandwirtschaftlichen Produktionsstätten weiterverarbeitet werden wie z. B. Zucker-rüben, Milch und Fleisch sind Transportentfernungen deutlich höher.

2.2 Anforderungsprofil an landwirtschaftliche Reifen

Besonders für den Transport auf der Straße sind für die landwirtschaftlichen Reifen höhere Reifeninnendrucke (> 1,6 bar) erforderlich, um den Verschleiß gering zu halten und die Stabilität beim Bremsen zu erhöhen. Trotzdem ist das AS-Profil für den Straßentransport nicht optimal, denn die Stollen radieren über den Straßenbelag. Hier wären mehr und flachere Stollen von Vorteil, wie sie bei der Industriebereifung zu finden sind (Vaupel, 2018).



Abbildung 2: Versuchstraktor Fendt-Vario 828 mit Industriebereifung (TRI2 von Nokian)

Die verwendeten Traktoren weisen eine Leistung von 191 kW auf und haben ein Leergewicht von 9.450 kg. Die verwendeten Schlepper sind ca. 1 Jahr alt (ca. 1.800 Bh) und sind bereits mit der SCR Abgastechnik ausgestattet. Nach dem Verwiegen der Schlepper auf einer Fuhrwerkswaage ergab sich im nicht ballastierten Zustand ein Gewichtsverhältnis von v40:h60, was optimal ist.

Hinsichtlich der Bereifung bestehen zwischen dem herkömmlichen AS-Profil und der Industriebereifung (Typ: TRI 2) deutliche Unterschiede. Bei der AS-Bereifung handelt es sich um einen Reifen des Herstellers Trelleborg Typ: TM900-High Power. Bei der Industriebereifung handelt es sich von der Profilierung her um ein Hybridprofil zwischen LKW und Schlepper-Bereifung (AS). Die nachfolgende Abbildung zeigt den Vergleich beider Reifenarten bezüglich der Profilstruktur.



Abbildung 3: Vergleich von AS-Bereifung (links) und Industriebereifung (rechts)

Neben der Stollenstruktur unterscheiden sich die beiden Arten auch hinsichtlich der nutzbaren Stollenhöhe. So liegt die nutzbare Stollenhöhe bei einer neuen AS-Bereifung zwischen 40 mm und 60 mm. Bei der Industriebereifung hingegen liegt die nutzbare Stollenhöhe im Bereich von nur ca. 23 mm. Durch die engere Stollenstruktur ist bei der Industriebereifung der Kontaktflächenanteil bei hartem Untergrund deutlich größer. Der Hersteller hat den Reifen entwickelt, um ihn mit Hilfe des Blockprofils vielseitig zu nutzen. Sowohl für den industriellen Bereich als auch für Transporte und Zugarbeiten in der Landwirtschaft soll der Schlepperreifen einsetzbar sein.

Zudem sorgt der relativ hohe Stollenanteil für eine schonende Fahrt speziell im Grünlandbereich, bei Straßenfahrt weist er eine LKW ähnliche Laufruhe auf. Durch den vom Hersteller zugelassenen relativ hohen Reifeninnendruck sind entsprechend hohe Tragfähigkeiten (bei 50 km/h, 3660 – 6150 kg) mit geringen Rollwiderständen möglich. Zusätzlich ist die Industriebereifung mit einer Verschleißanzeige ausgestattet. Dieser Quereinschnitt in den Stollen verkürzt sich bei Verringerung der Stollenhöhe.

In der Summe der beschriebenen Einflussparameter auf die Effizienz von Schlepperreifen ergeben sich neben den Zielen von Langlebigkeit, hoher Zugkraftübertragung sowie hohen Tragfähigkeiten zahlreiche Unterschiede in Bezug auf die Anforderungen an Schlepperreifen (siehe Abb. 11).

Auf dem Feld:	Auf der Strasse:
<ul style="list-style-type: none"> • Hohe Haltbarkeit (geringer Verschleiß) • Hoher Laufwerkwirkungsgrad • Hohe Anforderung an die Tragfähigkeit • Gute Brems- und Federungseigenschaften • Hoher Komfort durch Rundlauf • Hohe Zugkraftübertragung 	
<ul style="list-style-type: none"> • Geringer Rollwiderstand bei möglichst geringem Luftdruck <u>Grenze:</u> Tragfähigkeit und Haltbarkeit • Minderung des Druckes auf den Boden • Gute Selbstreinigung • Vermeidung tiefer Fahrspuren 	<ul style="list-style-type: none"> • Geringer Rollwiderstand bei möglichst hohem Luftdruck <u>Grenze:</u> Komfort und Fahrsicherheit

Abbildung 4: Anforderungen an Schlepperreifen in der Landwirtschaft (SCHREIBER, 2009)

Traktoren werden in der Landwirtschaft vielfältig eingesetzt und müssen unter verschiedenen Bedingungen eine optimale Leistung erzeugen. Wie in Abbildung 4 beschrieben, muss eine strikte Trennung zwischen den Anforderungen beim Feld- und Straßeneinsatz erfolgen. In Bezug auf die Feldarbeit werden hohe Stollenhöhen für

hohe Zugkraftübertragungen gefordert. Darüber hinaus sorgt ein angepasster Luftdruck für einen niedrigen Kontaktflächendruck. Dem gegenüber steht jedoch, dass sich im Grünland vor allen Dingen Reifen mit einem hohen Stollenanteil und niedrigen Stollenhöhen für eine Schonung der Narbe eignen.

Weiter sollen die Vermeidung tieferer Fahrspuren sowie ein geringer Rollwiderstand bei der Feldarbeit für geringe Kraftstoffkosten sorgen. An diesem Punkt steht ein möglichst niedriger Reifeninnendruck auf dem Acker dem gewünschten hohen Luftdruck bei der Transportarbeit auf der Straße gegenüber. Im Bereich des Straßeneinsatzes wird ein geringer Rollwiderstand nur durch hohe Reifeninnendrucke erreicht. Durch geringe Kontaktflächen kann sowohl eine Senkung des Kraftstoffverbrauches als auch eine Minderung des Reifenverschleißes erreicht werden.

Diese Problematik zwischen dem Feld- und Straßeneinsatz bezieht sich im Bereich der Anforderung an Reifen nicht nur auf die Traktoren. Es muss beachtet werden, dass Anhänger im gleichen Umfang denen in Abbildung 4 ersichtlichen Anforderungen unterliegen.

Gerade beim Transport oder der Gülleausbringung ist das Last-/Leerverhältnis sogar deutlich größer als bei Traktoren. In der Praxis lässt sich aufgrund der Unterschiede in den Anforderungen oft ein Kompromissverhalten der Landwirte erkennen. Durch das Fahren von Reifeninnendruck von 1,2 bis 1,5 bar sollen zum Einen Vorteile auf dem Acker als auch auf der Straße gleichermaßen genutzt werden. Außerdem soll eine ständige Anpassung des Reifendruckes und der damit verbundene Zeitaufwand umgangen werden. Diese Kompromisslösung führt jedoch letztendlich zu höheren Kraftstoffverbräuchen, eventueller Bodenverdichtung sowie zu höherem Verschleiß.

