

Sebastian Götz, Josef Holzer, Johann Winkler, Heinz Bernhardt und Dirk Engelhardt

Agrarlogistik – Systemvergleich von Transportkonzepten der Getreidelogistik

Laut aktueller Umfrage erreichen Traktorreifen bis zu 30 Prozent des Nutzungsumfangs im Straßentransport. In diesem Kontext muss deshalb hinterfragt werden, unter welchen Voraussetzungen Traktoren, die landwirtschaftlichen Universalmaschinen, als Transportfahrzeug geeignet sind. In vorliegendem Versuch wurde deshalb ein Standard-Allradschlepper mit alternativen Transportkonzepten aus dem Bereich Güterkraftverkehr verglichen, um zu ermitteln, unter welchen Bedingungen die Versuchsfahrzeuge ihre Stärken optimal nutzen können. Hierbei stand die Transportleistung, die benötigte Zeit sowie der Kraftstoffverbrauch im Vordergrund der Untersuchung.

Schlüsselwörter

Verfahrensvergleich, Transportlogistik, Traktor-LKW-Vergleich

Keywords

procedure comparison, transport logistic, tractor-truck-comparison

Abstract

Götz, Sebastian; Holzer, Josef; Winkler, Johann; Bernhardt, Heinz and Engelhardt, Dirk

Agricultural Logistics –
System comparison of transport
concepts in grain logistics

Landtechnik 66 (2011), no. 5, pp. 381–386, 7 figures,
1 table, 9 references

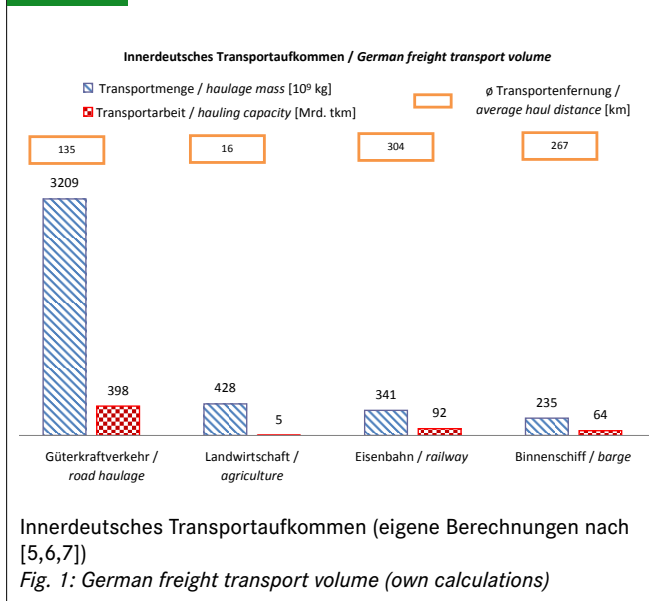
According to a new survey, tractor tyres perform up to 30 percent of the useful life on road haulage. Therefore, it must be questioned under what conditions tractors – as an agricultural universal machine – are suitable as a transport vehicle. In this study, a standard four-wheel-tractor was compared with alternative transportation concepts in the area of road haulage to determine the conditions under which the test vehicles can optimally exploit their respective strengths. The main test parameters were the transport capacity, required time and fuel consumption.

■ Eine Vielzahl von Faktoren bedingen heute ein deutlich zunehmendes Transportaufkommen in der Landwirtschaft. Ein Faktor ist die Umstrukturierung in der Landwirtschaft und in den vor- und nachgelagerten Bereichen. Mit zunehmender Größe landwirtschaftlicher Betriebe wächst die zu transportierende Menge pro Betrieb und meist auch die durchschnittliche Transportentfernung. Ein zunehmendes Transportaufkommen resultiert auch darüber hinaus aus der Zentralisierung im Landhandel und der Schließung von Zuckerrübenfabriken. Auch die zunehmende Nachfrage nach Biogassubstraten spielt eine Rolle. Deshalb muss in diesem Kontext geklärt werden, unter welchen Voraussetzungen Traktoren auch als Transportfahrzeuge geeignet sind, oder wann spezialisierte Transporteinheiten, wie Unimog und LKW-Sattelzug, eingesetzt werden sollten [1].

