

Automatische Befülleinrichtung

Im Bild 4 ist die automatische Befülleinrichtung schematisch in den drei charakteristischen Stellungen dargestellt. Bild 4a zeigt die Vorrichtung in der Endlage. Im Bild 4b ist die Vorrichtung in der Befüllstellung gezeigt, und Bild 4c veranschaulicht die Stellung beim Entkuppeln. Die komplette Kupplung besteht aus einer starr oder elastisch am Fahrzeug befestigten Kupplungshälfte 16 und einer am Befüllort angeordneten Kupplungsvorrichtung mit der anderen Kupplungshälfte. Die beiden Kupplungshälften sind in der Art von Vater- und Mutterteil 15, 13 der bekannten Kardangelenkschnellkupplungen ausgebildet, wobei die fahrzeugseitige Kupplungshälfte 16 das Vaterteil 15 trägt. Die Kupplungsvorrichtung besteht aus einem starren Gestell 1, das am Befüllort so befestigt ist, daß eine begrenzte Beweglichkeit in einer horizontalen und in einer vertikalen Richtung jeweils senkrecht zur Fahrtrichtung des Tankfahrzeugs gegeben ist. Diese Beweglichkeit dient dem Ausgleich ungenauer Positionierung des Tankfahrzeugs und unterschiedlicher Montagegröße der fahrzeugseitigen Kupplungshälfte verschiedener Tankfahrzeuge. Im Gestell 1 ist ein mit der Mutterteil-Kupplungshälfte 13 versehenes Befüllrohr 2 um eine zur Fahrtrichtung des Fahrzeugs senkrechte Achse schwenkbar gelagert. Dieses Befüllrohr 2 ist über einen elastischen Schlauch 17 mit der Druckleitung der Entnahmepumpe oder der Saugleitung aus dem Lagerbehälter verbunden. Das Befüllrohr 2 wird mit Hilfe einer Feder 8 in einer Endlage gehalten. Das Gestell 1 ist weiterhin mit einer Fang- und Führungstülle 3 für das Vaterteil der fahrzeugseitigen Kupplungshälfte sowie mit zwei in ihm gelenkig gelagerten Hebeln 4 versehen, die mit Hilfe von Federn 9 in einer Endlage gehalten werden und beim Kupplungsvorgang dazu dienen, das Vaterteil 15 in das Mutterteil 13 zu pressen. Im Füllrohr 2 ist möglichst nahe an der Kupplungsseite ein Absperrorgan 6, vorteilhafterweise ein Kugelhahn, angeordnet, das mit einem Hebel 5 betätigt wird und mit Hilfe einer Feder 11 und eines Anschlags 14 in der Sperrstellung gehalten wird.

Am Gestell 1 ist noch eine Sperrklinke 7 federnd angebracht, gegen die der Hebel 5 des Absperrorgans 6 in der einen Bewegungsrichtung anlaufen und dadurch geschwenkt werden kann, während er in der anderen Bewegungsrichtung durchschlägt.

