

Die Zugleistung eines Radschleppers

Von Kfz.-Ing. E. H. DOERGE, Schönebeck (Elbe)

DK 629.114.2.004.15

Die Zughakenleistung N_Z eines Schleppers errechnet sich aus der effektiven Motorleistung, abzüglich der Leistung zur Eigenfortbewegung, Schlupfverlustrleistung und der Triebwerksverlustrleistung.

Bezeichnet:

- N_e effektive Motorleistung [PS]
- N_Z Zughakenleistung [PS]
- N_R Leistung für Eigenfortbewegung [PS]
- N_S Schlupfverlustrleistung [PS]
- N_V Triebwerksverlustrleistung [PS]

dann ist

$$N_e = N_Z + N_R + N_S + N_V \quad [\text{kg}] \quad (1)$$

1 Die Leistung für Eigenfortbewegung

Die Leistung für Eigenfortbewegung in der Ebene setzt sich zusammen aus der Leistung zur Überwindung des Rollwiderstandes und des Luftwiderstandes

$$N_R = N_r + N_l \quad [\text{PS}] \quad (2)$$

1.1 Die Rollwiderstandsleistung

Der Bewegung des Schleppers stellt sich zunächst der Rollwiderstand entgegen, der vom Schleppergewicht und dem Rollwiderstandsbeiwert f nach der Beziehung

$$W_r = G \cdot f \quad [\text{kg}] \quad (3)$$

abhängig ist.

Im Rollwiderstandsbeiwert drückt sich die Art der Straßenoberfläche und der Zustand der Straße aus, auch spielt der Durchmesser der Räder, die Bereifung und deren Luftdruck eine gewisse Rolle.

Für Luftreifen gilt im Mittel:

Asphalt	0,01	Straße in gutem Zustand	0,023
Kleinpflaster	0,015	Straße mit Staub bedeckt	0,028
Beton	0,015	Straße verschlammmt	0,035
Gute Chaussee	0,016	Feste Erdwege	0,05
Gutes Steinpflaster	0,02	Erdwege	0,06 ... 0,16
Schotter, gewalzt	0,02	Ackerboden	0,1 ... 0,2
Schotter, gewalzt, geteert ..	0,025	Looser Sand	0,15 ... 0,3

Zur Überwindung des Rollwiderstandes ist die Leistung

$$N_r = \frac{W_r \cdot V}{3,6 \cdot 75} = \frac{G \cdot f \cdot V}{270} \quad [\text{PS}] \quad (4)$$

erforderlich, die mit steigender Fahrgeschwindigkeit zunimmt.

1.2 Die Luftwiderstandsleistung

Dem fahrenden Schlepper stellt sich auch ein Luftwiderstand entgegen, der mit dem Quadrat der Geschwindigkeit wächst.

$$W_L = \varphi \cdot F \cdot V^2 \quad [\text{kg}], \quad (5)$$

darin sind:

- φ Luftwiderstandsbeiwert = 0,0048 c_w (0,005 für Schlepper)
- F Profilumrißfläche in Fahrtrichtung [m^2]
- F 0,9 · Breite · Höhe [m^2]
- V Fahrgeschwindigkeit (\pm Windgeschwindigkeit) [km/h]

Für den Luftwiderstand ist die Leistung

$$N_l = \frac{W_L \cdot V}{3,6 \cdot 75} = \frac{\varphi \cdot F \cdot V^2 \cdot V}{270} = \frac{0,005 \cdot F \cdot V^3}{270} \quad [\text{PS}] \quad (6)$$

Diese Gleichung gilt streng nur bei Windstille, genügt aber für praktische Berechnungen.

Für die Eigenfortbewegung des Schleppers in der Ebene muß der Motor die Leistung

$$N_R = \frac{G \cdot f \cdot V + 0,005 \cdot F \cdot V^3}{270} \quad [\text{PS}] \quad (7)$$

aufbringen.

Beim Schlepper ist der Anteil des Luftwiderstandes im Verhältnis zu den anderen Widerständen äußerst gering, deshalb wird bei den geringen Geschwindigkeiten in den ersten Gängen die Luftwiderstandsleistung vernachlässigt.

