

LANDTECHNISCHE FORSCHUNG

HERAUSGEBER: LANDMASCHINEN- UND ACKERSCHLEPPER-VEREINIGUNG IM VDMA

Heft 6/1970

München

18. Jahrgang

Der Leistungsbedarf wichtiger Arbeitsmaschinen zur Halmfutttergewinnung

(Fortsetzung)

Hans K ü h l b o r n

Institut für Betriebstechnik der Forschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL)
Braunschweig-Völkenrode

3. Zugleistungsbedarf

Neben dem Leistungsbedarf an der Zapfwelle müssen Fahrwiderstände von Schlepper, Arbeitsmaschine und eines eventuell angehängten Wagens überwunden werden. Hinzu kommen Verluste durch Getriebe und Reifen, die mit der Verwendung der entsprechenden Wirkungsgrade Berücksichtigung finden.

Da die Beanspruchung der Antriebswellen stets dynamisch verläuft, ist dem mittleren Moment ein schwingender Anteil überlagert. Um derartige Belastungsspitzen überwinden zu können, muß ein gewisser Sicherheitsabstand der mittleren Leistung von der Vollastleistung vorhanden sein, da die dynamischen Anteile nicht vollständig von der kinetischen Energie des Schwungrades gedeckt werden können, ohne daß es zu merklichen Drehzahlschwankungen kommt. Diesem Umstand kann durch die Einführung des Motorbelastungsgrades λ Rechnung getragen werden, der nach MEYER [12] als das Verhältnis der erforderlichen Leistung zur verfügbaren Dauerleistung definiert ist. Da dieser Wert von der Schwungradgröße abhängt, wird λ für verschiedene Maschinen unterschiedliche Werte annehmen. Ein größeres Schwungradmoment führt zu einer besseren Motorauslastung.

3.1. Berechnung der Zugleistung

Die Zugleistung N_Z ist durch die notwendige Zugkraft Z (kp) und die Geschwindigkeit v_F (km/h) bestimmt:

$$N_Z = \frac{Z \cdot v_F}{270} \quad (\text{PS}) \quad (1)$$

Um diese Zugkraft zur Verfügung zu haben, muß eine entsprechende Triebkraft durch den Reifen übertragen werden. Schließlich ist noch auf die Berücksichtigung der Verluste durch das zwischengeschaltete Getriebe hinzuweisen.

3.2. Berechnung der Motorleistung

Die erwähnten Übertragungsformen erfolgen mit unterschiedlich großen Wirkungsgraden. Die vom Motor zur Verfügung stehende Leistung muß wesentlich größer sein als

die Antriebsleistung der Arbeitsmaschine, und zwar um den Betrag, der durch die Leistungsübertragung in Form von Verlusten verloren geht. Die erforderliche Motorleistung muß jedoch bekannt sein, um Aussagen über die zweckmäßige Schleppergröße für die verschiedenen landwirtschaftlichen Produktionsverfahren machen zu können. Diese Werte dienen als Kalkulationsunterlagen und müssen auf verschiedene Verhältnisse abgestimmt sein.

3.2.1. Berechnung des Laufwirkungsgrades

Der Übertragungswirkungsgrad eines Triebrades ist als das Verhältnis von nutzbarer zu zugeführter Leistung definiert.

$$\eta_T = \frac{T \cdot v_1}{M \cdot \omega} = \frac{T \cdot v_1}{U \cdot v_0} \quad (2)$$

Mit der Definition des Schlupfes

$$\sigma = \frac{v_0 - v_1}{v_0} = 1 - \frac{v_1}{v_0} \quad (3)$$

läßt sich η_T weiter umformen:

$$\eta_T = \frac{T}{U} (1 - \sigma) \quad (4)$$

Diese Beziehung hat in dieser Form nur für den Triebreifen Gültigkeit. Für den hinterradangetriebenen Schlepper muß der Rollwiderstand der Vorderräder beachtet werden. Sofern man gleiche Verhältnisse an den Vorderrädern beziehungsweise den Hinterrädern annimmt, erweitert sich der Wirkungsgrad für den hinterradangetriebenen Schlepper zu:

$$\eta_L = \frac{T - R_v}{U \pi} (1 - \sigma) \quad (5)$$

oder

$$\eta_L = \frac{T - R_v}{T + R_h} (1 - \sigma) \quad (6)$$

Durch die Berücksichtigung des Schleppergewichtes kann die Gleichung in dimensionslosen Größen ausgedrückt werden:

$$\eta_L = \frac{\kappa - c \cdot \varrho_v}{\kappa + \varrho_h} (1 - \sigma) \quad (7)$$

mit

$$\kappa = \frac{T}{G_s} \quad (8)$$

$$\varrho_{v,h} = \frac{R_{v,h}}{A} \quad (9)$$

und

$$c = \frac{A}{G_s} \quad (10)$$

Der Wirkungsgrad ist also abhängig von der Triebkraftkurve und den vorliegenden Schlepperdaten.

Bezeichnungen

A	Vordere Achslast des Schleppers
B	Hintere Achslast des Schleppers
A'	Vordere Achslast des Schleppers bei Berücksichtigung durch die Arbeitsmaschine
B'	Hintere Achslast des Schleppers bei Berücksichtigung durch die Arbeitsmaschine
C	Zusatzbelastung durch die Arbeitsmaschine an der Ackerschiene
C'	Zusatzbelastung durch die Arbeitsmaschine an der Anhängerkupplung
G	Gewicht der Arbeitsmaschine und des Wagens
G _E	Entlastung der Hinterachse durch die Arbeitsmaschine
G _{FH}	Gewicht des Exakt-Feldhäckslers
G _{Hä}	Gewicht des Schlegelhäckslers
G _{HD}	Gewicht der Hochdruckpresse
G _{La}	Gewicht der Ladung
G _{ND}	Gewicht der Niederdruckpresse
G _S	Gewicht des Schleppers
G _{Schw}	Gewicht des Schwades je lfd. Meter
G _W	Gewicht des Wagens
M	Moment des Triebrades
N _{mot}	Gesamtmotorleistung
N _{mot L}	Motorleistung infolge des Laufwerkwirkungsgrades
N _{mot Z}	Motorleistung infolge des Zugwiderstandes
N _{mot ZW}	Motorleistung infolge der Zapfwellenleistung
N _Z	Zugleistung
Q	Gesamtgutdurchsatz
Q _{tr}	Durchsatzanteil an Trockenmasse
R _h	Rollwiderstand der Hinterachse
R _v	Rollwiderstand der Vorderachse
T	Triebkraft des Triebrades
U	Umfangskraft des Triebrades
Z	Zugkraft
a	Radstand
d	Verhältnis von Vorder- zu Hinterachslast
v _F	Fahrgeschwindigkeit
v ₀	Konstruktionsgeschwindigkeit
v ₁	Schlupfbehafte Geschwindigkeit
η _G	Getriebewirkungsgrad
η _L	Laufwerkwirkungsgrad
η _{mech}	Mechanischer Wirkungsgrad
η _T	Triebadwirkungsgrad
κ	Triebkraftbeiwert
λ _Z	Motorauslastungsgrad infolge Zugkraft
λ _{ZW}	Motorauslastungsgrad infolge der Zapfwelle
ϑ _h	Rollwiderstandsbeiwert, hinten
ϑ _v	Rollwiderstandsbeiwert, vorn
σ	Schlupf des Triebrades
ω	Winkelgeschwindigkeit des Triebrades

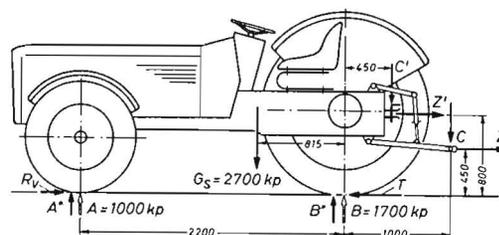


Bild 17: Wichtige Daten und Abmessungen eines Standardschleppers der 60 PS-Klasse

3.2.2. Getriebewirkungsgrad

Der Getriebewirkungsgrad η_G kann nicht berechnet werden, sondern wird durch Versuche ermittelt. Da er in der Regel von vielen Faktoren abhängt, wird er für die folgenden Berechnungen zu $\eta_G = 0,85$ angenommen. Die wirklichen Werte der verschiedenen Schleppergetriebe dürften nicht wesentlich von dem angegebenen abweichen.

3.2.3. Gesamtwirkungsgrad

Der Laufwerkwirkungsgrad und der Getriebewirkungsgrad werden zum mechanischen Gesamtwirkungsgrad η_{mech} zusammengefaßt. Er liegt in der Größenordnung von $\eta_{mech} = 0,5$.

Die vom Motor abgegebene Leistung wird durch die berechnete Zugleistung N_Z und den Gesamtwirkungsgrad η_{mech} bestimmt.

$$N_{motZ} = \frac{N_Z}{\eta_{mech}} \quad (11)$$

mit

$$\eta_{mech} = \eta_L \cdot \eta_G \quad (12)$$

3.2.4. Berechnungsbeispiele

Anhand eines Berechnungsbeispiels läßt sich die Ermittlung der erforderlichen Motorleistung zur Überwindung eines bestimmten Zugwiderstandes mit Hilfe der bestehenden Beziehungen sehr übersichtlich darstellen. Dazu wird ein hinterradangetriebener Standardschlepper verwendet, dessen wichtigste Abmessungen und Gewichte in Bild 17 eingetragen sind.

Die Stütz- und Zugkräfte sind von den jeweiligen Arbeitsmaschinen abhängig und beeinflussen die wirkenden Achslasten. Sie führen häufig zu einer Zusatzbelastung der Hinterachse bei einer gleichzeitigen Entlastung der Vorderachse.

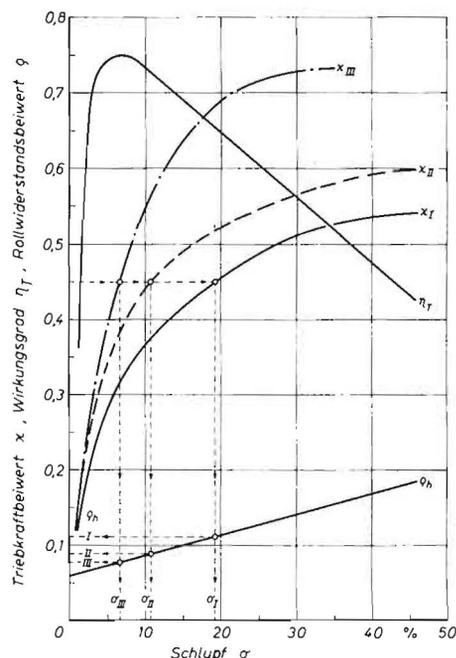


Bild 18: Kennlinien eines Triebrades

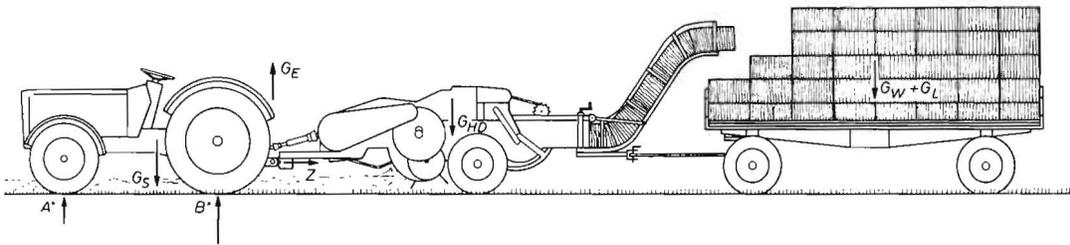


Bild 19: Wirkende Kräfte eines Schlepperzuges mit Hochdruckpresse

Der Zugwiderstand Z berechnet sich analog der Gleichung (9) mit dem auf den Rädern wirkenden Gewicht sowie dem Rollwiderstandsbeiwert ϱ .

$$Z = \varrho \cdot G \quad (13)$$

Nach der Bestimmung der Triebkraft mit Gleichung (14)

$$T = \varrho \cdot (A^* + G) \quad (14)$$

kann der Triebkraftbeiwert κ mit Hilfe der Beziehung (8) berechnet werden. Die Ermittlung der Triebkraft nach Gleichung (14) setzt allerdings voraus, daß der Rollwiderstandsbeiwert der Schleppervorderräder gleich dem der Räder von Arbeitsmaschine und Ackerwagen beziehungsweise Häcksel- oder Ladewagen ist.