Die gesamte Vorrichtung ist entweder in einer Horizontalebene oder in einer Vertikalebene angeordnet, so daß das Tankfahrzeug entweder neben der Vorrichtung vorbei oder über sie hinwegfahren kann. Der Kupplungs- und Befüllvorgang läuft folgendermaßen ab: Bei der Annäherung des leeren Tankfahrzeugs, dessen Absperrorgan am Befüllstutzen bei Fremdbefüllung schon geöffnet, bei Selbstbefüllung noch geschlossen ist, wird das Vaterteil 15 der fahrzeugseitigen Kupplungshälfte 16 von der Fang- und Führungstülle 3 erfaßt und auf das Mutterteil 13 zugeführt (Bild 4a). Beim weiteren Vorfahren greifen Vater- und Mutterteil ineinander, wobei das Vaterteil über die beiden Hebel 4 gegen das Mutterteil gepreßt und mit Hilfe des elastischen Dichtelements 12 eine saug- und druckdichte Verbindung hergestellt wird. Das Befüllrohr 2 wird dabei im Gestell 1 um die Achse 10 geschwenkt, Feder 8 gespannt. Hebel 5 läuft gegen die Sperrklinke 7, wodurch das Absperrorgan 6 geöffnet wird. Volle Öffnung wird in der Füllstellung (Bild 4b) erreicht. Bei Fremdbefüllung schaltet sich, wie schon beschrieben, mit der Öffnung des Absperrorgans die Entnahmepumpe automatisch ein, und das Fahrzeug wird befüllt. Bei Selbstbefüllung wird in dieser Stellung das am Befüllstutzen des Fahrzeugs befindliche Absperrorgan vom Fahrersitz aus geöffnet, und das im Tank vorhandene und weiter erzeugte Vakuum saugt den Tank voll. Nach Abschluß der Befüllung wird in beiden Fällen zuerst das Absperrorgan am Fahrzeug wieder geschlossen. Das Tankfahrzeug kann nun abfahren. Dabei wird zunächst das Befüllrohr 2 weiter geschwenkt, der Hebel 5 gleitet von der Sperrklinke 7 ab, und das Absperrorgan 6 wird mit Hilfe der Feder 11 über den Hebel 5 in die Sperrstellung gebracht. Beim Weiterfahren lösen sich die Kupplungshälften 13 und 15, und das Befüllrohr 2 wird von der Feder 8 wieder

in die ursprüngliche Endlage geschwenkt. Es ist auch möglich, eine derartige Vorrichtung ortsveränderlich zu gestalten und beispielsweise auf dem Feld zu stationieren und mit Hilfe des Schlauches 17 an verschiedene Hydranten einer Güllepipeline oder eines Verregnungsrohrnetzes anzuschließen.

Ausblick

Die vorstehend beschriebenen Befüllvarianten für Gülletankfahrzeuge ließen sich noch durch weitere Beispiele und interessante originelle Lösungen von Details ergänzen. Hierzu kann man auch aus der Patentliteratur weitere Anregungen erhalten. Serienmäßig angeboten werden derartige Befülleinrichtungen noch nicht. Es ist aber nach Auffassung der Autoren lohnenswert, einige aussichtsreiche Varianten im Rahmen der Forschung genauer zu untersuchen, um festzustellen, ob die erwarteten Vorteile und Arbeitserleichterungen tatsächlich eintreten. Bei positiven Ergebnissen kann dann eine industrielle Entwicklung auf solider Grundlage eingeleitet werden.

Zusammenfassung

Ausgehend von einer kritischen Bewertung der gegenwärtig praktizierten Fremd- und Selbstbefüllung der Gülletankfahrzeuge, werden einige Anforderungen an eine neue, effektivere und weniger umweltbelastigende Befüllvariante abgeleitet.

Vier denkbare neue Befüllvarianten, die von teilweiser Handbetätigung bis zur weitgehenden Automatisierung reichen, werden zur Diskussion gestellt.

A 2657

Zur Untersuchung des Spannungs-Deformations-Verhaltens von Ackerböden

Dipl.-Ing. H. Hoffmann/Dipl.-Ing.-Päd. H.-V. Huth, Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg

Verwendete Formelzeichen

σ_{11}	$\frac{MN}{m^2}$	Normalspannung
ϵ_{11}	%	Längsdehnung
ϵ_{22}	%	Querdehnung
E_T	$\frac{MN}{m^2}$	Tangentendeformationsmodul
ν		Querkontraktionszahl
n	%	Porenanteil
w	%	Wasserzahl
A, B		Konstanten

1. Einleitung

Die zunehmende Mechanisierung der Landwirtschaft erfordert in immer stärkerem Maß die Entwicklung und Konstruktion von Landmaschinen auf der Grundlage wissenschaftlicher Methoden. Die modernen numerischen

