

Der Inhalt des Berichtes beschränkte sich zunächst auf die Beschreibung der zu messenden Beanspruchungsgrößen sowie der erforderlichen Meßstellen in dem verwendeten Schlepper. Neben der Beschreibung der Klassiermethode werden die Zusammenhänge zwischen den anfallenden analogen Meßdaten auf digital arbeitenden Rechenanlagen geklärt.

Die schließlich ausgewerteten Versuche vermittelten erste Angaben über die Beanspruchungsgrößen nach Höhe und Häufigkeit bei unterschiedlichen Einsätzen.

Vorwiegend Schlepper höherer Leistungsklassen bei unterschiedlichen Antriebsverhältnissen — Hinterrad- und Allradantrieb — werden in diesem Zusammenhang beurteilt.

## 8. Schrifttum

- [1] KLOTH, W. und Th. STROPPEL: Der Energiefluß im Zapfwellenbinder. Technik in der Landwirtschaft 13 (1932) S. 1—8  
[2] KLOTH, W. und Th. STROPPEL: Kräfte, Beanspruchungen und Sicherheiten in den Landmaschinen. VDI-Z. 80 (1936) S. 85—92

- [3] GASSNER, E.: Betriebsfestigkeit. Eine Bemessungsgrundlage für Konstruktionsteile mit statistisch wechselnden Betriebsbeanspruchungen. Konstruktion 6 (1954) S. 97—104  
[4] EIMER, M.: Möglichkeiten einer festigkeitgerechten Bewertung von Belastungsaufzeichnungen. Landtechn. Forschung 19 (1966) S. 56—62  
[5] KAIFERS, M.: Die Auslegung von Landmaschinenbauteilen nach Lastkollektiven. Landtechn. Forschung 13 (1963) S. 171—179  
[6] COENENBERG, H. H.: Dynamische Beanspruchungen von Ackerschleppern. Landtechn. Forschung 11 (1961) S. 145—150 und 12 (1962) S. 7—12  
[7] GERLACH, A.: Erfassung der Triebwerksbelastung von Ackerschleppern. Landtechn. Forschung 8 (1958) S. 61—67  
[8] GLUTH, M. und H. VOSS: Ein Beitrag zur Frage der Betriebsbeanspruchungen von Feldhäckslerorganen. Landtechn. Forschung 16 (1966) S. 177—182  
[9] SACHF, H. O.: Betriebsbeanspruchungen in den Organen einer Hochdruckballenpresse. Landtechn. Forschung 16 (1966) S. 184—188  
[10] KÜHLBORN, H.: Beanspruchungen der Antriebs Elemente von Schlegelfeldhäckslern. Grundlagen d. Landtechnik 18 (1968) S. 185—190  
[11] KÜHLBORN, H.: Der Leistungsbedarf wichtiger Arbeitsmaschinen zur Halmfuttermittelgewinnung (Teil I). Landtechn. Forschung 18 (1970) S. 132—137 und S. 153—164  
[12] MAIER, X.: Prozeßsteuerereinheit IBM 1827 für Analogdatenverarbeitung. Interner Bericht der Fa. ZF, Friedrichshafen 1970

# Die Kinematographie als Forschungsmittel zur Beurteilung der Einzelvorgänge an Bodenbearbeitungsgeräten

Rolf Engel

Max-Planck-Institut für Landarbeit und Landtechnik, Bad Kreuznach

## 1. Neue wirtschaftliche und technische Voraussetzungen für die Bodenbearbeitung

Das weitverbreitete Bestreben zur Vereinfachung des Betriebsaufbaus und der Fruchtfolgen lassen Anzeichen zum verstärkten Gareschwund auf einigen europäischen Ackerböden erkennen. Neben pflanzenbaulichen und anderen Gründen ist die Ursache dieser Erscheinung in der Bodenbearbeitung selbst zu suchen. Die veränderten Wirtschaftsformen verkürzen die Zeitspannen für die Bodenbearbeitung und vermindern die Zeit für die Ruhe des Bodens bis zum natürlichen Setzen des Saatbettes. Durch diese veränderten Tatsachen werden heute an Bodenbearbeitungsgeräte bezüglich ihrer Wirkung und ihrer Flächenleistung größere Anforderungen gestellt.