Für Arbeiten mit dem Schlepper auf dem Acker vereinfacht sich daher Gleichung (7) zu

$$N_R = \frac{0,1 \cdot G \cdot V}{270} \quad [\text{PS}] \quad (8)$$

1.3 Die Steigungsleistung

Soll der Schlepper eine Steigung befahren, dann muß auch noch der Steigungswiderstand

$$W_{st} = G \cdot \sin \alpha = G \cdot \frac{H}{L} \quad [\text{kg}] \quad (9)$$

überwunden werden, wenn H in m die Höhe und L in m die schräge Länge der Steigung angibt. Bei kleinen Steigungswinkeln kann, da $\sin \alpha \approx \text{tg} \alpha$, für L auch die waagerechte Länge der Steigung eingesetzt werden.

Dazu ist zusätzlich die Steigungsleistung

$$N_{st} = \frac{W_{st} \cdot V}{3,6 \cdot 75} = \frac{G \cdot \sin \alpha \cdot V}{270} = \frac{G \cdot \frac{H}{L} \cdot V}{270} \quad [\text{PS}] \quad (10)$$

erforderlich, um deren Betrag die Gleichungen (2) bzw. (7) der Eigenfortbewegung in der Ebene vergrößert werden müssen.

2 Die Schlupfverlustrleistung

Durch den Schlupf s der Treibräder auf der Fahrbahn entsteht die Schlupfverlustrleistung N_S , die aus deren Umfangskraft

$$U = Z + W_r \quad [\text{kg}] \quad (11)$$

und der Schlupfgeschwindigkeit

$$v_s = u - v \quad [\text{m/s}] \quad (12)$$

bestimmt wird. Sie beträgt im Schlepperbetrieb etwa 0,1 bis 0,25 m/s.

Damit wird die Schlupfverlustrleistung:

$$N_S = \frac{U (u - v)}{75} \quad [\text{PS}] \quad (13)$$

Der Schlupf s der treibenden Räder wird in Prozenten angegeben nach der Beziehung:

$$s = \frac{100 (u - v)}{u} \quad [\%] \quad (14)$$

und nimmt mit zunehmender Geschwindigkeit ab. Für den luftbereiften Schlepper werden im Mittel 10% Schlupf gerechnet.

Im praktischen Schlepperbetrieb rechnet man deshalb die Schlupfverlustrleistung für die Praxis hinreichend genau mit

$$N_S = 0,1 \cdot N_e \quad [\text{PS}] \quad (15)$$

3 Die Triebwerksverlustrleistung

Bei der Übertragung der Motorleistung von der Kupplung bis zu den Treibrädern treten Leistungsverluste auf, hervorgerufen durch Lager- und Zahnradreibung usw., die in der Triebwerksverlustrleistung N_V zusammengefaßt sind. Sie ist somit in erster Linie von dem Wirkungsgrad der Kraftübertragung abhängig

$$N_V = N_e - (N_Z + N_R + N_S) = N_e (1 - \eta_{Tr}) \quad [\text{PS}] \quad (16)$$

Obwohl der Wirkungsgrad des in der Kraftübertragung liegenden Schaltgetriebes kein konstanter Faktor ist, wird der Wirkungsgrad η_{Tr} der Kraftübertragung als konstant angenommen und beträgt etwa

$$\eta_{Tr} = 0,85 \dots 0,9.$$

Für Überschlagsrechnungen im Schlepperbetrieb setzt man der Einfachheit halber die Triebwerksverlustleistung auf etwa 10 bis 15% der Motorleistung. Dabei dürfte der größere Wert der Wirklichkeit am nächsten kommen.

