

(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

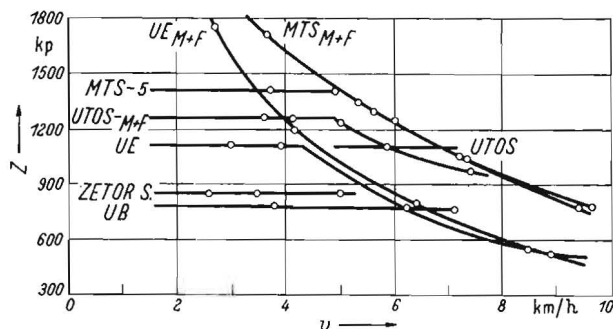


Bild 9. Dynamische Zugkraftcharakteristiken verschiedener untersuchter Traktortypen; M mit Zusatzmassen, F mit Wasserfüllung;

	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

F_V	Widerstandskomponente für die Verformung des abgetrennten Bodenbalkens in kp
F_R	Widerstandskomponente der Reibung zwischen Streichblech und Bodenbalken in kp
F_{SW}	Widerstandskomponente der Reibung zwischen Schleifsohle und Furchenwand in kp
F_W	Widerstandskomponente der Reibung zwischen Schleifsohle und Furchensohle in kp
A_W	Eigenfahrwiderstand in kp
ΔW	eine zugkrafte erhöhende Widerstandskomponente durch falsche Pflugeinstellung in kp

Die Kräfte

$$F_S + F_W + F_{BH} + F_V + F_R = Z_0 \quad [\text{kp}] \quad (2)$$

bilden den waagerechten Bodenwiderstand.

In den folgenden Betrachtungen wird $\Delta W = 0$ gesetzt, da angenommen wird, daß der Pflug in jedem Falle richtig eingestellt ist.

3. Berechnung des Zugkraftbedarfs

Für die Errechnung des Gesamtzugkraftbedarfs eines Scharpfluges, als waagerechter Pflugwiderstand Z_L bezeichnet, gibt es zwei Möglichkeiten:

3.1. Die Errechnung der Zugkraft über die Einzelwiderstände

und die dadurch hervorgerufenen Kräfte am Pflugkörper.

Die Formel dafür lautet:

$$Z_L = Z_0 [1 + \mu(\tan \varphi + \tan \psi)] + A_W \quad [\text{kp}] \quad (3)$$

$$Z_0 = \omega_0 \cdot \sqrt{v_f} \cdot b_n \cdot t_n \cdot i \quad [\text{kp}] \quad (4)$$

Es bedeuten:

ω_0 spezifischer Bodenwiderstand in kp/dm^2

$\sqrt{v_f}$ Faktor ohne Maßeinheit als Proportionalitätsfaktor für ω_0 bei v_f 1 m/s, da sich ω_0 auf 1 m/s bezieht

b_n Arbeitsbreite eines Pflugkörpers in dm

i Anzahl der Pflugkörper

t_n Arbeitstiefe in dm

μ Reibungskoeffizient zwischen Stahl-Erde

φ Ablenkungswinkel im Grundriß (11° bis 17°) [1]

ψ Ablenkungswinkel im Aufriß (15° bis 22°) [1]

Der Fahrwiderstand

$$A_W = G \cdot f_r \quad (4a)$$

Es bedeuten:

G Gesamtgewicht des Pfluges in kp

Bei Aufsattelpflügen wird das anteilige Pfluggewicht in Rechnung gesetzt. Bei Anbaupflügen entfällt der Fahrwiderstand des Pfluges.

f_r Fahrwiderstandsziffer oder Rollwiderstandsbeiwert (Tafel 1)

