



Title	ZUR METHODIK DER RADSCHLUPFMESSUNG BEI ACKERSCHLEPPERN
Author(s)	TERAO, Hideo
Citation	Journal of the Faculty of Agriculture, Hokkaido University, 62(2), 136-149
Issue Date	1985-03
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/13018
Type	departmental bulletin paper
File Information	62(2)_p136-149.pdf



ZUR METHODIK DER RADSCHLUPFMESSUNG BEI ACKERSCHLEPPERN*

Hideo TERAO

Department of Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture,
Hokkaido University, Sapporo 060, JAPAN

Received October 6, 1984

Inhaltsangabe

Es wurde eine Schlupfmeßeinrichtung für einen wellenfreien harten Boden einschließlich einer Betonstraße entwickelt. Die Fahrgeschwindigkeit wird mit einem Impulsgerät, das an der Achse des federgedämpft aufgehängten Peislrades befestigt ist, gemessen. Der Richtwert zur Berechnung des Radschlupfes wird mit Hilfe eines weiteren an die Zapfwelle gekuppelten Impulsgerätes gemessen.

Die beiden Signale werden in einem Datenspeichergerät aufgezeichnet, in Gleichströme umwandelt und einer Analogschaltung zur Berechnung des Schlupfes zugeführt.

Für die früher veröffentlichten Zugkraft-Schlupfkurven, die mit einer einfachen Methode ermittelt wurden, betrug die Grenzfrequenz des Tiefpaßfilters 0,1 bis 0,2 Hz.

I. Einleitung

Zur Charakterisierung der Betriebseigenschaften von Geländefahrzeugen wurden bisher die im Versuch ermittelten Kennwerte meist in Abhängigkeit vom Schlupf dargestellt. Die Zugkraft kann man leicht mit einem Tensio-meter messen. Andererseits ist es nicht einfach, den Schlupf direkt zu messen, weil dieser sich aus Fahrgeschwindigkeit, Raddrehzahl und Rollradius oder aus den entsprechenden Wegstrecken errechnet.

Obwohl Verschiedenartige Versuche, den Schlupf kontinuierlich als Funktion der Zeit zu ermitteln, von in- und ausländischen Wissenschaftlern durchgeführt wurden, ist dies noch nicht vollkommen gelungen.^{6,7,8,10,12,14)} Einrichtungen für die Schlupfmessung von Reifen wurden von Prather im National Tillage Machinery Laboratory^{9,10)} in Alabama/USA sowie von FUJI-

[J. Fac. Agr. Hokkaido Univ., Vol. 62, Pt. 2. 1984]

* TERAO, H.: Measurement of Tractor-Wheel Slippage, Nogyokikaigaku Kaishi, 40-1, 21-27, 1978 (in Japanese)

MOTO und NEMOTO im Institut⁴⁾ für Baumaschinen in Sizuoka/Japan aufgestellt.

Ziel dieser Arbeit ist es, mit üblichen Meßgeräten eines Universitätsinstituts:

- die Eigenschaften des Peiselrades zu untersuchen,
- die Analschaltung zur Berechnung des Schlupfes zu erstellen,
- den geeigneten Wert der Grenzfrequenz des Tiefpaßfilters zu finden.
- und mit einem Traktor, der auf wellenfreier Betonstraße oder auf wellenförmigen Boden fährt, die Zugkraft-Schlupfkurven zu bestimmen.

II. Versucheinrichtung und -durchführung

Der Schlupf bei Ackerschleppern kann nicht direkt gemessen werden, wie er in den folgenden Gleichungen definiert wird:

$$S = \frac{L_o - L}{L_o} \times 100 \quad (\%) \quad (1)$$

$$= \frac{r\omega - dx/dt}{r\omega} \times 100 \quad (\%) \quad (2)$$

$$= \frac{V_p - V_s}{V_p} \times 100 \quad (\%) \quad (3)$$

Verwendete Formelzeichen:

- S Schlupf des Triebrades beim Ackerschlepper (%)
- L_o schlupfloser Abrollweg des Triebrades ohne Zugbelastung (m)
- L Abrollweg des Triebrades mit Zugbelastung (m)
- r wirksamer Rollradius eines Triebrades in schlupflosem Zustand (m)
- ω Winkelgeschwindigkeit des Triebrades (rad/s)
- dx/dt Fahrgeschwindigkeit (m/s)
- V_p erzeugte Spannung entsprechend der Winkelgeschwindigkeit des Triebrades (Volt)
- V_s erzeugte Spannung entsprechend der Fahrgeschwindigkeit (Volt)

Die Fahrgeschwindigkeit dx/dt wird dann mit dem Impulsgerät ($600 I/2\pi$), das an die Achse des federgedämpft aufgehängten Peiselrades gekuppelt ist, gemessen. Die Motordrehzahl als der Richtwert zur Berechnung des Schlupfes kann über die Zapfwelldrehzahl mit Hilfe eines weiteren an die Zapfwelle gekuppelten Impulsegerätes ($60 I/2\pi$) gemessen werden. Die beiden Signale werden in einem Datenspeichergerät aufgezeichnet, in Gleichströme umgewandelt und einer Analschaltung zur Berechnung des Schlupfes zugeführt.

