

des Bodens, zwischen 2 m/s und 5 m/s. Oberhalb dieser Grenze nimmt in Abhängigkeit von der Prallgeschwindigkeit der Zerkleinerungsgrad linear zu, während der Zerkleinerungserfolg, d. h. die Ausnutzung der Energie, abnimmt. Durch Veränderung der Konstruktionsparameter einer geschlossenen Fräsenabdeckung kann eine Verbesserung des Zerkleinerungserfolgs nicht erreicht werden. Selbst bei Veränderung der Aufprallrichtung zwischen 90° und 45° liegen die Zerkleinerungsergebnisse noch im Fehlerbereich der Untersuchungen. Die konstruktive Gestaltung und Anordnung

der Fräsenabdeckung kann deshalb ohne Beachtung spezieller Forderungen der jeweiligen Maschinenkonzeption angepaßt werden.

Literatur

[1] Kalk, W.-D.; Lucius, J.; Plötner, K.: Diskussion zum Arbeitsprinzip der Schar-Fräse. agrartechnik 25 (1975) H. 1, S. 9—11.
 [2] Lucius, J.; Kalk, W.-D.: Experimentelle Untersuchung zur Zuordnung des Vorlockerungswerkzeuges zum Fräsrotor in einer Schar-Fräse. agrartechnik 25 (1975) H. 1, S. 11—14.

[3] Kalk, W.-D.: Zur Energiebilanz an der Bodenfräse unter besonderer Berücksichtigung der Rotorabdeckung. agrartechnik 26 (1976) H. 4, S. 183—185.
 [4] Regge, H.: Der Zerkleinerungserfolg als Bewertungsmaßstab für Bodenbearbeitungsgeräte und -maschinen. Dt. Agrartechnik 15 (1965) H. 8, S. 376.
 [5] Kalk, W.-D.: Untersuchung des Einflusses der Abdeckung einer Bodenfräse auf das Arbeitsergebnis der Fräse. TU Dresden, Dissertation 1972 (unveröffentlicht). A 1572

1) Erarbeitet an der Technischen Universität Dresden, Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik

Zum Arbeitsprinzip eines Kurzpfluges auf der Grundlage des Wendens von Bodenbalken mit parallelogrammförmigem Querschnitt

Dipl.-Ing. S. Anisch, KDT/Dipl.-Ing. R. Richter, KDT
 Technische Universität Dresden, Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik

1. Einleitung

Die Entwicklung industriemäßiger Produktionsmethoden in der sozialistischen Landwirtschaft erfordert auch bei der Bodenbearbeitung den Einsatz von modernen Maschinen und Geräten, die höchste Erträge und eine hohe Effektivität gewährleisten.

In der Direktive zum Fünfjahrplan [1] wird die Bereitstellung leistungsfähiger und funktions-sicherer Geräte für die Bodenbearbeitung und die Saatbettbereitung, vor allem für die Traktoren K-700 und T-150 K, als wichtiger Beitrag zur komplexen Mechanisierung hervorgehoben.

Neben der Vergrößerung der Arbeitsbreite, der Erhöhung der Arbeitsgeschwindigkeit und der Kombination mehrerer Arbeitsgänge wird als wesentlicher Weg zum Überwinden gegenwärtig vorhandener Schwierigkeiten die Entwicklung neuartiger Bodenbearbeitungswerkzeuge angesehen. Diese müssen hinsichtlich

Arbeitsgeschwindigkeit, Arbeitsqualität, Energieaufwand und Einordnung in neue Konstruktionslösungen Vorteile bringen [2].

Für die Grundbodenbearbeitung, d. h. für das tiefe Bearbeiten der Ackerkrume durch Lockern und Wenden des Bodens sowie für das Unterbringen von Bewuchs und Dung, ist nach wie vor das Pflügen erforderlich.

Konventionelle Pflüge erreichen wegen der gestaffelten Anordnung der Pflugkörper bei der Auslegung für leistungsstarke Traktoren mit einer Motorleistung von über 100 kW eine sehr große Baulänge. Die dadurch auftretenden Probleme (schlechte Anpassung an Bodenunebenheiten, schlechte Manövrierfähigkeit u. a.) können nur durch erhöhte technische Aufwendungen beseitigt werden.

