

Bemerkungen zur Ermittlung des statischen Kippwinkels bei Traktoren

Dipl.-Ing. H. Schulz, KDT, Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Sektion Mechanisierung der Pflanzenproduktion

1. Einleitung

Die in der Landwirtschaft und besonders die in Hanglagen eingesetzten Traktoren und Landmaschinen sind hinsichtlich Unfallgefährdung durch Seitenkippen einsatzsicherer geworden. Trotzdem ist es notwendig, weitere Beziehungen des gefahrlosen Einsatzes der Landtechnik in Hanglagen und unter ähnlichen Bedingungen herauszustellen und ingenieurmäßig zu durchdringen.

Beim Einsatz von Traktoren und Landmaschinen im hängigen Gelände können Probleme der Querstabilität durch Seitenkippen oder seitliches Abrutschen auftreten. Im Beitrag sollen einige Bedingungen und Beziehungen über das Ermitteln von statischen seitlichen Kippwinkeln für Traktoren mit einer Pendelachse und einer starr am Traktorrumpf befestigten Achse dargelegt werden. Derartige Achskombinationen sind auch bei selbstfahrenden Landmaschinen und Kranen vorhanden, so daß dafür gewisse Analogiebetrachtungen möglich sind [1].

2. Ausgangsbedingungen

Beim Einsatz von Traktoren in hängigem Gelände, wo Probleme der Querstabilität durch Seitenkippen auftreten können, sind Kenntnisse über die Einflüsse auf das Kippverhalten notwendig. Das in der Praxis befahrene, oft unebene Gelände erfordert zum Sichern des Bodenkontakts aller Räder Relativbewegung der Achsen zueinander (Bilder 1 und 2) [2]. Dazu ist bei Traktoren die Vorderachse pendelnd aufgehängt, die Hinterachse starr mit dem Rumpf verbunden. Wird von der angegebenen Achskombination bei Traktoren ausgegangen, so tritt bei talseitigem Einsinken oder bergseitigem Anheben der

Bild 1. Achsstellungen bei Traktoren;

- a) scherenartiges Achsverschwenken
- b) zusätzliche Neigung der Vorderachse, ohne Erreichen der Pendelbegrenzung
- c) Achsverschwenkung bei frühzeitigem Erreichen der Pendelbegrenzung zum Vergrößern der Seitenstabilität

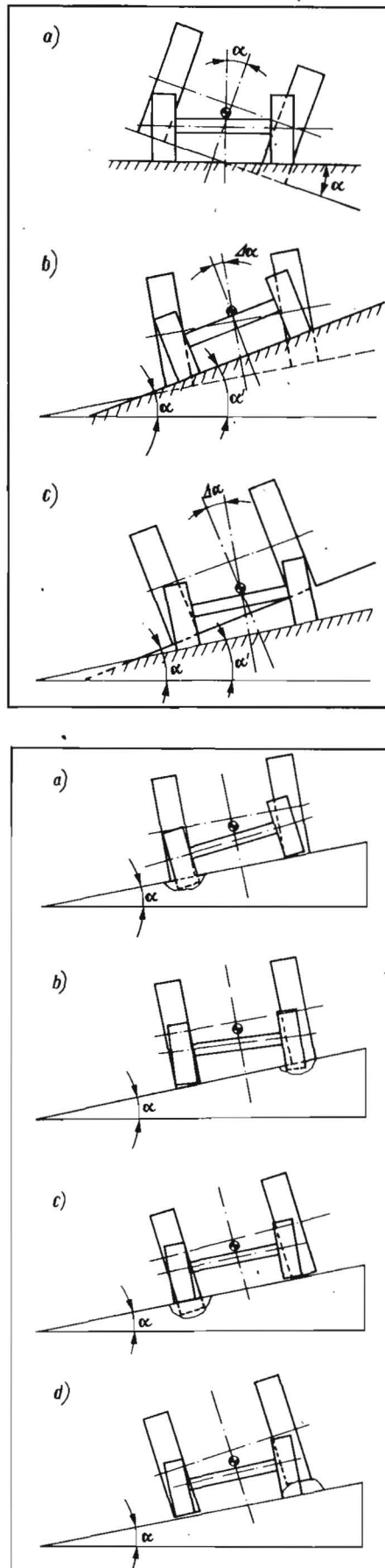
Bild 2. Stellungsmöglichkeiten zwischen Hinterachse (Traktorrumpf) und Pendelvorderachse;

