

Die Bedeutung des Traktors bei der Durchführung landwirtschaftlicher Transportarbeiten mit Anhängern ist trotz des zunehmenden Einsatzes von speziell ausgerüsteten Landwirtschafts-Lastkraftwagen außerordentlich groß. Sie ergibt sich aus einer Reihe von Vorteilen des Traktors, wie z. B. seine gleichgute Einsetzbarkeit für Feld- und Straßentransporte usw., die aber nicht Gegenstand der vorliegenden Untersuchung sein sollen.

Die Verwendbarkeit eines Traktors für die Durchführung von Transportarbeiten wird vorwiegend durch die zulässige Anhängelast m_A gekennzeichnet, die im Kraftfahrzeugbrief angegeben ist und in der DDR zusätzlich auf dem Typschild jedes Traktors vermerkt sein muß. Für den Einsatzleiter eines Betriebes ist aber weniger die dort angegebene maximal zulässige Anhängelast von Interesse, sondern eher diejenige Last, die vom jeweiligen Traktortyp unter den konkreten Bedingungen seines Betriebes maximal bewältigt werden kann. Während bei Feldtransporten das „Herunterkommen“ vom Feld das entscheidende Kriterium ist, soll bei Straßentransporten die durchschnittliche Geschwindigkeit im Interesse großer Transportleistungen möglichst hoch liegen. Die Einsatzgrenzen des Traktors bei Transporten ergeben sich durch die folgenden Hauptkriterien, die auch bei der Festlegung der zulässigen Anhängelast berücksichtigt werden müssen. Es sind dies:

- Zugfähigkeit des Traktors
- Motorleistungsreserve
- Lenkfähigkeit

Bremsfähigkeit des Transportzuges Traktor-Anhänger.

Durch Berücksichtigung dieser Kriterien jeder möglichen Transporteinheit aus Traktoren und Anhängern muß ein sicherer und zügiger Straßenverkehr bei wachsender Verkehrsdichte gewährleistet sein. Die nachfolgenden Darlegungen sollen die fahrmechanischen und energetischen Zusammenhänge der Hauptkriterien und ihre Beeinflussung durch die technischen Daten der Traktoren sowie ihre gegenseitige Zuordnung erläutern, um für die Festlegung der Anhängelasten und für die Zusammenstellung der Transporteinheiten die rechnerischen Grundlagen zu liefern. Dabei stehen die Kriterien Zugfähigkeit und Motorleistungsreserve im Vordergrund, während Lenk- und Bremsfähigkeit im Rahmen dieser Betrachtungen nur gestreift werden.

Zugfähigkeit

Betrachtet man nur den Fahrwiderstand W_A des Transportanhängers, dann ergibt sich ein unvollständiges Bild, denn der Traktor muß außerdem seinen eigenen Fahrwiderstand W_T überwinden und somit eine Umfangskraft $U = W_A + W_T$ auf der Fahrbahn abstützen können. Die Fähigkeit des hinterachsgetriebenen Traktors, Umfangskräfte abzustützen, wird am besten durch den Kraftschlußbeiwert μ_k gekennzeichnet,

$$\mu_k = \frac{U}{G_h} = \frac{W_A + W_T}{G_h} = \frac{W_{zug}}{G_h} \quad (1)$$

(Schluß von Seite 58)

- Herabsetzung der Verfahrenskosten (M/ha) gegenüber der bisherigen Technik,
- Bessere Einhaltung der agrotechnischen Termine möglich.

Mit der Bereitstellung des Kopplungswagens T 890 wird der Entwicklung unserer sozialistischen Landwirtschaft Rechnung getragen und der Forderung nach Schaffung von Maschinen und Geräten zur Auslastung der vorhandenen leistungsstarken Traktoren entsprochen.

A 8156/II

d. h. durch das Verhältnis der Umfangskräfte an den getriebenen Hinterrädern zu ihrer betrieblichen Belastung G_h . Deshalb ist der Fahrwiderstand des gesamten Transportzuges W_{zug} zu berücksichtigen.

Der Fahrwiderstand des Transportzuges in der Ebene $W_{zug} = U$ ergibt sich als Produkt aus seiner Gesamtmasse $m_{zug} = m_T + m_A$, d. h. der Masse des Traktors m_T und der Anhängelast m_A (Masse des Anhängers + Zuladung) und einem Rollwiderstandsbeiwert ρ_r

$$U = W_{zug} = (m_T + m_A) \rho_r = m_{zug} \cdot \rho_r \quad (2)$$

Für die einzusetzende Größe des Rollwiderstandsbeiwertes ρ_r wird von zahlreichen Autoren [1] [2] [3] [4] [5] für das Befahren fester Straßen nahezu übereinstimmend der Wert $\rho_r = 0,02$ angegeben. Dieser Wert ist aber nur für energetische Berechnungen richtig. Zur Bestimmung des Fahrwiderstands des Transportzuges W_{zug} ist er zu klein, denn keine Straße ist vollkommen eben, sondern mehr oder weniger wellig. Es muß deshalb noch ein zusätzlicher Widerstandsbeiwert ρ_{sto} zur Überwindung der auch auf ebenen Straßen vorhandenen kleinen „Steigungen“ berücksichtigt werden, der mindestens die gleiche Größenordnung wie ρ_r hat, so daß sich ein Gesamtwiderstandsbeiwert für das Befahren ebener Strecken von

$$\rho_e = \rho_r + \rho_{sto} = 0,02 + 0,02 = 0,04 \quad (3)$$

ergibt. Der Wert ρ_{sto} entspricht dem Widerstandsbeiwert zum Überwinden einer Steigung von 2%.