Um diesen Problemen entgegenzuwirken, ist, es demnach unumgänglich, den Reifeninnendruck als ausschlaggebenden Parameter zur Effizienzsteigerung den variierenden Bedingungen anzupassen. Um den optimalen Reifendruck zwischen Acker- und Straßeneinsatz schnellstmöglich einstellen zu können, ist der Einsatz von Reifendruckregelanlagen (RDA) zunehmend mehr zu beobachten.

	Radlast [t]	Bereifung	Luftdruck [bar]
Schlepper [100 kW]	2.5	650/65R38	0.8 (50 km/h)
Schlepper [170 kW]	3.5	710/70R38	0.8 (50 km/h)
Schlepper [196 kW]	4.5	710/70R42	1.2 (50 km/h)
Muldenkipper	8.0	650/60R22,5	4 (20 km/h)
Mähdrescher	8.0	650/75R32	2.3 (10 km/h)
Häcksler	6.0	650/75R32	1.6 (10 km/h)
Rübenroder	12.0	1050/50R32	2.4 (10 km/h)

Abbildung 5: Fahrzeuge, Radlasten und typische Bereifungen sowie Luftdrücke für die Tragfähigkeit im Arbeitsbereich

Die in Abbildung 5 dargestellten Fahrzeuge und Radlasten sind Ergebnisse eigener Praxiserhebungen. Besonders bei den hohen Radlasten am Rübenroder sind seit einigen Jahren auch Reifen der Marke Michelin (XEREX BIB) am Markt, die bei 1 bar Luftdruck diese Tragfähigkeiten bei voller Bunkerbeladung (> 12 t Radlast) erreichen können. Auch hier sind variable an den Beladungszustand anzupassende Reifennendrucke optimal. Ein vom Thünen Institut in Braunschweig entwickelter Befahrbarkeitssensor, der mit Holmer erprobt wird, kann hier die notwendigen Informationen für die Reifendruckanpassung liefern.

2.3 Exkurs Reifenluftdruckanpassung

Die Anpassung des Reifenluftdruckes erfordert neben einer ausreichenden Kompressor Leistung vor allem Ventile mit einem großen Querschnitt. Standardventile bilden bislang die Basis zur Reifenluftdruck Befüllung, allerdings sind diese auch der limitierende Faktor was die Geschwindigkeit der Luftdruckanpassung angeht. Die in der nachfolgenden Abbildung dargestellten Kombinationen an Ventilen und Querschnitten ist möglich, wobei das serienmäßig eingebaute Schnellentlüfterventil eine Sonderausstattung darstellt, die bereits ab Werk mitbestellt werden muss.



Abbildung 6: Ventilarten an Rädern für die Landwirtschaft (Weißbach, 2017)

Für die eigenen Versuche erfolgte die Anpassung des Luftdruckes für die einzelnen Varianten manuell. Da es auch Ziel des Versuches sein soll, eine Aussage über die Möglichkeiten dieser Anpassung zu treffen, sowie Vor- und Nachteile der Systeme zu vergleichen, wurde die benötigte Zeit für das manuelle Verstellen des Drucks protokolliert.

Die Befüllzeit der Hinter- sowie Vorderräder von 1,4 bar auf 2,0 bar belief sich beim Standardventil auf 16 Min. Es soll jedoch an dieser Stelle angemerkt werden, dass die Befüllzeit stark von der Kompressorleistung und dem Ventilquerschnitt beeinflusst wird. Die Entlüftungszeit betrug im direkten Vergleich insgesamt 4 Min. Diese kurze Entlüftungszeit konnte durch das Entfernen des Ventileinsatzes realisiert werden und entspricht so in etwa der Zeit eines Schnellentlüftungsventils. Hier wurden in eigenen Praxisversuchen Befüllzeiten von 0,33 bis 1 Minute gemessen.

Das von Fendt zur Agritechnica 2015 vorgestellte Powergrip System ist ein werksseitig integriertes Reifendruckregelsystem, welches die Achsen zur Durchführung der Luftleitungen benutzt und über das Schleppereigene Display bedient wird, schafft in Kombination mit dem von Mitas „AIRCell“ konzipierten Reifen im Reifen System Befüllzeiten von kleiner 1 Minute bei einer Druckerhöhung von einem bar. Allerdings ist der von Mitas vorgestellte und von der Neuheitenjury mit Gold prämierte AIRCell System noch nicht in die Praxis eingeführt.

Die Folgen nach der Änderung des Reifeninnendruckes werden durch die nachfolgende Abbildung veranschaulicht.



Abbildung 7: Reifenverhalten bei Druckänderung auf (links) 2,0 bar und (rechts) 1,4 bar (Domscheit, 2018)

Bei einem niedrigen Reifendruck von 1,4 bar weitet sich der Reifen in der Breite und es entsteht eine größere Aufstandsfläche des Stollenanteils. Wie beschrieben, erzeugt dies eine größere Aufstandsfläche und damit mehr Rollwiderstand und ein lauterer Abrollgeräusch. Die größere Aufstandsfläche führt bei höheren Geschwindigkeiten (> 10 km/h) zu einem höheren Verschleiß – ein um 30 % geringerer Reifeninnendruck führt zu 50 % mehr Verschleiß. Zudem ergibt sich eine wesentlich schlechtere Seitenstabilität des Reifens, die gerade in Kurven die Fahrsicherheit stark einschränkt. Bei einem angepassten Straßendruck von 2,0 bar wirkt der Reifen hingegen deutlich schlanker. Die Kontaktfläche der Stollen auf dem Boden verringert sich, wodurch der Reifen einen geringen Rollwiderstand erzeugt. Folglich wird also weniger Kraftstoff benötigt und der Energieverlust nimmt ab.

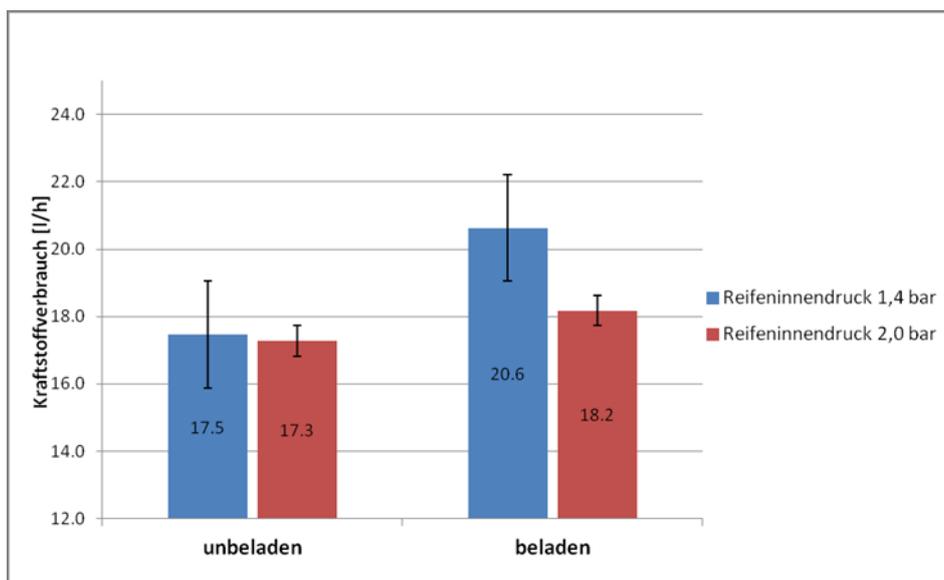


Abbildung 8: Kraftstoffverbrauch in l/h bei beladenem und unbeladenen Traktor/Anhängergespann im Transporttest 2018

