

# Meßfahrzeug zur kombinierten Prüfung von Fahrzeugen und Einzelrädern

Dipl.-Ing. Claudia Koppen, KDT/Dipl.-Ing. U. Köhler, KDT/Dipl.-Ing. J. Rink, KDT

Forschungszentrum für Mechanisierung und Energieanwendung in der Landwirtschaft Schlieben der AdL der DDR

## 1. Problematik

Zum quantitativen Vergleich verschiedener Fahrzeuge und einzelner Prüfräder hinsichtlich ihrer Fortbewegungs- und Rolleigenschaften können Beiwerte herangezogen werden. Besonders aussagekräftig sind [1]

- Triebkraftbeiwert  $\kappa$
- Umfangskraftbeiwert  $\mu$
- Rollwiderstandsbeiwert  $\rho$
- Laufwerkwirkungsgrad  $\eta$ .

Für ihre Berechnung gelten folgende Gleichungen:

$$\kappa = T/FR \quad (1)$$

$$\mu = U/FR \quad (2)$$

$$U = M/r_0 \quad (3)$$

$$\rho = \mu - \kappa \quad (4)$$

$$\eta = (T r_0 / M) (v_1 / v_0) \quad (5)$$

FR Radlast

M Radmoment

R Rollwiderstand

T Triebkraft

U errechnete Umfangskraft

$r_0$  Rollradius des Prüfrades

$v_0$  theoretische Umfangsgeschwindigkeit

$v_1$  Fahrgeschwindigkeit.

Für die Triebkraft T gilt weiterhin:

$$T = U - R = M/r_0 - R. \quad (6)$$

Während die Größen T, M und FR direkt ge-

messen werden können, müssen die Parameter U und R berechnet werden oder läßt sich nach Gl. (6) der Rollwiderstand R auch bei  $M = 0$  direkt ermitteln. Bei der Leistungsübertragung entsteht zwangsläufig zwischen dem Fahrwerk und dem Boden an den Triebrädern Schlupf  $\sigma$  [2]:

$$\sigma = (1 - v_1/v_0) 100. \quad (7)$$

Zur Charakterisierung der Fortbewegungseigenschaften ist es sinnvoll, die o. g. Beiwerte als Funktion des Triebradschlupfes darzustellen. Problematisch ist dabei, den Zustand  $\sigma = 0$  genau zu bestimmen. In [1] wird darauf ausführlich eingegangen.

Im Forschungszentrum für Mechanisierung und Energieanwendung in der Landwirtschaft Schlieben wurde ein Meßfahrzeug mit einer integrierten Einzelrad-Meßeinrichtung aufgebaut, mit dem die Roll- und Triebeligenschaften kompletter Fahrzeuge und einzelner Prüfräder ermittelt und außerdem die Fahrbahn unter definierten Bedingungen (T, FR,  $\sigma$ ) belastet werden kann, um vor allem auf landwirtschaftlich genutzten Flächen die Auswirkungen der Belastungen auf die Bodenstruktur im nachhinein untersuchen zu können.

Bei der Entwicklung waren folgende Prämissen zu beachten:

- In der Einzelrad-Prüfeinrichtung sollen sämtliche in der DDR-Landwirtschaft gebräuchlichen Reifen als Einzel- und Zwillingrad geprüft werden.
- Es muß die Möglichkeit bestehen, auch komplette Fahrzeuge bewerten zu können.
- Parameter, wie Radlast, Geschwindigkeit, Schlupf und Triebkraft von Einzelrädern, müssen kontinuierlich in bestimmten Grenzen einstellbar sein.
- Für vergleichende Untersuchungen unter gleichen Bedingungen sind das schnelle Einstellen der geforderten Parameter und das schnelle Wechseln verschiedener Prüfräder Bedingung.
- Die notwendige Meß- und Auswertetechnik sollte Bestandteil des Fahrzeugs sein, um die Meßergebnisse unmittelbar nach der Messung bewerten zu können.

## 2. Fahrzeugtechnischer Teil

Grundlage des als Brems- und Triebfahrzeug mit integrierter Einzelrad-Meßeinrichtung konzipierten Meßfahrzeugs bildet das Fahrgestell des geländegängigen NKW Ural mit der Radformel 6 x 6. Der original eingebaute Ottomotor wurde durch den Dieselmotor 6 VD 12.5/12-1 GRW ersetzt. Die Baugruppen des Antriebsaggregats (Wechselgetriebe, Verteilergetriebe, Achsen) konnten unverändert übernommen werden.

