

Untersuchungen über den Profileinfluß gelenkter, nicht angetriebener Implement-Reifen auf Widerstands- und Seitenkräfte

Von Helmut Schwanghart und Kastulus Rott, München*)

DK 631.3.012:629.11.012.57:625.032

Implement-Reifen verwendet man häufig als Schlepper-Frontreifen, als Anhängerreifen und als Gerätereifen. Während für Reifen auf nachgiebigem Boden Meßergebnisse über Kräfte in der Radebene, wie Triebkraft und Rollwiderstand, in zahlreichen Berichten ausführlich beschrieben sind, finden sich nur wenige Arbeiten, die die Kräfte senkrecht zur Reifenebene bzw. senkrecht zur Fahrtrichtung, also Seitenkräfte, beschreiben. Aus diesem Grund wird über Messungen der Rollwiderstands- und Seitenkräfte an gelenkten Implement-Reifen mit besonderer Berücksichtigung des Profileinflusses auf verschiedenen Böden wie Wiese, Stoppelfeld, Acker, Maisfeld und Kies berichtet.

1. Einleitung

Bei landwirtschaftlichen Schleppern und Anhängern gewinnen die abstützbaren Seitenkräfte an gelenkten Reifen eine immer größere Bedeutung [1 bis 14]. Beim Schlepper werden nicht nur hinten, sondern in zunehmendem Maße auch vorne Geräte angebaut, die erhöhte Anforderungen an die seitliche Abstützfähigkeit der Vorderräder stellen. Ein Beispiel dafür sind frontangebaute Pflüge. Sowohl bei Anhängern am Hang als auch bei angehängten, exzentrisch belasteten Landmaschinen, wie z.B. Rübenroder, in der Ebene müssen große Seitenkräfte übertragen werden. Der Rollwiderstand in Fahrtrichtung soll in allen Fällen klein sein.

Um für die Konzeption neuer Maschinen Anhaltswerte für Seiten- und Rollwiderstandskräfte zu schaffen, wurden diese an Implement-Reifen mit unterschiedlichen Profilen auf verschiedenen Böden bzw. bei verschiedenen Bodenzuständen gemessen.

2. Versuchsgerät

Bild 1 zeigt die Einzelrad-Versuchsapparatur [13], die in einem starren, hinten an einem Unimog angebauten Rahmen gelagert ist. Das lenkbare Rad ist über eine Halbachse kugelig aufgehängt, Bild 2, so daß es sich frei der Bodenoberfläche anpassen und ungestört einsinken kann [2]. Die Querachse a, auf der die Belastungsgewichte b aufgebracht werden, ist über zwei Membranen c im Gehäuse d gelagert. Die Seitenkraft quer zur Fahrtrichtung kann mit einer Kraftmeßdose e aufgenommen werden. Die Längskraft (Kraft in Fahrtrichtung) bzw. der Zugwiderstand wird ebenfalls über eine Kraftmeßdose f ermittelt, welche in dem Zugseil g zwischen Meßapparat und Zugfahrzeug eingebaut ist.

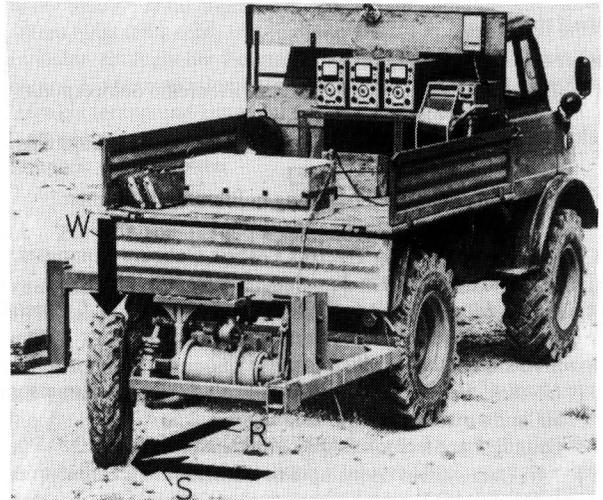


Bild 1. Gesamtansicht des Schleppers (Unimog) mit angebautelem Meßgerät für Seitenkraft und Rollwiderstand.

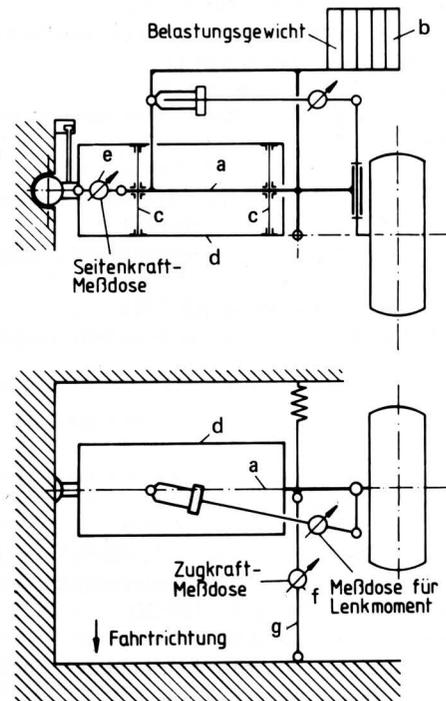


Bild 2. Schematische Darstellung der Versuchseinrichtung zur Messung der Seitenkraft (Kraft senkrecht zur Fahrtrichtung) und des Rollwiderstandes (in Fahrtrichtung) eines schräglauenden Reifens.