Die heutigen Verfahren der Bodenbearbeitung sind ebenso wie die dazu verwendeten Werkzeuge überwiegend empirisch entstanden und haben, solange es sich um gezogene und nicht selbst angetriebene Geräte handelt, sich im Laufe der Zeit kaum verändert. Dies trifft für die klassischen Bodenbearbeitungsgeräte, den Pflugkörper, die Egge mit starren Zinken — als das bis heute noch verbreitetste Pflugnachfolgegerät — und die Walze, zu. Diese Geräteentwicklungen entstammen aus Zeiten der tierischen Zugkraft. Die höheren Schlepperleistungen und die damit möglichen höheren Arbeitsgeschwindigkeiten der Schlepper haben keine grundlegenden Veränderungen ihrer Bauformen hervorgerufen.

Das eigentliche Ziel der Bodenbearbeitung ist die zweckmäßige Beeinflussung der Bodenstruktur, um den verschiedenen Ansprüchen der Kulturpflanzen gerecht zu werden. Durch veränderte Wirtschaftsformen sind hinsichtlich der Ansprüche an die Geräteformen heute folgende neue Anforderungen erkennbar:

1. Zur Erzielung größerer Leistungen je Arbeitskraft sind größere Arbeitsbreiten, höhere Arbeitsgeschwindigkeiten, bessere Intensität der Werkzeuge und Kopplung von Arbeitseffekten erforderlich.

2. Die kurzen Zeitspannen erzwingen Bodenbearbeitungen unter schwierigen Bedingungen (Nässe oder Trockenheit). Der Bodenschluß für die Saat muß oftmals künstlich geschaffen werden.
3. Der stärker werdende Stroh- und Stoppelanfall verlangt eine intensive Mischarbeit, welche die konventionellen Geräte nur unvollkommen erreichen.
4. Höhere Maschinengewichte und abnehmender Humusgehalt des Bodens bringen für einige Böden eine zunehmende Verdichtung, welche eine gezielte Auflockerung erfordert.

Diese neuen wirtschaftlichen und technischen Voraussetzungen für Bodenbearbeitungsgeräte sind erkennbar und haben in den vergangenen Jahren eine Reihe von Neukonstruktionen hervorgerufen. Es ist in diesem Zusammenhang aber nicht an die größere Arbeitsbreite der Geräte, welche durch die größere Zugkraft und das bessere Hubvermögen der hydraulischen Geräteaushebung ermöglicht wurde, gedacht, sondern an die Bodenbearbeitungswerkzeuge, welche durch die Schlepperzapfwelle angetrieben werden. Hier scheint ein Teil der durch den Boden gezogenen Werkzeuge durch angetriebene rotierende oder sich hinundherbewegende Werkzeuge ersetzt zu werden. Diese Werkzeuge ermöglichen eine bessere Ausnutzung der höheren Schlepperleistungen, indem ein Teil der Motorkraft über die Zapfwelle übertragen wird. Außerdem ist vielfach durch den von der Fahrgeschwindigkeit unabhängigen, meist variierbaren Antrieb der Werkzeuge sicherer der gewünschte Arbeitseffekt zu erzielen und eine bessere Abstimmung auf den herrschenden Bodenzustand zu erreichen.

Die Wirkung aller Bodenbearbeitungsgeräte auf die physikalischen Bodeneigenschaften ist jedoch in gleicher Weise vielgestaltig und erfordert einen differenzierten Einsatz der Werkzeuge. Sowohl für den Einsatz als auch für die Konstruktion von Werkzeugen und Geräten ist eine sichere Kenntnis der Wirksamkeit des Werkzeugs auf den Boden erforderlich. Die meisten bisher verwendeten Meßverfahren für den Bodenbearbeitungseffekt erlaubten nur die Fest-

stellung einzelner Endphasen der Bodenbearbeitung; sie geben jedoch keinen Einblick in die Gesetzmäßigkeiten der Bewegungsabläufe. Nur aus der Bewegung lassen sich aber gegenseitige Beeinflussungen sowohl der Werkzeuge untereinander als auch der Werkzeuge auf den Boden erkennen. Die Kenntnis der Bewegungen am Werkzeug und am Boden ist jedoch wichtig für die Entwicklung von neuen Bearbeitungsgeräten, für die Kopplung von Arbeitseffekten und für den Einsatz der Geräte.