Das besondere Spannungsfeld zwischen Landwirt und Transportwesen wird in vielen Fachartikeln z.B. mit dem Zitat „Der landwirtschaftliche Unternehmer ist Spediteur wider Willen“ beschrieben. Daher ist es nicht verwunderlich, dass landwirtschaftliche Transporte in der Vergangenheit Gegenstand zahlreicher Untersuchungen waren. So zeigen Fröba und Mührel für die BRD und die damalige DDR, dass 40 bis 50 % des Arbeitszeitbedarfs in der Außenwirtschaft auf den Bereich Transport, Umschlag und Lager entfallen [2, 3]. Aktuelle Umfragen der Deutschen Landwirtschafts-Gesellschaft unter Praktikern zeigen, dass diese den Anteil von Straßenfahrten am Nutzungsumfang ihrer Traktorreifen mit rund 30 % beziffern [4]. Wie groß die Bedeutung des landwirtschaftlichen Transportaufkommens ist, zeigt der Vergleich mit den wichtigsten Verkehrsträgern des nationalen, gewerblichen Gütertransportes in **Abbildung 1**.

Das innerdeutsche Transportaufkommen wird sowohl in der Transportmenge als auch in der Transportarbeit – als

Abb. 1



Produkt aus Menge mal Strecke – vom Güterkraftverkehr dominiert. Dieser transportiert jährlich rund $3209 \cdot 10^9$ kg über eine durchschnittliche Strecke von 135 Kilometern (km) und erreicht somit fast 400 Mrd. Tonnenkilometer (tkm, t = metrische Tonne = 10^3 kg). Die Landwirtschaft liegt im mengenmäßigen Vergleich mit rund $428 \cdot 10^9$ kg an zweiter Stelle, noch vor der Eisenbahn und der Binnenschifffahrt mit 341 bzw. $235 \cdot 10^9$ kg. Auf dem letzten Platz im Bereich Transportarbeit liegt der landwirtschaftliche Transport. Im Vergleich zu den anderen Transportbranchen treten in der Landwirtschaft mit 4 km beim Wirtschaftsdünger- und Silagetransport nur kurze Transportstrecken auf. Im Zuckerrübentransport sind mit 110 km etwas längere Transportstrecken notwendig. Gewichtet man die jeweiligen Strecken nach der Menge der transportierten Güter, ergibt sich eine mittlere Transportentfernung von rund 16 km. Die hieraus resultierende Transportarbeit von 5 Mrd. tkm könnte eine Erklärung sein, weshalb auch unter Logistikfachleuten die Bedeutung des landwirtschaftlichen Transportsektors häufig unterschätzt wird.

Material und Methode

Im durchgeführten Versuch wurden sieben mögliche Transportketten analysiert.

Variante 1 repräsentiert das klassische Logistikkonzept der Landwirtschaft mit einem Standard-Allradschlepper des mittleren Leistungsspektrums um 140 kW und zwei 2-Achs-3-Seitenkippern (**Abbildung 2**). Ein Gespann dieser Art ist in den meisten landwirtschaftlichen Betrieben vorhanden und wird daher als Standardvariante im Transportversuch untersucht.

In Variante 2 wird ein Großtraktor mit über 240 kW eingesetzt. Die Antriebsleistung kann zwischen Unimog und Sattelkraftfahrzeug eingeordnet werden. Die bauartbedingte Höchstgeschwindigkeit bei diesem Schlepper beträgt 60 Kilometer pro Stunde.

