

Die Beziehung zwischen Zughakenleistung und Motorleistung beim Traktor

Als Ergebnis der schnellen Entwicklung in den letzten Jahren wurde die Konstruktion der Traktoren modernisiert und neben anderen theoretischen Fragen auch das Verhältnis der Größenordnung von Traktor und Motor geklärt.

Früher forderte man bei den Traktoren im allgemeinen nur im ersten, nahezu konstante Fahrgeschwindigkeit garantierenden Gang große Zugkraft. Demzufolge wurde die Motorleistung der Traktormasse angepaßt und war infolgedessen auch charakteristisch für die Leistungsfähigkeit des Traktors. In vielen Fällen hat man auch die Angaben über die

* Agrarwissenschaftliche Universität Budapest, Fakultät für Landtechnik, Lehrstuhl für Traktoren und Kraftfahrzeuge

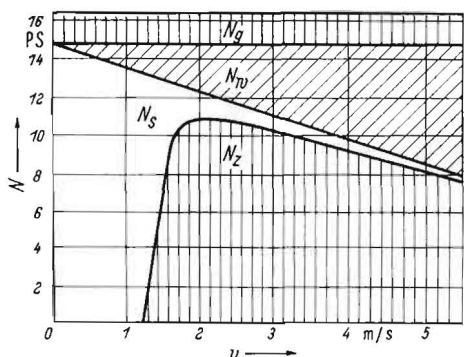


Bild 1. Aufbau der Traktorleistungsbilanz ausgehend von der Motorleistung

Zugfähigkeits-, Betriebs- und Wirtschaftlicheitseigenschaften des Traktors auf den Motor bezogen. Diese Anschauung, die sich als Hindernis für den technischen Fortschritt herausstellte und zu vielen irrtümlichen Schlußfolgerungen geführt hat, ist im Laufe der Entwicklung notwendigerweise überholt worden.

Heute wird die Tatsache bereits allgemein anerkannt, daß die mögliche Zugkraft in erster Linie vom Traktor als Ganzes, d. h. durch Masse, Achslastverteilung, Fahrwerktyp, Abmessungen und konstruktive Ausführung bestimmt wird. Aufgabe des Motors ist es hingegen, die entsprechend den allgemeinen Parametern übertragbare Zugkraft bei der gewünschten Arbeitsgeschwindigkeit zu sichern. Die Beziehung zwischen Zughakenleistung und Motorleistung ist sowohl für den Konstrukteur als auch für den Anwender des Traktors gleichermaßen wichtig und soll deshalb hier näher untersucht werden.

Motorkennlinie und Arbeitsdiagramm

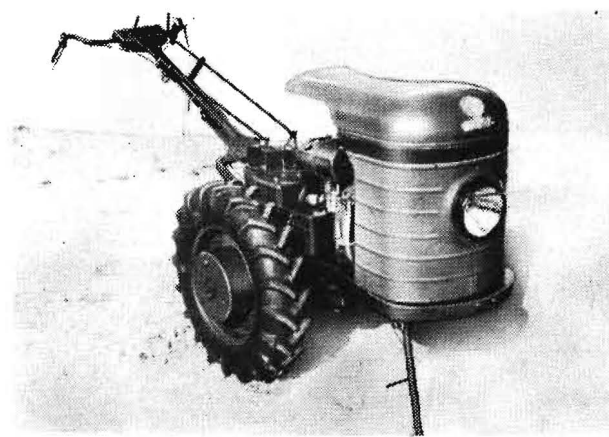
Man hat die Leistungsbilanz des Traktors auch schon früher untersucht. Dabei wurde in allen Fällen von der Motorleistung ausgegangen, weil man annahm — und zwar wegen der geringeren Motorleistungen —, daß der Motor in den am meisten benutzten Gängen stets unter Vollast läuft. In der Praxis ist diese Betrachtungsweise noch sehr häufig anzutreffen, sie ist jedoch im Grunde genommen falsch, da wegen der erhöhten Motorleistungen die volle Auslastung nur in den höheren Gängen erreicht werden kann (Bild 1).