## 2. Der Film als Hilfsmittel

Für die Lösung dieser Aufgabe erscheint als Hilfsmittel die Kinematographie wegen ihrer Objektivität sowie ihren Möglichkeiten zur meßtechnischen Auswertung besonders geeignet. Sie erlaubt die Betrachtung ein und desselben Vorgangs in beliebiger Wiederholung, ungehindert durch störende Nebeneinflüsse. Bei der Bodenbearbeitung auf dem Feld ist es unmöglich, an einzelnen Bodenteilchen, welche sich in der Bewegung befinden, Messungen auszuführen. Die an sich relativ langsam verlaufenden Vorgänge verlaufen immer noch zu schnell, um sie bei der Vielfalt der Erscheinungsformen bis in alle Einzelheiten verfolgen zu können. Hier kann die Filmaufnahme, die den Bewegungsablauf in keiner Weise stört, ein wichtiges Forschungsmittel darstellen. Durch die Anwendung der Zeitlupe ist eine zeitliche Dehnung des Vorgangs möglich und dem Betrachter des Films werden viele Einzelheiten erschlossen, die im normalen Bewegungsablauf nicht erkennbar sind. Die Verwendung von Hochfrequenzkameras zum Beispiel mit einer Bildfrequenz von 1000 Bildern je Sekunde erlaubt bei Einzelauswertung das Erfassen von Bewegungsvorgängen in  $\frac{1}{1000}$  Sekunde.

### 2.1. Aufgabenstellung

Der Schwerpunkt der Untersuchungen sollte in der Methodik liegen und die Möglichkeiten des Films bei der landwirtschaftlichen Grundlagenforschung klären. Untersuchungsobjekte waren Ackerreggen mit starren Zinken, die auf unterschiedlichen Bodenzuständen eingesetzt wurden. Untersuchungsziel war der Einfluß von Geschwindigkeit, Eggenaufhängung, Eggengewicht, Zinkenform und Zinkenordnung auf die Bewegungsvorgänge und auf den Arbeitseffekt. Die Filme sollten weder im Labor noch in einer Bodenrinne aufgenommen werden, da hier der natürliche Zustand des Ackerbodens unvollkommen übertragen werden kann.

### 2.2. Durchführung

Auf Ackerflächen des Max-Planck-Instituts für Landarbeit und Landtechnik, Bad Kreuznach, wurden bei unterschiedlichen Bodenzuständen Ackerreggen mit starren Zinken bei der Arbeit gefilmt, um die Bewegungen zu analysieren.

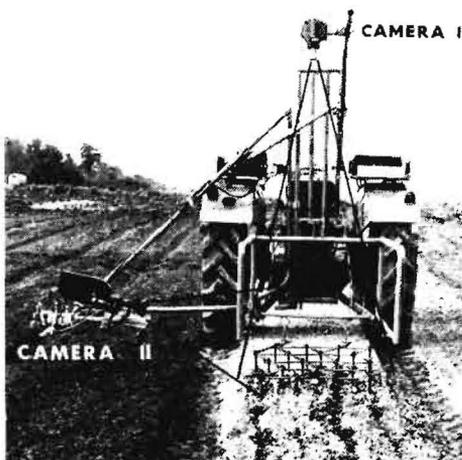


Bild 1: Versuchsanordnung I, bei der die Kameras durch Ausleger an dem Schlepper angebracht waren