Der Widerstand zum Überwinden tatsächlicher Steigungen wird durch einen Beiwert ρ_{st} ausgedrückt, der sich als Sinus des Steigungswinkels ergibt.

$$W_{st} = m_{zug} \cdot \sin \alpha = m_{zug} \cdot \rho_{st}; \quad \rho_{st} = \sin \alpha \quad (4)$$

während die gebräuchliche Steigungsangabe in Prozent dem Tangens des Winkels α entspricht. Bei den im Straßenverkehr maximal auftretenden Steigungen von 10% ($\alpha = 5,7^\circ$) sind Tangens und Sinus der kleinen Steigungswinkel noch etwa gleich groß, so daß als Steigungsbeiwert ρ_{st} der hundertste Teil des in Prozent angegebenen Steigungswertes eingesetzt werden kann. Bei Befahren einer Steigung von 10% ergibt sich somit ein Steigungsbeiwert von $\rho_{st} = 0,10$ und ein Gesamtwiderstandsbeiwert für den Transportzug von

$$\rho = \rho_e + \rho_{st} = 0,04 + 0,10 = 0,14 \quad (5)$$

Auch beim Befahren von Steigungen muß der Widerstandsbeiwert ρ_{sto} berücksichtigt werden, denn auch eine Steigung ist nie vollkommen gleichmäßig.

Es ist vorausgesetzt worden, daß alle Räder des Transportzuges den gleichen Rollwiderstandsbeiwert $\rho_r = 0,02$ haben. Diese Vereinfachung ist auf festen Straßen und Wegen zulässig, bei Feldtransporten nicht.

Im Bild 1 sind die Zugwiderstände W_{zug} einiger charakteristischer „Transportzüge“ aus Traktoren und Anhängern in Abhängigkeit von der Steigung dargestellt. Danach werden beim Befahren stärkerer Steigungen den Traktoren Umfangskräfte abverlangt, die sie offensichtlich nicht auf der Fahrbahn abstützen können. Die häufig für das Befahren von festen Straßen und Wegen angegebenen Kraftschlußbeiwerte sind zu hoch und werden unter praktischen Bedingungen nicht erreicht. Sie sind offensichtlich den Traktor-Prüfberichten landtechnischer Prüfstellen entnommen, deren Angaben zur Zugfähigkeit auf fester Fahrbahn Maximalwerte sind, die auf sauberer, trockener, griffiger Betonbahn gemessen werden. Sie sind keine Gebrauchswerte, sondern dienen dem technischen Vergleich und sind deshalb als Grundlage

* Zentrale Prüfstelle für Landtechnik Potsdam-Bornim

für die Bestimmung der Anhängelasten von Traktoren beim Transport nicht geeignet, weil landwirtschaftliche Transporte nur selten auf Betonstraßen durchgeführt werden und noch seltener diese Straßen sauber und griffig sind.

Für landwirtschaftliche Transporte müssen Kraftschlußbeiwerte berücksichtigt werden, die erfahrungsgemäß um $1/4$ bis $1/3$ geringer sind als die bei der Prüfung auf sauberer, trockener, griffiger Betonbahn gemessenen.

Bild 2 zeigt die Abhängigkeit des Kraftschlußbeiwertes vom Triebbradschlupf $\mu_k = f(\varrho)$ bei den von der Landwirtschaft der DDR am häufigsten für Transporte genutzten Traktoren in dem dafür notwendigen Rüstzustand (ohne Ballast).

Zur Bestimmung des für die Fortbewegung des Transportzuges Traktor + Anhänger erforderlichen Kraftschlußbeiwertes μ_k ist, wie die Beziehung (1) zeigt, außer dem gesamten Fahrwiderstand $U = W_{zug} = W_T + W_A$, die betriebliche Hinterachslast G_h zu bestimmen

$$G_h = m_T \left(\cos \alpha \frac{l_v + f_v}{l + f_v - f_h} + \sin \alpha \frac{h_m}{l + f_v - f_h} \right) + W_A \frac{h_z}{l + f_v - f_h} \quad (6)$$

Dabei sind l_v und h_m die Koordinaten des Traktorschwerpunktes, bezogen auf die Vorderachse (l_v) und die Fahrbahnoberfläche (h_m), f_v und f_h die Hebelarme der Rollreibung für die Vorder- und Hinterräder des Traktors — die auf fester Fahrbahn relativ klein sind und vernachlässigt werden können, da außerdem $f_v \approx f_h$ ist —, h_z die Höhe des Zugangriffpunktes am Traktor und l der Radstand des Traktors. Auf fester Fahrbahn bei parallel zur Fahrbahn liegender Zugdeichsel kann für die Hinterachslast bis zu Steigungen von 10% die vereinfachte Beziehung

$$G_h = m_T \frac{l_v}{l} + m_T \sin \alpha \frac{h_m}{l} + W_A \frac{h_z}{l} \quad (6a)$$

verwendet werden.

