

# Probleme des Einsatzes von Fahrzeugen auf landwirtschaftlich genutztem Boden

Dr.-Ing. R. Richter, KDT, Forschungszentrum für Mechanisierung der Landwirtschaft Schlieben/Bornim der AdL der DDR  
Dipl.-Landw. B. Hofmann, Martin-Luther-Universität Halle—Wittenberg, Sektion Pflanzenproduktion

## 1. Problemstellung

In der Pflanzenproduktion ist bei den meisten Arbeitsoperationen das Befahren landwirtschaftlich genutzten Bodens mit Landmaschinen, Traktoren und Transportfahrzeugen (zusammengefaßt Fahrzeuge genannt) erforderlich. Eine wichtige Baugruppe dieser Fahrzeuge ist das Fahrwerk.

Die notwendige Steigerung der Arbeitsproduktivität erfordert den Einsatz immer leistungsfähigerer Mechanisierungsmittel. Damit waren bisher meistens eine Zunahme der Gesamtmasse des einzelnen Fahrzeugs, höhere Anforderungen an die aufzubringende Zugkraft und ein Erhöhen der Fahrgeschwindigkeit verbunden. Insgesamt resultiert daraus eine Vergrößerung der vom Fahrwerk auf die Fahrbahn Boden zu übertragenden Kräfte.

Beim Befahren des Bodens besteht die Besonderheit, daß die Fahrbahn gleichzeitig Pflanzenstandort und aufgrund ihrer Eigenschaften bezüglich der Kraftübertragung bei ungünstigem Bodenzustand der begrenzende Faktor für die Fortbewegung von Fahrzeugen ist.

Wesentliche Bewertungskriterien eines Fahrzeugs für den Einsatz auf landwirtschaftlich genutztem Boden sind demzufolge

- die Wirkung des Befahrens auf den Boden, der als Pflanzenstandort vor allem günstige Voraussetzungen für das Erreichen hoher und stabiler Erträge gewährleisten muß
- der technische Vorgang des Fahrens, dessen Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit gewährleistet sein müssen.

Diese beiden Gesichtspunkte beinhalten die Kraft- und Bewegungsübertragung zwischen Fahrwerk und Boden und sind von gleichberechtigter Bedeutung für Fahrwerke, die auf landwirtschaftlichen Nutzflächen eingesetzt werden. In Abhängigkeit von Art und Aufgabe eines Fahrzeugs sowie dessen Einsatzspektrum sind die Anforderungen sowohl an das Fahrvermögen als auch hinsichtlich der zulässigen Einwirkung auf den Boden unterschiedlich.

Voraussetzung für die Berücksichtigung dieser Tatsache bei der Fahrwerkentwicklung ist, daß die Gesetzmäßigkeiten der Wechselwirkung zwischen Fahrwerk und Boden als Fahrbahn und Pflanzenstandort ausreichend erforscht und praktisch anwendbar aufbereitet sind. Im folgenden sollen dazu einige Probleme dargestellt werden.

## 2. Kraftübertragung zwischen Fahrwerk und Boden

Die Kraftübertragung vom Fahrwerk auf den Boden läßt sich vereinfacht als eine Druckbeanspruchung infolge der vertikalen Radkraft und eine Schubbeanspruchung beim Übertragen der Triebkraft darstellen. Im Boden treten dabei Druck- und Schubspannungen auf [1, 2]. Der Aufbau der Spannungen ist stets mit einer Verformung des Bodens verbunden, die größtenteils plastisch ist und sich im Einsinken der Räder (Spurbildung) und im Schlupf der Triebäder äußert.