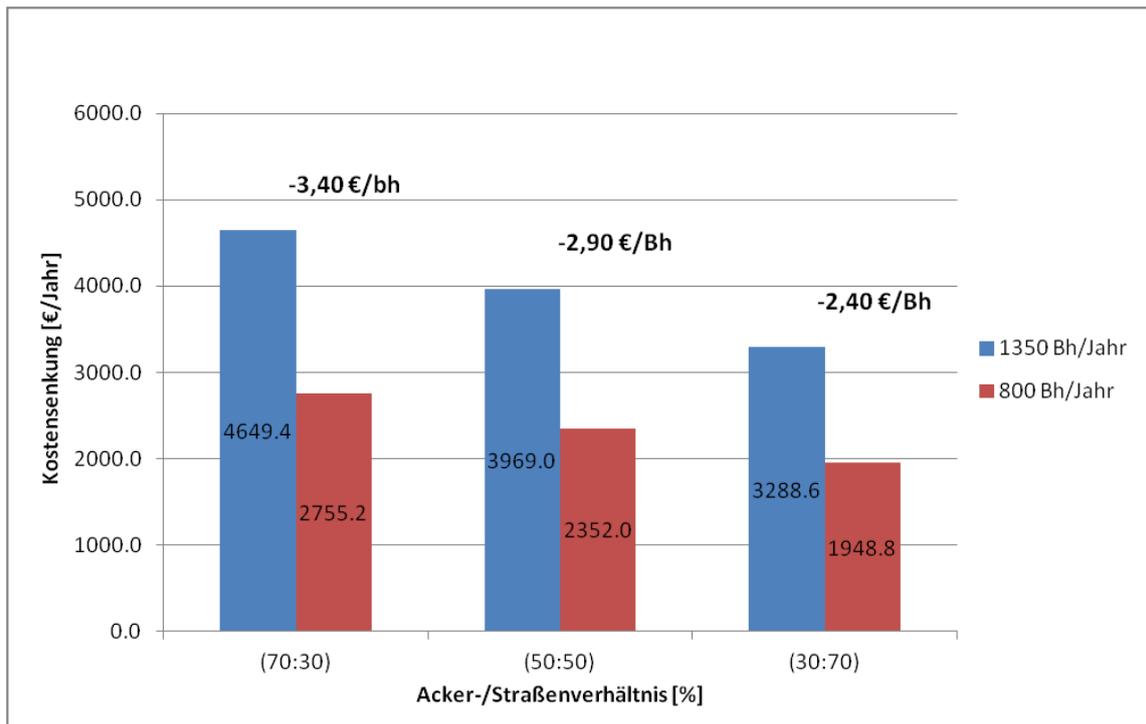


Abbildung 9: Kostensenkung [€/h] durch Anpassung des Reifeninnendruckes in Abhängigkeit von jährliche Auslastung und Acker-/Straßenverhältnis

Neben der Senkung des Kraftstoffverbrauches während der Straßenfahrt ergibt sich bei dem Einsatz von RDA eine Minderung des Reifenverschleißes. Untersuchungen zum Verschleißverhalten bei landwirtschaftlichen Reifen ergaben eine nutzbare Reifenlebensdauer der Hinterreifen von ca. 2.500 Bh. Die Haltbarkeit der Vorderreifen beträgt aufgrund der kleineren Größe und der damit verbundenen höheren Radumdrehungen lediglich 2.000 Bh. Bei Reifenkosten von insgesamt 13.000 € (bei dem im Versuch verwendeten Fendt 724) ergeben sich in diesem Fall zusätzliche Verschleißkosten von ca. 0,80 €/Bh, wenn mit einer jährlichen Auslastung von 1.300 Bh und einem Acker-/Straßenverhältnis von 70:30 kalkuliert wird.

Dieses Ergebnis sollte bei der Rentabilitätsrechnung einer RDA zwar berücksichtigt werden, fließt aber aufgrund von zu wenig vorhanden Quellen über die tatsächliche Verschleißhöhe nicht in diese ein. Das Ergebnis dient vielmehr als Anhaltspunkt und weist auf den zusätzlichen positiven Effekt beim Einsatz einer RDA im Straßentransport hin.



Abbildung 10: Fendt 724 mit Krampe Mulde HP20

Bei der eingesetzten Mulde handelt es sich um das Krampe Model HP20 mit einem Leergewicht von 5.620 kg. Die zulässige Gesamtmasse des Zweiachsanhängers beträgt 22.000 kg. Auf dem Anhänger waren Michelin Cargo XBIB Reifen mit der Größe 600/65/R28 montiert. Das Gesamtgewicht des Gespanns betrug 14.820 kg.

3. Reifenvergleich im Straßentransport

Das Verschleißverhalten der unterschiedlichen Reifenarten wird mittels des Reifenabriebs ermittelt. Es werden vier Messungen in einem monatlichen Intervall durchgeführt. Um bei jeder Messung an der gleichen Stelle des jeweiligen Reifens mit dem digitalen Messschieber zu messen, wurden Messpunkte festgelegt und farblich markiert. Die erste Messung vor Beginn des Versuches wurde am neuen, unbenutzten Reifen durchgeführt und daraus die nutzbare Stollenhöhe berechnet.

Tabelle 1: Berechnung der nutzbaren Stollenhöhe

		Stollenhöhe [mm]	Mindestprofiltiefe [mm]	Nutzbare Stollenhöhe [mm]
AS- Bereifung (AS-Ber.)	Vorderreifen	55	1.6	53.4
	Hinterreifen	62	1.6	60.4
Industriebereifung (Industr. A)	Vorderreifen	25	1.6	23.4
	Hinterreifen	28	1.6	26.4
Industriebereifung (Industr. B)	Vorderreifen	23	1.6	21.4
	Hinterreifen	30	1.6	28.4

In Kombination mit den erfassten Profilabnahmen zum jeweiligen Messtermin wurde nutzbare Stollenhöhe benutzt um die zu erwartende maximale Nutzungsdauer zu berechnen.