1. Zapfwellen-Drehzahlmesser

Die Zapfwellendrehzahl kann man mit Hilfe eines elektromagnetischen Signalabnehmer und eines auf der Zapfwelle befestigten Zahnrades mit dem Modul 2 und der Zähnezah 60 messen. Das abgenommene Signal, das der Winkelgeschwindigkeit der Zapfwelle entspricht, wird in Gleichstrom umgewandelt.

2. Fahrgeschwindigkeitsmesser

Das Vorderrad eines Traktors ist sozusagen ein gezogenes Rad. Man könnte es zur Geschwindigkeitsmessung verwenden. Das Peiselrad hat dagegen den Vorteil, daß man dieses auch bei anderen Traktoren verwenden kann. Das Vorrad eines Motorrades der 50 cc Klasse (2,25-17,0-4PR) wird hier mit einem an die Achse gekuppelten Impulsgerät verwendet.

Das in Bild 1 gezeigte Peiselrad ist in der Mitte zwischen Vorder- und Hinterrad des Traktors am Rahmen des Motors befestigt. Das Peiselrad ist seitenbeweglich und federgedämpft. Die Achsbelastung kann verändert werden. Wie bei der Messung der Zapfwellendrehzahl, werden die der Fahrgeschwindigkeit entsprechenden Signale in Gleichstrom umgewandelt.

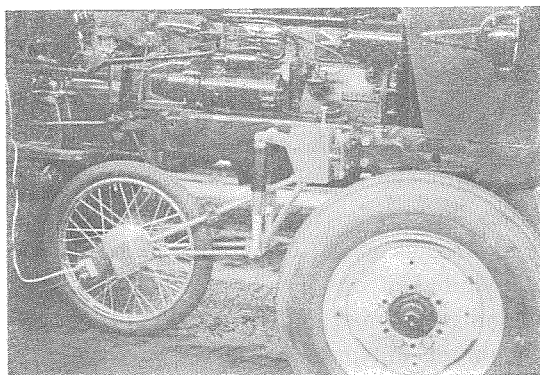


Bild 1. Gesamtansicht des Peiselrades.

3. Analogschaltung zur Berechnung des Schlupfes

Das Signalfußbild und die Analogschaltung zur Berechnung des Schlupfes werden in Bild 2 sowie in Bild 3 gezeigt. Die Ausgangsspannung des Wandlers war 10 mV bei Vollausschlag und die Nennspannung des Rechenverstärkers betrug 50 Volt. Es war etwas schwierig, die Ausgangs- und Nennspannung anzugleichen, weil die Differenz der Spannungen sehr groß war. Zwei Signalgeneratoren und zwei Frequenzzähler waren notwendig, um die Konstanten der Potentiometer zur Berechnung des Schlupfes einzustellen.

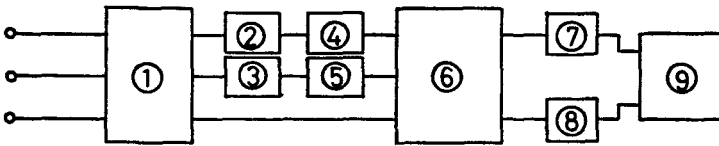


Bild 2. Signalflußbild zur Berechnung des Radschlupfes.

- ① Datenspeichergerät, ②, ③ F/V Wandler,
- ④, ⑤ DC Verstärker, ⑥ Analogrechner,
- ⑦, ⑧ Tiefpaßfilter, ⑨ X-Y Schreiber

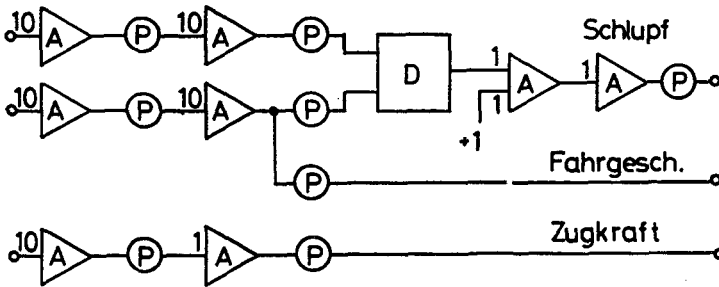


Bild 3. Anschaltung zur Berechnung des Radschlupfes.