*) Dr.-Ing. habil. H. Schwanghart ist Akademischer Direktor am Institut für Landmaschinen der Technischen Universität München; K. Rott ist Versuchstechniker am selben Institut.

a Querachse
b Belastungsgewichte
c Meßmembran
d Gehäuse
e Kraftmeßdose (Seitenkraft)
f Kraftmeßdose (Zugkraft)
g Zugseil

Mit dem Gerät können nach Bild 1 bei gegebener Belastung der Rollwiderstand R in Fahrtrichtung und die Seitenkraft S senkrecht zur Fahrtrichtung gemessen werden. Die Kräfte werden über Trägerfrequenz-Meßverstärker und einen UV-Oszillographen aufgezeichnet und auf einem Rechner weiterverarbeitet. Dadurch, daß die gesamte Meßapparatur mit dem Versuchsreifen über den starren Anbau an die Zugmaschine in eine geradlinige Fahrtrichtung gezwungen wird, ist der geometrische Lenkwinkel gleich dem Schräglaufwinkel.

3. Versuche

Die Widerstands- und Seitenkräfte wurden an den vier in Bild 3 gezeigten Implement-Reifen 12.5/80-18 8PR¹⁾ mit folgenden Profilen ermittelt:

- a) Treibradprofil
- b) Ringprofil mit 3 hohen Rippen
- c) ohne Profil
- d) Terra-Reifen (breiter)
- e) Treibradprofil rückwärts.

Der Außendurchmesser der Reifen betrug 987 mm. Die Belastung wurde in fünf Stufen von 1 500 bis 8 500 N variiert, das ergibt für eine maximale Reifennennlast von 11 800 N eine Gewichtsauflastung von 13 bis 72 %. Der Schräglaufwinkel wurde in Schritten von 5° von 0° bis maximal 30° eingestellt. Die Fahrgeschwindigkeit während des Versuchs lag bei 1,4 km/h, der Luftdruck bei 1 bar. Einen Eindruck von den Oberflächen auf den verschiedenen Versuchsfeldern geben die Bilder 4 bis 7. Das abgeerntete Maisfeld (ohne Bild) hatte eine glatte, feste Oberfläche.

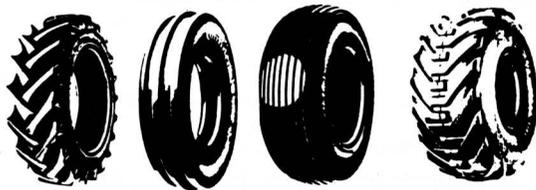


Bild 3. Versuchsreifen 12.5/80-18 8PR: Von links: Treibradreifen, Hochstollenreifen mit Rundumprofil, nahezu profilloser Reifen und Terra-Reifen.

4. Versuchsauswertung

In Bild 8 sind für ein abgeerntetes Maisfeld die Seitenkräfte des Reifens mit Treibrad-Profil in Abhängigkeit vom Schräglaufwinkel und mit der Radlast als Parameter aufgetragen. Mit steigender Radlast W wird auch die abstützbare Seitenkraft größer. Den Meßpunkten wurden Regressionskurven mit Polynomen zweiten Grades zugeordnet.

Bezieht man die Seitenkräfte auf die jeweilige Radlast, so kann man, Bild 9, für alle Meßpunkte den Werten von S/W in Abhängigkeit vom Schräglaufwinkel eine Regressionskurve zuordnen. Das Diagramm zeigt das Ergebnis von 35 Einzelversuchen mit einem Reifenprofil bei fünf unterschiedlichen Belastungen. Bei den zusammenfassenden Diagrammen wurden Polynome dritten Grades als Regressionskurven verwendet, da der gemessene Verlauf für bestimmte Böden ein Maximum und ein Minimum aufweist und ein Polynom dritten Grades hierbei eine bessere Annäherung ergibt.

¹⁾ Die Reifen sind dankenswerterweise von der Firma Continental, die Felgen von der Firma Lemmerz-Werke zur Verfügung gestellt worden.



Bild 4. Messung auf dem Stoppelfeld.



Bild 5. Gelenkter Terra-Reifen auf der Wiese.

In derselben Weise wurden die Rollwiderstandsmessungen ausgewertet. Bild 10 zeigt den Rollwiderstand in Fahrtrichtung in Abhängigkeit vom Schräglaufwinkel bei verschiedenen Radlasten. Die Regressionskurve des Rollwiderstandsbeiwertes für alle Meßpunkte für das Treibradprofil auf dem Maisfeld zeigt Bild 11.



Bild 6. Gelenkter Hochstollenprofilreifen auf gegrubbertem Acker.