Tabelle 2: Vergleich der drei Bereifungsarten und der gemessenen Profilabnahme

	AS- Bereifung (AS-Ber.)		Industriebereifung (Industr. A)		Industriebereifung (Industr. B)	
	Vorder- reifen	Hinter- reifen	Vorder- reifen	Hinter- reifen	Vorder- reifen	Hinter- reifen
Nutzbare Stollenhöhe [mm]	53.4	60.4	23.4	26.4	21.4	28.4
Profilabnahme/ 1000 Bh [mm]	22.9	17.8	2.8	2.8	2.7	2.7
Max. Nutzungsdauer [Bh]	2 334	3 394	8 341	9 411	7 855	10 424
kombinierte Nutzungsdauer [Bh]	2 864		8 876		9 140	

Kombiniert aus Vorder- und Hinterbereifung ergibt sich die höchstmögliche Nutzungsdauer pro Reifensatz. Die AS-Bereifung (AS-Ber.) weist eine theoretische, kombinierte Nutzungsdauer von 2864 Betriebsstunden auf. Die Industriebereifung (Industr. A) liegt hingegen bei 8876 Betriebsstunden. Führend zeigt sich die schmalere Industriebereifung (Industr. B) mit 9140 Betriebsstunden.

3.1 Kraftstoffverbrauch

Der momentane Kraftstoffverbrauch der einzelnen Schlepper wird mit Hilfe des CAN-Bus Systems erfasst und gespeichert. Über ein Mobilfunkmodem gelangen die erfassten Daten zum betriebseigenen Telemetrie-Server. Die auf dem Server abgespeicherten Daten wurden anschließend ins Tabellenkalkulationsprogramm Microsoft Excel importiert. Die Datenbasis umfasst die Monate Mai, Juni, Juli und August für jeweils alle drei Versuchsschlepper. Ein Datensatz beinhaltet alle vom CAN-Bus gelieferten Daten (Kraftstoff, Drehzahl, Geschwindigkeit, etc.) für einen bestimmten Zeitpunkt mit hinterlegter GPS-Position.

Alle Datensätze wurden auf Plausibilität überprüft und um Messfehler entsprechend bereinigt.

Tabelle 3: Angabe der Wertebereiche zur Plausibilitätskontrolle

Parameter:	Minimum:	Maximum:
Geschwindigkeit:	2 km/h	54 km/h
Motordrehzahl:	750 1/min	2300 1/min
Momentanverbrauch:	3 l/h	60 l/h

Alle aufgezeichneten Datensätze die nicht innerhalb der in Tabelle 3 angegebenen Bereiche liegen, werden als fehlerbehaftete Datensätze betrachtet und somit für die nachfolgenden Auswertungen ausgeschlossen. Somit werden z. B. Geschwindigkeiten zwischen 0 km/h und 2 km/h aufgrund der vom Systemhersteller vorgegebenen Messtoleranz als Stillstand betrachtet.

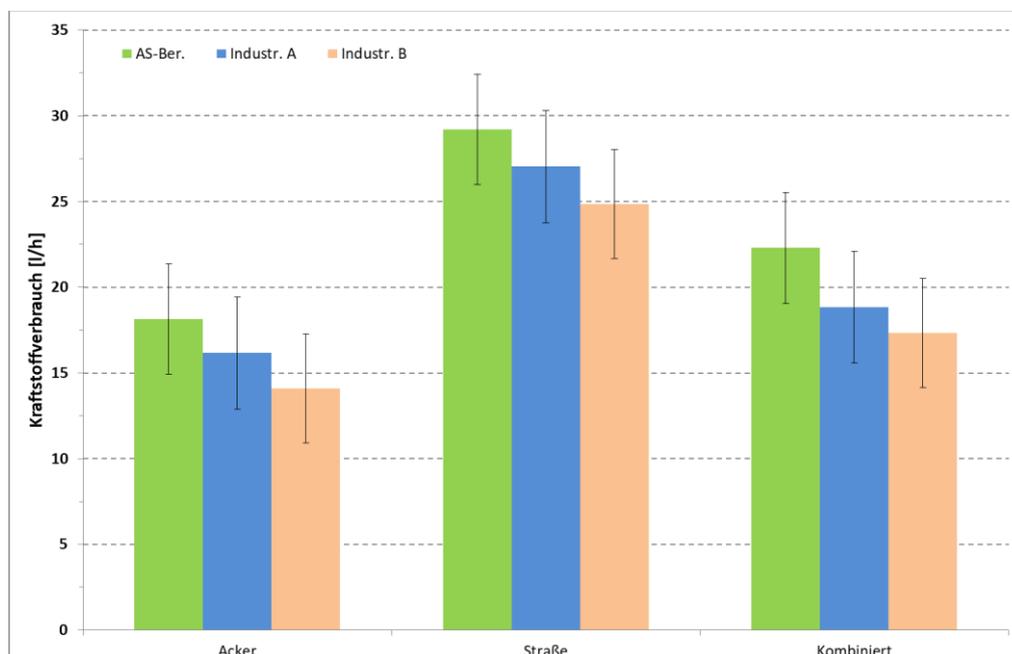


Abbildung 11: Darstellung des Kraftstoffverbrauchs mit den unterschiedlichen Bereifungen

Die Abbildung 11 zeigt, dass der höchste Verbrauch unabhängig vom Acker oder Straßeneinsatz bei dem mit der AS-Bereifung ausgestatteten Schlepper liegt. Darauf folgt die Industriebereifung (Industr. A) gefolgt vom identischen Reifentyp (Industr. B). Genauere Aussagen bezüglich der Kraftstoffverbräuche der werden mit einer Detailbetrachtung der einzelnen Tätigkeiten im Messzeitraum möglich, die nachfolgend aufgeführt sind:

- Gras schwaden
- Grassiloabfuhr
- Strohpressen
- Allgemeine Transporte

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Detailauswertung des Acker/Straßenanteils der Traktoren/Bereifungen in den einzelnen Tätigkeitsbereichen.

Tabelle 4: Verteilung des gemessenen Acker/Straßen-Verhältnisses in Bezug auf die unterschiedlichen Tätigkeiten

Bereifungsart:	Tätigkeiten:	Gras schwaden	Grassilo- abfuhr	Stroh- pressen	Allgemeine Transporte
AS-Ber.	Acker	81%	58.3%	73.1%	35.3%
	Straße	19%	41.7%	26.9%	64.7%
Industr. A	Acker	90.1%	66.0%	75.5%	31.5%
	Straße	9.9%	34.0%	24.5%	68.5%
Industr. B	Acker	78.3%	48.6%	79.4%	46.3%
	Straße	21.7%	51.4%	20.6%	53.7%
Gesamt- betrachtung	Acker	80.4%	60.0%	75.0%	41.3%
	Straße	19.6%	40.0%	25.0%	58.7%

In der Tabelle 4 wird deutlich, dass die verschiedenen Tätigkeiten unterschiedliche Acker/Straße-Verhältnisse aufweisen. Die Ackeranteile schwanken im Maximum von 80 % beim Gras schwaden bis hin zu 41 % bei den allgemeinen Transporten. Dieser Trend wird auch von anderen Erhebungen (Reckleben, 2010) bestätigt und zeigt gleichzeitig das Potential einer guten Maschinenauslastung auf.