Zur Untersuchung von Einzelrädern, besonders hinsichtlich ihrer Auswirkung auf den Boden, ist es notwendig, die Feldfahrt in Rückwärtsfahrt durchzuführen. Damit wird gewährleistet, daß das Prüfrad auf unberührtem Boden getestet werden kann und der zu untersuchende Bodenstreifen bei extrem kurzen Meßstrecken lediglich durch das Prüfrad und nicht durch das Fahrzeug belastet wird.

Für diese Betriebsart ist ein zweiter kompletter Fahrerstand für die Rückwärtsfahrt notwendig, dessen Lenkung vollhydraulisch auf den Original-Lenkzylinder wirkt. Da das Original-Fahrerhaus keine Möglichkeit zur An-

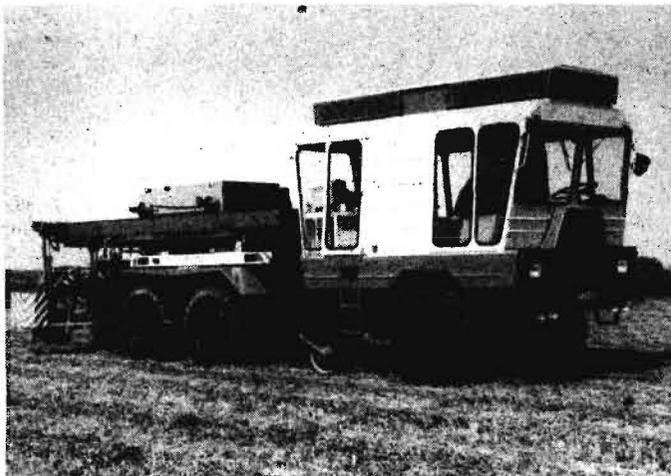


Bild 1  
Seitenansicht des Meßfahrzeugs

Bild 2  
Einzelradprüfung  
(Heckansicht des Meßfahrzeugs)

Bild 3  
Transportstellung des Meßfahrzeugs

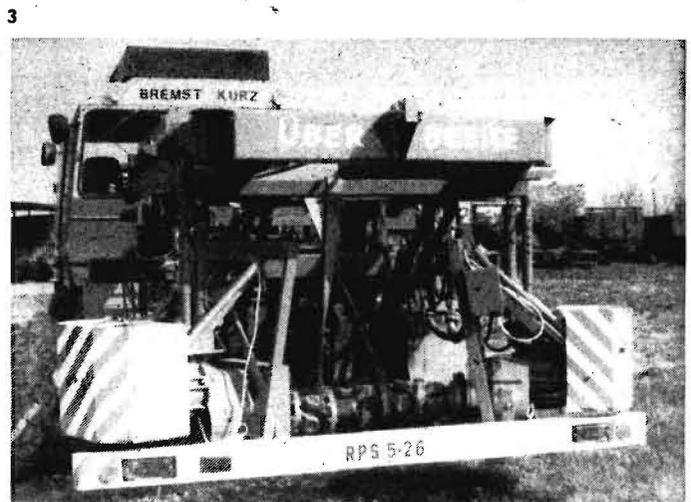




Bild 4  
Messung kompletter  
Fahrzeuge  
(Fotos: G. Kotte)

ordnung eines zweiten Fahrerstandes und der umfangreichen Meßtechnik bot, wurde es gegen eine aus zwei Mähdrescherkabinen aufgebaute größere Kabine ersetzt (Bild 1). Weiterhin wurde auf das Fahrgestell ein Lademassenträger montiert, der als Schwinge ausgelegt ist und eine Zusatzmasse aufnimmt. Durch Verfahren der auf Rollen gelagerten Ballastmasse ist eine stufenlose Änderung der Stützkraft an den vertikalen Radlastmeßkern möglich, die als Teleskope ausgeführt sind und sich auf der Prüfachse abstützen. Die Teleskopausführung und die in vertikaler Richtung stufenlose Änderung der Anlenkpunkte der Triebkraftmeßlenker dienen zur Anpassung der Meßeinrichtung an unterschiedliche Prüfraddurchmesser. Die Triebkräfte werden von zwei Meßkernern aufgenommen, die zur Fahrzeuglängsrichtung in einem Winkel von  $10^\circ$  V-förmig angeordnet sind und damit einen Selbstlenkeffekt bewirken.