Die erforderliche Bestimmung des Schlupfes wird über die Triebkraftkurven in Bild 18 durchgeführt.

Je nach den vorliegenden Bodenverhältnissen werden die Kurven κ_I bis κ_{III} benutzt. Die zugehörigen Schlupf- beziehungsweise Rollwiderstandsbeiwerte können abgelesen und zur Berechnung des Laufwerkwirkungsgrades η_L nach Gleichung (7) verwendet werden. Durch Berücksichtigung der Beziehung (11) ergibt sich die Motorleistung.

Die obenangeführten Triebkraftkurven κ_i wurden aus zahlreichen Versuchen am Einzelreifen als Funktion des Schlupfes σ_i ermittelt. Die Versuchsergebnisse auf trockenem Stoppfeld werden durch die Kurve κ_I charakterisiert [13]. Reifen der Größe AS 14-30, wie sie bei Standardschleppern in der Leistungsklasse von 60 PS sehr häufig Verwendung finden, kamen zum Einsatz.

Da die Triebkraftkurven von verschiedenen Parametern abhängen, wurden zwei weitere in Bild 18 eingetragene Kurven für die Berechnung verwendet [14; 15]. Dadurch konnten unterschiedliche Bodenverhältnisse berücksichtigt werden.

3.2.4.1. Hochdruckpresse

Beim Laden mit einer Hochdruckpresse treten die in Bild 19 eingetragenen Kräfte auf. Bemerkenswert ist die Richtung der Stützkraft G_E , die aufgrund vieler Einsatzversuche [16] bestimmt wurde. Diese Entlastung der Hinterachse bei einer gleichzeitigen Zusatzbelastung der Vorderachse führt zu ungünstigen Übertragungsverhältnissen.

Mit den nachfolgenden Annahmen können die Achslasten und erforderlichen Beiwerte berechnet werden.

Annahmen:

$$\begin{aligned} C &= 100 \text{ kp} \\ G_{HD} &= 1400 \text{ kp} \\ G_W &= 1500 \text{ kp} \\ \varrho &= 0,1 \end{aligned}$$

Berechnung der Achslasten:

Die Berechnung der Achslasten erfolgt nach folgenden Beziehungen:

$$B^* : \sum M_{i(A)} = 0 \quad (15)$$

$$A^* : \sum M_{i(B)} = 0 \quad (16)$$

Anstelle von Gleichung (16) kann auch Gleichung (17) verwendet werden:

$$A^* : \sum Y_i = 0 \quad (17)$$

Mit den sich ändernden Ladegewichten müssen die Achslasten jeweils neu berechnet werden.

Nach Bild 17 und den Gleichungen (15) und (17) ergeben sich die Achslasten zu:

$$\begin{aligned} G_{La} &= 0, C = 0 \\ \sum M_{i(A)} &= G_s \cdot 1385 - B^* \cdot 2200 + Z \cdot 450 - C \cdot 3200 = 0 \quad (15a) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B^* &= G_s \cdot \frac{1385}{2200} + Z \cdot \frac{450}{2200} - C \cdot \frac{3200}{2200} \\ \text{mit } Z &= \varrho \cdot (G_{HD} + G_W) = \varrho \cdot G \\ B^* &= 1759 \quad (18) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum Y_i &= A^* + B^* - G_s + C = 0 \quad (17) \\ A^* &= G_s - (B^* + C) \\ A^* &= 941 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} G_{La} &= 1000, C = 100: \\ B^* &= G_s \cdot \frac{1385}{2200} + Z \cdot \frac{450}{2200} - C \cdot \frac{3200}{2200} \quad (15a) \\ B^* &= 1635 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A^* &= G_s - (B^* + C) \quad (17) \\ A^* &= 965 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} G_{La} &= 2000, C = 100 \\ B^* &= (1700 - 145) + Z \cdot \frac{450}{2200} \\ B^* &= 1655 \\ A^* &= 945 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} G_{La} &= 3000, C = 100 \\ B^* &= 1555 + Z \cdot \frac{450}{2200} \\ B^* &= 1675 \\ A^* &= 925 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} G_{La} &= 4000, C = 100 \\ B^* &= 1555 + Z \cdot \frac{450}{2200} \\ B^* &= 1695 \\ A^* &= 905 \end{aligned}$$

Mit diesen berechneten Achslasten kann die erforderliche Zugleistung ermittelt werden, deren Werte in Tafel 1 zusammengefaßt und in Bild 20 a und 20 b dargestellt sind.

Die Zugleistungen wurden für eine Fahrgeschwindigkeit von $v_F = 8 \text{ km/h}$ berechnet. Der Einfluß einer Steigung blieb außerdem unberücksichtigt. Diese zutreffenden Annahmen sind gültig für alle weiteren Arbeitsmaschinen, deren Berechnung in der vorgezeigten Weise erfolgt.

3.2.4.2. Scheibenmäherwerke

Die Scheibenmäherwerke werden in die Dreipunkt-Hydraulik der Schlepper angebaut. Da das Gewicht der Mäherwerke sich teils auf dem Boden abstützt, ist die Zugbelastung der Hinterachse schwer zu ermitteln. Aus der Notwendigkeit heraus weitere Annahmen treffen zu müssen, empfiehlt es sich,

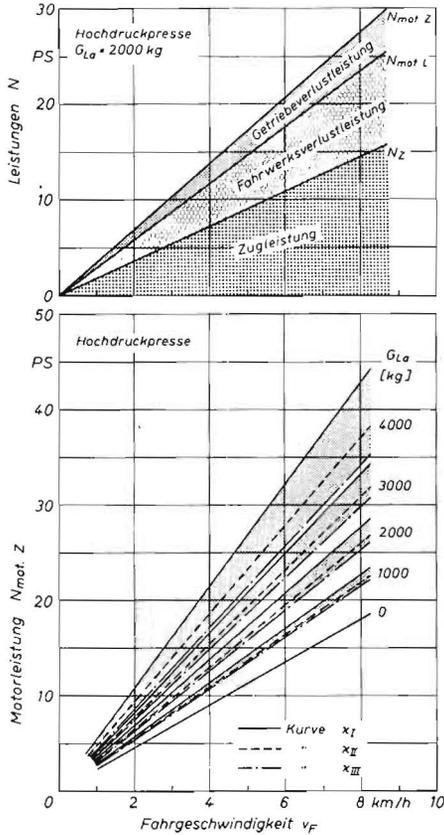


Bild 20 (oben): Aufteilung der Gesamtmotorleistung in Zugleistung, Fahrwerksverlustleistung und Getriebeverlustleistung; (unten): Erforderliche Motorleistung beim Antrieb von Hochdruckpressen mit angehängten Wagen zur Überwindung unterschiedlicher Zugwiderstände infolge veränderter Ladegewichte

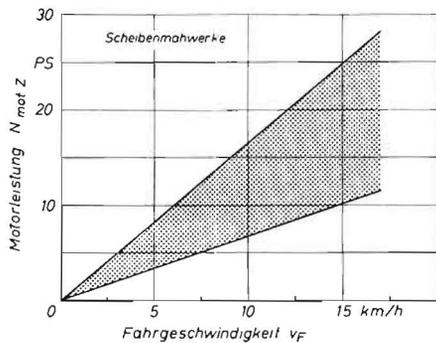


Bild 21: Erforderliche Motorleistung zur Überwindung der Zugwiderstände von Scheibenmähwerken in Abhängigkeit der Fahrgeschwindigkeit

für die weiteren Berechnungen $\eta_{\text{mech}} = 0,5$ einzusetzen. Die somit erforderliche Motorleistung zur Überwindung der Zugwiderstände ist in Bild 21 als Funktion der Fahrgeschwindigkeit aufgetragen.

3.2.4.3. Ladewagen

Ladewagen werden vorwiegend als Einachsfahrzeuge ausgeführt. Etwa $1/8$ des Gewichtes stützt sich dabei an der Anhängerkupplung des Schleppers ab. Dieses Zusatzgewicht belastet die Schlepperhinterachse und entlastet die Schleppevorderachse, was insgesamt zu günstigeren Übertragungsverhältnissen führt. Mit den in Bild 22 eingezeichneten Kräften und den nachfolgenden Annahmen werden die Achs-

Tafel 1: Berechnung der erforderlichen Motorleistung zur Überwindung verschiedener Zugwiderstände infolge unterschiedlicher Ladegewichte beim Antrieb von Hochdruckballenpressen

Maschine: Hochdruckpresse																
Ladegewicht	0	1000	2000	3000	4000	5000										
A*	941	965	945	925	905											
B*	1759	1635	1655	1675	1695											
C	0	-100	-100	-100	-100											
d = A*/B*	0,535	0,59	0,57	0,55	0,53											
G	2900	3900	4900	5900	6900											
Z = q · G	290	390	490	590	690											
T = q(A* + G)	384	487	585	683	781											
x = T/B*	0,218	0,298	0,354	0,408	0,461											
Kurve	I	II	III													
σ	0,03	0,02	0,018	0,06	0,037	0,03	0,09	0,052	0,041	0,14	0,078	0,055	0,21	0,12	0,07	
ρ _n	0,068	0,065	0,062	0,075	0,07	0,068	0,084	0,074	0,07	0,135	0,082	0,075	0,119	0,091	0,079	
η _z	0,556	0,567	0,57	0,6	0,625	0,63	0,616	0,658	0,67	0,6	0,666	0,69	0,558	0,648	0,703	
η _{mech}	0,474	0,482	0,485	0,51	0,531	0,535	0,524	0,56	0,57	0,51	0,566	0,587	0,475	0,55	0,598	
N _Z	8,6	8,6	8,6	11,6	11,6	11,6	14,5	14,5	14,5	17,5	17,5	17,5	20,4	20,4	20,4	
N _{mot L}	15,4	15,2	15,1	19,3	18,5	18,3	23,5	22	21,6	29,2	26,3	25,4	36,5	31,5	29	
N _{mot Z}	18,2	17,9	17,8	22,7	21,8	21,6	27,7	25,9	25,5	34,3	30,9	29,8	43	37,1	34,1	

Tafel 2: Berechnung der erforderlichen Motorleistung zur Überwindung verschiedener Zugwiderstände infolge unterschiedlicher Ladegewichte von Ladewagen

