

Prüfstände zur Lebensdaueruntersuchung von Baugruppen und Einzelteilen von Landmaschinen

Ing. R. Seibicke, KDT/Dipl.-Ing. F. Sujata, KDT, Zentrale Prüfstelle für Landtechnik Potsdam-Bornim

Die Sicherung und Erhöhung der Qualität und Zuverlässigkeit der Landtechnik ist eine Aufgabe von grundsätzlicher politischer und ökonomischer Bedeutung. Als Schwerpunkt ist vor allem die effektive Nutzung des vorhandenen umfangreichen Grundmittelbestands anzusehen. Daher betrachtet die Zentrale Prüfstelle für Landtechnik (ZPL) Potsdam-Bornim die Beurteilung der Lebensdauer von landtechnischen Arbeitsmitteln als eine wesentliche Aufgabe der staatlichen Prüfung.

Lebensdaueruntersuchungen auf Prüfständen sind ein wichtiges Mittel, um schnell zu sicheren Ergebnissen bezüglich der Haltbarkeit von Maschinen oder deren Baugruppen zu kommen. Anzustreben ist dabei die Prüfung des gesamten landtechnischen Arbeitsmittels. Für die wichtigsten Baugruppen der Leistungsübertragung, wie Getriebe, Gelenkwellen und Kupplungen, sowie für Fahr- und Tragwerke und andere Baugruppen besteht aber ein abgegrenztes Teilaufgabengebiet, d. h. mit einem gewissen Grundbestand an technischen Hilfsmitteln kann hier der Lebensdauernachweis mit hoher Effektivität geführt werden.

Durch derartige Untersuchungen können auch Rationalisierungsmittel herstellende Betriebe entsprechend den in der ZPL vorhandenen technischen Möglichkeiten bei der Entwicklung und Erprobung landtechnischer Arbeitsmittel unterstützt werden. Deshalb haben Prüfstanduntersuchungen von Baugruppen und von Fahr- und Tragwerken einen festen Platz in der Arbeit der ZPL Potsdam-Bornim. Um zu möglichst schnellen Prüfaussagen aus diesen Prüfstanduntersuchungen zu kommen, werden von der ZPL folgende Wege beschritten:

- Die Prüfstände werden durchgängig und ohne ständige Aufsicht betrieben. Daher haben Geräte zur Überwachung und zur Programmablaufsteuerung bzw. -regelung eine besondere Bedeutung. Die Überwachung der Prüfstände erfolgt durch entsprechende Motorschutzschalter, durch Temperaturfühler an allen kritischen Stellen, durch Endschalter, Laufruhewächter und andere spezielle Überwachungseinrichtungen. Beim automatischen Programmablauf der Prüfstände werden im Eigenbau gefertigte Programmzeitgeber- und Sollwertgebereinrichtungen eingesetzt.
 - Zur Aufstellung der Prüfprogramme bilden Belastungskollektive aus Praxismessungen die Grundlage. Vom gesamten Belastungskollektiv, das der Lebensdauer entspricht, werden die unteren 20 bis 25 % der Belastungen im Prüfprogramm nicht berücksichtigt. Bei den für Landmaschinen typischen Belastungen mit relativ hohen Spitzenwerten bis in die Nähe der Streckgrenze kann ein Kompromiß in dieser Form vertreten werden und ermöglicht eine wesentliche Zeitersparnis. Die Erzielung einer Prüfzeitverkürzung durch Belastungsüberhöhung wird abgelehnt.
- Im folgenden soll eine Übersicht über die in

der ZPL Potsdam-Bornim eingesetzten Prüfstandeinrichtungen und die Prüfstanduntersuchungen gegeben werden.