Mit der Universal-Kopplung N 1 läßt sich der „Dzik-2“ mit fast allen Landmaschinen usw. verbinden. Dabei sind durch entsprechende Regelung der Einstellschraube und der Stoßstangen die unterschiedlichsten Einstellungen erreichbar. Das mit der hinteren Zapfwelle gekoppelte Riemenvorlege ist für den stationären Einsatz bestimmt, wenn z. B. Pumpen, Dresch- oder Häckselmaschinen, Kreissägen usw. angetrieben werden sollen.

Der Sitzwagen MWZ-2 mit Gummibereifung ist für den Aufbau und den Transport verschiedener Bodenbearbeitungsgeräte bestimmt, die ohne Fahrersitz sind und bei denen die Lenkung vom Boden aus erschwert oder gar nicht möglich ist, wie z. B. Grubber und Eggen. Der Wagen wird mit dem Universal-Kopplungsgerät N 1 gekoppelt.

Der Anhänger T-800 eignet sich für sämtliche Transportarbeiten in der Land- und Forstwirtschaft sowie im Bauwesen und dort, wo ein Fahrzeug mit guter Manövrierfähigkeit benötigt wird. Die Kopplung erfolgt ebenfalls mit der N 1. Die Lenkgabel ist in Waagrecht-, Senkrecht- sowie Längsebene einstellbar, um sie dem Bedienungsmann anpassen zu können. Auf ihr ist das Schaltbrett mit Bedienungshinweisen angebracht.

Der Einachstraktor „Dzik-2“ ist mit fester Radbelastung und zusätzlichen Ausgleichballasten (Gesamtmasse 94 kg) versehen. Die feste Radbelastung ist in den Radscheiben unter-



gebracht. Die zusätzlichen Ausgleichmassen befinden sich vorn am Traktor und dienen zum Massenausgleich der angebauten Geräte. Bei erhöhter Überlastigkeit kann zusätzliche Ballastmasse den Ausgleich bewirken.

Alleinexporteur des Traktors „Dzik-2“ ist das Außenhandelsunternehmen „Motoimport“, Warszawa, Przemysłowa 26.

A 7117

Die so aufgebaute Leistungsbilanz ist also entweder falsch, oder sie stellt nur von dem Gang an die tatsächlichen Verhältnisse dar, bei dem die Nennleistung des Motors erreicht wird. Diese Leistungsbilanz kann jedoch keine Auskunft über die Teillast geben.

Die Veränderung des Verhältnisses der Motorleistung zur Zughakenleistung erfordert, daß nunmehr beim Aufstellen der Leistungsbilanz nicht von der Motor-, sondern von der Zughakenleistung ausgegangen wird.

Nimmt man verschiedene Punkte der Motorkennlinie auf, so können für jeden Punkt, d. h. für die gegebene Motordrehzahl, die zugehörigen Geschwindigkeits- und Zugkraftwerte bestimmt werden (Bild 2). Dieses sogenannte Arbeitsdiagramm stellt in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit die vom Fahrzeug übertragbaren und durch die Motorleistung bestimmten Zugkräfte dar. Die Punkte gleicher Motorleistung liegen entlang je einer Hyperbel (n_n ; n_{min} ; n_{max}). Die Motorkennlinie besteht aus zwei Teilen: aus dem freien (n_{min} - n_n -Abschnitt) und dem geregelten Teil (n_n - n_{max} -Abschnitt). Dementsprechend verläuft die Zugkraft in jedem Gang entlang einer flacheren (n_{min} - n_n) und einer steil fallenden (n_n - n_{max}) Kurve. Das ist besonders in den höheren Gängen auffallend. Der flachere Kurvenast des Arbeitsdiagramms entspricht dem nichtgeregelten und der steilere Ast dem geregelten Abschnitt der Motorkennlinie. Charakteristisch ist für den flacheren Ast des Arbeitsdiagramms geringfügig veränderliche Zugkraft, jedoch weiter Geschwindigkeitsbereich und für den steilen Kurvenast geringe Geschwindigkeitsänderung, jedoch weite Zugkraftgrenzen. Die erste Kennlinie ist für Straßenfahrzeuge, die zweite für den Traktor typisch. Der Traktormotor arbeitet also stets auf der geregelten Strecke, wenn man von den eventuellen kurzzeitigen Überlastungen absieht.