(A=Verstärker, D=Dividierer, P=Potentiometer)

Bei der Aufzeichnung der Zugkraft-Schlupfkurven mit X-Y Schreiber beträgt bei höherer Fahrgeschwindigkeit die zur Verfügung stehende Zeit nur 5 bis 6 Sekunden, wobei die Zugbelastung durch Bremsen des Belastungsstraktors im Schlupfbereich von 0 bis 100% kontinuierlich erzeugt wird. Zur Aufzeichnung mit dem X-Y Schreiber läßt man das Datenspeichergerät mit geringerer Geschwindigkeit laufen.

III. Versuchsergebnisse und Diskussion

1. Fahrgeschwindigkeitsmessung

Bei der Bestimmung der Fahrgeschwindigkeit soll der Abrollweg so genau wie möglich gemessen werden. Für die Untersuchungen wurden eine wellenfreie Betonstraße (A), ein wellenfreier (B) und ein wellenförmiger (C) harten Boden gewählt, um die wirksamen Rollradien des Peiselrades in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit unter verschiedenen Achsbelastungen zu ermitteln.

Der wirksame Rollradius^{1,3,5)} wurde nach der folgenden Gleichung (4) aus dem summierten Wert der Impulse, die eine bestimmte Strecke darstellen, berechnet. Bild 4 zeigt das Ergebnis.

$$r = \frac{\lambda}{2\pi} \cdot \frac{600}{\Sigma f} \quad (\text{mm}) \quad (4)$$

Verwendete Formelzeichen :

r wirksamer Rollradius des Peiselrades (m)

λ eine bestimmte Weglänge (m)

Σf Summe der Impulse (-)

600 Anzahl der Impulse für eine Umdrehung des Peiselrades (-)

Der wirksame Rollradius wird bei steigender Fahrgeschwindigkeit auf den wellenfremen Fahrbahnen A und B sehr wenig durch steigende Achsbelastung beeinflusst und bleibt im Geschwindigkeitsbereich von 0,4 bis 3,0 m/s fast konstant. Auf dem wellenförmigen Boden C nähert sich der wirksame Rollradius bei zunehmender Achsbelastung in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit den Werten der Fahrbahn B. Wenn das Peiselrad zur Messung der Fahrgeschwindigkeit unter der Achsbelastung von 15 kgf verwendet wird,

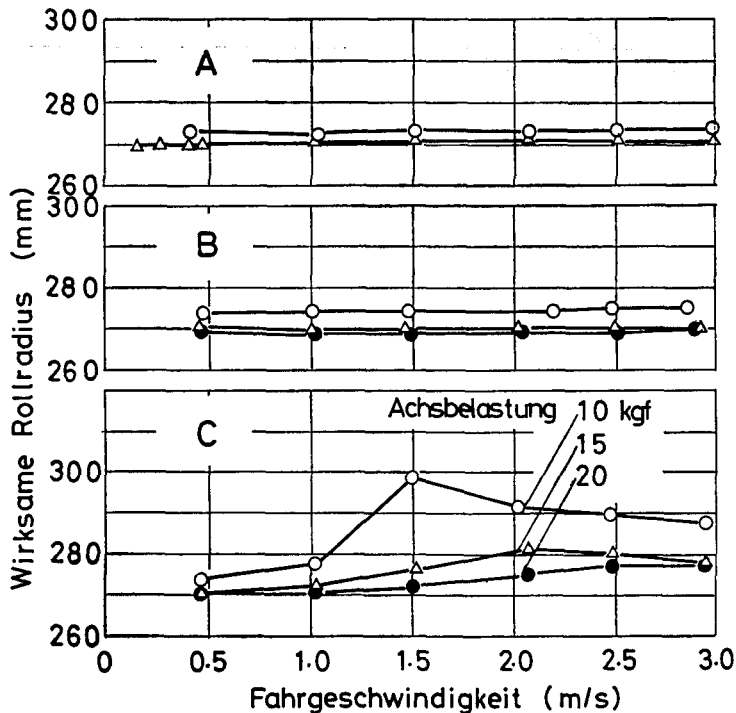


Bild 4. Wirksamer Rollradius des Peiselrades in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit auf den Fahrbahnen A, B und C.

(A: eine wellenfremde Betonstraße, B: ein wellenfremder harter Boden, C: ein wellenförmiger harter Boden)

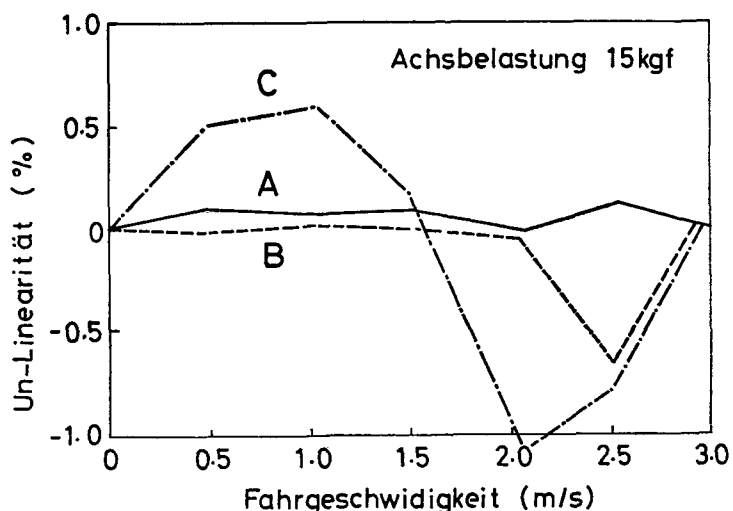


Bild 5. Un-Linearität des Fahrgeschwindigkeitsmessers in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit auf den Fahrbahnen A, B und C.

