

## Die Seitenführungskräfte starrer, nicht angetriebener Räder

Von Heinrich Kremer und Walter Söhne

Maßgebend für die Brauchbarkeit starrer Landmaschinenräder ist neben ihren Herstellungskosten und ihrer Haltbarkeit vor allem ihr Rollwiderstand auf Acker und Wiese. Über die Größe des Rollwiderstandes bei verschiedenen Radabmessungen (Durchmesser, Felgenbreite und -form) auf verschiedenen Böden wurden schon vor Jahren Untersuchungen [1 bis 4] durchgeführt. Darüber hinaus wird von den Rädern aber oft noch erlangt, daß sie auch bei der Einwirkung seitlicher Kräfte möglichst genau in ihrer Rollrichtung laufen. Über diese Eigenschaft der Räder, die besonders beim Fahren am Hang beim Steuern und beim Kurvenfahren von Bedeutung ist, gibt es nur wenige Untersuchungen, und diese befassen sich zudem ausschließlich mit Kraftfahrzeug- und Flugzeugreifen [5, 6]. In diesen Untersuchungen wird für das Verhalten der Räder, seitliche Kräfte aufzuheben, der Ausdruck Seitenführungskraft gebraucht.

Wenn ein Rad Seitenkräfte aufnehmen soll, muß der Boden entsprechende gleich große Reaktionskräfte auf das Rad ausüben. Voraussetzung dazu ist aber, daß Radebene und Fahrtrichtung miteinander einen Winkel, den sogenannten Schräglaufwinkel, bilden. Dieser Schräglaufwinkel darf nicht mit dem Einschlagwinkel eines gesteuerten Rades (gegenüber dem Fahrgerüst) verwechselt werden, der zu einer Richtungsänderung des Fahrzeuges erforderlich ist. Es ist vielmehr der Winkel, der notwendig ist, um bei auftretenden seitlichen Kräften ein Abweichen von der gewünschten Fahrtrichtung zu verhindern. Im übrigen muß auch der Einschlagwinkel beim Steuern einen gewissen Schräglaufwinkel enthalten, um die Seitenkräfte beim Kurvenfahren aufzunehmen.

Wie Messungen zeigen, nimmt die Seitenführungskraft zunächst linear mit steigendem Schräglaufwinkel zu und nähert sich dann allmählich einem Maximalwert. Seitliche Kräfte, die diesen Maximalwert überschreiten, können durch größeres Schräglstellen der Räder nicht mehr aufgenommen werden.

Das Fahrzeug rutscht dann, ohne der Steuerung zu gehorchen, bis die seitlichen Kräfte wieder unter den Maximalwert der Seitenführungskraft gefallen sind. Abgesehen von dem Schräglaufwinkel hängt die Größe der Seitenführungskraft von der Bodenbeschaffenheit, Belastung und den Radabmessungen ab. Es besteht ein grundsätzlicher Unterschied zwischen der Seitenführung eines starren Rades auf starrer Fahrbahn und der eines starren Rades auf einem nachgiebigen Boden. Dagegen ist das Verhalten eines Gummireifens auf starrem Boden ähnlich dem Verhalten eines starren Reifens auf nachgiebigem Boden. Ein Rad drückt eine mehr oder weniger tiefe Spur in einen nachgiebigen Ackerboden. Genauso wie die vertikalen Radkräfte eine vertikale Bodenverformung, eben die Radspur, verursachen, bewirken schon geringe Seitenkräfte eine sehr kleine seitliche Bodenverformung. Da ständig neue Bodenteile mit dem rollenden Rad in Berührung kommen und dabei zur Seite hin zusammengedrückt werden, entsteht aus diesen kleinen seitlichen Verschiebungen eine Abweichung der Fahrtrichtung gegenüber der Radebene.

Wir müssen zwischen folgenden Fällen unterscheiden:

- 1) Beim starren Rad auf starrer Fahrbahn verformt sich weder Rad noch Fahrbahn. In der Berührungsfläche findet schon bei kleinem Schräglaufwinkel ein geringfügiges Gleiten statt. Die Seitenführungskraft ist annähernd unabhängig vom Schräglaufwinkel und hängt nur vom Reibungsbeiwert zwischen Rad und Boden ab.
- 2) Beim Gummireifen auf starrer Fahrbahn verformt sich der Reifen in der Berührungsfläche und der anschließenden Reifenwandung elastisch. Mit zunehmendem Schräglaufwinkel wird die Reifendeformation und dadurch die Seitenführungskraft größer. Jedoch kann die Reifendeformation ein bestimmtes Maß nicht überschreiten, und so entsteht in der Berührungsfläche zwischen Reifen und Boden bei größerem Schräglaufwinkel eine Gleitzone.
- 3) Beim starren Rad auf nachgiebigem Boden verformt sich der Boden plastisch. Mit zunehmendem Schräglaufwinkel wird die Seitenführungskraft größer.

<sup>1)</sup> Die Messungen wurden von H. Kremer im Institut für Landtechnische Grundlagenforschung Braunschweig-Völkenrode durchgeführt. Aus den sehr umfangreichen Messergebnissen und dem Untersuchungsbericht von H. Kremer wurde nach dessen Ausscheiden aus dem Institut dieser Auszug von W. Söhne ausgearbeitet.

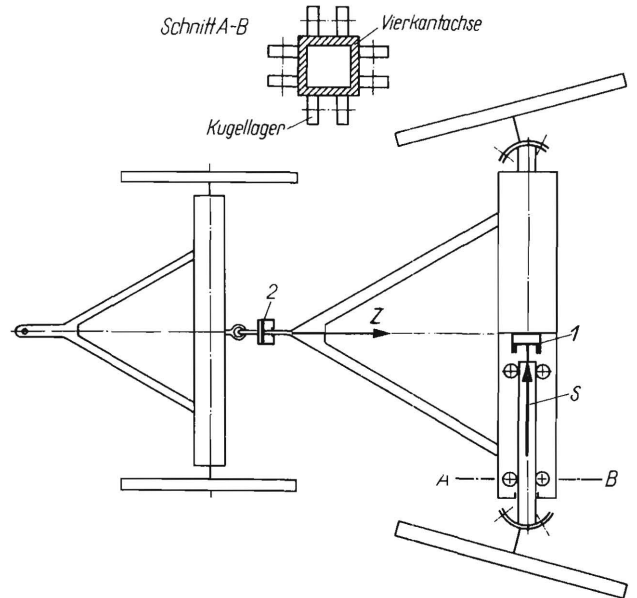
4) Beim Gummireifen auf nachgiebigem Boden überlagern sich die Fälle 2 und 3, d.h., der Reifen verformt sich elastisch, der Boden plastisch. Da die Berührungsfläche bei gleichen Radabmessungen beim Reifen größer ist als beim starren Rad, kann auch die Seitenführungskraft des Reifens größer sein.