Verfahren, wie z. B. die Finite-Elemente-Methode, und die heutige Rechentechnik eröffnen neue Möglichkeiten bei der Untersuchung bodenmechanischer Probleme. In der Landtechnik ist die Erforschung des Einwirkens von Werkzeugen und Fahrwerken auf den Boden zur Optimierung der technischen Systeme von großer volkswirtschaftlicher Bedeutung. Bei der mathematischen Behandlung dieses Problemkreises stellt die Kenntnis des Spannungs-Deformations-Verhaltens eine wesentliche Voraussetzung dar.

2. Möglichkeiten der Beschreibung des Spannungs-Deformations-Verhaltens

Die Beziehungen zwischen den Spannungen und Verformungen eines deformierbaren Materials werden experimentell mit kraft- oder weg-

gesteuerten Versuchen gewonnen. Damit liegen für bestimmte Belastungsarten und definierte Probenkörper die Zusammenhänge zwischen Spannungen und Deformationen im allgemeinen als Spannungs-Deformations-Diagramme vor. Bei der mathematischen Beschreibung der Versuchsergebnisse sind zwei Wege möglich. Bei dem einen werden die Versuchskurven durch mathematische Funktionen optimal angenähert. Bei dem anderen Weg wird das Spannungs-Verformungs-Verhalten mit Hilfe rheologischer Modelle interpretiert.

Böden weisen infolge ihrer Zusammensetzung und Struktur im allgemeinen ein nichtlineares Stoffverhalten auf. Bei der ersten Verfahrensweise werden die Versuchskurven entweder abschnittsweise linearisiert oder durch eine mathematische Funktion approximiert.

Bei der zweiten Methode, die hier ausführlicher behandelt wird, sind Struktur und Parameter der Modelle so festzulegen, daß die am Modell gewonnenen mathematischen Beziehungen dem experimentellen Ergebnis weitestgehend entsprechen. Die rheologische Betrachtung bietet sich besonders dann an, wenn auch das Zeitverhalten bzw. Geschwindigkeitseinflüsse beschrieben werden sollen.

3. Auswahl rheologischer Modelle für Ackerböden

In der Rheologie [1] werden im wesentlichen drei Grundelemente verwendet: die als Hooke-Element bezeichnete linear-elastische Feder, das Dämpfungselement mit linearer Spannungs-Verformungsgeschwindigkeits-Kennlinie (Newton-Element) und das Reibungselement mit konstantem, von Verformung und Deformationsgeschwindigkeit unabhängigem Spannungsverhalten (Saint-Venant-Körper). Die für die Grundelemente genannten Spannungs-Verformungs-Beziehungen können auch, wenn erforderlich, durch Nichtlinearitäten ersetzt werden. Die rheologischen Modelle für bestimmte Stoffe ergeben sich aus sinnvoller Reihen- und Parallelschaltung der genannten drei Grundkörper.

Die Struktur eines rheologischen Bodenmodells muß zunächst die qualitativen Eigenschaften des Bodens beim Einwirken von äußeren Kräften haben. Die wichtigsten Phänomene des Bodens, die allerdings nicht alle bei einer Bodenart auftreten müssen, sind bei einfachen Spannungszuständen:

- Bei kleinen Spannungen verhalten sich die Böden vorwiegend linear-elastisch.
- Der Anstieg der Spannungs-Verformungs-Kurven ist bei unbehinderter Querdehnung degressiv.
- Nach Überschreiten des elastischen Verformungsbereichs, sofern dieser vorhanden ist, treten bleibende Deformationen auf, die mit Volumenverkleinerungen und vor dem Bruch z. T. mit Volumendilatationen verbunden sind.
- Die Böden können hinsichtlich des Langzeitverhaltens Relaxationseigenschaften entwickeln, retardieren und kriechen.