Die Verkürzung der Baulänge der Pflüge läßt sich durch folgende Forderungen begründen:
 — Verringerung des Materialaufwands
 — bessere Anpassung an das Bodenrelief

- bessere Kombination mit Nachbearbeitungs- und Saatbettbereitungsgeräten
- bessere Manövrierfähigkeit des Systems Traktor—Pflug
- Einsatz der Pflugkörper in kombinierten Aggregaten zur Grundbodenbearbeitung und zur Saatbettbereitung.

In Patenten und in der einschlägigen Fachliteratur sind verschiedene Lösungen zur Verringerung des Stafflungsabstands¹⁾ von Pflugkörpern dargestellt, die sich aber zum großen Teil aufgrund funktioneller Mängel in der Praxis nicht durchsetzen konnten.

Die Analyse möglicher Arbeitsprinzipie für einen Kurzpflug ergibt als vorteilhafte Variante das Ausschneiden von Bodenbalken mit einer parallelogrammförmigen (oder dieser nahekommen) Querschnittsform und Wenden in die Nachbarfurche.

2. Stand der Wissenschaft und Technik

Die Stafflung der Pflugkörper als Voraussetzung für ein verstopfungsfreies Wenden wird hauptsächlich von folgenden Gesichtspunkten bestimmt:

- Geometrische Form der zu wendenden Bodenbalken
- Abmessungen und Gestaltung der Pflugkörper (Dicke von Streichblech, Rumpf und Grindel, Größe der Anlage)
- Anbringung von Vor- und Nachbearbeitungswerkzeugen
- Veränderung des Bodenbalkenquerschnitts beim Wenden
- Menge und Beschaffenheit von unterzubringenden Pflanzenrückständen und Dung.

Aus der Darstellung verschiedener Phasen des Wendevorgangs zweier benachbarter Bodenbalken mit rechteckiger Querschnittsform (Bild 1a) ist erkennbar, daß sich die Bodenbalken in verschiedenen Bereichen überdecken. Um ein ungehindertes Wenden zu ermöglichen, ist ein kinematisch bedingter Nachlauf des

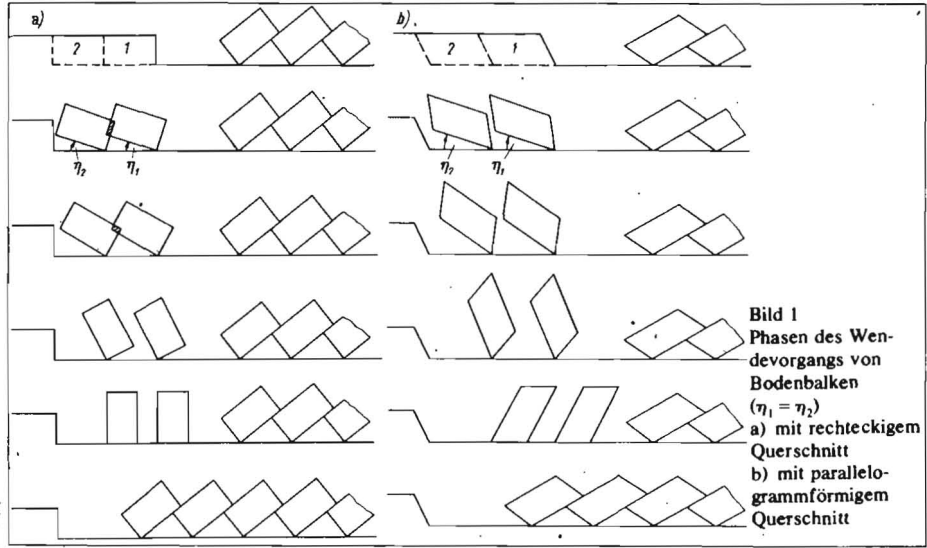


Bild 1
 Phasen des Wendevorgangs von Bodenbalken ($\eta_1 = \eta_2$)
 a) mit rechteckigem Querschnitt
 b) mit parallelogrammförmigem Querschnitt

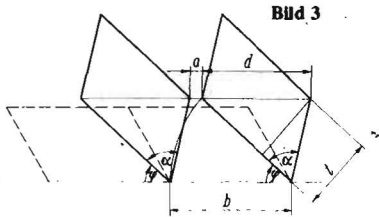
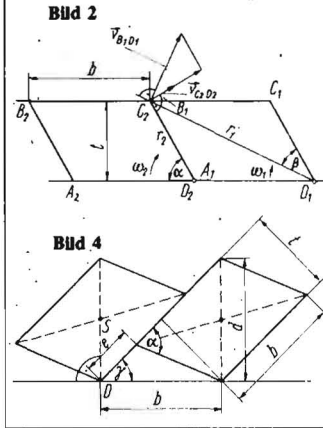