Die oben angeführten Versuche an Kraftwagenreifen wurden auf einem Prüfstand im Laboratorium durchgeführt. Für unsere Aufgaben mußte ein Gerät entwickelt werden, mit dem die Seitenführungskräfte und Rollwiderstände der Räder bei verschiedenen Böden im Feldversuch gemessen werden konnten. Dieses Versuchsgerät ist schematisch in **Bild 1** dargestellt. Die beiden Prüfräder laufen auf schwenkbaren Achsstummeln. Zur Messung der Seitenführungskraft ist ein Achsstummel in einer kugelgelagerten Führung seitlich verschiebbar gelagert und drückt gegen eine Meßdose. Der Druck in der hydraulischen Meßdose wird auf einen Indikator übertragen. Die Messung des Rollwiderstandes erfolgt über eine zweite Zugkraftmeßdose zwischen dem Vorderwagen und der Versuchsschleife. Das ganze Gerät wird so hinter einen Schlepper gehängt, daß die Prüfräder nicht in der Schlepperspur laufen.

Bei den Versuchen werden bei einer bestimmten Belastung und einem bestimmten Bodenzustand beide Prüfräder um jeweils den gleichen Winkel von  $0^\circ$ ,  $2^\circ$ ,  $5^\circ$ ,  $10^\circ$  oder  $15^\circ$  gegenläufig nach innen eingestellt. Die beim Fahren infolge dieses Schräglaufwinkels auf das Rad ausgeübte Seitenführungskraft wird registriert. Gleichzeitig wird der dazugehörige Rollwiderstand laufend aufgeschrieben und am Schluß jedes Versuches die Eindringtiefe der Räder gemessen.

Die Versuchsdurchführung weicht also, äußerlich betrachtet, von den bei Landmaschinen vorkommenden Bedingungen insofern ab, als nicht am Hang, sondern auf ebenem Acker gemessen wird. Dazu werden die beiden Prüfräder nicht parallel, sondern gegenläufig eingeschlagen, so daß sich ihre Seitenführungskräfte aufheben. Trotzdem kann man die erzielten Meßergebnisse ohne Bedenken auch auf das Fahren am Hang übertragen. Dort muß man, um ein seitliches Abweichen von der gewünschten Fahrtrichtung zu verhindern, die Räder so weit hangaufwärts einschlagen, daß die hangabwärts gerichtete Gewichtskomponente des betreffenden Gerätes durch eine gleich große, hangaufwärts gerichtete Seitenführungskraft an den Rädern aufgehoben wird. In gleicher Weise können die Meßergebnisse auch auf andere Geräte übertragen werden, bei denen Seitenkräfte auftreten und durch die Räder aufgenommen werden müssen, so z.B. bei den Schwadenrechen, bei den Kartoffelrodern mit Wurffaspel, bei außermittiger Anhängung eines Gerätes und schließlich ganz allgemein beim Kurvenfahren.

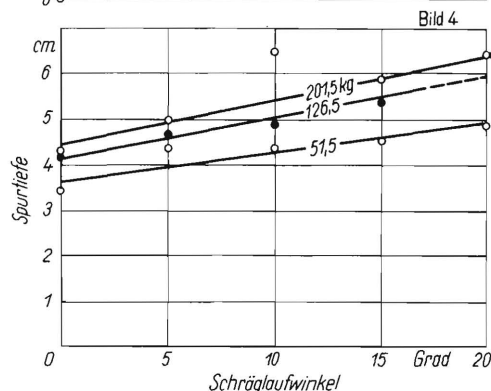
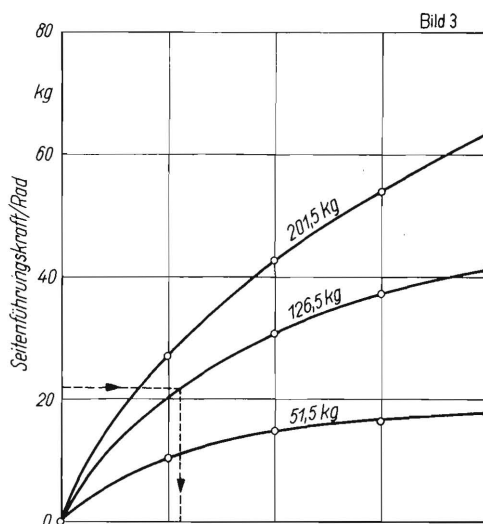
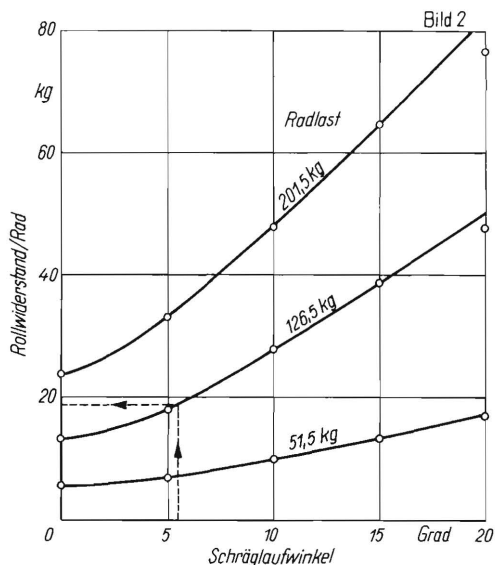
Von besonderer Bedeutung ist eine genügende Seitenführung bei der Arbeit auf lockerem Boden, etwa beim Pflanzlochen und Zudecken und beim Drillen. Aus diesem Grunde wurden die meisten Versuche auf saftfertig hergerichteten, lockerem Boden durchgeführt.