Betriebsverhalten des Traktormotors

Der bei voller Ladung angelassene Motor läuft mit der Leerlaufdrehzahl n_{max} . Nach erfolgtem Einlegen des Ganges wird der Motor beim Einkuppeln allmählich belastet, seine Drehzahl nimmt ab. Auf die Drehzahlabnahme hin greift der Regler ein, schiebt die Zahnstange vor und steigert damit die in die Zylinder des Motors eingespritzte Kraftstoffmenge. Die Motorleistung steigt daraufhin an. Der Regler steigert die Kraftstoffzufuhr solange, bis sich ein Gleichgewicht einstellt, d. h. bis die vom Motor abgegebene Leistung für die Überwindung der Widerstände ausreicht und das Aggregat anfährt (Bild 3). Bei stärkerer Belastung verläuft diese Erscheinung ähnlich, das Gleichgewicht stellt sich aber bei einer etwas niedrigeren Motordrehzahl sowie höherer Motorleistung ein. Wenn der Arbeitspunkt, d. h. der Schnittpunkt von Motorkennlinie und Widerstandskurve auf den freien, nicht geregelten Kennlinienabschnitt fällt, kann der Regler nicht mehr eingreifen und die Zahnstange bleibt auf Vollgas stehen. In diesem Falle entscheidet der Charakter der Drehmomentenkurve, d. h. die Elastizität des Motors, ob der Motor „ersäuft“ oder die Widerstände überwindet. Auf dem geregelten Kurvenast ist der Motorbetrieb stabil, da die Kennlinie der Kraftmaschine mit abnehmender Drehzahl ansteigt und die der Arbeitsmaschine mit abnehmender Drehzahl fällt. Das aus der Gleichgewichtslage gebrachte Aggregat stellt hier sein Gleichgewicht selbst wieder her, weil bei Abnahme der Motordrehzahl eine durch die Ordinatendifferenz der beiden Kennlinien charakterisierte Leistung für die Beschleunigung und bei Drehzahlerhöhung für die Abbremsung zur Verfügung steht (Bild 4).

Die Leistungsfähigkeit des Traktors wird bei niedrigeren Geschwindigkeiten durch die Adhäsionsgrenze und bei höheren Geschwindigkeiten durch die Motorleistung begrenzt. Der Übergang zwischen beiden hängt von der Abstimmung zwischen Motorleistung und Adhäsionseigenschaften des Traktors ab. Im Rahmen der Zugkraftmessungen wird der Traktor in jedem Gang stufenweise bis zum Durchrutschen

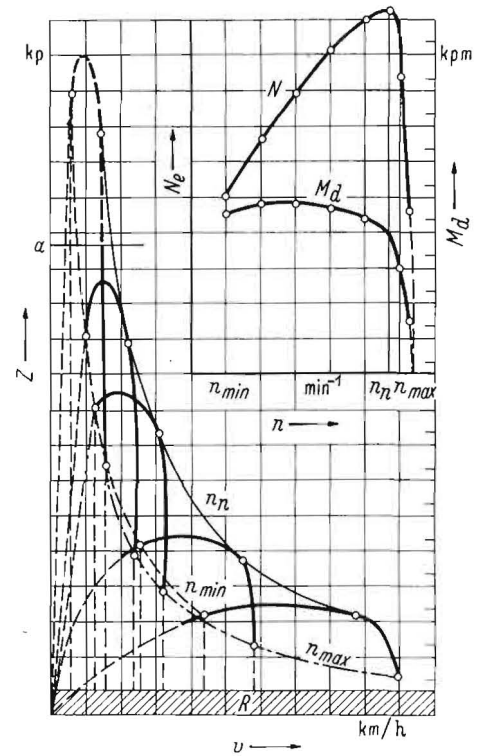


Bild 2. Fahrcharakteristik; a Adhäsionsgrenze

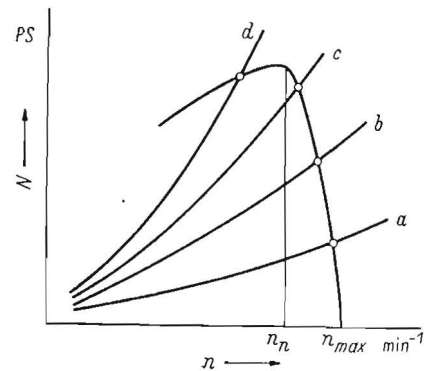


Bild 3. Geregelte Motorkennlinie mit den Widerstandskurven; a mit 1, b mit 2, c mit 3 und d mit 4 Pflügekörpern