Die bisher für Böden entwickelten rheologischen Modelle wurden vorwiegend in der Baugrundmechanik angewendet. Die erwähnten Eigenschaften werden von ihnen meist nur teilweise simuliert. Einige sind so kompliziert, daß die Modellparameter nur durch Probieren mit Hilfe einer elektronischen Recheneinrichtung ermittelt werden können.

Für rheologische Modelle, die in der bodenmechanischen Forschung der Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg zur Anwendung kommen sollen, sind folgende Forderungen zu nennen:

- Die Aussagen über das Spannungs-Verformungs-Verhalten sollen bei der Entwicklung von Bodenbearbeitungswerkzeugen und bei der Untersuchung der Befahrbarkeit landwirtschaftlicher Böden genutzt werden.
- Die gefundenen Spannungs-Verformungs-Beziehungen sollen mit vertretbarem Aufwand für Berechnungen mit Hilfe der Finite-Elemente-Methode verwendbar sein.
- Die Modellparameter müssen mit experimentell-rechnerischen Verfahren bestimmt werden können.
- Die Belastung sei monoton wachsend.

Die landtechnische Orientierung der Anwendung schließt von vornherein die Untersuchung von Langzeitvorgängen aus und verlangt die Nachbildung des Geschwindigkeitsverhaltens

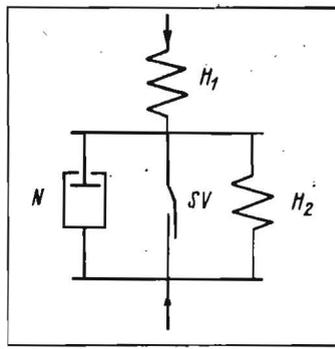


Bild 1: Rheologisches Modell von Murayama und Shibata; H Hooke-Element, N Newton-Element, SV Saint-Venant-Element

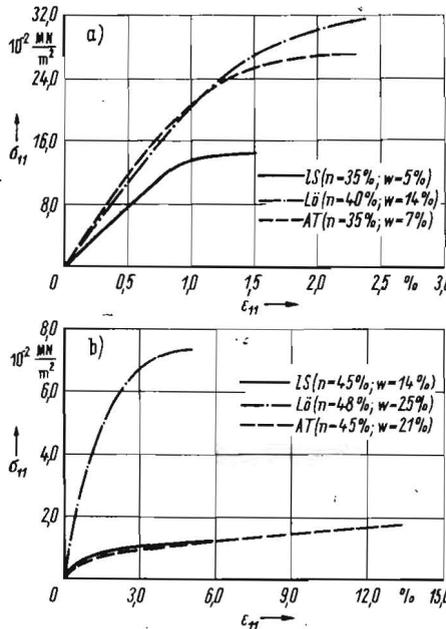


Bild 2. Spannungs-Längsdehnungs-Verhalten; a) trockener Zustand, dichte Lagerung; b) feuchter Zustand, lockere Lagerung

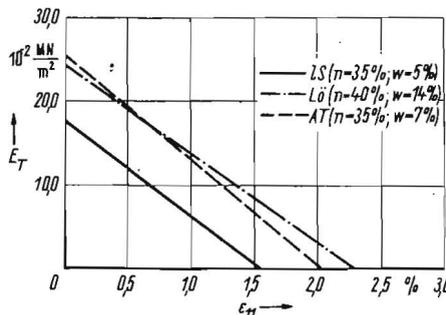


Bild 3. Tangentendeformationsmodule (trockener Zustand, dichte Lagerung)

für die in der Praxis auftretenden Geschwindigkeiten. Die Verwendung der Modelle bei der Finite-Elemente-Methode und die Forderung nach eindeutiger experimentell-rechnerischer Parameterbestimmung verlangen eine möglichst geringe Anzahl von Modellelementen. Den Mindestanforderungen genügen Vierparametermodelle, bestehend aus zwei Federn, einem Dämpfungselement und einem Saint-Venant-Körper. Durch die Verwendung von zwei Federn und einem Saint-Venant-Glied kann das degressive Spannungs-Verformungs-Verhalten gut angenähert werden, auch wenn lineare Elemente im Modell verwendet werden.