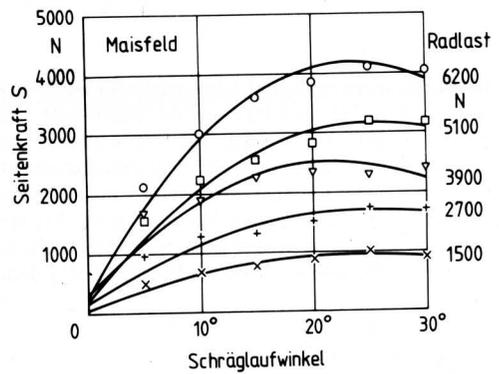


Bild 8. Seitenkraft in Abhängigkeit vom Schräglaufwinkel am Treibradreifen bei verschiedenen Radlasten, Maisfeld.

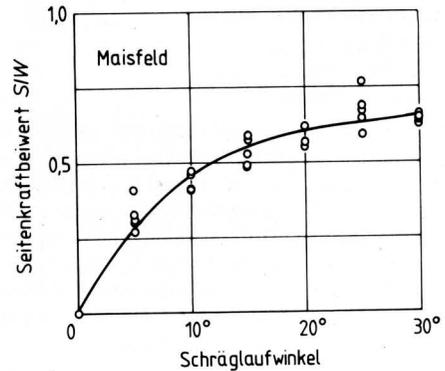


Bild 9. Mittlerer Seitenkraftbeiwert S/W in Abhängigkeit vom Schräglaufwinkel, errechnet aus Punkten und Kurven in Bild 8, Maisfeld.



Bild 7. Gelenkter Terra-Reifen auf dem Kiesboden.

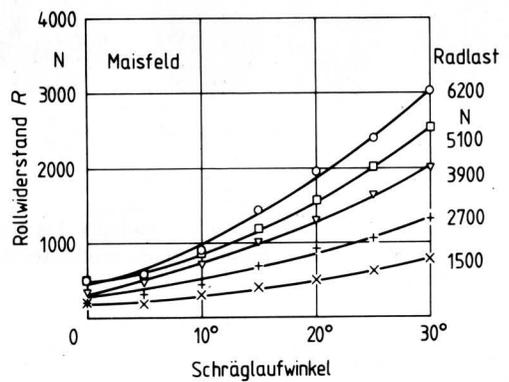


Bild 10. Rollwiderstand des Treibradreifens in Abhängigkeit vom Schräglaufwinkel bei verschiedenen Radlasten, Maisfeld.

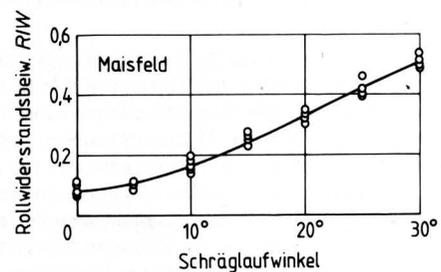


Bild 11. Mittlerer Rollwiderstandsbeiwert R/W in Abhängigkeit vom Schräglaufwinkel, errechnet aus Punkten und Kurven in Bild 10, Maisfeld.

5. Ergebnisse

Mit Bild 12 bis 16 wird der Rollwiderstandsbeiwert der verschieden profilierten Reifen auf den verschiedenen Oberflächen: Stoppelfeld, Wiese, Acker, Kiesboden und Maisfeld angegeben. Hiermit lässt sich z.B. der Rollwiderstand der hinteren Lenkräder eines Mähreschers bestimmen. Bild 12 gilt für das Stoppelfeld. Der profillose Reifen hat bei größeren Schräglaufwinkeln den geringsten Widerstand, der umgekehrt montierte Treibradreifen einen kleineren Widerstand als der richtig montierte – beide liegen ähnlich dem breiteren Terra-Reifen –, und der Frontreifen mit dem hohen Ringprofil weist den größten Widerstand auf. Ähnliches zeigen die Bilder 13 und 14 für Wiese und Acker. Für die Wiese liegt der Rollwiderstandsbeiwert beim Schräglaufwinkel 0° unter 10 %, beim Acker höher, bis nahe 20 %. Der profillose Reifen hat wieder den niedrigsten Wert. Das gilt auch für den Rollwiderstandsbeiwert auf dem Maisfeld (Bild 16), nicht aber für den Kiesboden (Bild 15), auf dem sich für den Reifen mit dem hohen Ringprofil der niedrigste Rollwiderstandsbeiwert ergibt.

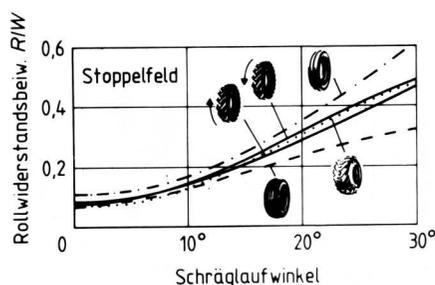


Bild 12. Rollwiderstandsbeiwert verschiedener Reifen in Abhängigkeit vom Schräglaufwinkel, Stoppelfeld.

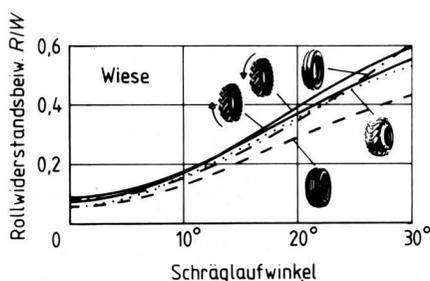


Bild 13. Rollwiderstandsbeiwert verschiedener Reifen in Abhängigkeit vom Schräglaufwinkel, Wiese.