Tafel 1. Fahrwiderstandsbeiwerte f

Bodenart, Bodenbeschaffenheit	Gummi- reifen	Gleis- ketten
Sandboden (I)	0,08 ... 0,20	0,10 ... 0,15
sandiger Lehm (II)	0,07 ... 0,12	0,09 ... 0,12
Lehmboden (III)	0,06 ... 0,10	0,07 ... 0,10
schwerer Lehm (IV)	0,05 ... 0,09	0,06 ... 0,08
Ton (V)	0,04 ... 0,08	0,05 ... 0,07
Sandwege	0,10 ... 0,22	0,10 ... 0,20
Feldwege und Straßen	0,02 ... 0,06	0,03 ... 0,06
Grasnarbe	0,08 ... 0,10	—
gefrorener Rüben- und Kartoffelacker	0,05 ... 0,06	0,05 ... 0,08
Neuland, feste Brache	0,05 ... 0,07	0,06 ... 0,07
Stoppelfeld	0,08 ... 0,10	0,07 ... 0,08
gepflügtes Land	0,12 ... 0,18	0,08 ... 0,09
geegtes oder gegrubbertes Land	0,16 ... 0,18	0,08 ... 0,10

3.2. Die Errechnung des Gesamtzugkraftbedarfs mit Hilfe der rationalen Formel nach GORJATSCHKIN:

Die Gleichung lautet:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 \quad [\text{kp}] \quad (5)$$

$$\text{Es sind: } P_1 = G \cdot f \quad [\text{kp}] \quad (6)$$

$$P_2 = k \cdot t \cdot b \quad [\text{kp}] \quad (7)$$

$$P_3 = \varepsilon \cdot t \cdot b \cdot v_f^2 \quad [\text{kp}] \quad (8)$$

Die Größen der Gleichung 6, 7 und 8 in Gleichung 5 eingesetzt, ergibt:

$$P = G \cdot f + k \cdot t \cdot b + \varepsilon \cdot t \cdot b \cdot v_f^2 \quad [\text{kp}] \quad (9)$$

Es bedeuten:

G Pfluggewicht in kp

f Widerstandskoeffizient beim Pfluggang in der Furche; $f = 0,29$ bis $0,50$

t Arbeitstiefe in m

b Arbeitsbreite, gesamt in m

k Koeffizient des Widerstands des Erdbalkens gegen Deformierung

k -Werte: [9]
für leichte Böden — 2000 kp/m^2
für mittlere Böden — 4000 kp/m^2
für schwere Böden — 6000 kp/m^2
für sehr schwere Böden — 6000 bis 10000 kp/m^2

ε ein von der Gestalt der Arbeitsoberfläche des Streichbleches und der Bodenart abhängiger Koeffizient in kps^2/m^4 ; $\varepsilon = 300$ bis $1000 \text{ kps}^2/\text{m}^4$

v_f Arbeitsgeschwindigkeit in m/s

4. Diskussion beider Berechnungsarten

Vergleichen wir die Formel 3 mit der Formel 9, so kann die Schlußfolgerung gezogen werden

$$P = Z_L$$

Es gilt also zu untersuchen, in welchem Zusammenhang die einzelnen Größen von P_1, P_2, P_3 zu den Einzelwiderständen von Z_L stehen.

Tafel 2. Grenzbereiche des spezifischen Bodenwiderstandes; \sim annähernde Mittelwerte, () = mögliche Werte für extreme Bedingungen

Gruppe	Bodenart		Bodenzahl	Dichte	Böschungswinkel	Innere Bodenreibzahl	Reibungswinkel	Äußere Bodenreibzahl	Spezif. Bodenwiderst.
	Bezeichnung	Kurzzeichen		ρ [kg/dm ³]	α_1 [Grad]	μ_1 [-]	α [Grad]	μ [-]	ω_0 [kp/dm ²]
I	leicht	S — Sand	20 ... 30	1,4 ... 2,1	30 ... 40	0,58 ... 0,84	20	0,364	20 ... 35 ~ 28
		SI — anlehmiger Sand							
		IS — lehmiger Sand							
II	leicht bis mittelschwer	IS — lehmiger Sand	20 ... 60	1,3 ... 1,6	35 ... 42	0,30 ... 0,90	23	0,425	23 ... 45 ~ 34 (~)
		SL — stark sandiger Lehm							
III	mittelschwer	sL — sandiger Lehm	25 ... 90	1,6 ... 1,9	38 ... 45	0,78 ... 1,00	25	0,466	25 ... 55 ~ 40 (65)
IV	mittelschwer bis schwer	L — Lehm	30 ... 100	1,6 ... 1,9	42 ... 50	0,90 ... 1,20	27,5	0,520	30 ... 70 ~ 50 (95)
		LT — lehmiger Ton							
V	schwer	LT — lehmiger Ton	20 ... 80	1,7 ... 2,3	45 ... 55	1,10 ... 1,15	30	0,577	35 ... 100 ~ 60 (150)
		T — Ton							