haben die Meßgenauigkeiten die Reihenfolge A, B und C in Bild 5. Hierbei zeigte die Fahrbahn C die Meßgenauigkeit von $\pm 1\%$ im Fahrgeschwindigkeitsbereich von 0,4 bis 3,0 m/s.

Aus obigen Gründen läßt sich das Peiselrad als Fahrgeschwindigkeitsmesser zur momentanen Radschlupfmessung verwenden, solange es auf wellenfreiem harten Boden eingesetzt wird.

2. Zugkraft-Schlupfkurven

Hier werden die erhaltenen Ergebnisse der beiden gegensätzlichen Fahrbahnen A und C diskutiert. Die Zugbelastung des Testtraktors DB990 (38,2 kW/52 PS) wird durch Bremsen des Belastungstraktors Unimog HL (25,7 kW/35 PS) im Schlupfbereich von 0 bis 100% kontinuierlich erzeugt. Mit der Bandgeschwindigkeit des Datenspeichergerätes von 15 inch/sek wurden gleichzeitig die Daten von Motordrehzahl, Fahrgeschwindigkeit, Hinterachsdrehmoment und Zugkraft aufgezeichnet.

Test- und Belastungstraktor wurden zuerst bei der Messung mit gleicher Fahrgeschwindigkeit gefahren, um den Nullschlupfzustand zu erhalten. Nach Einstellung dieses Zustandes wurde die Fahrgeschwindigkeit des Belastungstraktor kontinuierlich verringert. Dann konnte die Messung ohne Beanspruchung einer größeren Versuchsfläche durchgeführt werden.

1) Gemessene Kurvenverläufe auf zwei Fahrbahnen

Kurvenverläufe von : Zapfwellen-Drehzahl, Fahrgeschwindigkeit, Dreh-

moment der Hinterachse, Zugkraft und Schlupf werden in Bild 6 auf einer wellenfreen BetonstraÙe und in Bild 7 auf wellenförmigem harten Boden gezeigt. Im Kurvenverlauf der Zapfwellen-Drehzahl trat keine Abnahme der Drehzahl bei der Zunahme der Zugbelastung von 0 bis 100% auf. Der Grund liegt in der kleinsten verwendeten Fahrgeschwindigkeit. Im Kurvenverlauf der Fahrgeschwindigkeit wurde kein Einfluß der Winkelgeschwindigkeit des Peiselrades auf einer wellenfreen BetonstraÙe gefunden. Man kann nur einen ganz geringen Einfluß der Schwankung der Zugbelastung erkennen. Andererseits kann man sehen, daß die Schwankungen der Zugbelastung sowie der Winkelgeschwindigkeit die Fahrgeschwindigkeit auf dem wellenförmigen



Bild 6. Zapfwellen-Drehzahl, Fahrgeschwindigkeit, Drehmoment der Hinterachse, Zugkraft und Schlupf in Abhängigkeit von der Zeit auf wellenfreen BetonstraÙe.

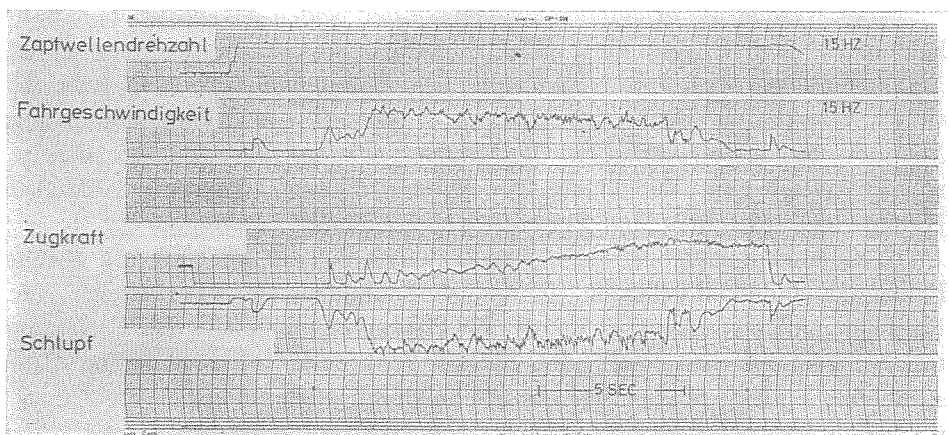


Bild 7. Zapfwellen-Drehzahl, Fahrgeschwindigkeit, Zugkraft und Schlupf in Abhängigkeit von der Zeit auf wellenförmigem harten Boden.

