

hohen Geschwindigkeiten, beteiligt. Diese Vorgänge sind bei der Zeitlupenbetrachtung deutlich erkennbar. Es ist jedoch nicht möglich, diese Erscheinung bei der Auswertung quantitativ zu erfassen, da ein großer Teil der Kluten nicht immer exakt in seinem Durchgang durch das Eggenfeld verfolgt werden kann. Seine Größe läßt sich oft nicht feststellen, da er sich durch die Bewegung in einer anderen Projektion zeigt oder weil er zum Teil von anderen Bodenpartikeln überschüttet wird. Die Vorschubgeschwindigkeiten der Egge konnten bei der Versuchsanordnung von 0,95 m/s bis 3,0 m/s variiert werden. Es zeigte sich, daß mit zunehmender Geschwindigkeit der Egge der Zerkleinerungseffekt wesentlich verbessert wurde bis zu einer Geschwindigkeit, bei welcher die Egge zu springen begann und die bei den gegebenen Bodenverhältnissen um 2,8 m/s lag. Durch Einzelbild-Auswertungen konnten die Pendelbewegungen der Egge in Abhängigkeit von der Aufhängung der Egge und von der Vorschubgeschwindigkeit festgestellt werden. Die Ergebnisse zeigten, daß die Eigenbewegungen der Egge, insbesondere die Querbewegungen, für den praktischen Einsatz überbewertet wurden. Die Pendelbewegungen verlaufen so langsam, daß sie kaum Einfluß auf den Zerkleinerungsvorgang haben können. Sie waren in keinem Fall höher als die Vorschubgeschwindigkeit und bei einer großen Anzahl von Messungen betrug die Geschwindigkeit der Querbewegung maximal 0,4 m/s. Dieses Werte sind schon bei relativ hoher

Geschwindigkeit (2,0 m/s) entstanden, während sie bei geringeren Geschwindigkeiten noch kleiner sind, so daß durch die Querbewegung der Eggen kein großer Zerkleinerungseffekt des Bodens zu erwarten ist, wohl aber ein gewisser Selbstreinigungseffekt bei längeren Pflanzen- und Wurzelrückständen im Boden.

4. Zusammenfassung

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß die analytische Betrachtung der Filmaufnahmen eine Reihe von Aufschlüssen über die Arbeitsvorgänge beim Eggen erbringt. Die Methode des Forschungsfilms eignet sich für die Analyse einer Reihe von Bewegungsvorgängen. Dabei ist es auch möglich, Kurzzeitvorgänge zu erfassen, die sich jeder anderen Zeitmessung wegen fehlender exakter Meßpunkte entziehen.

Das bedeutet für die Praxis, daß die Art der Eggenaufhängung, wenn man nur den Zerkleinerungseffekt betrachtet, von untergeordneter Bedeutung ist. Es können Eggen hintereinander angehängt werden, ohne daß man für das folgende Gerät einen eigenen Zugbalken benutzt. Wie groß Auswirkungen der Querbewegungen auf die Selbstreinigung der Werkzeuge ist, muß noch durch spezielle Versuchsanstellungen geklärt werden.

Methoden zur Ermittlung der Wirkungen und des Energiebedarfes von Werkzeugen in Bodenrinnen

Rüdiger K r a u s e

Institut für Landmaschinenforschung, Braunschweig-Völkenrode

1. Einleitung

Eine Konstruktion von Bodenbearbeitungswerkzeugen am „Grünen Tisch“ ist — zumindestens zum gegenwärtigen Zeitpunkt — nicht möglich. Das Verhalten des Materials Boden unter äußeren Belastungen, wie sie durch Bodenwerkzeuge aufgebracht werden, ist nur in einigen Sonderfällen theoretisch vorzubestimmen. Für den Konstrukteur und für den Anwender von Bodenwerkzeugen ergibt sich zudem die Schwierigkeit, daß die Qualität der Arbeit eines solchen Werkzeuges nicht nur schwer zu erfassen ist, sondern daß sich die Fachwelt nicht einmal einig ist über geeignete Kriterien zur Beurteilung. Um den Arbeitseffekt von Neukonstruktionen und die Auswirkung konstruktiver Änderungen an Bodenwerkzeugen labormäßig zu untersuchen, bieten sich jedoch zahlreiche, zum Teil wenig aufwendige Methoden an. Dabei kann vielfach, um Zeit und Kosten zu sparen, mit verkleinerten Modellen gearbeitet werden. Voraussetzung ist jedoch, daß die Gesetzmäßigkeiten zum Übertragen der am Modell gewonnenen Ergebnisse auf den Prototyp bekannt sind [1].

2. Werkzeugeffekt

2.1. Werkzeugwirkung im Inneren des Bodens

2.1.1. Ortung markierter Körper durch Abtragen und Zerlegen des Bodens im Einflußbereich des Werkzeuges

Ein mindestens seit FORCHHEIMER (1882) [2] bekanntes Verfahren zur Ermittlung der Vorgänge im Inneren des Bodens besteht darin, daß markierte (gefärbte) Bodenteilchen, ganze Farbschichten oder Fremdkörper in den Boden gebracht werden, deren Positionen vor und nach der Belastung des

Bodens beziehungsweise dem Durchgang des Werkzeuges verglichen werden [3; 4; 5]. Fehler in der Aussage sind im wesentlichen zu erwarten durch

1. Störung des Bodengefüges beim Einbringen (z. B. Schichtgrenzen),
2. unterschiedliche mechanische Eigenschaften von Ausgangs- und markiertem Material und
3. Ortung der Markierungen nach dem Versuch.

Eine auch bereits von FORCHHEIMER benutzte Verbesserung dieses Verfahrens wurde später von THAER [6] in unserem Institut eingeführt: Hierbei werden ebenfalls Farbmarkierungen in den Boden, speziell in trockenem Sand, eingebracht. Nach dem Durchgang eines Werkzeuges wird der markierte Bodenbereich mit flüssigem Paraffin ausgegossen. Nach dem Erstarren des Paraffins entsteht ein fester Block, der in beliebige Segmente zerlegt werden kann (Bilder 1 und 2).

Um eine gleichmäßige Verteilung des Paraffins im Sand und damit eine Aushärtung des gesamten interessierenden Bereiches zu erzielen, sind einige Maßnahmen erforderlich, die kurz erwähnt seien:

1. Aufheizen des interessierenden Bodenbereiches, damit das Paraffin nicht bereits in Oberflächennähe erstarrt und die Poren verstopft,
2. Erhöhen der Viskosität des flüssigen Paraffins beispielsweise durch Beigaben von etwa 20 Volumenprozent Benzin,
3. sehr feine, gleichmäßige Verteilung des Paraffins auf der Oberfläche des Sandes — zum Beispiel durch Abdecken derselben mit einer Schicht Mullbinden — zur Vermeidung von Auswaschungen im Sand.