Bild 2
Geschwindigkeitsverhältnisse bei Wendebeginn

Bild 3
Grenzbedingung für das Berühren benachbarter Bodenbalken

Bild 4
Grenzbedingung für die stabile Ablage der Bodenbalken

Bild 5
Tiefe der ursprünglich an der Bodenoberfläche befindlichen Schicht

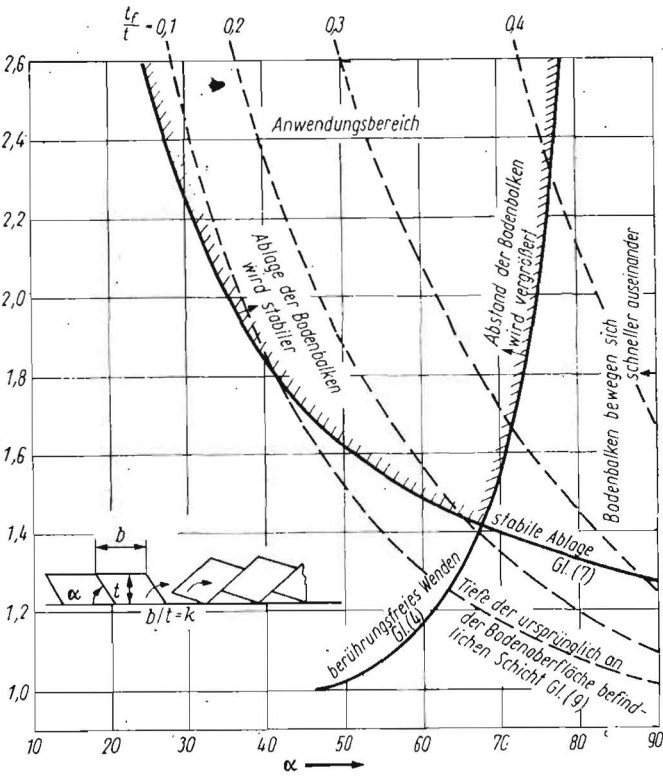


Bild 6
Mögliche Querschnittsformen der Bodenbalken in Abhängigkeit vom Verhältnis $k = b/t$ und vom Neigungswinkel α der Furchenwand

Wendevorgangs für den Bodenbalken 2 erforderlich. Durch die Veränderung der geometrischen Form des Bodenbalkenquerschnitts zu einem Parallelogramm könnten nebeneinanderliegende Bodenbalken theoretisch ohne gegenseitige Berührung gleichzeitig gewendet werden (Bild 1b). Mit einer solchen Querschnittsform kann der Staffelungsabstand der Pflugkörper zumindest um den beim Wenden rechteckiger Bodenbalkenquerschnitte kinematisch bedingten Nachlauf verringert werden. Bekannt ist das Arbeitsprinzip eines französischen Pfluges von Huard, dessen Pflugkörper Bodenbalken mit parallelogrammähnlichem Querschnitt ausschneiden und wenden [2]. Für einen Anbaukehrpflug wird eine Verringerung der Baulänge um 40% gegenüber herkömmlichen Pflügen angegeben [3].

3. Analyse des Einflusses der geometrischen Abmessungen des Bodenbalkenquerschnitts

Zur Erfüllung der Funktion des gleichzeitigen Wendens von Bodenbalken mit parallelogrammförmigem Querschnitt (entsprechend Bild 1b) werden folgende Forderungen gestellt:

- Schnelles Auseinanderbewegen der Bodenbalken zu Beginn des Wendevorgangs
- ausreichend großer Abstand der Bodenbalken während des Wendevorgangs (zum Anbringen und Abstützen der Werkzeuge)
- stabile Ablage der Bodenbalken
- Unterbringen der ursprünglich an der Bodenoberfläche befindlichen Schicht in eine bestimmte Tiefe (zum Erzeugen einer pflanzenrückstandsfreien oberen Bodenschicht).

In den folgenden Untersuchungen soll zunächst der Einfluß der geometrischen Abmessungen der zu wendenden Bodenbalken auf die Erfüllung der o.g. Forderungen unter abstrahierten Modellbedingungen betrachtet werden, um grundsätzliche Zusammenhänge darzulegen.