3.2 Zusammenfassung Straßentransport

Um das Einsparpotenzial der Industriebereifungen zu nutzen und gleichzeitig den Tätigkeitsbereich nicht einzuschränken wird bisher ein Schlepper mit zwei Bereifungen ausgestattet, so dass der Schlepper entsprechend seinem Tätigkeitsbereich mit der ökonomisch sinnvolleren Bereifung versehen wird. Das bedeutet, dass vorwiegend die Industriebereifung zum Einsatz kommt, um das große Einsparpotenzial im Vergleich zur AS-Bereifung zu nutzen.

Der Reifenverschleiß zeigte, dass die AS-Bereifung eine Profilabnahme zwischen 30-40 % pro 1000 Betriebsstunden. Die alternativen Industriebereifungen liegen im Bereich zwischen 10-13 % pro 1000 Betriebsstunden hatte. Durch diesen eindeutigen Vorteil der Industriebereifung liegt die prognostizierte Nutzungsdauer mit ca. 9000 Betriebsstunden rund 6000 Betriebsstunden über der standardmäßigen Ackerschlepperbereifung.

Um grundsätzliche Aussagen über den Kraftstoffverbrauch zu treffen ist das Acker/Straße Verhältnis von hoher Bedeutung. Durch Trennung der beiden Untergrundeigenschaften bei einer Geschwindigkeit von 15 km/h ergibt sich ein Acker/Straße Verhältnis von 2:1. In der Betrachtung des gesamten Tätigkeitsbereichs liegt die Ackerschlepperbereifung mit einem gemittelten Verbrauch von 22 l/h rund drei Liter über der Industriebereifung („Industr. A“). Die Industriebereifung („Industr. B“) stellt den geringsten Verbrauch mit 17 l/h dar.

Die erweiterte Aufteilung der Kraftstoffverbräuche in die einzelnen Tätigkeitsbereiche gibt einen genauen Aufschluss der Verbräuche. Dabei wird deutlich, dass bei Tätigkeiten wie „Gras schwaden“ oder „Stroh pressen“ die Industriebereifungen kein eindeutig sparsameres Verhalten aufweisen. In Tätigkeitsbereichen wie „Grassiloabfuhr“ oder „Allgemeine Transporte“, bei denen der Straßenanteil deutlich höher ausfällt, können die Industriebereifungen ihre Straßenleichtläufigkeit mit deutlich geringeren Kraftstoffverbräuchen belegen.

Im Bereich des Lärmpegelbereichs ergeben die Ergebnisse im unbelasteten Bereich sowie im belasteten Bereich keine signifikanten Unterschiede. Mit gemittelten Schallpegeln zwischen 68 – 70 dB sowie vereinzelte Spitzenwerte von 77 dB liegen die Werte im durchschnittlichen Schallpegelbereich eines PKW zwischen 70 - 80 dB (Reckleben, 2012). Grundsätzlich zeigt sich bei jeder Bereifung bei ansteigender Geschwindigkeit ein Anstieg des Schallpegels.

Die Befragung der Schlepperfahrer stellen die Meinung Anwender zur Industriebereifungen eindeutig dar. Mit einer Gesamtnote von 2,3 ist die Bereifung mit „Gut“ zu bewerten. Positive Eindrücke zeigen sich hinsichtlich des Fahrkomforts auf der Straße sowie in Robustheit und Verschleißverhalten.

Bei der wirtschaftlichen Gegenüberstellung ergeben sich bei der Industriebereifungen unter der Annahme von zwei Schleppern jährliche Einsparungen von ca. 8000 €. Diese Berechnung unterliegt der Annahme, dass seitens der Industriebereifung keine Tätigkeitseinschränkungen vorliegen. Betriebe die eine ganzjährige Auslastung für einen Schlepper mit Industriebereifung sicherstellen können müssen zum einen hohen Anteil straßenbetonter Tätigkeiten ausführen. Zum anderen darf die Anschaffung eines generell sehr ökonomisch fahrenden LKW in dieser Betriebsstruktur wirtschaftlich nicht sinnvoll sein. Alternativ dazu rechnet sich die Ausstattung eines Schleppers mit AS- und Industriebereifung ab einer Jahresauslastung von rund 800 Betriebsstunden. Dabei werden ein vierfaches Umrüsten und eine 50 % Nutzung der AS-Bereifung pro Jahr unterstellt.

4. Reifenvergleich im Feldeinsatz

Das Ziel dieses Versuchs sollte der Vergleich einer Standard AS-Bereifung mit einem Industrieprofil bei schweren Zugarbeiten auf dem Acker sein. Diesmal wurden jedoch identische Reifengrößen miteinander verglichen, um möglichst nur den Effekt des Profils deutlich zu machen.

Als Effizienzparameter für den Versuch wurden der Kraftstoffverbrauch, der Schlupf und der Bodendruck ausgewählt. Auch bei dem Versuch wurden wir vom Lohnunternehmen Blunk aus Rendswühren unterstützt worden. Sie stellten die Versuchsflächen zur Verfügung, sowie die komplette Maschinenausstattung inklusive der Fendt-Vario 724 und den Pflug. Des Weiterem wurde der momentane Kraftstoffverbrauch sowie die aktuelle Geschwindigkeit mithilfe des CAN-Bus-Systems erfasst und gespeichert. Diese Daten wurden dann mithilfe eines Mobilfunkmodems zum betriebseigenen Telemetrie-Server gesendet. Die auf dem Server abgespeicherten Daten wurden anschließend ins Tabellenkalkulationsprogramm Microsoft Excel importiert und so konnten die Daten ausgewertet werden.

Für den Versuch wurden zwei identische Fendt-Vario 724 mit einer Leistung von 174 kW (Jogi 207 und Jogi 234), sowie ein 5 – Scharpflug Kuhn Varimaster 153 und ein 1,6 Tonnen schweres Frontgewicht für diesen Versuch eingesetzt. Der Fendt Jogi 207 wurde mit einem Industrieprofilreifen der Firma Nokian TRI 2 ausgerüstet. Der Fendt Jogi 234 war mit AS Profilreifen der Firma Trelleborg Typ TM900- High Power ausgerüstet. Die auf der Vorderachse montierten Reifen hatten die Größe 540/65R30, während die Reifen der Hinterachse 650/65R42 groß waren. Auf beiden Achsen wurden die montierten Reifen mit einem Luftdruck von 1,2 bar gefüllt. Anschließend wurde ein Frontgewicht mit 1,5 Tonnen Gewicht als Frontbalast eingehängt, sowie der fünffurchige Pflug Kuhn Varimaster 153 angebaut.

Das Gesamtgewicht des jeweiligen Gespannes betrug ca. 12,37 Tonnen, wobei die Achslast mit 9,1 Tonnen (73,6 %) hinten und 3,27 (26,4 %) vorne verteilt war.

Bei der Bodendruckmessung wurde unter dem zu befahrenden Bereich je zwei Messsonden in 15 cm Tiefe und in 25 cm Tiefe platziert. Dies geschah einmal unter der Pflugfurchenseite und einmal auf der on-Land Seite. Weiterhin wurde auf jeder Seite der Druck gemessen und bildet neben dem Schlupf und dem Kraftstoffverbrauch die Grundlage für den Reifenvergleichstest. Bei der Bodendruckmessung wurden die auftretenden Radlasten in der Tiefe unter dem Fahrwerk gemessen. Die Unterschiede sollen mit Schlauchsonden Abbildung 1 (nach BOLLING, 1987) erfasst und aufgezeichnet werden.