4 Die Zugleistung

Die nach Abzug der Leistung für Eigenfortbewegung und der Verlustleistungen noch zur Verfügung stehende Motorleistung ist die Überschuß- oder Zugleistung

$$N_Z = N_e - (N_R + N_S + N_V) \quad [PS], \quad (17)$$

die zur Überwindung der am Zughaken angreifenden Zugkraft Z aufgewendet, die Nutzleistung des Schleppers darstellt, von der allerdings noch ein Teil für das Beschleunigen des Fahrzeuges (Anfahren) in Abzug zu bringen ist.

Die Zugleistung kann auch nach der Beziehung

$$N_Z = \frac{Z \cdot v}{75} = \frac{Z \cdot V}{270} \quad [PS] \quad (18)$$

bestimmt werden.

Daraus ergibt sich die Zugkraft des Schleppers für eine bestimmte Geschwindigkeit

$$Z = \frac{N_Z \cdot 75}{v} = \frac{N_Z \cdot 270}{V} \quad [kg]. \quad (19)$$

5 Die Fortbewegung des Schleppers auf der Fahrbahn

Damit der Schlepper sich auf seiner Fahrbahn fortbewegen kann, muß die Motorleistung auf die Treibräder übertragen werden. An deren Umfang erscheint sie umgeformt als die Umfangskraft U nach der Gleichung

$$U = \frac{M_d \cdot i_{ges} \cdot \eta_{Tr}}{R_w} \quad [kg] \quad (20)$$

wenn:

M_d Motordrehmoment [mkg]

i_{ges} Gesamtübersetzung des betreffenden Ganges

η_{Tr} Wirkungsgrad des Triebwerks von Kupplung bis Radumfang

R_w Wirksamer Reifenhalmmesser [m] ist.

In jedem Betriebszustand muß sein

$$U \geq \Sigma W + Z \quad [kg]. \quad (21)$$

Die Umfangskraft U wird durch die Reibung des Reifens auf die Fahrbahn übertragen, solange

$$U \leq \mu \cdot G_{Tr} \quad [kg] \quad (22)$$

ist, wenn

μ Haftreibungsbeiwert

G_{Tr} Treibachsbelastung [kg]

bezeichnet. Wird $U > \mu \cdot G_{Tr}$, wie es auf nasser, schmieriger oder vereister Straße leicht der Fall ist, dann rutschen die Räder durch. Falsch ist es in diesem Falle, wie es viele Fahrer tun, durch Vollgasgeben die Umfangskraft zu vergrößern, besser ist, man versucht durch Streuen von Sand od. dgl. einen höheren Reibwert zu erhalten oder mit verringerter Motorleistung das Fahrzeug in Gang zu bringen.

5.1 Der Haftreibungsbeiwert

Nach Gleichung (22) wird der Kraftschluß zwischen Reifen und Fahrbahn außer der Treibachsbelastung von dem Haftreibungs- oder Kraftschlußbeiwert μ bestimmt. Er ist weitestgehend vom Zustand der Straße und der Reifen abhängig. Für trockene Straßen wird im Mittel $\mu = 0,6$ gerechnet.

Für Geschwindigkeiten bis 60 km/h und für Luftreifen gelten die Werte der Tafel 1 [nach Bosch].

Bei abgefahrenen Fahrbahnen und abgenutzten Reifen ist mit wesentlich kleineren Werten zu rechnen.

Die Gleitreibungsbeiwerte sind im allgemeinen kleiner, daher ist die Bremswirkung am blockierten Rad geringer als am rollenden Rad.

Tafel 1

Straßendecke	trocken	naß		vereist
		sauber	schmierig	
Schotter, gewalzt ...	0,7	0,5	0,4	} trocken 0,2 naß 0,1 und kleiner
Schotter gewalzt, geteert	0,6	0,4	0,3	
Beton	0,65	0,5	0,3	
Kopfsteinpflaster ...	0,6	0,4	0,3	
Teermakadam	0,55	0,4	0,3	
Kleinpflaster	0,55	0,3	0,2	
Asphalt	0,55	0,3	0,2	}
Erdweg, Ackerboden	0,45	—	0,2	
Greiferräder auf Ackerboden	0,5	—	—	—
Kettenschlepper auf Ackerboden	0,8	—	—	—

5.2 Die Treibachsbelastung

Die für die Haftung maßgebende Treibachsbelastung G_{Tr} ist abhängig von Schwerpunktlage, Fahrbahneigung, Massenkraften, Rückwirkungsmomenten, Luftwiderstand und der äußeren Zugkraft.

