

Optimierungspotenzial eines Standardtraktors im Straßentransport

Michael Mederle, Adrian Urban, Hubert Fischer, Ulrich Hufnagel, Heinz Bernhardt

Der Straßentransport nimmt in zahlreichen Betrieben der modernen Agrarwirtschaft eine zentrale Rolle im Aufgabenspektrum eines Standardtraktors ein. Wird der jahreszeitliche Verlauf des Anfalls von Transportarbeiten betrachtet, so ist zu erkennen, dass es z. B. in der Getreide- oder Biomasseernte bzw. bei der Ausbringung organischer Substrate Zeitfenster gibt, in denen ein gewisser Teil an Traktoren ausschließlich auf der Straße läuft. Die vorliegende Untersuchung zeigt unter Praxisbedingungen Möglichkeiten auf, jene Standardtraktoren mit vertretbarem Aufwand für den Straßentransport zu optimieren, um die Maschinenauslastung und gleichzeitig die Prozesseffizienz zu steigern. Durch die Optimierungsmaßnahmen konnte der Verbrauch um durchschnittlich 11,4% gesenkt werden. Die Erhöhung der Endgeschwindigkeit von 50 auf 60 km/h resultiert in einer Zeitersparnis von durchschnittlich 8,5%, bedingt jedoch einen um durchschnittlich 5,5% höheren Kraftstoffverbrauch. Letztlich ist der Nutzen der untersuchten Optimierungsmaßnahmen immer betriebsindividuell und situationsabhängig zu beurteilen.

Schlüsselwörter

Agarlogistik, Straßentransport, Reifenvergleich, AS-Bereifung, MPT-Bereifung, Effizienz

Transportarbeiten jeglicher Art nehmen in der Landwirtschaft eine immer bedeutendere Rolle ein. Wachsende Betriebe, die sukzessive Zentralisierung von Landhandel und Absatzmöglichkeiten sowie neue Betriebszweige wie die Biogaserzeugung führen zu einem steigenden Aufwand bei der Logistik (Götz 2011). Dabei nimmt nicht nur die zu transportierende Menge, sondern auch die zu bewältigende Distanz fortlaufend zu (BERNHARDT 2014). Bereits frühere Untersuchungen zeigen, dass nahezu 40 bis 50% des Arbeitszeitbedarfs in der Außenwirtschaft auf den Bereich Transport, Umschlag und Lager entfallen (FRÖBA 1994, MÜHREL 1974). Abbildung 1 zeigt den Anteil des landwirtschaftlichen Transportaufkommens im Vergleich zum gewerblichen Güterverkehr in Deutschland für das Jahr 2014.

Dominiert wird die innerdeutsche Güterlogistik vom Straßentransport (Abbildung 1), sowohl in Bezug auf transportierte Menge (3,5 Mrd. t) als auch Transportarbeit (467 Mrd. tkm), welche als Produkt aus transportierter Menge in Tonnen und durchschnittlicher Transportentfernung in Kilometer definiert ist. Folglich ergibt sich für den Straßentransport eine durchschnittliche Transportdistanz von 134 km. Bei der Transportmenge rangiert die Landwirtschaft mit ca. 500 Mio. t an zweiter Stelle, noch vor der Eisenbahn (365 Mio. t) und der Binnenschifffahrt (229 Mio. t). Dass sich die Landwirtschaft bezüglich der Transportarbeit mit 8,0 Mrd. tkm auf dem letzten Rang befindet, liegt an den verhältnismäßig geringen Transportentfernungen von durchschnittlich 16 km (STATISTISCHES BUNDESAMT 2015, KTBL 2013, BERNHARDT 2014).