bzw. Abwürgen des Motors belastet. Aus den Meßergebnissen ergibt sich die sogenannte Zugkraftcharakteristik, in der für jede Geschwindigkeitsstufe gesondert die Änderung der Zughakenleistung in Abhängigkeit von der entwickelten Zugkraft dargestellt wird. Aus dem Diagramm kann die mit dem Traktor übertragbare größte Zugkraft ($\delta = 100\%$) sowie der optimale Wert der Zugkraft abgelesen werden, zu der die größte Zughakenleistung gehört. Diese Zugkraftwerte kennzeichnen auch im absoluten Sinne den Traktor eindeutig, da sie zeigen, welche Zugkraft der Traktor unter gegebenen Arbeitsbedingungen überhaupt entwickeln kann. Sofern die Leistung des Traktormotors im Verhältnis zur Traktormasse und konstruktiven Ausführung des Traktors sehr gering ist und die Adhäsionseigenschaften des Traktors gut sind, arbeitet der Motor in allen bei landwirtschaftlichen Arbeiten üblichen Geschwindigkeitsstufen unter Vollast. Die tatsächliche Motorleistung in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit kann also durch eine waagerechte Gerade dargestellt werden (Bild 5 a).

Bei der Leistungsübertragung haben wir mit folgenden Verlusten zu rechnen:

— Getriebeverluste N_g , deren Größe praktisch unabhängig von der Fahrgeschwindigkeit ist:

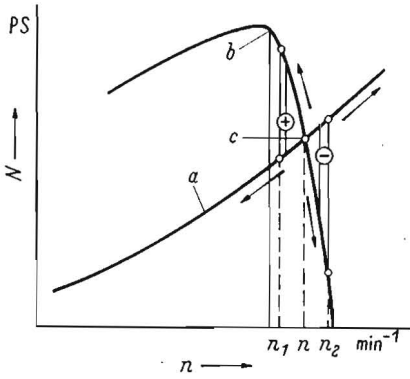


Bild 4. Voraussetzungen des stabilen Motorbetriebes; a Widerstandskurve, b Motorkennlinie, c Arbeitspunkt

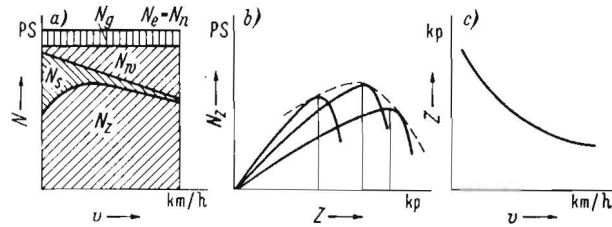


Bild 5. Gestaltung der Leistungsbilanz (a), der Zugkraftcharakteristik (b) und der dynamischen Kennlinie der Zugkraft (c) bei konstanter und bei Vollleistung des Motors

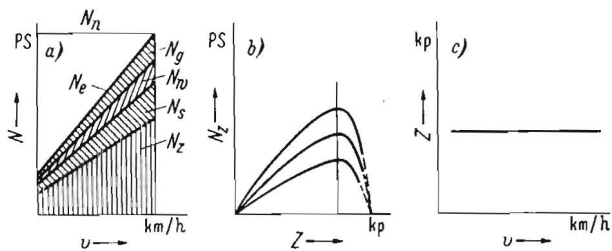


Bild 6. Leistungsbilanz (a), Zugkraftcharakteristik (b) und dynamische Kennlinie der Zugkraft (c) bei sehr großer Motorleistung

- Fahrwiderstandsleistung N_w , deren Größe proportional mit der Geschwindigkeit zunimmt;
- Schlupfverlustleistung N_s , die bei niedriger Geschwindigkeit (bzw. bei großer Zugkraft) größer ist und sich mit Erhöhung der Geschwindigkeit (bzw. Abnahme der Zugkraft) allmählich verringert.