- a) Vorderachse talseitig eingesunken
- b) Vorderachse bergseitig eingesunken
- c) Hinterachse talseitig eingesunken
- d) Hinterachse auf bergseitigem Hindernis

Fortsetzung von Seite 92

wickelten Berechnungsmethoden verdeutlichen eine gute Übereinstimmung der projizierten Werte mit den ersten Ergebnissen. Die erzielten Untersuchungsergebnisse sind zu vertiefen und in überleitungsreife Typenlösungen zu überführen. Ökonomische Berechnungen zum Verhältnis von Aufwand und Nutzen auf der Basis der Typenlösungen sind erforderlich. Ein Verzeichnis der verwendeten Literatur liegt bei den Autoren vor.

A 4414



Pendelachse ein talseitiger Schräglauf und bei umgekehrten Bedingungen ein bergseitiger Schräglauf auf (nicht zu verwechseln mit Fahrzeugschräglauf durch Reifenelastizität). Jeder Schräglauf ist bei vorgegebenem Kurs und bei begrenzt zulässiger Spurversetzung (Pflanzenbeschädigung, erhöhter Kraftstoffverbrauch u. a.) durch Gegenlenken auszugleichen. Die Wirkung auf den Schräglauf ist entgegengesetzt, wenn die Starrachse das gleiche Hindernis überfährt. Die Größe der seitlichen Verschiebung V des Pendellagers (Bild 3) und auch die Größe des Schräglaufwinkels γ sind von Hub- oder Einsenkmaß b , Pendellagerhöhe h_p , Spurweite S und Radstand l abhängig. Auf unebenem Gelände führt so ein Traktorrumpf Gier- und Nickbewegungen aus, und das relative Drehen Traktorrumpf-Pendelachse kann als Rollbewegung aufgefaßt werden (Bild 4).

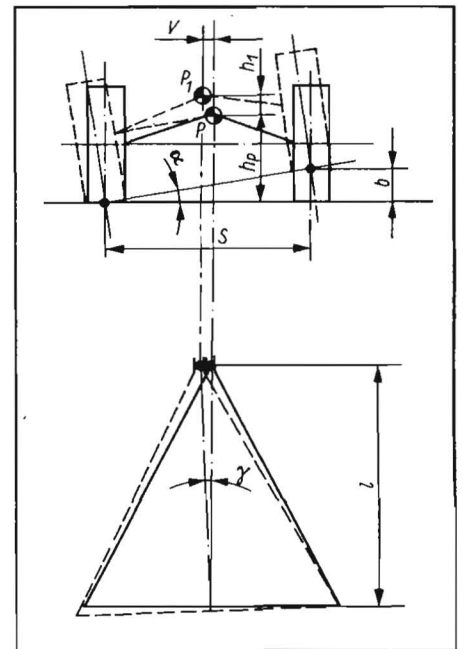
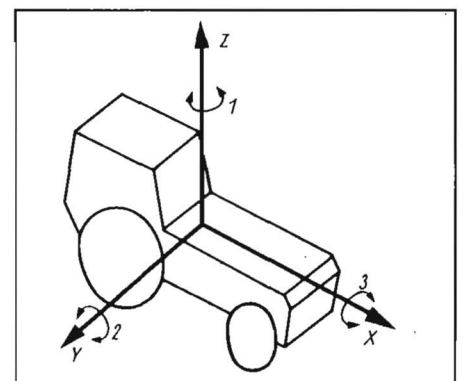