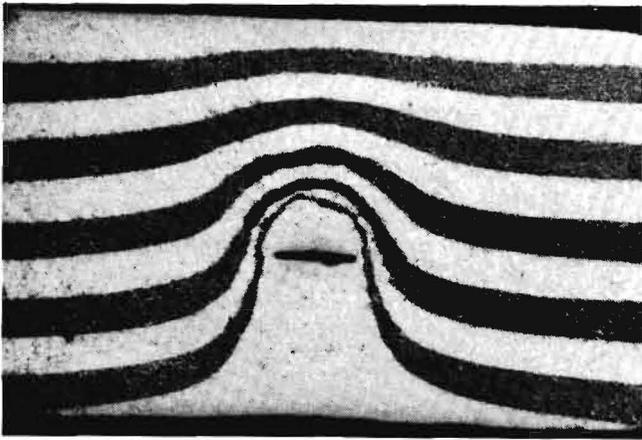


Bild 1: Verlagerung des Bodens vor einem zinkenartigen Werkzeug (Horizontalschnitt durch präparierten Bodenblock mit vertikalen Farbschichten; Bewegungsrichtung von unten nach oben)

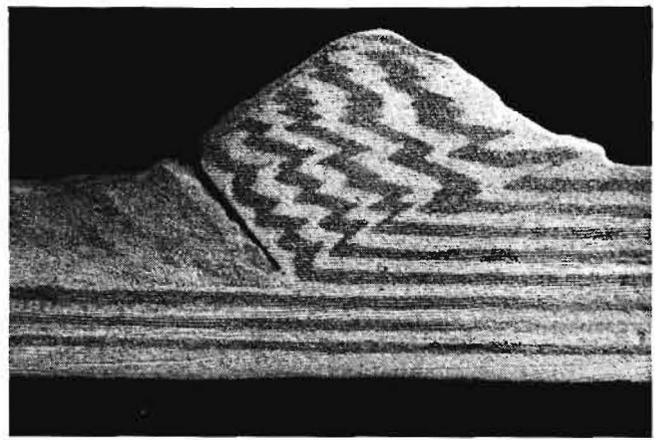


Bild 2: Scherung des Bodens vor einer geneigten Platte (Vertikalschnitt durch Bodenblock mit horizontalen Farbschichten; Bewegung von links nach rechts)

Gegenüber dem zuvor beschriebenen Verfahren ist die Ortung der Markierungen in dem festen Block in jeder beliebigen Schnittebene wesentlich einfacher und genauer.

Trotz der relativ einfachen Handhabung ist dieses Verfahren wegen des erheblichen Zeitaufwandes für größere Versuchsreihen weniger geeignet. Auch für kohäsives Material ist dieses Verfahren kaum zu gebrauchen.

Inwieweit hier Verfahren aus der Gießereitechnik übernommen werden können, ist noch nicht zu ersehen. Es seien jedoch das „Kohlesäure-Erstarrungsverfahren“ oder das amerikanische „Cold-Box-Verfahren“ [7] erwähnt. Bei diesen Verfahren für die Serienproduktion von Gußkernen werden mit Binder vermischte Formstoffe (z. B. Sand) durch Einblasen von Katalysatorgasen zum Aushärten gebracht. THOMAS und ANDERSON [8] weisen auf die Möglichkeit der Anwendung eines solchen Verfahrens auf bodenmechanische Probleme hin, wobei die mechanischen Eigenschaften des Versuchsmaterials durch den Binder jedoch erheblich verändert werden.

2.1.2. Ortung markierter Körper mit Hilfe von Strahlung (Tracer-Verfahren)

Die weitgehend automatisierten Tracer-Verfahren mit Hilfe verschiedener Arten der Strahlung sind wesentlich schnellere und elegantere, dafür aber unvergleichlich aufwendigere Verfahren zur Ortung markierter Körper als die vorher beschriebenen. BEDENIG und andere [9] unterscheiden im wesentlichen zwei Methoden:

1. Der markierte Körper ist Träger der Strahlenquelle; die abgegebene Strahlung wird außerhalb des Bodens registriert (Emissionsmethode).
2. Die Strahlenquelle und die Registriereinrichtung befinden sich außerhalb des Bodens, wobei die eingelagerten, markierten Körper wahlweise sind:
 Absorber (Absorptionsmethode)
 Reflektoren (Reflektionsmethode)
 Streuzentren (Streumethode).

Aus verschiedenen Gründen ist die Emissionsmethode unseres Wissens in der Bodenmechanik noch nicht angewendet worden, neuerdings aber bei Erosionsuntersuchungen auf dem Felde. Die Verwendung radioaktiver Präparate macht besonders hohe Sicherheitsvorkehrungen erforderlich. Außerdem ist es schwierig, die erforderliche Strahlungsenergie zum Durchdringen einer dickeren Bodenschicht in einem Bodenpartikel von Sandkorngröße zu installieren.

Dagegen wird die Absorptionsmethode von verschiedenen Wissenschaftlern mit Erfolg verwendet. ROSCOE [10] beispielsweise benutzt eine Röntgenanlage (150 kV, 8 mA). Dabei wird die Quelle auf der einen Seite einer Bodenrinne und ein röntgenempfindlicher Film auf der anderen Seite

plaziert (Bild 3). In Rasterform eingebrachte Bleikugeln von 1 bis 2 mm Durchmesser, die einen Teil der Röntgenstrahlen absorbieren, werfen einen Schatten auf den Film. Ihre Bahnkurven während einer Verlagerung im Boden unter einem bestimmten zweidimensionalen Spannungszustand können mit Hilfe eines Auswertegerätes mit großer Auflösung sehr genau (bis auf wenige My) verfolgt werden.

Mit einem ähnlichen System arbeiten auch CHANCELLOR und andere [4], YOUNG [11] und VERNJAEV und andere [12], wobei VERNJAEV allerdings nicht Bleikugeln benutzt, sondern Kugeln aus Barium-Sulfat, Boden und Kleber, deren Dichte derjenigen des natürlichen Bodens entspricht. Es ist zu erwarten, daß die Bahnkurven solcher Körper bei gleichen Abmessungen mehr denen der angrenzenden Bodenpartikel entsprechen, als die Bahnkurven von Körpern mit wesentlich höherer Dichte.

Ein optisches Absorptionsverfahren zur Beobachtung der Verlagerungen im Inneren von Kugelschüttungen entwickelten BEDENIG und andere [9], die einen Behälter mit durchsichtigen Glaskugeln mit monochromatischem Licht durchstrahlen und dabei die Bahnkurven eingelegter schwarzer Kugeln verfolgen können. Nachteilig bei dieser für Modelluntersuchungen geeigneten und sehr anschaulichen Methode

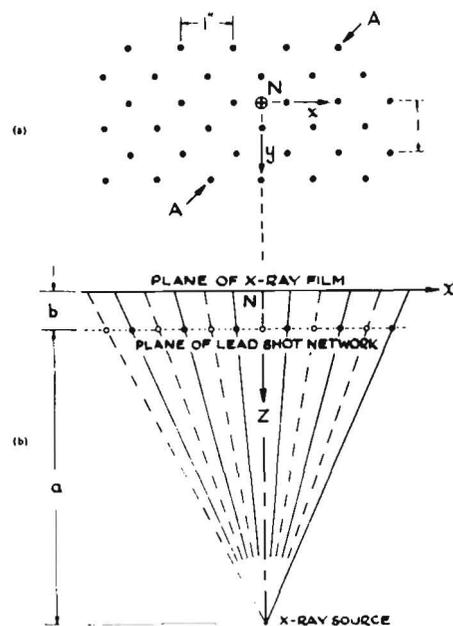


Bild 3: Schema der Versuchsanordnung zur Ermittlung ebener Verlagerungen im Boden mit Hilfe einer Röntgenstrahl-Anlage nach Roscoe (a = Vertikale Schnittebene mit eingelagerten Kugeln; b = Horizontalschnitt mit Quelle und Spuren der markierten Ebene und der Filmebene)

ist die Notwendigkeit, den Hohlraum zwischen den Kugeln mit einer sogenannten Immersionsflüssigkeit von gleichem Brechungsindex wie die Kugeln ausfüllen zu müssen. Die dabei entstehenden Kapillarkräfte (scheinbare Kohäsion) beeinflussen das Verformungsverhalten der Schüttung.

