

sich ableiten, daß eine weitere Verringerung notwendig und möglich ist. Vorrangig wird dies durch langfristige Maßnahmen technologischer und betriebswirtschaftlicher Art realisiert werden müssen. Eine grundlegende Voraussetzung hierfür ist, in allen Kooperationen die Planung und Abrechnung der Transporte konsequenter und sorgfältiger einzubeziehen. Erste Schritte dazu sind die Erarbeitung von Entfernungsmatrizen, das Aufstellen von Programmen der Transportrationalisierung und die Durchsetzung der Transportoptimierung als Planungs- und Leitungshilfsmittel bei Schwerpunktaufgaben des Transports.

Die Größenordnungen möglicher Reduzierungen der Transportentfernungen werden mit der immer tieferen Durchdringung der TUL-Prozesse abnehmen, da der entstehende Transportbedarf sich dem gesellschaftlich gerechtfertigten nähern wird. Für

die absehbare Produktions- und Territorialstruktur werden sich die mittleren Transportentfernungen der Landwirtschaft in den nächsten Jahren voraussichtlich um 6,5 km einstellen (5,5 bis 6,0 km in Betrieben der Pflanzenproduktion).

5. Zusammenfassung

Aktuelle Ergebnisse aus einer Analyse zu mittleren Transportentfernungen in der Landwirtschaft der DDR wurden vorgestellt. Die Differenzierungen und Entwicklungen bei ausgewählten Gutarten sowie Anteile und Entfernungsbereiche im Transport mit LKW und Traktoren sind diskutiert worden. Die mittleren Transportentfernungen betragen gegenwärtig 6,5 km in Betrieben der Pflanzenproduktion und 8,3 km in Betrieben der Tierproduktion. Somit liegt die mittlere Entfernung in der Primärproduktion bei 7,3 km (1984). Damit wurde seit 1980/81 eine

Entfernungsreduzierung erreicht. Notwendig und möglich sind weitere Verringerungen, vorrangig durch langfristige Maßnahmen der sozialistischen Betriebswirtschaft. In den nächsten Jahren ist nicht zu erwarten, daß sich die mittlere Transportentfernung unter 6 km verringert.

Literatur

- [1] Huhn, W.; Hilbert, H.: Analyse der Transportentfernungen in der Landwirtschaft der DDR. Institut für Energie- und Transportforschung Meißen/Rostock, Arbeitsmaterial 1981 und 1986 (unveröffentlicht).
- [2] Huhn, W.: Transport- und Umschlagaufwand in der Landwirtschaft und Schlußfolgerungen zu dessen Senkung. agrartechnik, Berlin 36 (1986) 2, S.53–55.

A 4795

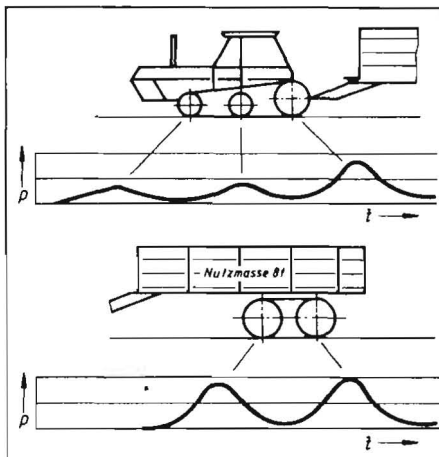
Abschätzung des mittleren Bodendrucks unter Gleisbandfahrwerken

Dr.-Ing. A. Rüdiger, KDT/Dipl.-Ing. U. Köhler, KDT
Institut für Energie- und Transportforschung Meißen/Rostock der AdL der DDR

1. Problemstellung

Zur Beurteilung des Bodendrucks unter Radfahrwerken landwirtschaftlicher Fahrzeuge wird, da gegenwärtig bessere Kennwerte fehlen, der mittlere spezifische Auflagedruck auf fester Fahrbahn herangezogen. Dabei wird die Radlast durch die experimentell ermittelte Aufstandfläche geteilt. Die Ungleichmäßigkeiten der Druckverteilung in der Reifenaufstandfläche und die Veränderungen beim Befahren nachgiebiger Fahrbahnen werden nicht berücksichtigt. Analog wurde bisher auch bei der Berechnung des Auflagedrucks unter Gleisbandfahrwerken vorgegangen. Dies führt bei den gegebenen geometrischen Bedingungen an den Fahrwerken der Gleisbandanhänger jedoch zu erheblichen Fehleinschätzungen (Moorstandorte ausgenommen). Durch Messungen des mo-

Bild 1. Verlauf der Spannung im Boden beim Überfahren mit den Gleisbandfahrwerken von Traktor und Anhänger



mentanen Bodendrucks mit Hilfe von Druckgebern, die in verschiedene Tiefen eingebracht worden waren, konnte nachgewiesen werden, daß beim Überfahren der Meßstelle der Druck im Boden im Bandbereich zwischen den Achsen auf Null abfällt (Bild 1) [1].

