



Bild 3. Das Gesicht der neuen Ford-Traktorenreihe

Bei schrittweiser Realisierung dieser Tendenzen wird letzten Endes der Benutzer kaum den Unterschied zwischen beiden Getriebearten merken und auch der ökonomische Vergleich wird kaum das eine oder das andere Getriebe ausschließen.

### 2.3. Hydraulik

Der derzeitige Stand auf dem Gebiet der Traktorhydraulik zeigt ein solch hohes Niveau, daß von Jahr zu Jahr mehr Sättigungserscheinungen der Entwicklung sichtbar werden. Für den aufmerksamen Beobachter nimmt die Zuwachsrates der Verbesserung ab. Heute besitzt jeder weltmarktfähige Traktor eine Regelhydraulik auf der Basis der Zugkraft- und Lage-regelung, ein oder mehrere Hydraulikanschlüsse nach außen und ist in der Lage, einen Förderstrom von 15 bis 30 l/min nach außen zu liefern. Eine absolute Spitze von 45 l/min nach außen kann Massey-Ferguson nachweisen. Diese Charakteristik deutet schon das Aufkommen einer hydraulischen Zapfwelle an. Die verwendeten Drücke liegen bei 175 kp/cm<sup>2</sup>.

Bei einzelnen Entwicklungen wird aber auch schon mit  $\approx 300 \text{ kp/cm}^2$  gearbeitet. In diesem Zusammenhang soll darauf hingewiesen werden, daß auch die Pneumatik wegen der günstigen Preislage gute Aussichten besitzt, bei der Automatisierung am Traktor Verwendung zu finden.

### 3. Industriemäßiger Einsatz von Traktoren

Die notwendige weitere Erhöhung der Arbeitsproduktivität der Traktoren wird vorerst durch Leistungssteigerung und Verbesserung der Einmannbedienung vorangetrieben. Diese Tendenzen können jedoch nicht unbeschränkt fortschreiten, ohne in eine neue Qualität der Traktorenkonzeption und des Einsatzes umzuschlagen. Wichtige Hinweise kann die neue wissenschaftliche Disziplin der Terramechanik geben.<sup>1</sup>

### 4. Forschung

Das Verhältnis von Forschungsbesatz zu Produktionsbesatz hat sich weiter zu Gunsten der Forschung und Entwicklung verändert, seitdem man die gezielte schöpferische Forschung als Produktivkraft erkannt hat. Die Aufgaben der Forschung verlagern sich mit ihrem Schwerpunkt immer mehr auf Vorlaufarbeit. Die Erarbeitung des wissenschaftlich-technischen Vorlaufs ist ein kontinuierlicher Prozeß der Erkundung der möglichen und der für den Absatz aussichtsreichsten Entwicklungslinien, des Durchdringens zu einer eigenen schöpferischen Konzeption im Rahmen der technologischen Möglichkeiten oder Perspektiven des Produktionsbetriebes.

### 5. Zusammenfassung

Es wurde versucht, aus den auf dem internationalen Markt vorhandenen Traktor-Typen eine Einschätzung des Entwicklungsstandes und der sich abzeichnenden Tendenzen zu geben. Erhöhte Bedeutung kommt in der Zukunft der quantitativen Vergleichsmessung in Theorie und Praxis als Ausgangspunkt für die eigene Marschroute zu.

A 6330

<sup>1</sup> s. anschließenden Aufsatz

## Die Bedeutung der „Terra-Mechanik“ für den Traktorenbau und den Einsatz landwirtschaftlich genutzter Fahrzeuge

Dipl.-Ing. K. WEHSELY  
A. M. I. Mech. E.\*

Ziel dieses Beitrages ist es, einen ganz allgemeinen Überblick und Eindruck von der neuen wissenschaftlichen Disziplin „Terra-Mechanik“ zu geben, um das Interesse der Wissenschaft und Industrie für sie zu wecken. Es wird deshalb bewußt auf jede nähere zeichnerische Erläuterung der Zusammenhänge – auch im Interesse der Kürze – verzichtet und auch nur jener Teil der Disziplin berührt, der sich mit Boden-Fahrzeug-Beziehungen beschäftigt.