Boden stärker beeinflussen. Eine Abnahme der Motordrehzahl kann man in den beiden Bildern nicht feststellen. Die Zuggeschwindigkeit war sehr klein. Man kann leicht sehen, daß nach Gleichung (3) der Schlupf durch die Fahrgeschwindigkeit beeinflußt wird.

Wegen der niedrigen Grenzfrequenz des Schreibers können Zugkraft und Schlupf zur Darstellung der Zugkraft-Schlupfkurven nicht direkt auf den X-Y-Schreiber gegeben werden. Für die früher veröffentlichten Zugkraft-Schlupfkurven, die mit einer einfachen Methode ermittelt wurden, muß man die Kurven mit Hilfe eines Tiefpaßfilters ausgleichen.

2) Grenzfrequenz des Tiefpaßfilters

Um den geeigneten Wert der Grenzfrequenz zu bestimmen, wurden bei stufenförmiger Änderung der Grenzfrequenz viele Zugkraft-Schlupfkurven ausgewertet. Die Grenzfrequenz des Tiefpaßfilters wurde in diesem Fall aus den gemittelten Daten mit Hilfe der Zugkraft-Schlupfkurven bestimmt. Der

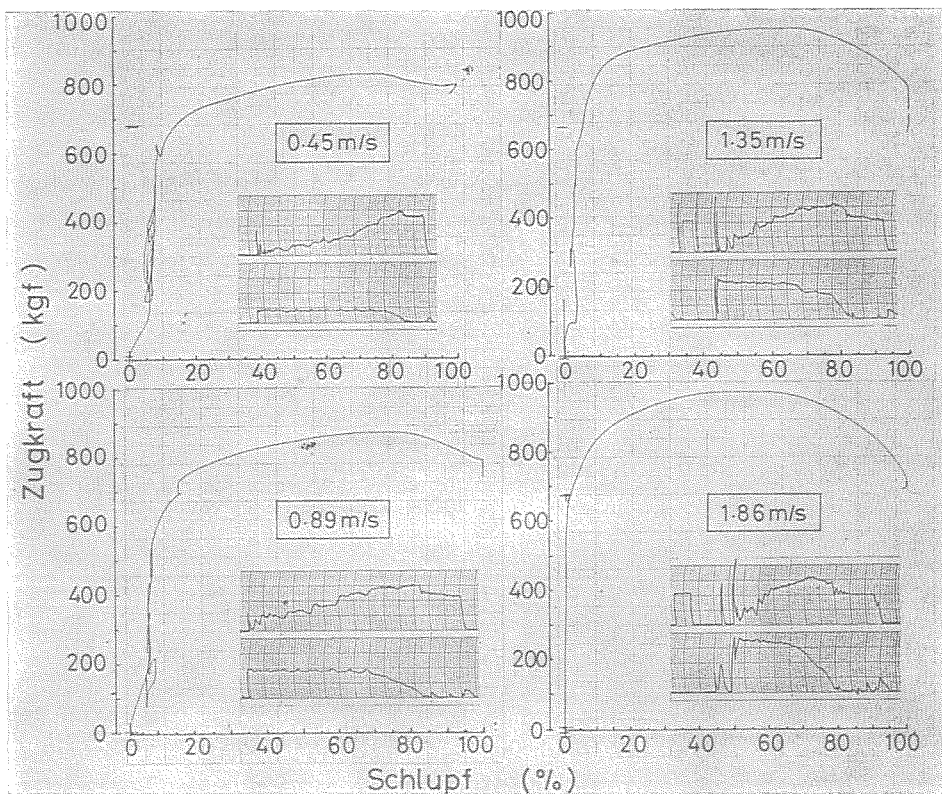


Bild 8. Zugkraft-Schlupfkurven auf einer wellenfreien Betonstraße.

geeignetste Wert der Grenzfrequenz 0,1 bis 0,2 Hz. Die folgende Datenverarbeitung wurde mit der Grenzfrequenz 0,2 Hz durchgeführt, Bild 8, Bild 9.

Bei den Fahrgeschwindigkeiten von 0,45 und 0,89 m/s sind die ansteigenden Kurven im untersten Schlupfbereich sehr unregelmäßig. Der Grund ist, daß die Schwingungsdauer des Schlupfes und der Zugkraft kleiner als die Grenzfrequenz 0,2 Hz ist. Bei den schnellen Fahrgeschwindigkeiten von 1,35 und 1,86 m/s werden die Kurven einfacher. Wenn man die Veränderungen zwischen Schlupf und Zugkraft in den Zugkraft-Schlupfkurven bei kleiner Fahrgeschwindigkeit überprüft, sind die Phasen nicht synchron. Wenn der Schlupf momentan steigt, nimmt die Zugkraft nicht immer zu. Dieses vollkommen andere Verhalten kann man auch in den Bildern erkennen. Bei momentaner Zunahme des Schlupfes nimmt gleichzeitig die Fahrgeschwindigkeit ab. Dann wird die Änderung des Impulses an dem Traktor kleiner, so daß die momentane Zugkraft kleiner wird.