Für den hinterachsgetriebenen Schlepper ist mit den Bezeichnungen nach Skizze 1 der statische Achsdruck:

$$G_v = \frac{G \cdot a_1}{a} \quad [kg], \quad (23)$$

$$G_h = \frac{G \cdot a_2}{a} \quad [kg], \quad (24)$$

dabei soll der statische Achsdruck

$$G_v \approx \frac{1}{3} G; \quad G_h \approx \frac{2}{3} G$$

sein.

Die statischen Achsdrücke unterliegen während der Fahrt fortgesetzten Änderungen, die besonders unter dem Einfluß der Zugkraft die Vorderachse um den Betrag

$$\Delta G = \frac{Z \cdot h}{a} \quad [kg] \quad (25)$$

entlasten.

Mit großer Annäherung kann $\Delta G \approx 0,25 Z$ [kg] gesetzt werden.

Der dynamische Vorderachsdruk darf 200 kg nicht unterschreiten, damit eine genügend große Spurrhaltungskraft gewährleistet und der Schlepper nicht in seiner Lenkfähigkeit beeinträchtigt wird. Anderenfalls verursachen geringe Seitenkräfte das bekannte Schwimmen des Fahrzeugs oder der Schlepper bäumt unter Umständen auf.

Die zur Fortbewegung des Schleppers in Rechnung zu stellende Treibachsbelastung G_{Tr} ist somit nach den Bezeichnungen der Skizze 1

$$G_{Tr} = \frac{G \cdot a_2}{a} + \frac{Z \cdot h}{a} \quad [kg] \quad (26)$$

und die der Vorderachse:

$$G_{Bv} = \frac{G \cdot a_1}{a} - \frac{Z \cdot h}{a} \quad [kg]. \quad (27)$$

Die vorstehenden Beziehungen gelten nur in der Ebene. Am Hang wirkt die waagerechte Teilkraft des Schleppergewichtes als

$$G \cdot \sin \alpha = W_{st} \quad [kg] \quad (9)$$

der Vorwärtsbewegung des Schleppers entgegen, während die senkrechte Teilkraft des Schleppergewichtes

$$G' = G \cdot \cos \alpha \quad [kg] \quad (28)$$

eine Änderung der Achsbelastungen entsprechend den Schwerpunktabständen a_1 und a_2 herbeiführt, wodurch die Treibachse bei Aufwärtsfahrt eine weitere Belastung erfährt.

Mit den Bezeichnungen der Skizze 2 wird dann die dynamische Belastung der Treibachse am Hang

$$G'_{Tr} = \frac{G \cdot \cos \alpha \cdot a_2}{a} + \frac{Z \cdot h}{a} + \frac{G \cdot \sin \alpha \cdot h_s}{a} \quad [\text{kg}] \quad (29)$$

und für die Vorderachse gilt am Hang

$$G'_{Bv} = \frac{G \cdot \cos \alpha \cdot a_1}{a} - \frac{Z \cdot h}{a} - \frac{G \cdot \sin \alpha \cdot h_s}{a} \quad [\text{kg}] \quad (30)$$

Die Entlastung der Vorderachse um den Betrag

$$\frac{G \cdot \sin \alpha \cdot h_s}{a}$$

verringert gemeinsam mit der Zugkraft die Standsicherheit, am Hang bäumt der Schlepper eher auf als in der Ebene.

Mit Aufbäumen bezeichnet man das Hintenüberkippen des Schleppers (eine Drehung um seinen hinteren Stützpunkt), wobei die Zugkraft ein Kippmoment M_k , das Gewicht ein Standmoment M_{st} , bezogen auf den hinteren Stützpunkt, hervorruft.