**Bild 1.** Gerät zur Messung der Seitenführungskraft (Messdose 1) und des Rollwiderstandes (Messdose 2) von Rädern.

Die Messungen der Seitenführungskraft und des Rollwiderstandes zeigten – wie bei allen Messungen auf Ackerböden – erhebliche Schwankungen und Streuungen, die durch Ungleichmäßigkeiten der Ackeroberfläche oder der Bodendichte bedingt sind. Der zur Aufnahme einer Seitenkraft erforderliche Schräglaufwinkel eines Rades wird aber durch rasche Schwankungen dieser Kraft kaum beeinflusst, sondern nur durch gleichmäßige, langandauernde Änderungen. Der sich einstellende Schräglaufwinkel entspricht dem Mittelwert der Seitenführungskräfte. Auch bei den vorliegenden Versuchen wurde zur Auswertung immer nur der Mittelwert der Kräfte bestimmt. Die Fahrstrecke betrug je Einzelversuch etwa 10 m, wobei eine Anlaufstrecke von etwa 1 m nicht mit ausgewertet wurde.

In **Bild 2** sind die Rollwiderstände und in **Bild 3** die Seitenführungskräfte eines Rades in Abhängigkeit vom Schräglaufwinkel bei verschiedenen Radlasten aufgetragen; in **Bild 4** sind die sich dabei ergebenden Spurtiefen wiedergegeben. Das Rad hatte einen Durchmesser von 800 mm, eine Felgenbreite von 50 mm und eine Felgenhöhe von 45 mm. Die Versuche wurden auf einem lehmigen Sandboden durchgeführt, der mit einer Scheibenegge aufgelockert und unmittelbar vor dem Versuch mit einer schweren Egge quer zur Fahrtrichtung bearbeitet worden war. Die Seitenführungskraft steigt mit zunehmendem Schräglaufwinkel bei kleinem Winkel



**Bild 2 bis 4.** Rollwiderstand, Seitenführungskraft und Spurtiefe eines starren Rades auf geschichtem und geggtem, lehmigem Sandboden.

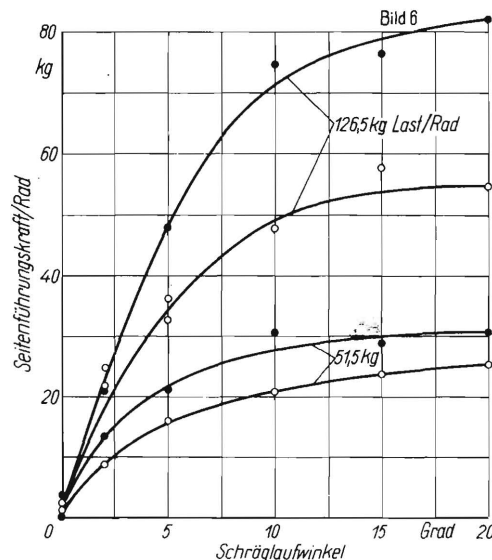
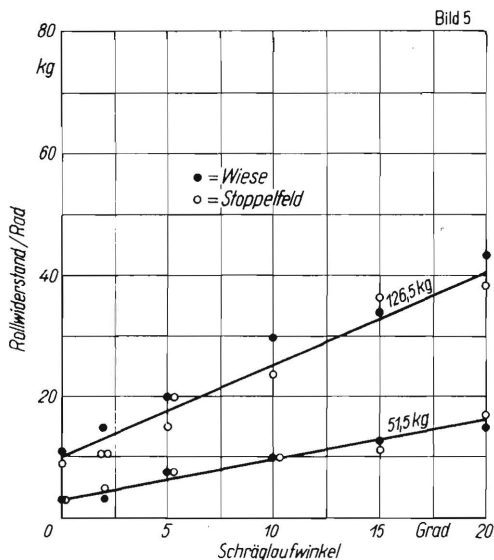
Raddurchmesser 800 mm  
Felgenbreite 50 mm  
Felgenhöhe 45 mm

zunächst relativ steil an und nähert sich dann bei größerem Winkel allmählich einem Höchstwert. Der Rollwiderstand nimmt dagegen bei kleinem Schräglaufwinkel nur wenig zu, steigt dann aber erheblich bei größerem Winkel. Die Spurtiefe wird bei größerem Schräglaufwinkel größer und bewirkt dadurch den höheren Rollwiderstand.

An einem Beispiel soll gezeigt werden, welcher Radeinschlag notwendig ist, um ein einachsiges Gerät von 253 kg an einem Hang von 10° Neigung längs einer Höhenlinie ohne Abrutschen fahren zu lassen. Gleichzeitig soll die dabei erforderliche Zugkraft bestimmt werden. Die hangabwärts gerichtete Komponente aus dem Eigengewicht des Gerätes ist  $G \sin \alpha = 253 \sin 10^\circ = 44 \text{ kg}$ . Die Seiten-

führungskraft eines einzelnen Rades muß also 22 kg sein. Aus der Kurve der Seitenführungskraft in Bild 3 kann man bei der betreffenden Belastung ablesen, daß hier ein Radeinschlag von 5,5° notwendig ist. Aus Bild 2 entnimmt man für diesen Schräglaufwinkel einen Rollwiderstand von 19 kg je Rad.

In **Tafel 1** sind die Werte aufgezeichnet, die sich bei gleicher Auswertung und unter gleichen Bedingungen für verschiedene Räder ergeben.



**Bild 5 und 6.** Rollwiderstand und Seitenführungskraft auf Wiese und Stoppelfeld in Abhängigkeit vom Schräglaufwinkel bei verschiedenen Radlasten.