Die Triebkraft- und Radlastmeßlenker sind gemeinsam an aufklappbaren Lagerschalen befestigt, die um auf der Meßwelle montierte staubgeschützte Kugellager geklemmt werden (Bild 2). Diese Lösung gestattet ein schnelles und unkompliziertes Wechseln der mit dem Prüfrad vormontierten Meßwelle. Das Prüfrad wird beidseitig durch hydrostatische Motor-Getriebe-Einheiten angetrieben, die der hydrostatischen Anlage des Mähdreschers E516 entsprechen. Die Drehmomentübertragung von der Antriebseinheit zur Prüfradwelle erfolgt über Doppelgelenkwellen zur Entkopplung und die Messung des Antriebsdrehmoments indirekt über die Messung des Rückstellmoments am Antriebsgehäuse.

Für die Meßfahrt hat das Fahrzeug einen eigenen hydrostatischen Antrieb, dessen Antriebspumpe am schweren Nebenantrieb des Wechselgetriebes angeflanscht ist. Der dazugehörige Hydromotor gibt seine Energie über ein Anpassungsgetriebe an die Hinterachse des Fahrzeugs ab und treibt dieses somit an. Die für den Prüfradantrieb erforderliche Pumpe wird vom schweren Nebenantrieb des Verteilergetriebes angetrieben. Mit Hilfe dieser beiden, stufenlos gegeneinander regelbaren Antriebe (Hinterachse und Prüfrad) sind sehr gute Voraussetzungen für die Einstellung der geforderten Triebkraft-Schlupf-Werte gegeben.

Zur Einhaltung der lt. StVO für landwirtschaftliche Spezialfahrzeuge geforderten maximalen Gesamtbreite von 3000 mm sind die Antriebseinheiten schwenkbar gelagert und werden während des Umsetzens des Fahrzeugs eingeklappt (Bild 3).

### 3. Meßtechnischer Teil

#### 3.1. Meßwertgeber

Zur Berechnung der energetischen Beiwerte und des Triebradschlupfes ist entsprechend den Gln. (1) bis (7) die Erfassung der Größen  $T$ ,  $M$ ,  $FR$ ,  $r_0$ ,  $v_0$  und  $v_1$  erforderlich. Bei der Ankopplung kompletter Fahrzeuge an das Meßfahrzeug erfolgt die Bestimmung der Triebkraft  $T$  mit Hilfe einer Zugstange [3] (Bild 4). Zur Ermittlung von  $T$  und  $M$  werden bei Einzelradmessungen jeweils zwei Zugstangen eingesetzt. Zur Erfassung der Größe  $FR$  dienen zwei Druckmeßdosen. Die Verformung dieser insgesamt 6 Meßstellen wird analog mit Dehnmessstreifen erfaßt, die an einen Trägerfrequenzmeßverstärker Typ

N2300 angeschlossen sind. Die Ermittlung des Rollradius  $r_0$  und der Geschwindigkeiten  $v_0$  und  $v_1$  erfolgt digital.

Die Geber zur Abbildung des Abrollweges des Triebrades  $l_0$  und der Fahrstrecke  $l_1$  stellen eine Weiterentwicklung der  $l_n$  [3] vorgestellten Impulsgeber für Wegmessung dar. Der Geber für  $l_1$  ist als komplettes Rad ausgeführt (Peißlierrad), das an das Meßfahrzeug montiert und als schlupfflos nachrollend angenommen wird.

Für die Erfassung des Abrollweges  $l_0$  ist an der Achse der Einzelradaufnahme ein Inkrementalgeber angebracht. Bei der Prüfung kompletter Fahrzeuge erfolgt die Montage des Gebers für  $l_0$  direkt an einem Antriebsrad dieses Fahrzeugs. Über Adapter ist dieser Anschluß an jeder beliebigen Felge möglich. Die drei Geber erzeugen einheitlich 240 Impulse/Umdrehung.

