

Zeitschrift: Landtechnik Schweiz

Herausgeber: Landtechnik Schweiz

Band: 67 (2005)

Heft: 10

Artikel: Transporte im Berggebiet : Geschwindigkeit und Treibstoffverbrauch auf steilen Strassen

Autor: Lauber, Stefan / Schick, Matthias / Schiess, Isidor

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1081040>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 03.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Transporte im Berggebiet

Geschwindigkeit und Treibstoffverbrauch auf steilen Strassen

Stefan Lauber, Matthias Schick, Isidor Schiess, Edwin Stadler und Ruedi Stark, Agroscope FAT Tänikon,
Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik, CH-8356 Ettenhausen
E-Mail: stefan.lauber@fat.admin.ch

Die Hanglagen und oftmals steilen Strassen im Berggebiet erfordern eine angepasste Transportmechanisierung. Je nach Bedürfnissen und Parzellenausstattung gilt es beim Kaufentscheid zwischen Transporter- und Traktorkombinationen abzuwählen.

Im Hinblick auf weite Transportdistanzen ist dabei weniger die maximale Geschwindigkeit als der tatsächliche Zeitaufwand von Interesse.

Mit einer Serie von Testfahrten wurden sowohl die durchschnittlich erzielten als auch die neigungsabhängigen Geschwindigkeiten ermittelt. Diese Messungen erlauben unter anderem, die für den Transport einer Lasteinheit notwendige Arbeitszeit für verschiedene Mechanisierungstypen und Nutzlastvolumen zu bestimmen.

Getestet wurden je zwei verschiedene starke Traktor- und Transporterkombinationen sowie ein Zweiwegtraktor. Nebst der Geschwindigkeit wurde auch der Treibstoffverbrauch je Tonne Nutzlast in Abhängigkeit von der gewählten Mechanisierung gemessen.

Problemstellung und Zielsetzung

Bei Futterernte und Düngung werden im Berggebiet oftmals weite Fahrdistanzen zurückgelegt. Steilheit und Unübersichtlichkeit von Bergstrassen erfordern eine angepasste Fahrweise und führen dazu, dass nur mit eingeschränkter Geschwindigkeit gefahren

werden kann. Abgelegene Flächen auf der Maiensässtufe und die häufig stark verstreute Lage der bewirtschafteten Parzellen binden somit grosse Arbeitskapazitäten für Transport- und Leerfahrten. Für arbeitswirtschaftliche Betrachtungen und Planungsrechnungen im Berggebiet ist es deshalb zentral, sich auf fundierte Zahlen abzustützen zu können.

Die bislang verfügbaren Geschwindigkeitsdaten für das Berggebiet (Schick 1995) differenzieren nicht zwischen unterschiedlichen Hangneigungen und Strassenqualitäten, sie sind daher nur beschränkt verwendbar. Zudem fehlen Daten zum Dieselverbrauch im Berggebiet. In einer Serie von Messfahrten wurden für verschiedene Traktor- und Transporterkombinationen sowohl die neigungsabhängige Geschwindigkeit als auch der Dieselverbrauch ermittelt.



Abb. 1: Ein Reform Muli 875 SL mit Druckfassaufbau diente als grösste Transporterkombination.

| Inhalt | Seite |
|---------------------------------|-------|
| Problemstellung und Zielsetzung | 39 |
| Versuchsanlage und Vorgehen | 40 |
| Abkürzungen | 40 |
| Resultate | 42 |
| Diskussion | 46 |
| Literatur | 46 |

Versuchsanlage und Vorgehen

Versuchsfahrzeuge und Anhängelasten

Der Versuch umfasste je zwei Traktoren und Transporter aus unterschiedlichen Leistungsklassen sowie einen Zweiwegtraktor / Zweiachsmäher (Tab. 1). Um die Fahrzeuge unter realen Bedingungen testen zu können, hatten die Traktoren Güllefässer angehängt. Die Transporter (Abb. 1 und 2) fuhren die Strecken mit montierten Druckfassaufbauten. Der Zweiwegtraktor (Abb. 3) hatte auf einzelnen Fahrten ein Frontmähwerk mit integriertem Aufbereiter als Zusatzlast vorgehangt. Die Gesamtgewichte der einzelnen Testkombinationen wurden vor Ort auf einer Brückenwaage gemessen (Tab. 2).

Teststrecken

Die Testfahrten fanden auf zwei Strassenabschnitten in den Bündner Gemeinden Mon, Salouf, Surava und Tiefencastel statt (Abb. 4 und 5). Auf dem Abschnitt mit Teerbelag wurden drei verschiedene Distanzen gefahren (T1, T2 und T3), auf der Naturstrasse zwei Distanzen (N1 und N2) (Tab. 3). Die separate Messung auf geteerten Strassen und Naturstrassen war wichtig, da die Rollreibung auf letzteren bedeutend grösser ist. Die längste Teilstrecke führte durch den relativ engen Dorfkern von Mon. Alle anderen Strecken berührten das Siedlungsgebiet nicht.

Bei sich überlagernden Strecken wurde jede Distanz separat gefahren, um die Effekte des Anfahrens und Abbremsens mit berücksichtigen zu können. Mit den gewählten Distanzen können sowohl Aussagen zu Transporten auf hofnahe Flächen, im Umkreis von rund 500 m, als auch zu Fahrten auf hofferne Parzellen gemacht

Abkürzungen

- ... Dieser Tabellenwert wurde weggelassen, weil er nicht erhältlich oder ohne Bedeutung ist.
- Dieser Tabellenwert ist null (es kommt nichts vor).
- R² Bestimmtheitsmass, eine statistische Grösse, welche die Güte einer Regression bewertet. Sie gibt jenen Anteil an der Streuung der gemessenen Werte an, der durch die entsprechende Regression erklärt werden kann. Im Optimalfall hat R² einen Wert von 1.
- a Parameter der modellierten Geschwindigkeit. Einheit: km/h
- c Parameter der modellierten Geschwindigkeit. Einheit: km/h pro % Steigung
- AKmin Arbeitskraftminute
- g Gramm; auch: Erdbeschleunigung
- kW Kilowatt
- t Tonne
- tkm Tonnenkilometer (bezieht sich auf Nutzlasten)
- v_{max} Höchstgeschwindigkeit

Tab. 1: Typenbezeichnung, Maximalgeschwindigkeit (v_{max}) und Nennleistung der eingesetzten Zugfahrzeuge.

| Zugfahrzeug | Typ | v _{max} | Nennleistung | |
|-------------------|--------------------------------|------------------|--------------|----|
| | | km/h | kW | PS |
| Traktor 70 kW | New Holland TS 90 Turbo | 40 | 70 | 95 |
| Traktor 53 kW | Same Dorado 75 | 40 | 53 | 72 |
| Transporter 55 kW | Reform Muli 875 SL | 40 | 55 | 74 |
| Transporter 34 kW | Aebi TP 47 | 25 | 34 | 45 |
| Zweiwegtraktor | Antonio Carraro Tigretrac 5500 | 30 | 35 | 48 |



Abb. 2: Der Aebi TP 47 mit Druckfassaufbau wurde als kleinere Transporterkombination herangezogen.