Gegenüber dem Wachs-Ausguß-Verfahren haben die Tracer-Verfahren den Vorteil, daß sie auch bei bindigen Böden angewendet werden können. Sie sind damit erheblich vielseitiger, zum Beispiel auch in allen natürlichen Böden verwendbar. Bei Untersuchungen in trockenem Sand bieten sich gegenüber dem Wachsverfahren jedoch kaum Vorteile. Das Einbringen der Markierungen ist auch hier sehr zeitaufwendig. Der technische und kostenmäßige Aufwand für eine Röntgenanlage einschließlich der erforderlichen Sicherheitsmaßnahmen sind, verglichen mit dem Wachsverfahren, extrem hoch. Die Untersuchung räumlicher Verlagerungen wie beim Wachs-Verfahren ist jedoch nur mit Hilfe von zwei Quellen und zwei Registriereinrichtungen möglich.

2.2. Werkzeugwirkung in der Nähe der seitlichen Glaswand einer Bodenrinne

Ein sehr anschauliches und inzwischen weit verbreitetes Verfahren zur Ermittlung der Bewegungsvorgänge im Boden wurde erstmals 1892 von KURDJUMOFF [13] benutzt. Bei diesem Verfahren wird eine seitliche Wand eines Bodentroges durch eine Glasscheibe ersetzt, durch die man die Vorgänge vor einem unmittelbar an der Scheibe entlang geführten Werkzeug beobachten kann (Bild 4).

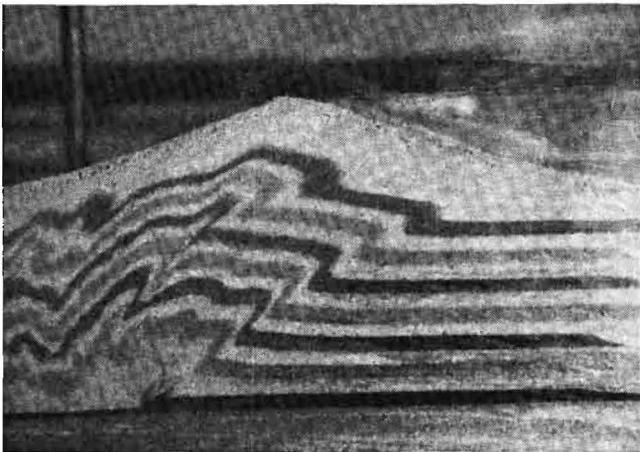


Bild 4: Scherung des Bodens vor einem Untergrundwerkzeug
(Beobachtung durch seitliche Glaswand einer Bodenrinne mit horizontalen Farbschichten)

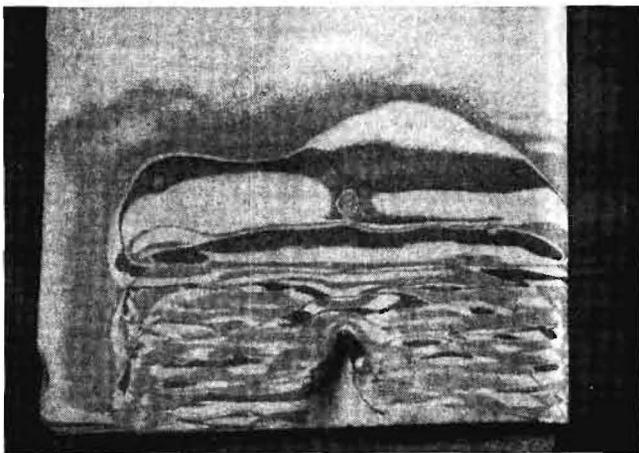


Bild 5: Wirkung eines Untergrundwerkzeuges im Boden bei ungeschmierter Glasscheibe
(Horizontalschnitt; breites Untergrundwerkzeug von rechts nach links; Bewegungsrichtung nach oben; starker Wandeinfluß an der Scheibe rechts im Bild)

2.2.1. Randeinflüsse und ihre Verminderung

In Arbeiten von WITNEY [14] sowie vom Autor [15] wurde auf Fehlerquellen dieses Verfahrens hingewiesen. So konnte durch Untersuchungen in unserem Institut nachgewiesen werden, daß erhebliche Differenzen auftreten können zwischen den an der Glaswand beobachteten und im Inneren von trockenem Sand tatsächlich ablaufenden Vorgängen. Durch Schmieren der Glasscheibe mit einem Mittel, das sich im wesentlichen aus langen Kettenpolymeren mit polaren Endgruppen zusammensetzt (z. B. Aceton) und damit sowohl eine gute Haftwirkung zum Glas als auch eine gute Schmierwirkung gegen den Sand aufweist, konnte der Reibungswinkel zwischen Sand und Glas von etwa 28° auf rund 8° reduziert werden. Versuche mit derart geschmierten Glasscheiben zeigen eine deutlich verbesserte Übereinstimmung zwischen den an der Glaswand beobachteten und im Inneren des Bodens stattfindenden Verlagerungen (Bild 5 und 6).

Unter dem Vorbehalt solcher Maßnahmen zur Verringerung der Randeinflüsse stellt das beschriebene Verfahren jedoch eine sehr einfache und bequeme Methode dar zur visuellen Beobachtung und optischen Registrierung zweidimensionaler Verlagerungsvorgänge im Boden.

2.2.2. Optische Registrierung der Werkzeugwirkung

Zahlreiche Autoren benutzen die fotografische Registrierung der Bodenverlagerungen hinter der Glaswand einer Bodenrinne, um zu quantitativen Aussagen über die für bestimmte Bodenarten und -zustände charakteristischen Zusammenhänge zwischen Werkzeugform und -bewegung und ihrer Wirkung im Boden zu kommen.

Abgesehen von einer statischen Betrachtungsweise bieten sich grundsätzlich zwei Möglichkeiten der Registrierung an:

1. Ermittlung der Bahnkurven einzelner Bodenelemente von einem raumfesten Standpunkt aus,
2. die Ermittlung der Relativbewegungen des Bodens zum Werkzeug von einem mit diesem bewegten Beobachtungspunkt aus.

Im allgemeinen ist die erste Beobachtungsweise üblich, wobei wiederum zwei Verfahren zu unterscheiden sind.