Raddurchmesser 800 mm Felgenbreite 50 mm Felgenhöhe 45 mm

**Tafel 1.** Schräglaufwinkel bei Querfahrt an einem Hang mit 10° Neigung mit einem einachsigen, 253 kg schweren Gerät.

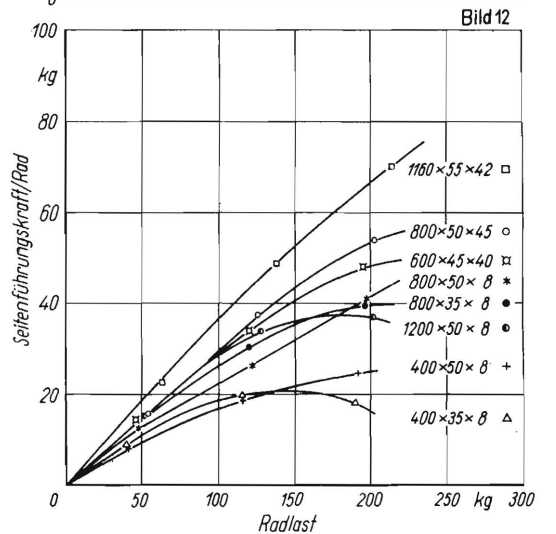
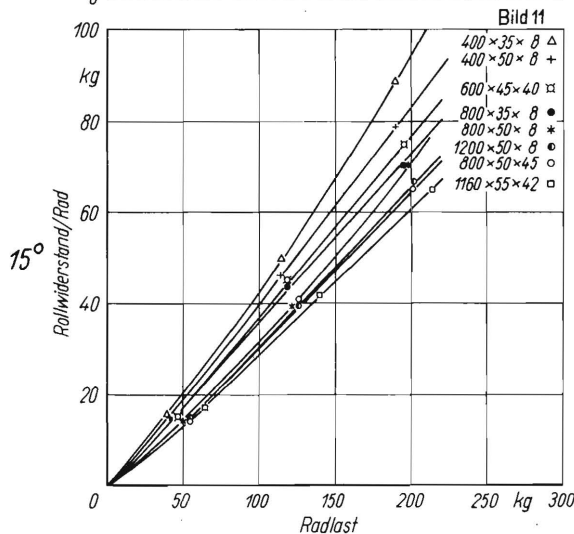
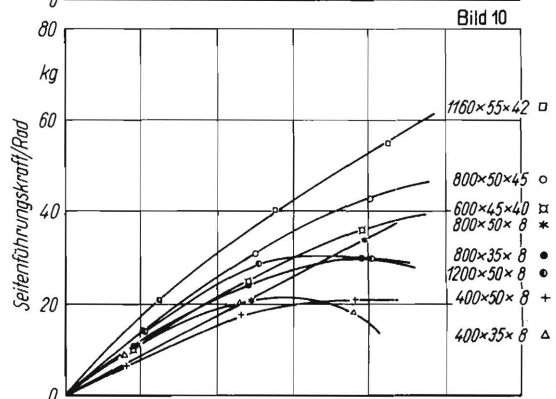
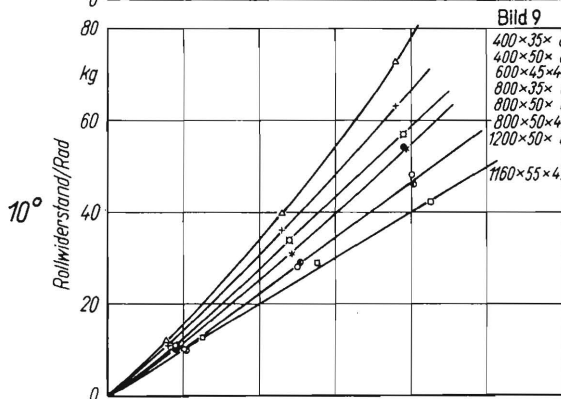
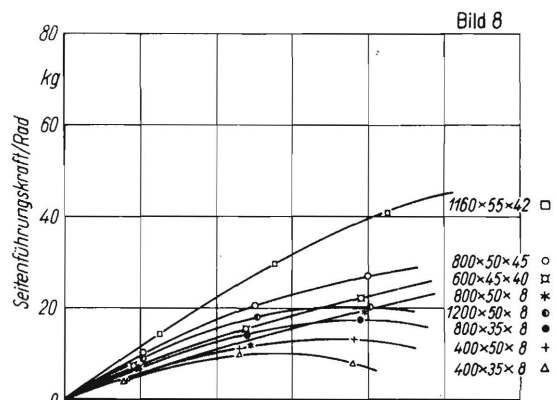
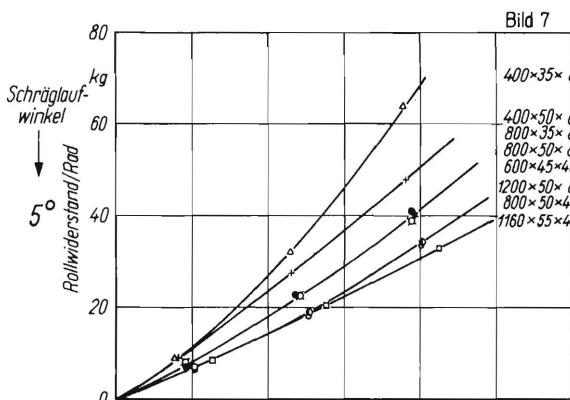
Rad-durchm.	Felgen-breite	Felgen-höhe	Bela-stung	Hang-abwärts gerich-tete Kraft	Notwen-diger Schräg-lauf-winkel	Zuge-höriger Roll-wider-stand
mm	mm	mm	kg/Rad	kg	Grad	kg/Rad
400	35	8	126,5	22	16,0*)	56
400	50	8	126,5	22	—	—
600	45	40	126,5	22	7,0	26,5
800	35	8	126,5	22	8,5	29,5
800	50	8	126,5	22	10,5	31
800	50	45	126,5	22	5,5	18,5
1200	50	8	126,5	22	5,8	19
1160	55	42	126,5	22	3,5	16

\*) Die notwendige Seitenführungskraft kann mit diesem Rad nicht mehr erreicht werden, das Gerät rutscht seitlich ab.

Daraus geht vor allem der starke Einfluß der Felgenhöhe bei der Arbeit auf dem lockeren, saattertigen Acker hervor. Außerdem spielt der Raddurchmesser eine große Rolle. Die kleinen Räder mit niedriger Felgenhöhe sind für eine Arbeit an diesem Hang nicht mehr zu gebrauchen, weil der notwendige Schräglaufwinkel zu groß wird.