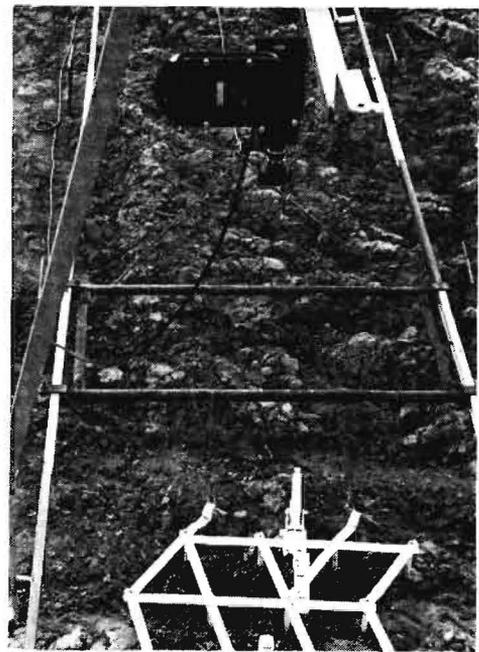


Bild 2: Versuchsanordnung II, mit in Schienen laufender Kamera und Eggenzugwagen

Die erste Versuchsanordnung und die ersten Versuchsaufnahmen entstanden in Zusammenarbeit mit dem Institut für wissenschaftlichen Film, Göttingen (Direktor: Prof. WOLFF). Hier wurde das zu untersuchende Eggenfeld von einem Schlepper gezogen. Am Schlepper selbst waren über Rohrausleger zwei Kameras angebracht (Bild 1); die eine Kamera über einen Galgen senkrecht über dem Eggenfeld, die andere seitlich des Feldes an einem Ausleger. Das zu filmende Eggenfeld war mit Meßmarken für die Auswertung versehen. Während die senkrechte Kamera vor allem die horizontalen Bewegungen am Boden und am Werkzeug aufnehmen sollte, diente die seitlich angebrachte Kamera dazu, die vertikalen Bewegungen und vor allem den Tiefgang der Egge festzustellen. Um die Bewegungen, die von beiden Kameras aufgenommen wurden, einander zuordnen zu können, wäre eine absolut exakte Synchronisation beider Kameras erforderlich gewesen. Obwohl es sich bei den verwendeten Kameras um teure Hochfrequenzkameras (maximal 2000 Bilder/Sekunde) handelte, zeigten die späteren Auswertungen, daß es infolge unterschiedlicher Anlaufzeiten zu Bildverschiebungen kam, die bei der Auswertung nicht genau genug berücksichtigt werden konnten. Bei dieser Kameraanordnung an den Schlepper offenbarte die Auswertung einen weiteren Nachteil. Der Schlepper bewegte sich nicht nur in Fahrtrichtung vorwärts, sondern er bekommt auch in Fahrtrichtung und quer zur Fahrtrichtung vertikale Bewegungen durch Unebenheiten auf dem Acker. Durch diese unkontrollierten Bewegungen bekommen die Kameras eine veränderte Position zum Aufnahmeobjekt. Diese Bewegung der Kameras ist bei der Betrachtung des Filmes bei laufender Projektion nicht feststellbar und ohne Bedeutung, so daß auch hier schon bestimmte Aussagen möglich waren. So konnte hier beispielsweise bei homogener Bodenstruktur gut der Schüttwinkel in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit festgestellt werden, weil hier Bezugspunkt der Zinken selbst war. Die Kenntnis des durch gezogene Werkzeuge verursachten seitlichen Bodentransportes ist jedoch bei der Konstruktion des Zinkenabstandes bei Eggen beispielsweise wichtig. Eine an sich schon sehr zeitaufwendige Einzelauswertung jedoch ist sehr erschwert, da sich durch die Kamerabewegungen hier laufend der Abbildungsmaßstab ändert, was bei jedem auszumessenden Bild durch einen anderen Korrekturfaktor zu berücksichtigen wäre.