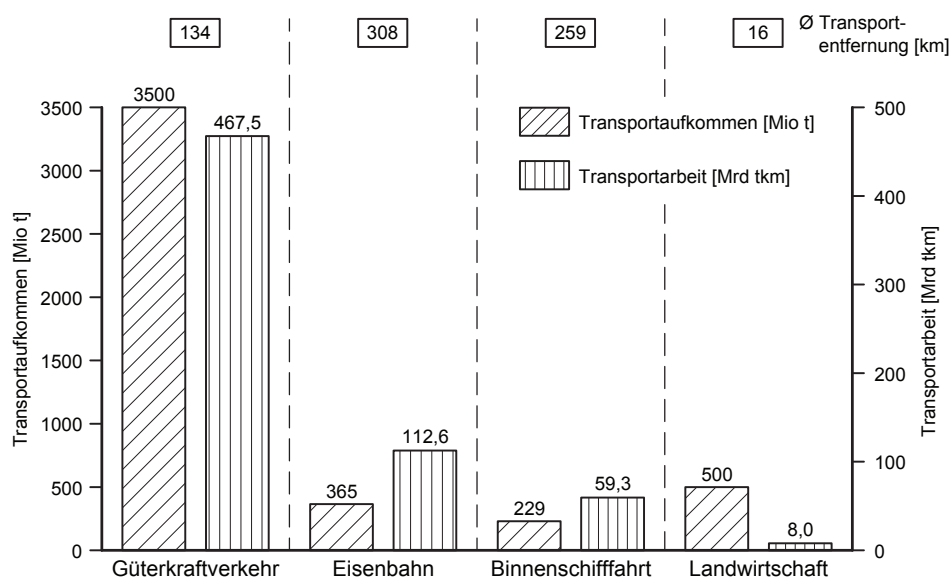


Abbildung 1: Innerdeutsches Transportaufkommen 2014 (STATISCHES BUNDESAMT 2015, KTBL 2013, BERNHARDT 2002 und eigene Berechnungen)

Im Hinblick auf die Bodenschonung und den nachhaltigen Schutz des Bodengefüges wäre eine generelle Trennung von Feld- und Straßentransport wünschenswert, da Fahrzeuge mit großen Aufstandsflächen im Feld und LKW mit kraftstoffsparenden Hochdruckreifen auf der Straße für die jeweiligen Anforderungen die bestmögliche Lösung hinsichtlich Belastung, Reifenverschleiß oder Kraftstoffverbrauch bieten (RECKLEBEN et al. 2013).

Nicht zuletzt aufgrund der kurzen Feld-Hof-Entfernungen von durchschnittlich 4 km ist jedoch gerade im Getreide- oder Biomassetransport das einphasige Logistiksystem am weitesten verbreitet, bei dem ein Traktor-Anhänger-Gespann das Erntegut direkt von der Erntemaschine zum Lager oder zum Silo transportiert. Bei der mehrphasigen Transportkette werden Feld- und Straßentransport vollständig voneinander entkoppelt. Dies ist jedoch nur dann wirtschaftlich, wenn ein umfangreicher Maschinenpark und eine aufwendigere Technik verfügbar sind.

Die Entkoppelung von Feld- und Straßentransport in mehrphasigen Logistiksystemen bedeutet jedoch nicht zwangsläufig, dass auf der Straße ein LKW zum Einsatz kommen muss. Traktoren als Universalmaschinen werden sowohl in der Anschaffung als auch im Unterhalt immer teurer und bedürfen deshalb einer möglichst hohen Auslastung. Daher werden sie bei den meisten Betrieben auch generell im Straßentransport eingesetzt – ohne sie jedoch im Hinblick auf einen geringeren Kraftstoffverbrauch oder Reifenverschleiß zu optimieren.

In anderen Studien wurden zur Reduzierung des Kraftstoffbedarfs und zur Effizienzsteigerung bereits verschiedene Maßnahmen untersucht. LINDGREN und HANSSON (2002) konnten im Straßentransport bei Traktoren mit stufenlosen Getrieben durch Reduzierung der Motordrehzahl von 2.000 U/min auf 1.800, 1.600 und 1.400 U/min Einsparungen beim Kraftstoffverbrauch in Höhe von 2, 6 bzw. 14 % feststellen.

JÍLEK et al. (2008) zeigen in ihrer Untersuchung zum Kraftstoffverbrauch unterschiedlich stark motorisierter Transporteinheiten, dass sich der Dieselbedarf in Abhängigkeit von der ausgewählten Traktorleistung um bis zu 27 % unterscheiden kann. Der Traktor mit der höchsten Motornennleistung

verbraucht dabei am meisten Kraftstoff pro Tonnenkilometer, weist aber auch die höchste Transportmenge pro Stunde auf.

Dass die Kraftstoffeffizienz eines Traktors im Straßentransport schon mit einfachen Mitteln um ca. 10 % gesteigert werden kann, zeigen UDOMPETAIKUL et al. (2011) in ihrer Untersuchung. Die Erhöhung des Reifeninnendruckes von 62 kPa auf 110 bzw. 158 kPa resultiert in Kraftstoffeinsparungen von 7,3 bzw. 11,4 %.