Zur Bestätigung der Spannungsmessungen wurde ein Abdruck durch Absetzen des Fahrwerks in lockeren Sand hergestellt und die Durchdringungswiderstände längs des Gleisbands gemessen (Bild 2). Dabei zeigt sich, daß der Durchdringungswiderstand unter dem Band in der Mitte zwischen den Achsen nur etwa 4% des Maximalwerts unter den Stützrädern beträgt.

Sowohl für die Entwicklung neuer als auch für die Bewertung vorhandener Gleisbandfahrwerke ist es notwendig, zu analysieren, wie hoch der Traganteil der Bandbereiche zwischen den Rädern ist und durch welche Parameter er beeinflusst wird. Durch theoretische Betrachtungen, gestützt auf experimentell ermittelte Ausgangsdaten, wurden Grundlagen zur Abschätzung von Erwartungswerten für den Traganteil der Bandbereiche zwischen den Stützrädern erarbeitet. Darauf aufbauend lassen sich die mittleren spezifischen Auflagedrücke unterschiedlicher Gleisbandfahrwerke abschätzen.

Die Ableitung erfolgt am Beispiel des Gleisbandfahrwerks am sattelastigen Anhänger T088 (Tandemfahrwerk, Band ohne Spannvorrichtung). Sie ist jedoch verallgemeinerungsfähig.

2. Experimentelle Voruntersuchungen

Da kurzfristig keine Möglichkeit bestand, die Verteilung des Auflagedrucks zu messen, wurde experimentell die Abhängigkeit der Einfederung des Bandes in Abhängigkeit von einer mittigen Einzellast F_v ermittelt (Bild 3). Dabei zeigte sich, daß unter diesen extremen

Lastbedingungen zur Abstützung von nur 5% der Pendellast (≈ 3 kN) bereits eine Einfederung $y = 36$ mm erforderlich war. Diese Untersuchungen wurden bei zwei verschiedenen Innendrücken p , der Reifen des Gleisbandfahrwerks wiederholt. Die Ergebnisse zeigen, daß dieser Einfluß vernachlässigbar ist. Ausgehend von der ermittelten Funktion $y = f(F_v)$ läßt sich die Spannkraft im Band berechnen (Bild 3). Die Grundlage bildet dazu die allgemeine Gleichung für ein straff gespanntes Seil mit vertikaler Einzellast.

Aus der Darstellung wird eine lineare Abhängigkeit der Bandspannung von der Einfederung sichtbar, die auf die Änderung der Umfangslänge beim Einfedern zurückzuführen ist. Durch die Extrapolation der Geraden ergibt sich eine Bandspannung in der Ausgangslage ($y = 0$) von $H \approx 9$ kN. Weiterhin muß festgestellt werden, daß sich bei größerer Einfederung, die beim Überfahren von Hindernissen durchaus auftreten kann, die Bandspannung vervielfacht.

3. Untersuchung der Traganteile von Gleisbändern

3.1. Lösungsweg

Die quantitative Analyse der Traganteile der Gleisbänder wurde theoretisch, gestützt auf ausgewählte, experimentell ermittelte Primärdaten, durchgeführt.