Erstes Verfahren — Mit einer raumfesten Kamera wird die Verlagerung einzelner markanter Bodenpartikel vor dem an der Glaswand geführten Werkzeug mit genügend hoher Bildfolge fotografiert. Reicht die optische Auflösung bei feinem Bodenmaterial nicht aus, so werden auf die an die Glaswand grenzende Schicht des Bodens Markierungen oder Raster gebracht, die sich mit dem Boden verlagern [4; 14; 16; 17; 18]. Wichtig ist dabei, daß möglichst keine Relativ-

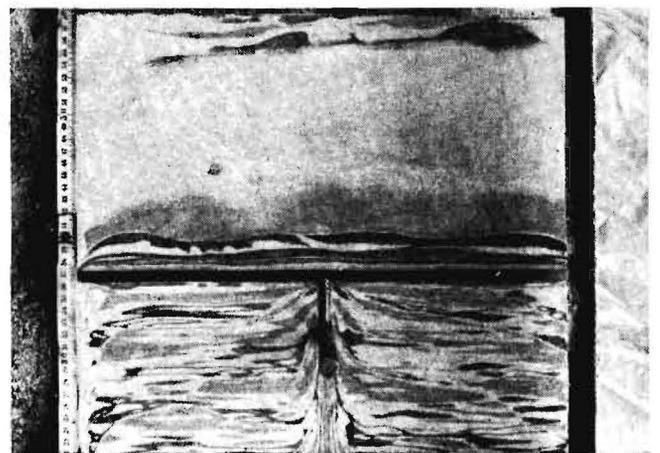


Bild 6: Wirkung eines Untergrundwerkzeuges im Boden bei geschmierter Glasscheibe
(Horizontalschnitt; breites Untergrundwerkzeug von rechts nach links; Bewegungsrichtung nach oben; kaum Wandeinfluß an der Scheibe rechts im Bild)

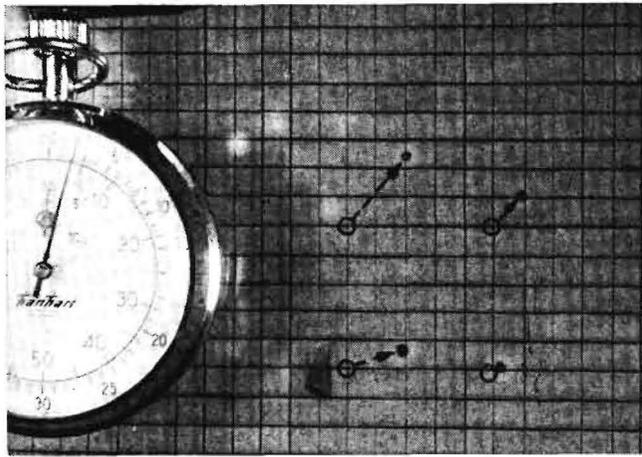


Bild 7: Verlagerung von eingelagerten Teflonkegeln vor Untergrundwerkzeugen
(Blick auf seitliche Glasscheibe mit festem Raster; Lage der Teilchen vor dem Versuch im Quadrat)

Bewegungen zwischen den Markierungen und dem umgebenden Boden stattfinden. Aus diesem Grunde werden zum Beispiel in unserem Institut kleine Teflon-Kreiskegel als Markierungen benutzt, die mit ihrer Basisfläche von etwa 2 mm Durchmesser an der mit einem festen Raster versehenen Glasscheibe liegen und deren Reibung gegen Glas wesentlich kleiner ist als die von Sand gegen Glas (Bild 7). Die Form dieser Teilchen bewirkt außerdem, daß sie stets gegen die Glasscheibe gedrückt werden und sich bei der Bewegung nicht wie eingefärbte Sandkörner von der Glasscheibe entfernen.

BUTTERFIELD und seine Kollegen [19] entwickelten in jüngster Zeit eine elegante und äußerst genaue Methode zur Auswertung solcher Fotos. Dabei werden zwei zeitlich aufeinander folgende Fotos mit Hilfe eines Stereoprojektors gleichzeitig so projiziert, daß jeweils nur Punkte gleicher Verschiebung scharf erscheinen (Bild 8). Die Linien gleicher Verschiebung können nacheinander direkt gezeichnet werden.

Zweites Verfahren — Ein vereinfachtes, aber sehr anschauliches zweites Verfahren zur Ermittlung der Bahnkurven einzelner Bodenaggregate ist ebenfalls weit verbreitet [20...23]. Es bedient sich sogenannter „Gleitlinienbilder“: Von dem bewegten Bodenbereich wird eine Einzelaufnahme gemacht, wobei die Belichtungszeit so groß gewählt wird,

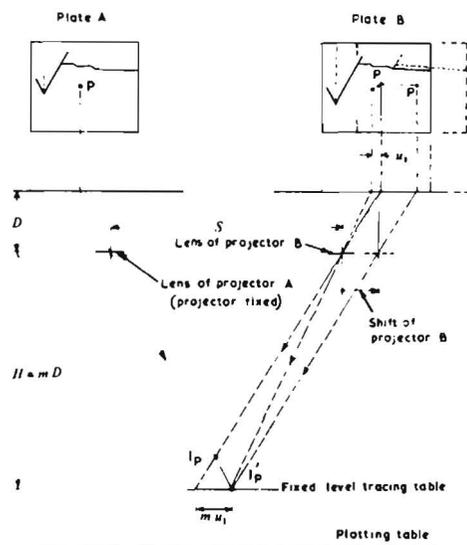


Bild 8: Schema der stereo-photogrammetrischen Methode zur Auswertung von Verlagerungsphotos nach BUTTERFIELD u. a.
(Zwei zeitlich aufeinander folgende Fotos; zwei gegeneinander verschiebbare Projektoren; gemeinsame Projektionsebene)

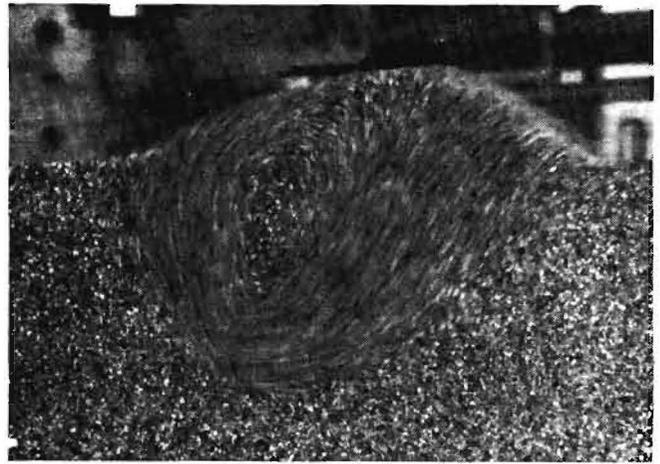


Bild 9: Gleitlinien von Bodenpartikeln vor einem Untergrundwerkzeug
(Zeitaufnahme mit ortsfester Kamera durch seitliche Glaswand; Werkzeug von links nach rechts bewegt)



Bild 10: Gleitlinien von Bodenpartikeln relativ zum Werkzeug und stationärer Bodenkeil vor dem Werkzeug
(Zeitaufnahme durch seitliche Glaswand; Kamera mit dem Werkzeug von links nach rechts bewegt)

daß die unbewegten Teile zwar scharf abgebildet werden, die inzwischen bewegten Aggregate jedoch verzerrt erscheinen. Auf diese Weise kann man die vor bestimmten Werkzeugen und unter Rädern besonders in Reibungsböden auftretenden Flächenbrüche sehr deutlich erkennen (Bild 9).