Maschine: Ladewagen																
Ladegewicht	0	1000	2000	3000	4000	5000										
A*	909	852	795	738	682											
B*	1991	2173	2355	2537	2718											
C	200	325	450	575	700											
d = A*/B*	0,456	0,392	0,338	0,291	0,251											
G	1400	2275	3150	4025	4900											
Z = q · G	140	228	315	403	490											
T = q(A* + G)	231	313	395	477	558											
x = T/B*	0,116	0,144	0,168	0,188	0,206											
Kurve	I	II	III													
σ	0,01	0,01	0,01	0,013	0,01	0,01	0,017	0,012	0,012	0,022	0,015	0,015	0,026	0,017	0,017	
ρ _n	0,063	0,063	0,063	0,064	0,063	0,063	0,065	0,063	0,063	0,066	0,064	0,064	0,067	0,065	0,065	
η _z	0,387	0,387	0,387	0,498	0,502	0,502	0,565	0,573	0,573	0,612	0,622	0,622	0,645	0,656	0,656	
η _{mech}	0,329	0,329	0,329	0,423	0,427	0,427	0,48	0,487	0,487	0,52	0,528	0,528	0,548	0,558	0,558	
N _Z	4,15	4,15	4,15	6,75	6,75	6,75	9,35	9,35	9,35	12	12	12	14,5	14,5	14,5	
N _{mot L}	10,7	10,7	10,7	13,6	13,4	13,4	16,5	16,3	16,3	19,6	19,3	19,3	22,5	22,1	22,1	
N _{mot Z}	12,6	12,6	12,6	16	15,8	15,8	19,5	19,2	19,2	23,1	22,7	22,7	26,5	26	26	

Tafel 3: Berechnung der erforderlichen Motorleistung zur Überwindung verschiedener Zugwiderstände infolge unterschiedlicher Ladegewichte beim Antrieb von Niederdruckballenpressen

Maschine: Niederdruckpresse																
Ladegewicht	0	1000	2000	3000	4000	5000										
A*	953	977	957	936	916											
B*	1747	1623	1643	1664	1684											
C	0	-100	-100	-100	-100											
d = A*/B*	0,545	0,602	0,58	0,56	0,54											
G	2300	3300	4300	5300	6300											
Z = q · G	230	330	430	530	630											
T = q(A* + G)	325	428	526	624	722											
x = T/B*	0,186	0,263	0,32	0,375	0,429											
Kurve	I	II	III													
σ	0,022	0,015	0,015	0,043	0,028	0,025	0,07	0,042	0,035	0,108	0,062	0,047	0,168	0,092	0,06	
ρ _n	0,066	0,064	0,064	0,072	0,068	0,066	0,079	0,072	0,07	0,080	0,076	0,072	0,105	0,085	0,075	
η _z	0,508	0,51	0,51	0,58	0,595	0,602	0,61	0,64	0,648	0,614	0,664	0,68	0,585	0,663	0,7	
η _{mech}	0,431	0,435	0,435	0,493	0,506	0,511	0,518	0,544	0,55	0,521	0,565	0,578	0,497	0,563	0,595	
N _Z	6,82	6,82	6,82	9,8	9,8	9,8	12,7	12,7	12,7	15,7	15,7	15,7	18,7	18,7	18,7	
N _{mot L}	13,4	13,3	13,3	16,9	16,5	16,3	20,8	19,9	19,6	25,6	23,7	23,1	32	28,2	26,7	
N _{mot Z}	15,9	15,7	15,7	19,9	19,4	19,2	24,5	23,4	23,1	30	27,8	27,2	37,6	33,2	31,4	

lasten und erforderlichen Beiwerte zur Ermittlung des Laufwerkwirkungsgrades berechnet.

Annahmen: $C = f(G_{La})$
 $G_W = 1600$
 $C_0 = 200 (G_{La} = 0)$
 $G_{La} = 0 \dots 4000$
 $q = 0,1$

Berechnung der Achslasten:

B* berechnet sich nach Gleichung (15).

$$B^* = G_s \cdot \frac{1385}{2200} + Z \cdot \frac{800}{2200} + C \cdot \frac{2650}{2200}$$

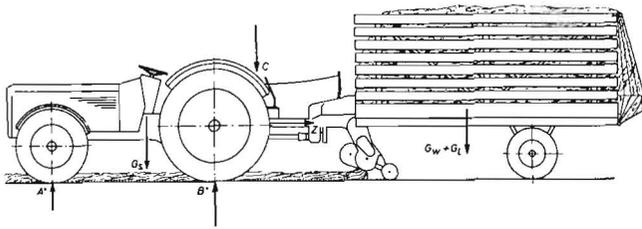


Bild 22: Wirkene Kräfte am Schlepper mit einem Ladewagen

$$B^* = 1700 + \frac{4}{11} Z + 1,2 \cdot C$$

$$A^* = G_s - (B^* - C)$$

$$G_{La} = 0; C = 200, Z = 140$$

$$B^* = 1700 + 51 + 240 = 1991$$

$$A^* = 2700 - (1991 - 200) = 909$$

$$G_{La} = 1000; C = 325, Z = 228$$

$$B^* = 1700 + 83 + 390 = 2173$$

$$A^* = 2700 - (2173 - 325) = 852$$

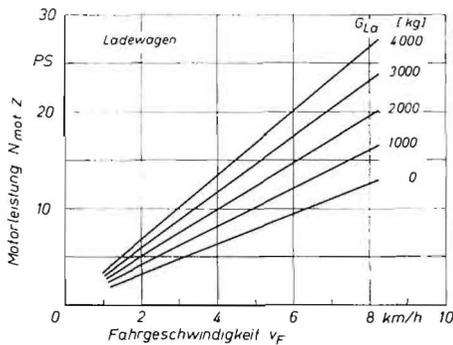


Bild 23: Erforderliche Motorleistung zur Überwindung der Zugwiderstände infolge unterschiedlicher Ladegewichte beim Antrieb von Ladewagen

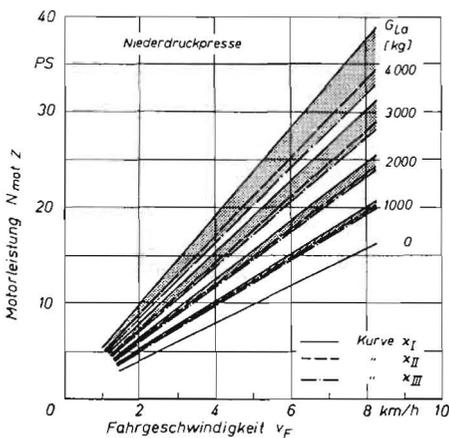


Bild 24: Erforderliche Motorleistung zur Überwindung der Zugwiderstände infolge unterschiedlicher Ladegewichte beim Antrieb von Niederdruckpressen mit angehängten Wagen

$$G_{La} = 2000; C = 450, Z = 315$$

$$B^* = 1700 + 115 + 540 = 2355$$

$$A^* = 2700 - (2355 - 450) = 795$$

$$G_{La} = 3000; C = 575, Z = 403$$

$$B^* = 1700 + 147 + 690 = 2537$$

$$A^* = 2700 - (2537 - 575) = 738$$

$$G_{La} = 4000; C = 700, Z = 490$$

$$B^* = 1700 + 178 + 840 = 2718$$

$$A^* = 2700 - (2718 - 700) = 682$$

Auf der Grundlage dieser Daten werden die Leistungen ermittelt und in Tafel 2 zusammengefaßt. Die Darstellung der Ergebnisse in Bild 23 läßt kaum einen Einfluß der unterschiedlichen Triebkraftkurven α_i erkennen. Infolge der sehr kleinen α -Werte unterscheiden sich die einzelnen Kurven nur sehr wenig voneinander, so daß die abzulesenden σ - und ϱ -Werte keine wesentlichen Veränderungen ermöglichen.

3.2.4.4. Niederdruckpressen

Aufgrund ähnlicher Kräfteverhältnisse bei Niederdruck- und Hochdruckpressen wird zunächst bei einem Ladegewicht $G_{La} = 0$ eine ausgewogene Stellung der Niederdruckpresse vorausgesetzt. Die auf der Ladeschurre befindlichen Ballen werden allerdings eine nach oben gerichtete, die Schlepperhinterachse entlastende Kraft hervorrufen, die Anlaß zu ungünstigeren Übertragungsverhältnissen gibt.

Annahmen: $C = 0$ bzw. 100
 $G_{HD} = 800$
 $G_W = 1500$
 $\varrho = 0,1$

In Tafel 3 sind die berechneten Leistungen zusammengefaßt und in Bild 24 aufgetragen. Die niedrigen Wirkungsgrade η_{mech} führen zu hohen Motorleistungen, die zur Überwindung der großen Fahrwiderstände erforderlich sind.

3.2.4.5. Exaktfeldhäcksler

Bei Exaktfeldhäckslern tritt zwar eine Stützkraft am Anhängepunkt auf, die unabhängig von der Beladung ist, aber aufgrund ihrer geringen Größe vernachlässigt werden kann. Eine Erhöhung der möglichen Zuladung auf $G_{La} = 5000$ kg erscheint aufgrund ausgeladener Häckslerwagen, die bis 30 m^3 Laderaum aufweisen, und infolge des hohen Gewichtes von feuchtem Gut gerechtfertigt.

Mit den nachstehenden Annahmen werden die Achslasten berechnet.

Annahmen: $C = 0$
 $G_{FH} = 1000$
 $G_W = 2000$
 $G_{La} = 0 \dots 5000$
 $\varrho = 0,1$

Die in Tafel 4 zusammengetragenen und in Bild 25 dargestellten Motorleistungen zur Überwindung der Zugwiderstände liegen noch höher als die vergleichbaren Werte der Niederdruckpressen.

3.2.4.6. Maishäcksler

Da die Maishäcksler vorwiegend in der Dreipunkt-Hydraulik angebracht sind und sich seitlich vom Schlepper auf dem Boden abstützen, wird die Beeinflussung der Achslasten durch die Häcksler vernachlässigt.

Eine Berechnung der Achslasten kann außerdem unterbleiben, da die Ergebnisse bereits im vorhergehenden Abschnitt enthalten sind. Aufgrund des Gewichtes der Exaktfeldhäcksler von $G_{FH} = 1000$ kg entspricht die Zugleistung bei einer Wagenladung von $G_{La} = 5000$ kg bei einem Maishäcksler gleich der Zugleistung mit einem Exaktfeldhäcksler bei $G_{La} = 4000$ kg. Das Aufstellen einer Tafel erübrigt sich somit. In Bild 26 ist die erforderliche Motorleistung N_{motZ} dargestellt.

3.2.4.7. Schlegelfeldhäcksler

Bei den Schlegelfeldhäckslern — entsprechend den Exaktfeldhäckslern — tritt ebenfalls keine nennenswerte Stützkraft am Anhängepunkt auf, so daß die Achslasten mit folgenden Werten berechnet werden.

Annahmen: $C = 0$
 $G_{H\ddot{a}} = 600$
 $G_W = 2000$
 $G_{La} = 0 \dots 4000$
 $\varrho = 0,1$

Die in Tafel 5 zusammengefaßten und in Bild 27 dargestellten Ergebnisse weisen auf große erforderliche Motorleistungen hin, um auftretende Zugwiderstände zu überwinden. Allerdings treten Fahrgeschwindigkeiten von $v_F = 8$ km/h beim Arbeiten mit Häckslern kaum auf. Die häufigsten Arbeitsgeschwindigkeiten liegen in der Größenordnung von $v_F = 3 \dots 4$ km/h.