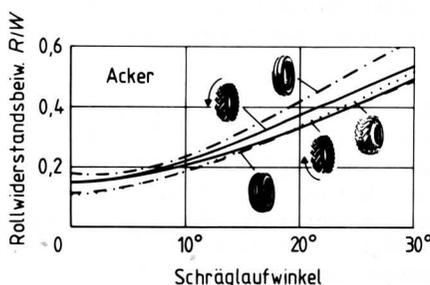


Bild 14. Rollwiderstandsbeiwert verschiedener Reifen in Abhängigkeit vom Schräglaufwinkel, gegrubberter Acker.

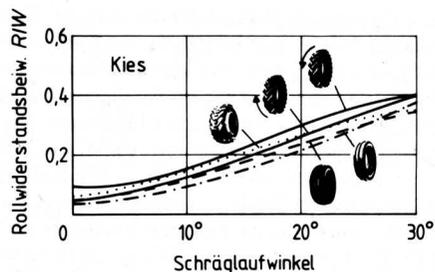


Bild 15. Rollwiderstandsbeiwert verschiedener Reifen in Abhängigkeit vom Schräglaufwinkel, Kiesboden.

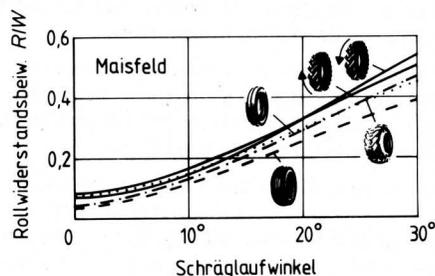


Bild 16. Rollwiderstandsbeiwert verschiedener Reifen in Abhängigkeit vom Schräglaufwinkel, abgeerntetes, feuchtes Maisfeld.

Da in diesen Darstellungen die Kurven nahe zusammen liegen und die von der Profilform verursachten Unterschiede schwer zu erkennen sind, sind in Bild 17 die Abweichungen der Rollwiderstandsbeiwerte der einzelnen Profilreifen, bezogen auf den Wert des profillosen Reifens, für die fünf Bodenarten in % jeweils für die Schräglaufwinkel 10°, 20° und 30° aufgetragen.

Wiese, Stoppel- und Maisfeld bringen die größeren Widerstandserhöhungen profilierter Reifen gegenüber dem glatten Reifen; der sehr trockene, gegrubberte Acker und der Kiesboden wirkt vielleicht wie eine mit "Kugeln" bedeckte Ebene, über die sowohl glatte als auch profilierte Reifen leichter hinweg gleiten. In den meisten Fällen weist der breitere Terrareifen den niedrigsten Rollwiderstand unter den Profilreifen auf.

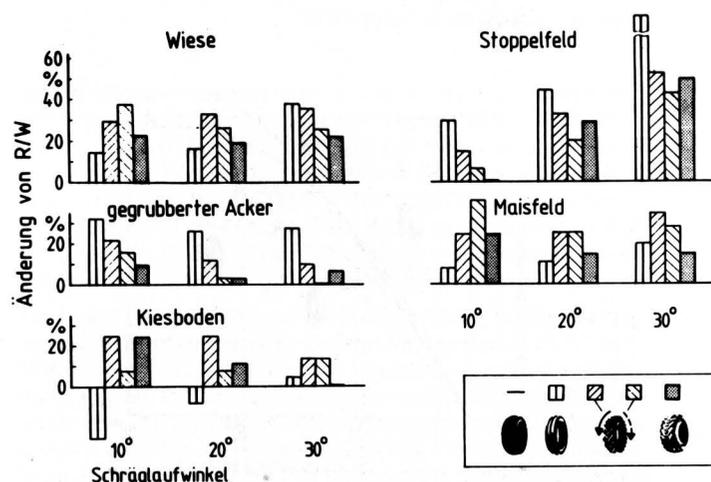


Bild 17. Unterschied im Rollwiderstandsbeiwert von profilierten Reifen (in %) bei Bezug auf den profillosen Reifen für verschiedene Böden und unterschiedliche Schräglaufwinkel.

Den Seitenkraftbeiwert als Maßstab für die seitliche Abstützfähigkeit verschiedener Profile zeigt **Bild 18** für das Stoppelfeld. Bei kleinen Schräglaufwinkeln sind die Unterschiede zwischen den einzelnen Profilreifen meist nur gering. Bei einem Schräglaufwinkel über 20° kann der glatte Reifen am schlechtesten die Seitenkräfte abstützen, er "rutscht" über die Stoppeln, das Treibradprofil, normal und umgekehrt montiert, verhakt sich mehr in den Stoppeln und das Hochstollen-Rundumprofil erzeugt die größten Seitenkräfte. Sehr hoch sind die Seitenkraftbeiwerte auch auf der Wiese, **Bild 19**. Die Bodenoberfläche "Wiese" ist in diesem Fall ein mit Gras bestandener Acker, auf dem das Gras zum Unterpflügen angesät wurde. Das Treibradprofil erreicht hier Werte über 1. Das kann nur so erklärt werden, daß sich das Profil gewissermaßen formschlüssig zwischen den Grasbüscheln verankert. Aber auch der Terrareifen erreicht hohe Seitenkraftbeiwerte. Diese bleiben jedoch konstant, wenn, wie auch beim profillosen Reifen, die gesamte Aufstandsfläche "abgeschert" ist. Anders zeigt sich das Verhalten des Reifens mit den drei hohen Ringprofilen.