**Bild 5 und 6** zeigen den Rollwiderstand und die Seitenführungskraft eines Rades in Abhängigkeit vom Schräglaufwinkel für eine Wiese und ein Stopfeld. Das Rad hatte dabei wieder einen Durch-

**Bild 7 bis 12.** Rollwiderstand und Seitenführungskraft von Rädern verschiedener Abmessungen auf gescheibtem und geeegtem, lehmigem Sandboden in Abhängigkeit von der Radlast bei drei verschiedenen Schräglaufwinkeln.

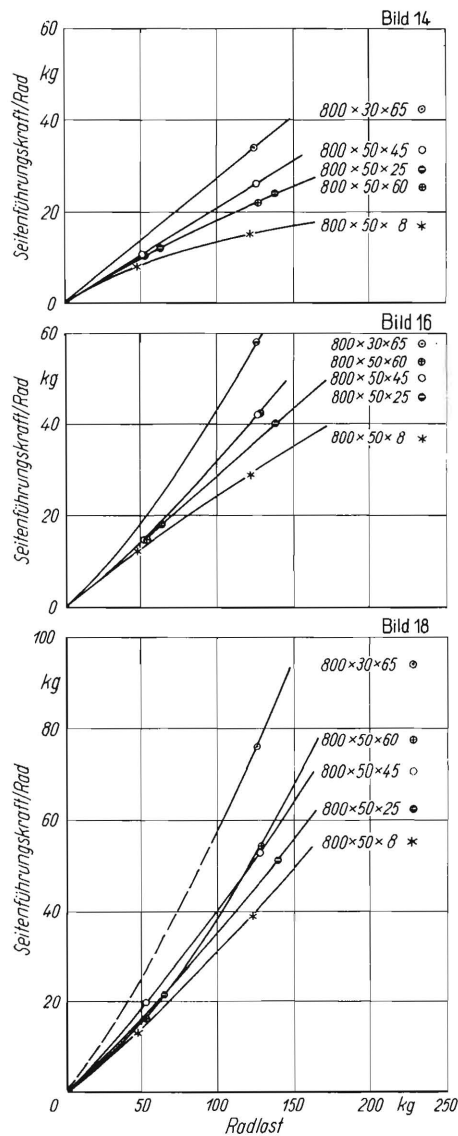
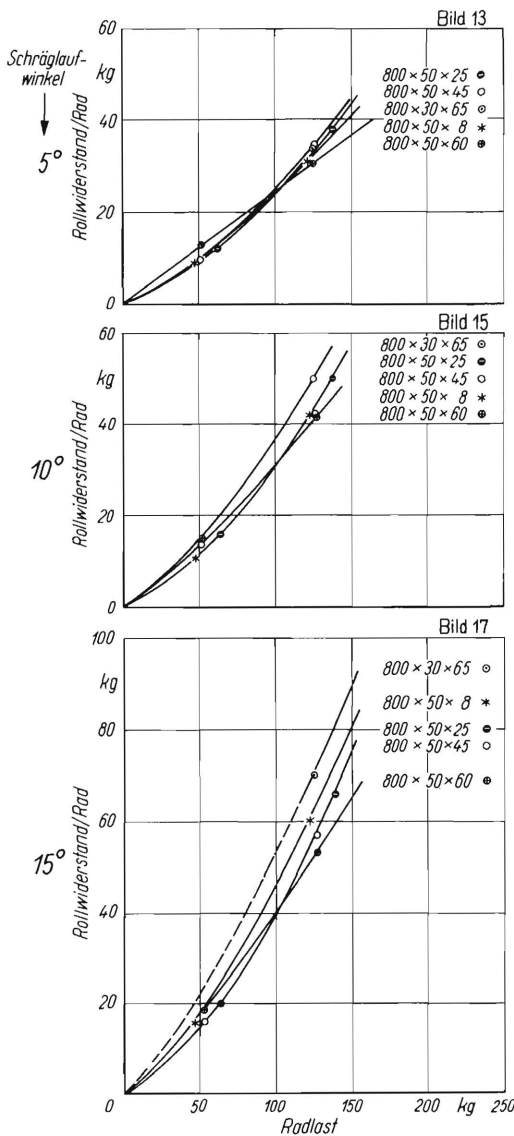


messer von 800 mm, eine Felgenbreite von 50 mm und eine Felgenhöhe von 45 mm. Im Gegensatz zu den Ergebnissen von Bild 2 und 3 ist hier der Rollwiderstand niedriger, die Seitenführungskraft aber größer. Das liegt vor allem daran, daß Stoppelfeld und Wiese erheblich härter als der saarfertige Ackerboden waren.