RECKLEBEN et al. (2013) erreichen in ihrem Vergleich zwischen AS- und MPT-Bereifungen im kombinierten Einsatz aus Feld und Straße durch die MPT-Reifen einen geringeren Kraftstoffverbrauch von durchschnittlich 18,2 %. Untersucht wurden Arbeitsgänge wie Schwaden, Stroh pressen oder die Abfuhr von Grassilage, welche deutlich geringere Zugkräfte erfordern als z.B. die wendende oder konservierende Bodenbearbeitung. Wird ausschließlich der reine Straßentransport betrachtet, so ist der Dieselverbrauch des MPT-Reifens aufgrund des geringeren Rollwiderstands des asphaltierten Untergrunds durchschnittlich ca. 10,3 % geringer.

Da Traktorreifen laut Umfragen bis zu 30 % im Straßentransport genutzt werden (HÖRNER 2011), soll in der vorliegenden Untersuchung das Optimierungspotenzial einer Transporteinheit im Straßentransport – bestehend aus Standardtraktor und Anhänger – aufgezeigt werden. Zielgrößen waren dabei der Kraftstoffverbrauch und die Rundenzeit.

Material und Methode

Im Versuch wurden acht Varianten unter Praxisbedingungen verglichen und analysiert, welche sich hinsichtlich Traktorbereifung – und damit einhergehender Gewichtsreduzierung –, Beladungszustand sowie Maximalgeschwindigkeit unterscheiden (Tabelle 1). Zusätzlich zum Wechsel der Bereifung wurden sämtliche für den Straßentransport nicht benötigten Teile des Heckhubwerks – Ober-/Unterlenker, Seitenstabilisatoren, Hubstreben – abmontiert, um das Leergewicht des Schleppers zu reduzieren und so die Nutzlast am Anhänger zu erhöhen.

Tabelle 1: Übersicht der Versuchsvarianten

Reifenkonzept	Beladungszustand des Anhängers	Maximalgeschwindigkeit [km/h]	Variante
AS-Bereifung	unbeladen	50	1
		60	2
	beladen	50	3
		60	4
MPT-Bereifung	unbeladen	50	5
		60	6
	beladen	50	7
		60	8

Beide Reifentypen wurden für die Endgeschwindigkeiten 50 bzw. 60 km/h sowie für die beiden Anhängerzustände „beladen“ und „unbeladen“ untersucht, wobei das Gespann im beladenen Zustand ein zulässiges Gesamtgewicht von genau 40 Tonnen aufwies. Die Transporteinheit bestand aus einem Fendt 828 Vario und einem Krampe Roadrunner DA 34 (Abbildung 2).

Die Besonderheit dieses neuartigen Anhängerkonzeptes besteht darin, dass der Dreiachsanhänger je nach zulässiger Maximalgeschwindigkeit zwei bis vier Tonnen Stützlast auf den Traktor übertra-



Abbildung 2: Fendt 828 Vario und Krampo Roadrunner DA 34 als Transporteinheit (Foto: M. Mederle)

gen kann und somit ein zulässiges Gesamtgewicht von bis zu 34 Tonnen aufweist. Jede Variante wurde dreimal wiederholt, sodass im Versuch 24 Messfahrten auf einer definierten Versuchsstrecke von 33,9 km bei insgesamt 440 Höhenmetern durchgeführt wurden. Die Versuchsstrecke bestand aus den Abschnitten „innerorts“ (3,14 km), „außerorts“ (23,92 km) und „Stadtverkehr“ (6,84 km). Wechselnde Bedingungen im Streckenverlauf, u. a. ausgewiesene Steigungs- und Gefällepassagen von bis zu 5%, machen den Rundkurs zu einer für die süddeutsche Landwirtschaft repräsentativen und praxisnahen Transportstrecke, welche aufgrund des Verzichts auf Kraftfahrtstraßen bzw. Autobahnen durchweg mit Traktoren befahren werden konnte. Die Einteilung der einzelnen Streckenprofilabschnitte erfolgte nach einem einheitlichen Schema (HERRMANN et al. 2000) um die Ergebnisse anschließend mit vorangegangenen Fahrversuchen vergleichen zu können (ENGELHARDT 2002, GÖTZ 2011). Tabelle 2 zeigt die für den Versuch verwendeten Reifentypen mit den entsprechenden Größen und Luftdrücken.