Für den Kraftschlußbeiwert ergibt sich damit die Bestimmungsgleichung zu:

$$\mu_k = \frac{(m_T + m_A) (\varrho_e + \sin \alpha)}{m_T \frac{l_v}{l} + m_T \sin \alpha \frac{h_m}{l} + m_A (\varrho_e + \sin \alpha) \frac{h_z}{l}} \quad (7)$$

Nach Bild 2 werden von Traktoren auf üblichen Straßen Maximalwerte von $\mu_{k \max} \approx 0,60$ bis $0,70$ aufgebracht. Da die „Zugsicherheit“ des Traktors erhalten bleiben muß, ergibt sich als Grenzwert die Bedingung

$$\mu_k \leq 0,5$$

Die Auflösung der Gleichung 7 nach der Anhängelast m_A führt zu der Beziehung

$$m_A = m_T \frac{\mu_k \left(\frac{l_v}{l} + \sin \alpha \frac{h_m}{l} \right) - (\varrho_e + \sin \alpha)}{\left(1 - \frac{h_z}{l} \mu_k \right) \cdot (\varrho_e + \sin \alpha)} \quad (7a)$$

die in Abhängigkeit von den Traktor- und Fahrbahnkennwerten eine Bestimmung derjenigen Anhängelast ermöglicht, die bei Vorgabe von Grenzwerten für α , μ_k und ϱ_e vom Traktor gezogen werden kann. Die Gleichung kann auch nach dem Sinus des Steigungswinkels aufgelöst werden, wodurch bei Vorgabe von μ_k , ϱ_e und m_A die maximal befahrbare Steigung bestimmbar ist.

Bild 3 zeigt für die am häufigsten zu Transporten eingesetzten Traktoren in Abhängigkeit von der Anhängelast die jeweils befahrbare maximale Steigung. Zur Vervollständigung des Überblicks sind in Bild 3 einige mit Kraftschlußbeiwerten von $\mu_k = 0,6$ und $\mu_k = 0,7$ berechnete Werte eingetragen.

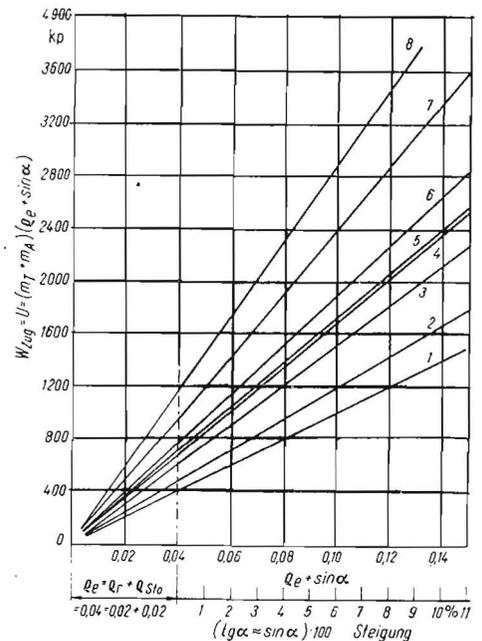


Bild 1. Fahr- und Steigungswiderstand einiger Transportzüge, Umfängskraft am Traktor

Nr.	Traktor Typ	m_T Masse kg	Anhänger Typ	Anzahl	$m_A + m_T$ kg
1	MTS-50	3060	THK-5	1	10060
2	ZT 300	4900	THK-5	1	11900
3	MTS-50	3060	HW-80	1	15060
4	ZT 300	3900	HW-80	1	16900
5	MTS-50	3060	THK-5	2	17060
6	ZT 300	4900	THK-5	2	18900
7	ZT 300	4900	THK-5 + HW-80	1 + 1	23900
8	ZT 300	4900	HW-80	2	28900

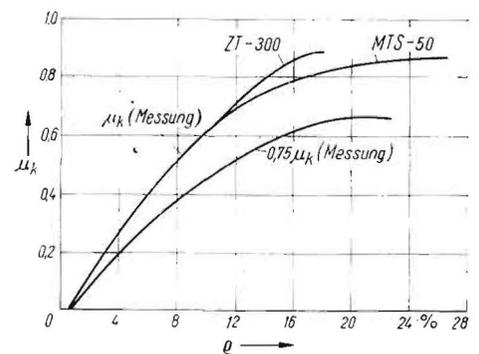


Bild 2. Kraftschlußbeiwert der Traktoren ZT 300 und MTS-50 (ohne Ballast) auf trockener sauberer Betonbahn (obere Kurven) bzw. auf normalen Straßen (untere Kurve):

Traktor		ZT-300	MTS-50
Traktormasse	m_T kg	4900	3060
stat. Achslast hint.	G_h kp	3270	2050
Zugpunkthöhe	h_z m	0,90	0,75
Radstand	l m	2,80	2,36

Daraus ergibt sich, daß die festgelegten Anhängelasten von 24 t bzw. 15 t für die beiden untersuchten Traktoren nur auf ebenen bis leicht steigenden ($\approx 3\%$) Straßen sicher bewältigt werden können, d. h. bei Transportarbeiten im Flachland. Zum sicheren Befahren von Steigungen über 4% ist eine Verminderung dieser Werte auf etwa $2/3$ des ursprünglich festgelegten Betrages notwendig, denn nur mit diesen verminderten Anhängelasten kann sicher und zügig gefahren werden.