Prüfung von formschlüssigen Getrieben und anderen drehmomentübertragenden Bauteilen

Der Betrieb von Prüfständen für formschlüssige Getriebe und andere drehmomentübertragende Bauteile wird vorrangig nach dem Energiekreislaufverfahren vorgenommen. Dabei spielen der geringere gerätetechnische Aufwand und die Energie- und Kosteneinsparung eine wesentliche Rolle. Die benötigte Antriebsleistung für den Prüfstand beträgt nur rd. 15 % der Leistung, die im Verspannkreis realisiert wird. Beim Energiekreislaufverfahren werden stets zwei Getriebe (Prüfgetriebe, Gegengetriebe) für die Verspannung benötigt. Das Gegengetriebe wird entgegen der normalen Belastungsrichtung verspannt, wodurch Aussagen aus dem Verhalten des Getriebes nur unter Berücksichtigung des Getriebeaufbaus auswertbar sind.

Weiterhin sind im Verspannkreis die Verspanneinrichtung und bei Bedarf Umkehrgetriebe mit oder ohne Schwellgeber angeordnet. Als Verspannelemente werden einfache Verspannscheiben (nur im Stillstand des Prüfstands einstellbar), Umlaufrädergetriebe und auch Riemenantriebe eingesetzt.

Als Schwellwertgeber wird ein Eigenbaumodell nach dem Prinzip eines doppelten Kreuzgelenks verwendet. Durch mehr oder weniger große Abwinkelung läßt sich das Schwellmoment einstellen. Die Schwellfrequenz ist nicht unabhängig einstellbar, sie beträgt das Doppelte der Drehzahl.

Prüfung von schlupfbehafteten Antrieben, Keilriemen und Flachriemen

Im Landmaschinenbau werden in immer stärkerem Maß Keilriemen, Flachriemen und Verbundkeilriemen eingesetzt. Die notwendige Zuverlässigkeit und optimale Auslastung erfordern auch hier umfangreiche Prüfstanduntersuchungen. Bisher sind entsprechend dem Standard TGL 14489 für Schmalkeilriemen nur dynamische Prüfungen ohne Leistungsübertragung nach dem Zerrüttungsprinzip vorgesehen. Für Verbundkeilriemen gibt es noch keinen analogen Standard.

Mit den bei der Getriebeprüfung angewendeten Verfahren des Energiekreislaufs ist eine Prüfung von schlupfbehafteten Antriebs-elementen nur unter speziellen Voraussetzungen möglich. Die durch den Schlupf verlorengehende Verspannung muß ständig neu aufgebaut und die Größe eines vorgegebenen Werts eingehalten werden.

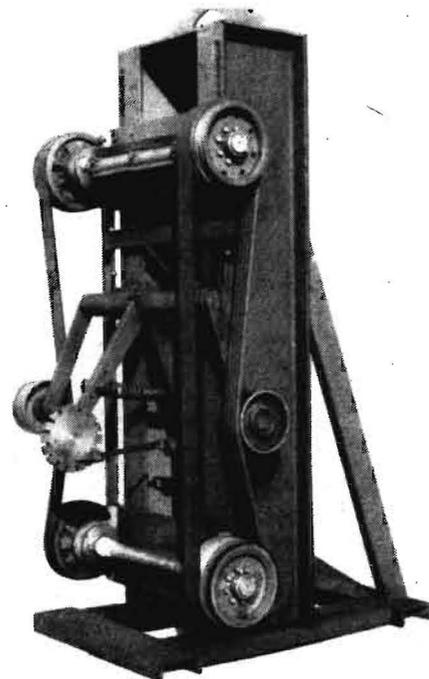
Für einen Prüfandaufbau mußten daher die Eigenschaften des Riemenantriebs näher betrachtet werden. Ein wesentlicher Vorteil für den Einsatz besteht in der Elastizität der Riemen. Dadurch können Drehmomentspitzen abgebaut werden, gleichzeitig besteht aber auch ein bestimmtes Eigenschwingverhalten. Der Schlupf ist eine weitere Eigenschaft

der Riemenantriebe, wobei grundsätzlich zwei Arten von Schlupf zu unterscheiden sind. Der *Gleitschlupf* entsteht, wenn der Riemen nicht die notwendige Spannung hat und auf einer der Scheiben gleitet. Er kann dabei Werte bis zu maximal 100 % erreichen. Dieser Schlupf wird beim Kupplungsriemen ausgenutzt. Beim Kupplungsvorgang wird ein Teil der Energie in Wärme umgesetzt und führt zu einer hohen thermischen Belastung der Riemen.

