

Einflüsse auf das Fahrvermögen selbstfahrender Land- und Transportmaschinen und Methoden ihrer Ermittlung

Dozent Dr.-Ing. K. Queitsch, KDT/Dipl.-Ing. H. Schulz, KDT

Verwendete Formelzeichen	
c_R	kN/mm Federkonstante für Luftreifen
f_A	mm Hebelarm des Rollwiderstands
F_A	kN Antriebskraft am Rad
F_F	kN Verlustwiderstand am Fahrwerk
F_Q	kN Vertikalkraft am Rad
F_R	kN Rollwiderstand
F_S	kN Seitenkraft
F_U	kN Umfangskraft, Summe am Fahrwerk
F_W	kN Gesamtwiderstand am Fahrwerk
F_Z	kN Zugkraft
F_A', F_R'	kN Kräfte an schräglaufenden Rädern
F_S'	kN Kräfte an schräglaufenden Rädern
i_K	— Übersetzungsverhältnis der Kraftübertragung
M_d	Nm Motordrehmoment
M_i	kNm Antriebsdrehmoment am Rad
M_{s1}, M_{s2}	Nm Biegemomente an den Meßstellen
p_i	MPa Reifeninnendruck
r_0	m Reifenradius (unbelasteter Reifen)
r_w	m wirksamer Reifenradius zur Aufstandsfläche

S	—	Schlupf
t	s	Zeit
v_f	m/s	Fahrgeschwindigkeit
y_1, y_2	mm	Hebelarm
α	o	Schräglaufwinkel
Δt	s	Zeitintervall
Δy	mm	Längendifferenz
$\Delta \varphi$	rad	Winkeldifferenz
η_F	—	Fahrwerkwirkungsgrad
η_K	—	Getriebewirkungsgrad
φ	rad	Drehwinkel
κ	—	Zugkraftbeiwert
μ_K	—	Kraftschlußbeiwert
ρ	—	Rollwiderstandsbeiwert
ω	rad/s	Winkelgeschwindigkeit

1. Problemstellung

Industriemäßige Produktionsmethoden in der sozialistischen Landwirtschaft weiter zu vervollkommen, erfordert, Mechanisierung und Automatisierung der Produktionsprozesse systematisch fortzusetzen. In der Pflanzenproduktion ist der Einsatz selbstfahrender Land- und Transportmaschinen — der Begriff wird auch im Sinne von Traktor-Landmaschinen-Aggregaten angewendet — dominierend. Mit

zunehmender Größe und Leistungsfähigkeit derartiger mobiler Maschinen ergeben sich Probleme hinsichtlich der Einsatzsicherheit und des Erreichens einer größeren Witterungsunabhängigkeit. In der Landwirtschaft ist die Realisierung folgender Forderungen mit entscheidend für hohe Ernteerträge und verlustarme Bergung der Feldfrüchte bei niedrigen Produktionskosten:

- Erzielen eines kontinuierlichen Produktionsablaufs
- Einhalten agrotechnisch günstiger Termine auch bei ungünstigen Bodenbedingungen
- Vermeiden von Strukturschäden im Ackerboden durch Fahrwerke
- Erreichen eines minimalen Energieaufwands je Erzeugniseinheit.

In diesem Zusammenhang bilden die Wechselwirkungen zwischen Fahrwerk (hier auf Radfahrwerke bezogen) und nachgiebigem Ackerboden als Fahrbahn der selbstfahrenden Land- und Transportmaschinen einen begründeten Untersuchungsgegenstand.