### 1. Problemstellung

Die unterschiedlichen klimatischen Verhältnisse, die den Ablauf aufeinanderfolgender landwirtschaftlicher Kampagnen sehr weitgehend beeinflussen, stellen den Landwirt vor nicht geringe Probleme. Besondere Schwierigkeiten jedoch bereiten dem Landwirt jene Probleme, die unter dem Begriff „Befahrbarkeit des Erdbodens“ zusammengefaßt werden können.

Die Erscheinungen dieses Problemkomplexes sind: festgefahrene Traktoren, im Feld bis an die Radachsen versunkene Anhänger, beängstigend tiefe Radspuren der Mäh-drescher und anderer Großmaschinen, letztlich Pferdewespanne, die die „moderne Technik“ aus einer äußerst mißlichen Lage herausziehen usw.

Allzulange hat der Landwirt, aber auch der Fahrzeughersteller, vor und außerhalb dieses komplizierten Problemkreises gestanden und dies mit der Ansicht begründet, daß das Erkennen der Gesetzmäßigkeiten des Bodens viel zu kompliziert sei, sich für eine numerische Analyse wenig

eigne und das Verstehen der Bodeneigenschaften nur einigen wenigen alten Praktikern mit entsprechendem Fingerspitzengefühl gegeben sei.

Für den Traktorenbau ist es von allergrößter Bedeutung, zu wissen, ob der Energieträger auch als Schlechtwettermaschine eingesetzt werden kann, weil dann die energetische Schlagkraft der Landwirtschaft wesentlich erhöht wird. Zu einseitig ist die Begeisterung für Wirkungsgradverbesserungen an Getrieben im Rahmen von 3 % oder für spezif. Brennstoffverbrauchs-senkungen von 5 g/PS<sub>h</sub>, während die Traktoren fortwährend mit beträchtlichem Schlupf arbeiten und schwer zu beseitigende Bodenverdichtungen auf den Feldern verursachen.

Vor dem Traktorenbau und den Herstellern landwirtschaftlich genutzter Fahrzeuge steht die Aufgabe der Aneignung und Beherrschung der scheinbar im Dunkel liegenden Gesetzmäßigkeiten des Systems Boden – Fahrzeug, während die Benutzer dieser Fahrzeuge entsprechend der ihren Böden innewohnenden spezifischen Eigenschaften lernen müssen, die entsprechenden Fahrzeuge unter den zugeordneten Bedingungen einzusetzen.

### 2. Stand des Wissens auf dem Gebiet der Terra-Mechanik

Zeichenerklärung

$G$	[kg]	Fahrzeugmasse
$p$	[kp/cm <sup>2</sup> ]	spezifischer Bodendruck
$p_c$	[kp/cm <sup>2</sup> ]	Karkassensteifheit von Luftreifen
$p_i$	[kp/cm <sup>2</sup> ]	Reifeninnendruck
$\gamma$	[kp/cm <sup>3</sup> ]	Bodenwichte

\* Konsultant Ingenieur; Institut für Landmaschinen- und Traktorenbau Leipzig (Direktor Dr.-Ing. H. REICHEL)

$\tau_x$	[kp/cm <sup>2</sup> ]	spezifische Scherkraft im Boden in Richtung $x$
$l$	[cm]	Eindruckweg einer mit veränderlicher Last beaufschlagten Bodenplatte, Spurtiefe
$b$	[cm]	Breite der Bodenplatte oder Rad
$c$	[kp/cm <sup>2</sup> ]	spezifische Bodenkohäsion (nach Coulomb)
$\Phi$	[Winkelgrade]	Reibungswinkel
$K_c$	[kp/cm <sup>n+1</sup> ]	Kohäsionsmodul des Bodens
$K_c'$		Kohäsionsmodul des Bodens; dimensionslos
$K_\Phi$	[kp/cm <sup>n+2</sup> ]	Reibungsmodul des Bodens
$K_\Phi'$		Reibungsmodul des Bodens; dimensionslos
$K, K_i$	[cm]	Horizontaler Bodenverformungsmodul
$n$		Empirischer Bodeneindruckexponent
$\sigma$	[ $\frac{u}{g}$ ]	Schlupf
$x$	[cm]	Abstand vom Anfang der Radaufstandsfläche bis zum Angriffspunkt der Scherkraft im Boden
$y_{max}$		Maximaler Wert der Funktion

$$\left[ e^{(-K_2 + \sqrt{K_2^2 - 1}) \cdot K_1 \cdot \sigma \cdot x} - e^{(-K_2 - \sqrt{K_2^2 - 1}) \cdot K_1 \cdot \sigma \cdot x} \right]$$