Die Ursache des sog. *Arbeitschlupfes* ist darin begründet, daß der Riemen mit geringer Spannung auf die Scheibe aufläuft und mit großer Spannung wieder abläuft bzw. umgekehrt. Dabei erfolgt eine Längenänderung des Riemens, und gleichzeitig findet eine Relativbewegung zwischen Riemenkern und Scheibe statt. Dieser Arbeitsschlupf kann je nach Belastung Werte bis zu 2 % annehmen.

Ausgehend von den Erfahrungen mit Verbundkeilriemen als Verspanneinrichtung wurden Prüfstände für Riemen nach dem Energiekreislaufverfahren entwickelt. An einer steifen Tragkonstruktion sind zwei Wellen parallel angeordnet, ein unterschiedlicher Wellenabstand ist einstellbar (Bild 1). Die Spannrollen hängen am Rahmen und wirken jeweils auf das lose Trum nach innen. Die Spannkraften stützen sich zwischen den Spannrollen ab und sind damit exakt gleich. Die Massenkräfte der Spannrollen heben sich gegenseitig auf. Diese Riemen werden auf vier gleichgroßen Riemenscheiben betrieben, wobei je Riemenantrieb eine Scheibe, die „getriebene“, im Durchmesser um rd. 1,5 bis 2 % gemindert wurde. Die Einstellung der Verspannmomente erfolgt über

Bild 1. Riemenprüfstand nach dem Energiekreislaufverfahren



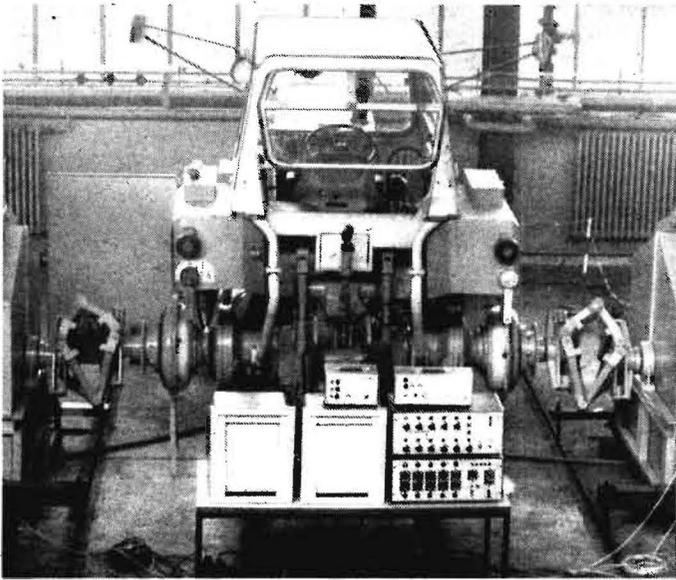


Bild 2. Treibradbremse mit Programmsteuereinrichtung

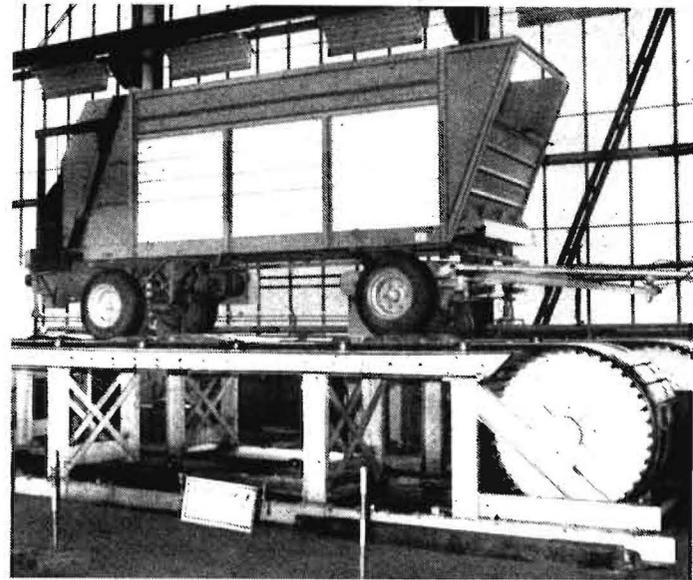


Bild 3. Prüfstand für Fahr- und Tragwerke mit montiertem Hindernisprofil

die Riemenspannung durch eine entsprechende Spanneinrichtung.