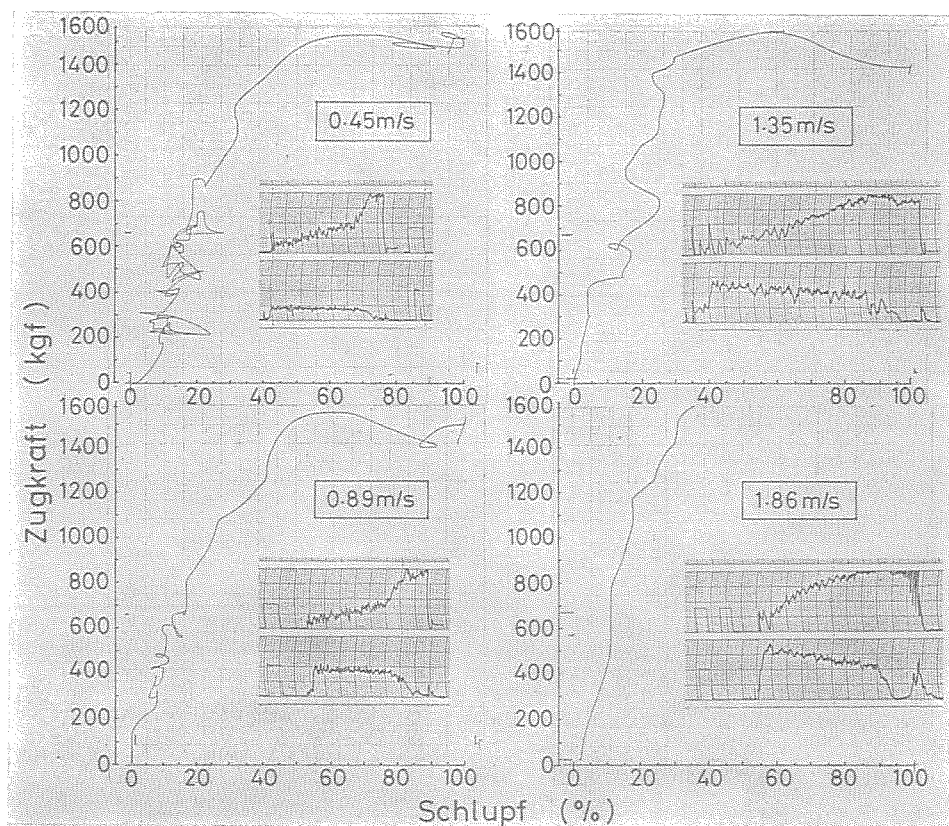


Bild 9. Zugkraft-Schlupfkurven auf einem wellenförmigen harten Boden.

Den Grund kann man aus der folgenden Gleichung erkennen :

$$\begin{aligned} dZ &= \frac{m(V-dV)-mV}{dt} \\ &= -m \frac{dV}{dt} \\ &= -ma < 0 \end{aligned} \quad (5)$$

Verwendete Formelzeichen :

- Z Zugkraft (kgf)
- m Schleppermasse (kgfs²/m)
- V Fahrgeschwindigkeit (m/s)
- a Beschleunigung (m/s²)
- dZ Differenz der Zugkraft (kgf)
- dV Differenz der Fahrgeschwindigkeit (m/s)
- dt zeitliche Differenz (s)

3) Fahren auf wellenfreier Betonstraße

Die Zugkraft bei 100% Schlupf nahm nur wenig ab, wenn die Schlupfgeschwindigkeit des Traktors von 0,45 bis 1,86 m/s zunahm. Für die beobachtete Tendenz wurde angenommen, daß der dynamische Reibungskoeffizient zwischen Gummireifen und Betonoberfläche wegen der Reibungswäre des Gummireifens und des Gummiabriebs abnahm, TAB. 1.

Die maximale Zugkraft entwickelte sich, bevor der Triebradschlupf 100% erreichte. Der bei der maximalen Zugkraft auftretende Schlupf nahm von 75,5 auf 55,0% ab. Die maximale Zugkraft nahm von 814 auf 963 kgf zu, wenn die Schlupfgeschwindigkeit von 0,34 auf 1,02 m/s zunahm, TAB. 2.