Es ist unmöglich, eine Einschätzung dieser neuen wissenschaftlichen Disziplin zu geben, ohne die Pionierarbeit von BERNSTEIN [1] und GORJATSCHIKIN [2] zu erwähnen. BERNSTEIN begann mit der Spannungs-Dehnungsbeziehung des Bodens

$$p = K \sqrt{l} \quad (1)$$

während GORJATSCHIKIN diesen Zusammenhang auf

$$p = K \cdot l^n \quad (2)$$

verallgemeinerte. Aufbauend auf diese Grunderkenntnisse haben seither eine große Anzahl von Wissenschaftlern in mühsamer Stückerarbeit die einzelnen Aspekte der Boden-Fahrwerksproblematik vorwärts gebracht und zum Teil gelöst.

Da das Bewegungsproblem von Fahrzeugen in erster Linie vom Tragfähigkeitskriterium des Bodens abhängt, betrachtet BEKKER [3] das Befahren des Bodens durch ein Fahrzeug als ein Brückenbelastungsproblem, wobei ähnlich vorgegangen werden soll wie bei der Lösung eines Belastungsproblems einer Stahlbrücke. Zur Lösung dieser Aufgabe benötigt man allgemein anwendbare Beziehungen zwischen den Bodenwerten  $c, \Phi, K_c, K_\Phi, K_i, n$ , die als statistisch-kartographisch datenverarbeitende Werte vorliegen müssen, und den Spannungs-Dehnungsbeziehungen des Bodens.

BEKKER [3] erweiterte und verallgemeinerte die Beziehung (2) auf

$$p = \left( \frac{K_c}{b} + K_\Phi \right) \cdot l^n \quad (3)$$

und das Coulombsche Gesetz auch für Zwischenwerte von  $\tau_x$  auf

$$\tau_x = \frac{c + p \cdot \tan \Phi}{y_{max}} \left[ e^{(-K_2 + \sqrt{K_2^2 - 1}) \cdot K_1 \cdot \sigma \cdot x} - e^{(-K_2 - \sqrt{K_2^2 - 1}) \cdot K_1 \cdot \sigma \cdot x} \right] \quad (4)$$

und schuf damit eine feste Grundlage für den Aufbau der Terramechanik als einer geschlossenen wissenschaftlichen Disziplin.

REECE [4] verbesserte den Ausdruck (3) in Abstimmung mit neueren, aus Experimenten gewonnenen Erkenntnissen auf

$$p = \left( cK_c' + \gamma \cdot \frac{b}{2} \cdot K_\Phi' \right) \left( \frac{l}{b} \right)^n \quad (5)$$

und JANOSI [5] den Ausdruck (4) in eine vereinfachte und übersichtliche Form

$$\tau_x = (c + p \cdot \tan \Phi) \left[ 1 - e^{-\left( \frac{\sigma \cdot x}{K} \right)} \right] \quad (6)$$

Die allgemeinste Kennziffer der Fortbewegung von Fahrzeugen auf der Erdoberfläche ist

$$\xi = \frac{Z}{G} \quad (7)$$

Mit Hilfe der oben angeführten und weiter nicht genannter Ausdrücke ergibt sich

$$\xi = \tan \Phi - \frac{[b(p_i + pc)]^{\frac{n+1}{n}}}{1} \quad (8)$$

für Luftreifen.  $G (K_c + b K_\Phi)^n (n + 1)$

### 3. Anwendungsmöglichkeiten der Terra-Mechanik

Da der letzte Sinn der Wissenschaft so wie jeder menschlichen Erkenntnis u. a. eine Anleitung zur Produktion ist, interessieren hier die Möglichkeiten, die sich durch Anwendung der Erkenntnisse der Terra-Mechanik für den Bau von Traktoren und Landmaschinen und sonstigen Geländefahrzeugen bieten.