Bild 3. Bewegung des Pendellagers auf unebenem Gelände unter der Vorderachse

Bild 4. Bewegungen des gesamten Traktors; 1 Gieren, 2 Nicken, 3 Rollen



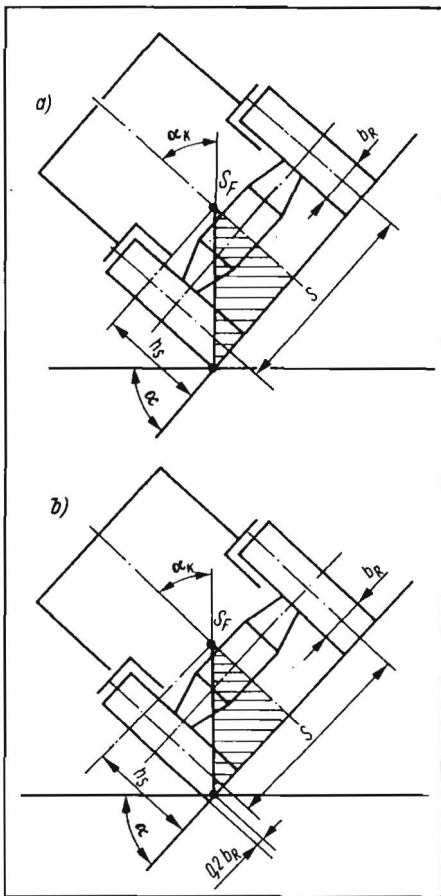


Bild 5. Darstellungen zum Bestimmen des statischen Kippwinkels; a) teilweise bisher angewendet b) nach Reichmann [3]

3. Grafisches Ermitteln des Kippwinkels von Traktoren

Beim Befahren eines Hanges in Schichtlinie mit einem Traktor, dessen Achsen starr am Rumpf befestigt sind, oder wenn eine vorhandene pendelnd aufgehängte Achse zum Traktorrumpf nicht verschwenkt ist, entspricht die Kippgrenzlage α_K des Traktors der Hangneigung α . Damit wird nach Bild 5

$$\tan \alpha_K = \frac{0,5(S + b_R)}{h_S} = \tan \alpha \quad (1a)$$

oder nach Reichmann [3]

$$\tan \alpha_K = \frac{0,5 S + 0,3 b_R}{h_S} \quad (1b)$$

Bei der Gl. (1b) wird davon ausgegangen, daß die Bereifung bekanntlich die Hangabtriebskraft als Seitenführungskraft abstützt und sich, abhängig von der Reifeneinsteife, seitlich deformiert. Dadurch verschiebt sich die „Körperkante“ der Reifen als Kippkante um etwa $0,2 b_R$ bergwärts.

Die aufgeführten Beziehungen gelten nur für eine symmetrische Schwerpunktlage in Traktorlängsrichtung. Sobald die Schwerpunktlage aus der symmetrischen Längsebene des Traktors durch Anbaugeräte u. a. um einen Betrag l_S verschoben ist, werden für die Bedingungen nach Gl. (1a) und bei Vernachlässigung der Reifendeformation

$$\tan \alpha_K = \frac{0,5(S + b_R - l_S)}{h_S} \quad (2a)$$

(Schwerpunktlage hangabwärts)

$$\tan \alpha_K = \frac{0,5(S + b_R + l_S)}{h_S} \quad (2b)$$

(Schwerpunktlage hangaufwärts) [4].

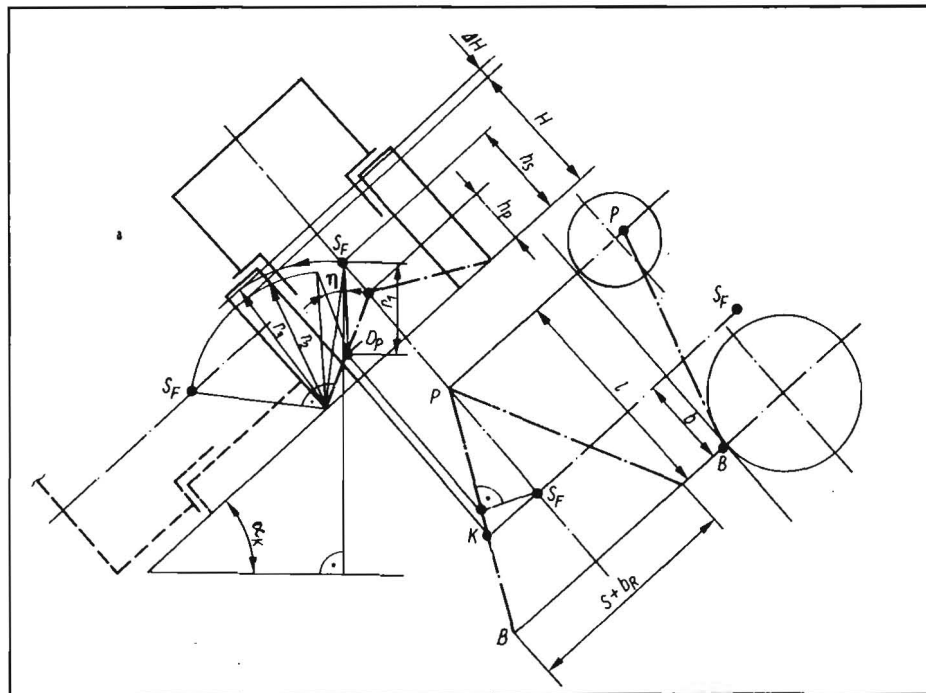


Bild 6. Grafisches Ermitteln des statischen Kippwinkels bei Nichtwirken der Pendelbegrenzung; α_K Kippwinkel, η Pendelwinkel der Vorderachse, D_P Durchstoßpunkt, K Kippunkt, H Fallhöhe bei zwei starren Achsen, ΔH Fallhöhenveränderung mit Pendelvorderachse