Mit dem Aufbau von Riemenprüfständen nach dem Energiekreislaufverfahren ist gegenüber der dynamischen Prüfung entsprechend dem Standard ein erster Schritt zur praxisgerechten Prüfung getan. Damit sind vor allem Vergleichsprüfungen zwischen verschiedenen Riemenarten gleichen Typs gut durchführbar.

Daß die Kupplungs- und Blockiervorgänge großen Einfluß auf die Nutzungsdauer von Riemen haben, ist unumstritten – hier bleibt neben einer entsprechenden Nachbildung noch die Abgrenzung zwischen Maximalbelastung und Havarie offen.

Prüfung der Antriebsstränge vom Motor bis zum Treibrad

Zur Prüfung des kompletten Antriebs vom Motor bis zum Treibrad werden Treibradbremse eingesetzt. Dazu werden die Treibräder des landtechnischen Arbeitsmittels durch die Treibradbremse ersetzt (Bild 2). Diese Bremsen arbeiten nach dem Prinzip des „Pronyschen Zaums“. Die beim Betrieb

anfallende Energie wird in Wärme umgewandelt. Die Treibradbremse sind bezüglich der Drehzahl und des Drehmoments (maximal 15 000 Nm) für derartige Einsätze ausgelegt.

Das Bremsmoment ist über Getriebemotoren einstellbar. Damit ist mit einem Programm-Zeit-Sollwertgeber ein automatischer Prüfstandlauf nach einem Stufenprogramm möglich. Diese Anlage wurde beispielsweise bei der Prüfung des hydrostatischen Fahrtriebs des Mähreschers E 516 eingesetzt.

Prüfung von Fahr- und Tragwerken

Bei der Entwicklung von Prüfständen wird angestrebt, diese möglichst vielseitig einsetzbar zu gestalten. Fahr- und Tragwerke sind an Landmaschinen immer wiederkehrende Bauteile, so daß sich ein Prüfstand dafür effektiv auslasten läßt.

Verbreitet wird zur Prüfung von Fahr- und Tragwerken der Rundlauf angewendet – die Vor- und Nachteile sind allgemein bekannt. Mit der Entwicklung des Fahrwerkprüfstands wurde ein anderer Weg beschritten. Vom Grundprinzip besteht der Prüfstand aus zwei endlosen Gummigurtbändern, die über je eine Antriebs- und Umlenktrummel umlaufen. Die Länge der Bänder beträgt 19,5 m bzw. 20 m. Auf den Gummigurtbändern sind die Hindernisse aus Stahl als Segmente befestigt (Bild 3). Durch die unterschiedlichen Bandlängen ändert sich die Zuordnung der Hindernisse zwischen den Spuren ständig. Die gleiche Hinderniskombination wiederholt sich praktisch erst nach rd. 660 m, und es läßt sich ein gut durchmischtes praxisnahes Belastungskollektiv realisieren.

Der Prüfstand kann auf die Spurweite des Prüflings eingestellt werden. Die Spur der Achsen an einem Fahrzeug muß dabei annähernd gleich sein. Die Bandbreite einer Spur beträgt 900 mm. Der Prüfstand ist für eine maximale Achslast von 120 kN und eine Gesamtlast von 200 kN ausgelegt. Der Antrieb des Prüfstands erfolgt durch einen Gleichstrommotor mit Thyreschaltung zur stufenlosen Geschwindigkeitsverstellung.