Mit der Einführung eines Korrekturfaktors  $KFA$  wird das variable Verhältnis der Durchmesser von Antriebsrad  $d_0$  und schlupfflos nachrollendem Rad  $d_1$  berücksichtigt:

$$KFA = d_1/d_0 \quad (8)$$

$KFA$  ergibt sich bei  $\sigma = 0$  aus dem Quotienten der während einer Wegeinheit von den Gebern abgegebenen Impulsraten  $K_0$  und  $K_1$ , wobei für  $\sigma = 0$  der Zustand des geschleppten Fahrzeugs (Prüfrad) angenommen wird:

$$KFA = K_0/K_1 \quad (9)$$

Da  $d_1 = \text{konst.}$  und bekannt ist, kann nach der Bestimmung von  $KFA$  der dynamische Prüfraddurchmesser  $d_0$  nach Gl. (8) berechnet werden. Für die Berechnung des Schlupfes folgt:

$$\sigma = [1 - KFA (K_1/K_0)] 100 \quad (10)$$

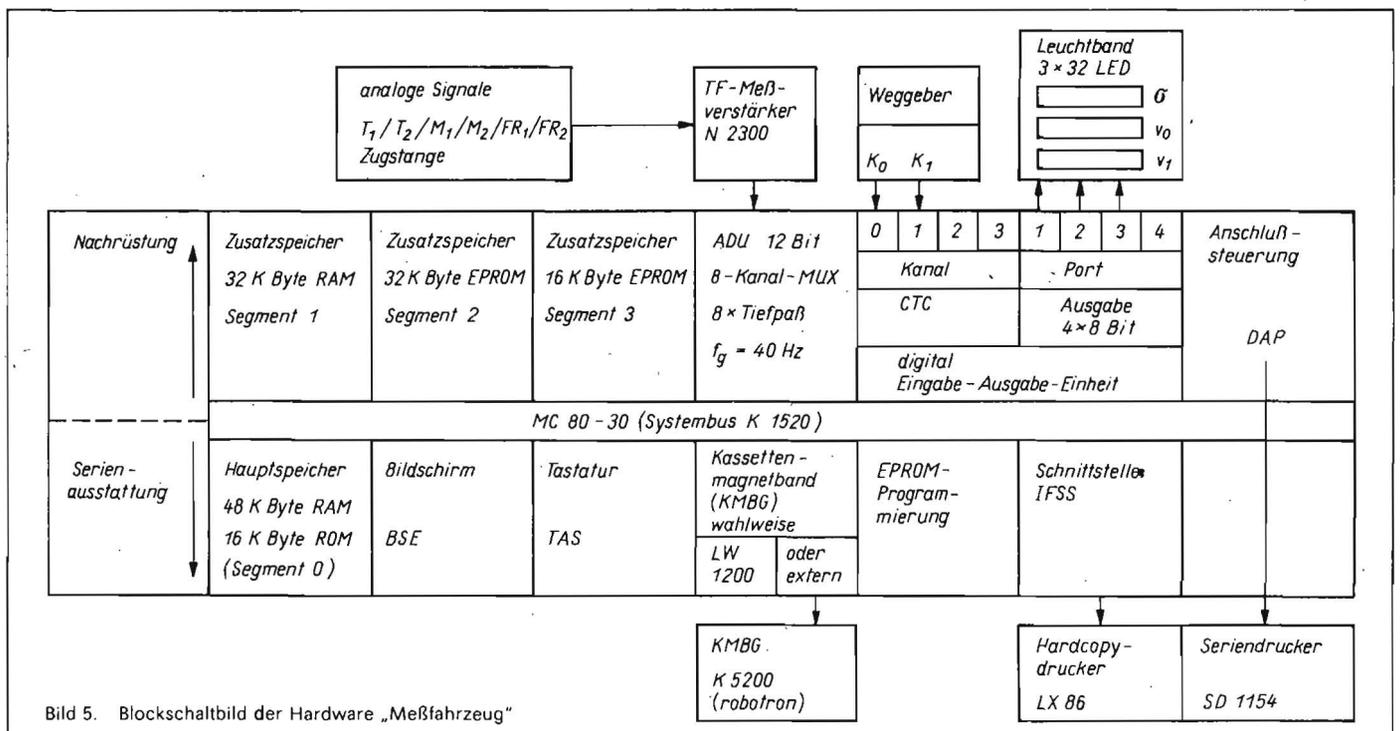


Bild 5. Blockschaftbild der Hardware „Meßfahrzeug“

Tafel 1. Wichtige technische Daten des Meßfahrzeugs

|                            | Einzelrad             | komplette Fahrzeuge    |
|----------------------------|-----------------------|------------------------|
| Radlast FR                 | kN 8...50             | —                      |
| Radmoment M                | kNm - 8...36          | —                      |
| Triebkraft T               | kN - 10...40          | 120<br>(Bremsvermögen) |
| Fahrgeschwindigkeit $v_1$  | m/s $\leq 2$          | $\leq 3$               |
| Schlupfmeßbereich $\sigma$ | % -20 ... 0 ... +100  | 0 ... 3,1              |
| Anzeigebereich $v_0$       | m/s 0 ... 3,1         | 0 ... 3,1              |
| Anzeigebereich $v_1$       | m/s -10 ... 0 ... +70 | 600 ... 1700           |
| Prüfraddurchmesser $d_0$   | mm                    | $\leq 1200$            |
| Prüfradbreite              | mm                    |                        |