TAB. 1. Zugkraft bei 100% Schlupf auf einer wellenfreien Betonstraße

Schlupfgeschwindigkeit m/s	0,45	0,89	1,35	1,86
Zugkraft kgf	783	786	777	710

TAB. 2. Maximale Zugkraft auf einer wellenfreien Betonstraße

Schlupf %	77,5	77,0	67,5	55,0
Schlupfgeschwindigkeit m/s	0,34	0,67	0,91	1,02
Zugkraft kgf	814	866	951	963

Die obige Tendenz, d. h. der Schlupf bei maximaler Zugkraft sowie die Zugkraft bei 100% Schlupf nahmen mit steigender Schlupfgeschwindigkeit wegen der Abnahme des dynamischen Reibungskoeffizienten zwischen Gummireifen und Betonoberfläche mit steigender Fahrgeschwindigkeit ab, führt zu dem Ergebnis, daß der Schlupf bei maximaler Zugkraft kleiner wird. Die Zunahme der maximalen Zugkraft wurde mit dem Unterschied zur entwickelten Zugkraft begründet⁹⁾.

Die Zugkraft bei ca. 15% Schlupf, welche die maximale Zugleistung auf wellenfreier Betonstraße liefert, steigt von 671 auf 872 kgf, d. h. um 30%, während die Schlupfgeschwindigkeit von 0,07 auf 0,28 m/s zunimmt, TAB. 3.

TAB. 3. Zugkraft bei 15% Schlupf auf einer wellenfreien Betonstraße

Schlupfgeschwindigkeit m/s	0,07	0,13	0,20	0,28
Zugkraft kgf	671	739	869	872

4) Fahren auf wellenförmigem Boden

Bei 100% Schlupf tritt in diesem Fall die Schlupf-Einsinkung auf. Hier nimmt die Zugkraft mit steigender Schlupfgeschwindigkeit zu. In Tab. 4 gibt es keinen Zugkraftwert bei der Schlupfgeschwindigkeit 1,86 m/s. Der Grund lag in der Überschreitung des Meßbereiches des Schreibers. Die vermutete Wert ist ca. 1.600 kgf, TAB. 4.

TAB. 4. Zugkraft bei 100% Schlupf auf einem wellenförmigen harten Boden

Schlupfgeschwindigkeit m/s	0,45	0,89	1,35	1,86
Zugkraft kgf	1.482	1.500	1.422	—

Auf in diesem Fall entwickelte sich die maximale Zugkraft, bevor der Triebadschlupf 100% erreichte. Der bei der maximalen Zugkraft auftretende Schlupf nahm von 70 auf 60% ab. Die maximale Zugkraft steigt von 1.537 auf 1.579 kgf, während die Schlupfgeschwindigkeit von 0,32 auf 0,81 m/s zunahm.

Man kann sich vorstellen, daß die Schlupfgeschwindigkeit bei maximalem Zugkraftbeiwert auftritt. Die maximale Scherfestigkeit in der Scherfläche entspricht der Dehnungsgeschwindigkeit im Sandboden, und eine größere im Tonboden⁹⁾. Den obigen Teil kann man mit dieser Ansicht erklären, TAB. 5.

TAB. 5. Maximale Zugkraft auf einem wellenförmigen harten Boden

Schlupf %	70	65	60	—
Schlupfgeschwindigkeit m/s	0,32	0,58	0,81	—
Zugkraft kgf	1.537	1.553	1.579	—

TAB. 6. Zugkraft bei 20% Schlupf auf einem wellenförmigen harten Boden

Schlupfgeschwindigkeit m/s	0,09	0,18	0,27	0,37
Zugkraft kgf	834	876	912	1.214

Die Zugkraft bei 20% Schlupf, welche die maximale Zugleistung auf hartem Boden ergibt, steigt von 834 auf 1.214 kgf, während die Schlupfgeschwindigkeit von 0,09 auf 0,37 m/s zunimmt, TAB. 6.

IV. Zusammenfassung

Da ein geeignetes Verfahren zur Messung der Fahrgeschwindigkeit gegenwärtig nicht zur Verfügung steht, ist es auch nicht möglich, den Schlupf des Triebrades beim Ackerschlepper genau zu messen. Aus diesem Grunde wurde eine Meßeinrichtung entwickelt, um den momentanen Schlupf auf wellenfreiem harten Boden einschließlich wellenfreier Betonstraße mit Hilfe eines Peiselrades bestimmen zu können.

Die Versuchsergebnisse sind folgende :

1. Das Peiselrad wird federgedämpft aufgehängt, wobei die Achsbelastung geändert werden kann. Die Fahrgeschwindigkeit kann mit dem Impulsgerät ($600 I/2\pi$), das an die Achse des Peiselrades gekuppelt ist, gemessen werden. Zur Berechnung des Triebrad-Schlupfes ist es notwendig, die Motordrehzahl über die Zapfwellendrehzahl mit Hilfe eines weiteren an die Zapfwelle gekuppelten Impulsgerätes ($60 I/2\pi$) zu messen. Die beiden Signale, die den Winkelgeschwindigkeiten von Zapfwelle und Peiselrad entsprechen, werden nach Umwandlung in Gleichströme einer Analogschaltung zur Berechnung des Radschlupfes zugeführt.