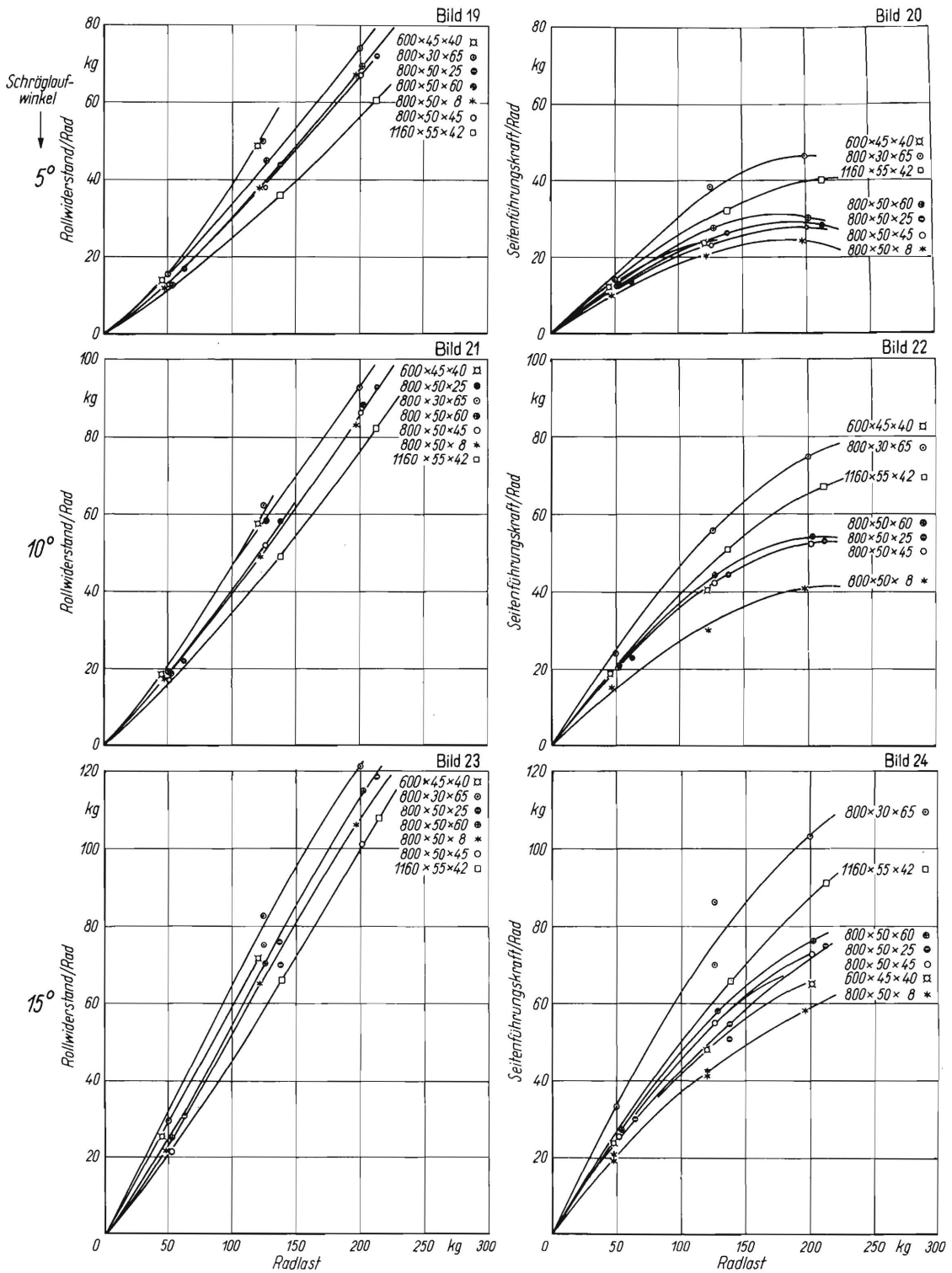
Vergleicht man die Meßergebnisse verschiedener Räder bei verschiedenen Bodenzuständen, so zeigt sich immer eine ähnliche Gesetzmäßigkeit, nämlich: Die Seitenführungskraft steigt bei kleinen Schräglaufwinkeln sehr stark an und nähert sich dann allmählich einem Maximum. Beim Überschreiten des dazugehörigen Schräglaufwinkels wächst die Seitenführungskraft nicht weiter an. Bei größerer Belastung wird der Schräglaufwinkel, bei dem dieses Maximum erreicht wird, zu immer größeren Werten verschoben. Der Rollwiderstand zeigt dagegen ein gerade umgekehrtes Verhalten, bei kleinen Schräg-

laufwinkeln steigt er nur geringfügig, nimmt dagegen bei größeren Schräglaufwinkeln ganz erheblich zu.

Um die charakteristischen Unterschiede zwischen den einzelnen Radformen erkennen zu können, wurden für drei Versuchsreihen zusammenfassende Darstellungen angefertigt (Bild 7 bis 24). In ihnen wird der Rollwiderstand und die Seitenführungskraft in Abhängigkeit von der Belastung bei Schräglaufwinkeln von  $5^\circ$ ,  $10^\circ$  und  $15^\circ$  aufgetragen. In **Bild 7 bis 12** sind die zusammenfassenden Ergebnisse auf einem lockeren, lehmigen Sandboden dargestellt. Dieser Boden war mit einer schweren Egge quer zur Fahrtrichtung bearbeitet. In Bild 7, 9 und 11 zeigt sich zunächst der große Einfluß des Reifendurchmessers auf den Rollwiderstand. Der Rollwiderstand des kleinen Rades  $400 \times 35 \times 8$  mm ist bei einer Radlast von 200 kg bei allen drei Schräglaufwinkeln um ungefähr 30 kg höher als der des großen



**Bild 13 bis 18.** Rollwiderstand und Seitenführungskraft von Rädern verschiedener Abmessungen auf gepflügtem und gewalztem Lehm in Abhängigkeit von der Radlast bei drei verschiedenen Schräglaufwinkeln.



**Bild 19 bis 24.** Rollwiderstand und Seitenführungskraft von Rädern verschiedener Abmessungen auf tief gegrubbertem und geeegtem, lehmigem Sandboden in Abhängigkeit von der Radlast bei verschiedenen Schräglaufwinkeln.

Rades 1200×50×8mm. Einen gerade umgekehrten Einfluß hat der Raddurchmesser auf die Größe der Seitenführungskraft (Bild 8, 10 und 12): Mit größerem Raddurchmesser nimmt die Seitenführungskraft zu. Jedoch ist hierfür auf diesem lockeren Boden nicht nur der Raddurchmesser, sondern vor allem auch die Felgenhöhe entscheidend. So verbessert sich die Seitenführungskraft des Rades 800×50×45mm gegenüber dem Rad 800×50×8mm

bei allen Schräglaufwinkeln um rund 18kg, das sind bei 15° Schräglaufwinkel 30% und bei 5° Schräglaufwinkel rund 54%. Aus Bild 7 bis 12 geht auch hervor, daß bei den kleinen Rädern 400×35×8mm und 400×50×8mm keine Erhöhung der Seitenführungskraft bei gegebenem Schräglaufwinkel mehr erfolgt, wenn eine bestimmte Radlast überschritten ist. Bei für ihre Größe überlasteten Rädern nimmt die Seitenführungskraft sogar wieder ab.