Konkret bedeutet dies für Betriebe in Hanglagen, daß diese beiden Traktoren bei Transportarbeiten nur mit einem Anhänger mit 5 t bzw. 8 t Nutzlast eingesetzt werden können und nicht, wie im Flachland, mit zwei derartigen Anhängern.

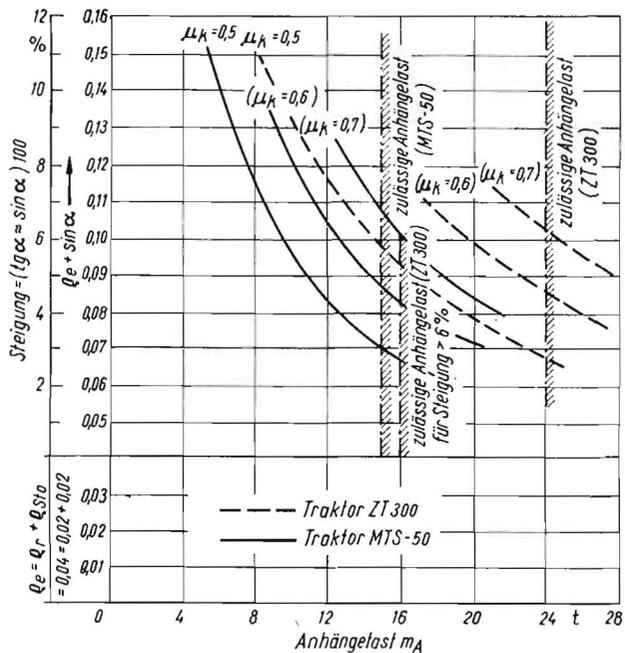


Bild 3. Zuordnung von Anhängelast und Steigung aus der Bedingung $\mu_k \leq 0,5$ (Traktoren ZT 300 und MTS-50)

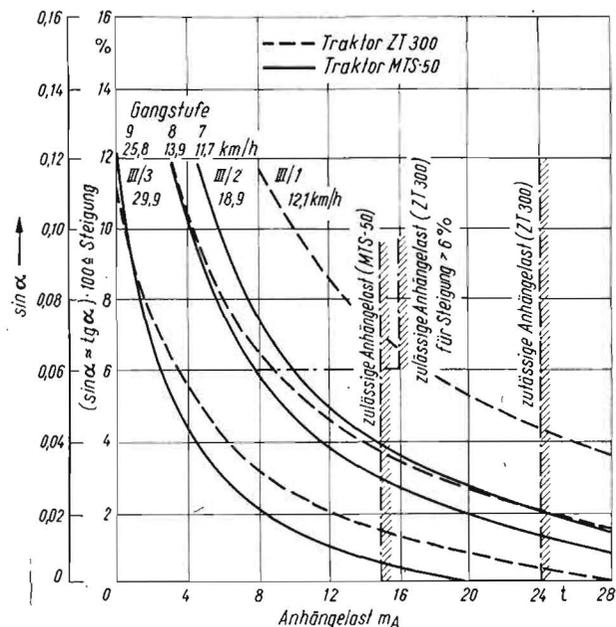


Bild 4. Zuordnung von Anhängelast und Steigung aus der Gleichung $M_d \cdot \eta_g \cdot i = (m_T + m_A) (\rho_r + \sin \alpha) r$ (Traktoren ZT 300 und MTS-50)

Motorleistungsreserve

Beim Befahren von Steigungen werden die Einsatzgrenzen nicht nur durch Erreichen des maximalen Kraftschlußbeiwertes bestimmt, sondern auch durch die Motorleistung des Zugtraktors. Dabei ist es nicht unbedingt erforderlich, die notwendigen Zug- und Motorleistungen zu ermitteln, sondern es genügt die Untersuchung, ob das Motordrehmoment M_d für die erforderliche Umfangskraft $U = W_{zug}$ unter Berücksichtigung des Triebwerkswirkungsgrades η_g und des Übersetzungsverhältnisses i in den einzelnen Gangstufen ausreichend ist. Zwischen den genannten Kennwerten besteht folgende mathematische Beziehung

$$U = W_{zug} = (m_T + m_A) (\rho_r + \sin \alpha) = \frac{M_d \cdot i \cdot \eta_g}{r} \quad (8)$$

die es durch Auflösung nach der Anhängelast m_A

$$m_A = \frac{M_d \cdot i \cdot \eta_g}{r (\rho_r + \sin \alpha)} - m_T$$

ermöglicht, die in jedem einzelnen Gang bei Ausnutzung des vollen Motordrehmoments (Motorleistung) maximal durch den Traktor zu bewältigende Anhängelast zu bestimmen. Die Gleichung kann auch nach dem Sinus des Steigungswinkels α aufgelöst werden

$$\sin \alpha = \frac{M_d \cdot \eta_g \cdot i}{(m_T + m_A) r} - \rho_r, \quad (8b)$$

womit bei Vorgabe von m_A die durch den Transportzug in jedem beliebigen Gang maximal befahrbare Steigung bestimmbar ist.