Zunächst P₁:

$$P_1 = G \cdot f.$$

Der Koeffizient f wird in dem Größenbereich von 0,29 bis 0,50 angegeben und entspricht somit dem Reibungskoeffizienten der äußeren Reibung (Stahl-Erde). Aus Tafel 2 ist zu ersehen, daß dieser Koeffizient in dem Größenbereich 0,364 bis 0,577 liegt.

Damit hat die Aussage

$$\tan \alpha = \mu = f$$

Gültigkeit.

Nach dem Coulombschen Reibungsgesetz würden also mit der Gleichung für P_1 die Reibungswiderstände erfaßt, wenn wir eine zusätzliche vertikale Belastung des Pfluges durch den Bodenwiderstand vernachlässigen. Damit würden in der Verbindung von Z_L und P folgende Widerstände erfaßt:

$$P_1 = S_W + V_W + F_R$$

Die Größe P₂:

$$P_2 = k \cdot t \cdot b$$

In dieser Gleichung ist der Wert k identisch mit der Größe ω_0 aus der Gleichung 4 (s. Tafel 2).

$$k = \omega_0$$

Nach Umstellen der Formel ergibt sich:

$$k = \frac{P_2}{b \cdot t} \rightsquigarrow \omega_0 = \frac{Z_0}{b_n \cdot t_n}$$

Damit wird

$$P_2 \approx Z_0$$

Hierbei wird nur nicht berücksichtigt, daß sich ω_0 bzw. k mit der Bedingung $v_f > 1 \text{ m/s}$ ebenfalls vergrößert.

Da die Größe P_2 den Widerstand kennzeichnet, der durch die Deformation des Erdbalkens entsteht, kann geschrieben werden:

$$P_2 \approx \bar{F}_S + F_W + F_V$$

Die Größe P₃:

$$P_3 = \varepsilon \cdot t \cdot b \cdot v_f^2$$

Das Quadrat der Geschwindigkeit ergibt sich aus der Ableitung, daß einmal das je Zeiteinheit über den Pflugkörper geschobene Bodenvolumen betrachtet und damit die beschleunigte Bodenmasse erfaßt wird und zum anderen die Beschleunigung der Pflugmasse in Rechnung gesetzt wird. Damit entspricht P_3 dem Widerstand des Hubes und der Beschleunigung des Bodenbalkens:

$$P_3 = F_{HB}$$

Bleibt als einzige Größe noch der Fahrwiderstand des Pfluges A_W unberücksichtigt.

Es ist anzunehmen, daß diese Widerstandskomponente in P_3 enthalten ist, weil ε als ein Proportionalitätsfaktor der Arbeitsgeschwindigkeit v_f angesehen werden kann und die Arbeitsgeschwindigkeit ungleich der Geschwindigkeit der seitlich beschleunigten Erdteilchen ist.

$$P_3 = F_{HB} + A_W$$

Außerdem könnte man mit dem Quadrat der Geschwindigkeit in der Gleichung P_3 der Beziehung

$$\omega = \omega_0 \cdot \sqrt{v_f}$$

gerecht werden.