Die meisten Vorzüge bietet das Modell von Murayama und Shibata [2] (Bild 1). Es ist nicht möglich, mit nur einem relativ einfachen Modell das gesamte Spannungs-Deformations-Verhalten des Bodens zu erfassen. Sinnvoll ist daher, das Modell von Murayama und Shibata getrennt auf einachsige Normalbelastungen und auf Schubbeanspruchungen anzuwenden.

4. Experimentelle Untersuchungen

Die in der Bodenmechanik zur experimentellen Untersuchung des Spannungs-Deformations-Verhaltens wichtigsten Versuchsarten sind einaxiale Druckversuche bei freier Querdeformation (Zylinderdruckversuche), einaxiale Druckversuche bei behinderter Querdeformation (Ödometerversuche) und Triaxialversuche [3]. Der Vorteil dieser Versuche liegt in der Realisierung relativ eindeutiger Spannungs- und Deformationszustände.

Im folgenden sollen als erste experimentelle Ergebnisse des Forschungsvorhabens Spannungs-Dehnungs-Beziehungen mitgeteilt werden, die mit statischen Zylinderdruckversuchen erzielt wurden. Diese Versuche sind unter Laborbedingungen mit lehmigem Sand (LS), Löß (LÖ) und Auenton (AT) bei verschiedenen Porenanteilen und Wasserzahlen durchgeführt worden. Lehmiger Sand und Löß wurden ausgewählt, da sie einen hohen prozentualen Anteil an der Gesamtackerbodenfläche der DDR haben. Auenton wurde als ein Vertreter schwerer Böden untersucht. Die Porenanteile und Wasserzahlen der untersuchten Böden entsprachen langjährigen Grenz- und Mittelwerten.

Beim Zylinderdruckversuch wird eine zylindrische Bodenprobe in Richtung ihrer Längsachse bei freier Querdeformation zunehmend bis zum Bruchzustand belastet. Die daraus resultierenden Spannungs-Längsdehnungs-Diagramme bestätigen das im Abschn. 3. beschriebene nichtlineare Verhalten. Im Bild 2a sind die Spannungs-Längsdehnungs-Diagramme der Versuchsböden bei dichter Lagerung und niedriger Wasserzahl dargestellt. Aus den Kurven ist ersichtlich, daß trockene, dicht gelagerte Böden in weiten Bereichen ein lineares Spannungs-Deformations-Verhalten aufweisen. Erst bei Spannungswerten, die in der Nähe der einaxialen Bruchfestigkeit liegen, tritt eine stärkere Nichtlinearität auf. Das Spannungs-Längsdehnungs-Verhalten bei lockerer Lagerung und feuchtem Zustand ist im Bild 2b dargestellt. Die Versuchskurven sind nun flacher, stärker nichtlinear, und bis zum Erreichen des Bruchzustands treten große Deformationen auf. Die mathematische Beschreibung der Versuchskurven erfolgte durch quadratische Polynome, aus denen ein deformationsabhängiger Tangentendeformationsmodul E_T bestimmt werden kann:

$$E_T = \frac{d\sigma_{11}}{d\epsilon_{11}} = A\epsilon_{11} + B \quad (1)$$

Im Bild 3 sind die Verläufe der auf diese Art und Weise ermittelten Tangentendeformationsmodule der Versuchsböden im trockenen, dicht gelagerten Zustand angegeben. Zur weiteren Charakterisierung des Stoffverhaltens von Böden wird neben dem Spannungs-Längsdehnungs-Diagramm auch ein gleichzeitig ermitteltes Längsdehnungs-Querdehnungs-Diagramm benötigt, woraus sich die Querkontraktionszahl ν ermitteln läßt:

$$\nu = -\frac{\epsilon_{22}}{\epsilon_{11}} \quad (2)$$

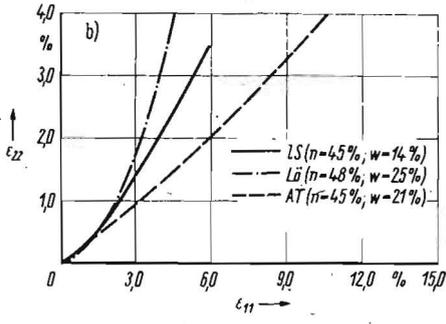
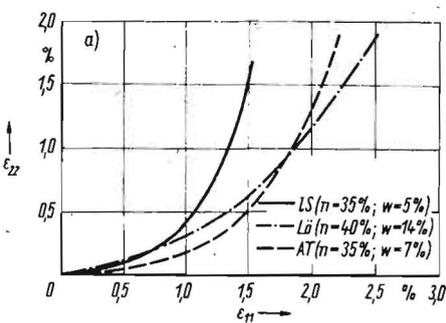


Bild 4. Längsdehnungs-Querdehnungs-Verhalten
a) trockener Zustand, dichte Lagerung;
b) feuchter Zustand, lockere Lagerung

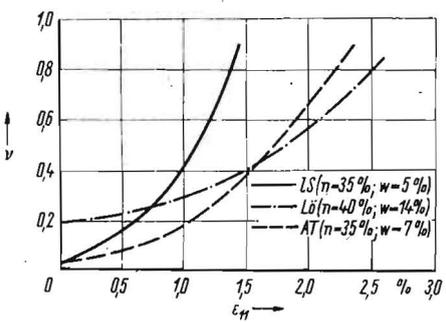


Bild 5. Querkontraktionszahlen (trockener Zustand, dichte Lagerung)

In Bild 4a sind die Längsdehnungs-Querdehnungs-Kurven der untersuchten Böden im trockenen, dicht gelagerten Zustand und im Bild 4b die Kurvenverläufe für die Böden im lockeren, feuchten Zustand dargestellt. Die aus Bild 4 ersichtliche Nichtlinearität der Kurven sagt aus, daß die Querkontraktionszahlen der Versuchsböden nicht konstant, sondern mit der Spannung bzw. Deformation veränderlich sind. Für die Versuchsböden im trockenen, dicht gelagerten Zustand sind im Bild 5 die ermittelten Querkontraktionszahlen in Abhängigkeit von der Längsdehnung dargestellt. Bei kleinen und mittleren Längsdehnungswerten schwanken die Querkontraktionszahlen zwischen 0,05 und 0,3. Kurz vor Erreichen des Bruchzustands überschreiten die Querkontraktionszahlen den Wert 0,5, was physikalisch eine Volumendilatation bedeutet.

5. Zusammenfassung

Die mathematische Beschreibung experimentell gewonnener Spannungs-Deformations-Beziehungen kann auf zwei Wegen erfolgen. Einmal werden die Versuchskurven durch mathematische Funktionen approximiert, zum anderen erfolgt eine Interpretation durch rheologische Modelle. Für die Behandlung bodenmechanischer Probleme der Landtechnik bietet das vierparametrische Modell von Murayama und Shibata gute Möglichkeiten der Annäherung gemessener Kurven und hat darüber hinaus den Vorteil der eindeutigen experimentell-rechnerischen Bestimmbarkeit seiner Parameter. Zur experimentellen Untersuchung des Spannungs-Deformations-Verhaltens wird wegen der Realisierbarkeit relativ eindeutiger Spannungs- und Deformationszustände ein- und dreiaxialen Druckversuchen der Vorzug gegeben. Erste Ergebnisse von Zylinderdruckversuchen werden mitgeteilt. Bei den Versuchen wurde weitestgehend nichtlineares Stoffverhalten nachgewiesen. Die Querkontraktionszahl ist bei den untersuchten Böden in

den meisten Fällen nicht konstant, sondern eine Funktion der Spannung bzw. Deformation.