Tab. 2: Gewogene Gewichte und Fahrprogramm. Mit Ausnahme des Zweiwegtraktors wurden sämtliche Fahrzeugkombinationen auf allen Strecken mit und ohne Zusatzgewicht getestet.

| Zugfahrzeug | Basisgewicht kg | Zusatzzlast | Zusatzgewicht kg | Gewicht total kg | Fahrprogramm | | | | |
|-------------------|--------------------|---|---------------------|---------------------|--------------|------|------|------|------|
| | | | | | T1 | T2 | T3 | N1 | N2 |
| Traktor 70 kW | 7 460 | mit vollem 5,0-m ³ -Druckfass | 4 780 | 12 240 | ja | ja | ja | ja | ja |
| | | mit leerem 5,0-m ³ -Druckfass | - | 7 460 | ja | ja | ja | ja | ja |
| Traktor 53 kW | 4 440 | mit vollem 2,7-m ³ -Druckfass | 2 660 | 7 100 | ja | ja | ja | ja | ja |
| | | mit leerem 2,7-m ³ -Druckfass | - | 4 440 | ja | ja | ja | ja | ja |
| Transporter 55 kW | 3 200 | mit vollem 2,1-m ³ -Druckfassaufbau | 2 140 | 5 340 | ja | ja | ja | ja | ja |
| | | mit leerem 2,1-m ³ -Druckfassaufbau | - | 3 200 | ja | ja | ja | ja | ja |
| Transporter 34 kW | 2 340 | mit vollem 1,7-m ³ -Druckfassaufbau | 1 700 | 4 040 | ja | ja | ja | ja | ja |
| | | mit leerem 1,7-m ³ -Druckfassaufbau | - | 2 340 | ja | ja | ja | ja | ja |
| Zweiwegtraktor | 1 720 | mit 2,6-m-Frontmähwerk/Aufbereiter ohne Zusatzlast | 570 | 2 290 | ja | ja | ja | nein | nein |
| | | | - | 1 720 | nein | nein | nein | ja | ja |



Abb. 3: Als Zweiachsmäherkombination wurde der Zweiwegtraktor Antonio Carraro Tigretrac 5500 mit und ohne 2,6 m-Frontmähwerk eingesetzt.

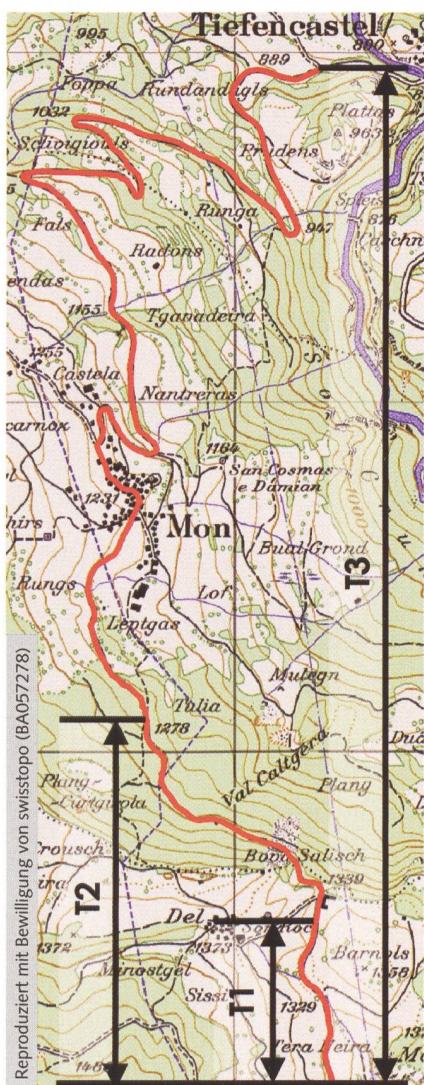


Abb. 4: Teststrecken auf der Teerstrasse zwischen Tiefencastel, Mon und Salouf.

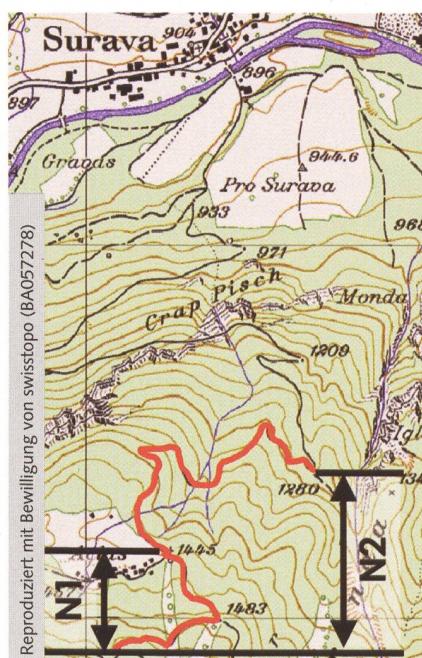


Abb. 5: Teststrecken auf der Maiensäss- und Alpstrasse (Naturstrasse) südlich von Surava.

werden, die beispielsweise in anderen Gemeinden oder auf der Maiensässstufe liegen.

Innerhalb der einzelnen Strecken wurden mehrere verschiedene steile Teilabschnitte ausgeschieden und deren Neigung gemessen. Diese Teilabschnitte waren innerhalb der geteerten Strecken jeweils 100 m lang, auf der Naturstrasse je 25 m (Tab. 3). Die Strecke T3 weist so beispielsweise 21 Teilabschnitte mit einer Länge von je 100 m und Neigungen zwischen 2,0 % und 12,7 % auf. Die in der Naturstrasse quer angebrachten Entwässerungsgräben haben einen spürbaren Einfluss auf das Fahrverhalten und wurden deshalb mit erfasst.

Die mittlere Neigung der geteerten Strasse (Abb. 6) war mit 8,8 % erwartungsgemäss geringer als bei der Naturstrasse mit 14,3 % (Abb. 7). Bei den geteerten Strecken T2 und T3 gilt es zu beachten, dass sie einen Neigungswechsel aufweisen. Teilabschnitte mit negativer Neigung wurden bei der Bestimmung der hangneigungsabhängigen Geschwindigkeit immer als Talfahrten gewertet.

Fahrprogramm

Die Fahrzeugkombinationen mit Traktor und Transporter wurden auf sämtlichen Strecken sowohl mit vollem als auch mit leerem Druckfasse eingesetzt. Der Zweiwegtraktor hatte auf den geteerten Strecken jeweils ein Frontmähwerk mit Aufbereiter angehängt, fuhr die Naturstrassenstrecken jedoch ohne Zusatzbelastung (Tab. 2). Aus Zeit- und Kostengründen konnte mit jeder Kombination nur einmal gefahren werden, wobei sowohl die Berg- als auch die Talfahrt für die Messung herangezogen und separat ausgewertet wurden.