Aus der Ableitung der rationalen Formel ist aber anzunehmen, daß obige Beziehung eher in ε berücksichtigt wird. Die Schlußfolgerung ist, daß damit alle Einzelwiderstände von Z_L in der rationalen Formel erfaßt sind.

Die Gestalt der Arbeitsoberfläche des Streichbleches, die in ε berücksichtigt wird, findet in der Errechnung des waage-

rechten Pflugwiderstands keine Beachtung; das beeinträchtigt die Genauigkeit der Rechnung kaum. Auf Grund der zwei Möglichkeiten zur Berechnung des Gesamtzugkraftbedarfs der Scharpflüge ergeben sich also zwei Grundgleichungen, 3 und 9.

Welche variablen Größen sind für diese beiden Gleichungen bei der Berechnung der Zugkraft zu wählen?

Für die Gleichung 3, 4, 4a:

$$\omega_0, \mu, \varphi, \Psi, f_r$$

Die Größe ω_0 ist zwar in den einzelnen Bodengruppen sehr variabel, aber man geht nicht fehl, wenn man für ω_0 den Mittelwert jeder Bodengruppe für die Berechnung wählt.

μ ist in jeder Bodengruppe ein fester Wert und ebenfalls aus der Tafel 2 zu entnehmen. Die Ablenkungswinkel φ und Ψ liegen in sehr engen Grenzen, und es genügt jeweils der Mittelwert für die Berechnung. Die Abhängigkeit der beiden Winkel von der Bodengruppe und dem Furchenquerschnitt ist meistens so, daß bei größer werdendem Winkel φ der Winkel Ψ kleiner wird und umgekehrt [1].

Bei der Berücksichtigung des Fahrwiderstandes kann f_r der Tafel 4 entnommen werden.

Bei der rationalen Formel sind nur die Werte k , f und ε als Variable zu wählen.

Der Wert k entspricht dem spezifischen Bodenwiderstand und ist in [9] ebensowenig eindeutig festgelegt als in Tafel 2 der Wert ω_0 .

Für f kann man für die jeweilige Bodengruppe den Wert μ wählen.

Einen weiten Zahlenbereich nimmt der Wert ε ein; und hier fällt die Wahl eines bestimmten Wertes sehr schwer.

Die Gleichung 3 bietet gegenüber der rationalen Formel Vorteile.

Durch das Bilden des räumlich zentralen Kräftesystems der einzelnen Kräfte am Pflugkörper läßt sich der waagerechte Pflugwiderstand Z_L sehr übersichtlich in Einzelkomponenten zerlegen. Dadurch ergeben sich einfache trigonometrische Beziehungen, und es lassen sich alle an einem Pflugkörper und an einem Pflug wirkenden Teilkräfte verhältnismäßig einfach bestimmen.

Besonders die Kräfte Z_L , S_N , V_N üben am Pflugrahmen und Grindel Biege- und Drehmomente aus, die in der Festigkeitsberechnung beachtet werden müssen [1].

Da das ursprünglich allgemeine Kräftesystem am Pflugkörper zu einem räumlich zentralen Kräftesystem zusammengefaßt wurde, entsteht außer einer Gesamtergebnierenden ein Restmoment. Aus diesem Restmoment M_r und der Gesamtergebnierenden R läßt sich das Teilmoment M_z errechnen, das für die Festigkeitsberechnung überprüft werden muß. [1] Die Berechnung von Teilkomponenten für Festigkeitsuntersuchungen ist nach der rationalen Formel schwer möglich und es müssen andere Verfahren der Mechanik herangezogen werden.

Nach LETOSCHNEW kann durch die Vielfalt der Zufälligkeiten bei den Größen P_1 und P_2 in der rationalen Formel eine tatsächliche Größenabweichung von 8 bis 10% erfolgen. Bei der Größe P_3 können die Abweichungen 25 bis 30% betragen. Diese Abweichungen sind durch den Einfluß der Koeffizienten f , k und vor allem durch ε gegeben. Weiterhin ist die Aufstellung einer Energiebilanz für Scharpflüge auf Grund der Teilwiderstände von Z_L wesentlich einfacher als nach der rationalen Formel. Deshalb ist der Zugkraftberechnung nach dem waagerechten Pflugwiderstand Z_L ein Vorzug zu geben.