Literatur

[1] Edel, K.-O.: Rheologische Probleme des Ackerbodens. In: Untersuchungen zur Begründung neuer Wirktechnologien zur Vollmechanisierung der Kartoffelernte. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Forschungsbericht 1975 (unveröffentlicht).
[2] Murayama, S.; Shibata, T.: Flow and Stress Relaxation of Clays (Fließen und Spannungsrelaxation von Tonen). In: Kravtchenko, S.; Sirieys, P.M.: International Union on Theoretical and Applied Mechanics Rheology and Soil Mechanics, Grenoble 1964. Berlin — Göttingen — Heidelberg: Springer-Verlag 1966.
[3] Kezdi, A.: Handbuch der Bodenmechanik (Band III). Berlin: VEB Verlag für Bauwesen 1973. A 2648

Mathematische Modellierung bodenmechanischer Probleme bei Anwendung der Methode der finiten Elemente

Dozent Dr.-Ing. K. Kietzer/Dr.-Ing. P. Hemmann, Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg

- Verwendete Formelzeichen**
- a Abstand zentraler Knoten — Kontaktknoten im System Rad — Boden
 - E Elastizitätsmodul
 - r Radius des Rades
 - Δr vertikaler Radvorschub
 - u horizontale Verschiebung des Kontaktknotens
 - v vertikale Verschiebung des Kontaktknotens
 - ϵ_0 Anfangsdehnung
 - ν Querkontraktionszahl
 - σ_0 Anfangsspannung
 - $\bar{\sigma}$ errechnete Spannung
 - σ^* korrigierte Spannung
 - i Iterationsstufe

1. Einleitung

Mit der mathematischen Modellierung wird das Ziel verfolgt, die theoretischen Grundlagen und experimentellen Voraussetzungen zur Erforschung der boden- und fahrmechanischen Probleme der Pflanzenproduktion so zu ent-

wickeln, daß mit ihrer Hilfe Voraussagen zu Fragen der Bodenbearbeitung und der Befahrbarkeit des Ackerbodens möglich sind. Die Berechnungsunterlagen dienen der Analyse neuer Wirkprinzipien der Bodenbearbeitung, des Einflusses der Werkzeuge auf das Bruchverhalten und die Bruchausbreitung sowie der Beurteilung der Befahrbarkeit des Ackerbodens und der Entwicklung neuer Fahrwerksbauformen.

Die Vorzüge der mathematischen Modellierung gegenüber dem Großversuch beziehen sich auf das schnelle Ermitteln einer Variantenvielfalt und auf die Bestimmung des Spannungs- und Deformationszustands im Innern und auf dem Rande des Bodengebiets. Durch Kombination der mathematischen und realen Modellierung sind neue Erkenntnisse der bodenmechanischen Problematik zu erwarten.

Das verwendete mathematische Modell basiert auf den Voraussetzungen der Kontinuumsmechanik und stellt sich in der Form eines geschlossenen Systems gekoppelter Differentialgleichungen einschließlich einiger Nebenbedingungen zur Charakterisierung des Bruch- bzw. Fließzustands dar [1].

Eine unabdingbare Voraussetzung für die praktische Nutzung der Ergebnisse der mathematischen Modellierung sind hinreichend genaue Informationen über das stoffliche Verhalten des Bodens, die in das mathematische Modell einfließen müssen. Das Ermitteln reproduzierbarer rheologischer Bodenkennwerte wird am realen Böden mit Hilfe von Laborexperimenten in einem Speziallabor der Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg durchgeführt. Zum Lösen des mathematischen Modells wird die vielfältig angewendete Methode der finiten