Um den Fahrereinfluss auf die Resultate gering zu halten, wurden sämtliche Versuche mit demselben routinierten Fahrer durchgeführt. Dieser kannte die Strecken bereits vor den ersten Messfahrten, womit

Tab. 3: Innerhalb der fünf Teststrecken wurden die Fahrzeiten von Teilabschnitten, deren Neigung bekannt war, einzeln gemessen. Die Min.- und Max.-Spalten bezeichnen den jeweils flachsten bzw. steilsten Teilabschnitt innerhalb der Strecke. Zusätzlich wurde die Anzahl Querrinnen erhoben.

| Strecke | Qualität | Distanz | Teilabschnitte | | | Neigung | Querrinnen |
|---------|------------|---------|----------------|------------|------|-------------|------------|
| | | | total | Aufteilung | max. | min. | |
| | | m | - | % | % | % | Stück |
| T1 | geteert | 505 | 3 x 100 m | 4.5 | 4.5 | 4.6 | ... |
| T2 | geteert | 1 501 | 12 x 100 m | 10.0 | 2.0 | 6.1 -4.6 | ... |
| T3 | geteert | 5 877 | 21 x 100 m | 12.7 | 2.0 | 8.8 -4.6 | ... |
| N1 | Naturbelag | 598 | 7 x 25 m | 17.1 | 9.4 | 14.1 | 38 |
| N2 | Naturbelag | 1 751 | 15 x 25 m | 18.1 | 9.4 | 14.3 | 54 |

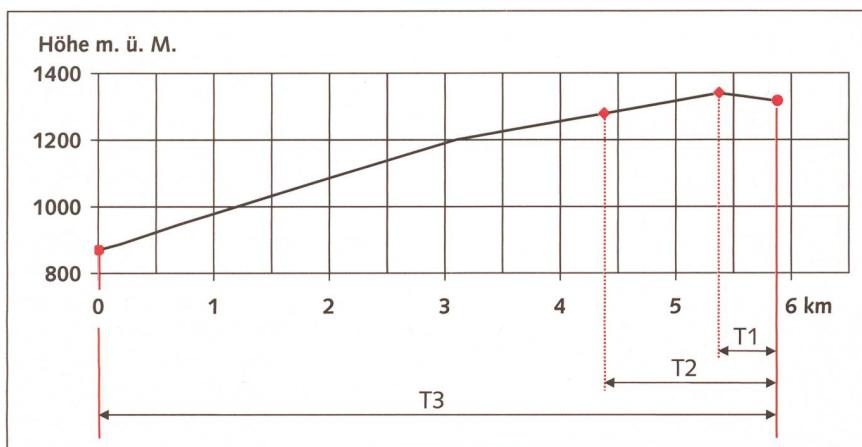


Abb. 6: Die Teerstrasse weist eine mittlere Neigung von 8,8 % auf. Die Strecken T2 und T3 beinhalten ein Teilstück mit Gefälle. Dies ist realitätsnah, da solch lange Strecken selten ausschliesslich ansteigend sind.

er bei den ersten Fahrten nicht überdurchschnittlich vorsichtig fahren musste. Die Fahrten wurden im Winterhalbjahr auf trockenen, frost- und schneefreien Straßen durchgeführt.

Messungen

Die Fahrzeiten wurden von einer jeweils mitfahrenden zweiten Person manuell gestoppt und in einem Handheld-Computer gespeichert. Dabei wurden sowohl die Zeiten für die gesamte Strecke als auch für die darin liegenden Teilabschnitte erfasst. Bei einer Geschwindigkeit von 25 km/h resultiert auf der kürzesten Strecke bei einer allfällig verzögerten Zeitmessung von einer Sekunde eine Unterschätzung der Geschwindigkeit um 0,34 km/h, was für die vorliegende Fragestellung genügend genau ist.

Die Distanzmessung der gesamten Strecken und der Teilabschnitte erfolgte mit einem Laufrad. Die Steigung der einzelnen Teilabschnitte wurde mit einem laserbasierten Distanz- und Neigungsmesser in einem zweifach wiederholten Dreipunktmethode bestimmt.

Für die Bestimmung des Treibstoffverbrauchs wurde an den Fahrzeugen ein Zusatztank montiert, der am Anfang und am Ende der Teststrecke mittels Präzisionswaage gewogen wurde. Diese Methode setzt eine minimale Betriebstemperatur der Zugfahrzeuge und eine minimale gefahrene Distanz voraus, um messbare Unterschiede zwischen den einzelnen Testfahrten bestimmen zu können. Diese Messungen wurden daher nur ab Distanzen von mindestens 1500 m durchgeführt.

Resultate

Physikalische Grundlage

Die theoretische Geschwindigkeit einer Fahrzeugkombination hängt im Wesentlichen von fünf Faktoren ab (Stadler et al. 2004):

- Leistung des Zugfahrzeuges
- Zu transportierende Masse
- Steigung der Strasse
- Art des Strassenbelags
- Höchstgeschwindigkeit des Zugfahrzeuges

Weil jedoch auch Strassenverlauf, Übersichtlichkeit und Unebenheiten der Strasse usw. auf das Fahrverhalten einwirken, wird die theoretisch maximale Geschwindigkeit (Abb. 8, 9 und 10) in der Realität nie erreicht. Bei der Bergfahrt kann die Leistung

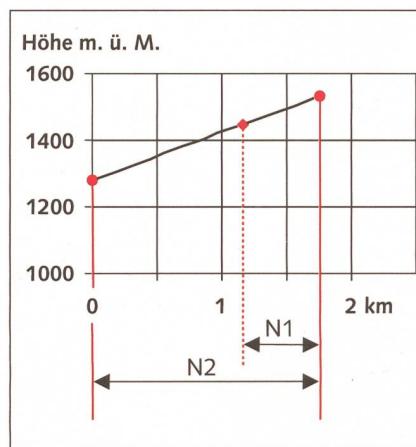


Abb. 7: Die Naturstrasse ist erwartungsgemäss steiler als die Teerstrasse und weist eine mittlere Neigung von 14,3 % auf.

für das Beschleunigen nach unübersichtlichen Kurven bedeutend sein. Bei der Talfahrt ist die Leistung kaum limitierend, wird doch in der Regel so langsam gefahren, dass spätestens auf halbe Sichtdistanz gebremst werden kann.

Durchschnittliche Geschwindigkeiten

Für verschiedene Betrachtungen interessiert weniger der detaillierte Verlauf der Geschwindigkeitsfunktion als die Durchschnittsgeschwindigkeit für ausgesuchte, typische Distanzen, die auch das Anfahren und Abbremsen berücksichtigt (Tab. 4 und 5).

Auf geteerten Strassen wurde im Schnitt und auf der langen Strecke (T3) talwärts generell schneller gefahren als bergwärts, wobei die Unterschiede beim jeweils stärker motorisierten Traktor und Transporter

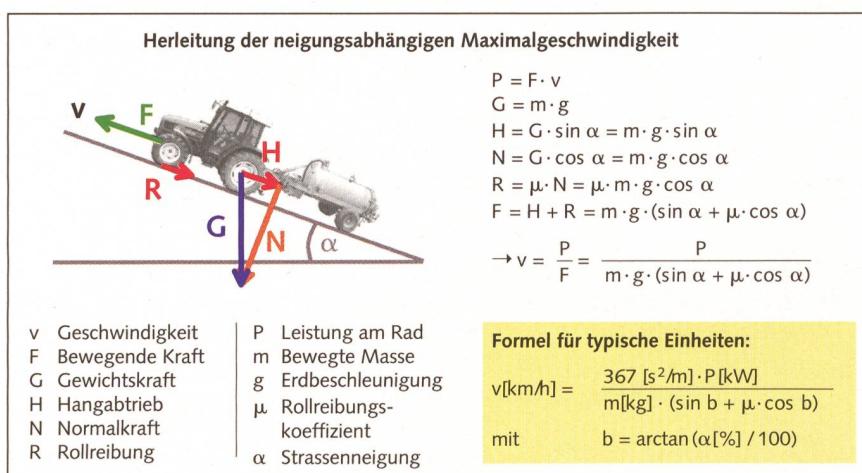


Abb. 8: Herleitung der neigungsabhängigen Maximalgeschwindigkeit aus der physikalischen Theorie.