Praktische Versuche haben bewiesen, daß die theoretisch ermittelten Zugkraftwerte Z_L nur geringe Abweichungen gegenüber den praktisch gemessenen Werten zeigen.

5. Zusammenfassung

In den einleitenden Betrachtungen wurden die einzelnen an einem Pflugkörper wirkenden Kraftkomponenten genannt. In der Gegenüberstellung der Ermittlung des waagerechten Pflugwiderstands Z_L und der Errechnung der Gesamtzugkraft eines Pfluges nach der rationalen Formel wurde auf die unterschiedliche Verteilung der Einzelwiderstände hingewiesen.

Schließlich wurden die Vor- und Nachteile beider Berechnungsarten erläutert und die Berechnung des Gesamtzugkraftbedarfs eines Scharpfluges zugunsten des waagerechten Pflugwiderstands dabei herausgestellt.

Literatur

- [1] SCHILLING, E.: Landmaschinen, 2. Band, 2. Auflage 1962. Verlag H. Schilling Rodenkirchen/Köln
- [2] GETZLAFF, G.: Messungen der Kraftkomponenten an einem Pflugkörper, Grundlagen der Landtechnik Heft 1,3. VDI Verlag Düsseldorf 1951/1952
- [3] WICHA, A.: Maschinen und Geräte für die Bodenbearbeitung. Fachbuchverlag Leipzig 1957
- [4] HIEYDE, u. a.: Landmaschinenlehre Band I. VEB Verlag Technik Berlin 1963
- [5] DENCKER, u. a.: Handbuch der Landtechnik. Verlag Paul Parey Hamburg und Berlin 1961
- [6] PECHACEK, BENNEBERG: Traktorenpflüge und ihre richtige Einstellung. Deutscher Bauernverlag, 2. Auflage 1955
- [7] Technisch-organisatorische Betriebslehre für Ackerschlepper und Landmaschinen in der Feldwirtschaft. VEB Verlag Technik 1957
- [8] SCHILLING, E.: Landmaschinen Band I, Verlag H. Schilling, Rodenkirchen/Köln
- [9] KRUTIKOW, u. a.: Theorie, Berechnung und Konstruktion der Landmaschinen. Band I. VEB Verlag Technik Berlin 1955
- [10] RODEN, V.: Bestimmung der Kräfte am Anhängepflug B 187 und Berechnung der Abmessungen der gefährdeten Querschnitte. Ing.-Abschlußarbeit 1966, Ing.-Schule f. Maschinenbau und Elektrotechnik Wismar; unveröffentlicht
- [11] Landtechnische Informationen der VVB Landmaschinen und Traktorenbau der DDR (1965) H. 11 A 6830

Ing. H. SCHULZ, KDT

Über die Wirksamkeit von Pendelbegrenzungen

1. Ermittlung der Grenzseitenneigungen

Traktoren sind überwiegend mit Pendelvorderachsen ausgerüstet. Bei dieser Ausführung der Traktoren handelt es sich meistens um ungefederte Vierradfahrzeuge mit folgender Achsenkombination:

Vorderachse — starre Ausführung, labile Aufhängung;

Hinterrachse — starre Ausführung, Aufhängung indifferent.

Bei dieser Kombination sind im Pendelbereich die Radlasten und die Seitenkraftreaktionen statisch bestimmt [1]. Dadurch, daß der Traktor hierbei auf drei Punkten ruht (Punkt A, B und C in Bild 1), paßt er sich immer durch die Drehung um die räumlich liegenden Kippkanten, die sich durch die Verbindung der drei Stützpunkte A, B und C ergeben, der Geländeoberfläche gut an.