3.3. Diskussion der Ergebnisse

Die Berechnung der Zugleistung verschiedener Arbeitsmaschinen läßt erkennen, daß die erforderliche Motorleistung zur Überwindung der Zugwiderstände große Werte annehmen kann. Die Leistung ändert sich nach Gleichung (1) linear mit der Geschwindigkeit. Als Parameter treten das Ladegewicht G_{La} sowie die Werte, die die Triebkraftkurven κ_i beeinflussen, auf. Die in Bild 18 dargestellten Triebkraftkurven, die unter anderem verschiedene Bodenverhältnisse, Luftdruck- und Gewichtsangaben beinhalten, führen zu unterschiedlichen Wirkungsgraden. Die Berücksichtigung der ungünstig verlaufenden Kurve κ_I erfordert gegenüber den Kurven κ_{II} und κ_{III} erhöhten Leistungen. Größere Differenzen machen sich jedoch erst bei höheren Ladegewichten bemerkbar, die infolge der angestiegenen Zugwiderstände zu größeren Schlupfwerten σ_i führen. Lediglich beim Lade-

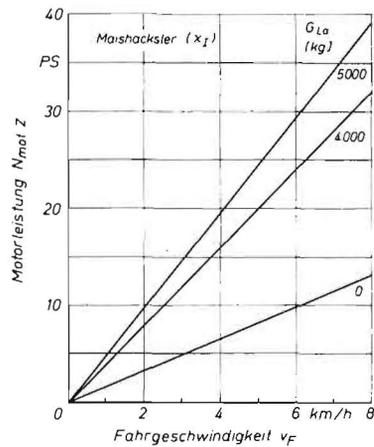


Bild 26: Erforderliche Motorleistung zur Überwindung der Zugwiderstände infolge unterschiedlicher Ladegewichte beim Antrieb von Mähhäckslern mit angehängten Wagen

wagen liegen die Verhältnisse so günstig, daß bis zu einem Ladegewicht von $G_{La} = 4000$ kg kaum ein Unterschied auftritt. Diese besonders günstigen Bedingungen sind auf die Zusatzbelastung der Schlepperhinterachse bei einer gleichzeitigen Entlastung der Schleppervorderachse durch eine entsprechende Stützlast des Ladewagens zurückzuführen. Dennoch entstehen gerade in diesem Fall bei kleinen G_{La} -Werten die ungünstigsten Wirkungsgrade η_L . Infolge der sehr niedrigen Schlupfwerte befinden wir uns links vom Maximum der Wirkungsgradkurve in Bild 18, die zwar nur Gültigkeit für den Einzelreifen besitzt, die aber analog für den Schlepper verläuft, mit dem Unterschied, daß die ganze Kurve etwas zu größeren Schlupfwerten σ_i verschoben ist.

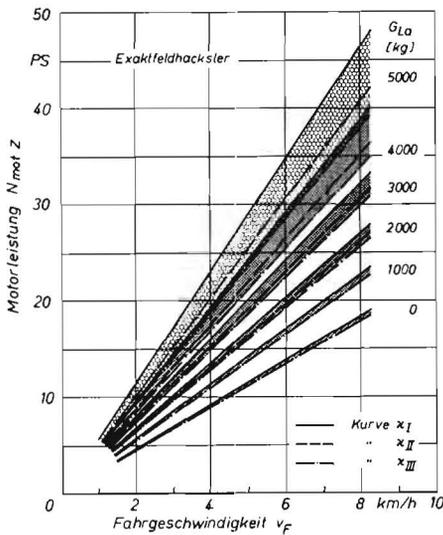


Bild 25: Erforderliche Motorleistung zur Überwindung der Zugwiderstände infolge unterschiedlicher Ladegewichte beim Antrieb von Exaktfeldhäckslern mit angehängtem Wagen

Tafel 4: Berechnung der erforderlichen Motorleistung zur Überwindung verschiedener Zugwiderstände infolge unterschiedlicher Ladegewichte beim Antrieb von Exaktfeldhäckslern

Maschine: Exaktfeldhäcksler																		
Ladegewicht	0			1000			2000			3000			4000			5000		
A*	891			855			818			782			746			710		
B*	1809			1845			1882			1918			1954			1990		
C	0			0			0			0			0			0		
d = A*/B*	0,492			0,464			0,435			0,408			0,382			0,357		
G	3000			4000			5000			6000			7000			8000		
Z + q · G	300			400			500			600			700			800		
F · q(A* · G)	389			486			582			678			775			871		
x · T/B*	0,217			0,263			0,309			0,355			0,397			0,438		
Kurve	I	II	III															
σ	0,03	0,02	0,018	0,043	0,028	0,025	0,062	0,04	0,032	0,09	0,052	0,041	0,135	0,075	0,052	0,182	0,1	0,062
η_n	0,068	0,065	0,065	0,072	0,068	0,068	0,077	0,07	0,069	0,084	0,074	0,07	0,096	0,08	0,074	0,108	0,087	0,077
η_L	0,571	0,585	0,585	0,62	0,637	0,643	0,645	0,671	0,679	0,651	0,687	0,704	0,63	0,696	0,722	0,602	0,69	0,732
η_{max}	0,485	0,496	0,496	0,526	0,542	0,546	0,549	0,57	0,577	0,554	0,585	0,598	0,535	0,594	0,615	0,512	0,586	0,622
N_Z	8,9	8,9	8,9	11,9	11,9	11,9	14,8	14,8	14,8	17,8	17,8	17,8	20,8	20,8	20,8	23,8	23,8	23,8
$N_{mot L}$	15,6	15,2	15,2	19,2	18,7	18,5	23	22,1	21,8	27,4	26	25,3	33	29,9	28,8	39,5	34,5	32,5
$N_{mot Z}$	16,4	17,9	17,9	22,7	21,9	21,8	27	26	25,7	32,2	30,4	29,8	36,9	35,1	33,9	46,5	40,6	38,2

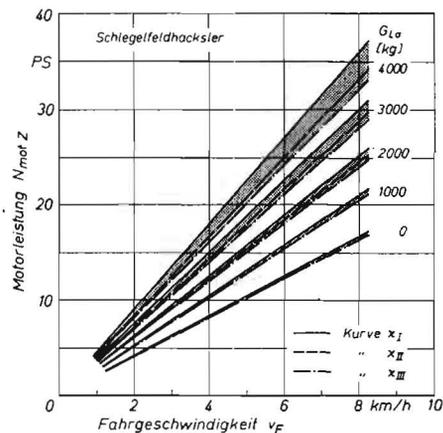


Bild 27: Erforderliche Motorleistung zur Überwindung der Zugwiderstände infolge unterschiedlicher Ladegewichte beim Antrieb von Schlegelfeldhäckslern mit angehängtem Wagen

Tafel 5: Berechnung der erforderlichen Motorleistung zur Überwindung verschiedener Zugwiderstände infolge unterschiedlicher Ladegewichte beim Antrieb von Schlegelfeldhäckslern

Maschine: Schlegelfeldhäcksler																		
Ladegewicht	0			1000			2000			3000			4000			5000		
A*	905			869			833			796			760			724		
B*	1795			1831			1867			1904			1940			1976		
C	0			0			0			0			0			0		
d = A*/B*	0,504			0,475			0,447			0,418			0,392			0,366		
G	2600			3600			4600			5600			6600			7600		
Z + q · G	260			360			460			560			660			760		
F · q(A* · G)	351			447			543			640			736			832		
x · T/B*	0,196			0,244			0,291			0,336			0,38			0,424		
Kurve	I	II	III	I	II	III												
σ	0,024	0,016	0,016	0,037	0,025	0,022	0,055	0,035	0,029	0,082	0,051	0,04	0,115	0,065	0,048			
η_n	0,067	0,064	0,064	0,070	0,067	0,066	0,075	0,07	0,068	0,082	0,074	0,071	0,091	0,078	0,072			
η_L	0,542	0,552	0,552	0,6	0,614	0,618	0,635	0,657	0,665	0,645	0,68	0,694	0,64	0,695	0,718			
η_{max}	0,46	0,469	0,469	0,51	0,521	0,525	0,54	0,558	0,565	0,549	0,579	0,59	0,544	0,591	0,61			
N_Z	7,7	7,7	7,7	10,7	10,7	10,7	13,6	13,6	13,6	16,6	16,6	16,6	19,6	19,6	19,6			
$N_{mot L}$	14,2	13,9	13,9	17,8	17,4	17,3	21,4	20,7	20,5	25,7	24,4	23,9	30,6	28,2	27,3			
$N_{mot Z}$	16,7	16,4	16,4	21	20,5	20,4	25,2	24,4	24,1	30,2	28,7	28,1	36	33,2	32,1			

4. Gesamtleistungsbedarf

Aufgrund der verschiedenen Einsatzverhältnisse empfiehlt es sich, den Gesamtleistungsbedarf sowohl in Tafeln als auch in Bildern zusammenzufassen. Es werden dabei gesondert die Motorleistung infolge der Zapfwellenarbeiten $N_{mot ZW}$ und die Motorleistung infolge der Zugarbeiten $N_{mot Z}$ aufgeführt, die addiert die Gesamtleistung des Motors ergeben.

Da zur Leistungsübertragung durch die Zapf- und Gelenkwelle nur eine Zahnradstufe bis zur Meßstelle zwischengeschaltet ist, wird ein Wirkungsgrad von $\eta_{ZW} = 0,98$ angenommen.

Auch die anfangs erwähnten Motorauslastungsgrade λ_i müssen berücksichtigt werden. Aufgrund der zahlreichen Differenzierungen, die durch die verschiedenen Maschinenarten und -ausführungen auftreten, wird einheitlich ein $\lambda_i = 0,9$ verwendet. Das bedeutet eine zehnpromtente Sicherheit neben der kinetischen Energie des Schwungrades, die Spitzenbelastungen zu überwinden.

Die Gesamtleistung N_{mot} berechnet sich damit nach folgender Beziehung:

$$N_{mot} = \frac{N_{ZW}}{\eta_{ZW} \cdot \lambda_{ZW}} + \frac{N_{mot Z}}{\lambda_Z} \quad (19)$$

4.1. Scheibenmähwerke

Im folgenden wird keine Unterscheidung der verschiedenen Maschinenbauarten vorgenommen. Die mittlere Arbeitsbreite liegt etwa bei 1,4 m. Als unterschiedliche Gutarten wurden Wiesengras mit starkem Unterwuchs sowie Feldgras und Luzerne berücksichtigt.