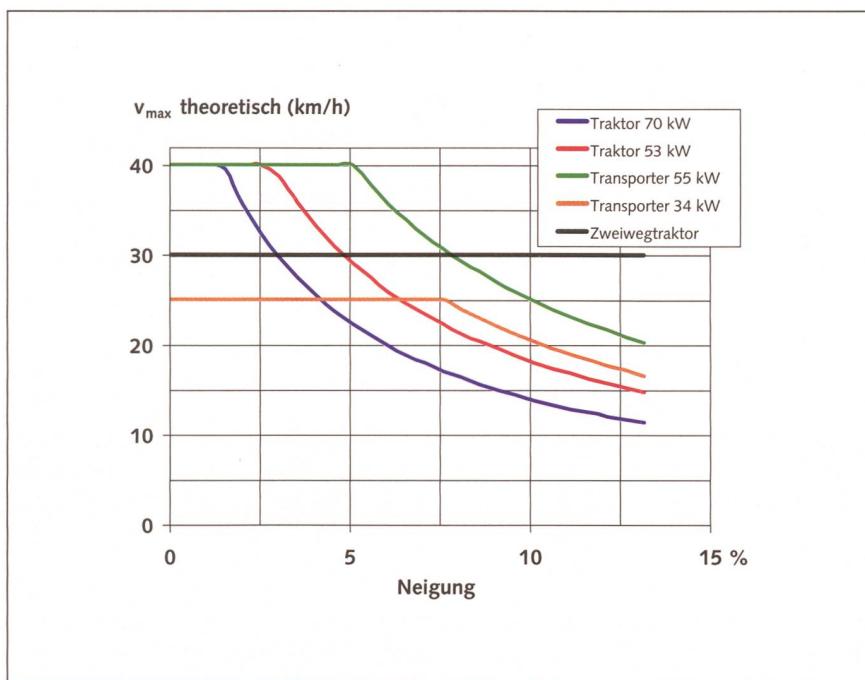


Abb. 9: Theoretische, neigungsabhängige Maximalgeschwindigkeit der beladenen Fahrzeugkombinationen bei der Bergfahrt auf Teerstrassen (angenommener Rollreibungskoeffizient $\mu = 0,03$; 85 % der Nennleistung am Rad). Nach oben ist die Geschwindigkeit durch die maximalen Fahrzeuggeschwindigkeiten begrenzt.

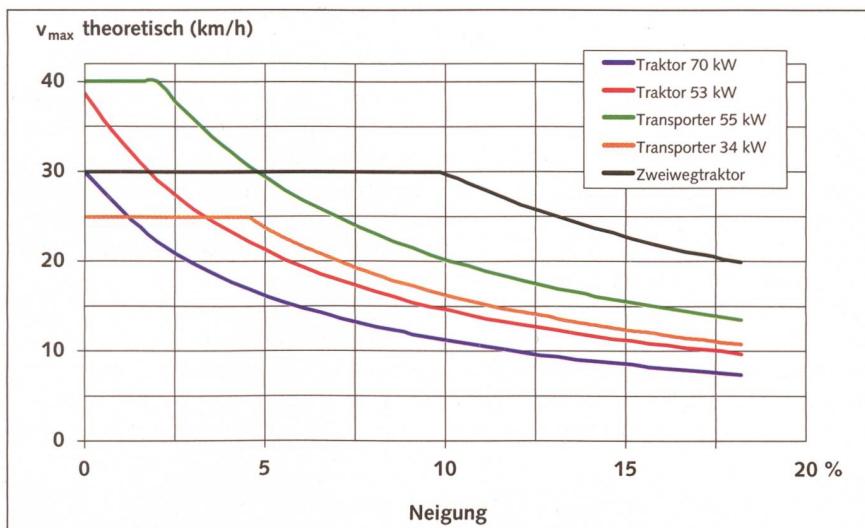


Abb. 10: Theoretische, neigungsabhängige Maximalgeschwindigkeit der beladenen Fahrzeugkombinationen bei der Bergfahrt auf Naturstrassen (angenommener Rollreibungskoeffizient $\mu = 0,06$; 85 % der Nennleistung am Rad). Nach oben ist die Geschwindigkeit durch die maximalen Fahrzeuggeschwindigkeiten begrenzt.

auf Leeraufgaben aufgrund der höheren realen Leistung nur gering sind. Diese Aussagen lassen sich für die Strecken T1 und T2 nicht machen. Beim Vergleich der beiden Traktoren fällt auf, dass der Kraftgewinn durch die höhere Leistung in den meisten Fällen durch die höhere Nutzlast überkompenziert wird, der stärkere Traktor also langsamer vorankommt. Die im Verhältnis geringen Unterschiede zwischen Berg- und Talfahrt auf der Strecke T1 sind mit der nur geringen mittleren Steigung von 4,6 % zu erklären.

Auf den Naturstrecken N1 und N2 verhält es sich umgekehrt. Die unübersichtliche Strassensituation führt dazu, dass talwärts langsamer gefahren wird als bergwärts. Diese Aussage ist für den kleineren der beiden untersuchten Transporter mit Zuladung nicht gültig, da er die Leistungsgrenze bergwärts schnell erreicht, talwärts aber im Gegensatz zu den Traktor-Anhänger-Kombinationen immer noch höhere Geschwindigkeiten erlaubt. Zudem ist dieser kleinere Transporter das einzige untersuchte Fahrzeug, das nur ein einfaches Schaltgetriebe ohne jegliche unter Last schaltbaren Untersetzungsmöglichkeiten aufweist. Bei allen anderen Fahrzeugen waren Lastschaltgetriebe vorhanden.

Zeitbedarf beim Transporteinsatz

Beim Investitionsentscheid steht bei der Bergmechanisierung neben finanziellen Betrachtungen weniger die durchschnittliche Geschwindigkeit des anzuschaffenden Fahrzeuges als der geschätzte Zeitaufwand für den Einsatz bei der Futterernte und beim Ausbringen der Hofdünger im Vordergrund. Die Unterschiede zwischen den stärkeren und schwächeren Mechanisierungstypen und die damit einhergehenden möglichen Nutzlasten werden in Tabellen 4 und 5 deutlich: Auf geteerten Strassen kann durch den Ersatz eines kleinen Transporters mit einem 1,7 m³-Fass durch einen grösseren Transporter mit einem 2,1 m³-

zu Abb 8: Die bewegende Kraft F ist das Resultat der momentanen Leistung am Rad (zirka 85 % der Nennleistung) und dient dazu, Hangabtrieb H und Rollreibung R zu kompensieren. Der Rollreibungskoeffizient μ hängt vom Strassenbelag ab. Für Teerstrassen wird ein Wert von 0,03 eingesetzt, für Naturstrassen 0,06, auf Wiesland gar 0,09.