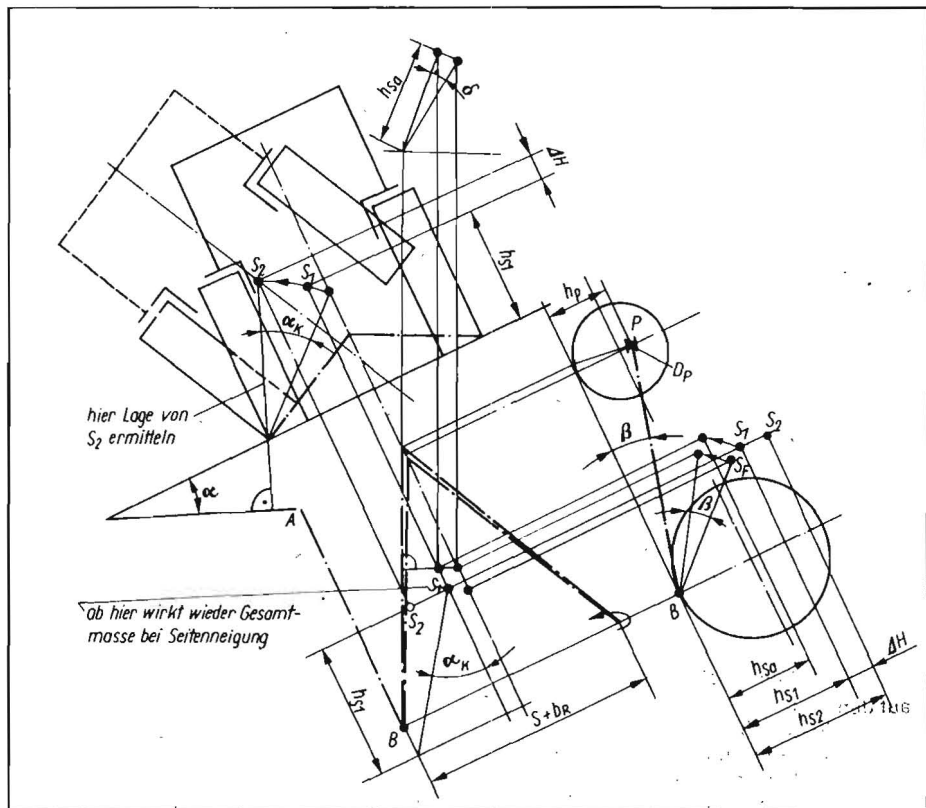


Bild 7. Grafisches Ermitteln des Kippwinkels für die Fälle nach Bild 2 c und 2 d und Wirken der Pendelbegrenzung; δ momentaner Verschwenkungswinkel zwischen Vorder- und Hinterachse (Einsink- oder Anhebewinkel), S_1 Schwerpunktlage bei Pendelanschlag ($\alpha < \alpha_K$)

Beim Befahren eines immer steiler werdenden Hanges durch einen Traktor mit Pendelvorderachse (Bild 6) kann der Kippwinkel wie folgt ermittelt werden [4, 5]:

$$\tan \alpha_K = \frac{0,5 \left(1 + \frac{b}{l}\right) (S + b_R)}{h_S - h_P \frac{b}{l}} \quad (3)$$

Wird mit einem Traktor ein Hang in Schichtlinie befahren und treten dabei Einsatzfälle nach den Bildern 1c und 2 auf, kann der statische Kippwinkel grafisch mit einem ausreichend genauen Verfahren nach Bild 7 ermittelt werden [4, 5]. Beim bergseitigen Anheben der Hinterachse tritt hier u. U. der Fall ein, daß der Traktorrumpf um den Pendelwinkel η bis zur Pendelbegrenzung verdreht

wird. Die verschiedenen Achsstellungen (Bilder 1 und 2) können durch einen damit veränderten wirksamen Pendelwinkel berücksichtigt werden [6, 7].