Die gegenseitige Abhängigkeit von Steigungswinkel bzw. $(\rho_r + \sin \alpha)$ und der Anhängelast m_A ist für die beiden untersuchten Traktoren im Bild 4 dargestellt.

In den Bildern ist kein Sicherheitszuschlag für den Fahrwiderstandsbeiwert ρ_{stc} berücksichtigt worden, da bei energetischen Berechnungen nicht der Maximalwert für den Fahrwiderstand des Transportzuges $W_{zug} = U$ ausschlaggebend ist, sondern sein Mittelwert. Deshalb ist in die Gleichung (8) die Summe $\rho_r + \sin \alpha$ mit $\rho_r = 0,02$ einzusetzen.

Als wesentliches Ergebnis der Auswertung im Bild 4 ist festzustellen, daß die Steigfähigkeit der beiden untersuchten Traktoren bei Ausnutzung der maximal zulässigen Anhängelast m_{Amax} und bei Benutzung des schnellsten Ganges faktisch gleich Null ist (0,3 bzw. 0,5%). Durch Herunterschalten auf den zweitschnellsten Gang können Steigungen von 1,85 bzw. 2,85% bewältigt werden. Berücksichtigt man noch den drittschnellsten Gang, also bei einem der beiden Traktoren den gesamten als „Transportgruppe“ bezeichneten Bereich, dann wird eine maximale Steigfähigkeit von 4,14 bzw. 3,90% erreicht. Beim weiteren Herunterschalten ergeben sich dann zwar theoretisch noch größere Steigungen, jedoch bei Fahrgeschwindigkeiten unter 10 km/h, wobei die Traktoren auf den ohnedies meist unübersichtlichen Steigungsstrecken im erheblichen Maß einen zügigen Straßenverkehr verhindern.

Die Erweiterung der Einsatzgrenzen durch Verminderung der zulässigen Anhängelasten m_A auf etwa $2/3$ des festgelegten Wertes verbessert zwar die Steigfähigkeit im schnellstmöglichen Gang nicht sehr, ermöglicht aber die Überwindung fast aller auf Straßen vorkommenden Steigungen innerhalb der „Transportgruppe“.

Die mathematische Untersuchung der Transportarbeiten widerlegt die weitverbreitete Ansicht, daß Traktoren, insbesondere die neuen leistungsstärkeren Typen mit Motorleistungen über 90 PS, bei Straßentransporten nicht auszulasten seien bzw. daß die Durchführung von Straßentransporten als „leichte Arbeit“ während der Einlaufzeit neuer Traktoren zu empfehlen sei. Straßentransporte im schnellsten Gang können den Traktormotor schon auf ebenen Straßen erheblich belasten.

Lenkfähigkeit des Traktors

Die Lenkfähigkeit des Traktors bei Straßentransporten ist von der betrieblichen Belastung der gelenkten Vorderachse abhängig. Durch die in beträchtlicher Höhe über der Fahrbahn angreifende Zugkraft der Anhänger ($Z = W_A$) wird aber die bei hinterachsgetriebenen Traktoren stationär schon anteilig gering belastete Vorderachse erheblich entlastet. Wegen dieser Entlastung ergibt sich der Grenzwert für den Kraftschlußbeiwert $\mu_k \leq 0,5$ nicht nur aus der Erhaltung der Zugsicherheit, sondern auch aus der Erhaltung der Lenkfähigkeit des Traktors.

Im gleichen Maße wie die Belastung der Traktorhinterachse in Abhängigkeit von der Zugkraft nach Gleichung (6) bzw.

(6a) zunimmt, vermindert sich die Belastung der gelenkten Vorderachse

$$G_v = m_T \frac{l - l_v}{l} - m_T \sin \alpha \frac{h_m}{l} - W_A \frac{h_z}{l} \quad (6b)$$

Durch die verhältnismäßig hohe Anordnung der Anhängerkupplungen an den Traktoren in 600 bis 800 mm Höhe über der Fahrbahn — der Standard TGL 7816 sieht ein Größtmaß von $h_{zmax} = 800$ mm vor — ergeben sich sehr große Entlastungsmomente, so daß, wie auf Bild 5 zu ersehen ist, schon bei Ausnutzung des Kraftschlußbeiwertes von $\mu_k = 0,5$ eine Entlastung der Vorderachse bis auf einen Anteil von 25% der Traktormasse erfolgt. Bei Ausnutzung von $\mu_k = 0,7$ sinkt die Vorderachslast unter 15% der Gesamtmasse ab (bei $h_{zmax} = 800$ mm). Die Straßenverkehrszulassungsordnung (STVZO) der DDR fordert zur Sicherung der Lenkfähigkeit der Fahrzeuge im § 39, „daß die Achslastverteilung so ausgelegt sein muß, daß die gelenkte Achse bei allen stationären Belastungszuständen in der Ebene mindestens 25% der Gesamtmasse tragen muß“. Damit ist zunächst die stationäre Mindestvorderachslast des Traktors