In der gelb hinterlegten Formel ist die konstante Erdbeschleunigung g (9,81 m/s²) bereits verrechnet und sind die Einheiten so angepasst, dass die Geschwindigkeit in Stundenkilometern resultiert, wenn man die Leistung am Rad in Kilowatt und das Gesamtgewicht in Kilogramm einfügt. Die Neigung des zu berechnenden Strassenstücks muss dabei von Prozent in Grad umgerechnet werden, wozu die Zwischengröße b dient. Rechenbeispiel: Ein beladener Transporter mit einer Nennleistung von 55 kW (ca. 85 % am Rad: 46,75 kW) und einem Totalgewicht von 5340 kg kann auf einem 10 % geneigten Strassenstück bergwärts höchstens eine Geschwindigkeit von 20,1 km/h (Naturstrasse) bzw. 24,8 km/h (Teerstrasse) erreichen.

Tab. 4: Mittlere Geschwindigkeit (km/h) und mittlerer Zeitbedarf pro Tonne bewegte Nutzlast und Kilometer (AKmin/tkm) auf Teerstrassen. Die Mittelwerte in den letzten vier Spalten sind proportional zur Streckenlänge gewichtet. Das heisst, dass die Strecke T2 beispielsweise fast doppelt so stark wie die Strecke T1 in die Mittelwertberechnung eingeflossen ist.

| Zugfahrzeug | Gewicht | Teerstrecke T1 (505 m) | | | | Teerstrecke T2 (1501 m) | | | | Teerstrecke T3 (5877 m) | | | | Mittelwert, gewichtet | | | |
|-------------------|---------|------------------------|------|-----------|-----|-------------------------|-----------|----------|------|-------------------------|-----|----------|-----------|-----------------------|------|-----------|-----|
| | | Bergfahrt | | Talfahrt | | Bergfahrt | | Talfahrt | | Bergfahrt | | Talfahrt | | Bergfahrt | | Talfahrt | |
| | | kg | km/h | AKmin/tkm | kg | km/h | AKmin/tkm | kg | km/h | AKmin/tkm | kg | km/h | AKmin/tkm | kg | km/h | AKmin/tkm | kg |
| Traktor 70 kW | 12 240 | 22.2 | 0.6 | 25.0 | 0.5 | 19.4 | 0.6 | 21.4 | 0.6 | 15.4 | 0.8 | 19.4 | 0.6 | 16.6 | 0.8 | 20.1 | 0.6 |
| | 7 460 | 28.6 | — | 26.1 | — | 26.1 | — | 25.0 | — | 23.1 | — | 26.1 | — | 24.0 | — | 25.9 | — |
| Traktor 53 kW | 7 100 | 23.1 | 1.0 | 24.0 | 0.9 | 20.7 | 1.1 | 21.4 | 1.1 | 17.6 | 1.3 | 20.0 | 1.1 | 18.5 | 1.2 | 20.5 | 1.1 |
| | 4 440 | 27.3 | — | 27.3 | — | 26.1 | — | 27.3 | — | 23.1 | — | 28.6 | — | 23.9 | — | 28.3 | — |
| Transporter 55 kW | 5 340 | 30.0 | 0.9 | 31.6 | 0.9 | 30.0 | 0.9 | 30.0 | 0.9 | 25.0 | 1.1 | 28.6 | 1.0 | 26.3 | 1.1 | 29.1 | 1.0 |
| | 3 200 | 37.5 | — | 35.5 | — | 33.3 | — | 35.3 | — | 33.3 | — | 35.3 | — | 33.6 | — | 35.3 | — |
| Transporter 34 kW | 4 040 | 22.2 | 1.6 | 22.2 | 1.6 | 20.7 | 1.7 | 18.8 | 1.9 | 13.3 | 2.7 | 18.8 | 1.9 | 15.3 | 2.3 | 19.0 | 1.9 |
| | 2 340 | 24.0 | — | 25.0 | — | 24.0 | — | 26.1 | — | 22.2 | — | 26.1 | — | 22.7 | — | 26.0 | — |
| Zweiwegtraktor | 2 290 | 25.0 | — | 27.3 | — | 26.1 | — | 26.1 | — | 18.2 | — | 25.0 | — | 20.1 | — | 25.4 | — |
| | 1 720 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |

Fass die pro Tonne Nutzlast und Kilometer Fahrdistanz nötige Transportzeit (AKmin/tkm) dank zusätzlichem Volumen (+ 29 %) und höherer Geschwindigkeit (bergwärts: + 53 %, talwärts: + 72 %) halbiert werden. Auf der Naturstrasse fällt der Unterschied mit rund 40 % etwas tiefer aus.

Beim Wechsel von der Traktorkombination mit 2,7 m³-Fass zu einer Kombination mit 5,0 m³-Fass (+ 85 %) resultiert auf der Teerstrasse ein Zeitgewinn von rund 40 %, auf der Naturstrasse von rund 30 % pro Tonnenkilometer (tkm).

Zur Verdeutlichung wird als typisches Beispiel eine Fahrt vom Hof zu einer sechs Kilometer entfernten Fläche auf der Maiensässtufe berechnet, die auf den letzten 1000 Metern auf Naturstrassen verläuft, ansonsten aber auf Teerstrassen (Tab. 6). Je nach gewählter Fahrzeugkombination ist mit neun (100 %) bis 25 Minuten (177 %) reiner Fahrzeit pro Tonne bzw. pro Kubikmeter Gülle zu rechnen.

Neigungsabhängige Geschwindigkeiten

Die Auswertung der Messungen innerhalb der 15 bzw. 21 Teilabschnitte erlaubt die Modellierung von neigungsabhängigen Geschwindigkeitsfunktionen. Durch die teilweise Mehrfachbefahrung einzelner Teilabschnitte besteht die Datengrundlage auf den Teerstrassen aus je 36, auf der Naturstrasse aus je 22 Messwerten. Der aufgrund der Versuchsanlage relativ geringe Umfang der Datengrundlage erfordert eine kritische Betrachtung der Resultate. Die in Tabelle 7 dargestellten Ergebnisse sind für Teerstrassen nur für Steigungen von 2,0 % bis 12,7 %, für Naturstrassen von 9,4 % bis 18,1 % abgestützt. Die Funktionen in der Form $v = c - a \cdot \text{Neigung}$ beruhen auf Regressionsrechnungen. Dieser Form wurde gegenüber

Tab. 5: Mittlere Geschwindigkeit (km/h) und mittlerer Zeitbedarf pro Tonne bewegte Nutzlast und Kilometer (AKmin/tkm) auf Naturstrassen. Die Mittelwerte in den letzten vier Spalten sind wie in Tabelle 4 längenproportional gewichtet.