In den meisten Fällen entwickelt dieses Profil bei kleinen Schräglaufwinkeln zunächst geringere Seitenkräfte, bei großen Schräglaufwinkeln jedoch immer noch ansteigende Seitenkräfte. Das Profil ist demnach gut für extreme Schräglstellungen.

Fast nur halb so groß wie auf der Wiese sind die Seitenkraftbeiwerte auf dem trockenen, gegrubberten Acker, **Bild 20**, auf Kiesboden, **Bild 21**, und auf dem Maisfeld, **Bild 22**. Wenn die gesamte Fläche auf Kies bzw. feuchtem glatten Boden zwischen den Maispflanzen abschert, steigt die Seitenkraft auch bei größeren Schräglaufwinkeln kaum mehr an.

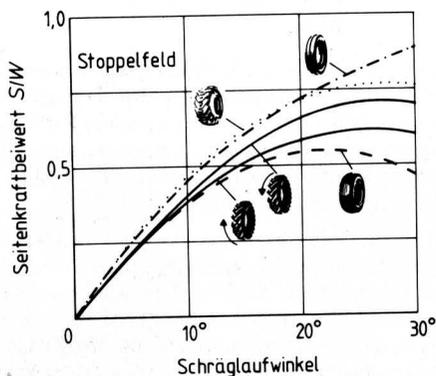


Bild 18. Seitenkraftbeiwert verschiedener Reifen in Abhängigkeit vom Schräglaufwinkel, Stoppelfeld.

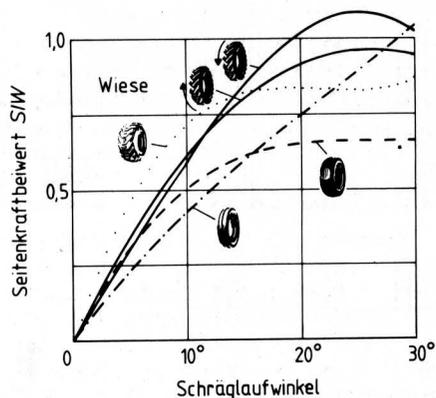


Bild 19. Seitenkraftbeiwert verschiedener Reifen in Abhängigkeit vom Schräglaufwinkel, Wiese.

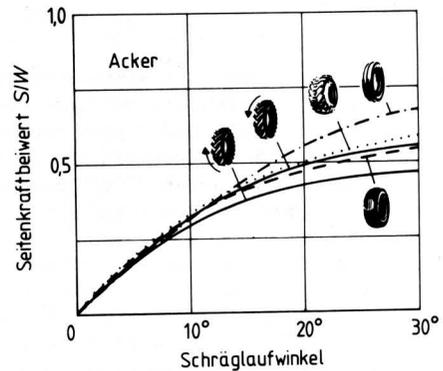


Bild 20. Seitenkraftbeiwert verschiedener Reifen in Abhängigkeit vom Schräglaufwinkel, gegrubberter Acker.

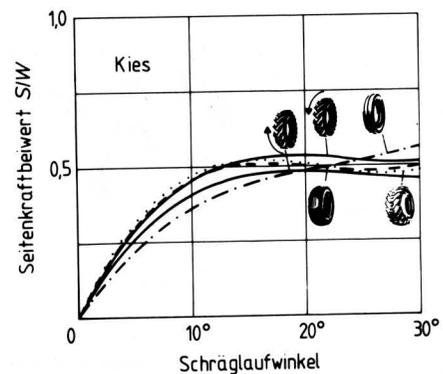


Bild 21. Seitenkraftbeiwert verschiedener Reifen in Abhängigkeit vom Schräglaufwinkel, Kiesboden.

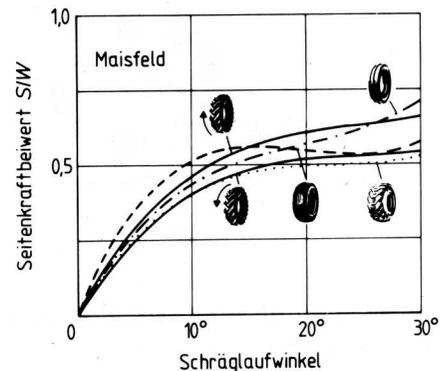


Bild 22. Seitenkraftbeiwert verschiedener Reifen in Abhängigkeit vom Schräglaufwinkel, abgeerntetes, feuchtes Maisfeld.