Die Pendelwirkung der Vorderachse wird dabei aber überwiegend durch sogenannte Pendelbegrenzungen eingeschränkt. Diese Begrenzung erfolgt aus verschiedenen Gründen. Einmal kann sie konstruktiv bedingt sein, um beispielsweise die Lenkwirkung bei Traktoren mit Einzelradlenkung zu erhalten oder um zu vermeiden, daß Bauteile, insbesondere des Motors, bei unbegrenztem Pendelausschlag beschädigt werden. Zum anderen erwartet man davon eine Verbesserung der Seitenstabilität der Traktoren [2] [3].

Beim Wirken der Pendelbegrenzung verlagern sich die Kippkanten in die Fahrbahnebene, so daß mit den bei Traktoren üblichen Achsenkombinationen Stabilitätsbetrachtungen um verschiedene Kippkanten anzustellen sind.

Bei Stabilitätsuntersuchungen ist weiter zu beachten, daß beim Befahren eines Hangs, außer in Schicht- und Falllinie, der Traktor sowohl in Quer- wie auch in Längsrichtung geneigt ist. Unter idealisierten Bedingungen, bei denen der zu befahrende Hang eine um einen Winkel α (Bild 2) geneigte Ebene gegenüber der Horizontalen darstellt, ergeben sich die in [4] angegebenen möglichen Fahrzeugneigungen.

Die Traktoren kippen am Hang nicht durch die Wirkung statischer, sondern fast immer infolge dynamischer Kräfte. Die dynamische Wirkung tritt vor allem durch Trägheits-

kräfte (Bremsen, Kurvenfahrt) und veränderliche räumliche Neigungen oder durch die Kombination von beiden ein [5].

Da die Fahrt in Schichtlinie den landwirtschaftlichen Bedingungen entsprechend am häufigsten auftritt, soll für diesen Fall einmal untersucht werden, wie wirksam eine Pendelbegrenzung an einem Standardtraktor hinsichtlich Seitenstabilität eigentlich ist und welche Beziehungen zwischen den die Stabilität beeinflussenden Konstruktionsparametern bestehen. Die Betrachtungen sollen an einem Standardtraktor (Bild 1) erfolgen. Für diese Untersuchung werden folgende Vereinfachungen bzw. Annahmen getroffen:

- a) Die theoretisch zulässigen Seitenneigungen werden ermittelt und verglichen. Gegenüber der Praxis wird vorausgesetzt, daß ein statischer oder quasistatischer Zustand herrscht, d. h., daß der Traktor steht oder langsam fährt.
- b) Die Untersuchung erfolgt nach dem in [6] angegebenen graphischen Verfahren, wobei der Pendelwinkel η gleich dem Aushubwinkel gesetzt und die Reifeneinfederung und Kippkantenverlagerung bei Lenkeinschlag vernachlässigt werden. Hiermit sind nur angenäherte, aber die Tendenz charakterisierende Werte ermittelt. Rechnerische Lösungen ermöglichen beispielsweise [7] [8].
- c) Zum Vergleich dient die beim wirkenden Pendelanschlag optimal erreichbare, theoretisch zulässige Seitenneigung. Diese ergibt sich, wenn die Pendelbegrenzung erreicht wird, bevor der Traktor in Schräglage übergeht.

Wird die Pendelbegrenzung erst bei schon erfolgter Schiefstellung des Traktors wirksam, ergeben sich immer geringere theoretisch zulässige Grenzseitenneigungen. So zeigt z. B. Bild 2 für den Traktor mit den Werten nach Bild 1, daß sich bei einer Schiefstellung bis zum Erreichen des labilen Gleichgewichts ohne Pendelbegrenzung die Wirkungsrichtung des Schwerpunktes in der Stützebene schon um den Betrag e verschoben hat. Damit nun die Pendelbegrenzung in Aktion treten kann, muß der Traktorrumpf noch weiter bis zum Erreichen der Pendelbegrenzung geneigt werden. Für den vorliegenden Fall ergibt sich dann die zulässige Seitennei-