| Zugfahrzeug | Gewicht | Naturstrecke N1 (598 m) | | | | Naturstrecke N2 (1751 m) | | | | Mittelwert, gewichtet | | | |
|-------------------|---------|-------------------------|------|-----------|-----|--------------------------|-----------|----------|------|-----------------------|-----|----------|-----------|
| | | Bergfahrt | | Talfahrt | | Bergfahrt | | Talfahrt | | Bergfahrt | | Talfahrt | |
| | | kg | km/h | AKmin/tkm | kg | km/h | AKmin/tkm | kg | km/h | AKmin/tkm | kg | km/h | AKmin/tkm |
| Traktor 70 kW | 12 240 | 11.8 | 1.1 | 9.5 | 1.3 | 8.1 | 1.5 | 7.5 | 1.7 | 9.0 | 1.4 | 8.0 | 1.6 |
| | 7 460 | 13.6 | — | 12.5 | — | 13.6 | — | 12.5 | — | 13.6 | — | 12.5 | — |
| Traktor 53 kW | 7 100 | 11.3 | 2.0 | 9.5 | 2.4 | 10.9 | 2.1 | 11.1 | 2.0 | 11.0 | 2.1 | 10.7 | 2.1 |
| | 4 440 | 14.3 | — | 13.0 | — | 14.1 | — | 14.0 | — | 14.2 | — | 13.7 | — |
| Transporter 55 kW | 5 340 | 15.0 | 1.9 | 13.3 | 2.1 | 15.0 | 1.9 | 13.6 | 2.1 | 15.0 | 1.9 | 13.5 | 2.1 |
| | 3 200 | 15.0 | — | 14.0 | — | 15.0 | — | 14.3 | — | 15.0 | — | 14.2 | — |
| Transporter 34 kW | 4 040 | 10.2 | 3.5 | 11.3 | 3.1 | 9.0 | 3.9 | 12.2 | 2.9 | 9.3 | 3.8 | 12.0 | 2.9 |
| | 2 340 | 10.9 | — | 10.5 | — | 13.0 | — | 12.5 | — | 12.5 | — | 12.0 | — |
| Zweiwegtraktor | 2 290 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | 1 720 | 15.8 | — | 15.4 | — | 16.2 | — | 16.2 | — | 16.1 | — | 16.0 | — |

Tab. 6: Zeitbedarf für den Transport von einem Fass Gülle auf die Maiensässtufe (5000 m Teerstrasse plus 1000 m Naturstrasse). Die Bergfahrt erfolgt mit gefülltem, die Talfahrt mit leerem Fass. In der letzten Spalte wird als vergleichbare Grösse der Zeitbedarf für eine Tonne Gülle ausgewiesen.

| Zugfahrzeug | Nutzlast | Bergfahrt (voll) | | Talfahrt (leer) | | total | pro Tonne |
|-------------------|----------|------------------|------------|-----------------|------------|-------|-----------|
| | | 5 km Teer | 1 km Natur | 5 km Teer | 1 km Natur | | |
| | | kg | AKmin | AKmin | AKmin | | |
| Traktor 70 kW | 4 780 | 18.1 | 6.6 | 11.6 | 4.8 | 41.1 | 8.6 |
| Traktor 53 kW | 2 660 | 16.2 | 5.5 | 10.6 | 4.4 | 36.6 | 13.8 |
| Transporter 55 kW | 2 140 | 11.4 | 4.0 | 8.5 | 4.2 | 28.1 | 13.1 |
| Transporter 34 kW | 1 700 | 19.6 | 6.4 | 11.5 | 5.0 | 42.6 | 25.1 |

einer rein auf der physikalischen Theorie abgestützten Form (Abb. 8) der Vorzug gegeben, da sie die Messwerte besser nachbilden kann. Der fixe Term c (km/h) tritt in jeder modellierten Funktion auf, der neigungsabhängige Term a (km/h pro % Steigung) kann nur auf geteerten Strassen bergwärts generell als relevant betrachtet werden (Abb. 11). Bei Talfahrten auf Teerstrassen spielt die Neigung nur bei beladenen Fahrzeugen (ohne den Zweiwegtraktor) eine signifikante Rolle und hängt dabei eng mit dem Verhältnis zwischen Leistung und bewegtem Gesamtgewicht zusammen. In jenen Fällen, in denen der neigungsabhängige Term a signifikant ist, kann er zwischen 16 % und 76 % der Einflüsse auf die Geschwindigkeit erklären.

Auf der Naturstrasse ist in der hier vorgestellten Versuchsanlage keine Abhängigkeit der Geschwindigkeit von der Neigung nachweisbar (Abb. 12). Andere Einflussfaktoren wie die Anzahl der Querrinnen oder die Übersichtlichkeit der Strasse haben einen deutlich höheren Einfluss auf die Geschwindigkeit.

Durchschnittlicher Treibstoffverbrauch

Tabelle 8 zeigt den Dieselbedarf für die einzelnen Fahrten, je Kilometer Fahrt und je Tonnenkilometer. Auf Bergfahrten müssen auf geteerten Strassen zwischen 120 g und 251 g Diesel pro gefahrenen Kilome-

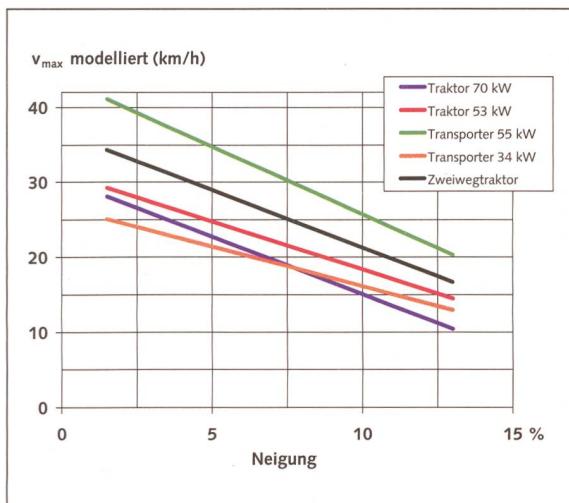


Abb. 11: Modellierte, neigungsabhängige Maximalgeschwindigkeit der beladenen Fahrzeugkombinationen bei der Bergfahrt auf Teerstrassen.

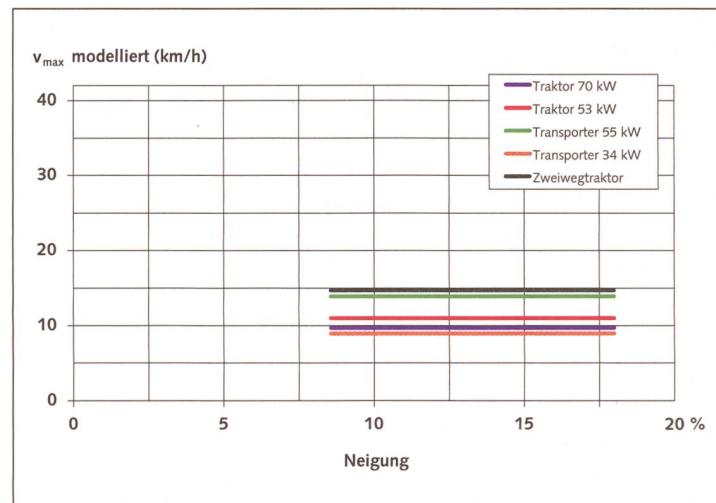


Abb. 12: Modellierte, neigungsabhängige Maximalgeschwindigkeit der beladenen Fahrzeugkombinationen bei der Bergfahrt auf Naturstrassen (Zweiwegtraktor unbeladen).

ter und Tonne Nutzlast eingesetzt werden (1,4 dl bis 3,0 dl). Auf der Naturstrasse liegen die Verbrauchswerte mit 307 g bis 452 g (3,7 dl bis 5,4 dl) aufgrund der steileren Strassenlage und der grösseren Rollreibung deutlich höher. Den mit 452 g höchsten Verbrauch je Tonnenkilometer hat die leichter motorisierte Traktorvariante.