Tabelle 2: Übersicht der verwendeten Reifen und Luftdrücke

Bezeichnung	Vorderachse		Hinterachse		
	Größe	Luftdruck [bar]	Größe	Luftdruck [bar]	
AS-Bereifung	Michelin AxioBib	600/70R30	1,2	710/70R42	1,4
MPT-Bereifung	Nokian TRI 2	440/80R34	3,2	620/80R42	3,2

In der Standardvariante mit AS-Bereifung war der Traktor mit Michelin-AxioBib-Reifen der Größen 600/70R30 vorne bzw. 710/70R42 hinten ausgestattet. Der Reifeninnendruck wurde dabei laut Luftdrucktabelle nach der Tragfähigkeit bei 60 km/h gewählt, was eine Kompromisslösung zwischen Feld- und Straßeneinsatz darstellt. In den optimierten Varianten wurde die MPT-Bereifung des Typs Nokian TRI 2 mit den Größen 440/80R34 vorne bzw. 620/80R42 hinten eingesetzt. Der Reifeninnendruck wurde auf die maximal zulässigen 3,2 bar eingestellt, sodass der geringstmögliche Rollwiderstand gewährleistet werden konnte. Der Anhänger war jeweils mit der auf Straßentransport optimierten Bereifung Alliance Flotation 396 HS der Größe 445/65R22.5 MPT ausgestattet (Reifeninnendruck 6 bar). Tabelle 3 zeigt die Gewichte der beiden Varianten und die daraus resultierenden Nutzlasten.

Tabelle 3: Übersicht der Leergewichte und Nutzlasten der Versuchsvarianten

	Standardvariante (AS-Bereifung, inkl. Heckhubwerk)	Optimierte Variante (MPT-Bereifung, exkl. Heckhubwerk)
Leergewicht Traktor [kg]	10.680	10.240
Leergewicht Anhänger [kg]	10.760	10.760
Leergewicht Transporteinheit [kg]	21.440	21.000
Nutzlast [kg]	18.560	19.000

In der Standardvariante mit der AS-Bereifung und der serienmäßigen Ausstattung des Heckhubwerks hatte der Traktor ein Leergewicht von 10.680 kg. Dieses konnte durch die um 210 kg leichtere MPT-Bereifung und die Demontage der für den Straßentransport nicht benötigten Teile des Heckhubwerks (-230 kg) in der optimierten Variante um insgesamt 440 kg auf 10.240 kg reduziert werden. Der Roadrunner wog 10.760 kg, sodass das Leergewicht der Transporteinheit 21.440 kg für die Standard- bzw. 21.000 kg für die optimierte Variante betrug. Daraus resultierte letztlich eine Nutzlast von 18.560 kg (Standardvariante) bzw. 19.000 kg (optimierte Variante). Sowohl die Varianten mit 50 km/h Endgeschwindigkeit als auch diejenigen mit 60 km/h wurden mit demselben Traktor gefahren, wobei die jeweilige Maximalgeschwindigkeit über den Tempomaten eingestellt und gehalten wurde.

Die Messmethodik erfolgte in Anlehnung an den Standard der DLG-Prüfstelle (DEGRELL und FEUERSTEIN 2003). Der Kraftstoffverbrauch wurde volumetrisch über ein nachgerüstetes Ovalrad-Durchflussmessgerät des Typs AIC-6004 Swissline Uniflowmaster (Automotive Information and Control Systems) bestimmt, welches nach dem Verdrängerprinzip arbeitet. Laut Hersteller weist dieses Messgerät eine Genauigkeit von $\pm 1\%$ bei einer Wiederholbarkeit von $\pm 0,2\%$ auf (AIC 2011). Im Gerät ist zudem ein PT100-Temperatursensor integriert, welcher kontinuierlich die Kraftstofftemperatur misst. Die Aufzeichnung der Verbrauchs- und Temperaturdaten erfolgte mit einer Frequenz von 1 Hz. Der Kraftstoffverbrauch wurde mit der Kraftstofftemperatur verrechnet und anschließend in g/100 km angegeben.

Ergebnisse

Abbildung 3 zeigt die Kraftstoffverbräuche der beiden untersuchten Traktorkonzepte jeweils für die Zustände „beladen“ bzw. „unbeladen“ sowie für die beiden Endgeschwindigkeiten 50 bzw. 60 km/h. Dargestellt sind die Mittelwerte aus den drei Wiederholungen der jeweiligen Varianten. Die Werte der einzelnen Messfahrten schwanken maximal $\pm 3\%$ um den dazugehörigen Mittelwert.