Hat der Boden eine ausreichende Festigkeit

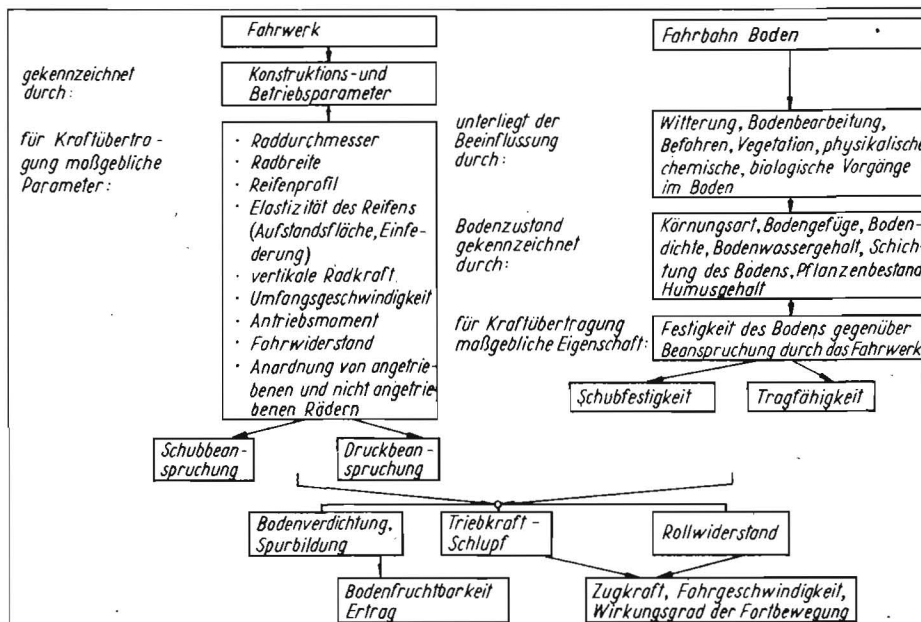


Bild 1. Darstellung der Beziehungen zwischen Fahrwerk und Fahrbahn Boden

gegenüber den auf ihn einwirkenden Beanspruchungen, also eine ausreichende Tragfähigkeit (Druckfestigkeit) und Schubfestigkeit, so können die Kräfte übertragen werden und das Fahren ist möglich.

Bei der Verformung des Bodens erfolgt ein Verdrängen von Luft und Wasser aus größeren Bodenhohlräumen und -poren ( $< 10 \mu\text{m}$ ), so daß eine dichtere Lagerung der Bodenteilchen zueinander hervorgerufen wird.

Wenn die Schubfestigkeit des Bodens durch ungenügende Verzahnung von Fahrwerk und Boden (z. B. bei harter, ausgetrockneter Fahrbahn, beim Vorliegen einer Schmierschicht, wenn sich das Reifenprofil mit Boden zugesetzt hat) nicht mobilisiert werden kann, ist für das Übertragen der Triebkraft die in der Berührungsfläche zwischen Fahrwerk und Boden übertragbare Reibkraft maßgebend.

Wesentliche Einflußgrößen auf die Kraftübertragung zwischen Fahrwerk und Boden sind die mechanischen Eigenschaften der im Kontakt miteinander stehenden Elemente des Fahrwerks und des Bodens sowie die durch Konstruktions- und Betriebsparameter des Fahrwerks bestimmten Beanspruchungsverhältnisse (Bild 1). Die besondere Problematik des Befahrens von Boden besteht darin, daß sich seine Festigkeit durch vielfältige Einflußfaktoren in einem weiten Bereich verändern kann und damit sehr unterschiedliche Bedingungen für die Kraftübertragung bestehen.

## 3. Auswirkungen des Befahrens auf den Boden

Die zu erwartende Schädigung durch Befahren hängt bodenseitig von verschiedenen Faktoren ab. Dazu gehören u. a.:

- Bodensubstrat (Körnungsart, Humusgehalt)
- aktueller Bodenwassergehalt

— Bodengefüge, Lagerungsdichte, Bodenfestigkeit

— angebaute bzw. anzubauende Fruchtart.

Negative Auswirkungen bestehen vor allem in der Zunahme der Lagerungsdichte sowie der damit verbundenen Verschlechterung weiterer bodenphysikalischer Parameter, der Spurbildung und der Beschädigung von ober- und unterirdischen Pflanzenteilen beim Befahren von Pflanzenbeständen. Die Bodenverdichtung wird von seiten des Fahrwerks hauptsächlich durch die Größe des Auflagedrucks (abhängig von vertikaler Radkraft, Reifendurchmesser, Reifenbreite und Elastizität des Reifens), die Fahrgeschwindigkeit und die Anzahl der Fahrten in einer Spur bestimmt. Außerdem ist ein Einfluß der Schubbeanspruchung und des Rad-schlupfes auf die Verdichtung und die Erosionsgefährdung des Bodens vorhanden, der aber bisher noch nicht ausreichend geklärt ist [3, 4]. Die Verdichtung des Bodens durch Befahren äußert sich in folgenden für die Entwicklung der Kulturpflanzen ungünstigen Bedingungen:

- Beeinträchtigen des Wasserhaushalts durch verminderte Infiltration von Niederschlägen, erhöhte Evaporation und oberflächliche Abflußverluste, die in hängigem Gelände Erosionsschäden hervorrufen können
- Vermindern der Luftkapazität auf einen Volumenanteil von  $< 10\%$ ; Herabsetzen des Gasaustausches und der Erwärmbarkeit (im Frühjahr)
- Senkung der biologischen Aktivität im Boden
- Erhöhen des Durchdringungswiderstands für die Pflanzenwurzeln, erschwerte Wasser- und Nährstoffversorgung
- ungenügender Saatgutkontakt sowie große Streuungen in der Saatgutablagertiefe in-

folge zu grober Aggregation des Saatbettes in den Fahrspuren, die zu verzögertem Saatgutaustrag und ungleichmäßigen Pflanzenbeständen führen.

Daraus resultieren Ertragsausfälle [5], u. a. bei Zuckerrüben, Kartoffeln sowie Sommergerste, und eine Minderung der Qualität der Ernteprodukte (z. B. Beinigkeitsgrad bei Zuckerrüben, Veränderung der Knollengrößenanteile bei Kartoffeln, negative Auswirkungen auf den Gehalt an Inhaltsstoffen) im Spurenbereich (Tafel 1). Vor allem unter extremen Witterungsbedingungen während der Vegetationszeit (Trockenheit) treten Ertragsverluste auf, die z. B. in den Spuren des Traktors K-700 zur Bestellung im Frühjahr auf Lößstandorten (Lö 1; StG 9) bei Zuckerrüben (Körper) mehr als 30% betragen können.

Darüber hinaus erfordern durch Befahren verursachte Bodenverdichtungen und Fahrspuren erhöhte Aufwendungen bei der nachfolgenden Bodenbearbeitung und schränken die Möglichkeiten zur Rationalisierung der Grundbodenbearbeitung erheblich ein.

Bezüglich der zu erwartenden Verdichtungswirkung ist neben dem Zeitpunkt des Befahrens (vor oder nach der Grundbodenbearbeitung, verschiedene Vegetationsstadien) der aktuelle Bodenwassergehalt von großer Bedeutung. Eine starke Schädigung der Bodenstruktur ist häufig bei der Bestellung im Frühjahr zu beobachten, da sowohl Krume als auch Unterboden infolge der Winterniederschläge einen hohen Bodenwassergehalt haben und dadurch die Gefahr zunehmender Verdichtbarkeit vorliegt. Diese Tatsache ist von ausschlaggebender Bedeutung, da nach der Grundbodenbearbeitung entstandene Verdichtungen durch Saatbettbereitungsmaßnahmen nur im oberflächennahen Krumenraum beseitigt werden und die darunter befindlichen Verdichtungsschichten bezüglich ihrer Ertragsbeeinflussung voll wirksam bleiben.

Bei der Saatbettbereitung im Herbst ist dagegen der Boden häufig zu trocken, so daß durch mangelnde Bearbeitungswirkung der Saatbettbereitungsgeräte kein genügender Bodenschluß hergestellt wird. In den verdichteten Fahrspuren ist der Keimwasseranschluß unter diesen Bedingungen meist gesichert, und der Feldaufgang wird demzufolge nicht selten positiv beeinflusst.

Durch Befahren von Pflanzenbeständen (z. B. Ausbringung von Agrochemikalien) ist neben der Verdichtungswirkung auch eine Beschädigung von Pflanzenteilen zu verzeichnen, deren Ausmaß mit fortschreitender Vegetationsdauer erheblich zunehmen. Bei der Getreideernte hat der Boden durch Dichtlagerung und Austrocknung eine relativ große Festigkeit, so daß unter diesen Bedingungen die Belastung durch Erntemaschinen und Transportfahrzeuge vor allem auf Löß- und Verwitterungsböden aus ackerbaulicher Sicht meistens kein Problem darstellt.