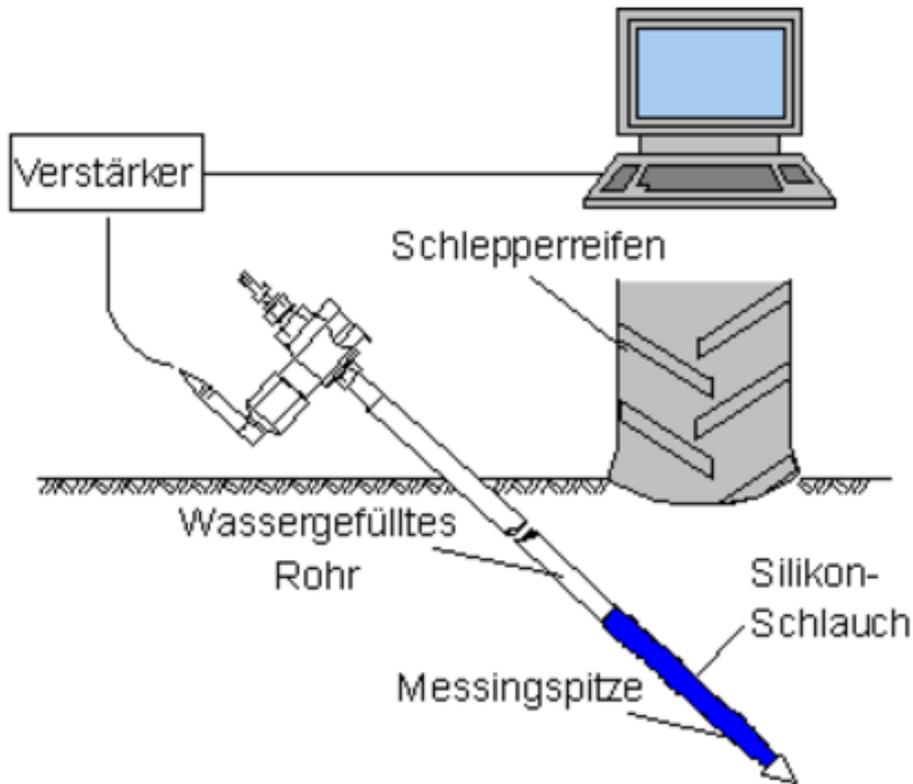


Abbildung 12: Versuchsaufbau Bodendrucksonde (Weißbach, 2004)

4.1 Ergebnisse

Die Erwartungen an den Versuch waren hoch, die Ergebnisse haben die Erwartungen aber bei Weitem übertroffen, wie die nachfolgenden Ergebnisse zeigen.

So unterscheidet sich der durchschnittliche Kraftstoffverbrauch der der beiden Reifenvarianten nur minimal. Dieser lag bei der AS-Bereifung bei ca. 34,4 Liter pro Stunde, bei der Industriebereifung hingegen nur minimal höher bei 34,9 Liter pro Stunde. Bei einer vorgewählten Geschwindigkeit von 9,1 km/h erzielte der As-Reifen eine durchschnittliche Geschwindigkeit von 7,7 km/h, einem Schlupf von nur 15,7 % entsprechend. Die Werte bei der Industriebereifung waren minimal schlechter. So erreichte diese Bereifung eine Durchschnittsgeschwindigkeit von 7,6 km/h, was einem Schlupf von 16,4 % entspricht.

Diese beiden Parameter machen sehr deutlich, dass die Bedingungen trotz des erst im Spätherbst 2016 durchgeführten Versuchs sehr gut waren. Aber es zeigt auch deutlich, dass das Industrieprofil dem AS-Profil unter guten ackerbaulichen Bedingungen ebenbürtig ist und man mit dieser Bereifung auch sehr gut schwere

Zugarbeiten auf dem Acker verrichten kann. Diese Ergebnisse konnten auch in 2017 bei sehr nassen Bearbeitungsbedingungen gezeigt werden.

Der dritte untersuchte Parameter war der Bodendruck, der wie beschrieben mit Hilfe vieler Bodensonden ermittelt worden ist. Die grafischen Auswertungen sind in Abbildung zwei bis fünf dargestellt. In der Grafik zwei und vier sind vier Bodensonden abgebildet. Für jede Schlepperseite einmal unter der Pflugfurche und einmal unter der Oberfläche. In Abbildung drei und fünf ist dieser Versuchsaufbau auf einer Tiefe von 25 cm wiederholt worden, um auch die Bodendrucke auch in tieferen Bodenschichten messen zu können.

In den Abbildungen stellt der erste kleine Peak immer die Vorderachse dar, -der größere Peak die Hinterachse des Schleppers.

Diese Grafiken zeigen deutlich, dass es keine großen Unterschiede auf den Bodendruck bei den beiden getesteten Bereifungen gibt. Tendenziell hat die Industriebereifung sogar leicht geringere Bodendrucke in 15 cm aber auch in 25 cm Tiefe.