Das montierte Hindernisprofil wurde auf der Grundlage von umfangreichen Wegvermessungen auf unterschiedlichen Fahrbahnqualitäten erstellt und mit der Partnerprüfstelle Solnetschnogorsk (UdSSR) abgestimmt. Kon-

trollmessungen in beiden Einrichtungen haben gezeigt, daß die Belastung aller Bauteile sehr gut mit den Praxisbelastungen übereinstimmt. Von den Einsatzbedingungen des Prüflings (Anteil der Fahrbahnen unterschiedlicher Qualität) hängt dann die erreichbare Zeitraffung ab. Erreicht werden Zeitraffungen von 1:3 bis 1:15.

Ein wesentlicher Vorteil des Fahrwerkprüfstands ist die witterungsunabhängige Prüfung und Arbeit mit dem Prüfstand. Der Platzbedarf ist relativ gering. Messungen und visuelle Beobachtungen können unkompliziert und aus nächster Nähe erfolgen.

Seit 1978 wurden 52 Landmaschinen unterschiedlicher Typen geprüft – einige davon mehrmals bis zum Nachweis der geforderten Lebensdauer.

Prüfung von biege- oder zug-druckbeanspruchten Bauteilen

Zur Bauteil- bzw. Baugruppenuntersuchung derartiger beanspruchter Elemente werden in immer stärkerem Maß elektro-servohydraulische Prüfanlagen (ESH-Anlagen) eingesetzt. Diese Anlagen eignen sich besonders für Schwingbelastungen von kompletten Baugruppen. Je nach der technischen Ausstattung der Anlagen können Stufenprogramme oder der Praxis entsprechende stochastische Belastungsverläufe nachgebildet werden. In der ZPL Potsdam-Bornim sind die Arbeiten mit einer ESH-Anlage begonnen worden. Neben dem Druckstromerzeuger und einem Zweikanal-Regelteil stehen Prüfzylinder für maximale Prüfkräfte von 50 und 250 kN zur Verfügung (Bild 4). Mit diesen Prüfzylindern können maximale Hübe von ± 50 mm erreicht werden. Die Ansteuerung der Anlage erfolgt mit einem Frequenzgenerator, so daß sich Ein- und Mehrstufenprogramme realisieren lassen. Über ein Mehrkanal-Sichtgerät ist ein ständiger Vergleich zwischen Soll- und Istwertverlauf der Beanspruchung möglich.

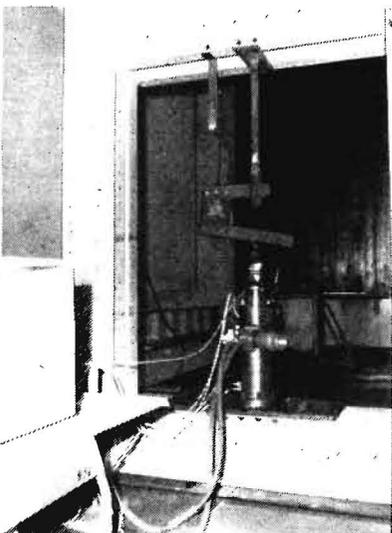
Mit dieser ESH-Anlage lassen sich biege- oder zug-druck-beanspruchte Bauteile prüfen, wie z. B. Befestigungspunkte, Verbindungselemente und Werkzeugträger.

Prüfläufe bei speziellen Voraussetzungen

Haltbarkeitsuntersuchungen an landtechnischen Arbeitsmitteln können auch ohne zu-

Bild 4. Elektro-servohydraulischer Zylinder für eine maximale Prüfkraft von 50 kN mit Spannrahmen

(Fotos: K. Maluche)



sätzliche Prüfstände durchgeführt werden, wenn bestimmte Voraussetzungen gegeben sind. Diese Prüfungen sind dann möglich, wenn die Prüfobjekte relativ einfach und praxisnah unter Funktionsbedingungen betrieben werden können. Durch einige Beispiele sollen nachfolgend derartige Prüfungen erläutert werden.

Prüfung der Antriebe von Anbaumähwerken
Durch das Antriebssystem eines Mähwerks müssen einerseits die Schnittkräfte übertragen werden, andererseits wirken auf dieses System Massenkräfte, die durch die Schnittbewegung des Messers verursacht werden.