Der Treibstoffbedarf der jeweils stärker motorisierten Traktor- und Transporterkombinationen je Tonnenkilometer ist tiefer als bei den schwächer motorisierten Kombinationen. Auf Bergfahrten beträgt die Treibstoffeinsparung bei einem Wechsel zur stärkeren Mechanisierung zwischen 13 % und 31 %.

Nimmt man zur Verdeutlichung dasselbe Beispiel einer Fahrt vom Hof zu einer sechs Kilometer entfernten Fläche auf der Maiensässtufe, wird pro Tonne Gülle zwischen 1365 g (100 %) und 1811 g (133 %) Diesel verbraucht, was einem Dieserverbrauch von 27 bis 36 Litern pro 100 km entspricht.

Tab. 7: Aus Regressionsrechnungen bestimmte Geschwindigkeitsfunktionen in der Form $v = c - a \cdot \text{Neigung}$. Die hangneigungsabhängige Geschwindigkeitsabnahme a tritt ausschliesslich auf Teerstrassen und primär bei relativ tiefen Leistungs-Gewichts-Verhältnissen auf. Der Erklärungsanteil (R^2) der Neigungskomponente an der Geschwindigkeit beträgt dabei zwischen 16 % und 76 %. Wo für a kein Wert angegeben ist, kann von einer konstanten, neigungsabhängigen Geschwindigkeit c ausgegangen werden.

| Zugfahrzeug | Gewicht | Leistung | Teerstrasse | | | Naturstrasse | | | | | |
|-------------------|---------|----------|-------------|------|------|--------------|---------|-----|-----------|----------|------|
| | | | Bergfahrt | | | Talfahrt | | | Bergfahrt | Talfahrt | |
| | | | kg | kW | kW/t | km/h | km/h /% | - | km/h | km/h /% | |
| Traktor 70 kW | 12 240 | 70 | 5.7 | 30.4 | 1.5 | 0.76 | 29.7 | 1.0 | 0.67 | 9.7 | 10.0 |
| | 7 460 | 70 | 9.4 | 33.7 | 0.9 | 0.69 | 27.1 | - | - | 13.8 | 12.6 |
| Traktor 53 kW | 7 100 | 53 | 7.5 | 31.2 | 1.3 | 0.72 | 27.9 | 0.7 | 0.40 | 11.2 | 10.0 |
| | 4 440 | 53 | 11.9 | 41.9 | 2.1 | 0.63 | 29.4 | - | - | 14.3 | 13.2 |
| Transporter 55 kW | 5 340 | 55 | 10.3 | 43.8 | 1.8 | 0.62 | 37.3 | 0.7 | 0.17 | 13.8 | 12.7 |
| | 3 200 | 55 | 17.2 | 43.0 | 0.7 | 0.16 | 37.2 | - | - | 12.6 | 13.8 |
| Transporter 34 kW | 4 040 | 34 | 8.4 | 26.7 | 1.1 | 0.36 | 26.4 | 0.8 | 0.16 | 9.3 | 11.4 |
| | 2 340 | 34 | 14.5 | 25.3 | - | - | 27.2 | - | - | 10.5 | 11.9 |
| Zweiwegtraktor | 2 290 | 35 | 15.3 | 36.7 | 1.5 | 0.52 | 29.6 | - | - | ... | ... |
| | 1 720 | 35 | 20.3 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 14.6 | 15.5 |

Tab. 8: Dieselverbrauch (g) für die gesamte Strecke und je Kilometer (g/km). Als vergleichbare Grösse ist auch der Dieselbedarf (g/tkm) pro Tonne bewegte Nutzlast und Kilometer angegeben.

| Zugfahrzeug | Gewicht | Teerstrecke T2 (1501 m) | | | | | | Teerstrecke T3 (5877 m) | | | | | | Naturstrecke N2 (1751 m) | | | | | |
|-------------------|---------|-------------------------|-----|-------|----------|-------|--------|-------------------------|-------|--------|----------|-------|--------|--------------------------|-------|--------|----------|-------|--------|
| | | Bergfahrt | | | Talfahrt | | | Bergfahrt | | | Talfahrt | | | Bergfahrt | | | Talfahrt | | |
| | | kg | g | g /km | g | g /km | g /tkm | g | g /km | g /tkm | g | g /km | g /tkm | g | g /km | g /tkm | g | g /km | g /tkm |
| Traktor 70 kW | 12 240 | 917 | 611 | 128 | 410 | 273 | 57 | 5 678 | 966 | 202 | 557 | 95 | 20 | 2 599 | 1 484 | 311 | 34 | 19 | 4 |
| | 7 460 | 539 | 359 | - | 295 | 197 | - | 3 242 | 552 | - | 418 | 71 | - | 1 586 | 906 | - | 40 | 23 | - |
| Traktor 53 kW | 7 100 | 635 | 423 | 159 | 319 | 213 | 80 | 3 923 | 668 | 251 | 408 | 69 | 26 | 2 106 | 1 203 | 452 | 58 | 33 | 12 |
| | 4 440 | 450 | 300 | - | 246 | 164 | - | 2 662 | 453 | - | 406 | 69 | - | 1 278 | 730 | - | 17 | 10 | - |
| Transporter 55 kW | 5 340 | 386 | 257 | 120 | 195 | 130 | 61 | 2 471 | 420 | 196 | 277 | 47 | 22 | 1 150 | 657 | 307 | 15 | 9 | 4 |
| | 3 200 | 283 | 189 | - | 149 | 99 | - | 1 628 | 277 | - | 251 | 43 | - | 749 | 428 | - | 17 | 10 | - |
| Transporter 34 kW | 4 040 | 394 | 262 | 154 | 179 | 119 | 70 | 2 499 | 425 | 250 | 258 | 44 | 26 | 1 217 | 695 | 409 | 59 | 34 | 20 |
| | 2 340 | 274 | 183 | - | 157 | 105 | - | 1 433 | 244 | - | 234 | 40 | - | 632 | 361 | - | 38 | 22 | - |
| Zweiwegtraktor | 2 290 | 335 | 223 | - | 203 | 135 | - | 1 885 | 321 | - | 397 | 68 | - | - | - | - | - | - | - |
| | 1 720 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 694 | 396 | - | 156 | 89 | - |

Diskussion

Die auf Testfahrten ermittelten Werte können für arbeitswirtschaftliche Berechnungen herangezogen werden, wenn die Fahrgeschwindigkeit landwirtschaftlicher Fahrzeuge in Abhängigkeit von bekannten Einflussgrößen wie Strassenneigung,

Nutzlast, Gesamtgewicht, Fahrstrecke oder Qualität des Strassenbelags berücksichtigt werden soll.