Abb. 2



Landwirtschaftliches Anhängergespann
Fig. 2: Tractor trailer truck

Abb.3



Unimog U 500 mit 3-Achs-Anhänger
Fig. 3: Unimog U 500 with 3-axle trailer

Variante 3 basiert auf der Kombination eines Unimogs mit einem 3-Achs-3-Seitenkipper (**Abbildung 3**). Bei der zur Verfügung gestellten Versuchsmaschine handelt es sich um einen U 500 mit 210 kW Nennleistung und Euro-5-Abgasnorm. Bei der Versuchsvariante „voll beladen“ ist beim Unimog zu beachten, dass das zulässige Gesamtgewicht (zGG) des Gespannes im Gegensatz zu den anderen Varianten nicht bei 40, sondern bei 38 t zGG liegt. Der Unimog ist als land- und forstwirtschaftliche Zugmaschine zugelassen und darf daher laut Verwaltungsvorschrift § 30 StVO nur 40 % seines zulässigen Gesamtgewichtes zuladen. Bei einem zulässigen Gesamtgewicht von 15 t sind das 6 t. Der 3-Achs-Anhänger besitzt ein zulässiges Gesamtgewicht von 24 t. Bei einem Eigengewicht von 6,7 t dürfen noch 17,3 t geladen werden.

Für einen Vergleich mit der Sattelzug-Versuchsreihe wird in Variante 4 der Unimog auch vor dem Vorderwagen mit Sattelaufleger gefahren. Dieses Gespann besitzt als Gliederzug mit 40 t zGG eine höhere Nutzmasse als die Kombination aus Unimog und Anhänger.

Den Übergang vom landwirtschaftlichen Transport zum Güterkraftverkehr bildet der Einsatz eines Sattelauflegers mit Vorderwagen an einem Standard-Allradschlepper (Variante 5) bzw. eines Unimogs (Variante 4). Der Vorderwagen (**Abbildung 4**) ist das „Bindeglied“ zwischen landwirtschaftlichen Zugfahrzeugen und Sattelaufleger, da sich der Vorderwagen mit einem herkömmlicher Sattelaufleger aufsatteln und mit dem Schlepper bewegen lässt. So kann beispielsweise mit dem Schlepper auf unbefestigten Feldwegen abgefahren werden. Die volle Mulde kann dann zu einem zentralen Sammelplatz verbracht werden, von wo der Abtransport per Sattelzugmaschine erfolgt.

Abb. 4



Vorderwagen (Dolly) mit Sattelauflieger
Fig. 4: Dolly with semi trailer

Abb. 5



LKW-Sattelzug
Fig. 5: Articulated lorry

In der letzten Variante wird eine Sattelzugmaschine unterschiedlicher Abgasnorm und Leistung eingesetzt, die als spezialisierte Transportmaschine gilt (**Abbildung 5**). In Variante 6 kommt zunächst eine Sattelzugmaschine mit 323 kW Leistung zum Einsatz. Diese entspricht mit Ad-Blue-Technologie der aktuellen Abgasrichtlinien Euro-5, besitzt 12 automatisiert schaltbare Gänge sowie aktuelle LKW-Sicherheitsstandards. Die zweite Sattelzugmaschine mit 335 kW V6-Motor, Baujahr 2005 und Euro-3-Abgasnorm besitzt eine halbautomatische 8-Gang-Schaltung und wird im Versuch als Variante 7 bezeichnet.

Eine Übersicht der wichtigsten Parameter der eingesetzten Versuchsfahrzeuge gibt **Tabelle 1**.

Die ausgewählte Versuchsstrecke entspricht dem Streckenprofil durchschnittlicher Transportstrecken in der Landwirtschaft [8].

Der insgesamt 36,6 km lange Rundkurs lässt sich in die Abschnitte „Überlandfahrt“ und „Autobahn“ unterteilen. Der 17,1 km lange Abschnitt „Überlandfahrt“ beinhaltet die Streckentypen 1,3 km Feldweg, 3 km Ortsdurchfahrt, 6,5 km Landstraße sowie 5 km Bundesstraße, jeweils in unterschiedlichen Ausbaustufen. Auf diesem Abschnitt werden rund 60 Höhenmeter bewältigt, welche Steigungs- und Gefälleabschnitte in der Größenordnung von 3 bis 5 % bedingen.