Die Bereiche, in die die Kurven der Seitenkraftbeiwerte aller untersuchten Reifen ohne Rücksicht auf das Profil für eine bestimmte Bodenart fallen, sind in **Bild 23** eingetragen. Die Seitenkraftbeiwerte sind bei Wiese und Stoppelfeld am höchsten und steigen auch bei größeren Schräglaufwinkeln noch leicht an. Für gegrubberten, trockenen Ackerboden sind die abstützbaren Seitenkräfte am geringsten, betragen aber immer noch ca. 50 % der Radlast bei großen Einschlagwinkeln. Auf Kiesboden und Maisfeld steigt der Seitenkraftbeiwert rasch auf Werte von 0,4–0,5 bei 10° Schräglaufwinkel an, ändert sich aber dann bei größeren Einschlagwinkeln kaum mehr.

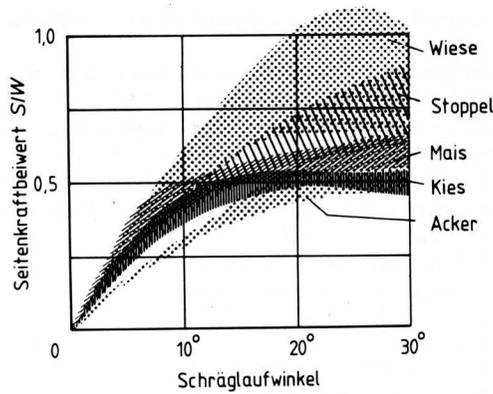


Bild 23. Seitenkraftbeiwerte für die getesteten profilierten Reifen und den profillosen Reifen in Abhängigkeit vom Schräglaufwinkel auf verschiedenen Böden.

Die Ergebnisse bezüglich der Profilunterschiede sind in **Bild 24** zusammengefaßt. Die Balkendiagramme zeigen für die verschiedenen Böden und für Schräglaufwinkel von 10°, 20° und 30° die prozentualen Unterschiede der Seitenkraftbeiwerte S/W der einzelnen Profilreifen gegenüber dem unprofilierten Reifen.

Deutlich ist zu erkennen, daß die profilierten Reifen nur auf der Wiese und auf dem Stoppelfeld wesentlich größere Seitenkräfte aufbringen können als ein glatter Reifen. Ursache dafür könnte eine gewisse "formschlüssige Verzahnung" zwischen Pflanzen und Reifenprofil sein. Auch hier wird wieder deutlich, daß der Reifen mit dem hohen Ringprofil bei geringen Schräglaufwinkeln kleine Seitenkräfte, aber mit wachsendem Winkel immer größere Seitenkräfte abstützen kann.

In allen Fällen – mit Ausnahme des feuchten Maisfeldes – ist das Treibradprofil, mit vorgeschriebener Laufrichtung montiert (Spur besteht aus rückwärts gerichteten Pfeilen), vorteilhafter als in umgekehrter Richtung montiert.

Der Terra-Reifen schneidet bei pflanzenbedeckter Oberfläche gut ab, bringt aber keine nennenswerten Vorteile auf glatter, krümeliger bzw. kiesbedeckter Bodenoberfläche.

Im feuchten Maisfeld sind sämtliche Profilreifen bei kleinen Schräglaufwinkeln ungünstiger als der unprofilierte Reifen. Vermutlich überwiegt dabei die Adhäsion der großen, glatten Fläche des unprofilierten Reifens, bis bei größeren Schräglaufwinkeln die Profile durch ihre Kanten mehr in den Boden eindringen und dadurch größere Kräfte abstützen können.

Bezieht man die Seitenkraft auf den Rollwiderstand, so ergibt dies eine Art Wirkungsgrad, d.h. ein großer Wert für das Verhältnis S/R zeigt eine gute Ausnutzung des Reifens für die "Seitenabstützung" an. Dieses Verhältnis ist in **Bild 25** für alle Reifen und Böden in Abhängigkeit vom Schräglaufwinkel aufgetragen. Da beim Schräglaufwinkel 0° keine Seitenkraft, wohl aber ein Rollwiderstand vorhanden ist, beginnen alle Kurven im Ursprung. Bei Schräglaufwinkeln zwischen 5° und 10° tritt in allen Fällen das Maximum auf, welches beim Acker einen Wert von $S/R = 1,5$ und bei den anderen Böden Werte von $S/R = 2,5-4,5$ hat. Dies zeigt an, daß im Verhältnis zu der in Fahrtrichtung aufgewandten Widerstandskraft alle Reifen zwischen 5° und 10° Schräglauf den größten Seitenkraft-effekt, also den besten "Ausnutzungsgrad bzw. Wirkungsgrad" bezüglich seitlicher Abstützfähigkeit haben.

6. Zusammenfassung

Während es zahlreiche Veröffentlichungen über Kräfte am Reifen auf nachgiebigem Boden in Fahrtrichtung, also über Triebkräfte und Rollwiderstände, gibt, finden sich bisher nur wenige Arbeiten, die die Kräfte senkrecht zur Fahrtrichtung, also Seitenkräfte, behandeln.