Zielstellung ist die Ermittlung quantitativer Abhängigkeiten des Traganteils von den Haupteinflußgrößen, die für die weitere Auswertung in Kennfeldern darzustellen sind. Bei den Untersuchungen wurde davon ausgegangen, daß das Gleisband zwischen den Achsen im senkrechten Schnitt als biegeweiches Seil anzusehen ist (Bild 4). Aus der Differentialgleichung für ein straff gespanntes Seil

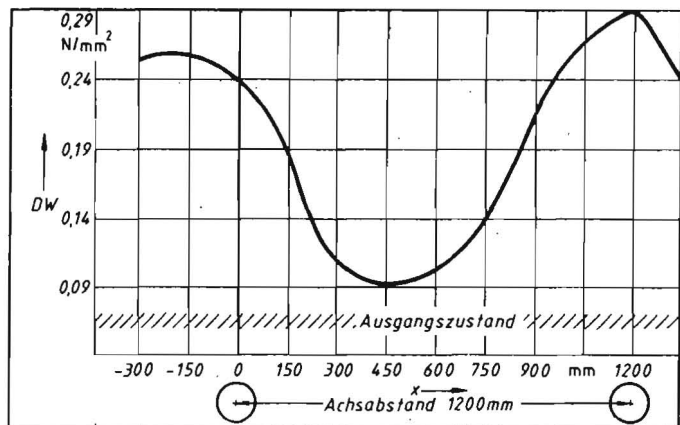
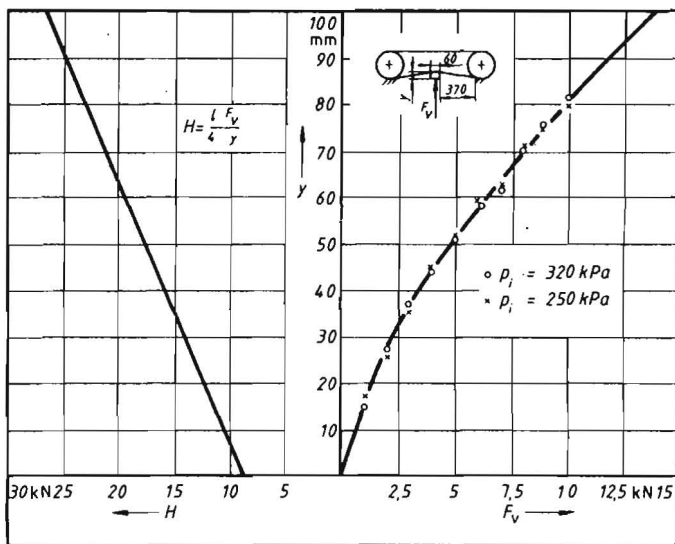


Bild 2. Veränderung des Durchdringungswiderstands DW von Sand nach einer einmaligen Belastung mit dem Gleisbandfahrwerk (Absetzen)

Bild 3. Nomogramm zur Ermittlung der Bandspannung aus der experimentell ermittelten Funktion $y = f(F_V)$; Reifen 8.25 R20



$$\frac{d^2y}{dx^2} = q(x) \frac{1}{H} \quad (1)$$

leitet sich ab, daß der Durchhang y nur von der Größe und Lage der Last $q(x)$ und von der Spannkraft H abhängig ist (Bild 5). Andererseits kann ein gespanntes Seil nur dann eine Vertikalkraft in y -Richtung abstützen, wenn eine Auslenkung in diese Richtung vorhanden ist. Für das Gleisbandfahrwerk folgt daraus, daß der Traganteil auf fester Fahrbahn gleich Null ist und der Anteil, der auf nachgiebiger Fahrbahn abgestützt wird, von der Einfederung y und von der Bandspannkraft H abhängt (Bild 4).

Die Einfederung y setzt sich zusammen aus
 - Rückfederung des Bodens nach dem Überrollen durch das erste Stützrad
 - Spurtiefendifferenz zwischen erstem und zweitem Stützrad.

Da die tatsächliche Größe der Einfederung in starkem Maß von den Bodenbedingungen beeinflusst wird und gegenwärtig keine begründeten Vorgaben gemacht werden können, empfiehlt es sich, die Einfederung als unabhängige Variable in die Untersuchungen einzubeziehen.

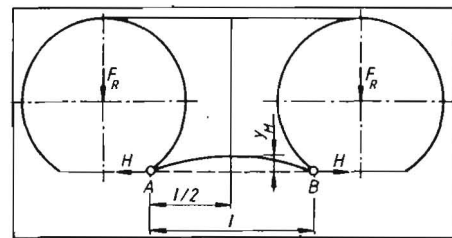
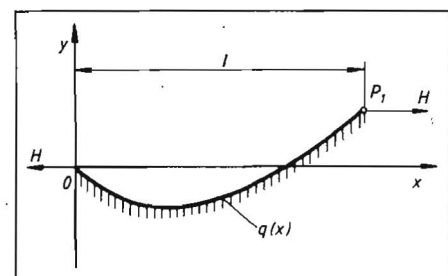


Bild 4. Geometrische Verhältnisse am Gleisbandfahrwerk

Bild 5. Seilkurve



In gleicher Weise ist die Größe der Spannkraft im Band von den Toleranzen des Rad-durchmessers und der Bandlänge abhängig. Die Spannkraft wird ebenfalls als variabler Parameter betrachtet.