Der zweite Teilabschnitt „Autobahn“ umfasst eine Strecke von 19,5 km und beinhaltet zwei Autobahnstrecken sowie eine mehrspurige Bundesstraße. Diese Strecken wurden durch die

Tab. 1

Übersicht der eingesetzten Versuchsfahrzeuge

Table 1: Vehicle type overview

Kennwert Parameter	Einheit Unit	Schlepper/Tractor			Unimog		Sattelzug/Articulated lorry	
		Variante 1 Variant 1	Variante 5 Variant 5	Variante 2 Variant 2	Variante 3 Variant 3	Variante 4 Variant 4	Variante 6 Variant 6	Variante 7 Variant 7
Nennleistung Nominal power	kW/PS	140/190	140/190	>240/>326	210/286	210/286	323/439	320/455
Zuglänge Train length	m	18,30	16,55	18,75	15,40	17,50	13,60	13,6
Leergewicht Zugmaschine Unloaded weight of tractor	kg	7 185	7 185	10 895	8 115	8 115	7 600	7 900
Leergewicht Anhängen Unloaded weight of tractor	kg	9 536	10 395	9 536	6 700	10 395	8 595	8 595
Zulässiges Gesamtgewicht Gross vehicle weight	kg	40 000	40 000	40 000	38 000	40 000	40 000	40 000
Zuggewicht leer Unloaded trailer truck	kg	16 721	17 580	20 431	14 700	18 510	16 195	16 495
Max. Zuladung Max. payload	kg	23 279	22 420	19 569	23 300	21 490	23 805	23 505

bauartbedingte Höchstgeschwindigkeit mit den Varianten 3, 6 und 7 befahren.

Die Strecke wurde mit den Versuchsfahrzeugen von geschulten Fahrern in dreifacher Wiederholung mit den Belastungszuständen leer und teilbeladen (12,5 t) sowie vollbeladen (ca. 23 t) befahren.

Während der jeweiligen Messfahrt wurde mittels 12 Kanal DGPS-Empfänger die Position, die Geschwindigkeit und die Höhe über Normalnull ermittelt. Der Dieserverbrauch wurde mit einer Durchflussmessung für den jeweiligen Teilabschnitt erfasst. Das verwendete Durchflussmessgerät AIC 4008 Veritas (Automotive Information & Control Systems) ermittelt den effektiven Kraftstoffverbrauch, indem der Rücklauf vom Motor vor der eigentlichen Messkammer des Durchflussmessgerätes wieder in den Vorlauf eingeleitet wird.

Ergebnisse

Die kumulierten Rundenzeiten des Versuchsabschnittes „Überlandfahrt“ sind in **Abbildung 6** dargestellt.

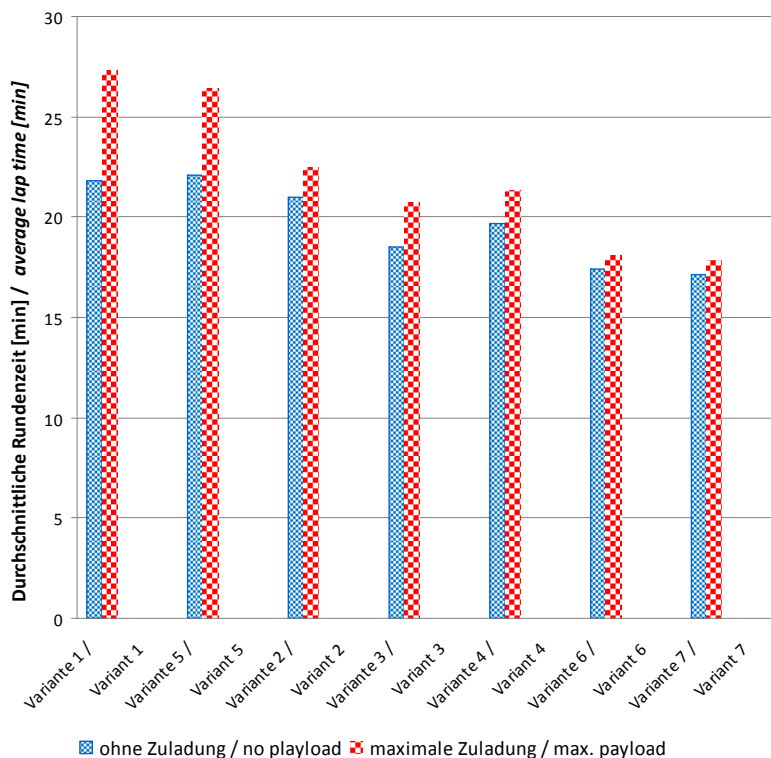
Im Vergleich zwischen Leerfahrt und Fahrt mit 40 t Gesamtgewicht fallen besonders die LKW-Varianten und der Großtraktor durch eine minimale Zeitdifferenz auf. Unter dem gewählten Streckenprofil und dem Gesamtgewicht von 40 t wurde die Leistung dieser Varianten nicht soweit gefordert, dass es zu einer deutlichen Erhöhung der Rundenzeit gekommen wäre. Unter maximaler Zuladung erreicht der Großtraktor die Rundenzeit des Unimogs. Die Auswertung der durchschnittlichen