- Dazu werden die Querschnitte von zwei nebeneinanderliegenden Bodenbalken betrachtet, von denen angenommen wird, daß sie
- in einer Ebene liegen und gleichzeitig gewendet werden (Staffelungsabstand ist Null)
 - während des Wendevorgangs ihre Form beibehalten
 - homogen und bewuchsfrei sind

— beim Wenden jeweils um einen Eckpunkt gedreht werden. Die räumliche Ausdehnung des zur Realisierung des Wendevorgangs notwendigen Werkzeugs bleibt vorerst unberücksichtigt. Die geometrischen Abmessungen des parallelogrammförmigen Bodenbalkenquerschnitts werden durch das Verhältnis $k = b/t$ (Arbeitsbreite/Arbeitstiefe) und durch den Neigungswinkel α der Furchenwand gegenüber der Horizontalen gekennzeichnet.

Auseinanderbewegen benachbarter Bodenbalken
Das sofortige Auseinanderbewegen benachbarter Bodenbalken zu Beginn des Wendevorgangs ist gewährleistet, wenn nach Bild 2 die Bedingung (1) erfüllt ist:

$$v_{B1D1} \cos \beta > v_{C2D2} \quad (1)$$

Durch Einsetzen der kinematischen und geometrischen Beziehungen in die Ungleichung (1) und durch Umformen ergibt sich

$$k \sin 2\alpha > 0 \quad (2)$$

Berührungsfreies Wenden benachbarter Bodenbalken
Für den Fall, daß sich die benachbarten Bodenbalken während des Wendevorgangs nicht berühren, gilt nach Bild 3

$$a = b - d > 0 \quad (3)$$

Nach dem Einsetzen der geometrischen Beziehungen und nach Umformen ergibt sich als Bedingung für berührungsfreies Wenden:

$$\sin 2\alpha > t/b = 1/k \quad (4)$$

Stabile Ablage der Bodenbalken
Die stabile Ablage der Bodenbalken ist gewährleistet, wenn sie soweit gewendet werden, daß sich ihr Schwerpunkt S mindestens senkrecht über dem Drehpunkt D befindet (Bild 4). Aus der Grenzlage der Bodenbalken ergibt sich aus den Beziehungen

$$(b + e)^2 = d^2 + b^2 \quad (5)$$

$$e/\sin(\alpha - \gamma) = b/\sin \alpha \quad (6)$$

nach Einsetzen der geometrischen Größen und nach Umformen als Bedingung für eine stabile Ablage des Bodenbalkens:

$$\cot \alpha > k - 1/\sqrt{k^2 - 1} \quad (7)$$

Unterbringen der ursprünglich an der Bodenoberfläche befindlichen Schicht
Zur Abschätzung des Einflusses der geometrischen Abmessungen des Bodenbalkenquerschnitts auf das Unterbringen des Pflanzenbewuchses wird entsprechend Bild 5 die Tiefe t_f bestimmt:

$$t_f = \frac{1}{2} [d \sin(\gamma + \eta) - t] \quad (8)$$

Nach dem Einsetzen der geometrischen Größen und nach Umformen ergibt sich die Tiefe der ursprünglich an der Bodenoberfläche befindlichen Schicht zu

$$\frac{t_f}{t} = \frac{1}{2k} (\sqrt{k^2 - 1} - \cot \alpha) \quad (9)$$

Im Bild 6 sind die nach den Ausdrücken (2), (4) und (7) berechneten Grenzbedingungen und der sich daraus ergebende Bereich der möglichen Abmessungen von Bodenbalkenquerschnitten in Abhängigkeit vom Verhältnis k und vom Neigungswinkel α der Furchenwand dargestellt. Aus der Gleichung (9) wurden Kurven für $t_f/t = \text{const.}$ berechnet. Folgende Erkenntnisse lassen sich ableiten:

- Die Bodenbalken lösen sich um so schneller voneinander, je größer das Verhältnis k ist

und je kleinere Werte der Neigungswinkel α der Furchenwand annimmt.

— In einem bestimmten Bereich von Querschnittsabmessungen ist das Wenden benachbarter Bodenbalken ohne gegenseitiges Behindern möglich. Innerhalb dieses Bereichs ist beim Wenden der Abstand zwischen den Bodenbalken um so größer, je größer das Verhältnis k und je kleiner der Neigungswinkel α der Furchenwand ist.

— In einem bestimmten Bereich von Querschnittsabmessungen erfolgt eine stabile Ablage der Bodenbalken. Die Stabilität erhöht sich mit steigendem Verhältnis k und steigendem Neigungswinkel α der Furchenwand.