In Tafel 6 sind die wichtigsten Werte zusammengefaßt worden. Zur Berechnung der Leistungen wurden folgende Annahmen getroffen:

Tafel 6: Erforderliche Motorleistung beim Mähen mit Scheibenmähwerken

Gutart	Arbeitsgeschw. km/h	Flächenleistung ha/h	Erf. Motorleistung $N_{mot Z}$ (PS)	Erf. Motorleistung $N_{mot ZW}$ (PS)	Motorleistung N_{mot} (PS)	
					$N_{mot ZW max}$	$N_{mot ZW min}$
Feldgras, Luzerne	4	0,55	3 - 7	4,5 - 11,5	14,5 - 18,5	7,5 - 11,5
	8	1,1	5 - 13	5,5 - 13,5	18,5 - 26,5	10,5 - 18,5
	12	1,65	8 - 20	7,5 - 16	24 - 36	15,5 - 27,5
	14	1,95	9 - 23	8 - 17	26 - 40	17 - 31
Wiesengras	4	0,55	3 - 7	13,5 - 21,5	24,5 - 28,5	16,5 - 20,5
	8	1,1	5 - 13	15,5 - 24	29 - 37	20,5 - 28,5
	12	1,65	8 - 20	18 - 26	34 - 46	28 - 38
	14	1,95	9 - 23	18,5 - 27	36 - 50	27,5 - 41,5

Tafel 7: Erforderliche Motorleistung zum Antrieb von Ladewagen

Ausrüstung	Gutart	Arbeitsgeschw. V_p (km/h)	Durchsatz Q (t/h)	Motorleistung $N_{mot ZW}$ (PS)	Motorleistung $N_{mot ZW}$ (PS)	Motorleistung N_{mot} (PS)
ohne Schneidwerk	Heu, 17% TM	2	16	3 - 7	4	7 - 11
		4	32	6 - 13,5	6,5	12,5 - 20
		6	48	9,5 - 20	8	17,5 - 28
		8	64	12,5 - 26,5	10,5	23 - 37
	Heu, 85% TM	2	4	3 - 4	3	6 - 7
		4	8	6 - 8	5,5	11,5 - 13,5
		6	12	9,5 - 12	7,5	17 - 19,5
		8	16	12,5 - 16	9	21,5 - 25
mit Schneidwerk	Grüngut, 17% TM	2	16	3 - 7	6,5	9,5 - 13,5
		4	32	6 - 13,5	10	16 - 23,5
		6	48	9,5 - 20	14	23,5 - 34
		8	64	12,5 - 26,5	18	30,5 - 44,5
	Heu, 85% TM	2	4	3 - 4	5,5	8,5 - 9,5
		4	8	6 - 8	8,5	14,5 - 16,5
		6	12	9,5 - 12	12	21,5 - 24
		8	16	12,5 - 16	15	27,5 - 31

$$\eta_g = 0,85$$

$$\eta_{ZW} = 0,98$$

$$\lambda_{ZW} = \lambda_Z = 0,9$$

Die TM-Gehalte lagen für Feldgras und Luzerne bei 20 %, für Wiesengras bei 25 %. Die erforderliche Gesamtmotorleistung wurde sowohl mit den oberen als auch mit den unteren Bereichsgrenzen gebildet.

Die in Bild 28 dargestellten Kurven beinhalten allerdings nur die maximal zu erwartenden Motorleistungen. Die ferner für die hohen Geschwindigkeiten erforderlichen Leistungswerte sind nicht unbedingt als Bemessungsgrundlage anzusehen, da derartige große Geschwindigkeiten kaum realisiert werden können. Infolge der stets vorhandenen Bodenunebenheiten kann der Schlepperfahrer aufgrund der auftretenden Schwingungen diese Belastungen nicht über längere Zeit ertragen.

4.2. Ladewagen

Bei den Ergebnissen des Ladewagens wird sowohl zwischen Grün- und Trockengut als auch zwischen einem Laden mit und ohne Schneiden unterschieden. Der Leistungsbedarf der Zapfwelle ist für diese verschiedenen Einsatzmöglichkeiten unterschiedlich hoch. Ebenso wird die veränderliche Beladung des Ladewagens berücksichtigt, die die Zugleistung in entscheidendem Maße beeinflussen kann. Unter Berücksichtigung dieser Einflußfaktoren sind die erforderlichen Leistungswerte in Tafel 7 zusammengefaßt.

Als Annahme wird vorausgesetzt, daß ein Ladegewicht von $G_{La} = 1000$ kg für Trockengut und ein Ladegewicht von $G_{La} = 4000$ kg für Grüngut bei Vollausschüttung des Wagens vorliegt.

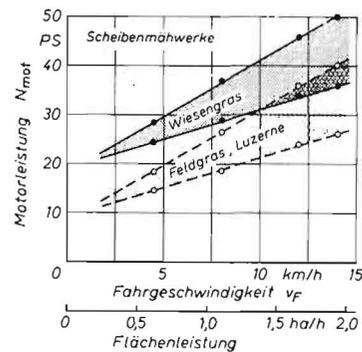


Bild 28: Erforderliche Gesamtmotorleistung zum Antrieb von Scheibenmähwerken bei unterschiedlichen Gutarten

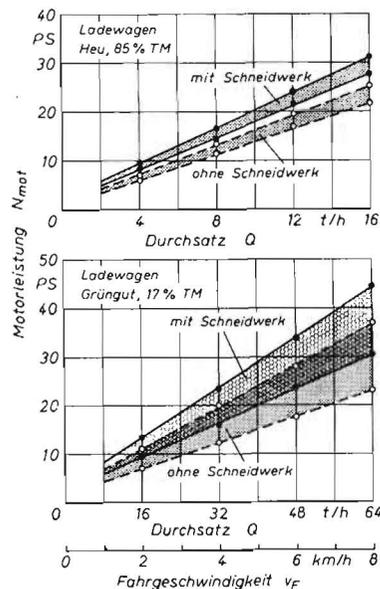


Bild 29: Erforderliche Gesamtmotorleistung zum Antrieb von Ladewagen mit und ohne Schneidwerk (oben: Heu; unter: Grüngut)

Zusätzlich beinhalten die Ergebnisse durch die Verwendung verschiedener Triebkraftkurven unterschiedliche Übertragungsverhältnisse. Die angegebenen Werte vermitteln einen Eindruck, inwieweit der Leistungsbereich streuen kann. Die unteren Werte $N_{mot Z}$ beziehen sich auf ein Ladegewicht $G_{La} = 0$ kg, während die oberen Werte für den ausgelasteten Ladewagen Gültigkeit besitzen. Dieser größte Leistungsbedarf wird jedoch nur kurzzeitig am Ende des Beladens benötigt.

Die Ergebnisse der Versuche mit Heu (85 % TM) und die beim Laden von Grüngut (17 % TM) werden in Bild 29 wiedergegeben.

In beiden Fällen wird zum Laden mit gleichzeitigem Schneiden mehr Energie benötigt als zum Laden ohne Schneiden.

4.3. Niederdruckpressen

Die Niederdruckpressen werden vorwiegend zum Bergen von trockenem Heu und Stroh eingesetzt. Nur selten wird angetrocknetes Halmgut auf dem Feld gepreßt.

Zur Auslastung des Wagens wurde das maximale Ladegewicht von $G_{La} = 2000$ kg angenommen. Die unteren Leistungswerte $N_{mot Z}$ gelten für den Beginn des Ladens ($G_{La} = 0$ kg), während die oberen Werte das Arbeiten bei vollem Wagen berücksichtigen.

Der Durchsatz kann sowohl durch Änderung der Arbeitsgeschwindigkeit als auch durch Variierung der Schwadstärke beeinflusst werden. In Tafel 8 ist unter anderem der Einfluß unterschiedlicher Schwadstärke wiedergegeben.

Die Berechnung der Motorleistung N_{mot} wurde sowohl mit den oberen als auch mit den unteren Werten der Zapfwellenleistung $N_{mot ZW}$ durchgeführt. Wie sehr das Schwadgewicht die erforderliche Motorleistung beeinflussen kann, geht zunächst aus Bild 30 hervor, in dem die Ergebnisse für ein Arbeiten bei einem Schwadgewicht von $G_{Schw} = 1,5$ kg/m beziehungsweise 3 kg/m dargestellt sind.

Tafel 8: Erforderliche Motorleistung zum Antrieb von Niederdruckpressen mit angehängten Wagen

Gut-art	Schwad-gewicht (kg/m)	Fahr-geschw. v_f (km/h)	Durchsatz (t/h)		Motorleistung (PS)			
			Q	Q_{tr}	$N_{mot Z}$	$N_{mot ZW}$	$N_{mot ZW max}$	$N_{mot ZW min}$
Heu, 80 % TM 85 - 105 kg/m ³	1,5	3	4,5	3,6	6 - 9,5	2,5 - 5	11 - 14,5	8,5 - 12
		5	7,5	6	10 - 15,5	4,5 - 8	18 - 23,5	14,5 - 20
		8	12	9,6	15,5 - 24,5	8 - 13,5	29 - 38	23,5 - 32,5
	3	2	6	4,8	4 - 6,5	3,5 - 6,5	10,5 - 13	7,5 - 10
		3	9	7,2	6 - 9,5	6 - 9,5	15,5 - 19	12 - 15,5
		4	12	9,6	8 - 12,5	8 - 13,5	21,5 - 26	16 - 20,5
Heu, 65 % TM 80 - 105 kg/m ³	2,75	2	5,5	3,57	4 - 6,5	3,5 - 7,5	11,5 - 14	7,5 - 10
		4	11,2	7,3	8 - 12,5	6,5 - 12,5	20,5 - 25	14,5 - 19
		5	14	9,1	10 - 15,5	7,5 - 16	25,5 - 31,5	17,5 - 23
	2	2	4	3,3	4 - 6,5	4,5 - 6,5	10,5 - 13	8,5 - 11
		4	8	6,65	8 - 12,5	8,5 - 13	21 - 25,5	16,5 - 21
		8	12	10	12 - 18,5	13,5 - 21,5	33,5 - 40	25,5 - 32

Tafel 9: Erforderliche Motorleistung zum Antrieb von Hochdruckpressen mit angehängten Wagen

Gut-art	Schwad-gewicht (kg/m)	Fahr-geschw. (km/h)	Durchsatz (t/h)		Leistung (PS)			
			Q	Q_{tr}	$N_{mot Z}$	$N_{mot ZW}$	$N_{mot ZW max}$	$N_{mot ZW min}$
Heu, 160-180 kg/m ³ ; Stroh, 80 - 100 kg/m ³	2	2	4	3,2	4,5 - 7	3,5 - 10,5	15 - 17,5	8 - 10,5
		4	8	6,4	9 - 14	12 - 21	30 - 35	21 - 26
		6	12	9,6	13,5 - 21	20 - 30,5	44 - 51,5	33,5 - 41
		3	4,5	3,6	6,5 - 10,5	4,5 - 12	18,5 - 22,5	11 - 15
		5	7,5	6	11,5 - 17,5	11 - 19	30,5 - 38,5	22,5 - 28,5
		6,5	9	7,2	13,5 - 21	13,5 - 22,5	36 - 43,5	27 - 34,5
	3	2	12	9,6	18 - 27,5	20 - 30,5	48,5 - 58	38 - 47,5
		2	6	4,8	4,5 - 7	8 - 16	20,5 - 23	12,5 - 15
		3	9	7,2	6,5 - 10,5	13,5 - 22,5	29 - 33	20 - 23,5
		4	12	9,6	9 - 14	20 - 30,5	39,5 - 44,5	29 - 34

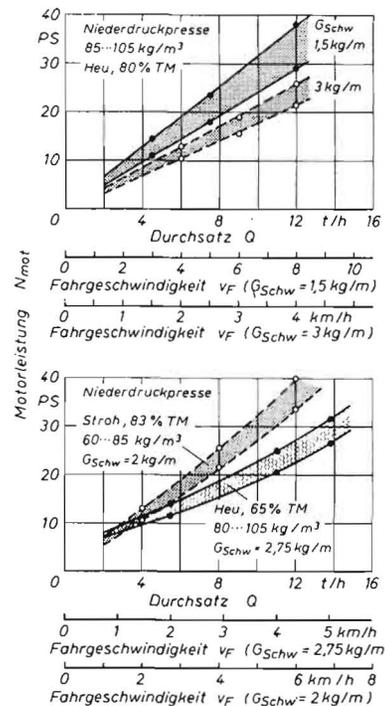


Bild 30: Erforderliche Gesamtmotorleistung zum Antrieb von Niederdruckpressen bei unterschiedlichen Schwadgewichten und Gutarten

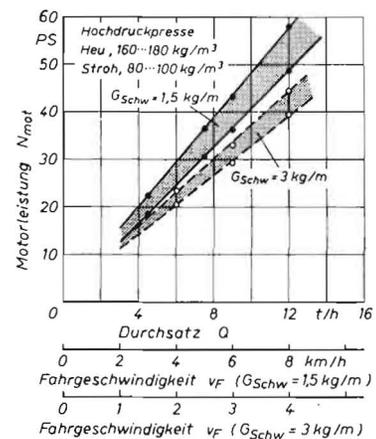


Bild 31: Erforderliche Gesamtmotorleistung zum Antrieb von Hochdruckpressen bei unterschiedlichen Schwadgewichten und Gutarten

Bei höheren Schwadgewichten kann zum Erreichen eines bestimmten Durchsatzes die Arbeitsgeschwindigkeit und damit auch der erforderliche Leistungsbedarf gesenkt werden. In Bild 30 b sind die Meßergebnisse beim Pressen von Heu und Stroh wiedergegeben.