Für die Berechnung muß weiterhin ein Modell für die Abstützung der Last zwischen Band und Boden gefunden werden. Da der Boden und das Band elastische Elemente sind, wird sich ein Kräftegleichgewicht in einem Federsystem einstellen. Es wird angenommen, daß die Kraft, die an einem partiellen Bandlelement dx abgestützt wird, mit zunehmender Einfederung abnimmt. Als Modell wird somit eine nichtlineare Streckenlast $q(x)$ angenommen. Da die Seillinie bei konstanter Streckenlast eine Parabel ist, wird in erster Näherung der Ansatz

$$q(x) = f(x^2) = q_M + ax^2 \quad (2)$$

gewählt und mit einem linearen Ansatz

$$q(x) = f(x) = q_M + bx \quad (3)$$

verglichen (Bild 6). Die Lösung der Differentialgleichung wird nur am Beispiel der parabolischen Streckenlast erläutert. Zur eindeutigen Bestimmung der Form der Streck-

kenlast ist der Koeffizient a vorzugeben. Dieser läßt sich aus dem Verhältnis

$$c = q_M/q_R \quad (4)$$

berechnen (Bild 6). Bei $c = 0$ wird somit die Streckenlast in der Mitte des Bandes ebenfalls $q_M = 0$, bei $c = 1$ ist die Streckenlast über die Bandlänge gleichgroß, d. h. $q_M = q_R$. Die Gesamtkraft F_B , die vom Band im Bereich zwischen der Radaufstandfläche und der Bandmitte abgestützt wird, ergibt sich aus

$$F_B = \int_{x=0}^{l/2} q(x) dx \quad (5)$$

3.2. Ergebnisse

Bei der Ableitung der Gleichung für die maximale Durchbiegung y_M des Bandes wird von den im Bild 6 dargestellten Modellen ausgegangen. Als erstes ist durch die Lösung des Integrals

$$F_B = \int_{x=0}^{l/2} (q_M + ax^2) dx \quad (6)$$

und die Umstellung der Gleichung die Größe der Streckenlast zu ermitteln, die zur Abstützung einer bestimmten Kraft F_B erforderlich ist:

$$q_R = \frac{6 F_B}{l(2c + 1)} \quad (7)$$

Nunmehr kann die Differentialgleichung $\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{1}{H} (q_M + ax^2)$

mit den Randbedingungen

$$\frac{dy}{dx}(x=0) = 0 \quad (9)$$

$$y(x=l/2) = 0 \quad (10)$$

gelöst werden. Für die maximale Durchbiegung y_{M_0} bei $y_{M_0} = y(x=0)$ gilt:

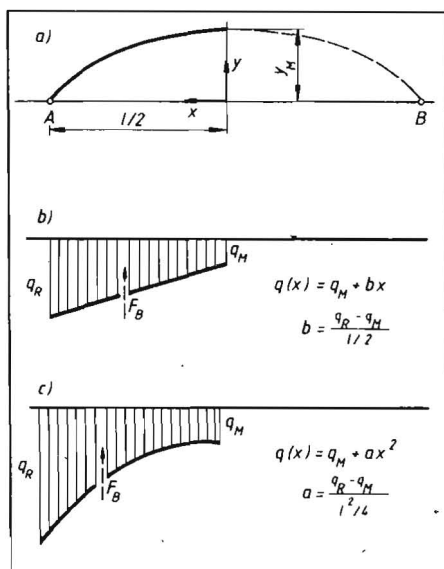
$$y_{M_0} = \frac{F_B l (5c + 1)}{8 H (2c + 1)} \quad (11)$$

Analog zu dieser Ableitung erhält man bei einer linearen Streckenlast $q(x) = q_M + ax$ für die maximale Durchbiegung

$$y_{M_1} = \frac{F_B l (1 + 2c)}{6 H (1 + c)} \quad (12)$$

Bild 6. Modellbildung für theoretische Untersuchungen am Gleisbandfahrwerk;