### 3.2. Hardware

Ein Überblick über das Gesamtsystem ist im Bild 5 dargestellt. Zur Erfassung, Verrechnung und Ausgabe aller Daten dient ein Mikrorechner MC80-30 des VEB Elektronik Gera. Entsprechend den Erfordernissen zur Prozeßkopplung und Kommunikation wurde dieser Rechner aufgerüstet. Neben dem serienmäßig verfügbaren Hauptspeicherbereich (Segment 0) von 64 kByte wurden noch 3 weitere Segmente zu 2 · 32 kByte und 1 · 16 kByte installiert.

Zur Digitalisierung der über den Meßverstärker eingespeisten analogen Signale ist ein 8-Kanal-Analog-Digital-Umsetzer (ADU) mit 12 Bit Auflösung integriert. Zum ADU gehören ein 8-Kanal-Multiplexer und acht Tiefpaßfilter mit einer festen Grenzfrequenz von 40 Hz.

Für die Ein- und Ausgabe digitaler Daten ist eine entsprechende Anschlußkarte vorhanden. Über diese werden die Weggeber ( $l_0, l_1$ ) und eine Leuchtband-Anzeige-Baugruppe angeschlossen. Mit jeweils einem Leuchtband werden der Schlupf sowie die Geschwindigkeiten  $v_0$  und  $v_1$  in 32 Stufen dem Fahrer und dem Meßtechniker angezeigt.

Zur Programmentwicklung wurden zusätzlich ein Kassettenlaufwerk K5200 und ein Drucker SD1154 an den Rechner angeschlossen. Auf dem Meßfahrzeug befindet sich zur Ausgabe der Meßprotokolle und Grafiken ein Drucker LX86.

### 3.3. Software

Das Programmpaket für das Meßfahrzeug benötigt einen Speicherbereich von 25 kByte. Es gliedert sich in einen Arbeitsbereich für Assemblerprogramme von 4,6 kByte, in dem alle Programme abgelegt sind, die im Echtzeitbetrieb laufen (Ein- und Ausgabe der Analog- und Digitalwerte) und einen Arbeitsbereich für BASIC-Programme, um den Dialog mit dem Bediener führen und die Meßwerte weiterverarbeiten zu können.

Die Aufteilung der Speicherbereiche ist im Bild 6 ersichtlich. Die Programmpakete einschließlich Grafik-BASIC und BASIC-Interpreter sind auf EPROM in den Segmenten 2 und 3 abgespeichert und müssen vor Arbeitsbeginn in den Arbeitsbereich umgeladen werden, da sie nur dort lauffähig sind. Dies erfolgt mit der Ausführung von zwei Befehlen und ist sehr schnell sowie zuverlässiger als das Lesen von der Kassette.

Der Assemblerbereich beinhaltet 13 eigenständige Programme, die an den entsprechenden Stellen von den BASIC-Programmen aufgerufen werden. Den größten Teil des Programmpakets beanspruchen die BASIC-Programme, von denen vier als Hauptprogramme (HP) fungieren, die nach dem

Bild 6  
Aufteilung der Speicherbereiche

| Adresse (hexadezimal) | Hauptspeicher Segment 0  | Segment 1 | Segment 2                    | Segment 3                  |
|-----------------------|--------------------------|-----------|------------------------------|----------------------------|
| 0000                  | EPROM<br>Betriebs-system |           |                              |                            |
| 4000                  | RAM                      | RAM       | EPROM<br>Assembler-Programme | EPROM<br>BASIC-Interpreter |
| 5200                  | Arbeitsbereich           | Meßwerte  | BASIC-Programme              | frei                       |
| 8000                  |                          |           |                              |                            |
| A200                  |                          |           | Grafik-BASIC                 |                            |
| C000                  | RAM<br>BASIC-Interpreter |           |                              |                            |

Programmstart in einem Menübild angezeigt und angewählt werden können:

- Kalibrierprogramm
- Zugkraft-Schlupf-Programm
- Rollwiderstandsmessung
- Korrekturfaktorermittlung.