4.4. Hochdruckpressen

Mit den Hochdruckpressen werden vorwiegend Heu und Stroh in trockenem, lagerungsfähigem Zustand geborgen. In der Regel wird Heu mit einem höheren Raumgewicht zusammengereßt als Stroh. Als maximales Ladegewicht wird $G_{La} = 2000$ kg angesetzt. Um den Einfluß der Schwadstärke zeigen zu können, wird angenommen, daß die in Bild 9 zusammengefaßten Leistungsdaten (ermittelt für ein durchschnittliches Schwadgewicht von $G_{Schw} = 2$ kg/m) auch für Schwadgewichte von $G_{Schw} = 1,5$ beziehungsweise 3 kg/m Gültigkeit besitzen.

Die Berücksichtigung verschiedener Schwadstärken in Tafel 9 und Bild 31 läßt erkennen, daß eine Erhöhung derselben bei gleichzeitiger Verringerung der Fahrgeschwindigkeit den Leistungsbedarf von 58 auf 44,5 PS zurückgehen läßt.

Bei der Bergung von feuchtem Gut kann die Leistung eventuell noch etwas anwachsen, da infolge eines größeren Ladegewichtes die Zugleistung weiter zunimmt.

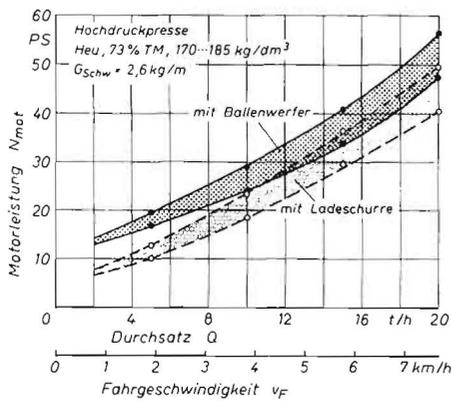


Bild 32: Erforderliche Gesamtmotorleistung zum Antrieb einer Hochdruckpresse mit Ballenwerfer beziehungsweise Ladeschurre

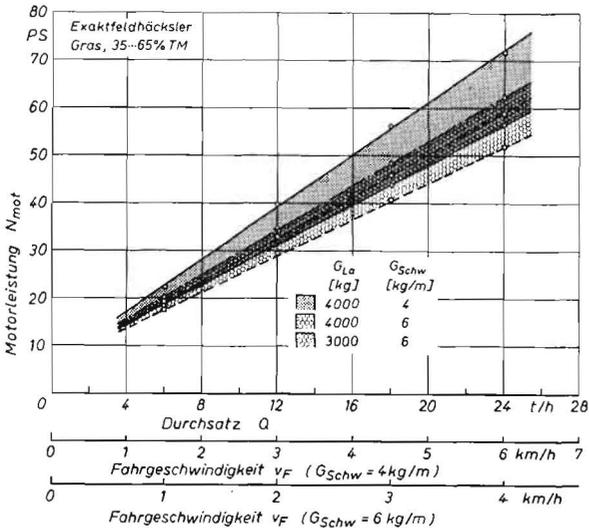
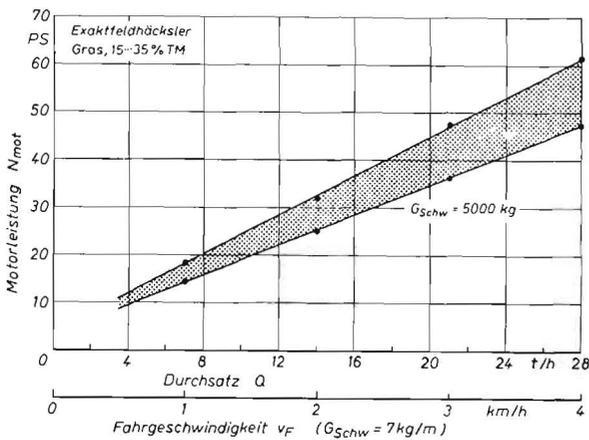


Bild 33: Erforderliche Gesamtmotorleistung zum Antrieb von Exaktfeldhäckslern bei unterschiedlichen Ladegewichten und Trockenmassegehalten

Als Sonderausrüstung soll die Verwendung eines Ballenwerfers zur Einsparung der sonst erforderlichen Ladepersonen behandelt werden. Der Ballenwerfer ist an eine sehr leistungsfähige Presse angebaut, die Gutdurchsätze von über 20 t/h zuläßt. Zum Vergleich dazu wird dieselbe Presse mit Ladeschurre einer Berechnung unterzogen. Dabei ist zu berücksichtigen, daß mit dem Ballenwerfer die angenommene Ausladung des Wagens mit 2000 kg nicht ganz erreicht wird.

Mit den aus Bild 10a entnommenen Werten lassen sich die Berechnungen der erforderlichen Motorleistung durchführen, deren Ergebnisse in Tafel 10 zu finden sind. Die Überschneidung der beiden Bereiche in Bild 32 sollte Anlaß genug sein, die sowieso sehr knappen Arbeitskräfte durch Verwendung eines Ballenwerfers einzusparen und dafür

einen geringen Mehrbedarf an Motorleistung in Kauf zu nehmen.

4.5. Exaktfeldhäcksler

Da der Exaktfeldhäcksler — ebenso wie die Pressen — das Gut aus dem Schwad mit einer Pick-up Vorrichtung aufnimmt, läßt sich der Durchsatz sowohl durch die Fahrgeschwindigkeit als auch durch Änderung des Schwadgewichtes ändern.

Das Ladegewicht richtet sich jeweils nach dem Feuchtezustand des Gutes. Mit sehr nassem Gut kann die Tragfähigkeit der Häckselwagen voll ausgenutzt werden. Für trockeneres Gut wird das Ladegewicht bei ausgeladenem Wagen kleiner. Der Einfluß des Ladegewichtes wird insofern berücksichtigt, als in der zweiten Spalte der Tafel 11 unterschiedliche Werte Verwendung finden. Wegen der kleineren Zugleistung bei geringerer Auslastung des Wagens wird die Gesamtmotorleistung ebenfalls sinken. Außerdem wird der Einfluß unterschiedlicher Schwadstärke berücksichtigt.

Schließlich ist noch zu erwähnen, daß der Berechnung der Motorleistung prinzipiell die ungünstig verlaufende Triebkraftkurve κ_1 aus Bild 18 zugrunde gelegt wurde.

Die Darstellungen in den Bildern 33 und 34 lassen erkennen, daß unter Umständen hohe Leistungsreserven des Schleppermotors zur Verfügung stehen müssen, will man

Tafel 10: Erforderliche Motorleistung zum Antrieb einer Hochdruckpresse mit Ballenwerfer bzw. Ladeschurre und angehängtem Wagen

Gut-art	Schw.gew. (kg/m)	Aus-rüstung	Fahrgeschw. (km/h)	Durchsatz (t/h)		Motorleistung (PS)		
				Q	Q _{tr}	N _{mot Z}	N _{mot ZW}	N _{mot}
Heu, 73% TM, 175-185 kg/m³	2,6	Ballenwerfer	1,92	5	3,65	4,5 - 7	12,5	17 - 19,5
			3,85	10	7,3	8,5 - 13,5	15,5	24 - 29
			5,8	15	10,9	13 - 20	21	34 - 41
			7,7	20	14,6	17,5 - 26,5	30	47,5 - 56,5
			1,92	5	3,65	4,5 - 7	5,7	10,2 - 12,7
		Ladeschurre	3,85	10	7,3	8,5 - 13,5	10	18,5 - 23,5
			5,8	15	10,9	13 - 20	16,5	29,5 - 36,5
			7,7	20	14,6	17,5 - 26,5	23	40,5 - 49,5

Tafel 11: Erforderliche Motorleistung zum Antrieb von Exaktfeldhäckslern mit angehängten Wagen

Gut-art	Ladegewicht (kg)	Schwadgewicht (kg/m)	Fahrgeschw. (km/h)	Durchsatz (t/h)	Motorleistung (PS)				
					N _{mot Z}	N _{mot ZW}	N _{mot ZW max}	N _{mot ZW min}	
Gros, 15-35% TM	5000	7	1	7	2 - 6	8 - 12,5	14,5 - 18,5	10 - 14	
			2	14	4,5 - 11,5	15 - 20,5	25 - 32	19,5 - 26,5	
			3	21	7 - 17,5	20,5 - 29,5	36,5 - 47	27,5 - 38	
			4	28	9 - 23	26 - 38,5	47,5 - 61,5	35 - 49	
	Gros, 35-65% TM	4000	4	1,5	6	3,5 - 7,5	11,5 - 15	18,5 - 22,5	15 - 19
				3	12	7 - 14,5	19,5 - 25	32 - 39,5	26,5 - 34
				4,5	18	10 - 22	26 - 34	44 - 56	36 - 48
				6	24	13,5 - 29	34 - 43	56,5 - 72	47,5 - 63
		3000	6	1	6	2,5 - 5	11,5 - 15	17,5 - 20	14 - 16,5
				2	12	4,5 - 10	19,5 - 25	29,5 - 35	24 - 29,5
				3	18	7 - 14,5	26 - 34	41 - 48,5	33 - 40,5
				4	24	9 - 19,5	34 - 43	52 - 62,5	47 - 53,5
Gros, 65-80% TM		2000	3	1	6	2,5 - 4	11,5 - 15	17,5 - 19	14 - 15,5
				2	12	4,5 - 8	19,5 - 25	29,5 - 33	24 - 27,5
				3	18	7 - 12	26 - 34	41 - 46	31 - 38
				4	24	9 - 16	34 - 43	52 - 59	43 - 50
	1000	3	1	3	2,5 - 3,5	16 - 24	26,5 - 27,5	18,5 - 19,5	
			2	6	4,5 - 7	20,5 - 29,5	34 - 36,5	25 - 27,5	
			3	9	7 - 10,5	26 - 37,5	44,5 - 48	33 - 36,5	
			4	12	9 - 13,5	30,5 - 45	54 - 58,5	39,5 - 44	

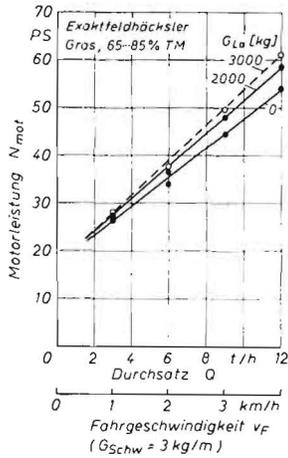


Bild 34: Erforderliche Gesamtmotorleistung zum Antrieb von Exaktfeldhäckslern bei unterschiedlichen Ladegewichten und hohen Trockenmassegehalten

die Kapazität des Häckslers voll ausnutzen. Des weiteren ist auf den Mehrbedarf an Zugleistung hinzuweisen, der bei Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit zugunsten einer Senkung des Schwadgewichtes auftritt.