Über alle Versuchsvarianten hinweg hat die durch MPT-Bereifung und Gewichtsreduzierung auf Straßenfahrt optimierte Transporteinheit einen um durchschnittlich 11,4% geringeren Kraftstoffverbrauch. Die Ersparnis beträgt im beladenen Zustand ca. 8% und bezogen auf die 2,4% höhere Nutzlast der optimierten Varianten durchschnittlich 10,3%. In den unbeladenen Varianten erreicht sie bis zu 14,6%. Diese Größenordnungen sind vergleichbar mit den Ergebnissen von UDOMPETAIKUL et al. (2011) und RECKLEBEN et al. (2013). Die Überlegenheit des optimierten Konzeptes rührt größtenteils von den höheren Luftdrücken bei den MPT-Reifen her, wodurch der Rollwiderstand erheblich gesenkt werden kann. Auffällig ist, dass der Optimierungsvorteil für beide Endgeschwindigkeiten im unbeladenen Zustand beinahe doppelt so hoch ausfällt wie mit beladenem Anhänger. Dies kann mit der Verteilung des Gesamtgewichts auf die verschiedenen Achsen erklärt werden. Bei leerem Anhänger lasten ca. 50% des Gewichts der Transporteinheit auf den optimierten Traktorachsen. Dieser Anteil beträgt

nach Verwiegung des Anhängers auf 40 Tonnen nur noch ca. 25 %. Dadurch wirken sich die Optimierungsmaßnahmen nicht mehr in gleichem Maße wie bei den unbeladenen Varianten aus.

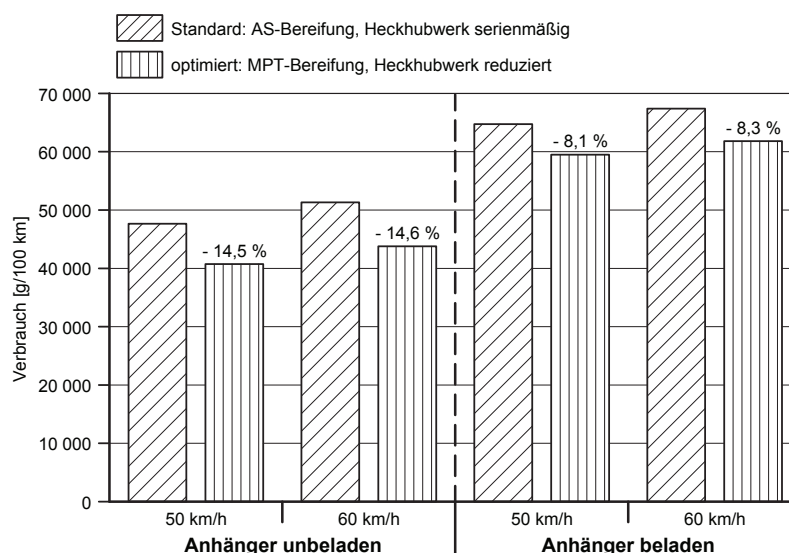


Abbildung 3: vergleichende Darstellung der Kraftstoffverbräuche der Standard- und auf Straßentransport optimierten Variante

Werden die beiden Varianten „Standard“ und „optimiert“ jeweils für sich betrachtet, so ist ersichtlich, dass – unabhängig von Bereifungskonzept und Beladungszustand – eine höhere Endgeschwindigkeit (im vorliegenden Fall 60 km/h) zwangsläufig zu einem höheren Spritverbrauch führt. Die absoluten Kraftstoffverbräuche sind vergleichbar mit Werten aus vorangegangenen Untersuchungen (u. a. GÖTZ 2011), sind aber immer im Verhältnis zur gefahrenen Versuchsstrecke zu sehen, welche in der vorliegenden Untersuchung auf den 33,9 km 440 Höhenmeter beinhaltete.

Insgesamt bleibt festzustellen, dass sich für die Maximalgeschwindigkeit (50 bzw. 60 km/h) und die Optimierung durch Umbereifung und Gewichtsreduzierung bei der Varianzanalyse signifikante Einflüsse auf dem 5 %-Niveau ergeben.

Abbildung 4 zeigt für alle acht Varianten die durchschnittlichen Rundenzeiten sowie die erreichten Durchschnittsgeschwindigkeiten. Wiederum stellen die Werte den Mittelwert der drei Einzelmesswerte für jede Variante dar. Bezüglich der Rundenzeit schwanken die Einzelmesswerte in der Größenordnung von maximal $\pm 4\%$ um den Mittelwert. Sowohl in der Standard- als auch in der optimierten Variante gilt für beide Beladungszustände, dass mit einer Endgeschwindigkeit von 60 km/h kürzere Rundenzeiten als mit 50 km/h erzielt werden können. Dieser Unterschied ist auf dem 5 %-Niveau signifikant.

Alle Geschwindigkeitswerte sind vor dem Hintergrund zu sehen, dass es sich bei der vorliegenden Untersuchung um einen Versuch unter Praxisbedingungen handelt, wobei die erreichten Geschwindigkeiten von Faktoren wie der Beschaffenheit der Versuchsstrecke (Steigungen, Fahrbahnzustand, usw.), der Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmern oder der Inner-/Außerorts-Streckenanteile abhängen (GÖTZ 2014).