Aus Messungen an diesen Mähwerken und Berechnungen geht hervor, daß die Belastung des Antriebs durch das Wechselmoment der Massenkräfte größer ist als durch das Schwellmoment der Schnittkräfte. Diese beiden Belastungsmomente wirken jeweils abwechselnd mit der Frequenz der Messerbewegung. Ausgehend von diesen Bedingungen ist es ausreichend, die Anbaumähwerke zum Nachweis der Haltbarkeit nur funktionsgerecht aufzubauen und durch einen Elektromotor mit der Nenndrehzahl zu betreiben.

Prüfung von Hochdruckreinigungsgeräten
Bei der Durchführung des Haltbarkeitsnachweises an Hochdruckreinigungsgeräten stellt sich das Problem der Bereitstellung und Verwertung des Arbeitsmediums Wasser. Dieses Arbeitsmedium läßt sich nach einer Filterung und eventuellen Kühlung immer wieder

verwenden, so daß dadurch ein enormer Wasserverbrauch vermieden wird. Der Prüfaufbau bestand daher aus einem Vorratsbehälter, einer Wasserversorgungsanlage, dem Prüfling einschließlich Spritzlanze und einem programmgesteuerten Elektro-Hydraulikgerät zur Betätigung der Handventile der Spritzlanzen.

Füllstands- und Temperaturwächter gewährleisten einen sicheren automatischen Prüflauf.

Prüfung des Drehwerkantriebs eines Mobilkrans
Das Drehwerk des Mobilkrans wird von einem Hydraulikzylinder über die Bordhydraulik angetrieben. Zur Überprüfung der Haltbarkeit dieses Drehwerks wurde die Hydraulikenergie durch ein Hydraulikaggregat über ein elektrisches Wegeventil gespeist. Durch eine Zeitsteuerung und entsprechende Endschalter konnte die Auslegerbewegung nach einem festgelegten Programm gesteuert werden. Die Auslegerbelastung erfolgte stufenweise durch Ersatzmassen. Temperatur-, Druck- und Endschalter sicherten einen automatischen Prüflauf.

Diese Beispiele zeigen, daß bei bestimmten Voraussetzungen mit nur wenigen technischen Zusatzeinrichtungen ein effektiver Haltbarkeitsnachweis von landtechnischen Arbeitsmitteln oder deren Baugruppen unter Einsparung von flüssigen Energieträgern möglich ist. Der Einsatz von sicherheitstechnischen Elementen gewährleistet dabei einen automatischen Prüflauf.

Zusammenfassung
Im Ergebnis der im Beitrag aufgeführten Prüfstanduntersuchungen konnten zahlreiche Schwachstellen und Mängel festgestellt und nach deren Beseitigung die Haltbarkeit der Konstruktionen nachgewiesen werden. Der Vergleich mit Schäden in der Praxis ist nicht in jedem Fall gegeben, da einige Prüflinge Erprobungsmuster sind und die auf den Prüfständen festgestellten Schwachstellen in der Serienfertigung bereits beseitigt wurden.

Bei Prüflingen, die in gleicher Form bereits im Praxiseinsatz sind, wurden vergleichbare Schadbilder festgestellt. Geprüft wurden bisher Serienerzeugnisse zur Überprüfung des vom Hersteller zu erbringenden Haltbarkeitsnachweises und Erprobungsmuster. In der Erprobungsmusterprüfung wird eine wichtige Aufgabe gesehen, um rechtzeitig und effektiv auf die Qualität der Erzeugnisse einzuwirken. Dazu gehören vor allem die Rationalisierungsmittel, die im Bereich der Landwirtschaft in kleineren Serien gefertigt werden. Die Bedeutung von Prüfstanduntersuchungen wächst mit der Erhöhung der Effektivität der Landtechnik, so daß auf diesem Gebiet eine ständige Weiterentwicklung notwendig ist. Seit mehreren Jahren besteht u. a. eine zweiseitige Zusammenarbeit mit den sowjetischen Prüfstellen ZMIS Solnetschnogorsk und WNIIMOSH Doslednizkoje bei der Entwicklung von Prüfständen und Prüfmethodiken.