Nach Abzug dieser Verlustleistungen von der effektiven Motorleistung verbleibt der am Zughaken nutzbare Leistungsanteil N_z .

Entsprechend den obigen Ausführungen verläuft die Zugkraftkennlinie des Traktors, so daß die Zugkraft im ersten Gang am größten ist (Bild 5 b), im zweiten Gang wegen der verhältnismäßig kleinen Motorleistung abnimmt, und sich auch im dritten Gang weiterhin verringert. Der optimale Zugwirkungsgrad wird entsprechend der vorstehenden Leistungsbilanz im allgemeinen im zweiten, eventuell im dritten Gang erreicht.

Die dynamische Traktorcharakteristik, d. h. die Kennlinie, die die Änderung der Zugkraft in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit angibt, wird — ein ideales, stufenloses Getriebe vorausgesetzt — zu einer Hyperbel (Bild 5 c). Bei einem derartigen Traktor stehen also in den höheren Gängen nur geringere Zugkräfte zur Verfügung.

Sofern die Motorleistung des Traktors hoch genug bemessen wird, kann man in den bei landwirtschaftlichen Arbeiten üblichen Geschwindigkeitsstufen am Traktor immer diejenige Leistung abnehmen, die zur Erreichung der von den

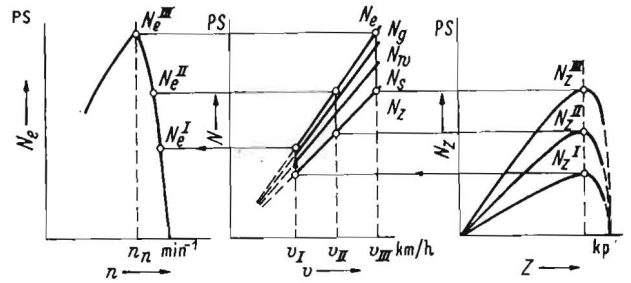


Bild 7. Zusammenhang zwischen Zugkraftcharakteristik, Leistungsbilanz und Motorkennlinie

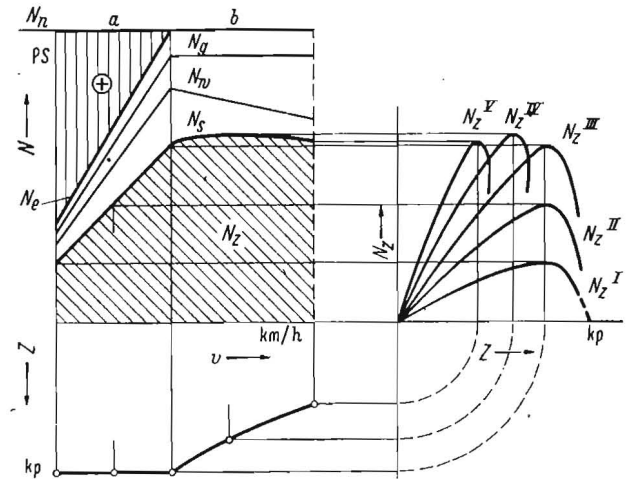


Bild 8. Aufbau der Traktorleistungsbilanz, ausgehend von der Zughakenleistung; die Zugkraft wird im Bereich a vom Traktor und im Bereich b vom Motor bestimmt

allgemeinen Parametern des Traktors bestimmten optimalen Zugkraft nötig ist. In diesem Falle wächst die Motorleistung linear mit der Fahrgeschwindigkeit an. Getriebeverlust-, Fahrwiderstands- und Schlupfverlustleistung wachsen ebenfalls mit der Fahrgeschwindigkeit linear an (Bild 6 a).

Auch die Zugkraftcharakteristik des Traktors gestaltet sich so, daß die optimale Zugkraft nicht nur im ersten, sondern auch im zweiten und dritten Gang oder in höheren Geschwindigkeitsstufen gesichert werden kann (Bild 6 b).

Die vom Traktor abnehmbare Zugkraft kann in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit durch eine zur Abszisse parallele Gerade dargestellt werden, da sie im wesentlichen in jedem Gang gleich groß ist (Bild 6 c). Dabei liegt die zu der entsprechenden Zughakenleistung gehörige Motorleistung auf dem geregelten Teil der Motorkennlinie und ihre Größe ist gleich oder kleiner als die Nennleistung (Bild 7).