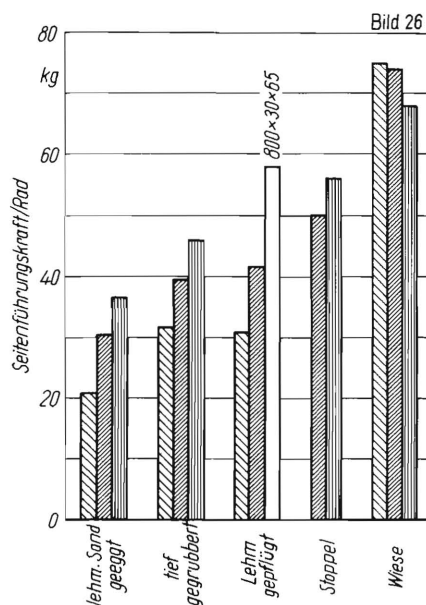
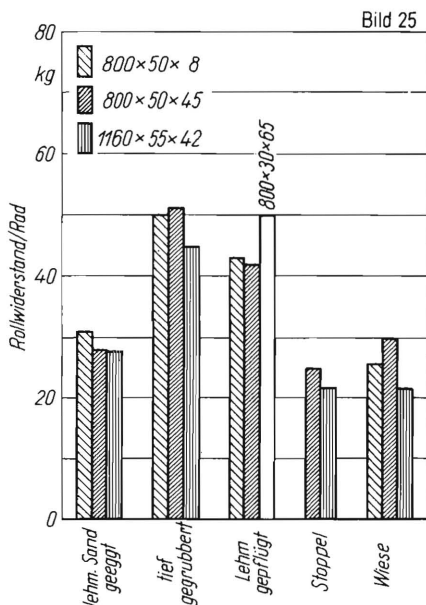
In **Bild 13 bis 18** sind die Ergebnisse von Rädern mit gleichem Durchmesser, aber verschiedener Felgenhöhe und -breite auf einem mittelschweren Lehm wiedergegeben, der 22 cm tief gepflügt und anschließend gewalzt war. Der Rollwiderstand dieser Räder ist annähernd gleich, bei dem Rad  $800 \times 30 \times 60$  mm mit geringerer Felgenbreite ist er geringfügig höher. Dagegen sind die Seitenführungskräfte bei höheren Felgen erheblich größer. Die Seitenführungskraft kann noch gesteigert werden, wenn gleichzeitig die Felgenbreite verringert wird, wie sich bei dem Rad  $800 \times 30 \times 65$  mm gegenüber dem Rad  $800 \times 50 \times 60$  mm zeigt.

In **Bild 19 bis 24** sind die Ergebnisse von Rädern gleichen Durchmessers, aber verschiedener Felgenhöhe auf lehmigem Sandboden dargestellt, der 19 cm tief gegrubbert und anschließend geeegt war. Die tiefere Lockerung des Bodens hatte eine erhebliche Erhöhung der Rollwiderstände und eine nicht ganz so starke Erhöhung der Seitenführungskräfte gegenüber Bild 7 bis 12 des gleichen Bodens zur Folge. Der Einfluß der Felgenhöhe und Felgenbreite ist aber der gleiche, wie bei den früheren Bildern. Man erzielt dabei durch eine Vergrößerung der Felgenhöhe von 8 auf 25 mm einen beträchtlichen Anstieg der Seitenführungskraft; eine weitere Vergrößerung der Felgenhöhe bringt dann nicht mehr so viel. Grundsätzlich sollte man also bei allen Rädern, die auf lockeren, saarfertigen Böden zu arbeiten haben, eine Felgenhöhe von mindestens 25 bis 40 mm vorsehen. Damit läßt sich mit geringem Aufwand eine erhebliche Verbesserung der Seitenführungskraft erzielen. Auf Wiese und Stoppelfeld spielt dagegen die Höhe der Felge keine Rolle.

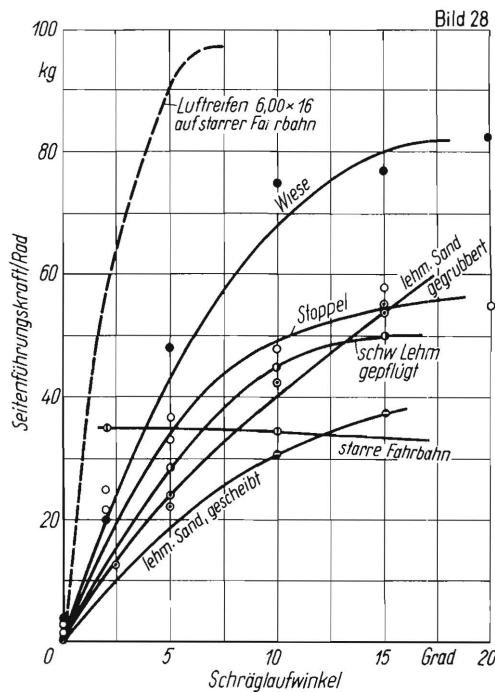
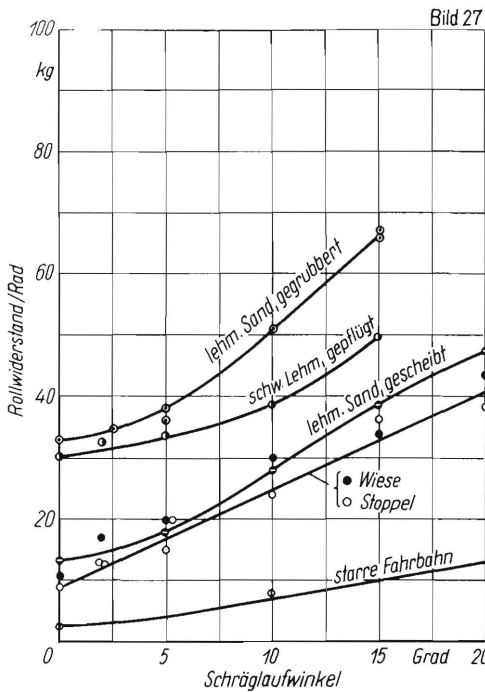
Um einen Überblick über die Größe der Rollwiderstände und Seitenführungskräfte bei verschiede-

nen Bodenbedingungen zu geben, sind in **Bild 25 und 26** die Rollwiderstände und Seitenführungskräfte der Räder  $800 \times 50 \times 8$  mm,  $800 \times 50 \times 45$  mm,  $1160 \times 55 \times 42$  mm bei einer Radlast von 126,5 kg und einem Schräglaufwinkel von  $10^\circ$  einander gegenübergestellt. Der Rollwiderstand des Rades mit größerem Durchmesser ( $1160 \times 55 \times 42$  mm) ist unter allen Bodenverhältnissen am kleinsten, die Seitenführungskraft am größten. Die Seitenführungskraft des Rades  $800 \times 50 \times 45$  mm mit höherer Felge ist erheblich größer als die des Rades  $800 \times 50 \times 8$  mm. Das schmale Rad  $800 \times 30 \times 65$  mm hat zwar einen höheren Rollwiderstand, aber auch eine erheblich höhere Seitenführungskraft.