Die restlichen 18 BASIC-Programme dienen der Untergliederung der Hauptprogramme, so daß eine übersichtliche Struktur erreicht wurde und die Unterprogramme mehrfach nutzbar sind.

Das HP KALI zur Kalibriergrößenermittlung für die einzelnen Meßverstärkerkanäle und das HP K. FAKTOR zur Ermittlung von KFA bzw. des dynamischen Prüfraddurchmessers  $d_0$  sind sowohl aus den Programmen Rollwiderstandsmessung (ROLLWI) und Zugkraft-Schlupf-Messung (ZUKRA) als auch einzeln aufrufbar. Dies ist notwendig, da bei jeder Änderung der Einflußparameter der Durchmesser  $d_0$  und bei jeder Änderung der Verstärkung der Meßverstärker bzw. bei Ausfall eines Kanals die Kalibriergrößen neu bestimmt werden müssen.

Das HP ROLLWI unterteilt sich in zwei Programme für die Messung kompletter Fahrzeuge und einzelner Prüfräder. Alle Eingabedaten und Auswertergebnisse werden im Dialogbetrieb abgefragt und angezeigt sowie im Meßprotokoll ausgedruckt. Da es aufgrund der Unzuverlässigkeit des Laufwerks nicht möglich ist, die aufgenommenen Daten maschinenlesbar abzuspeichern, werden alle Daten für eine spätere Regressionsanalyse in Form eines Meßprotokolls ausgegeben.

Die nach den Gln. (1) bis (5) berechneten Bewerte werden als Funktion des Schlupfes unmittelbar nach jeder Messung als Einzelergebnispunkte in Grafiken sowohl auf dem Bildschirm als auch auf dem Drucker ausgegeben. Damit kann unmittelbar nach jeder Messung eine erste Bewertung des Versuchsergebnisses vorgenommen werden. Am Ende jeder HP-Abarbeitung besteht die Möglichkeit, mit dem gleichen Programm weiterzuarbeiten oder über das Menü ein anderes HP auszuwählen.

### 3.4. Stromversorgung

Die gesamte Meßtechnik wird mit 220 V Wechsellspannung betrieben. Die Einspeisung kann wahlweise aus dem öffentlichen Netz oder über einen auf dem Meßfahrzeug angeordneten Einanker-Umformer erfolgen. Der Umformer wird aus zwei parallel geschalteten Lichtmaschinen mit zwischengeschalteten Akkumulatoren (2 · 150 Ah) mit 24 V Gleichspannung eingespeist. Zum Ausgleich von Spannungsschwankungen wurde ein automatischer Wechsellspannungsregler Typ 1202 eingebaut. Das Generatorsystem ist im mobilen Einsatz bis zu 1000 VA belastbar. Die Schutzmaßnahme „FI-Schutzschaltung“ wird sowohl bei Netz- als auch bei Generatorbetrieb gewährleistet.

### 4. Technische Daten

Wichtige technische Daten des Meßfahrzeugs sind in Tafel 1 zusammengestellt.

### 5. Zusammenfassung

Im Forschungszentrum für Mechanisierung und Energieanwendung in der Landwirtschaft Schlieben wurde eine mobile Meßeinrichtung realisiert, mit der die Fortbewegungs- und Rolleigenschaften kompletter Fahrzeuge und einzelner Prüfräder untersucht werden können. Darüber hinaus lassen sich mit dem Meßfahrzeug genau spezifizierbare Belastungen auf den Boden aufbringen.

Die Parameter lassen sich reproduzierbar und schnell entsprechend den in Tafel 1 angeführten Grenzen einstellen.

### Literatur

- [1] Steinkampf, H.: Ermittlung von Reifenkennlinien und Gerätezugleistungen für Ackerschlepper. Landbauforschung Völknerode, Sonderheft 27 (1975).
- [2] TGL 24 626/12 Landtechnische Arbeitsmittel, Allgemeine Prüfvorschriften, Schlupfmessung an Triebädern. Ausg. Nov. 1971.
- [3] Recker, W.; Richter, R.; Uhlemann, F.: Zugkraft- und Rollwiderstandsmessungen an landwirtschaftlichen Fahrzeugen. agrartechnik, Berlin 30 (1980) 1, S. 12-14. A 5552