— Die Tiefe der ursprünglich an der Bodenoberfläche befindlichen Schicht vergrößert sich mit steigendem Verhältnis k und verringert sich mit kleinerem Neigungswinkel α der Furchenwand. Bei einer geringeren Tiefe t_f ist eine schlechtere Unterbringung von Bewuchs zu erwarten.

Die Grenzen des Bereichs der möglichen Querschnittsabmessungen in Richtung größerer Verhältnisse k und kleinerer Neigungswinkel α der Furchenwand werden durch die Breitenausdehnung des Bodenbalkens vorgegeben.

4. Anwendung der gewonnenen Erkenntnisse bei der Konstruktion von Pflugkörpern für einen Kurzpflug

Die im Bild 6 dargestellten möglichen Querschnittsabmessungen von Bodenbalken gelten unter abstrahierten Modellbedingungen für eine

Anordnung von Pflugkörpern ohne Staffelungsabstand und sollen die grundsätzlichen Zusammenhänge zeigen, die sich aus der veränderten Querschnittsform ergeben. Für die praktische Anwendung bei der Konstruktion neuer Pflugkörper sind die Querschnittsabmessungen der Bodenbalken unter Berücksichtigung der räumlichen Ausdehnung und Gestaltung der Arbeitsfläche der Pflugkörper, des Staffelungsabstands, der Unterbringung von Bewuchs, der Zuordnung von Zusatzwerkzeugen (Vorschäler, Seche, Einleger), des mechanischen Verhaltens des Bodens und der auftretenden Kräfte festzulegen. Angesichts der Vielfalt und Kompliziertheit der Zusammenhänge ist dabei zweckmäßigerweise nach der experimentell-theoretischen Methode [4] vorzugehen. Wie bereits im Dargelegten praktiziert, sind durch geometrische, kinematische und kinetische Untersuchungen die grundlegenden Zusammenhänge zu ermitteln und daraus eine gezielte Auswahl von Varianten für experimentelle Untersuchungen zu treffen.

Zur Realisierung eines geringen Staffelungsabstands muß die Arbeitsfläche der Pflugkörper so gestaltet werden, daß der Bodenbalken während des Wendevorgangs möglichst wenig aufbricht, seine Querschnittsform nicht wesentlich verändert und auf dem Streichblech aufliegt. Das Aufbrechen und Krümeln des Bodens darf erst gegen Ende des Wendevorgangs und bei der Ablage erfolgen. Durch eine entsprechende Gestaltung der Streichblechrückseite, des Rumpfes, des Grindels sowie Verzicht auf die Anlage an den

Pflugkörpern sind genügend freier Raum für das Wenden der nachfolgenden Bodenbalken zu schaffen und Ansatzpunkte für Stauungen von Boden und Bewuchs zu vermeiden.

5. Zusammenfassung

Ausgehend von der Notwendigkeit, die Baulänge der Pflüge zu verringern, wurde als ein realisierbares Arbeitsprinzip für einen Kurzpflug das Wenden von Bodenbalken mit parallelogrammförmigem Querschnitt betrachtet. Theoretische Untersuchungen zum Anwendungsbereich erfolgten in Abhängigkeit vom Verhältnis zwischen Arbeitsbreite und Arbeitstiefe sowie vom Neigungswinkel der Furchenwand. Anregungen für die Anwendung bei der Konstruktion von Pflugkörpern wurden gegeben.

Literatur

- [1] Direktive des IX. Parteitag der SED zum Fünfjahrplan für die Entwicklung der Volkswirtschaft der DDR in den Jahren 1976—1980. Berlin: Dietz Verlag 1976.
- [2] Soucek, R.: Zu einigen Fragen des technischen Standes der Bodenbearbeitungsgeräte in der DDR und deren Weiterentwicklung. agrartechnik 24 (1974) H. 1, S. 23—25, 29.
- [3] Holzapfel, G.: Landtechnik heute und morgen. Berlin: VEB Verlag Technik 1976.
- [4] Lucius, J.: Methodik der Werkzeugentwicklung für die Bodenbearbeitung. Dt. Agrartechnik 22 (1972) H. 11, S. 515—517. A 1602

- 1) Staffelungsabstand: Abstand der Scharspitzen benachbarter Pflugkörper in Arbeitsrichtung

Zur Stabilität der Bodenwendung beim Pflügen in Hanglagen

Dozent Dr.-Ing. H. Regge, KDT, Technische Universität Dresden, Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik

1. Problemstellung

Eine der Hauptaufgaben der pflügenden Bodenbearbeitung besteht in der stabilen Wendung der Bodenbalken unter allen agrotechnisch festgelegten Bedingungen. Unterstellt man, wie in der Theorie der Bodenbearbeitung allgemein üblich [1] [2], daß der Bodenbalken während der Wendung seine Querschnittsform unverändert beibehält, dann ist dessen Lagestabilität einzig und allein von der Querneigung α der Furchensohle und vom Böschungswinkel β abhängig (Bild 1). Nachfolgend wird an die grundsätzlichen Überlegungen von Bernacki und Haman zur Bodenwendung am Hang [2] angeknüpft und über eine analytische Untersuchung der Wendegeometrie eine einfache, linearisierte mathematische Beziehung entwickelt, die einerseits eine qualitative Bewertung der Wendestabilität gestattet und andererseits auch diesbezüglich Konstruktionsrichtlinien für den Entwurf von Pflugkörpern liefert.

2. Geometrie der Bodenbalkenwendung

Der kritische Fall der Bodenwendung bei der Pflugarbeit in Schichtlinie tritt offensichtlich hangaufwärts auf (Bild 1). Folglich genügt die eingehende Untersuchung dieses Falles.

Der gewendete Bodenbalken hat eine um so stabilere Lage, je mehr seine Diagonale AC zum Gepflügten hin geneigt ist. Die Lage wird

stabil, wenn die genannte Diagonale senkrecht steht. Für diesen Grenzfall gilt:

$$\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ \quad (1)$$

$$\frac{C_1 O^2 + A_2 O^2}{C_1 A_2} = \frac{A_2 C_1^2}{C_1 A_2} \quad (2)$$

$$\frac{C_1 O}{A_2 O} = b \cos \alpha \quad (3)$$

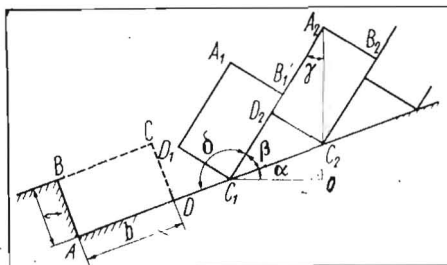
$$\frac{A_2 O}{A_2 C_1} = b \sin \alpha + \sqrt{b^2 + t^2} \quad (4)$$

$$\frac{A_2 C_1}{A_2 C_1} = b + \sqrt{b^2 - t^2} \quad (5)$$

Werden die Gln. (3) bis (5) in Gl. (2) eingesetzt, so erhält man nach der impliziten Darstellung:

$$b \sqrt{b^2 + t^2} \sin \alpha - b \sqrt{b^2 - t^2} + t^2 = 0 \quad (6)$$

Bild 1. Wendegeometrie am Hang:
 α Hangneigungswinkel, β Böschungswinkel,
 γ Diagonalenwinkel, δ Wendewinkel



Zur Vereinfachung dieser Beziehung wird durch t^2 dividiert und für b/t dieses Grenzfall

$$b/t = k_g \quad (7)$$

gesetzt. Damit geht Gl. (6) in folgende Form über:

$$k_g \sqrt{k_g^2 + 1} \sin \alpha - k_g \sqrt{k_g^2 - 1} + 1 = 0 \quad (6.1)$$

Daraus ergibt sich, daß einem bestimmten Hangneigungswinkel ein ganz bestimmtes Verhältnis der Profilabmessungen b/t zugeordnet werden muß, wenn die Labilitätslage des gewendeten Bodenbalkens erreicht werden soll. Eine stabile Bodenwendung erfordert, daß diese Lage überschritten wird, d. h., daß folgende Beziehung erfüllt wird:

$$\frac{b}{t} = k > k_g \quad (8)$$

Dabei ist die Wendung um so stabiler, je stärker das Verhältnis der Profilabmessungen b/t vom Koeffizienten k_g abweicht. Wie aus Bild 1 weiter hervorgeht, steht das Verhältnis der Profilabmessungen in fester Beziehung zum Böschungswinkel β , zum Wendewinkel δ und zum Diagonalenwinkel γ :

$$\frac{t}{b} = \frac{1}{k} = \sin \beta = \sin \delta = \tan \gamma \quad (9)$$

In der landwirtschaftlichen Praxis ist es allgemein gebräuchlich, die Hangneigung nicht in Grad, sondern in Prozent (Steigung p)