Die Unterschiede des Transportzeitaufwandes zwischen den einzelnen Mechanisierungskombinationen sind dabei gross (Abb. 13). Insbesondere zur Zeit der Futterernte, in der die verfügbaren Arbeitskräfte ausgelastet sind und Wetterumschläge einen schnellen Abtransport

nötig machen, ist ein Zeitgewinn oftmals wünschenswert. Die Traktorkombination weist dabei dank grossem Nutzlastvolumen und starker Motorisierung die beste Voraussetzung auf. Wo der Einsatz eines Traktors mit Anhänger aufgrund der steilen Lage nicht mehr möglich ist, kann auch der Wechsel von einem kleinen Transporter ohne Lastschaltgetriebe zu einem stärkeren Modell, welches unter Last schaltbar ist, eine massive Zeiterbsparnis bringen.

Der Treibstoffbedarf fällt vor allem bergwärts, unter Last ins Gewicht. Auch hier birgt der Wechsel von einer schwächeren zu einer stärkeren Mechanisierung mit grösserer Nutzlast Einsparungsmöglichkeiten (Abb. 14).

Zeit- und Treibstoffersparnis dürfen aber nicht darüber hinwegtäuschen, dass eine stärkere Mechanisierung nicht nur Vorteile mit sich bringt. Schlecht ausgenützte, kostspielige Maschinen können das landwirtschaftliche Einkommen im Berggebiet, in dem der Anteil der Eigenmechanisierung an den Fremdkosten durchschnittlich bei über 20 % liegt, stark negativ beeinflussen. Ein Blick in den FAT-Bericht «Maschinenkosten» (Ammann et al. 2005) und ein kritisches Hinterfragen der dort zugrunde gelegten Abschreibungsdauer und jährlichen Auslastung für den eigenen Betrieb sind für einen Investitionsentscheid unabdingbar.

Tab. 9: Dieselverbrauch für den Transport von einem Fass Gülle auf die Maiensässtufe (5000 m Teerstrasse plus 1000 m Naturstrasse). Die Bergfahrt erfolgt mit gefülltem, die Talfahrt mit leerem Fass. Für die Teerstrasse wurden die längengewichteten Verbrauchswerte der Messungen T2 und T3 eingesetzt. In der letzten Spalte wird als vergleichbare Grösse der Dieselbedarf pro Tonne transportierter Gülle ausgewiesen.

| Zugfahrzeug | Nutzlast | Bergfahrt (voll) | | Talfahrt (leer) | | total | pro Tonne |
|-------------------|----------|------------------|-------|-----------------|----|-------|-----------|
| | | kg | g | g | g | | |
| Traktor 70 kW | 4 780 | 4 469 | 1 484 | 655 | 19 | 6 628 | 1 387 |
| Traktor 53 kW | 2 660 | 3 089 | 1 203 | 493 | 33 | 4 817 | 1 811 |
| Transporter 55 kW | 2 140 | 1 936 | 657 | 320 | 9 | 2 921 | 1 365 |
| Transporter 34 kW | 1 700 | 1 961 | 695 | 296 | 34 | 2 985 | 1 756 |

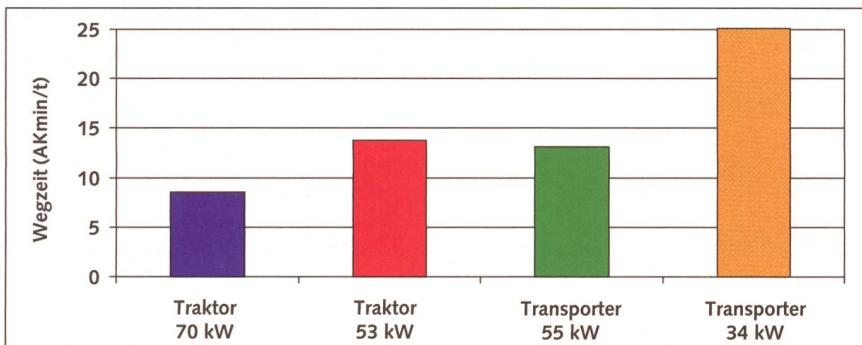


Abb. 13: Zeitbedarf für einen 6 km-Transport von einer Tonne Gülle auf die Maiensässtufe (5000m Teerstrasse plus 1000m Naturstrasse) unter der Annahme, dass das Fassvolumen voll ausgenützt wird (Werte aus Tabelle 6).

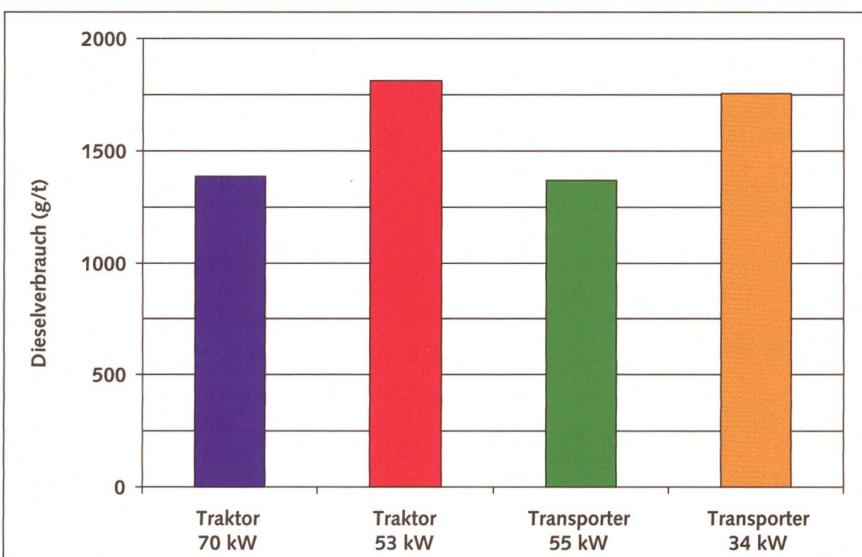


Abb. 14: Dieselverbrauch bei einem 6 km-Transport von einer Tonne Gülle auf die Maiensässtufe (5000m Teerstrasse plus 1000m Naturstrasse) unter der Annahme, dass das Fassvolumen voll ausgenützt wird (Werte aus Tabelle 9).

Literatur

- Ammann H. (Redaktion), 2005. Maschinenkosten 2005. Kostenansätze Gebäude und mechanische Einrichtungen. FAT-Berichte Nr. 621.
- Schick M., 1995. Arbeit auf dem Bergbetrieb. Zeitbedarf für Rauhfutter-Konservierungsverfahren. FAT-Berichte Nr. 472.
- Stadler E., Schiess I. und Ammann H., 2004. Transportleistung und -kosten. Einfluss von Traktorgroesse und Höchstgeschwindigkeit. FAT-Berichte Nr. 611.