Eine andere Möglichkeit bietet die unter 2. bereits genannte Methode der Ermittlung der Relativbewegungen des Bodens zum Werkzeug [24; 25]:

Eine Kamera wird parallel zum Werkzeug an der Glaswand der Bodenrinne entlanggeführt. Auf einem Foto mit genügender Belichtungszeit (Bild 10) erscheinen alle Teile, die die gleiche Geschwindigkeit wie die Kamera haben, insbesondere also das Werkzeug, in scharfer Abbildung, alle ruhenden oder mit abweichender Geschwindigkeit bewegten Teile jedoch verzerrt.

Die Bahnkurven der Relativbewegungen der Bodenpartikel gegen das Werkzeug sind deutlich erkennbar. Interessant bei dieser Methode ist, daß die Vorgänge vor dem Werkzeug nun nicht mehr absätzig, sondern als kontinuierlicher Ablauf erscheinen. Inwieweit der Vorgang aus dieser Sicht mit Hilfe von Methoden der Kontinuumsmechanik erfaßt werden kann, ist unseres Wissens noch nicht geklärt, dürfte aber interessant sein.

Ein auch von HETTIARATCHI [26] genutzter Vorteil der genannten Methode liegt in der Möglichkeit, die Bildung und Form von „Staukörpern“ vor dem Werkzeug zu beobachten (Bild 10). Staukörper, die sich aus strömungstechnischen Gründen nach dem Prinzip des geringsten Widerstandes vor

dem Werkzeug bilden und sich wie ein Teil desselben mit dem Werkzeug bewegen [4; 18; 24; 25; 26; 27], werden scharf abgebildet. Ihre Form in Abhängigkeit von der Werkzeuggeometrie und Bewegung sowie von Bodenart und -zustand kann ermittelt werden.

Die beschriebenen optischen Registrierverfahren dienen zur Ermittlung der Wirkung von Werkzeugen im Boden. Sie sind äußerst anschaulich, der apparative Aufwand ist gering, sie erfordern jedoch im allgemeinen einen hohen zeitlichen Aufwand bei der quantitativen Auswertung. Einer automatischen Datenerfassung, Speicherung und Weiterverarbeitung sind sie im allgemeinen nur schwer zugänglich.

3. Werkzeugwiderstand

Haben sich die vorhergehenden Ausführungen mit Methoden zur Ermittlung des Effektes von Werkzeugen befaßt, so soll nun noch auf einige Probleme der Kraftmessung an Bodenbearbeitungswerkzeugen eingegangen werden.

3.1. Meßwertaufnehmer

Die Meßanordnungen der verschiedenen Autoren zeigen zwar erhebliche Unterschiede in der Ausführung, lassen sich aber im wesentlichen auf zwei Fälle zurückführen:

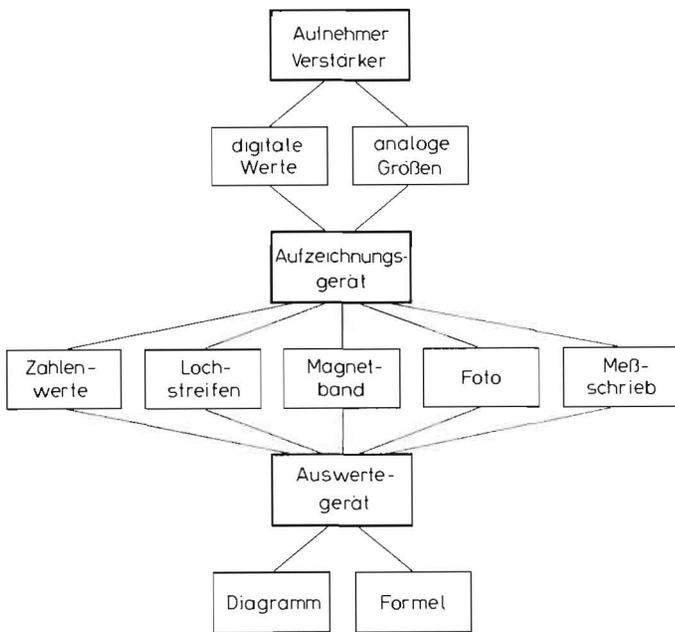


Bild 11: Meß- und Auswertekette

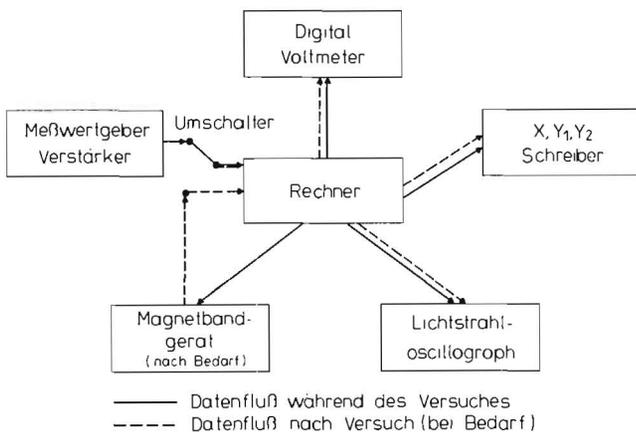


Bild 12: Fließdiagramm eines Datenerfassungs- und -verarbeitungssystems

1. Die Messung von räumlichen Kräften und Momenten an der Einspannung beziehungsweise am Halter des Werkzeuges und
2. die Messung von Kräften beziehungsweise Drücken direkt an der Oberfläche des Werkzeuges.

Die erste Methode ist weit verbreitet. Schon in den dreißiger Jahren benutzten KÜHNE und MARCKS eine Sechskomponenten-Meßeinrichtung zur Erfassung sämtlicher an einem Pflugkörper angreifenden Kräfte und Momente [28; 29; 30]. Auch GETZLAFF in Völkenrode arbeitete mit einer Sechskomponenten-Meßeinrichtung [31] und ermittelte die unter Feldbedingungen auf einen Pflugkörper wirkende resultierende Kraftschraube, bestehend aus einer Kraft und einem Moment um diese Kraft.

Der Vorteil einer solchen Ein- oder Mehrkomponenten-Meßeinrichtung liegt darin, daß sie unverändert für verschiedene Pflugkörpertypen und andere Werkzeuge benutzt werden kann. Von Nachteil ist, daß die Beanspruchungen am Werkzeug nur pauschal ermittelt werden.

Die zweite Meßmethode ermöglicht die detaillierte Erfassung örtlicher Beanspruchungen an Werkzeugen. Dabei wird die Arbeitsfläche des Werkzeuges mit mehreren kleinen Normal- und Schubspannungsgebern versehen, wie sie unter anderen von ARTHUR und ROSCOE [32] beschrieben werden. So können zum Beispiel die Spannungsverteilung auf einem Streichblech oder die Änderung der Spannungsverteilung als Funktion von der Werkzeuggeschwindigkeit ermittelt werden. Gegenüber Methode 1 ist ferner von Vorteil, daß an Werkzeughalter oder Grindel auftretende Kräfte nicht in die Messung eingehen.