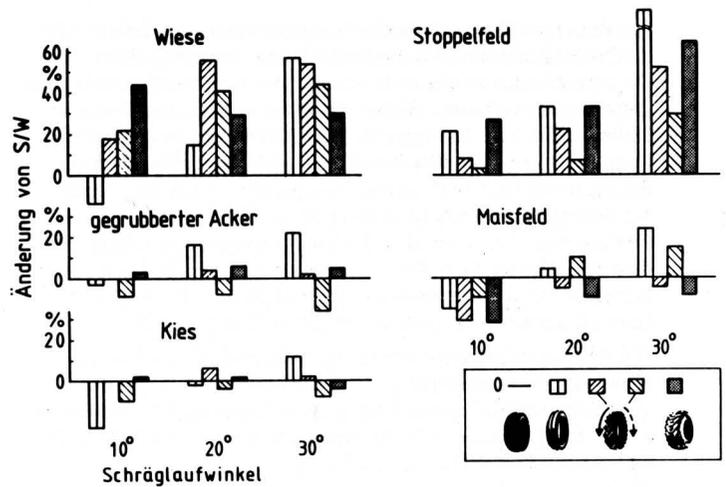


Bild 24. Unterschied im Seitenkraftbeiwert von profilierten Reifen (in %) bei Bezug auf den profillosen Reifen für verschiedene Böden und unterschiedliche Schräglaufwinkel.

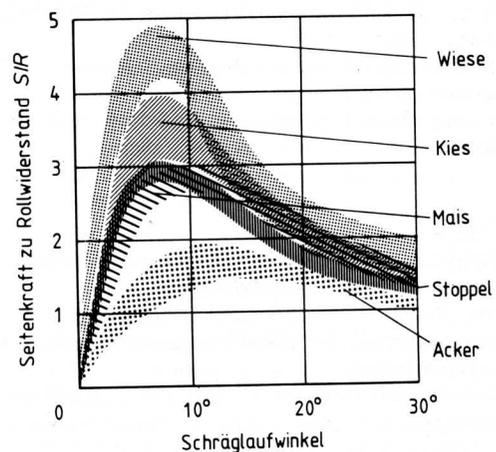


Bild 25. Auf Rollwiderstand bezogene Seitenkraft für alle getesteten Reifen in Abhängigkeit vom Schräglaufwinkel auf verschiedenen Böden. Die Werte stellen eine Art "seitlicher Ausnutzungsgrad" der Reifen bei gleichem Rollwiderstand dar.

Eine in früheren Untersuchungen bewährte Einzelrad-Versuchseinrichtung wurde für Messungen an nichtangetriebenen Implementreifen für Ackerwagen und landwirtschaftliche Arbeitsmaschinen und Geräte weiterentwickelt. Diese Versuchseinrichtung wird an einem Schlepper (Unimog) hinten starr angebaut. Es können bei Schräglaufwinkeln des untersuchten Rades von 0 bis 30° und Radlasten bis zu 1,3 t die auf den Versuchsreifen wirkenden Kräfte in Fahrtrichtung und dazu senkrecht gemessen werden.

Zur Ermittlung des Einflusses der Profilgestaltung auf die übertragbare Seitenkraft im gelenkten Zustand wurden Reifen 12,5/80-18 8PR und ein Terra-Reifen gleichen Durchmessers, jedoch größerer Breite mit den Profilen nach Bild 3 verwendet. An jedem Reifen wurden bei fünf unterschiedlichen Belastungen und Schräglaufwinkeln von 0 bis 30° die Widerstandskräfte in Fahrtrichtung und die Seitenkräfte (senkrecht zur Fahrtrichtung) auf folgenden Böden gemessen: Stoppelfeld, gebrubarter Acker, Wiese, Kiesboden und abgeerntetes Maisfeld. Die Rollwiderstands- und Seitenkraftbeiwerte wurden ermittelt, indem in Abhängigkeit vom Schräglaufwinkel aus 35 Meßpunkten für unterschiedliche Radlasten eine Regressionskurve mit einem Polynom dritten Grades errechnet wurde.

Das Reifenprofil beeinflusst die Seitenkraftbeiwerte (Seitenkraft/Radlast) vornehmlich bei den Böden Wiese und Stoppelfeld. Die abstützbaren Seitenkräfte sind bei einem Schräglaufwinkel von 30° bei den profilierten Reifen gegenüber dem glatten Reifen um 25 bis 70 % höher. Das typische Lenkreifenprofil mit zwei tiefen Rundum-Rillen bei 3 Rundum-Hochstollen erzeugt bei geringen Schräglaufwinkeln zwar kleinere Seitenkräfte, kann aber bei großen Schräglaufwinkeln die größten Seitenkräfte abstützen. Das Treibradprofil ist in fast allen Fällen in Laufrichtung richtig montiert vorteilhafter als rückwärtslaufend montiert. Der Terra-Reifen schneidet bei pflanzenbedeckter Oberfläche gut ab, bringt aber keine nennenswerten Vorteile auf glatter Bodenoberfläche.

Die Rollwiderstandsbeiwerte (Längskraft/Radlast) sind in fast allen Fällen für profilierte Reifen im Mittel um 15 bis 40 % höher als bei dem unprofilierten Reifen. Sie betragen bei 15° Schräglaufwinkel für Kies 0,15–0,22, für Wiese und Stoppelfeld 0,18–0,27 und für gegrubberten Acker 0,25–0,32.