In **Bild 27 und 28** sind die Meßergebnisse des Rades  $800 \times 50 \times 45$  mm mit einer Belastung von 126,5 kg unter verschiedenen Bodenbedingungen in Abhängigkeit vom Schräglaufwinkel dargestellt. Zum Vergleich sind noch die Versuchsergebnisse mit einem Luftreifen 6,00 – 16, die auf einem Prüfstand ermittelt wurden, mit eingetragen [7]. Aus dem Bild geht folgendes hervor: Je fester der Boden ist, umso steiler ist der Anstieg der Seitenführungskraft bei kleinen Schräglaufwinkeln und umso niedriger ist der Rollwiderstand. Dabei fällt die Kurve für die starre Fahrbahn heraus, bei der der Anstieg der Seitenführungskraft über dem Schräglaufwinkel so steil ist, daß er mit der vorliegenden Versuchsanordnung nicht mehr gemessen werden kann. Schon bei einem sehr kleinen Schräglaufwinkel wird die maximale Seitenführungskraft erreicht, deren Größe dann nur noch von der Höhe der Belastung abhängig ist. Beim luftbereiften Rad auf starrer Fahrbahn wird das Maximum der Seitenführungskraft bei ungefähr  $6^\circ$  erreicht. Dieser Wert ist natürlich abhängig vom Luftdruck und von der Steifigkeit der Karkasse.



**Bild 25 und 26.** Vergleich des Rollwiderstandes und der Seitenführungskraft von Rädern verschiedener Abmessungen bei 126,5 kg Radlast und  $10^\circ$  Schräglaufwinkel unter verschiedenen Bodenbedingungen.



**Bild 27 und 28.** Rollwiderstand und Seitenführungskraft eines Rades in Abhängigkeit vom Schräglaufwinkel unter verschiedenen Bodenbedingungen.  
 Raddurchmesser 800 mm    Felgenbreite 50mm    Felgenhöhe 45 mm    Belastung 126,5kg

Beim Luftreifen im lockeren Boden würde sich das Maximum zu einem größeren Schräglaufwinkel – ähnlich wie bei dem starren Rad im gleichen Boden – verschieben und der erreichte Wert der Seitenführungskraft entsprechend abfallen.

Nach den bisherigen Versuchsergebnissen bestehen folgende Möglichkeiten zur Beeinflussung der Seitenführungskraft:

- 1) Mit zunehmendem Raddurchmesser vergrößert sich die Seitenführungskraft und verkleinert sich der Zugwiderstand.
- 2) Mit zunehmender Felgenhöhe nimmt die Seitenführungskraft auf lockerem Boden zu, und zwar steigt sie bei einer Veränderung der Felgenhöhe von 8 auf 25mm stark an; bei einer weiteren Erhöhung der Felge ergeben sich keine so bedeutenden Vorteile mehr.
- 3) Mit kleiner werdender Radbreite steigt die Seitenführungskraft beträchtlich an. Diese Erhöhung der Seitenführungskraft wird dabei allerdings mit einer Erhöhung des Rollwiderstandes erkauft.

Für die Bedürfnisse einer guten Seitenführung am Hang wird man relativ schmale Räder mit Felgen von 25 bis 60mm Höhe verwenden, die eine gute Seitenführungskraft bei noch nicht zu hohen Rollwiderständen haben.

**Schrifttum**

- [1] Voelter, Max: Untersuchungen über Fahrwiderstände von Ackerwagen. Techn. i. d. Landw. 9 (1928) S. 34/38 und 10 (1929) S. 61/64.
- [2] Meyer, Helmut: Untersuchungen der Fahrwiderstände von Ackergeräten. Techn. i. d. Landw. 13 (1932) S. 57/58.
- [3] Meyer, Helmut, und Josef Lengsfeld: Untersuchung der Fahrwiderstände von neuen Laufwerken für Ackerwagen. Techn. i. d. Landw. 14 (1933) S. 203/207, 230/231 und 261.
- [4] Mc. Kibben u. a.: Transport wheels for agricultural machines. I. Comparative performance of steel wheel and pneumatic tires on two manure spreaders. Agricult. Engng. 20 (1939) S. 419. II. Rolling resistance of individual wheels. Agricult. Engng. 20 (1939) S. 469/473. V. Effect of wheel arrangements on rolling resistance. Agricult. Engng. 21 (1940) S. 95. VI. Effect of steel wheel rim shape and pneumatic tire tread design on rolling resistance. Agricult. Engng. 21 (1940) S. 139. VII. Relative effects of steel wheels and pneumatic tires on agricultural soils. Agricult. Engng. 21 (1940) S. 183.
- [5] Kraft, P.: Untersuchungen über die Grösse der Berührungsfläche, der Bodendrücke und Horizontalkräfte an rollenden Luftreifen. Diss. T.H. Stuttgart 1947.
- [6] Fromm H.: Untersuchungen über Seitenkräfte und Wendemomente am Fahrwerk und ihre Bedeutung für die Verbesserung der Lastannahmen. Bericht 169 der Lilienthalgesellschaft.
- [7] Becker, G., H. Fromm und H. Maruhn. Schwingungen in Automobillenkungen. Berlin 1951.

Eingegangen am 8.5.1956

Institut für Landtechnische Grundlagenforschung  
 der Forschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode  
 Direktor: Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. W. Kloth

Anschrift der Verfasser:

Dr.-Ing. Heinrich Kremer, Meisenheim/Glan - Dr.-Ing. Walter Söhne, (20b) Braunschweig, Bundesallee 50