2. Fahrvermögen und Befahrbarkeit

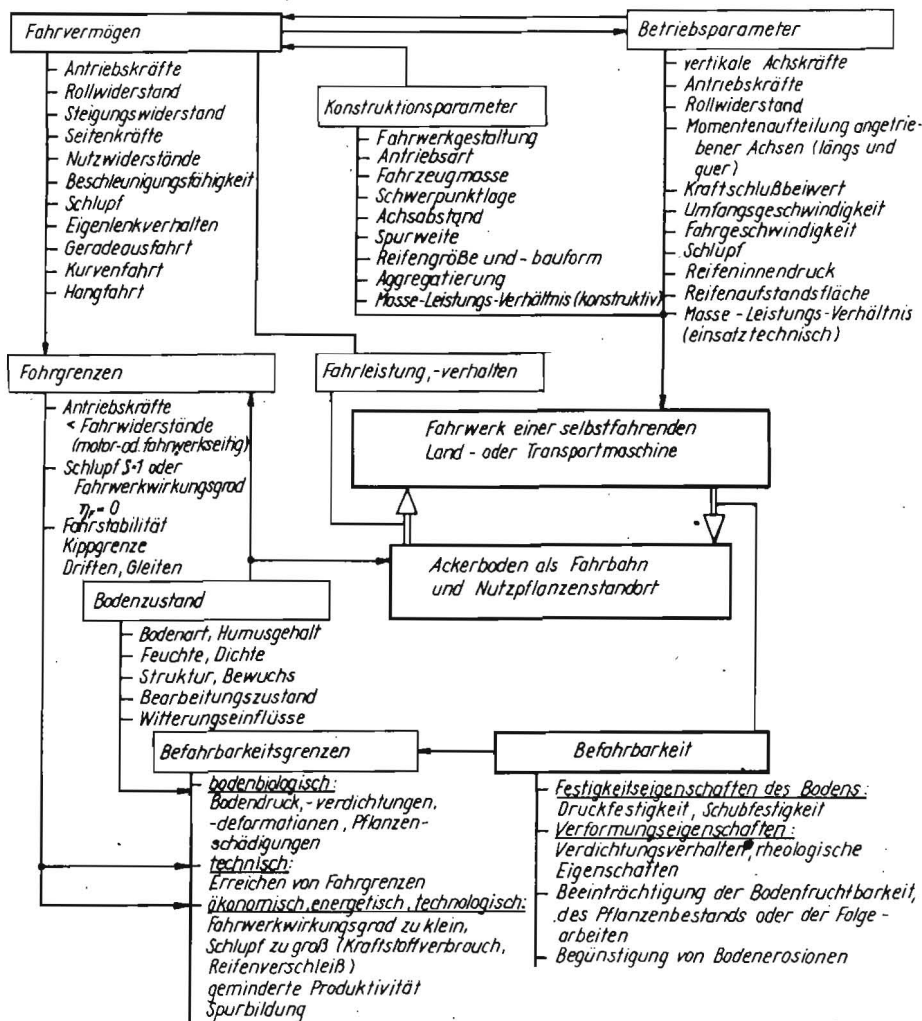
Die Einsatzsicherheit der selbstfahrenden Land- und Transportmaschinen wird durch das Fahrvermögen beurteilt, während von seiten des Bodens als Pflanzenstandort in Relation zu einem Fahrzeug die Befahrbarkeit einzuschätzen ist [1, 2]. Als Arbeitsgrundlage werden dazu folgende Definitionen vorgeschlagen:

Das Fahrvermögen von selbstfahrenden Land- und Transportmaschinen ist das Zustandekommen einer beabsichtigten Fahrbewegung. Die mögliche Fahrbewegung schließt ein, daß neben Roll-, Steigungs- und Beschleunigungswiderständen die an Arbeitsorganen entstehenden Nutz- und Verlustwiderstände (fahrzeugbezogen betrachtet, als aufzubringende Kräftesumme an der Landmaschine) aufgebracht werden.

Die Befahrbarkeit eines nachgiebigen Ackerbodens ist seine Eigenschaft, der Belastung des Fahrwerks einer selbstfahrenden Land- und Transportmaschine standzuhalten unter den Bedingungen, daß deren Fahrvermögen gewährleistet ist, eine unzulässige Veränderung des Bodenzustands oder der Nutzpflanzen vermieden wird.