Die kürzeste Durchschnittszeit wurde in der optimierten Variante mit unbeladenem Anhänger und 60 km/h Maximalgeschwindigkeit erzielt (44,2 min). Dabei musste die geringste Masse bewegt

werden. Die Transporteinheit konnte sehr effektiv beschleunigt werden und Streckenabschnitte, auf denen 60 km/h zulässig waren, am besten ausnutzen. Am längsten dauerte die Standardvariante in beladenem Zustand mit 50 km/h Endgeschwindigkeit (54,3 min).

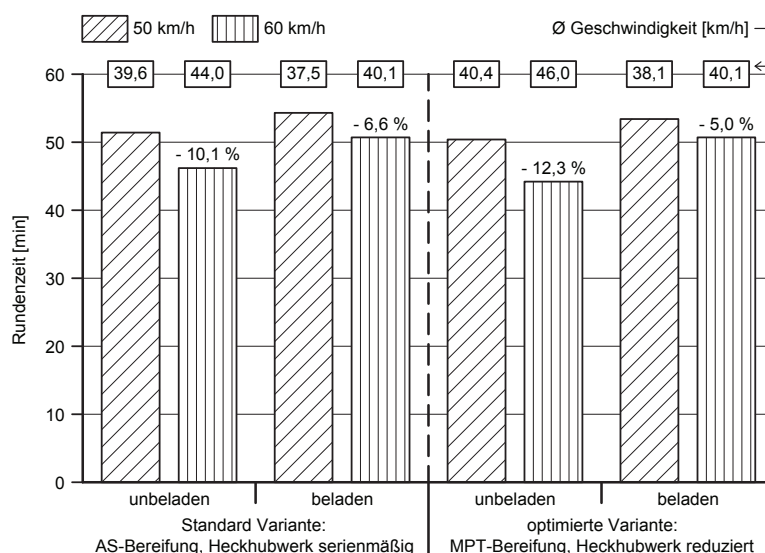


Abbildung 4: vergleichende Darstellung der Rundenzeiten der jeweiligen Endgeschwindigkeiten 50 bzw. 60 km/h

Mit den niedrigeren Rundenzeiten bei einer Endgeschwindigkeit von 60 km/h im Vergleich zu den 50-km/h-Versionen wird auch eine jeweils höhere Durchschnittsgeschwindigkeit ermittelt. Diese Unterschiede reichen von 2,0 km/h in der optimierten, beladenen Variante bis hin zu 5,6 km/h in der optimierten Variante mit leerem Anhänger. Im Vergleich zu den Ergebnissen von GÖTZ (2011), dessen Untersuchungen einen Standardtraktor der oberen Leistungsklasse (243 kW) mit 60 km/h Endgeschwindigkeit beinhalteten, fallen die vorliegenden Werte für die Durchschnittsgeschwindigkeiten niedriger aus. Die absolute Differenz von 3 km/h im unbeladenen und 5,6 km/h im beladenen Zustand des Anhängers lassen sich auf die unterschiedlichen Versuchsstrecken sowie die geringere Motorleistung des hier verwendeten Traktors zurückführen.

Bezüglich der absoluten Rundenzeiten ergibt sich ein durchschnittlicher Vorteil der unbeladenen Varianten im Vergleich zu den Varianten mit vollem Anhänger von 8,5%; die Spanne reicht von 5,0 bis 12,3%. Dabei fällt wieder auf, dass der Zeitvorteil sowohl für die Standard- als auch für die optimierte Variante jeweils mit leerem Anhänger deutlich höher als im beladenen Zustand ausfällt. Die unbeladene Transporteinheit lässt sich in wesentlich kürzerer Zeit auf die jeweilige Maximalgeschwindigkeit beschleunigen und somit steht mehr Zeit zur Verfügung, in der der Traktor diese effektiv ausnutzt. Jener Effekt wird zusätzlich verstärkt, wenn nur die Streckenabschnitte außerorts betrachtet werden. Der Vorteil beträgt hier durchschnittlich 9,8%. Innerorts kommt dies nicht zum Tragen, da die Geschwindigkeit aufgrund der Straßenverkehrsordnung auf 50 km/h begrenzt ist.

Festzuhalten bleibt, dass die Optimierung der Transporteinheit durch Umbereifung und Gewichtsreduzierung im Gegensatz zur Maximalgeschwindigkeit (50 bzw. 60 km/h) keinen signifikanten Einfluss auf die Rundenzeit hat, jedoch im Hinblick auf den Kraftstoffverbrauch auf dem 5%-Niveau ein signifikanter Vorteil zugunsten der optimierten Variante besteht.