Geschwindigkeit zeigt, dass moderne Traktoren, dank neuer Getriebe, in diesem Punkt auf Landstraßen mit einem LKW vergleichbar sind.

Hinsichtlich der Rundenzeit ergibt sich im direkten Vergleich der Varianten sowohl in der unbeladenen Variante als auch in der Variante mit maximaler Zuladung die gleiche Reihenfolge der Versuchsfahrzeuge. Die Traktorvarianten benötigten mit 21 bis 27 Minuten die meiste Zeit, gefolgt vom Unimog mit 18 bis 21 Minuten. Die schnellsten Rundenzeiten realisierte der LKW mit 17 bis 18 Minuten. Der LKW erreichte sogar innerhalb geschlossener Ortschaften eine höhere Durchschnittsgeschwindigkeit und somit die geringsten Zeiten. Was im Vergleich zum Traktorgespann mit ähnlichen Ausmaßen zunächst verwunderlich scheint, lässt sich durch das bessere Beschleunigungsverhalten des LKW erklären.

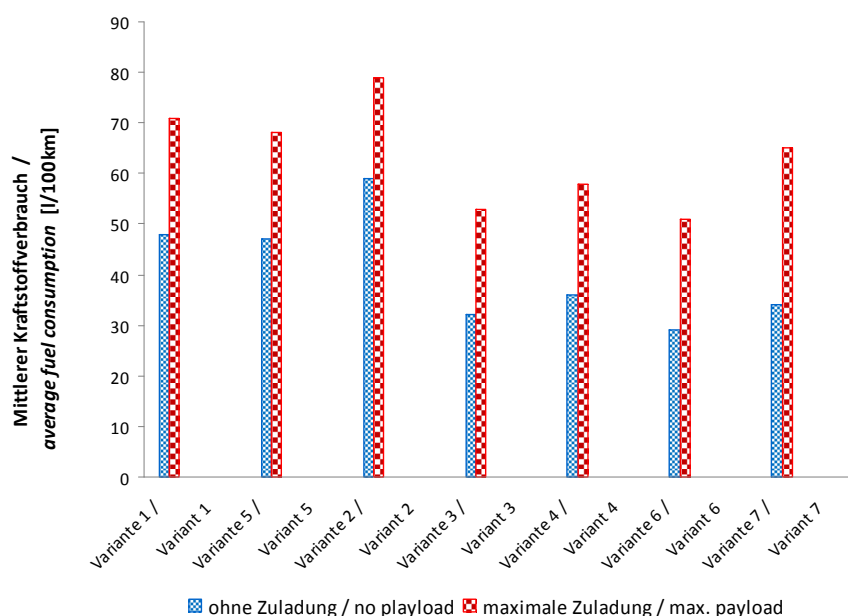
Die Differenzierung der Teststrecke in die Teilstrecken „Feldweg“, „Ortschaft“, „außerorts“ und „Autobahn“ lässt statistisch abgesicherte Ergebnisse nur zu, wenn die einzelnen Varianten zu den Gruppen Traktor, Unimog und LKW zusammengefasst werden. Die durchgeführte Anova-Analyse zeigt, dass die Gruppe einen schwach signifikanten Einfluss auf die Fahrzeit ($p < 0,09$) und die durchschnittliche Fahrgeschwindigkeit in Kilometer pro Stunde hat ($p < 0,01$). Deutlicher wirkt sich jedoch der streckenabhängige Anteil der durchschnittlichen Geschwindigkeit mit $p < 1,27 \cdot 10^{-6}$ aus, was beispielsweise durch eine Geschwindigkeitsbegrenzung von 30 km/h in einer Ortschaft bedingt war.