Solange das Verhältnis

$$\gamma = \frac{\sum M_{st}}{\sum M_k} > 1 \quad (31)$$

ist, herrscht stabiles Gleichgewicht, wobei der Zahlenwert dieses Verhältnisses die Standsicherheit bezeichnet.

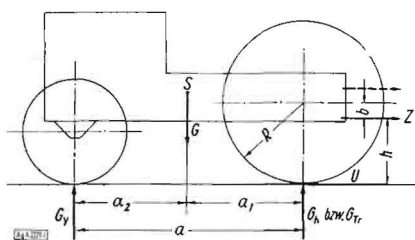


Bild 1

Für den Schlepper am Hang besteht mit den Bezeichnungen der Skizze 2 Standsicherheit, wenn

$$\gamma = \frac{G \cdot \cos \alpha \cdot a_1 - G \cdot \sin \alpha \cdot h_s}{Z \cdot h} > 1 \quad (32)$$

ist.

5.3 Die Fahrgeschwindigkeit

Aus der Motordrehzahl und dem gesamten Übersetzungsverhältnis i_{ges} des Schleppers läßt sich mit Hilfe der bekannten Geschwindigkeitsgleichung die Fahrgeschwindigkeit V bestimmen.

Ist

$$i_{ges} = i_{Getr} \cdot i_D \cdot i_E \quad (33)$$

und

$$n_{Tr} = \frac{n_M}{i_{ges}} \quad [\text{U/min}], \quad (34)$$

dann ist die Fahrgeschwindigkeit:

$$V = \frac{D \cdot \pi \cdot n_{Tr} \cdot 60}{1000} = \frac{2 \cdot R_w \cdot \pi \cdot n_M \cdot 60}{1000 \cdot i_{ges}} \quad [\text{km/h}]. \quad (35)$$

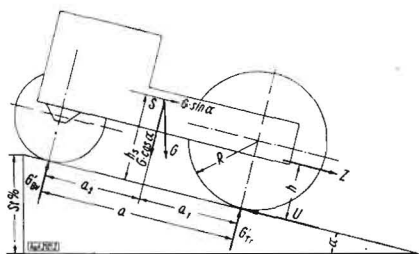


Bild 2

Man beachte, daß im Gegensatz zu den schnellen Kraftfahrzeugen der Schlepper gewöhnlich drei Übersetzungsstufen hat, um auf die gewünschte geringe Fahrgeschwindigkeit zu kommen, und zwar:

- a) Schalt- oder Wechselgetriebe
- b) Treibwelle zum Differential- oder Ausgleichgetriebe
- c) Endvorgelege der Hinterachse (Treibachse).

Für den IFA-Schlepper RS 04 betragen die Übersetzungsverhältnisse beispielsweise:

Gang	i_{Getr}	i_D	i_E	i_{ges}	n_{Tr} [U/min]	V [km/h]
I	1: 4,16	1: 5,1	1: 5,1	1: 108,1	13,9	3,6
II	1: 3,01			1: 78,2	19,2	5,0
III	1: 2,24	1: 5,1	1: 5,1	1: 58,3	25,9	6,7
IV	1: 1,38			1: 35,9	41,8	10,8
V	1: 0,833			1: 27,1	69,5	18,0

Die angeführten Beziehungen der Fahrleistungen gelten nicht nur für den Schlepper, sondern für jedes Kraftfahrzeug. Es lassen sich damit sowohl die Zugleistungen eines LKW wie auch die Verlustleistungen und Fahrwiderstände eines PKW berechnen.

Zu beachten ist, daß bei den schnellen Kraftfahrzeugen der Luftwiderstand nicht vernachlässigt werden darf, dabei ist in Gleichung (5) der betreffende c_w -Wert des jeweiligen Fahrzeugs in Rechnung zu stellen ($\varphi = 0,0048 \cdot c_w$).

Erfahrungsgemäß können gesetzt werden:

für LKW und Anhänger	$c_w = 1,0$
LKW mit Anhänger (Lastzug)	$c_w = 1,0 \cdot 1,5$
PKW F 8	$c_w = 0,58$
PKW F 9	$c_w = 0,44$

Die Fahrwiderstände des Anhängers sind in gleicher Weise gesondert von der Zugmaschine zu ermitteln, sein Gesamtwiderstand W_R darf nicht die verbleibende Zugkraft des ziehenden Fahrzeugs überschreiten.