Schlussfolgerungen

Mit steigenden Transportmengen und -entfernungen werden Alternativen bzw. Optimierungsmaßnahmen zunehmend sinnvoller und rentabler. Verhältnismäßig einfach lässt sich der Wechsel auf MPT-Reifen realisieren, die mit deutlich höheren Luftdrücken als Standard-AS-Reifen gefahren werden können. Im vorliegenden Versuch konnte durch die Optimierungsmaßnahmen (Umbereifung und Gewichtsreduzierung Heckhubwerk) der Kraftstoffverbrauch um durchschnittlich 11,4 % gesenkt und die Nutzlast um 2,4 % erhöht werden. Der Verbrauchsvorteil schlägt bei den unbeladenen Varianten aufgrund der unterschiedlichen Gewichtsverteilung auf den Achsen der Transporteinheit deutlich stärker zu Buche (bis zu 14,6 %) als bei den Fahrten mit zulässigem Gesamtgewicht von 40 Tonnen (ca. 8 %). Dieser beachtliche Vorteil gibt durchaus Anlass, darüber nachzudenken, einen Traktor, der zu bestimmten Stoßzeiten vorrangig im reinen Straßentransport eingesetzt wird, mit überschaubarem Aufwand zu optimieren. Neben dem geringeren Kraftstoffverbrauch können auch der wesentlich niedrigere Verschleiß – und somit eine erhöhte Langlebigkeit der MPT-Bereifung – (RECKLEBEN et al. 2013) sowie die durch Gewichtsreduzierung erhöhte Nutzlast angeführt werden.

Wird z. B. die Silomaiserte oder die Ausbringung organischer Substrate in Form von einphasigen Logistiksystemen ausgeführt, kann es aufgrund der zwischen Acker und Straße häufig wechselnden Bedingungen sinnvoll sein, eine Reifendruckregelanlage einzusetzen. Die Vorteile der AS-Bereifung hinsichtlich ihres Traktionsverhaltens gerade unter feuchteren Gegebenheiten auf dem Feld könnten auf diese Weise optimal ausgenutzt und gleichzeitig der Kraftstoffverbrauch und der Materialverschleiß über höhere Reifeninnendrucke bei Straßenfahrten reduziert werden.

Bezüglich der Prozesseffizienz ist der Parameter bauartbedingte Höchstgeschwindigkeit ein wichtiger Faktor für die Transportlogistik. Traktoren mit 60 km/h Maximalgeschwindigkeit erreichen bezüglich Transportgeschwindigkeiten heute bereits die Leistungsfähigkeit von LKW, vor allem wenn die Strecke keine Autobahnen oder Kraftfahrstraßen beinhaltet. Des Weiteren ist allerdings zu klären, mit welchen Kosten die Effizienzsteigerung einer höheren Maximalgeschwindigkeit in Form von Zeitersparnis verbunden ist. Werden die Kraftstoffverbräuche der verschiedenen Varianten mit einbezogen, erreichen die 60 km/h Ausführungen einen Zeitvorteil von durchschnittlich 8,5 % bei einem Kraftstoffmehrerverbrauch von 5,5 %. Wiederum schlägt der Effekt bei den Leerfahrten deutlicher zu Buche. Hier „kosten“ die 10,1 % (Standard-AS-Bereifung) bzw. die 12,3 % (MPT-Bereifung) Zeitvorteil der 60 km/h Ausführungen ca. 7 % mehr Kraftstoff.

Je nach betriebsspezifischer oder sogar tagesabhängiger Situation kann folglich die eine oder andere Variante die passendere für den jeweiligen Betrieb sein. Dabei ist zu beachten, dass der 60 km/h-Schlepper seinen Vorteil aufgrund der Straßenverkehrsordnung nur außerorts und dort auch nur auf vernünftig ausgebauten Straßen ausspielen kann. Je höher dieser Anteil an der Transportstrecke ist, desto lohnenswerter ist die höhere Endgeschwindigkeit hinsichtlich der benötigten Transportdauer, wenngleich sämtliche Konsequenzen, wie höherer Kraftstoffverbrauch oder Mehrkosten für Zulassung und Hauptuntersuchungen für Traktor und Anhänger mit einkalkuliert werden müssen.