TESSMANN [6] weist nach, daß die international wirksame Gesetzmäßigkeit der technischen Revolution darin besteht, daß die Dynamik der Überführung wissenschaftlicher Erkenntnisse in die Fertigung sich absolut verstärkt, sowohl was die Verwandlung aller international erreichbaren Erkenntnisse als auch was das Tempo ihrer technischen Realisierung betrifft.

HEYDE [7] klärte in einem einheitlichen Konzept die Fragen der Schleppermechanik im Rahmen der klassischen Geländefahrt-Konzeption mit den Faktoren: Radparameter, Achslast, Fahrgeschwindigkeit, Drehmomentwandlung und Motorleistung.

BEKKER [3] klärte weitestgehend die Probleme des Geschehens unterhalb der Fahrwerkskontaktoberfläche und erarbeitete rückwirkend eine einheitliche Konzeption für die Datenerarbeitung vom Boden bis zur Motorleistung.

Der heutige Stand der internationalen Erkenntnis ist derart, daß das Gebäude ineinandergreifender und einander bedingender Ausdrücke vom Boden bis zum Fahrzeuggesamtwirkungsgrad dem Konstrukteur und dem Benutzer Werkzeuge in die Hand gibt, mit denen er – soweit er sie zu nutzen vermag – Voraussagen im Sinne der Wahrscheinlichkeit über das einzuschlagende Ziel und das zu erwartende Leistungsvermögen treffen kann.

Da die Bodenwerte  $c, \Phi, K_c, K_\Phi, n, K_i$  Funktionen des Bodenfeuchtigkeitsgehaltes sind, die im Labor und im Feld aufgenommen werden, ist es möglich, mit Hilfe des Begriffsgebäudes der statistischen Wahrscheinlichkeitsrechnung Leistungsprognosen für Geländefahrzeuge und Traktoren zu machen. Voraussetzung ist, daß diese Bodenwerte mit sogenanntem „Bevamer“ oder anderen Bodentestgeräten im statistischen Sinne aufgenommen worden sind. Dabei muß gesagt werden, daß die international gewonnenen Erkenntnisse der Terra-Mechanik sich nicht mechanistisch auf andere örtliche Bedingungen ohne weiteres übertragen lassen, sondern daß ein beträchtlicher experimenteller und theoretischer Aufwand des anwendenden Wissenschaftlers im national lokalen Bereich notwendig ist, um die internationalen Erkenntnisse schöpferisch und kritisch für die eigene Industrie und Landwirtschaft anzubereiten.

Die Zeit ist vielleicht nicht mehr fern, wo jeder Landwirt seinen Boden im „terramechanischen“ Sinne vermessen und der wahrscheinlich optimalsten Einsatzleistungen aufbereitet haben wird. Dann wird es auch möglich sein, den entsprechenden Traktor (Fahrwerk) auszuwählen, der die optimalste Leistung in bezug auf Fläche und Kosten, für den jeweiligen Bodenzustand, bringt.

Traktorenhersteller werden untereinander im Wettbewerb stehen, um die verlässlichsten Bodenwerte und ihre statistische Verteilung sowie die damit verbundene Datenverarbeitung zu erwerben, um Traktoren zu schaffen, die in den verschiedenen geographischen Gegenden (einschließlich des eigenen Landes) erfolgreich verkauft werden können. Dies läßt jetzt schon die Tendenz zu einer größeren Typenzahl erkennen, während heute noch Traktoren gebaut werden, ohne dabei auf die Bodeneigenschaften Rücksicht zu nehmen. Es läßt sich daher auch voraussagen, daß jene Traktorenhersteller besser im Rennen liegen, die diese verschiedenen Typenzahlen aus womöglich einer elastischen Grundkonzeption heraus fertigen können.

Aus alledem zeigt sich, daß die Disziplin der Terra-Mechanik solche Probleme wie Rollwiderstand, Zugvermögen, Tragfähigkeit, Profilüberwindungseigenschaften, Geschwindigkeitsoptimum usw. erfolgreich angeben kann, wenn die

wissenschaftlichen Erkenntnisse kritisch und schöpferisch verarbeitet sind.