Beide Beziehungen sind verschiedene Seiten der Wirkpaarung Fahrwerk-Boden (Bild 1). Das Fahrwerk wird in erster Linie durch seine Konstruktionsparameter und unter „normalen“ Einsatzbedingungen von vorausbestimmten Betriebsparametern nach Fahrleistung und Fahrverhalten bestimmt und bewertet. Damit im Zusammenhang steht das Fahrvermögen, wenn die Bedingungen sich soweit zum Ungünstigen verändern, daß Fahrgrenzen, also Zustände der Nichtgewährleistung des Fahrvermögens, erreicht werden. Diese Situation wird primär durch den Boden als Fahrbahn und seinen Zustand beeinflusst. Fahrgrenzen können sich einmal als „Havariefall“ ergeben, indem die übertragbaren Antriebskräfte die auftretenden Fahrwiderstände im Betrag unterschreiten (Fahrleistung gleich Null, „Steckenbleiben“) oder bedenkliche Situationen für die Fahr-

Bild 1. Systematische Übersicht der Einflußgrößen auf das Fahrvermögen einer selbstfahrenden Land- und Transportmaschine und die Befahrbarkeit von nachgiebigem Ackerboden.



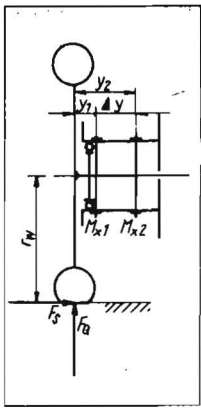


Bild 5. Achskräfte und Meßgrößen am Antriebsrad

Bei verschiedenen Arbeitsprozessen der Pflanzenproduktion sind dauernd Seitenkräfte aufzunehmen [8]. Neben dem dadurch bedingten Fahrzeugschräglauf wird auch das Fahrvermögen nachteilig beeinflusst. Seitenkräfte entstehen außerdem durch

- unterschiedliche Bodenzustände an beiden Fahrwerkseiten
- unterschiedliche Radkräfte links und rechts (dynamische Kräfte)
- verschiedene Reifeninnendrucke und unsymmetrische Masseverteilung
- Kurvenfahrt
- Hangabtriebskräfte, z. B. bei Schichtlinienfahrt
- geometrische Verhältnisse am Fahrwerk.

Wird das Fahrvermögen nach einer freien Antriebs- oder Zugkraft bewertet, so ist einleuchtend, daß senkrecht zur Fahrtrichtung wirkende Seitenkräfte die mögliche Antriebskraft in Bewegungsrichtung der Räder verringern (Bild 3a). Bei nicht angetriebenen Rädern erhöhen auftretende Seitenkräfte den Rollwiderstand bei zunehmendem Reifenschräglauf (Bild 3b). Die Darstellung der Zusammenhänge zwischen Seitenführungskraft, Schräglaufwinkel, Reifenrückstellmoment, Radlast und Reifeninnendruck ist in Form von Schräglauflinien möglich [7].

Die auf die Fahrtrichtung bezogenen Kräfte am antreibenden und an einem nicht angetriebenen schräglaufenden Rad lassen sich nach [9, 10] aus den auf die Radebene bezogenen Kräften für einen Schräglaufwinkel α berechnen (s. Bild 3):

— antreibendes Rad

$$F_A = F_A' \cos \alpha - F_S' \sin \alpha \quad (7)$$

$$F_S = F_A' \sin \alpha + F_S' \cos \alpha \quad (8)$$

— nicht angetriebenes Rad

$$F_R = F_S' \sin \alpha + F_R' \cos \alpha \quad (9)$$

$$F_S = F_S' \cos \alpha - F_R' \sin \alpha. \quad (10)$$

Zu erkennen ist, daß beim Wirken von Seitenkräften das Fahrvermögen von Aggregaten durch abnehmende Antriebskräfte und Vergrößern der Rollwiderstände (Bild 4) verringert wird [11]. Weitere Betrachtungen zu Seitenkräften sind in [12] ausgeführt.