$$G_v \geq 0,25 (m_T + S) = (G_v + G_h) 0,25 \quad (9)$$

festgelegt. Hierbei bezeichnet S die eventuell auftretende Stützlast sattelartiger Anhänger oder landwirtschaftlicher Anbau- und Aufsattelgeräte in Transportstellung. Die Festlegung der STVZO sagt aber nichts aus über die zulässige betriebliche Mindestachslast, die — wie Bild 5 zeigt — unter der Einwirkung der Zugkraft erheblich unter den Grenzwert $G_v \geq (G_v + G_h) 0,25$ absinken kann. Wie weit aber darf sie unter den stationären Wert G_v absinken, um die Lenkfähigkeit des Transportzuges nicht zu gefährden?

In einigen Veröffentlichungen [7] [8] werden Grenzwerte für die minimale betriebliche Belastung der gelenkten Vorderachse angegeben, wie z. B.

$$G_{vmin} = 0,15 m_T \quad (9a) \text{ oder } G_{vmin} = 0,25 \cdot \frac{m_T}{l} \quad (9b)$$

die als „Erfahrungswerte“ bezeichnet sind.

Beide „Erfahrungswerte“ haben ihre Mängel.

Einer davon ist, daß nur die Traktormasse m_T betrachtet wird und zusätzliche Stützlasten S unberücksichtigt bleiben. Außerdem ergibt die Division durch den Radstand l bei den heutigen leistungsstarken Traktoren, mit Radständen von 2,4 bis 2,8 m nach der Beziehung (9b), eine minimale betriebliche Vorderachslast von 9 bis 11% der Gesamtmasse. Die Anwendung der Beziehung (9b) ergibt demnach sehr risikobehaftete Werte, wenn berücksichtigt wird, daß die Traktormasse m_T nicht alle gelenkten Massen beinhaltet und außerdem „dynamische“ Fahrzustände auf unebenen Fahrbahnen bei Geschwindigkeiten bis 30 km/h unberücksichtigt bleiben, die aber eine zeitweilige völlige Entlastung einer derart gering belasteten Vorderachse und damit kurzfristige Lenkfähigkeit des Transportzuges hervorrufen können. Von den Beziehungen (9a) und (9b) ist deshalb doch diejenige mit $A_{min} = 0,15 m_T$ als die risikoärmere anzusehen.

Eine exakte mathematische Beziehung zur Bestimmung der für die Gewährleistung der Lenkfähigkeit erforderlichen Mindestbelastung der Lenkachse gibt es nicht.

Das Risiko läßt sich durch Anbau von Ballastmassen an oder vor der Vorderachse des Traktors vermindern. Bei den heutigen Traktormassen von 3 bis 5 t sind aber schon beträchtliche Mengen von Ballast notwendig, um eine wirksame Verbesserung zu erreichen. Bei den nicht zu umgehenden Leerfahrten wird dann aber die Vorderachse und besonders die Tragfähigkeit ihrer Reifen in unzulässiger Weise überbeansprucht. Von den Herstellern der beiden untersuchten Traktoren wird kein Ballast für die Vorderachse geliefert bzw. seine Anwendung für Transportarbeiten untersagt. Durch Anwendung von Frontballast ist das Problem der erforderlichen Belastung gelenkter Vorderachsen bei hinterachsgetriebenen Traktoren nicht befriedigend zu lösen.

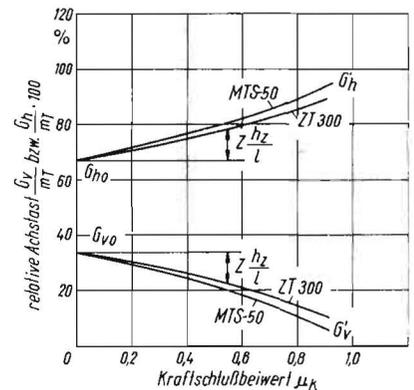


Bild 5. Änderung der Achslastverteilung der Traktoren ZT 300 und MTS-50 durch Ausnutzung von μ_k

Traktor Typ	m_T kg	kp	G_{ho} %	h_z/l
MTS-50	3060	2050	33,0	0,320
ZT 300	4900	3207	33,3	0,275

Ergänzende Betrachtungen

Es muß noch darauf hingewiesen werden, daß die höchstmögliche mittlere Motorbelastung — die als Zentralwert einer Gaußschen Normalverteilung der Belastung anzusehen ist — einen bestimmten Abstand vom Nennwert der Motorleistung haben muß, da nur ein geringer Summenhäufigkeitsanteil (1 bis 1,5%) das Vollastdrehmoment des Motors überschreiten darf [9].