BEKKER [8] faßt einige bis heute theoretisch und praktisch quantitativ nachgewiesene Erkenntnisse der Terra-Mechanik für Radtraktoren folgendermaßen zusammen:

- a) Traktorentriebskräfte steigen mit der Masse nur in Reibungsböden (sandigen Böden) an.  
In reibungslosen Böden, wie feuchtigkeitsgesättigte Lehme (Tone) können Triebkräfte nur durch Erhöhung der Bodenaufstandsfläche vergrößert werden.
- b) Die Form der Aufstandsfläche sowie ihre Richtung in bezug auf die Bewegungsrichtung sind genau so wichtig wie die Größe der Fläche und ihre Last.
- c) Lange, schmale Aufstandsflächen sind meist wirksamer als kurze breite. Dies führt zu neuen Reifenkonstruktionen und Reifenkombinationen.
- d) Ein hoher Grad der Elastizität der Reifenkarkasse ist notwendig vom Standpunkt des Leistungsvermögens.
- e) Luftdruckabsenkung hilft nur insoweit, als die Aufstandsfläche vergrößert wird. Dies hängt aber außer von der Last und den Radabmessungen auch vom Boden ab.
- f) Ein Niederdruck- und hochelastischer Reifen wird wie ein starres Rad wirken, wenn der Boden die kritische Festigkeit erreicht hat.
- g) Greifer und Spaten an Rädern sind in homogenen Sandböden praktisch unwirksam.
- h) Die Rodeinsinktiefe hängt von der Form der Aufstandsfläche und auch vom Bodendruck ab.
- i) Räder können in plastischen und fast reibungslosen Böden Gleisbänder nicht oder nur dann ersetzen, wenn ihre Aufstandsflächen oder deren Kombinationen einem übermäßig großen Rad entsprechen.
- j) Für jedes Gelände oder jeden Boden(zustand) gibt es optimale Radabmessungen und Räderanzahl, die die beste Leistung vollenbringen.
- k) Es bestehen quantitative Beziehungen zwischen Konstruktionsparameter und Fahrzeugform einerseits und Bodeneigenschaften andererseits. Das widerlegt den Mythos des alleinseligmachenden Universaltraktors. Jeder Traktor ist nur so gut als seine statistische

Anpassung an das Gelände und an den Boden, in dem er arbeiten soll.

- 1) Der Trend in der Morphologie des Traktors auf der Basis der nachgewiesenen Boden - Fahrzeugbeziehungen verlangt in Zukunft nach einer qualitativen Veränderung der Traktorenkonzeptionen.

#### 4. Vorläufige Aufgaben für Forschung und Lehre

- a) Kritisches Studium des Standes des Wissens und Schaffung eigener Erkenntnisse
- b) Kartographisch-statistische Bodenwertermittlung und deren sinngemäße Datenverarbeitung
- c) Erarbeitung von prognostischen Fahrwerkseinsatz-Leistungen und Möglichkeiten
- d) Ausbildung von Studenten in den Grundprinzipien der Terra-Mechanik

#### 5. Zusammenfassung

Es wurde versucht, einen informatorischen Überblick über die neue Disziplin „Terra-Mechanik“ zu geben und ihre Bedeutung für den Traktorenbau und -einsatz sowie verwandter Fahrzeuge zu skizzieren.

#### Literatur

- [1] BERNSTEIN, R.: Probleme zur experimentellen Motorflugmechanik. Der Motorwagen 1913, 16
- [2] GORJATSCHIKIN, B. P.: Theorie und Praxis der Landmaschine. Moskau 1936
- [3] BEKKER, M. G.: Theory of landlocomotion. Michigan 1956
- [4] REECE, E.: Theorie and Practice of Off-The-Road Locomotion. Proc. Annual Conference of the Institution of Agricultural Engineers 1964 London
- [5] JANOSI, A.: The analytical determination of drawbar pull as a function of slip for tracked vehicles in deformable soils. Landlocomotion Laboratory U. S. Army Ordnance Tank Automotive Command. Detroit, Michigan 1961
- [6] TESSMANN, R.: Zu einigen Gesetzmäßigkeiten der technischen Revolution. Deutsche Zeitschrift für Philosophie, Sonderheft 1965
- [7] HEYDE, H.: Mechanik des Schleppers. Deutsche Agrartechnik (1957) H. 1 bis 4; Landtechnische Forschung, H. 2/1953
- [8] BEKKER, M. G.: Mechanics of Off-the-Road locomotion. London 1962 A 6331