Die verwendeten Formelzeichen bedeuten:

- a Radstand [m]
- a_1 Schwerpunktsabstand von Hinterachse [m]
- a_2 Schwerpunktsabstand von Vorderachse [m]
- c_w Luftwiderstandsbeiwert, abhängig von der Form des Aufbaues
- f Rollwiderstandsbeiwert
- G Gewicht des Schleppers [kg]
- G' Gewicht des Schleppers am Hang [kg]
- G_h Hinterachslast im Stand [kg]
- G_v Vorderachslast im Stand [kg]
- G_{Tr} Treibachslast im Betrieb [kg]
- G'_{Tr} Treibachslast im Betrieb am Hang [kg]
- G_{Bv} Vorderachslast im Betrieb [kg]
- G'_{Bv} Vorderachslast im Betrieb am Hang [kg]
- H Höhe der Steigung [m]
- h Zughakenhöhe über Boden [m]
- h_s Schwerpunkthöhe über Boden [m]
- i_D Übersetzungsverhältnis zwischen Treibwelle und Differential
- i_E Übersetzungsverhältnis im Endvorgelege
- i_{Getr} Übersetzungsverhältnis im Schaltgetriebe
- M_k Kippmoment bezogen auf die hintere Stützung [mkg]
- M_{st} Standmoment bezogen auf die hintere Stützung [mkg]
- N_l Luftwiderstandsleistung [PS]
- N_r Rollwiderstandsleistung [PS]
- N_{st} Steigungswiderstandsleistung [PS]
- n_M Drehzahl des Motors [U/min]
- n_{Tr} Drehzahl der Treibachse bzw. Treibräder [U/min]
- L Schräge Länge der Steigung [m]
- γ Standsicherheit
- s Schlupf [%]
- U Umfangskraft an den Treibrädern [kg]
- u Umfangsgeschwindigkeit der Treibräder [m/s]
- V Fahrgeschwindigkeit [km/h]
- v Fahrgeschwindigkeit [m/s]
- v_s Schlupfgeschwindigkeit [m/s]
- W_L Luftwiderstand [kg]
- W_r Rollwiderstand [kg]
- W_{st} Steigungswiderstand [kg]
- Z Zugkraft am Zughaken [kg]
- ΔG Gewichtsveränderung der Vorderachse im Betrieb [kg]
- α Steigungswinkel [°]
- μ Haftreibungs- oder Kräfte-schlupf beiwert
- D Wirksamer Treibraddurchmesser [m]

Beispiel 1:

Welche Zugkraft hat der IFA-Schlepper RS 04 im ersten Gang auf dem Acker und im fünften Gang auf der Straße?

	Gegeben:	Gesucht:
$N_e = 30 \text{ PS}$	$f_s = 0,023$	$Z_1 = ? \text{ kg}$
$G = 2500 \text{ kg}$	$s = 10\%$	$Z_5 = ? \text{ kg}$
$F = 2,7 \text{ m}^2$	$\varphi = 0,005$	
$V_1 = 3,6 \text{ km/h}$	$\mu = 0,6$	
$V_5 = 18 \text{ km/h}$	$\eta_{Tr} = 0,8$ (angenommen)	
$f_1 = 0,1$		

Lösung:

$$N_Z = N_e - (N_R + N_S + N_V) \text{ [PS]}$$

Aus der Motorleistung wird durch Subtraktion der Verlustleistungen die Zugleistung ermittelt und aus dieser nach Gleichung (18) die Zugkraft bestimmt.