4. Methoden zum Ermitteln von Bewertungsgrößen

Methoden zum Erfassen und Charakterisieren des Bodenzustands sind hinreichend bekannt und zeitaufwendig in der Anwendung. Für eine praktikable bodenseitige Bewertung des Fahrvermögens und der Befahrbarkeit in der landwirtschaftlichen Praxis sind als Entscheidungshilfe für den Maschineneinsatz und die technologische Planung einfach zu handhabende Methoden zu entwickeln oder bekannte Methoden [2] hinsichtlich ihrer Brauchbarkeit zu untersuchen.

Fahrwerkseitig sind Kraft- und Bewegungsgrößen sowie geometrische Größen von wesentlicher Bedeutung zur Vorausbestimmung und Bewertung des Fahrvermögens [13].

Die vertikale Radkraft F_Q ist eine unter der Wirkung von Bodenebenenheiten, Gewichtskraft und dynamischen Widerstandskräften zeitlich veränderliche Größe. Sie ist am Achstrichter einer Antriebsachse eines Fahrzeugs als Biegemoment mit Hilfe einer Dehnmessstreifen-Halbbrücke in der Vertikalebene meßbar (Bild 5). Um den Einfluß von Seitenkräften zu erfassen, wird eine zweite Halbbrücke in einem Abstand Δy angeordnet. Aus den Biegemomenten M_{x1} und M_{x2} sind die Kräfte F_Q und F_S bestimmbar:

$$F_Q = \frac{M_{x2} - M_{x1}}{\Delta y} \quad (11)$$

$$F_S = \frac{M_{x2} y_1 - M_{x1} y_2}{r_w \Delta y} \quad (12)$$

Für den Fall, daß die Seitenkraft F_S nicht zu messen ist, kann F_Q direkt aus einer Differenzschaltung nach Gl. (11) gemessen werden.

Um die Größen nach den Gln. (3) und (4) bestimmen zu können, wird die Antriebskraft F_A nach gleichem Prinzip wie F_Q mit einer Dehnmessstreifen-Differenz-Vollbrücke in horizontaler Anordnung gemessen. An der Radnabe oder an der Antriebswelle ist das Antriebsdrehmoment M_t mit Hilfe einer Dehnmessstreifen-Vollbrücke meßbar.

Die Bestimmung des zeitlich sich ändernden wirksamen Reifenradius r_w kann aus der Vertikalkraft erfolgen, wenn der Reifeneinfederung eine lineäre Federkennlinie zugrunde gelegt wird:

$$r_w = r_0 - c_R F_Q. \quad (13)$$

Der Rollwiderstandsbeiwert ρ beträgt

$$\rho = \frac{M_t}{r_0 F_Q - c_R F_Q^2} - \frac{F_A}{F_Q} \quad (14)$$

Die Federsteife des Reifens muß für den interessierenden Bereich durch Kalibrierversuche ermittelt werden.

Der Schlupf kann nach

$$S = 1 - \frac{v_F}{\omega r_w} = 1 - \frac{v_F}{\omega (r_0 - c_R F_Q)} \quad (15)$$

ermittelt werden, wenn die Fahrgeschwindigkeit v_F mit Hilfe des Peißerrades, für die entsprechende Bodenart kalibriert, und die Winkelgeschwindigkeit ω des Antriebsrades mit einem Umlaufpotentiometer für den Drehwinkel φ über der Zeit t nach

$$\omega = \frac{\Delta \varphi}{\Delta t} \quad (16)$$

für kleine Intervalle bestimmt wird.

Mit den gewonnenen Meßgrößen können Fahrwerkwirkungsgrad und Fahrzustandsgrößen, die über weitere Betriebsparameter Auskunft geben, berechnet werden.

Zum Ermitteln geometrischer Größen, wie Radspurtiefe und zugeordneter Bewegungsbahn festgelegter Punkte am Untersuchungsobjekt, sind fotooptische bzw. kinematografische Methoden [14] anwendbar.