Als höchstmögliche mittlere Motorbelastung kann man beim Straßentransport etwa den Wert von 90% der Motornennleistung annehmen. Für eine den praktischen Bedingungen gerecht werdende Untersuchung müßte deshalb in den Gleichungen (8a und 8b) der Faktor 0,9 eingeführt werden, der aber bei der Ermittlung der Zahlenwerte für Bild 4 nicht berücksichtigt worden ist, da andererseits nahezu jeder moderne Traktormotor über eine Drehmomentreserve von 10 bis 16% verfügt. Diese Drehmomentreserve ermöglicht eine zumindest zeitweilige Nutzung des vollen Motordrehmoments, d. h. der vollen Motorleistung, allerdings unter Inkaufnahme eines Absinkens der Motordrehzahl, was einer Geschwindigkeitsverminderung gleichkommt.

Für den Triebwerkwirkungsgrad η_g sind Werte von 0,79 bis 0,86 verwendet worden, die sehr gering erscheinen, sich in dieser Größenordnung aber bei den heutigen Traktorgetrieben ergeben, wie die Auswertung von Zugleistungsmessungen in den schnellen Gängen zeigt. In gleicher Größenordnung sind sie auch bereits bei Prüfstandsläufen von Traktorgetrieben in den schnellen Gängen ermittelt worden. Der in verschiedenen Quellen eingesetzte konstante Wert $\eta_g = 0,9$ ist nach den Erfahrungen des Autors zu hoch.

Der Triebbradsschlupf φ ist bei den Rechnungen nicht berücksichtigt worden. Für exakte Berechnungen muß der Gleichung 8 aber der Faktor $(1 - \varphi)$ im Nenner hinzugefügt werden. Der Wert φ ist der Funktion $\mu_k = f(\varphi)$ (Bild 2) zu entnehmen.

Zusammenfassung

Bei der Durchführung von Straßentransporten mit Traktoren ergeben sich, besonders beim Befahren von Steigungen, einige Grenzbedingungen für die Hauptkriterien der aus Traktoren und Anhängern bestehenden Transporteinheiten, aus der sich mathematische Zusammenhänge zur Bestimmung der Anhängelasten bzw. der zu bewältigenden Steigungen ableiten. Diese Grenzbedingungen sind die Zugfähigkeit

$$\mu_k \leq 0,5,$$

die zu sichernde Lenkfähigkeit

$$G_{vmin} \geq 0,15 m_T$$

und die vorhandene Motorleistungs- (bzw. Drehmoment-)reserve

$$r(m_T + m_A)(\rho_r + \sin \alpha) = M_d \cdot \eta_g \cdot i$$

Die daraus abzuleitenden Einsatzgrenzen der möglichen Transportzüge sind besonders bei Ausnutzung der zulässigen Anhängelasten sehr eng. Für das häufige Befahren von Steigungen mit mehr als 6% ist eine Verminderung der zulässigen Anhängelasten auf $\approx 2/3$ des derzeitigen Wertes zu empfehlen, wie das im Falle des Traktors ZT 300 bereits geschehen ist. Dies betrifft fast alle Landwirtschaftsbetriebe in den Südbzirken der DDR, die ihre mit Traktoren durchzuführenden Straßentransporte zwar mit geringerer Anhängelast (Nutzlast), dafür aber sicherer, mit höherer Durchschnittsgeschwindigkeit und geringerer Behinderung des öffentlichen Straßenverkehrs durchführen sollten.

Die ausgewerteten Beispiele der z. Z. und in naher Zukunft überwiegend für Straßentransporte eingesetzten Traktoren verdeutlichen die Notwendigkeit derartiger Einsatzbeschränkungen.

Aus den dargelegten theoretischen Zusammenhängen können bei der Festlegung von Anhängelasten für Traktoren exakte Berechnungen der zweckmäßigen Werte erfolgen.

Ähnliche Betrachtungen können für Feldtransporte durchgeführt werden.

Verwendete Formelzeichen

Massen, Kräfte, Momente

m_T	— Masse des Traktors in kg
m_A	— Masse des beladenen Anhängers (Anhängelast) in kg
m_{Zug}	— Masse des gesamten Transportzuges in kg
G_V	— Vorderachslast des Traktors in kp
G_H	— Hinterachslast des Traktors in kp
W_T	— Fahrwiderstand des Traktors in kp
W'_A	— Fahrwiderstand der(s) Anhänger(s) in kp
W'_{Zug}	— Fahrwiderstand des gesamten Transportzuges in kp
S	— auf den Traktor wirkende Stütz- (Sattel-)last in kp
Z	— Zugkraftbedarf der(s) Anhänger(s) in kp
U	— Umfangskraft an den Traktortriebrädern in kp
M_d	— Motordrehmoment in kpm

Längen, Höhen und ähnliche Maße

l	— Radstand des Traktors in m
l_V	— Abstand des Traktorschwerpunktes v. d. Vorderachse in m
r	— Halbmesser der Triebräder in m
h_{m}	— Höhe des Traktorschwerpunktes über der Fahrbahn in m
h_z	— Höhe des Angriffspunktes der Zugkraft über der Fahrbahn in m
l_V	— Hebelarm der Rollreibung der Vorderräder in m
l_H	— Hebelarm der Rollreibung der Hinterräder in m