Entsprechend dem Stand der Meßtechnik wurden bei der ersten Methode zunächst mechanische und hydraulische Meßwertgeber benutzt, während heute — wie bei der zweiten Methode — fast ausschließlich Dehnungsmeßstreifen zur Anwendung kommen.

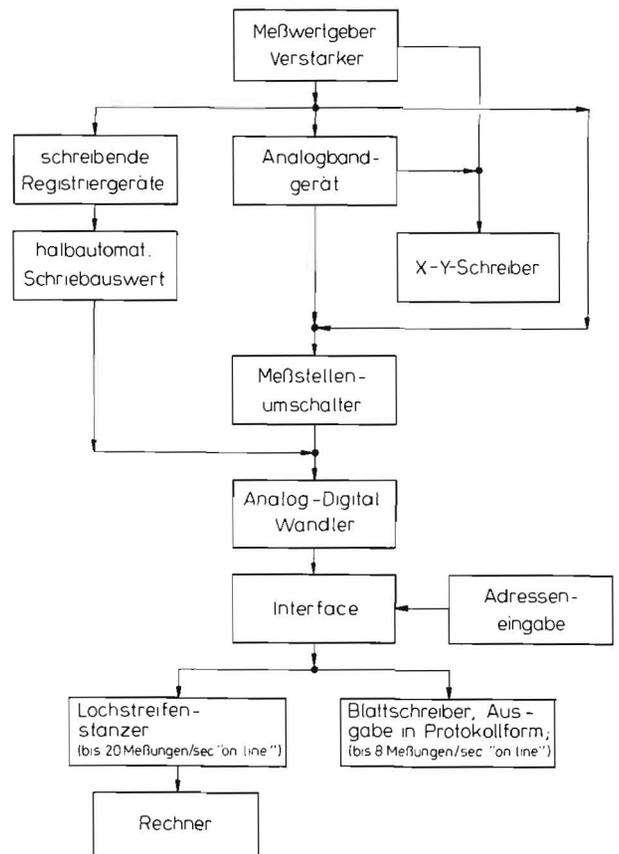


Bild 13: Fließdiagramm eines Datenerfassungssystems

3.2. Datenerfassung und -verarbeitung

Entgegen den meisten Methoden zum Erfassen des Werkzeugeffektes ist der Werkzeugwiderstand mit allen seinen abgeleiteten Größen einer teil- oder vollautomatischen Registrierung und Verarbeitung zugänglich. KUTZBACH [33] gibt die Kette der im Feld- und Laborversuch möglichen Meß- und Auswertegeräte an (Bild 11). VANDEN BERG [34] hebt die entscheidenden Vorteile einer kontinuierlichen analogen Registrierung hervor, wobei einfache Zusammenhänge zweier Variablen direkt auf einem x-y-Schreiber aufgezeichnet, vielparametrische Abhängigkeiten vornehmlich auf dem Analogband gespeichert werden. Während sich VANDEN BERG noch für die zeitlich getrennte Erfassung und Weiterverarbeitung der Daten ausspricht, zeigen WISMER und FORTH [35] ein System zur Erfassung und Verarbeitung von Meßdaten, dessen Mittelpunkt ein Analogrechner bildet, der die verschiedensten Rechenoperationen während des Versuches („on line“) ausführt (Bild 12). Das in unserem Institut unter anderem auch für Bodenrinnen-Untersuchungen konzipierte Datenerfassungssystem ist in Bild 13 dargestellt. Auch hier wird eine vollautomatische Erfassung und Verarbeitung von Versuchsdaten ermöglicht. Der Lochstreifen dient als digitaler Zwischenspeicher für eine zeitlich getrennte Verarbeitung der Daten im Rechner.

3.3. Einfluß des Werkzeughalters

Mißt man den Werkzeugwiderstand nach Methode 1 am Werkzeughalter, so ist speziell bei Untergrundwerkzeugen und bei Werkzeugen, deren Stirnfläche relativ zum Halter klein ist (z. B. Modellwerkzeuge), mit einem beachtlichen Einfluß des Halters zu rechnen. Untersuchungen in unserem Institut zeigen, daß der Anteil des Halters nicht dadurch zu eliminieren ist, daß man die Kraft einmal am Halter mit und einmal ohne Werkzeug mißt und die zweite von der ersten abzieht. Die Ursache ist darin zu sehen, daß der Halter im allgemeinen hinter dem Werkzeug zur Bodenoberfläche läuft, sich also durch Boden bewegt, dessen Lagerung durch die Wirkung des Werkzeuges bereits verändert ist (Bild 14). Besonders bei dichtem Boden ist der am Halter ohne Werkzeug gemessene Widerstand wesentlich zu hoch, der verbleibende Restwiderstand für das Werkzeug zu klein. Umgekehrt ist bei kleinen Modellwerkzeugen auch mit einer Rückwirkung des Halters auf den untersuchten Effekt und Widerstand des Werkzeuges zu rechnen.

4. Seitenschlitz-Bodenrinne

Um den Haltereinfluß bei Grundlagen-Untersuchungen zweidimensionaler Vorgänge an sehr breiten Untergrundwerkzeugen vollständig auszuschalten, wurde deshalb in unserem Institut eine neue Bodenrinne konstruiert.

Es wurde davon ausgegangen, daß die komplizierten Vorgänge am Pflugkörper und anderen Bodenwerkzeugen in besser überschaubare technologische Einzelschritte, wie Schneiden, Mischen, Lockern, Wenden und Transportieren, zerlegt werden sollen. Auch KOUWENHOVEN und TERPSTRA [36] weisen in einer neueren Untersuchung über Mischen und Sortieren von körnigem Material auf die Zweckmäßigkeit eines solchen analytischen Vorgehens hin. Einer der häufigsten Grundprozesse ist das Schneiden von Boden, bei dem die Schneide bis zu einem feinen Draht reduziert werden kann, dessen Durchmesser nicht größer ist als derjenige einzelner Sandkörner. SÖHNE beobachtete, daß von solchen horizontal bewegten Drähten auch bei Arbeitstiefen, die ein Vielfaches des Drahtdurchmessers ausmachen, Brüche bis zur Oberfläche des Bodens ausgehen [37]. Zur Untersuchung solcher Vorgänge ist es nötig, den Draht zwischen zwei sehr steifen Stützen straff zu spannen. Sowohl bei der Bestimmung der an dem Draht wirkenden Kräfte als auch der von dem Draht im Boden hervorgerufenen Wirkung ist der Einfluß der Stützen nur sehr schwer abzuschätzen [38]. Aus diesem Grunde entschieden wir uns zu der im folgenden beschriebenen, den Einfluß der Halter vollständig ausschalt-

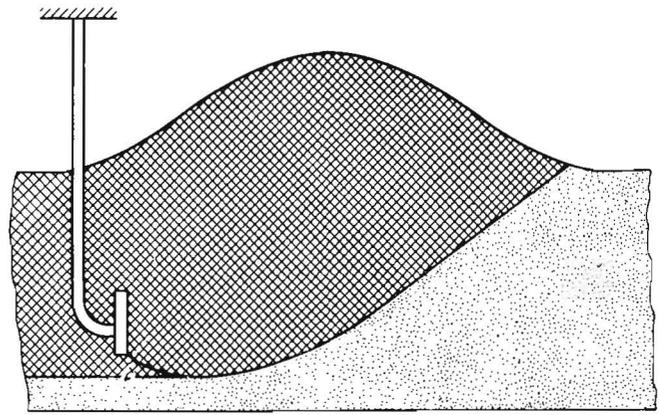


Bild 14: Einflußzone eines oberflächennahen Untergrundwerkzeuges (Vertikalschnitt; seitliche Ansicht; Bewegung von links nach rechts)

tenden Konstruktion (Bild 15), die in ähnlicher Form gleichzeitig und unabhängig von STEFANELLI [39] ausgeführt wurde.