4.6. Maishäcksler

Die Maishäcksler sind vorwiegend Spezialhäcksler, die als Anbaumaschinen seitlich am Schlepper befestigt sind. Die in Tafel 12 und in Bild 35 dargestellten Ergebnisse zeigen den Einfluß der Wagenladung und des Schwadgewichtes.

Die berechneten, hohen Werte veranschaulichen sehr deutlich, daß in den meisten Fällen die erforderliche Motorleistung zu gering veranschlagt wird. Der in Prospekten angegebene Leistungsbedarf von Arbeitsmaschinen beinhaltet nicht die Verluste die im Schlepper auftreten und die anhand der vorher berechneten Wirkungsgrade beträchtliche Größen annehmen.

4.7. Schlegelfeldhäcksler

Schlegelfeldhäcksler können aufgrund ihrer Funktion das Gut sowohl aus stehendem Bestand als auch aus dem Schwad aufnehmen. Der Durchsatz ist bei der Aufnahme aus stehendem Bestand nur durch Änderung der Fahrgeschwindigkeit zu regeln. Bei der Aufnahme aus dem Schwad kann außerdem die Veränderung der Schwadstärke zu unterschiedlichen Ladeleistungen führen. Unter diesen Prämissen sind die erforderlichen Leistungswerte in Tafel 13 zusammengefaßt.

Die Berücksichtigung aller möglichen Einflußfaktoren würde zu einer Überladung der Tafel führen und die Übersichtlichkeit beeinträchtigen. Deshalb wurden nur die Ergebnisse der Bilder 14a, 14c, 16a und 16b verwendet.

Tafel 12: Erforderliche Motorleistung zum Antrieb von Anbau-Maishäckslern mit angehängten Wagen

Gut-art	Lade-gewicht (kg)	Schwad-gewicht (kg/m)	Fahr-geschw. (km/h)	Durch-satz (t/h)	Motorleistung (PS)			
					N _{mot Z}	N _{mot ZW}	N _{mot ZW max}	N _{mot ZW min}
Silo - Mais, 25 % TM	4000	2,2	2,3	5	4 - 9	9 - 16	20 - 25	13 - 18
			4,1	9	7 - 16	15 - 26	33 - 42	22 - 31
			5,5	12	9 - 22	18 - 30	39 - 52	27 - 40
			7,5	16,5	12,5 - 30	24 - 38	50,5 - 68	36,5 - 54
			2,3	5	4 - 11	9 - 16	20 - 27	13 - 20
			4,1	9	7 - 20	15 - 26	33 - 46	22 - 35
	5000	3,2	5,5	12	9 - 26,5	18 - 30	39 - 56,5	27 - 44,5
			7,5	16,5	12,5 - 36,5	24 - 38	50,5 - 74,5	36,5 - 60,5
			1,9	6	3 - 9	10 - 17	20 - 26	13 - 19
			3,75	12	6 - 18	18 - 30	36 - 48	24 - 36
			5,6	18	9 - 27	26 - 41	50 - 68	35 - 53
			7,5	24	12,5 - 36,5	32 - 46	58,5 - 82,5	44,5 - 68,5

Wie aus den Bildern 14a und 14c hervorgeht, ist der Einfluß der Gutfeuchte unwesentlich, weil die Motorleistung N_{mot} als eine Funktion des Durchsatzes Q und nicht als eine Beziehung des Trockenmassedurchsatzes Q_{tr} berechnet wird. Deshalb ist in Tafel 13 nur das Ladegewicht variiert worden, da bei feuchtem, aus dem Bestand aufgenommenen Gut die Tragfähigkeit des Wagens ausgenutzt wird, nicht aber bei trockenem Gut.

Schließlich wird das Schwadgewicht geändert, um auch hierdurch den Unterschied in den Leistungsanforderungen aufzuzeigen.

Die Ergebnisse in Bild 36 lassen erkennen, daß zum Antrieb der Schlegelfeldhäcksler ebenso Schlepper hoher Leistungen zur Verfügung stehen müssen.

5. Diskussion der Berechnungen

Es bestehen zahlreiche Möglichkeiten, die erforderlichen Antriebsleistungen der Arbeitsmaschinen zur Halmfuttergewinnung zu beeinflussen. Neben den unterschiedlichen Bodenverhältnissen, die die Kraftübertragung durch den Reifen beeinträchtigen können, sind es die Gutarten, die Bauweise der Maschinen, die Fahrgeschwindigkeiten, die Schwadgewichte sowie das Ladegewicht. Diese Faktoren können auf die Berechnung der erforderlichen Motorleistung großen Einfluß nehmen. Trotzdem erscheint es sinnvoll, Angaben über den Leistungsbedarf der wichtigsten Arbeitsmaschinen zu machen, da sie sowohl den Modellberechnungen als Unterlagen dienen als auch von der Beratung als Anhaltswerte verwendet werden können.

In Bild 37 sind für die besprochenen Arbeitsmaschinen zur Halmfuttergewinnung die höchsten Leistungswerte aufge-

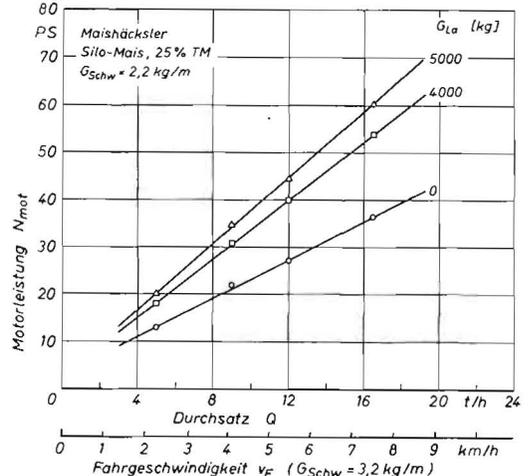
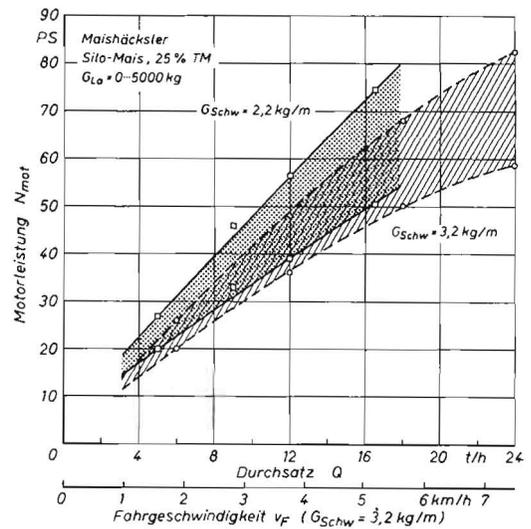


Bild 35: Erforderliche Gesamtmotorleistung zum Antrieb von Maisfeldhäckslern bei unterschiedlichen Bestandsdichten

Tafel 13: Erforderliche Motorleistung zum Antrieb von Schlegelfeldhäckslern mit angehängten Wagen

Gutart	Ladegewicht (kg)	Schwadgewicht (kg/m)	Bestand (t/ha)	Arbeitsbreite (m)	Fahrtgeschw. (km/h)	Durchsatz (t/h)	Motorleistung (PS)				
							N _{mot Z}	N _{mot ZW}	N _{mot ZW max}	N _{mot ZW min}	
Feldgras, Weidegras, Wiesengras, Luzerne, Klee-Gerste 15 - 30 % TM	4000	aus stehendem Bestand aufgenommen	27,3	1,1	2	6	4 - 9	15 - 25	29 - 34	19 - 24	
					3	9	6 - 13,5	20 - 30	36 - 43,5	26 - 33,5	
					4	12	8,5 - 18	24 - 34	42,5 - 52	32,5 - 42	
					5	15	10 - 22,5	27 - 37	47 - 59,5	37 - 49,5	
					6,67	20	13,5 - 30	32 - 43	56,5 - 73	46,5 - 63	
				1,4	1,57	6	3,5 - 7	22 - 28	31,5 - 35	25,5 - 29	
				2,36	9	5 - 10,5	25 - 35	40 - 50,5	30 - 35,5		
				3,15	12	6,5 - 14,5	27,5 - 37,5	44 - 52	34 - 42		
				3,93	15	8 - 17,5	30 - 40	46 - 57,5	38 - 47,5		
				5,25	20	11 - 23,5	35 - 45	56 - 68,5	36 - 58,5		
Feldgras, Weidegras 30 - 50 % TM	4000	3	27,3	1,1	2	6	4 - 9	15 - 22	26 - 31	19 - 24	
					3	9	6 - 13,5	20 - 26	32 - 39,5	26 - 33,5	
					4	12	8,5 - 18	23 - 30	38,5 - 48	31,5 - 41	
					5	15	10 - 22,5	27 - 33	43 - 55,5	37 - 49,5	
					6,67	20	13,5 - 30	32 - 43	56,5 - 73	46,5 - 63	
	3000	4	1,1	und	1,4	1	4	2 - 4,5	13 - 20	22 - 24,5	15 - 17,5
	2					8	4 - 9	18 - 24	28 - 33	22 - 27	
	3					12	6 - 13,5	23 - 30	36 - 43,5	29 - 36,5	
	4					16	8,5 - 18	27 - 35	43,5 - 53	35,5 - 45	
	5					20	11 - 23,5	35 - 45	56 - 68,5	36 - 58,5	
4000	4	1,1	und	1,4	2	5	4 - 6,5	14 - 21	25 - 27,5	18 - 20,5	
					3	7,5	6 - 9,5	17 - 23	29 - 32,5	23 - 26,5	
					4	10	8 - 12,5	20 - 27	35 - 39,5	28 - 32,5	
					5	12,5	10 - 16	23 - 30	40 - 46	31 - 39	
					2000	2,5	1,1	und	1,4	2	6
3	9	6 - 11,5	20 - 26	32 - 37,5	26 - 31,5						
4	12	8 - 15	23 - 30	38 - 45	31 - 38						
5	15	10 - 18	27 - 33	43 - 52	37 - 46						
6,67	20	13,5 - 30	32 - 43	56,5 - 73	46,5 - 63						

tragen, die bei ungünstigen Verhältnissen zu erwarten sind. Motorleistungen von 40 PS werden danach von Scheibenmähwerken, Niederdruckpressen und Ladewagen gefordert.

Wesentlich mehr Energie verlangen die übrigen Maschinen als Antriebsleistung. Der Leistungsbedarf der Hochdruckpressen trifft für die Bergung von trockenem Gut zu ($G_{La} = 2000$ kg). Sofern feuchteres Gut geladen werden soll, muß mit einem höheren Leistungsbedarf gerechnet werden. Das feuchtere Gut würde das Ladegewicht anwachsen lassen und dadurch zu einem höheren Zugwiderstand führen.