Nach Bild 7 hat bei Traktorneigung der Schwerpunkt beim Erreichen der Pendelbegrenzung die Lage S_1 . Von hier ab dreht sich der Traktor um die Kippkante \overline{AB} weiter, die durch die Außen„kanten“ der Stützflächen (Kontaktflächen) der talseitigen Räder gebildet wird. Der Kippwinkel α_k kann mit der Schwerpunkthöhe h_{s1} nach dem im Bild 7 angegebenen grafischen Verfahren ermittelt werden [5].

4. Berechnung des Kippwinkels bei Drei- und Vierpunktstützung

Neben der grafischen Methode und der praktischen Ermittlung des Kippwinkels nach Standard TGL 80-24626 (Beachten der Reifendeformation) sind dafür auch Berechnungsverfahren bekannt. Mit der Einschränkung, daß ein Traktor mit Pendelvorderachse ohne Anschlag der Pendelbegrenzung die Kippgrenzlage erreicht, kann mit vertretbarem Aufwand der Kippwinkel α_k nach [8] berechnet werden. Nach Bild 8 wird

$$\tan \alpha_k = \frac{l_k}{h'_s} = \frac{(S + b_R)(l - b)}{h'_s \sqrt{4l^2 + (S + b_R)^2}} \quad (4a)$$

Diese Beziehung ist eine Näherung, denn der Kippwinkel ist außer von den Maßen der Dreipunktstützfläche und der Schwerpunktlage auch von der Höhe des Pendellagers h_p über der Fahrbahn abhängig. Mit den getroffenen Einschränkungen kann der Kippwinkel wie folgt ermittelt werden [8]:

$$\tan \alpha_k = \frac{(l - b' + l_v) \sin \psi' \sqrt{l^2 + h_p^2}}{h_s l - b} \quad (4b)$$

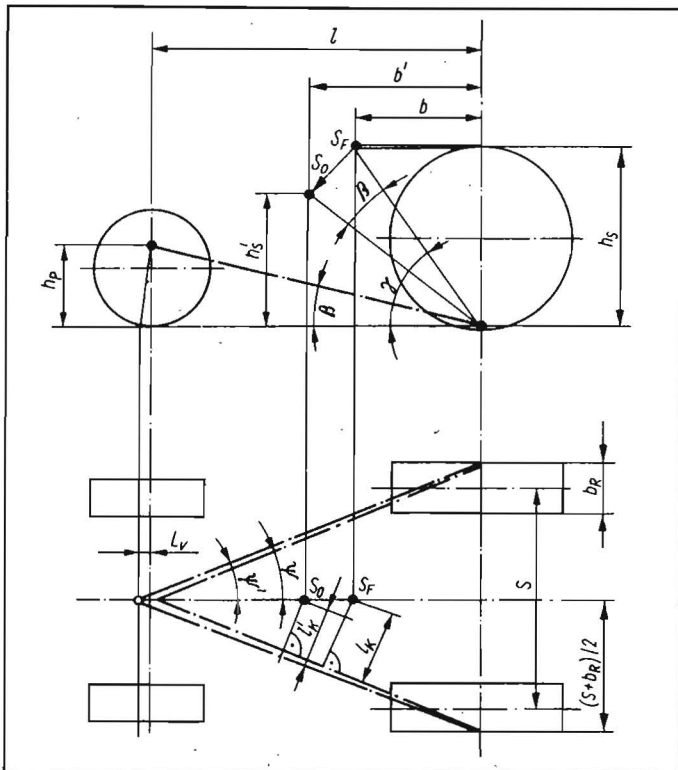
$$\text{mit } l_v = \sqrt{l^2 + h_p^2} - l \quad (4b)$$

Bei einer Lage des Pendelpunkts zwischen den Achsen, z. B. bei Traktoren mit Knicklenkung, gilt als Stützfläche eine Vierpunktaußenseite und als Kippkante die Verbindungslinie der Außen„kanten“ der talseitigen Räder. Für derartig ausgeführte Traktoren liegt zum Bestimmen der Kippwinkel ein Berechnungsverfahren nach [9] vor. Bei knickgelenkten Traktoren ist zu beachten, daß sich der horizontale Schwerpunktabstand zur Kippkante mit dem Lenkeinschlag (Knickwinkel) verändert. Allen diesen Betrachtungen ist eine statische oder quasistatische Belastung in den drei Belastungsebenen unterstellt.