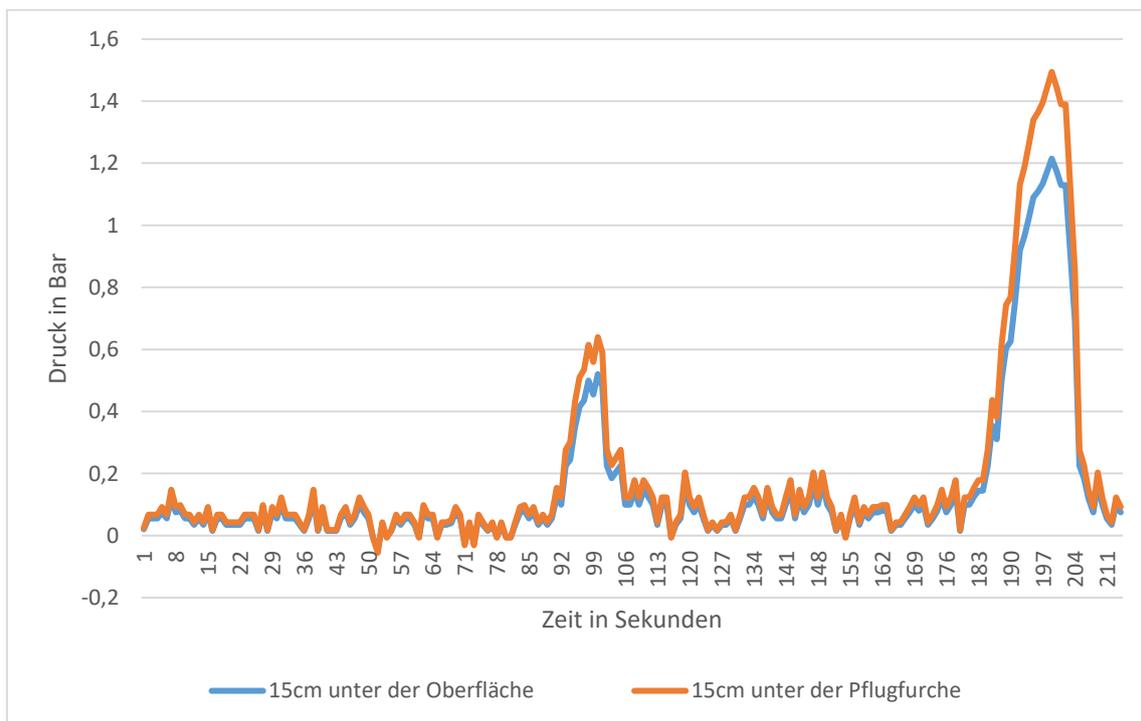


Abbildung 13: Bodendruck AS-Profil in 15 cm Tiefe

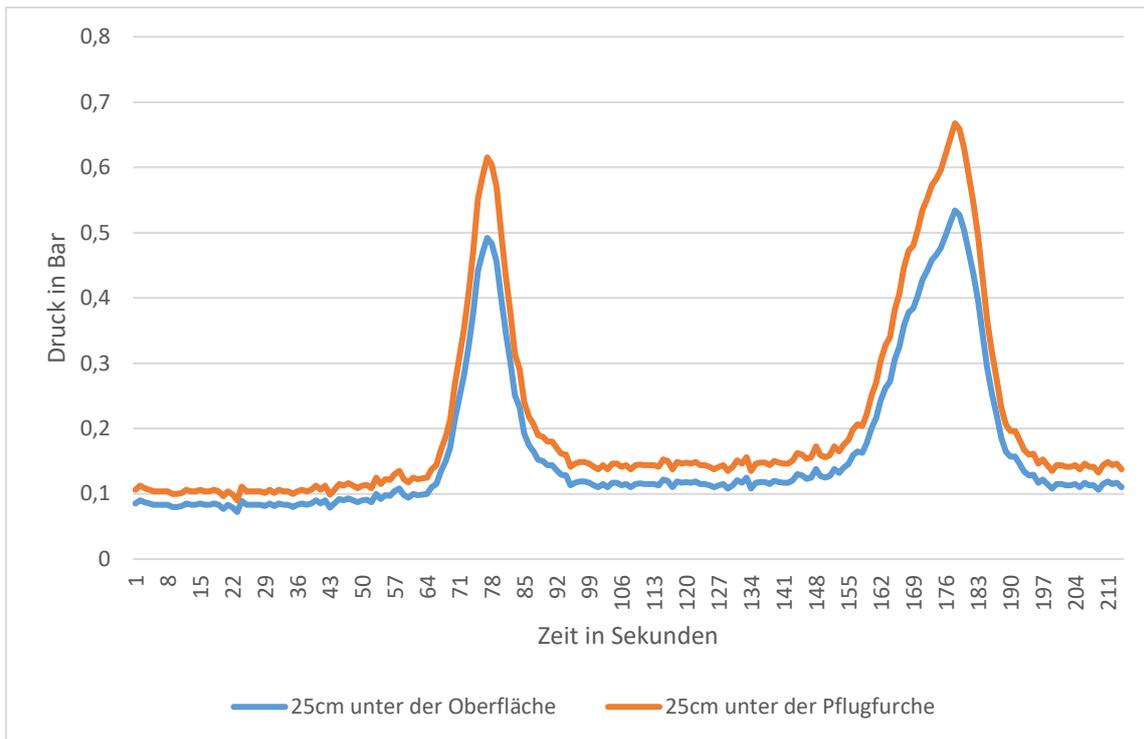


Abbildung 14: Bodendruck AS-Profil in 25 cm Tiefe

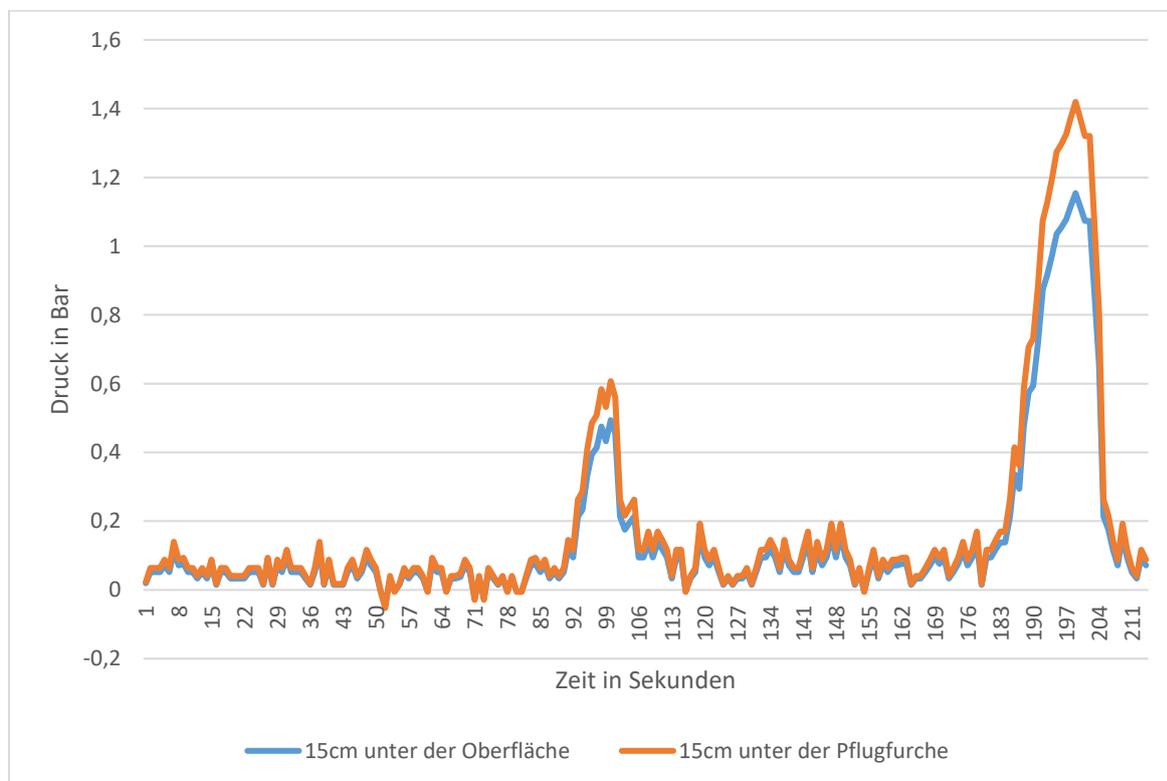


Abbildung 15: Bodendruck Industrieprofil in 15 cm Tiefe

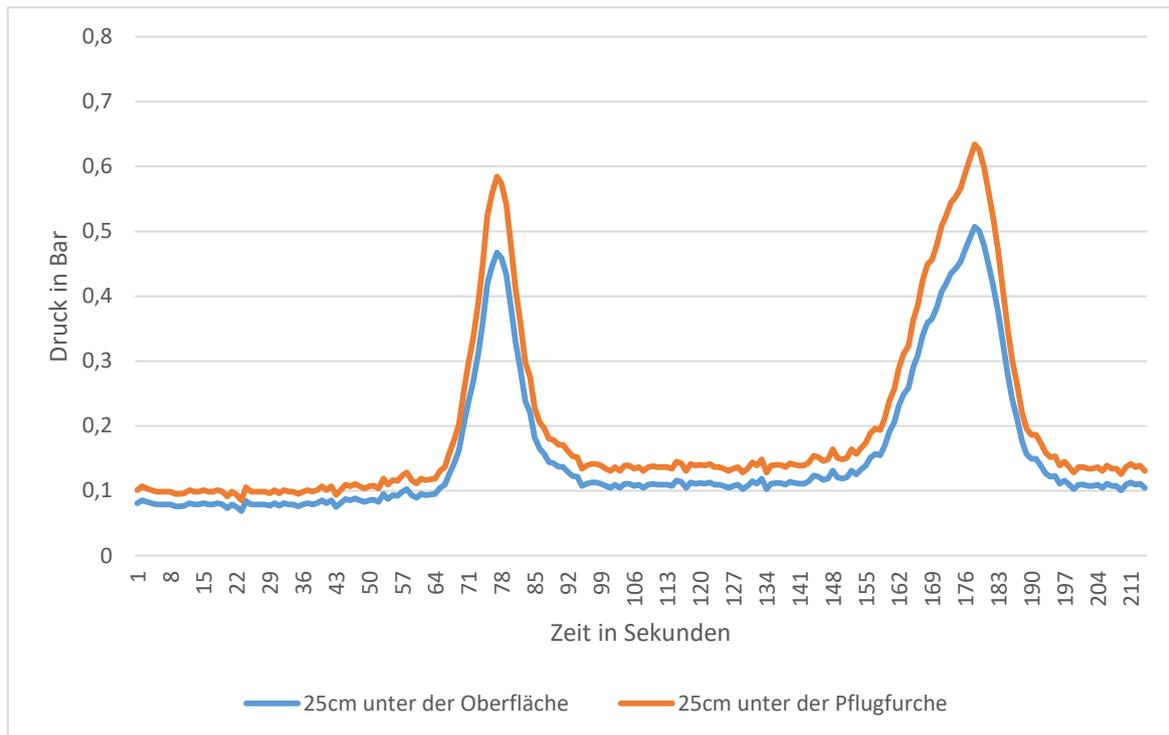


Abbildung 16: Bodendruck Industrieprofil in 25cm Tiefe

Der Bodendruck in 15 und 25 cm Tiefe mit Bolling Sonden gemessen, hat gezeigt, dass der TRI2 geringere Drücke aufweist. Besonders in der Tiefe von 25 cm weisen die gemessenen Drücke im Mittel 5,6 % - 6,4 % geringere Werte auf, dabei sind die 6,4 % unter dem Landrad gemessen worden. Der höhere Positivanteil beim TRI2 trägt hier zu einer besseren Lastverteilung und damit geringeren Drücken bei.

4.2 Schlussfolgerung Feldeinsatz

Wenn wir nun Kraftstoffverbrauch, Schlupf und auch den Bodendruck als Parameter für die Auswahl eines geeigneten Reifens für schwere Zugarbeiten nehmen, so lässt sich eindeutig sagen, dass der Reifen mit Industrieprofil genauso gut geeignet ist wie der Reifen mit AS-Profil, unter den gegebenen Bedingungen jedenfalls. Da es unter den guten Umständen nicht möglich war, die Reifen auch unter widrigen Bedingungen zu testen, lässt sich über die uneingeschränkte Empfehlung des Industrieprofiles noch diskutieren. Denn die Selbstreinigungsleistung konnten wir nicht überprüfen und bewerten. Da die Selbstreinigung die anderen Faktoren stark beeinflussen kann, sollte diese in einem weiteren Versuch berücksichtigt werden.

Insgesamt bleibt festzustellen, dass unter den Bedingungen der Vergleichbarkeit (Radgröße und Einsatzbedingungen) der Nokian TRI 2 auf jeden Fall mit dem AS Profil auf dem Acker konkurrieren kann. Bei der Herbstbestellung in 2016 war er in allen

gemessenen Parameter ebenbürtig. Die Ergebnisse aus dem Jahr 2012 haben ja bereits eindrucksvoll die Haltbarkeit des Nokian unter Beweis gestellt. So bleibt festzuhalten, dass die Empfehlung aus dem Jahr 2012 (Reckleben et al., 2012) zwei Satz Räder vorzuhalten um bei nassen Bedingungen aus das AS-Profil zu wechseln nicht notwendig scheinen. Durch die höhere Nutzungsdauer des Nokian TRI 2 ergibt sich ein Kostenvorteil zugunsten des TRI 2 gegenüber dem AS-Profil.