Abb. 6



Durchschnittliche Rundenzeit im Abschnitt „Überlandfahrt“ aller Versuchsvarianten
Fig. 6: Average lap time at the trip 'overland drive' of all test vehicles

Abb. 7



Mittlerer Kraftstoffverbrauch aller Versuchsvarianten pro 100 km

Fig. 7: Average fuel consumption per 100 km of all test vehicles

Abbildung 7 zeigt den Kraftstoffverbrauch der Versuchsfahrzeuge im unbeladenen und maximal beladenen Zustand. Ohne Beladung ist unter den Traktorvarianten die 140-kW-Variante mit Vorderwagen und Sattelaufleger am kraftstoffsparendsten. Der 140-kW-Schlepper braucht mit 47 Litern pro 100 Kilometer 1 l weniger als mit den beiden Anhängern. Der geringere Verbrauch des Auflegers lässt sich am ehesten über die für Transportarbeiten optimierte Hochdruck-Bereifung des Auflegers erklären. Dieses Ergebnis bestätigt Ergebnisse von Seufert [9], wonach der Unterschied im Kraftstoffverbrauch im direkten Vergleich von Hoch- und Niederdruckreifen bis zu 3 l/h betragen kann. Deutlich mehr verbraucht der Schlepper mit 243 kW Motorleistung, was vor allem auf sein höheres Eigengewicht und das höhere Leergewicht des Gespannes zurückzuführen ist. Auch mit maximaler Zuladung zeigt sich eine vergleichbare Struktur zur Variante ohne Beladung. Der Verbrauch liegt hierbei auf höherem Niveau: der 140-kW-Schlepper verbraucht auf 100 km Landstraßenfahrt 71 l mit 2 Anhängern bzw. 68 l Diesel mit Sattelaufleger. Der Schlepper mit > 240 kW benötigt 81 l auf der gleichen Strecke.

Der Unimog mit Anhänger verbraucht unbeladen rund 32 l/100 km bzw. 53 l/100 km mit maximaler Zuladung, was bereits auf die Spezialisierung zum Transportfahrzeug hindeutet. Die Variante Unimog mit Sattelaufleger benötigt 36 l Dieselkraftstoff auf 100 km ohne Zuladung und 58 l mit maximaler Zuladung. Bedacht werden sollte jedoch, dass die Variante mit Vorderwagen und Sattelaufleger auf 40 t ausgeladen werden konnte, während die Kombination aus Unimog und Anhänger nur 38 t wiegen durfte.

Der Sattelzug 1 hat auf dem Teilabschnitt „Überlandfahrt“ ohne Beladung einen mittleren Kraftstoffverbrauch von 29 l/100 km, der Sattelzug 2 verbraucht auf derselben Strecke 34 l/100 km. Der mittlere Kraftstoffverbrauch liegt mit einem Gesamtgewicht von 40 t beim Sattelzug 1 bei 51 l/100 km und beim Sattelzug 2 bei 62 l/100 km. Unter Last ist die Differenz der Verbräuche höher. Der Mehrverbrauch resultiert in diesem Fall aus einer Kombination von Technik und Fahrverhalten.

Schlussfolgerungen

Die Transportlogistik gewinnt in der Landwirtschaft aufgrund zunehmender Betriebsgrößen weiter an Bedeutung. Die richtige Auswahl des Transportsystems ist von verschiedenen Faktoren abhängig. Diese sind die anfallende Gütermenge und deren zeitliche Verteilung sowie die Transportentfernung in Form von Feld-Hof- bzw. die Hof-Lagerhaus-Entfernung.