2. Das Peiselrad als Fahrgeschwindigkeitsmesser zeigte eine Meßgenauigkeiten in einem Bereich von 0,4 bis 3,0 m/s auf wellenfreier Betonstraße und wellenfreiem harten Boden lagen.

3. Die Grenzfrequenz des Tiefpaßfilters wurde aus den gemittelten Daten mit Hilfe der Zugkraft-Schlupfcurven bestimmt. Der geeignete Wert der Grenzfrequenz beträgt 0,1 bis 0,2 Hz.

4. Um die praktische Anwendung dieses Systems zu untersuchen, wurde eine Zugkraftprüfung auf wellenfreier Betonstraße und wellenförmigem harten Boden mit einem Traktor von 52 PS Motorleistung durchgeführt. Die Zugbelastung wird durch Bremsen des Belastungstraktors im Schlupfbereich von 0 bis 100% kontinuierlich erzeugt. Die schlupflosen Fahrgeschwindigkeiten wurden auf 0,45, 0,89, 1,35 und 1,86 m/s eingestellt.

5. Die maximale Zugkraft entwickelte sich auf wellenfrier Betonstraße, bevor der Triebbradschlupf 100% erreichte. Es wurde weiter gefunden, daß der bei der maximalen Zugkraft auftretende Schlupf von 77,5 auf 55,0% abnahm. Andererseits steigt mit zunehmender Schlupfgeschwindigkeit die maximale Zugkraft um 30% sowie die Zugkraft bei 15% Schlupf. Aber der Zusammenhang zwischen Schlupfgeschwindigkeit und maximaler Zugkraft bei 100% Schlupf zeigte eine ganze entgegengesetzte Tendenz.

6. Auf einem wellenförmigen Boden zeigte die maximale Zugkraft und die Zugkraft bei 20% Schlupf gleiche Tendenz, wie unter 5. beschrieben wurde. Eine bestimmte Beziehung zwischen Zugkraft und 100% Schlupf wurde in der Untersuchung nicht gefunden.

Anerkennung

Die übergesetzte Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als Gastwissenschaftler von 3.8. 1983 bis 15.6. 1984 am Lehrstuhl und Institut für Landmaschinen der Technische Universität München in BRD auf Anregung des Institutsdirektors o. Professor Dr. -Ing K. Th. Renius. Danken möchte ich auch Akad. Direktor Dr. -Ing. H. Schwanghart und Wiss. Mitarbeiter, Dipl. -Ing. H. v. Sybel für Korrektur bei der Aufsatz.

Schrifttum

1. BAILEY, A. C., E. C. BURT and R. L. SCHAFER: Digital calculation of rolling radius for wheels and track, ASAE Winter Meeting Paper, No. 73-1506, 1973
2. Gleich an der 3.
3. DOI, J. and Y. YASUDA: Slip and oscillation of a tractor, Nogyokikaigaku Kaishi, 27-2, 74-80, 1965
4. FUJIMOTO, Y. and T. NEMOTO: A study on the development of applicable tire for construction machinery on soft ground, Kensetsu no Kikaika, 7, 54-59, 1973
5. MATSUO, M.: The use conditions of a wheel and the experimental test methods of its performances, Nogyokikaigaku Kaishi, 30-3, 127-136, 1968

6. MORISHIMA, H.: An easy method to measure tractor-wheel slipage, *Nogyokikaigaku Kaishi*, 24-4, 223-226, 1962
7. OKADA, Y.: Studies on the recording slip meter for tractor, *Nogyokikaigaku Kaishi*, 28-2, 111-113, 1966
8. PAULSON, G. E. and G. C. ZOERB: Indication of tractor-wheel slip, ASAE Winter Meeting Paper, No. 71-584, 1971
9. PRATHER, O. and R. L. SCHAFER: A Travel reduction analog computer with automatic initial balance, *Trans. of the ASAE*, 12-3, 336-337, 341, 1969
10. SCHAFER, R. L., A. C. BAILEY and O. PRATHER: Techniques for analog computer analysis of continuous data, *Proc. of the 3rd Section of C. I. G. R. at Wageningen, The Netherlands*, 207-291, 1970
11. STEINBRUGGE, G. W. and J. J. BRUWER: Measuring variable rolling radii of tractor wheels, *Trans. of the ASAE*, 1-1, 89-90, 1958
12. STEINKAMPF, H.: Zur Methodik der Rollradien- und Radschlupfmessung, *Grundl. d. Landtechn.*, 21-2, S. 40-44, 1971
13. YOSHIDA, I.: Experimental studies on optimum travel reduction and maximum work of wheel type tractor on sandy soil, *Nogyokikaigaku Kaishi*, 37-2, 164-170, 1975
14. ZOERB, G. C. and J. POPOFF: Direct indication of tractor-wheel slip, *Canadian Agr. Eng.*, 9, 91-92, 108, 1967