Der Bodentrog hat in den seitlichen Wänden auf halber Höhe je einen etwa 30 mm hohen und 4 m langen horizontalen Schlitz (d. h. die oberen Hälften der seitlichen Begrenzungen sind jeweils nur an den vorderen und hinteren Enden der Bodenrinne befestigt). Wird die untere Begrenzung der Schlitz breit genug ausgeführt, dann hält sich selbst kohäsionsloses Material wie trockener Sand infolge der Gewölbewirkung und des sich am Schlitz einstellenden natürlichen Schüttwinkels auch in der Hälfte des Troges, die oberhalb des Schlitzes liegt. Das Werkzeug kann nun über die volle Breite der Rinne laufen und durch die seitlichen Schlitz herausgeführt werden. Dort wird es in einem sehr steifen, U-förmigen Rahmen aufgenommen und vorgespannt. Speziell bei dünnen Drähten ist eine starke Vorspannung erforderlich, damit sie unter dem angreifenden Bodenwiderstand nicht allzu stark durchgebogen werden. Der Rahmen bildet zusammen mit dem Werkzeug ein geschlossenes Viereck, so daß die Vorspannkraft des Drahtes nicht auf die Meßgeber übertragen werden. Der Rahmen wird über zwei Vierkomponenten-Meßgeber an dem Meßwagen befestigt, der auf seitlichen Schienen längs der Rinne geführt wird.

Bei der Gestaltung der Meßgeber wurde darauf geachtet, daß die Eigenfrequenz weit über der Erregerfrequenz (Bruchfolge im Boden) liegt. Bekanntlich wächst die Eigenfrequenz proportional zur Wurzel aus der Steifigkeit und umgekehrt proportional zur Wurzel aus der Masse des Gebers. Da die Masse infolge der geforderten hohen Steifigkeit des Bügels groß ist, mußten die Meßglieder sehr steif gestaltet werden. Eine ausreichende Auflösung bei dem geringen Schneidwiderstand eines Drahtes konnte über Operationsverstärker erreicht werden.

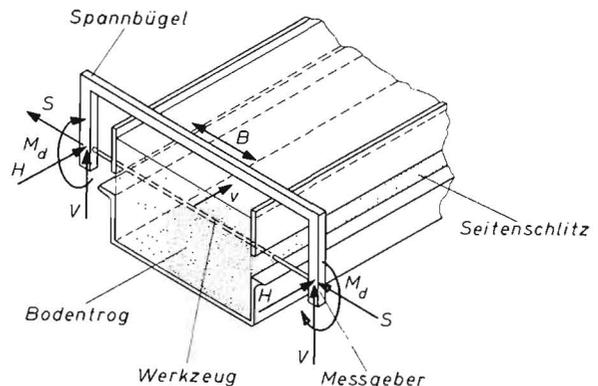


Bild 15: Seitenschlitz-Bodenrinne mit Spann- und Meßbügel

Der wesentliche Vorteil der beschriebenen Konstruktion liegt darin, daß Untersuchungen an breiten Schneid- und Untergrundwerkzeugen, das heißt Untersuchungen zweidimensionaler Verlagerungsvorgänge, durchgeführt werden können, ohne daß Werkzeughalter, Spannvorrichtungen oder Meßwertgeber mit dem Werkzeug durch den Boden bewegt werden und damit nicht nur die gemessenen Kräfte, sondern auch die Wirkung der Werkzeuge beeinflussen.

5. Zusammenfassung und Schluß

Fragen des Zugwiderstandes von Geräten und Werkzeugen zur Bodenbearbeitung standen lange Zeit im Vordergrund des Interesses, während heute dem Effekt von Werkzeugen zunehmend Beachtung geschenkt wird. Es wurden verschiedene Methoden zur Untersuchung der Wirkung von Bodenwerkzeugen, das heißt zur Ermittlung der Verformungs-, Verlagerungs- und Brucherscheinungen im Inneren des Bodens und an seitlichen Glaswänden von Bodenrinnen sowie die spezielle Problematik dieser Verfahren beschrieben. Ferner wurden Fragen der Kraftmessung an Modellwerkzeugen und die Konzeption einer speziellen Bodenrinne zur Messung des Schneidwiderstandes von Boden diskutiert.

Das Ziel der landwirtschaftlichen Bodenmechanik ist die Ermittlung der gesetzmäßigen Zusammenhänge zwischen Geometrie und Bewegung von Bodenwerkzeugen, Bodenart und -zustand einerseits und dem Energiebedarf sowie dem erzielten Effekt andererseits.

Die ständige Diskussion und Verbesserung der Versuchsmethodik sollte nicht nur zu einer Rationalisierung der experimentellen Arbeit, sondern auch zu vergleichbaren und reproduzierbaren Ergebnissen und letztlich zu einem besseren Verständnis der komplizierten Vorgänge im Boden führen.

6. Schrifttum

[1] KRAUSE, R.: Ähnlichkeitstheoretische Untersuchungen eines bodenmechanischen Problems. Grundlagen der Landtechnik 20 (1970) S. 181—182 und 21 (1971) S. 11—15

[2] FORCHHEIMER, PH.: Über Sanddruck und Bewegungserscheinungen im Innern trockenen Sandes. Zeitschr. d. Osterr. Ing. u. Arch.-Ver. 34 (1882) S. 111

[3] RAYLIG, J.: Der Schnittvorgang im Sande, Forschung auf dem Gebiet des Ingenieurwesens, Ausgabe B, Bd. 2, Nov. 1931, Forschungshoft 350, VDI-Verlag

[4] CHANCELLOR, W. J.; SCHMIDT, R. H. and W. SÖHNE: Laboratory measurement of soil compaction and plastic flow. Transact. of the ASAE 5 (1962) S. 235—239

[5] GILL, W. R.: Soil deformation by simple tools. Transact. of the ASAE 12 (1969) S. 234—239

[6] THAER, R. und E. BAHRMANN: Bericht über die Tätigkeit der Forschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode 1962, S. 68—69

[7] ENGLIS, G.: Verfahren und Maschinen zur Form- und Kernherstellung. VDI-Zeitschr. 110 (1969) S. 1077 ff

[8] THOMAS, I. I. and C. J. ANDERSON: A method of showing soil movement. Journ. of Agric. Eng. Research 13 (1968) S. 196—200

[9] BEDENIG, D., von der DECKEN, C. B., HÜNDORF, B. und W. RAUSCH: Experimentelle Methoden zur direkten Untersuchung von Fließvorgängen in Kugelschüttungen. Techn. Mitteilungen Krupp, Forschungsber. Bd. 34 (1966) H. 3