Die im Fahrversuch ermittelten Kraftstoffverbräuche für Standard-Traktoren sind für den ausschließlichen Straßentransport mit spezialisierten Transportfahrzeugen nicht konkurrenzfähig. Der Kraftstoffverbrauch ist jedoch nur ein Faktor im Vergleich der Transportkonzepte. Der Standard-Allradtraktor hebt sich im direkten Vergleich von den anderen Versuchsvarianten positiv ab, da er sich kostengünstig für unterschiedliche Arbeiten im landwirtschaftlichen Betrieb einsetzen lässt und die für Feld- und Forsteinsatz notwendige Geländegängigkeit besitzt.

In vielen Fällen, wie bei der Maisernte oder bei der Ausbringung von Wirtschaftsdüngern, muss das Transportfahrzeug gleichzeitig eine hohe Geländegängigkeit aufweisen, sofern mit

einphasigen Verfahren gearbeitet wird. Eine Trennung der Verfahrenstechnik in Feld- und Straßentransport erfordert einen zusätzlichen Kapitalaufwand und schmälert somit die relativen Vorzüge der Transportfahrzeuge. Bei einer solchen Trennung der Verfahrenstechnik ist es daher dringend notwendig die Maßnahme genau zu kalkulieren. Oftmals ist es für den einzelnen Landwirt günstiger, den Standard-Schlepper mit dem entsprechenden Transportfahrzeug auf Feld und Straße gleichzeitig einzusetzen, um eine hohe Auslastung für seine Maschinen zu erreichen. Wird aber eine Trennung der einzelnen Verfahrensschritte durchgeführt, so kann die getrennte Verfahrenstechnik meist nur von spezialisierten Dienstleistungsunternehmen oder sehr großen Betrieben wirtschaftlich eingesetzt werden, da nur hier eine ausreichende Auslastung erreicht wird. Alternativ können kleinere Betriebe den Transport an spezialisierte Agrarspeditionen vergeben oder entsprechende Fahrzeuge in der Ernte anmieten.

Da Standard-Traktoren für sehr unterschiedliche Einsätze konzipiert sind, ist ihr Einsatz in der Transportlogistik nur im landwirtschaftlichen Bereich, in dem auch das Feld befahren werden muss, von Bedeutung. Bei den Rundenzeiten auf der Landstraße bei „Leerfahrt“ hat sich gezeigt, dass die modernen Standard-Traktoren mit maximalen bauartbedingten Höchstgeschwindigkeiten von 50 und 60 km/h dem LKW, dessen zulässige Höchstgeschwindigkeit auf Landstraßen 60 km/h beträgt, nicht mehr weit nachstehen. Bei längeren Transporten kann der LKW die Vorteile des 80-km/h-Getriebes unter Nutzung der Autobahn besser ausspielen.

Der niedrige Kraftstoffverbrauch des Unimog ist mit jenem des LKW vergleichbar. Hierbei muss allerdings angemerkt werden, dass der im Fahrversuch eingesetzte Unimog mit einer Straßenbereifung ausgestattet war, welche dessen Transporteigenschaften positiv beeinflusste und im Vergleich zum AS-Profil zu einem geringeren Kraftstoffverbrauch führte. Der Unimog kann durch seinen Allradantrieb in diesem Fall zwar das Feld befahren, ist jedoch in der eingesetzten Version mit Straßenbereifung unter ungünstigen Witterungsbedingungen nur bedingt geländetauglich. Seine Höchstgeschwindigkeiten und Fahreigenschaften ähneln denen des LKW und doch kann er in einem breiteren landwirtschaftlichen Aufgabenbereich, beispielsweise mit Auf- und Anbaugeräten, eingesetzt werden.

Es zeigte sich, dass die Sattelzugmaschinen bei den Rundenzeiten unter Vollast ihre Stärken ausspielen konnten und mit ihrer hohen Motorleistung auch längere Steigungen mit zulässiger Höchstgeschwindigkeit bewältigten.