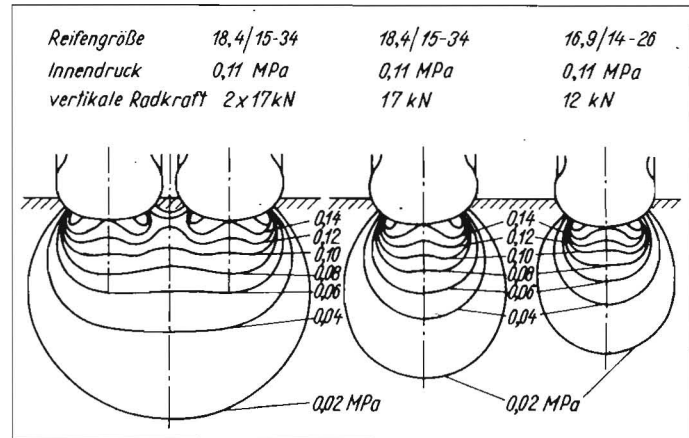
Zur Hackfrüchtereinte im Spätherbst liegt infolge hohen Bodenwassergehalts häufig ein für das Befahren ungünstiger Bodenzustand vor. Die durch Erntemaschinen und Transportfahrzeuge fast ganzflächig entstandenen Verdichtungen der Hackfruchtflächen, die bis zur Krumenbasis und teilweise darüber hinaus wirken können, werden durch die nachfolgende Grundbodenbearbeitung meistens nicht vollständig beseitigt. Ein Verdichten des Unterbodens muß unbedingt vermieden werden, da diese Strukturschäden durch die übliche Grundbodenbearbeitung allein nicht zu beheben sind, sondern ein energie- und ko-

Tafel 1. Auswirkungen des Raddrucks bei der Saatbettbereitung auf Zuckerrüben-ertrag und Beinigkeitsgrad auf einer Lößschwarzerde (UL/Lö 1; StG 9) in Abhängigkeit vom Bodenwassergehalt (in einer Tiefe von 0 bis 20 cm) beim Befahren (nach [5])

| Raddruck   | mittlerer Bodenwassergehalt (Massenanteil in %) |      |      |                     |
|--|---|------|------|---------------------|
|  | 17,9  | 20,5 | 22,1 |                     |
| <b>Rübenkörperertrag in g/Pflanze (Mittelwert der Jahre 1976—1978)</b>       |   |      |      |                     |
| neben Spur   | 401   | 385  | 387  | rel. 100            |
| Spur MTS-52  | 371   | 361  | 327  | 90                  |
| Spur K-700   | 345   | 315  | 293  | 81                  |
| rel.   | 100   | 95   | 90   |                     |
| <b>Rübenblätterertrag in g/Pflanze (Mittelwert der Jahre 1976—1978)</b>      |   |      |      |                     |
| neben Spur   | 449   | 452  | 447  | rel. 100            |
| Spur MTS-52  | 439   | 465  | 432  | 99                  |
| Spur K-700   | 439   | 413  | 379  | 91                  |
| rel.   | 100   | 100  | 95   |                     |
| <b>Beinigkeitsgrad der Rübenkörper in % (Mittelwert der Jahre 1976—1977)</b> |   |      |      |                     |
| neben Spur   | 26,8  | 28,4 | 27,0 | $\bar{x}^{1)}$ 27,4 |
| Spur MTS-52  | 28,9  | 32,4 | 34,3 | 31,9                |
| Spur K-700   | 46,8  | 47,9 | 58,0 | 50,9                |
| $\bar{x}^{1)}$   | 34,2  | 36,2 | 39,8 |                     |

1) Mittelwert der geprüften Stufen von Bodenwassergehalt und Raddruck

Bild 2  
Ausbildung der Druckspannungen im Boden unter Traktorbearbeitung mit unterschiedlicher Breite (nach Söhne [6])



stenaufwendiges Tieflockern des Bodens erfordern.

Mit dem Einsatz größerer und schwerer Fahrzeuge besteht die Gefahr zunehmender Unterbodenverdichtungen, da die Druckwirkung der Räder mit steigenden vertikalen Radkräften tiefer in den Boden reicht, selbst wenn die Flächenpressung in den Kontaktflächen durch den Einsatz von größeren Reifen oder Mehrfachbereifung konstant bleibt (Bild 2). Weitere Faktoren, die die Verdichtung und somit das Ertragsgeschehen beeinflussen, sind die durch Fahrwerke verursachten Spurenteile und die Anzahl der Fahrten in einer Spur.