Sobald jedoch infolge der Geschwindigkeitssteigerung der damit proportional zunehmende effektive Motorleistungsbedarf den Wert der zur Verfügung stehenden Nennleistung überschreitet, wird die Größe der Zugkraft nicht mehr vom Traktor, sondern von der Nennleistung des Motors bestimmt (Bild 8).

Da diese Größe gegeben ist, nimmt die Zugkraft bei der weiteren Erhöhung der Arbeitsgeschwindigkeit wegen der zunehmenden Leistungsverluste ab (siehe Bild 8).

Daher besteht also das Leistungsdiagramm des Traktors im allgemeinen aus zwei Teilen: solange die zur Entwicklung einer gegebenen Zugkraft bei vorgegebener Arbeitsgeschwindigkeit erforderliche effektive Motorleistung kleiner als die Motornennleistung ist ($N_e < N_n$), kann die Arbeitsgeschwindigkeit erhöht werden, ohne daß sich die Zugkraft ändert. Wird die Motornennleistung erreicht ($N_e = N_n$), nimmt die Zugkraft bei weiterer Erhöhung der Geschwindigkeit ab

(siehe Bild 8). Mit der Erhöhung der Motorleistung erreicht man also praktisch, daß sich die Grenze für die Abgabe der optimalen Zugkraft in den Bereich höherer Geschwindigkeiten verschiebt.

Schlußfolgerungen

Die hier dargestellten Erkenntnisse haben sich in den vergangenen Jahren bereits auf die Traktorenentwicklung ausgewirkt, indem allgemein der Trend zu höheren Motorleistungen zu verzeichnen ist. Bild 9 zeigt die Zugkräfte verschiedener Traktortypen in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit, die der Zughakenhöchstleistung in einer Geschwindigkeitsstufe entsprechen und bei Messungen auf mittelschwerem Boden gewonnen wurden. Man kann aus dem Diagramm entnehmen, daß die optimale Zugkraft bei den einzelnen Typen in Abhängigkeit von der Motorleistung nur bis zu einer bestimmten Geschwindigkeit verfügbar ist und dann rasch abnimmt. Weiterhin ist zu entnehmen, daß Zusatzmassen und Wasserfüllung der Reifen zwar die Zugkraft steigern können, daß dann aber die abnehmbare Zugkraft mit steigender Geschwindigkeit rasch abnimmt, wenn der Motor nicht genügend groß bemessen ist (z. B. UE-28). Demzufolge ist die Erhöhung der Motorleistung bei unveränderter Traktormasse heute bereits eine allgemeine Erscheinung und ein erfolgreicher Weg zur besseren Ausnutzung der Kapazität des vorhandenen Traktorenparcs.

Zusammenfassung

Das sich mit der Entwicklung zu höheren Arbeitsgeschwindigkeiten verändernde Verhältnis von Zugkraft und Motorleistung wird untersucht. Im Hinblick auf die nachgewiesene Notwendigkeit, beim Aufstellen der Traktorleistungsbilanz nicht mehr von der Motorleistung, sondern von der Zughakenleistung auszugehen, wird der Betrieb des Traktors im Spiegel der Motorkennlinie diskutiert. Aus der erläuterten Leistungsbilanz bei modernen Traktoren ist zu ersehen, daß

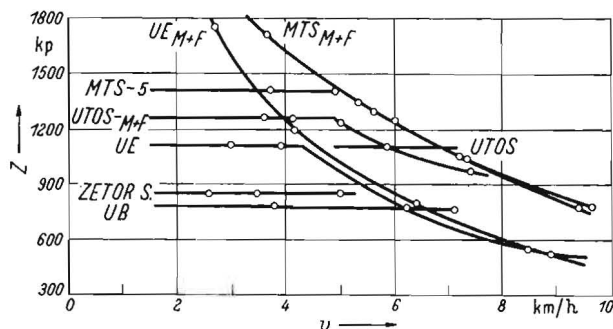


Bild 9. Dynamische Zugkraftcharakteristiken verschiedener untersuchter Traktortypen; M mit Zusatzmassen, F mit Wasserfüllung;

| | ZS | UB | UE | UTOS | MTS |
|-----------------------|------|------|------|------|------|
| N [PS] | 51 | 29 | 29 | 47 | 48 |
| m [kg] | 2779 | 2169 | 2504 | 3551 | 3456 |
| m _{M+F} [kg] | 3729 | — | 3204 | 3861 | 3776 |

in niedrigeren Geschwindigkeitsbereich die Adhäsionsverhältnisse und im höheren Geschwindigkeitsbereich die Motorleistung die entwickelbare Zugkraft beschränken.