- a) Seillinie am Band
- b) lineare Streckenlast
- c) parabolische Streckenlast



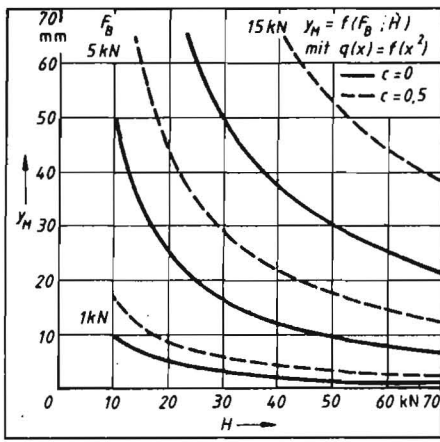


Bild 7. Abhängigkeit der Einfederung y_M von der Spannkraft H bei verschiedenen Stützlasten F_B (quadratische Streckenlast; $l = 800 \text{ mm}$)

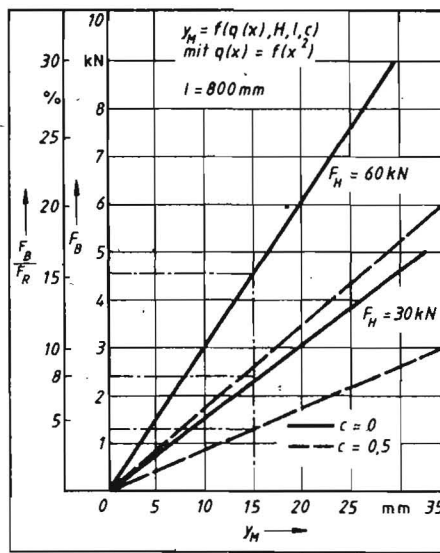


Bild 9. Abhängigkeit der möglichen Stützlast F_B von der Einfederung y_M für ausgewählte horizontale Radkräfte F_H und einer Radlast $F_R = 30 \text{ kN}$ (parabolische Streckenlast; $l = 800 \text{ mm}$)

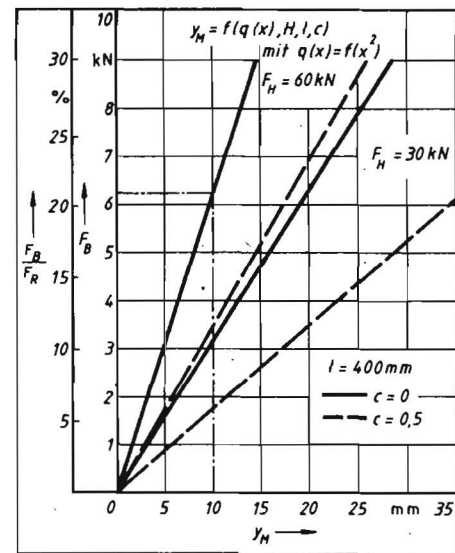


Bild 10. Abhängigkeit der möglichen Stützlast F_B von der Einfederung y_M bei ausgewählten horizontalen Radkräften F_H und einer Radlast $F_R = 30 \text{ kN}$ (parabolische Streckenlast; $l = 400 \text{ mm}$)

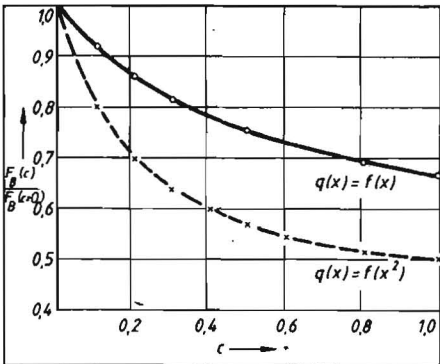


Bild 8. Veränderung der möglichen Stützlast, bezogen auf den Maximalwert F_B ($c = 0$) in Abhängigkeit vom Parameter $c = q_M/q_R$

Nach der Umstellung lauten die Gleichungen für die parabelförmige Streckenlast $y(x) = f(x^2)$

$$F_B = \frac{8 y_M H (2c + 1)}{l (5c + 1)} \quad (13)$$

und für die lineare Streckenlast $q(x) = f(x)$

$$F_B = \frac{6 y_M H (1 + c)}{l (1 + 2c)} \quad (14)$$

Danach ist die Größe der vom Band abstützbaren Kraft F_B der Einfederung und der Bandspannung direkt sowie der freien Stützlänge l indirekt proportional. Quantitative Aussagen lassen sich aus den daraus gebildeten Kennfeldern ableiten.