#### 4. Fahrvermögen von Fahrzeugen

Das Fahrvermögen von Fahrzeugen ist vorhanden, wenn die zwischen Fahrwerk und Boden übertragbare Triebkraft größer als die Summe der Fahrwiderstände (Rollwiderstand, Beschleunigungswiderstand, Zugwiderstand, Steigungswiderstand) ist und somit eine Fortbewegung ermöglicht. Unmittelbar von der Kraftübertragung zwischen Fahrwerk und Boden sind die Triebkraft und der Rollwiderstand abhängig.

Als Bewertungskriterien für das Fahrvermögen eines Fahrwerks sind die freie Zugkraft (Triebkraft minus Rollwiderstand) und der Wirkungsgrad der Energieübertragung von besonderem Interesse. Ein hoher Wirkungsgrad muß vor-

allem für den Einsatz unter normalen Bodenbedingungen gesichert werden, um eine günstige Verwertung der eingesetzten Energie zu gewährleisten. Die freie Zugkraft ist besonders von Bedeutung, wenn unter ungünstigen Fahrbahnbedingungen (geringe Festigkeit des Bodens) das Fahrvermögen zu sichern ist. Die wesentlichen Einflußfaktoren auf das Fahrvermögen sind die vertikale Radkraft, der Fahrwiderstand, die Größe und Form der Kontaktfläche zwischen Fahrwerk und Boden, das Reifenprofil und die Anordnung von angetriebenen und nicht angetriebenen Rädern sowie die Schubfestigkeit und Tragfähigkeit des Bodens. Die Variationsbereiche des Zugkraft- und Rollwiderstandsbeiwerts (Bild 3) demonstrieren die unterschiedlichen Bedingungen für die Kraftübertragung von seiten des Bodens. Eine Beeinträchtigung des Fahrvermögens von Fahrwerken führt zu solchen negativen Auswirkungen, wie

- Verringerung der Fahrgeschwindigkeit bis zum vollständigen Einstellen des Fahrvermögens, Verminderung der Zugkraft oder der Lademassee; dadurch kann eine Störung des technologischen Ablaufs der Arbeitsprozesse auftreten
- Erhöhung des Energiebedarfs mit zunehmendem Schlupf der Triebäder und zum Überwinden des Rollwiderstands
- Erhöhung des Verschleißes der Antriebs- und Fahrwerkbaugruppen

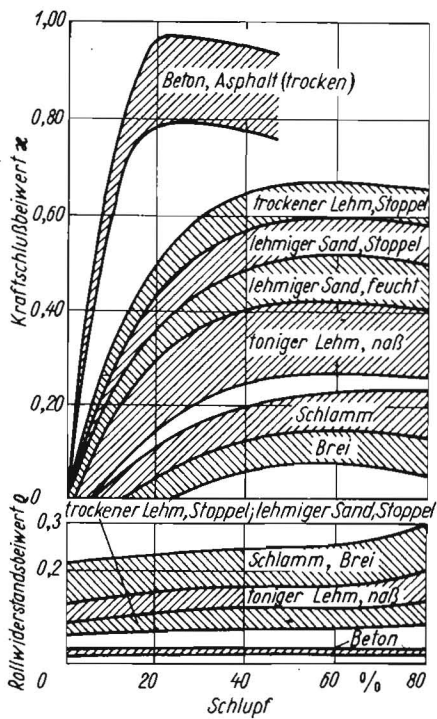


Bild 3. Kraftschluß- und Rollwiderstandsbeiwert in Abhängigkeit vom Schlupf bei verschiedenen Bodenzuständen (nach Söhne [7])

— Schäden beim Abschleppen von festgefahrenen Fahrzeugen an Boden, Pflanzenbestand und Fahrzeugen.

Von wesentlichem Umfang können dabei auch die Folgeschäden sein, wenn durch mangelndes Fahrvermögen die Durchführung der Arbeiten zu agrotechnisch günstigen Terminen nicht gesichert wird oder Verluste an Ernteprodukten auftreten.