Dimensionslose Größen und Beiwerte

i	— Gesamtübersetzungsverhältnis des Traktors im benutzten Gang
η_g	— Triebwerkwirkungsgrad des Traktors
α	— Steigungswinkel der Fahrbahn
μ_k	— Kraftschlußbeiwert des Traktors
ρ_r	— Fahrwiderstandsbeiwert auf ebener Straße
e_{sto}	— Sicherheitszuschlag zum Rollwiderstandsbeiwert (für Kraftschlußbeiwert-Bestimmung)
e_e	— Fahrwiderstandsbeiwert für ebene Straße (für Kraftschlußbeiwert-Bestimmung)
e_{st}	— Steigungsbeiwert

Literatur

- [1] BLUMENTHAL, R.: Technisches Handbuch Traktoren. 3. Auflage Berlin: VEB Verlag Technik 1966, S. 72 bis 76
- [2] Autorenkollektiv: Das Fachwissen des Ingenieurs. Bd. III Leipzig: VEB Fachbuchverlag 1967, S. 568
- [3] MÜHREL, K. u. a.: Landwirtschaftliche Transporte und Fördertechnik. Berlin: VEB Verlag Technik 1968, S. 54
- [4] SCHILLING, E.: Landmaschinen Bd. 1 Ackerschlepper. 2. Auflage Eigenverlag 1955, S. 27
- [5] BARGER, E. L. u. a.: Tractor and their power units. 2. Auflage New York, London: John Wiley & Sons Inc. 1963 S. 272 bis 306
- [6] IAWOW, E. D.: Theorie des Schleppers. 4. Auflage. Berlin: VEB Verlag Technik 1954, S. 373
- [7] FRANKE, R.: KTL-Schleppertest. Berichte über Landtechnik Heft 81. Verlag Neureuther, München-Wolfratshausen 1964
- [8] MEYER, H.: Zur Problematik des Sattelanhängers für Ackerschlepper. Landt. Forschung 6 (1956) H. 2, S. 39 bis 42
- [9] COENENBERG, H. H.: Die Belastung von Motor, Fahrtriebe und Zapfwelle bei Ackerschleppern. Grundlagen der Landtechnik Heft 16 Düsseldorf 1963, S. 16 bis 29 A 8162

Doktor der technischen Wissenschaften S. A. IOFINOV,
Leningrader Landwirtschaftsinstitut

Geräte zur Kontrolle und Erfassung der Landmaschinen- und Traktorenarbeit¹

Die Maschinen- und Traktorenparke der Kolchose und Sowchose erhalten ständig neue hochleistungsfähige Maschinen, die jedoch keineswegs immer richtig eingesetzt und ausgelastet werden. Das liegt zum großen Teil daran, daß die Verfahren des Maschineneinsatzes wesentlich hinter der technischen Vollkommenheit der Maschinen zurückbleiben und den modernen Formen der Arbeitsorganisation nicht entsprechen. Insbesondere erfolgt die Kontrolle der Arbeit der Aggregate auf dem Felde, die Wahl optimaler Arbeitskennwerte (z. B. Belastung des Traktors, Wechselgetriebe-Schaltstufe u. a.) sowie das Bestimmen von Leistungs- und anderen Betriebskennwerten der Traktoren durch die Traktorenisten und Maschinenführer nur visuell, nach dem Gehör und aufgrund persönlicher Erfahrungen.

Wenn man anstelle der visuellen Beobachtung Spezialgeräte verwenden würde, könnten die Maschinen-Traktoren-Aggregate zweckmäßiger eingesetzt, die technische Pflege in strenger Regelmäßigkeit durchgeführt, die mechanisierten Arbeiten richtig genormt, die Arbeit erleichtert und eine große Zahl der die Arbeit erfassenden Personen für andere Zwecke freigestellt werden.

Das System der Geräte

Zunächst wäre zu klären, welche Geräte hauptsächlich erforderlich sind; sie müssen klassifiziert werden, ferner sind die Grundanforderungen an ihre Konstruktion zu formulieren.

Die Geräte für Forschungszwecke lassen wir hier unberücksichtigt und betrachten nur die Geräte und Vorrichtungen für Produktionszwecke, die sich nach ihrem zeitlichen Einsatz in folgende zwei Gruppen teilen lassen:

- a) Ständig auf dem Traktor oder der Maschine angeordnete Geräte für ununterbrochene Arbeitskontrolle;
- b) zeitweilig auf oder außerhalb des Aggregats befindliche Geräte zur periodischen Kontrolle oder zum Bestimmen der Arbeitsbedingungen und -kennwerte.

Nach ihrer Bestimmung lassen sich die Geräte in sechs Gruppen einteilen (Bild 1).

Um keine allzugroße Anzahl von Geräten verwenden zu müssen, mißt man einzelne Kenngrößen nicht unmittelbar, sondern bestimmt sie indirekt. Manchmal kann man Geräte einer bestimmten Gruppe zu Zwecken benutzen, für die sie eigentlich nicht bestimmt sind, z. B. Arbeitserfassungsgeräte für periodische Kontrollen oder Arbeitsnormung.

¹ Aus Medjanisazija i elektrifikazija sozialistscheskogo sel'skogo chozajstva, Moskau (1968) H. 6 (Übersetzer: Dr.-Ing. W. BALKIN)