Verwendete Formelzeichen:

- N_n Nennleistung des Motors in PS
- N_e effektive Motorleistung in PS
- N_g Getriebeverlustleistung in PS
- N_w Fahrwiderstandsleistung in PS
- N_s Schlupfverlustleistung in PS
- N_z Zughakenleistung in PS
- M_d Drehmoment des Motors in kpm
- n Motordrehzahl je min
- n_{max} höchste Leerlaufdrehzahl des Motors je min
- n_n Motornennendrehzahl je min
- n_{min} niedrigste Betriebsdrehzahl des Motors je min
- V Fahrgeschwindigkeit des Traktors in km/h
- Z Zugkraft in kp
- R Rollwiderstand des Traktors in kp

A 6898

Zur Berechnung des Zugkraftbedarfs für Traktorenpflüge

Ing. E. HOTH, KDT, Wismar

1. Allgemeines

Der Scharpflug als ein Bodenbearbeitungsgerät mit wendenden Werkzeugen dient zum Lockern, Wenden und Mischen des Bodens. Er ist das energieaufwendigste Gerät in der Landwirtschaft. Um ihn wirtschaftlich einzusetzen und die Traktorenleistung optimal auszunutzen, ist es notwendig, eine genaue Pflugeinstellung vorzunehmen. Eine falsche Pflugeinstellung, sowohl bei Anhängerpflügen als auch bei Anbau- und Aufsattelpflügen, kann zur Folge haben, daß bei einem großen Traktorenleistungsbedarf, hervorgerufen durch das unwahrscheinliche Anwachsen einiger Widerstandskomponenten, eine geringe Flächenleistung erzielt wird. Die Berechnung des Kraft- und Leistungsbedarfs ist unter anderem notwendig, um den entsprechenden Traktorentyp für ein Arbeitsgerät auszuwählen, zudem benötigt der Konstrukteur diese Größen für Festigkeitsberechnungen.

In der einschlägigen Fachliteratur findet man für die Berechnung des Zugkraftbedarfs von Traktorenpflügen grundsätzlich zwei Möglichkeiten.

Nachfolgend soll untersucht werden, in welchem Zusammenhang beide Berechnungsarten stehen.

In der Annahme, daß die Probleme der Kraft- und Leistungsbedarfsermittlung für Traktorenscharpflüge aus den ver-

schiedenen Fachpublikationen bekannt sind, wird auf eine gründliche Darlegung der Entwicklung von Kräften am Pflug verzichtet. Hier soll lediglich untersucht werden, ob ein Zusammenhang beider Berechnungsarten besteht.

Die abschließend aufgeführte Literatur diene dem Verfasser im wesentlichen als Grundlage bei der Ausarbeitung dieses Aufsatzes und kann zum weiteren Studium herangezogen werden [1] bis [11].

2. Widerstandsgrößen am Scharpflug

Der waagerechte Pflugwiderstand Z_L , der während des Pflügens vom Traktor zu überwinden ist und auf Grund verschiedener Einflüsse ständig wechselt, besteht aus einer Summe von Einzelwiderständen:

$$Z_L = F_S + F_W + F_{BH} + F_V + F_R + S_W + V_W + A_W + \Delta W \quad [\text{kp}] \quad (1)$$

Es bedeuten:

- F_S Widerstandskomponente für den senkrechten Schnitt des Bodenbalkens in kp
- F_W Widerstandskomponente für den waagerechten Schnitt des Bodenbalkens in kp
- F_{BH} Widerstandskomponente für den Hub und die Beschleunigung des abgetrennten Bodenbalkens in kp