5. Zusammenfassung

Zur Sicherung kontinuierlicher Produktionsabläufe in der industriemäßig produzierenden Landwirtschaft wird es beim Einsatz leistungsfähiger mobiler Maschinen zunehmend zum Erfordernis, unter ungünstigen Bodenverhältnissen das Fahrvermögen selbstfahrender Land- und Transportmaschinen zu gewährlei-

sten. Als konträre Forderung zum Fahrvermögen sind Maßnahmen zur Erhaltung und Steigerung der Bodenfruchtbarkeit zu ergreifen, indem Schädigungen der Bodenstruktur, der Pflanzen und der Bodenmikroben durch Fahrwerke mobiler Maschinen durch konstruktive sowie einsatztechnische Maßnahmen vermieden werden. Es sind Arbeitsdefinitionen zum Fahrvermögen und zur Befahrbarkeit formuliert und die Einflußgrößen dargestellt. Die zur Bewertung des Fahrvermögens und der Befahrbarkeit gezeigten Möglichkeiten erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Es gilt, ein geschlossenes System zum sicheren Einschätzen des Fahrvermögens und der Befahrbarkeit zu schaffen. Einige methodische Hilfsmittel zum Ermitteln von Bewertungsgrößen wurden dazu angegeben.

Literatur

- [1] Soucek, R.: Zu einigen Problemen von Theorie und Praxis in der Bodenbearbeitung. Vortrag auf der Mechanisierungstagung der Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg vom 6. bis 8. Nov. 1979.
- [2] Winter, R.: Der Ackerboden als Fahrbahn für Maschinen der Pflanzenproduktion — Probleme und Entwicklungstendenzen. Vortrag auf der Mechanisierungstagung der Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg vom 6. bis 8. Nov. 1979.
- [3] Rothe, J.: Fahrmechanik landwirtschaftlicher Fahrzeuge. In: Landwirtschaftliche Fahrzeuge und Krane. 3. Aufl. Berlin: VEB Dt. Landwirtschaftsverlag 1979.
- [4] Schulz, H.; Schettler, H.: Zum Masse-Leistungsverhältnis von selbstfahrenden Transport- und Landmaschinen. agrartechnik 29 (1979) H. 9, S. 403—406.
- [5] Franke, R.: Berichte über Landtechnik, Bd. 81. München: H.-Neureuter-Verlag 1964.
- [6] Schulz, H.: Zum Schlupf beim Fahrzeugeinsatz. agrartechnik 28 (1978) H. 4, S. 184.
- [7] Zeranski, P.: Übertragung tangentialer Umfangs- und Seitenkräfte am Luftreifen. Kraftfahrzeugtechnik (1972) H. 11, S. 334—337.
- [8] Kollar, L.: Beitrag zur Automatisierung der Lenkung zweigliedriger allradgetriebener Aggregate auf nachgiebigem Boden. TH Magdeburg, Dissertation 1976.
- [9] Schwanghart, H.: Seitenkräfte an gelenkten Luftreifen in lockerem Boden. Grundlagen der Landtechnik (1967) H. 3, S. 105—114.
- [10] Steinkampf, H.: Ermittlung von Reifenkennlinien und Gerätezugleistungen für Ackerschlepper. Landbauforschung Völknerode, Sonderheft 27 (1975).
- [11] Maack, H.-H.: Theoretische und experimentelle Untersuchungen über Lenkstabilität von Traktoren unter besonderer Berücksichtigung des Reifenschräglaufs. VEB Traktorenwerk Schönebeck, Forschungsabschlußbericht 1970 (unveröffentlicht).
- [12] Schulz, H.: Beeinflussung des Fahrvermögens von landwirtschaftlichen Aggregaten durch Seitenkräfte. Vortrag auf der Mechanisierungstagung der Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg vom 6. bis 8. Nov. 1979.
- [13] Queitsch, K.: Zur Ermittlung von Meßgrößen für die Beurteilung des Fahrvermögens von Antriebsfahrzeugen. Vortrag auf der Mechanisierungstagung der Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg vom 6. bis 8. Nov. 1979.
- [14] Queitsch, K.: Beitrag zur Methodik kinematografischer Untersuchungen von Bewegungsvorgängen in der Landtechnik. Festschrift aus Anlaß des 75. Geburtstages von Heinrich Heyde. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg 1978, S. 67—87. A 2482