Die Rundenzeiten sind ein weiterer wichtiger Indikator für die Auswahl des richtigen Transportsystems. Hierzu ist auch zu beachten, dass bei einem Rundlauf der Transportfahrzeuge möglichst gleiche Einheiten zum Einsatz kommen, damit ein flüssiger Ablauf der Transportkette während der Ernte aufrechterhalten werden kann. Für Langstreckeneinsätze ist der LKW aufgrund seiner hohen Durchschnittsgeschwindigkeit das geeignetste Fahrzeug, da er unter normalen Verkehrsbedingungen das Ziel schneller erreicht. Somit ist es gerade bei LKWs

sehr wichtig, dass sie eine sehr hohe Laufleistung pro Jahr erreichen. Bei Traktoren wird die notwendige Jahresauslastung in vielen Fällen nicht durch den Transport erreicht. Hier muss für eine detailliertere Berechnung das genaue Anforderungsprofil eines Traktors berücksichtigt werden, um den Transport mit dem Traktor besser bewerten zu können.

Unabhängig vom gewählten Transportfahrzeug wird sich zukünftig deutlicher zeigen, dass auch im Bereich landwirtschaftlicher Transporte ab einer Entfernung von 60–80 km die Reduktion von Leerfahrten durch geeignete Rückfrachten zu einem Muss werden, wie das bereits heute im gewerblichen Güterverkehr der Fall ist. Hierfür ist die Bildung von regionalen und überregionalen Agrarnetzwerken nötig, die die anfallenden Transportmengen und Transportkapazitäten besser auslasten und organisieren.

Weitere Untersuchungen mit erweiterter Datenbasis und Datendichte konzentrieren sich auf die Ermittlung einer Regressionsgleichung zur Schätzung des Kraftstoffbedarfes und der Transportzeit unter Einbeziehung von regionalen und betriebs-eigenen Faktoren. Zu dieser Datenbasis gehören unter anderem eine Verkehrszählung bei mehreren Teilabschnitten, sowie fahrzeugspezifische Schleppkurven zur Beurteilung der Befahrbarkeit von Engstellen und Feldwegen.

Literatur

- [1] Kowalewsky, H.-H. (2009): Landwirtschaftliche Transporte mit Schlepper oder Lkw. *Land & Forst* 16, S. 47–49
- [2] Fröba, N. (1994): Landwirtschaftliches Transportwesen. *Landtechnik* 49(6), S. 264–266
- [3] Mührel, K. (1974): Landwirtschaftliche Transporte und Fördertechnik, VEB Verlag Technik, Berlin
- [4] Hörner, R. (2011): DLG-Praxis-Mintor Ackerschlepperreifen: Mehr als nur Gummi in DLG Test Landwirtschaft, DLG Verlag, Frankfurt a. M.
- [5] Bundesverband Güterkraftverkehr, Logistik und Entsorgung. http://www.bgl-ev.de/images/daten/verkehr/gueteraufkommen_tabelle.pdf, Zugriff am 4.7.2011
- [6] BMELV (2011): Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten 2010, Wirtschaftsverband NW GmbH, Bremerhaven
- [7] Bernhardt, H. (2006): Schüttguttransport, Hrsg.: Rationalisierungskuratorium für Landwirtschaft (RKL), Sonderdruck aus der Kartei für Rationalisierung 3.0, S. 393–410
- [8] Engelhardt, D. (2002): Transportfahrzeuge im Agrarbereich – Lastkraftwagen – Möglichkeiten und Konzepte, Cuvillier Verlag
- [9] Seufert, H. (2002): Fahreigenschaften unterschiedlicher Anhängerbereifung. *Landtechnik* 57(6), S. 356–357

Autoren

M. Sc. Sebastian Götz ist wissenschaftlicher Mitarbeiter und **Prof. Dr. Heinz Bernhardt** ist Ordinarius und des Lehrstuhls für Agrarsystemtechnik der Technischen Universität München, Am Staudengarten 2, 85354 Freising-Weihenstephan, E-Mail: sebastian.goetz@wzw.tum.de

B. Sc. Josef Holzer und **B. Sc. Johann Winkler** studieren Agrarwissenschaften an der TU München.

Prof. Dr. Dirk Engelhardt leitet das Institut für Logistikmanagement der Steinbeis Universität Berlin.