5. Einfluß der Reifendeformation auf den Kippwinkel

Die angestellten Betrachtungen gelten – außer Gl. (1b) – nur unter der Annahme unelastisch bereifter Traktoren. Praktisch ist die Bereifung elastisch, so daß bei Seitenneigungen beachtliche horizontale (seitliche) und vertikale Reifendeformationen auftreten. Bezogen auf die angestellten Betrachtungen ergeben sich dadurch größere Seitenneigungen, und die horizontale Reifendeformation bewirkt eine negativ wirksame Verschiebung der Traktorkippkante. Diese Wirkungen sind besonders eine Funktion der Reifenfedersteife in beiden Ebenen und damit besonders des Reifeninnendruckes. Für den Traktor ZT 300 wurden die sich einstellenden horizontalen Reifendeformationen in Abhängigkeit von Traktorschräglage, Spurweite und Reifeninnendruck ermittelt [10]. Nachgewiesen wurden dabei maximale Reifendeforma-

Bild 8
Darstellung zum rechnerischen Ermitteln des statischen Kippwinkels bei räumlich liegender Stützfläche



tionen, die etwa 10 % der Spurweite des untersuchten Traktors betragen. Diese Erscheinungen und der Einfluß der Reifenelastizität auf die Kippkanten und auf den Kippvorgang sind ebenfalls zu untersuchen, um weitere Erkenntnisse und Maßnahmen für einen gefahrlosen Traktoreinsatz zu erfassen und weiter durchzusetzen.

6. Zusammenfassung

Der Beitrag deutet in straffer Form den Stand der theoretischen Erkenntnisse zum Ermitteln des statischen seitlichen Kippwinkels bei Traktoren an. Die real wirkenden dynamischen Bedingungen werden nicht betrachtet. Mit den angegebenen Methoden werden – bedingt durch die elastische Bereifung der Traktoren – Näherungswerte ermittelt. Der Wert der angestellten Betrachtungen liegt in der tendenziellen Angabe des Einflusses von Konstruktions- und Betriebsparametern auf das Stabilitätsverhalten von Traktoren am Seitenhang.

Literatur

- [1] Rothe, J.: Fahrmechanik selbstfahrender Landmaschinen, Bd. 2. Bericht über die technisch-wissenschaftlichen Arbeiten des ILT Leipzig 1976.
- [2] König, A.: Die Standsicherheit des Traktors. Landtechnik, Lehrte (1972) 21/22.
- [3] Reichmann, E.: Hangstabilität landwirtschaftlicher Fahrzeuge, Teil 1. Kippgrenzen von Drei- und Vierradfahrzeugen bei Fahrt auf ebenem Hang. Forschungsbericht der Bundesversuchs- und Prüfanstalt Wieselburg 1972.
- [4] Blumenthal, R., u. a.: Technisches Handbuch Traktoren. Berlin: VEB Verlag Technik 1985.
- [5] Schwanghardt, H.: Berechnungsmethode über das seitliche Umsturzverhalten eines Traktors. Internationale Konferenz „Entwicklungsperspektiven landwirtschaftlicher Schlepper“ Warschau 1973.
- [6] Schulz, H.: Bestimmung der theoretisch zulässigen Schräglagen bei Traktoren mit Pendelvorderachse. Dt. Agrartechnik, Berlin (1970) 10, S. 483–485.

- [7] Kossowski, E.: Wyniki badań stateczności agregatów maszynowych nośnika narzędzi RS09-2. (Ergebnisse von Prüfungen der Stabilität des Geräteträgers RS09-2). Roczniki nauk rolniczych, Warszawa (1971) S. 635–650.
- [8] Schulte, K.-H.: Schleppereinsatz am Hang. TU Dresden, Diplomarbeit 1960.
- [9] Kollar, L.: Beitrag zur Automatisierung der Lenkung zweigliedriger allradantriebener Aggregate auf nachgiebigem Boden. TH Magdeburg, Dissertation 1976.
- [10] Scherner, P.: Beitrag zum Ermitteln der Querstabilität von Traktoren und selbstfahrenden Landmaschinen. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, wissenschaftliche Abschlussarbeit 1979 (unveröffentlicht). A 4504

**Fachleute lesen
agrartechnik!**

Ein Abonnement
bringt Vorteile.