[10] ROSCOE, V. H., ARTHUR, J. R. F. and R. G. JAMES: The determination of strains in soil by an x-ray method. -- Civ. Eng. and publ. Works Rev. 58 (1963) S. 873 ff

[11] YOUNG, R. N. and G. L. WEBB: Energy dissipation and drawbar pull prediction in soil-wheel-interaction. Proc. of the 3rd Internat. Conference of the ISTVS, Essen 1969, Vol. 3, S. 93—142

[12] VERNJALOV, O. V. und N. A. SOKOL: Röntgenologische Untersuchungen der Bodenbewegung durch verschiedene Werkzeuge. Traktory i sel'chozmasiny 38 (1968) H. 6, S. 19—21

[13] KURDJUMOFF, V. J.: Zur Frage des Widerstandes der Gründungen auf natürlichem Boden. Ziviling. 38 (1892) S. 294

[14] WITNEY, B. D.: The determination of soil particle movement in two dimensional failure. Journ. of Terramechanics 5 (1968) S. 39—52

[15] KRAUSE, R.: Die Grenzflächenreibung bei Untersuchungen in Bodenrinnen mit Glaswänden. Landbauforsch. Völkenrode 20 (1970) S. 83—90

[16] NICHOLS, M. L. and C. A. REAVES: Soil reaction to subsoiling equipment. — Agric. Engin. 39 (1958) S. 340—343

[17] COOPER, A. W. and M. L. NICHOLS: Some observation on soil compaction tests. Agric. Engin. 40 (1959) S. 264—267

[18] ZEPENEN, A. N.: Physikalische Grundlagen des Schnittvorganges. Jzd. Akad. Nauk SSSR, Moskau 1950

[19] BUTTERFIELD, H. D.: A stereo photogrammetric method for measuring displacement fields. Geotechnique 20 (1970) S. 308—314

[20] TANNER, D. W.: Further Work on the relationship between rake angle and the performance of simple cultivation implements. Journ. of Agric. Eng. Res. 5 (1960) S. 307—315

[21] WILLAT, S. T. and A. H. WILLIS: Soil compaction in front of simple tillage tools. Journ. of Agr. Eng. Research 2 (1965) S. 109—113

[22] O'CALLAGHAN, J. R.: Internal flow in moving beds of granular material. Journ. of Agric. Eng. Res. 5 (1960) S. 200—217

[23] OLSON, D. J. and J. A. WEBER: Effect of speed on draft of model tillage tools. Unpublished M. S. Thesis, Univ. of Ill. Library, Urbana, Ill. 1965

[24] SIEMENS, J. C., WEBER, J. A. and T. H. THURNBURG: Mechanics of soil under the influence of model tillage tools. ASAE-Paper No. 64—104

[25] WONG, JO-JOUNG: Behaviour of soil beneath rigid wheels. Journ. of Agric. Eng. Res. 12 (1967) S. 257—269

[26] HITTIRAJCHU, D. R. P. and A. R. REECE: Symmetrical three-dimensional soil failure. Journ. of Terramechanics 4 (1967) S. 45—66

[27] WIENDIECK, K. W.: Stress-displacement relation and terrain-vehicle mechanics. Journ. of Terramechanics 5 (1968) S. 67—85

[28] SCHREYER, W.: Untersuchung über die räumlichen Kräfteverhältnisse am Pfluge. Diss. Bonn 1927

[29] KÜHNE, G. and A. KÖNIG: Forschungsarbeiten in der Bodenrinne. Halle 1932

[30] MARCKS, K.: Bisherige Untersuchungen über den Bodenbearbeitungswiderstand und ein neues Gerät zu seiner Messung. Technik in der Landwirtschaft (1932) S. 232

[31] GETZLAFF, G.: Messung der Kraftkomponenten an einem Pflugkörper. In: Grundl. d. Landtechn., Heft 1 1951, S. 16—24

[32] ARTHUR, J. R. F. and K. H. ROSCOE: An earth pressure cell for the measurement of normal and shear stresses. Civ. Eng. and publ. Works Rev. 56 (1961) S. 765—770

[33] KUTZBACH, H. D.: Elektronische Meß-, Registrier- und Auswertverfahren für die Verwendung in der Landtechnik. In: Proceedings Arbeitstagung der 3. Sektion der C. I. G. R. in Wageningen, Oktober 1970, S. 6—25

[34] VANDEN BERG, G. E.: Continuous analog techniques and instrumentation for experimental research. Transactions of the ASAE 9 (1966) S. 661 ff

[35] WISMER, R. D. and M. W. FORTH: Soil dynamics research at Deere and Comp. In: Proc. of the Internat. Conference of the ISTVS, Essen 1969, Vol. 3, S. 107—138

[36] KOUWENHOVEN, J. K. and R. TERPSTRA: Mixing and sorting of granules by tines. Journ. Agric. Eng. Res. 15 (1970) S. 129—147

[37] SOHNE, W.: Einige Grundlagen für eine landtechnische Bodenmechanik. In: Grundl. d. Landtechn. Heft 7 1956, S. 11—27

[38] PRZIGODA, Z.: Untersuchungen an den Arbeitsorganen von Grubbern. Traktory i sel'chozmasiny 2 (1961) S. 19 ff

[39] STEFANELLI: Soil resistance to cutting with a wire. 9. Internat. Congr. of Soil Science; Transact. 1968

*

An dieser Stelle sei der Dokumentation Landtechnik in Braunschweig-Völkenrode für zahlreiche Hinweise bei der Zusammenstellung der Literatur gedankt.

Landwirtschaftliche Nutztiere in modernen Haltungsverfahren

Die landwirtschaftliche Produktionstechnik einschließlich der Verfahren der Tierhaltung hat sich stark gewandelt. Der Trend zu industriellen Produktionsverfahren, der noch längst nicht abgeschlossen ist, aber blieb nicht ohne Auswirkungen. Bei den Nutztieren erhöhte sich die Sterblichkeitsrate bei gleichzeitiger Minderung ihrer Widerstandskraft gegen Krankheiten. So ist die Häufigkeit des Herztodes bei Schweinen innerhalb weniger Jahre auf das Doppelte gestiegen. In der Rinderhaltung entfällt bereits mehr als die Hälfte aller Verluste auf Eutererkrankungen und Fruchtbarkeitsstörungen. Diese Phänomene finden noch keine ausreichende Erklärung, da noch weitgehend unbekannt ist, wie und in welcher Weise die neuen Produktionsverfahren auf die Tiere einwirken und welche Gefahren damit verbunden sind. Aufklärung soll hier das neue Schwerpunktprogramm „Landwirtschaftliche Nutztiere in modernen Haltungsverfahren“ bringen, das zunächst über fünf Jahre laufen soll und in diesem Jahr mit 800 000 DM gefördert wird. Im Rahmen dieses Programms soll vor allem die interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Tierzucht und Tierhaltung, der Verhaltensforschung, der Veterinärmedizin, der Tierernährung und der Technik in der Tierhaltung gefördert werden unter besonderer Berücksichtigung des wissenschaftlichen Nachwuchses.

(Deutsche Forschungsgemeinschaft)