## Abgastrübung (Qualmen) des Dieselmotors

Ing. K. H. JENISCH, KDT

Laudwirtschaftliche Traktoren verkehren zwar weniger auf öffentlichen Straßen, das Abgasrauchen ihres Dieselmotors führt daher seltener zu dem nach der StVZO nicht statthaften Belästigen oder Gefährden von Straßenverkehrsteilnehmern, doch ist auch auf dem Acker ein schwarzes Auspuffqualmen nicht nur für Traktorist und Maschinensatzung lästig, sondern auch ein deutlich sichtbarer Beweis für Mängel am Motor und für unwirtschaftlichen Kraftstoffverbrauch. Diese weithin erkennbare Auswirkung eines nicht einwandfreien Motorenzustandes ist kostspielig und keine Empfehlung für die technische Leitung des betreffenden Maschinenparks. Sie darf daher nicht, wie leider so häufig, hingenommen, sondern muß schleunigst ergründet, beseitigt und in Zukunft vorbeugend vermieden werden.

Leider enthalten die z. Z. in der DDR verfügbaren Bücher über Traktoren kaum Hinweise auf die Probleme der Abgastrübung. Lediglich in dem Taschenbuch „Kleines traktor-technisches ABC“ [1] werden unter dem Begriff „Qualmen“ für den Traktoristen in elementarer Weise die verschiedenen Ursachen für das in unterschiedlichen Farbtönen (schwarz, blau, grau, weiß) auftretende Rauchen der Dieselmotoren durch 10 Gründe kurz erklärt. Dem Ingenieur und Technischem Leiter aber obliegt es, sich genauer über die Zusammenhänge und Ursachen klar zu werden, die zu einem offensichtlich fehlerhaften Ablauf des Verbrennungsvorganges im Dieselmotor führen können. Erst durch diese Kenntnisse kann er wirksame Abhilfemaßnahmen veranlassen, um diesem lästigen und unwirtschaftlichen Zustand der zu seinem Verantwortungsbereich gehörenden Traktoren ein Ende zu bereiten.

Der von der Fabrik oder Werkstatt richtig eingestellte und in ordnungsgemäßem Zustand gehaltene Dieselmotor des Traktors arbeitet normalerweise als Zeichen einer sauberen Verbrennung des eingespritzten Kraftstoffs im ganzen Lastbereich ohne nennenswerte Abgastrübung. Tritt eine solche in Form von Ruß im Auspuff (schwarzes Qualmen) oder von unverbrannten Kraftstoffanteilen im Abgas (bläuliches Qualmen) auf, dann ist das ein deutliches Zeichen für einen gestörten Verbrennungsablauf im Zylinderbrennraum. Seine Ursachen sollten durch intensive Fehlersuche festgestellt und unverzüglich beseitigt werden, denn die dabei auftretenden Ablagerungen im Motor gefährden die Betriebssicherheit, beschleunigen den Verschleiß, und der nicht voll ausgenutzte Kraftstoffverbrauch beeinträchtigt die Wirtschaftlichkeit des Traktorbetriebes. In der Hauptsache sind es zwei Ursachen, die zu einer übergroßen Abgastrübung führen: indirekter oder direkter Luftmangel des Motors und fehlerhafte Einspritzverhältnisse.

### 1. Indirekter Luftmangel

Der Dieselmotor arbeitet bekanntlich im gesamten Belastungsbereich infolge seines (im Gegensatz zum Ottomotor) ungedrosselten Ansaugens stets mit Luftüberschuß ( $\lambda = 1,3 \dots 1,4$ ), wird also bei gutem mechanischen Zustand und richtiger Einstellung der Einspritzanlage normale Verbrennung und daher kaum eine Abgastrübung aufweisen. Die durch den Saughub im Zylinder zur Verfügung gestellte Luftmenge bleibt — und damit auch der Verdichtungsdruck — praktisch jedesmal konstant, da sie lediglich durch die Abmessungen des Ansaugkanals und -ventils begrenzt wird [2]. Beim „Gasgeben“ ver-