4. Zusammenfassung

Die zukünftige Ausstattung Fahrzeugen und Geräten hat neben arbeitserleichternden und komfortbedingenden Komponenten vor allem den Fokus auf die Bereifung zu legen. Die Anpassung des Reifeninnendruckes an die jeweilige Arbeit und Ballastierung führt zu einer deutlichen Reduktion des Verschleißes, der bis zu 0,8 €/Bh ausmacht. Bei der Neuanschaffung sind auf jeden Fall zusätzliche Schnellentlüfterventile vorzusehen und bei hohen Auslastungen auch zusätzliche Reifendruckregelanlagen mit Achsdurchführung.

Die Industriebereifung hat in den eigenen Versuchen im Straßentransport, als auch im Feldeinsatz ihre Vorteile gezeigt. So konnte durch den höheren Stollenanteil, die Laufruhe verbessert und der Verschleiß und der Kraftstoffverbrauch im Straßentransport deutlich reduziert werden – wie auch Versuche der Landwirtschaftskammer aus Niedersachsen zeigen (Vaupel, 2018). Im Feldeinsatz ist die Traktion selbst bei schweren Zugarbeiten und nassen Bodenbedingungen bezogen auf die Zugleistung und den Schlupf nicht schlechter. Der Bodendruck in 15 und 25 cm Tiefe ist Vergleichbar, sodass die Industriereifen heute für eine Vielzahl der Betrieb eine echte Alternative darstellen und neben den positiven Eigenschaften auch deutlich geringere Kosten aufgrund der längeren Haltbarkeit zeigen.

Die seit der letzten Agritechnica bei verschiedenen Herstellern zu beobachtenden Hybridprofile – also in der Mitte Industrie- und außen AS-Profil stellen bei namhaften Reifenherstellern die Zukunft dar. Besonders auf Grünland können hier sicher Vorteile beider Reifenarten in einem Reifen offenbaren. Diese gilt es unter Praxisbedingungen zu überprüfen und die zu erwartenden Vorteile besonders bei der Schonung der Grünlandnarbe zu erfassen.

Der Fachbereich Agrarwirtschaft der Fachhochschule Kiel wird in 2019 Versuche mit verschiedenen Herstellern durchführen und zu gegebener Zeit darüber informieren.