### 5. Maßnahmen zur Minderung negativer Auswirkungen

Um die o.g. negativen Erscheinungen beim Befahren des Ackerbodens und ihre Auswirkungen weitestgehend zu mindern, sind neben fahrzeugtechnischen auch acker- und pflanzenbauliche sowie verfahrenstechnische Maßnahmen in Betracht zu ziehen. Vor allem sollten die Häufigkeit des Befahrens und der Anteil der befahrenen Fläche gering gehalten werden. Des weiteren sind Ackerflächen nach Möglichkeit nicht zu befahren, wenn ungünstige Bodenzustände vorliegen (geringe Festigkeit, hohe Verdichtungsempfindlichkeit). Konkrete Maßnahmen können dazu sein:

- Anwenden des Fahrspurprinzips, bei dem eine Trennung der befahrenen und der von Pflanzen bewachsenen Flächen möglichst schon bei der Saatbettbereitung erfolgt
- Kombination mehrerer Arbeitsgänge sowie Vergrößern der Arbeitsbreite, vor allem bei der Saatbettbereitung und Aussaat, zum Verringern des Fahrspuranteils
- Anwenden wirkungsvoller Spurlockerer
- Einhalten der agrotechnischen Termine durch Komplex- und Schichteinsatz
- Ausnutzen des Wegenetzes und seine zweckmäßige Gestaltung und Instandhaltung sowie Abstimmen der Leistungsfähigkeit von Landmaschinen mit Transporteinheiten und Schlaglängen zum Erreichen geringer Feldfahrstrecken.

Acker- und pflanzenbauliche Maßnahmen bestehen u. a.

- im Nutzen aller Möglichkeiten zur einfachen und erweiterten Reproduktion der organischen Substanz
- in der ausreichenden Kalkung und Phosphorsäuredüngung
- im Einhalten aller Qualitätsparameter bei Grundbodenbearbeitung und Saatbettbereitung.

Darüber hinaus kann durch standortspezifische Meliorationsmaßnahmen ein schnelles Abtrocknen der Ackerflächen und dadurch bodenschonender Einsatz der Mechanisierungsmittel erreicht werden.

Bei den fahrzeugtechnischen Maßnahmen geht es vor allem darum, die Beanspruchung des Bodens in vertretbaren Grenzen zu halten und die dabei unter den konkreten Einsatzbedingungen vorliegende Festigkeit nicht zu überschreiten. Das ist besonders durch einen geringen Bodenaufdruck und die Einleitung der Schubbeanspruchung über eine große Fläche und mit geringem Schlupf zu erreichen. Eine den Gesamtmassen und Zugkraftanforderungen heutiger und künftiger Fahrzeuge entsprechende Fahrwerkgestaltung erfordert dann Reifen mit großem Durchmesser, großer Breite und hoher Verformbarkeit (große Auflagefläche), zweckmäßiger Profilform (Stollenprofil), das Anwenden von Mehrachsfahrwerken, Gleisketten o. ä. die Auflagefläche vergrößernder Einrichtungen. Weitergehende Maßnahmen zur Verringerung der Gesamtmassen und Fahrwiderstände, z. B. durch Leichtbau, Anwenden von Arbeitswerkzeugen mit neuen Wirkprinzipien (z. B. bei Bodenbearbeitungswerkzeugen, Rodewerkzeugen von Hackfrüchternemaschinen), sind ebenfalls in Betracht zu ziehen. Aus der Vielzahl der möglichen Maßnahmen geht der komplexe Charakter des Problems hervor. Welche Maßnahmen unter den jeweiligen Produktionsbedingungen in einer konkreten Situation anzuwenden sind, hängt vom erforderlichen Aufwand und dem damit erreichbaren Nutzen ab. Speziell fahrzeugtechnische Maßnahmen erfordern einen hohen Aufwand, um bei steigender Leistungsfähigkeit der Fahrzeuge eine geringe Beanspruchung des Bodens zu gewährleisten. Diese Maßnahmen schränken meistens auch den Einsatz der Fahrzeuge auf befestigten Straßen ein oder führen zu erhöhtem Verschleiß bestimmter Fahrwerkelemente (z. B. Niederdruckreifen auf befestigten Straßen).