A 4340

Bewertung der Bodenbelastung durch die Fahrwerke landtechnischer Arbeitsmittel

Dipl.-Ing. E. Stieglitz, KDT, Zentrale Prüfstelle für Landtechnik Potsdam-Bornim

1. Ausgangssituation

Der Boden ist Hauptproduktionsmittel der Landwirtschaft. Seine Fruchtbarkeit muß erhalten und gesteigert werden. Er ist aber gleichzeitig Fahrbahn der mobilen landtechnischen Arbeitsmittel (Traktoren mit Aufsattel- und Anhängemaschinen, selbstfahrende Erntemaschinen und Transportmittel). Würde man Spur an Spur fahren, müßte im Verlauf eines Jahres jede Stelle eines Feldes je nach angebauter Kultur 2- bis 4mal befahren werden.

Die Erhöhung der Arbeitsproduktivität in der Landwirtschaft erfordert den Einsatz leistungsfähiger technischer Arbeitsmittel. Das hat zur Folge, daß der Boden immer höheren Beanspruchungen durch Radlasten und Kräfte ausgesetzt wird. Verdichtungen, die bis weit unter die bearbeitete Krume reichen, akkumulieren sich dort und verschlechtern die bodenphysikalischen Bedingungen für das Pflanzenwachstum und die Wasserführung.

2. Aufgabenstellung für die Prüfung

Die Feststellung der Bodenschädigung als Folge der großen Belastung durch die Fahrwerke darf nicht nur zu Maßnahmen führen,

die diese Schäden wieder beseitigen, sondern muß vorrangig Ausgangspunkt für Forderungen sein, die das Entstehen von Druckschäden durch zu hohe Bodenbelastungen unter Fahrwerken ausschließen. Daraus sind Aufgaben zur Verbesserung der Fahrwerke landtechnischer Arbeitsmittel abzuleiten. Spätestens bei der staatlichen landwirtschaftlichen Eignungsprüfung muß eine Bewertung der Bodenbelastung durch die Fahrwerke – in der Mehrzahl luftbereifte Räder – vorgenommen werden. Ausgangspunkt für die Bewertung muß die auf das jeweilige Rad wirkende Vertikalkraft sein, die sich aus der maximalen Fahrzeugmasse – einschließlich der äußeren Kräfte – und ihrer ungünstigsten betrieblichen Verteilung ergibt. Diese Vertikalkraft muß über die Kontaktfläche, die sich zwischen dem belasteten luftbereiften Rad und dem Boden als Fahrbahn bildet, übertragen werden. Der Bestimmung der Größe dieser Kontaktfläche galt deshalb die Aufmerksamkeit der Zentralen Prüfstelle für Landtechnik (ZPL) Potsdam-Bornim. Methodische Hinweise sind bereits in der „Prüfmethodik für land- und forstwirtschaftliche Traktoren der Teilnehmerländer des RGW“ (bisherige Standardempfehlung RS 4010-73) enthalten.

Ein gleichartiger Hinweis befindet sich auch im RGW-Standard 4767–84 (Land- und forstwirtschaftliche Traktoren; Prüfmethode). Der Nachteil des dort beschriebenen Verfahrens besteht darin, daß nur ein einziger stationärer Zustand des Arbeitsmittels erfaßt und kein Überblick über die Gesamtheit der möglichen Belastungsfälle gegeben wird. Bei der Bestimmung der Kontaktflächen-größe sind prinzipiell alle Einflußfaktoren zu berücksichtigen. Das sind von seiten des Fahrwerks (Rad)

- vertikale Radbelastung
- Breite und Durchmesser des verwendeten Luftreifens
- Innendruck des Luftreifens
- Lagenkennzahl des Luftreifens (PR-Ziffer)
- Bauform der Reifenkarkasse (Radial- oder Diagonalreifen)

und von seiten der Fahrbahn

- Bodenart und -zusammensetzung (Korngrößenverteilung)
- Oberflächenzustand (Bewuchs, Ernterückstände)
- Dichte und Feuchtigkeit.

Für vergleichende Bewertungen erschien es zweckmäßig, die schwer zu erfassenden und niemals genau zu reproduzierenden Einfluß-