Der Leistungsbedarf der Feldhäcksler liegt noch beträchtlich über dem der bisher besprochenen Maschinen. Hierbei werden zur Auslastung der Maschinenkapazität Leistungsansprüche an die Antriebsmaschine gestellt, die aufgrund der vorhandenen Schlepper vielfach nicht zur Verfügung stehen. Allerdings muß berücksichtigt werden, daß diese Bereichsgrenzen für die volle Ausladung des Wagens zutreffen, also für das Ende des Beladens gültig sind. In der letzten Phase des Beladens kann die Arbeitsgeschwindigkeit gesenkt werden, um Energie einzusparen. Ferner kommt hinzu, daß

diese Werte für sehr ungünstig arbeitende Maschinen zutreffen.

Das bereits erwähnte Ladegewicht kann dazu beitragen, daß der Leistungsanspruch gegenüber den anderen Arbeitsmaschinen sehr angestiegen ist. Das mit den Häckslern geerntete Gut ist größtenteils sehr feucht, so daß die Tragfähigkeit der Wagen ausgelastet, in vielen Fällen sogar überschritten wird. Dieses Mehrgewicht, das sich als Rollwiderstand auf die Zugleistung auswirkt, läßt den Gesamtleistungsbedarf anwachsen.

Abschließend muß festgestellt werden, daß der Gesamtleistungsbedarf vieler Arbeitsmaschinen sehr starke Schlep-

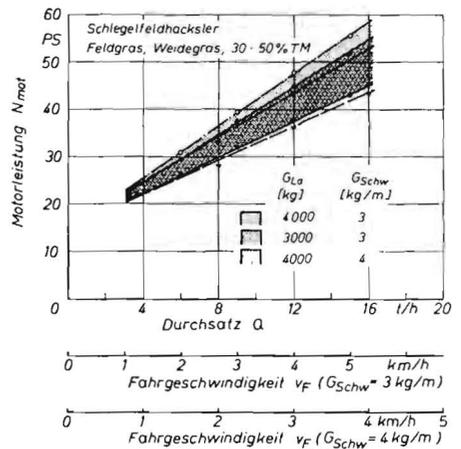
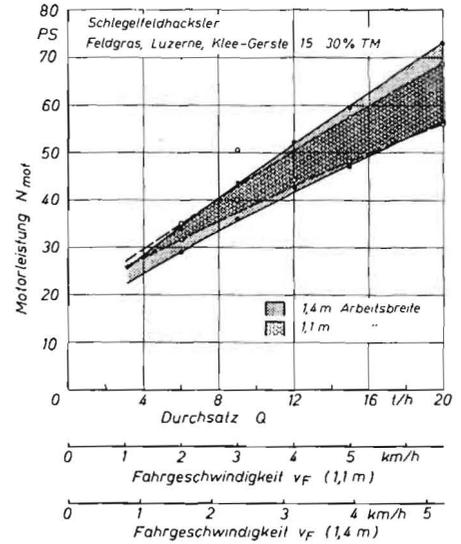
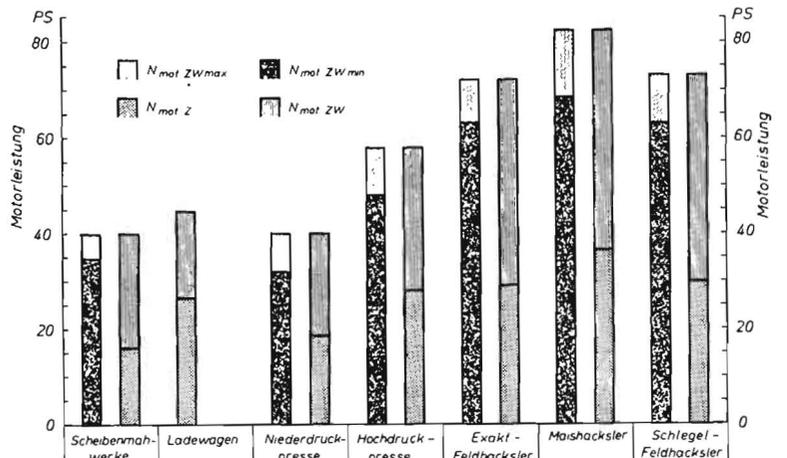


Bild 36: Erforderliche Gesamtmotorleistung zum Antrieb von Schlegelfeldhäckslern bei unterschiedlichen Ladegewichten und Trockenmassegehalten

Bild 37: Aufteilung der Gesamtmotorleistung bei den verschiedenen Arbeitsmaschinen



per voraussetzt, soll die Maschinenkapazität voll ausgenutzt werden. Ein wesentlicher Grund hierfür ist der sehr schlechte Wirkungsgrad der Kraftübertragung durch die Reifen.

6. Zusammenfassung

In dem vorliegenden Beitrag ist versucht worden, den Gesamtleistungsbedarf der wichtigsten Arbeitsmaschinen zur Halmfuttermittelgewinnung aus Messungen und Berechnungen zusammenzustellen und hieraus über die Wirkungsgrade die erforderliche Schlepperleistung zu ermitteln. Dazu wurden zunächst die Leistungen an der Zapfwelle unter Berücksichtigung wichtiger Parameter dargestellt und diskutiert, um für die spätere Berechnung der Gesamtleistung richtige Annahmen treffen zu können. In diesem Zusammenhang blieben die Heuwerbungsmaschinen unberücksichtigt, weil deren Leistungsbedarf gegenüber dem der anderen Maschinen gering ist.

Die erforderliche Berechnung der Zugleistung wurde durch die Darstellung der theoretischen Grundlagen eingeleitet. Unter anderem wurde an einem Beispiel der Berechnungsgang aufgezeigt. Bezüglich der Zugleistung sind die beste-

henden Beziehungen der Kraftübertragung mit Reifen durch die Benutzung verschiedener Triebkraftkurven variiert worden. Die unterschiedlichen Wagenladungen führten schließlich zu einer Eingrenzung des möglichen Leistungsbereiches.

Die sich anschließende Berechnung der Gesamtleistung zeigte schließlich, daß bei Ausnutzung der Maschinenkapazität beträchtliche Anforderungen an den Schlepper gestellt werden, die in vielen Fällen infolge des Fehlens eines leistungsstarken Motors nicht erfüllt werden können.

Schrifttum

- [12] MEYER, H.: Die Bedeutung eines stufenlosen Getriebes für den Ackerschlepper und seine Geräte. *Grundl. Landtechn.* 9 (1959), H. 11, S. 5—12.
- [13] STEINKAMPF, H.: Messungen an Triebreifen. Unveröffentl. Institutsbericht des Instituts für Betriebstechnik der FAL.
- [14] SÖHNE, W.: Wechselbeziehung zwischen Schlepperleistung, Reifenabmessungen und Akerboden. *Landtechnik von Morgen.* Folge 8, S. 3—9.
- [15] SÖHNE, W.: Beitrag zur Mechanik des Systems Fahrzeug — Boden unter besonderer Berücksichtigung der Ackerschlepper. *Grundl. Landtechn.* 13 (1963), H. 17, S. 5—16.
- [16] KÜHLBORN, H. und H. STEINKAMPF: Einsatzversuche mit verschiedenen landwirtschaftlichen Arbeitsmaschinen. Unveröffentl. Institutsbericht des Instituts für Betriebstechnik der FAL.

Die Beurteilung der Funktion von Halmgut-Zerkleinerungsmaschinen

Wolfgang B a a d e r

Institut für Landmaschinenforschung der Forschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL)

Braunschweig-Völkenrode

1. Ziele des Zerkleinerns

Bei der Bearbeitung von Halmgut im Rahmen eines landwirtschaftlichen Produktionsprozesses stellt das Zerkleinern einen Verfahrensschritt dar, mit welchem der Erfolg nachfolgender Arbeitsgänge wesentlich beeinflusst werden kann. Durch Zerkleinern soll in erster Linie eine geringere und gleichmäßige Teilchengröße geschaffen werden, um das ursprünglich aus sperrigen und stengeligen Pflanzenteilen bestehende Haufwerk in einen fließfähigen und somit maschinengerechten Zustand überzuführen. Gleichzeitig wird hierdurch eine oftmals erwünschte Vergrößerung der Gutoberfläche erreicht. Durch zweckmäßige Kräfteinleitung in das pflanzliche Gewebe wird dessen Struktur auch außerhalb der Trennzone zerstört, wodurch nicht nur die Oberfläche des zerkleinerten Materials in stärkerem Maße vergrößert, sondern auch die Steife der einzelnen Pflanzenteile verringert wird. Bild 1 zeigt, welche nachfolgenden Verfahrensschritte durch diese drei Zerkleinerungswirkungen wesentlich beeinflusst werden.

Beim Fördern, Dosieren und Mischen wirkt sich die durch Zerkleinern erreichbare Aufhebung der formschlüssigen Bindung zwischen den ineinander verschlungenen und

gegenseitig verhakten Halmen und Blättern und die damit verbundene Verringerung der im Haufwerk auftretenden Reibung vorteilhaft aus [1; 2]. Das Verdichten wird sowohl durch die geringere Teilchengröße wie auch durch eine Verringerung der Biegesteife der Halmteilchen begünstigt, da sich diese dann unter der Einwirkung des Druckes stärker verformen und somit der Hohlraumanteil geringer wird [3].

Beim Trocknen beeinträchtigt die hohe Lagerungsdichte stark zerkleinerten Halmgutes die Luftdurchlässigkeit des Gutstapels [4] und somit den Trocknungsverlauf. Hingegen ist der beim Zerkleinern auftretende Aufschluß des Zellgewebes wegen des besseren Wasserentzugs durchaus erwünscht [5].

Beim Trocknen großer ruhender Haufwerkschichten muß daher hinsichtlich Luftdurchlässigkeit und Zellaufschluß ein optimaler Zerkleinerungsgrad gefunden werden. Hingegen wird Halmgut, das im Durchlaufverfahren trocken soll (z. B. bei der Heißlufttrocknung) so stark zerkleinert, daß ein sicherer Transport durch den Trockner gewährleistet ist.

Die Vorgänge Vergären, Verdauen und Verrotten beruhen im wesentlichen auf mikrobiellen und chemischen Reaktionen. Da diese um so intensiver ablaufen, je größere Reaktionsflächen angeboten werden, ist hier eine Zerkleinerung mit einem weitgehenden Aufschluß der Pflanzenzellen anzustreben. Während der Einfluß des Zerkleinerungsgrades auf den Gärprozeß im wesentlichen bekannt ist [6], sind die Aussagen über den Zusammenhang zwischen Zerkleinerungsgrad und Verdauungsvorgang nicht eindeutig. In der Regel nimmt das Tier in der Zeiteinheit mehr Trockenmasse auf, wenn das Futter zerkleinert ist, was sich in einer höheren Produktionsleistung des Tieres auswirkt [7]. Wird das Futter jedoch so stark zerkleinert, daß es seine Faserstruktur verliert, so kann sich durchaus eine schlechtere Nährstoffausnutzung einstellen [8].

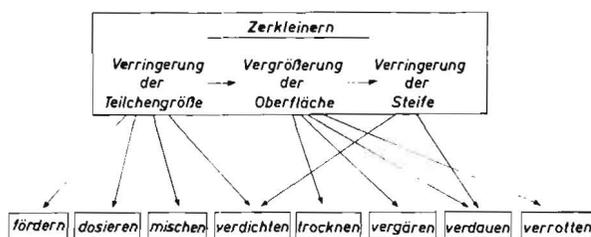


Bild 1: Begünstigung von Verfahrensabläufen durch Zerkleinern bei der Verarbeitung von Halmgut