a) Leistung zur Eigenfortbewegung $N_R = N_r + N_i$ [PS]

$$N_{r1} = \frac{G \cdot f_1 \cdot V_1}{3,6 \cdot 75} = \frac{2500 \cdot 0,1 \cdot 3,6}{3,6 \cdot 75} = 3,33 \text{ PS}$$

$$N_{r5} = \frac{G \cdot f_5 \cdot V_5}{270} = \frac{2500 \cdot 0,023 \cdot 18}{270} = 3,83 \text{ PS}$$

$$N_{i1} = \frac{0,005 \cdot F \cdot V_1^3}{270} = \frac{0,005 \cdot 2,7 \cdot 3,6^3}{270} = 0,002 \text{ PS}$$

$$N_{i5} = \frac{0,005 \cdot F \cdot V_5^3}{270} = \frac{0,005 \cdot 2,7 \cdot 18^3}{270} = 0,29 \text{ PS}$$

Die Rechnung beweist, daß für den Schlepper RS 04, wie für Schlepper unter 20 km/h Fahrgeschwindigkeit überhaupt, die Luftwiderstandsleistung vernachlässigt werden darf, zeigt aber andererseits auch das schnelle Anwachsen dieser Leistung mit zunehmender Geschwindigkeit.

$$N_{R1} = N_{r1} + N_{i1} = 3,333 + 0,002 = 3,335 \text{ PS}$$

$$N_{R5} = N_{r5} + N_{i5} = 3,83 + 0,29 = 4,12 \text{ PS}$$

b) Schlupfverlustleistung

$$N_S = 0,1 \cdot N_e \text{ [PS]}$$

$$N_{S1} = 0,1 \cdot N_e = 0,1 \cdot 30 = 3,0 \text{ PS}$$

$$N_{S5} = N_{S1}$$

c) Triebwerksverlustleistung

$$N_V = N_e \cdot (1 - \eta_{Tr}) \text{ [PS]}$$

$$N_{V1} = N_e \cdot (1 - \eta_{Tr}) = 30 \cdot (1 - 0,8) = 30 \cdot 0,2 = 6,0 \text{ PS}$$

$$N_{V5} = N_{V1}$$

d) Zugleistung

$$N_Z = N_e - (N_R + N_S + N_V) \text{ [PS]}$$

$$N_{Z1} = N_e - (N_{R1} + N_{S1} + N_{V1}) = 30 - (3,335 + 3,0 + 6,0) = 17,665 \text{ PS}$$

$$N_{Z5} = N_e - (N_{R5} + N_{S5} + N_{V5}) = 30 - (4,12 + 3,0 + 6,0) = 17,17 \text{ PS}$$

e) Zugkraft

$$Z = \frac{N_Z \cdot 270}{V} \text{ [kg]}$$

$$Z_1 = \frac{N_{Z1} \cdot 270}{V_1} = \frac{17,665 \cdot 270}{3,6} = 1325 \text{ kg}$$

$$Z_5 = \frac{N_{Z5} \cdot 270}{V_5} = \frac{17,17 \cdot 270}{18} = 258 \text{ kg}$$

In der Bedienungsanweisung ist $Z_{5 \max} = 308 \text{ kg}$ angegeben, dabei ist zu beachten, daß der größte Motordrehmoment nicht mit der Höchstdrehzahl des Motors zusammenfällt.

Beispiel 2:

Ein IFA-LKW H3A soll bei mäßigem Gegenwind mit 3500 kg Nutzlast auf guter Straße eine Steigung von 5% mit 35 km/h Geschwindigkeit befahren. Reicht hierzu die vorhandene Motorleistung aus und kann evtl. ein Anhänger mitgeführt werden?

	Gegeben:	Gesucht:
$N_e = 80 \text{ PS}$	$v_0 = 6 \text{ m/s}$	$N_R = ? \text{ PS}$
$G = 6800 \text{ kg}$	$f = 0,023$	$Z = ? \text{ kg}$
$F = 3,24 \text{ m}^2$	$St = 5\%$	
$V = 35 \text{ km/h}$	$\eta_{Tr} = 0,85$ (angenommen)	

Lösung:

Aus der Summe der Fahrwiderstände ergibt sich die zu deren Überwindung erforderliche Motorleistung:

$$N_R = \frac{\sum W \cdot V}{270 \cdot \eta_{Tr}} \text{ [PS]}$$

a) Rollwiderstand

$$W_r = G \cdot f = 6800 \cdot 0,023 = 156 \text{ kg}$$

b) Luftwiderstand

$$W_L = 0,0048 \cdot c_w \cdot F \cdot (V + V_0)^2 = 0,0048 \cdot 1 \cdot 3,24 \cdot (35 + 22)^2 = 50 \text{ kg}$$

c) Steigungswiderstand

Die Steigung der Straße ist in Prozent gegeben. Nach Skizze 2 ist:

$$\tan \alpha = \frac{St \%}{100}$$

Für kleine Winkel α ist $\tan \alpha = \sin \alpha$, damit wird:

$$W_{st} = \frac{5 \cdot G}{100} = \frac{5 \cdot 6800}{100} = 340 \text{ kg}$$

d) Summe aller Widerstände

$$\sum W = W_r + W_L + W_{st} = 156 + 50 + 340 = 546 \text{ kg}$$

Damit wird die erforderliche Motorleistung:

$$N_R = \frac{\sum W \cdot V}{270 \cdot \eta_{Tr}} = \frac{546 \cdot 35}{270 \cdot 0,85} = 83 \text{ PS}$$

Die Rechnung beweist, daß die vorhandene Motorleistung nicht ausreicht, das vollbelastete Fahrzeug mit 35 km/h bei mäßigem Gegenwind über eine fünfprozentige Steigung zu bringen. Es muß deshalb auf den nächstniedrigen, den 3. Gang, zurückgeschaltet werden, dessen maximale Zugkraft nach den Herstellerangaben 630 kg beträgt.

Soll noch ein beladener 3-t-Anhänger mitgeführt werden, so betragen die Fahrwiderstände, Luftwiderstand vernachlässigt, bei einem Gesamtgewicht des Anhängers von 4000 kg:

$$156 + 340 + 92 + 200 = 788 \text{ kg}$$

Der vollbeladene Lastzug könnte diese Steigung bei mäßigem Gegenwind nur im 2. Gang befahren, wobei die Geschwindigkeit 17 km/h nicht überschreiten kann; dann beträgt der Luftwiderstand:

$$W_L = 0,0048 \cdot c_w \cdot F \cdot (V + V_0)^2 = 0,0048 \cdot 1,5 \cdot 3,24 \cdot (17 + 22)^2 = 36 \text{ kg}$$

somit der Fahrwiderstand: $\sum W = 156 + 340 + 92 + 200 + 36 = 824 \text{ kg}$ und damit die erforderliche Motorleistung:

$$N_R = \frac{\sum W \cdot V}{270 \cdot \eta_{Tr}} = \frac{824 \cdot 17}{270 \cdot 0,85} = 61 \text{ PS}$$

6 Zusammenfassung

Die Zug- oder Nutzleistung des Schleppers ist die nach Abzug der Leistung für Fortbewegung und der Verlustleistungen verbleibende Motorleistung. Aus ihr ergibt sich durch Division mit der Geschwindigkeit die Zugkraft, die mit steigender Fahrgeschwindigkeit abnimmt und im ersten Gang ihr Maximum besitzt.

Die durch Reibung auf die Fahrbahn übertragene Motorleistung ist abhängig von der dynamischen Treibachsbelastung und dem Kraftschlußbeiwert. Unter dem Einfluß der Zugkraft wird die Treibachse be- und die Vorderachse entlastet. Sinkt die Vorderachslast unter 200 kg, dann verliert der Schlepper seine Lenkfähigkeit oder bäumt unter Umständen sogar auf.

Für die Berechnung der Fahrleistungen gelten die Formeln der Fahrmechanik des Kraftwagens. Der Gang der Rechnung ist an zwei Beispielen erläutert.

Literatur

Bussien: Automobiltechn. Handbuch.
Bürger: Das Kraftwagen-Fahrgestell.
Bosch: Kraftfahrzeugtechn. Taschenbuch
IFA Werbe-Druckschriften.