Die Ergebnisse dieser Seitenkraft- und Rollwiderstandsmessungen an Implement-Reifen mit unterschiedlichen Profilen sind nützlich für die Berechnung:

1. der notwendigen Vorderachslast für das sichere Lenkverhalten von Schleppern (schräger Zug);
2. der Lastannahmen von Rädern, Achsen und Reifen;
3. der notwendigen Leistung zur Überwindung des Rollwiderstandes der Schleppervorderachse bzw. der Hinterachse beim Mährescher;
4. der Lenkfähigkeit und Stabilität von Schleppern und Anhängern am Hang;
5. des allgemeinen Fahrverhaltens des Schleppers (Computer-Simulation).

Schrifttum

- [1] *Taylor, A. u. R. Birtwistle*: Experimental studies of force systems on steered agricultural tyres. Proc. Inst. Mech. Engineers 181 (1967) 2A, S. 1/14.
- [2] *Schwanghart, H.*: Seitenkräfte an gelenkten Luftreifen in lockerem Boden. Grundl. Landtechnik Bd. 17 (1967) Nr. 3, S. 105/14.
- [3] *Schwanghart, H.*: Lateral forces on steered tyres in loose soil. J. Terramech. Bd. 5 (1968) Nr. 1, S. 9/29.
- [4] *Grechenko, A.*: Slip and drift of the wheel with tyre on soft ground. Proc. 3rd Int. Conf., Int. Soc. for Terrain-Vehicle Systems, Essen (1969) Vol. II, S. 76/95.
- [5] *Baker, C.J. u. R.M. Collins*: A comparison of tractor rear tyres in their resistance to side slip. J. agric. Engng. Res. Bd. 17 (1972) Nr. 1, S. 64/70.
- [6] *Krick, G.*: Behaviour of tyres driven in soft ground with slide slip. J. Terramech. Bd. 10 (1973) Nr. 4, S. 9/30.
- [7] *Grechenko, A.*: Some applications of the slip and drift theory of the wheel. Proc. 5th Int. Conf., Int. Soc. for Terrain-Vehicle Systems, Detroit (1975) Vol. II, S. 449/72.
- [8] *Kraft, D.C. u. N.S. Phillips*: Turning forces developed by a pneumatic tire operating in soils, with application to vehicle design criteria. Proc. 5th Int. Conf., Int. Soc. for Terrain-Vehicle Systems, Detroit (1975) Vol. II, S. 473/92.
- [9] *Crolla, D.A. u. F.D. Hales*: The lateral stability of tractor and trailer combinations. J. Terramech. Bd. 16 (1979) Nr. 1, S. 1/22.
- [10] *McAllister, M.*: A rig for measuring the forces on a towed wheel. J. agric. Engng. Res. Bd. 24 (1979) Nr. 3, S. 259/65.
- [11] *Rosario, Carlos R. del*: Lateral force investigations on steered pneumatic tyres operating under soil condition. Diss. Silsoe, Cranfield Inst. of Techn. (1980).
- [12] *Gee-Clough, D. u. M.S. Sommer*: Steering forces on un-driven, angled wheels. J. Terramech. Bd. 18 (1981) Nr. 1, S. 25/49.
- [13] *Schwanghart, H.*: Messungen von Kräften an gelenkten, nicht angetriebenen Reifen. Proc. 7th Int. Conf., Int. Soc. for Terrain-Vehicle Systems, Calgary (1981) Vol. I, S. 335/56.
- [14] *Schwanghart, H. u. K. Rott*: Profileinfluß auf Widerstands- und Lenkkräfte frei rollender Reifen. (Influence of tyre tread on resistance- and steering forces of tyres). Proc. 8th Int. Conf., Int. Soc. for Terrain-Vehicle Systems, Cambridge (1984), Vol. II, S. 855/88.

Measurement of the response of tractor steering systems

Von Richard Mildmay Stayner, Donald James Bottoms and Ian Watkins, Silsoe

DK 631.372:629.11.014.5

The response of a tractor's hydrostatic steering system was measured under a range of conditions. The steering ratio was found to vary between 9,5 : 1 and 14,5 : 1 and the time lag in the system was found to vary between 0,04 s and 0,14 s. It is suggested that these factors may have an adverse effect on drivers' steering performance. It is proposed that comparative tests of steering system response need to include dynamic measurements with the tractor in motion.

Das Übertragungsverhalten eines hydrostatischen Lenk-systems wurde bei einer Reihe verschiedener Bedingungen gemessen. Dabei wurde festgestellt, daß die Übersetzung der Lenkung zwischen 9,5:1 und 14,5:1 schwankt und die Totzeit im System zwischen 0,04 s und 0,14 s. Es ist zu vermuten, daß diese Faktoren das Lenkvermögen des Fahrers ungünstig beeinflussen. Vorgeschlagen wird, bei vergleichenden Untersuchungen des Lenkungs-Übertragungsverhaltens dynamische Messungen mit fahrendem Schlepper mit einzubeziehen.

*) *R.M. Stayner, Head of Ergonomics Department at NIAE, D.J. Bottoms, Research Engineer (workplace design and tractor steering), Ergonomics Department NIAE and I. Watkins, Ergonomics student, University of Loughborough.*

Der Beitrag wurde als Vortrag gehalten bei der Internationalen Tagung Landtechnik in Braunschweig am 10./11. Nov. 1983.