Es bleibt festzuhalten, dass ein Traktor mit einer bauartbedingten Höchstgeschwindigkeit von 60 km/h auf einer Strecke, wie sie bei diesem Versuch gegeben war, bezüglich Transportgeschwindigkeit durchaus mit einem LKW konkurrieren kann, da der LKW seinen Geschwindigkeitsvorteil nur auf Kraftfahrstraßen und Autobahnen ausnutzen kann. Wegen der deutlich höheren Geländetauglichkeit weist der Traktor Vorteile auf, sollte es doch nötig werden, befestigte Wege zu verlassen und ins Feld zu fahren.

Literatur

- AIC (2011): Automotive Information and Control Systems, AIC-6004 Swissline Uniflowmaster. Betriebsanleitung
- Bernhardt, H. (2002): Schüttguttransport in landwirtschaftlichen Betrieben Deutschlands. Dissertation, Justus-Liebig-Universität Gießen
- Bernhardt, H. (2014): Logistik. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2013. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2014. S. 1–9
- Engelhardt, D. (2002): Transportfahrzeuge im Agrarbereich – Lastkraftwagen, Möglichkeiten und Konzepte, Cuvillier Verlag
- Degrell, O.; T. Feuerstein (2003): „DLG-PowerMix“ – Ein praxisorientierter Traktorentest. Tagungsband VDI/MEG Tagung Landtechnik Hannover 2003, VDI-Berichte Nr. 1798, S. 339–345
- Fröba, N. (1994): Landwirtschaftliches Transportwesen. Landtechnik 49(6), S. 264–266
- Götz, S. (2011): Agrarlogistik – Systemvergleich von Transportkonzepten der Getreidelogistik. Landtechnik 66(5), S. 381–386
- Götz, S. (2014): Influencing factors on agricultural transports and their effect on energy consumption and average speed. Agric Eng Int: CIGR Journal, Special issue 2014: Agri-food and biomass supply chains, pp. 59–69
- Herrmann, A.; Pickel, P.; Fröba, N. (2000): Transportgeschwindigkeiten von Traktoren. Auswirkung unterschiedlicher bauartbedingter Höchstgeschwindigkeiten. Landtechnik 55(5), S.338 ff.
- Hörner, R. (2011): DLG Praxis-Monitor Ackerschlepperreifen: Mehr als nur Gummi in DLG Test Landwirtschaft, DLG Verlag, Frankfurt a. M.
- Jílek, L.; Prazan, R.; Podpera, V.; Gerndtová, I. (2008): The effect of the tractor engine rated power on diesel fuel consumption during material transport. Res. Agr. Eng. 54(1), pp. 1–8
- Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (2013): Logistik rund um die Biogasanlage. KTBL-Schrift 498, KTBL, Darmstadt
- Lindgren, M.; Hansson, P.-A. (2002): Effects of Engine Control Strategies and Transmission Characteristics on the Exhaust Gas Emissions from an Agricultural Tractor. Biosystems Engineering 83(1), pp. 55–65
- Mührel, K. (1974): Landwirtschaftliche Transporte und Fördertechnik, VEB Verlag Technik, Berlin
- Reckleben, Y.; Schäfer, N.; Weißbach, M. (2013): Steigerung der Effizienz bei Straßentransporten mit unterschiedlichen Reifentypen für Traktoren. Landtechnik 68(3), S. 196–201
- Statistisches Bundesamt (2015): Güterverkehr 2014 in Deutschland. https://www.destatis.de/DE/PresseService/Presse/Pressemitteilungen/2015/02/PD15_050_463.html, Zugriff am 23.6.2015
- Udompetaikul, V.; Upadhyaya, S.K.; Vannucci, B. (2011): The Effect of Tire Inflation Pressure on Fuel Consumption of an Agricultural Tractor Operating on Paved Roads. Transactions of the ASABE 54(1), pp. 25–30

Autoren

M. Sc. Michael Mederle ist wissenschaftlicher Mitarbeiter und **Prof. Dr. Heinz Bernhardt** ist Ordinarius des Lehrstuhls für Agrarsystemtechnik der Technischen Universität München, Am Staudengarten 2, 85354 Freising-Weihenstephan, E-Mail: michael.mederle@tum.de

B. Sc. Adrian Urban studiert Agrarmanagement an der TU München.

Dipl.-Ing. (FH) Hubert Fischer ist bei der AGCO GmbH in Marktoberdorf im Produktmarketing tätig, das von **Dipl.-Ing. (FH) Ulrich Hufnagel, MBA** geleitet wird.

Danksagung

Der Lehrstuhl für Agrarsystemtechnik dankt der AGCO GmbH Marktoberdorf für die Bereitstellung der Testmaschinen, die umfangreiche fachliche Unterstützung und die gute Zusammenarbeit bei der durchgeführten Untersuchung.