Aus dem Kennfeld $y_M = f(H; F_B)$ (Bild 7) wird deutlich sichtbar, daß die erforderliche Einfederung zur Abstützung einer bestimmten Kraft F_B mit abnehmender Bandspannung markant ansteigt. Für die weitere Auswertung wurde, gestützt auf die experimentellen Voruntersuchungen, angenommen, daß die horizontale Kraft an der Radlagerung ($F_H = 2 H$) $F_H = 30 \text{ kN}$ bzw. $F_H = 60 \text{ kN}$ (Fahrwerke mit selbsttätiger Spanneinrichtung) beträgt. Diese Kräfte entsprechen rd. 100 bzw. 200 % von der vertikalen Radlast der gegenwärtigen Anhängerfahrwerke. Wesentlich höhere Bandspannkraft werden aus konstruktiver und energetischer Sicht (Gewicht und Reibung) für wenig sinnvoll erachtet.

Eine weitere Verringerung des Traganteils ist mit der Vergrößerung des Parameters c , d. h.

einer gleichmäßigeren Verteilung der Last unter dem Band, verbunden (Bild 8). Für das gegenwärtige Anhängerfahrwerk ($l = 800 \text{ mm}$, Radlast $F_R = 30 \text{ kN}$) ergibt sich aus Bild 9, daß der Traganteil des Bandes bei einer angenommenen Einfederung $y_M = 15 \text{ mm}$ 8 % [$q(x) = f(x^2)$; $F_H = 30 \text{ kN}$; $c = 1$] nicht übersteigen wird. Bei $c = 0,5$ sinkt der Traganteil auf rd. 4 %.

Für geänderte Fahrwerke, die eine höhere Bandvorspannung ermöglichen ($F_H = 60 \text{ kN}$), beträgt der maximale Traganteil bei $y_M = 15 \text{ mm}$ rd. 15 %, der auf rd. 9 % bei $c = 0,5$ absinkt. Deutlich günstigere Verhältnisse treten ein, wenn die freie Biegelänge des Bandes, z. B. durch die Verringerung der Achsabstände, verkleinert wird. Gleichzeitig ist bei geringeren freien Biegelängen und größeren Traganteilen mit kleineren Einfederungen y_M zu rechnen. Für einen Abstand $l = 400 \text{ mm}$, der gegenwärtig als unterer Grenzwert anzusehen ist, und eine Einfederung $y_M = 10 \text{ mm}$ ergibt sich ein Traganteil von maximal 21 % (Bild 10).

4. Zusammenfassung

Für das Befahren von Mineralboden kann festgestellt werden, daß

- sich die Trageigenschaften des Gleisbandes unter bestimmten Annahmen (Modell für Streckenlast) theoretisch nachbilden lassen
- die Auswahl der zu erwartenden Betriebsparameter (Bandspannung, Einfederung, Form der Flächenlast) z. Z. unsicher ist; dazu sind weitere Messungen bzw. vertiefte theoretische Untersuchungen erforderlich
- der Variationsbereich der Traganteile für die angenommenen Betriebsparameter relativ klein ist

Bei der gegenwärtigen Konzeption der Anhängerfahrwerke ($l = 800 \text{ mm}$) kann eingeschätzt werden, daß der Traganteil des gespannten Bandes kleiner als 10 % auf lockerem Boden und unter mittleren Bodenbedingungen kleiner als 6 % ist.

Ausgehend von den geometrischen Abmessungen der gegenwärtigen Gleisbandfahrwerke und den ermittelten Traganteilen des

Bandes kann am Anhängerfahrwerk bei maximal zulässiger Achslast unter den Stützrädern mit einem mittleren Auflagedruck von rd. 110 kPa gerechnet werden. Am Gleisbandtraktor ZT300 ergibt sich durch das Dreifachfahrwerk, den geringeren Achsabstand und vor allem durch die geringere Masse ein mittlerer Auflagedruck von rd. 70 kPa.

Literatur

- [1] Rüdiger, A.; Köhler, U.; Arbeitsbericht zu bisherigen Untersuchungen mit der Gleisbandtechnik. Institut für Energie- und Transportforschung Meißen/Rostock, 1984 (unveröffentlicht).

A 4794

Fachleute lesen
agrartechnik!

Ein Abonnement
bringt Vorteile.