Es ist deshalb sicher nicht zweckmäßig, Fahrwerke für alle denkbaren ungünstigen Fahrbahnbedingungen zu konzipieren, sondern ihre Dimensionierung sollte an der Häufigkeit des Vorkommens ungünstiger Fahrbahnzustände orientiert werden. Ein derartiges Vorgehen verlangt aber begründete Angaben darüber, bei welchem Zustand des Bodens Fahrwerke ohne Einschränkungen und negative Auswirkungen eingesetzt werden müssen und welche selten vorkommenden Fahrbahnzustände zu beachten wären. Das bedeutet praktisch eine Optimierung des Aufwands für das Fahrwerk, der Effektivität des Fahrzeugeinsatzes und der Auswirkungen auf die Bodenfruchtbarkeit. Für die praktische Anwendung der bisher erkannten Gesetzmäßigkeiten ergibt sich daraus vor allem die Notwendigkeit der Ermittlung der

— quantitativen Zusammenhänge zwischen der

auf den Boden wirkenden Beanspruchung, den Parametern des Fahrwerks und den Eigenschaften des Bodens einerseits und den Auswirkungen des Befahrens auf den Pflanzenertrag und dem Fahrvermögen andererseits

- Häufigkeit des Vorkommens ungünstiger Fahrbahnzustände.

Das setzt voraus, daß geeignete Meßgrößen und statistische Methoden zur Kennzeichnung der Eigenschaften des Bodens und der Häufigkeit ihres Auftretens angewendet werden. Wichtige Eigenschaft bezüglich der Kraftübertragung ist die Festigkeit des Bodens (s. Abschn. 2.), so daß darauf aufbauend eine geeignete Meßmethode zu finden ist, die die Beanspruchungsverhältnisse bei der Fahrwerkeinwirkung in ausreichendem Maß berücksichtigt und unter den praktisch vorkommenden Bodenzuständen einsetzbar ist.

### 6. Zusammenfassung

Der zunehmende Einsatz von Landmaschinen, Traktoren und Transportfahrzeugen mit hoher Gesamtmasse und die steigenden Zugkraftanforderungen führen zu einer erhöhten Beanspruchung des Bodens beim Übertragen der vertikalen Radkraft und der Triebkraft. Dadurch erhöht sich die Gefahr, daß durch eine zu hohe Beanspruchung bei einem ungünstigen Bodenzustand negative Auswirkungen auf die Bodenfruchtbarkeit und das Fahrvermögen der Fahrzeuge auftreten. Es werden einige Folgen des Befahrens von Ackerboden und unzureichenden Fahrvermögens dargestellt.

Maßnahmen zur Vermeidung negativer Auswirkungen können auf fahrzeugtechnischem, acker- und pflanzenbaulichem und verfahrenstechnischem Gebiet liegen. Speziell fahrzeugtechnische Maßnahmen erfordern meistens einen hohen Aufwand und sind deshalb sorgfältig an dem erreichbaren Nutzen zu messen. Dazu ist es wichtig, begründete Angaben über die Häufigkeit des Vorkommens eines für das Befahren ungünstigen Bodenzustands zu ermitteln und darauf die Dimensionierung von Fahrwerken aufzubauen.

### Literatur

- [1] Söhne, W.: Wechselbeziehungen zwischen Fahrzeuglaufwerk und Boden beim Fahren auf unbefestigter Fahrbahn. Grundlagen der Landtechnik (1961) H. 13, S. 21—34.
- [2] Krick, G.: Druck- und Schubverteilung unter Rädern und Reifen auf nachgiebigem Boden unter Berücksichtigung der Reifendeformation. Proceedings of the 3rd intern. conference ISTVS, Essen 1969, Bd. II, S. 50—75.
- [3] Kuznecov, N. G.: Einfluß der Traktorfahrwerke und der Arbeitsorgane von Landmaschinen auf die Bodenfruchtbarkeit. agrartechnik 27 (1977) H. 10, S. 440—442.
- [4] Raghavan, G. V. S., u. a.: Effect of Wheel Slip on Soil Compaction (Wirkung des Radschlupfes auf die Bodenverdichtung). J. agric. Engng. Res. 22 (1977) H. 1, S. 79—83.
- [5] Ernich, D.: Auswirkungen des Raddruckes auf die Bodenstruktur und den Pflanzenertrag und daraus abgeleitete agrotechnische Forderungen an den Technikeinsatz bei der Saatbettbereitung. Wiss. Beiträge der Martin-Luther-Universität Halle—Wittenberg (1980) H. 14, S. 9—34.
- [6] Söhne, W.: Neue Erkenntnisse beim Bau von Ackerschleppern. Agrartechnik international (1976) H. 9, S. 8—12.
- [7] Söhne, W.: Beitrag zur Mechanik des Systems Fahrzeug-Boden unter besonderer Berücksichtigung der Ackerschlepper. Grundlagen der Landtechnik (1963), H. 17, S. 5—16.