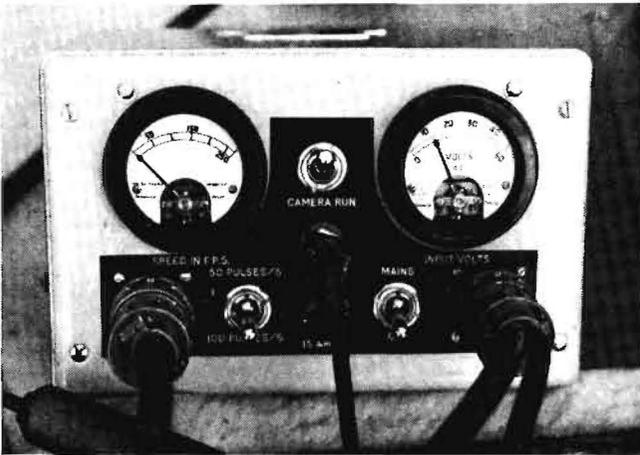


Bild 3: Steuergerät für Meßkamera

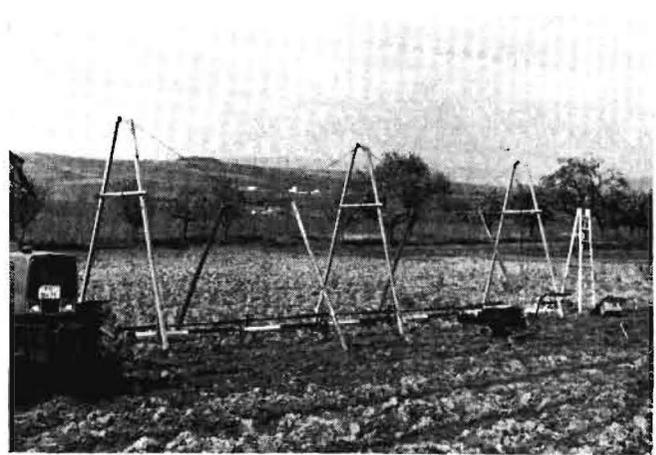


Bild 4: Gesamtansicht der Schienenbahn

Zu diesen in der ersten Phase der Versuche gefundenen Mängeln in der Aufnahmetechnik kam hinzu, daß die Abhängigkeit von Witterungsverhältnissen Schwierigkeiten der Termingestaltung mit einem auswärtigen Institut wie dem für wissenschaftlichen Film in Göttingen bereitete. Durch Anschaffung einer für die Aufnahmen geeignete eigenen Meßkamera konnten wir uns den Boden- und Witterungsverhältnissen besser anpassen. Aus den bereits vorliegenden Erfahrungen kannten wir die Anforderungen an die Kamera und wußten, daß die bisher verwendeten Hochgeschwindigkeitskameras nicht erforderlich waren, sondern daß Bildfrequenzen von 100 bis 200 Bildern in der Sekunde für Vorgänge am Werkzeug und im Boden ausreichend sind<sup>1)</sup>.

### 2.2.1. Die Aufnahmekamera

Bei der verwendeten Aufnahmekamera (Bild 2) handelte es sich um eine Kamera für 16-mm-Filme. Der Antrieb der Kamera erfolgte durch einen Elektromotor, der vom Gleichstrom eines speziellen Stromversorgungsgerätes oder durch Batterien gespeist wurde. Über ein separates Steuergerät (Bild 3) ließ sich die Kamera mit Bildgeschwindigkeiten zwischen 50 und 250 Bildern je Sekunde einsetzen. Dabei wird bei der Betrachtung des Filmes mit einem normalen Projektor, der mit einer Bildgeschwindigkeit von 16 Bildern je Sekunde läuft, eine 3- bis 15-fache Zeitdehnung erzielt. Für genauere Auswertarbeiten, bei welchen die Zeit wichtig ist, durch Einzelbildprojektoren, kann durch eine im Kameragehäuse eingebaute kleine Neonlampe eine Zeitmarke auf den Filmrand durch Belichtung aufgetragen werden.

### 2.2.2. Die Kamera-Anordnung

Bei den Filmaufnahmen der Arbeit mit verschiedenen Eggen wurde jetzt die Kamera nicht an den Schlepper mit seinen unkontrollierbaren Eigenbewegungen angebracht. Wir verzichteten auch darauf, das Eggenfeld bei den Versuchen direkt vom Schlepper ziehen zu lassen, weil die Eigenbewegung des Schleppers auch den Eggenzug beeinflusste, sondern errichteten eine 24 lange Schienenbahn, die von drei auf Kufen stehenden Böcken getragen wurde (Bild 4). In den beiden unteren Schienen wurde der Eggenzugwagen (Bild 2) geführt. Senkrecht über dem Eggenfeld lief, an einem Schlitten befestigt, in einer dritten Schiene die Kamera. Eggenfeld und Kamera wurden gleichzeitig von einer in der Geschwindigkeit variierbaren Winde gezogen. Die senkrecht über der Egge laufende Kamera bringt keine genauen Hinweise über den Tiefgang der Egge. Deshalb wurde am Eggenfeld

vorn und hinten Tasträder angebracht, die die Vertikalbewegungen der Egge über Hebel auf eine von der Kamera erfassbare horizontale Skala übertragen (Bild 5). Die unteren Schienen für den Eggenzugwagen sind mit im Blickfeld der Aufnahmekamera liegenden Meßpunkten versehen, die die Auswertarbeiten später erleichtern. Nach einem Versuchsdurchgang ist die Schienenbahn relativ einfach und schnell auf den Kufen um eine Versuchslänge mit Hilfe der auch bei der Eggenarbeit verwendeten Seilwinde weiterzuziehen. Die nutzbare Versuchsstrecke beträgt dann jeweils 20 m.

## 3. Ergebnisse

Die Filmaufnahmen zeigen dem Betrachter durch die zeitliche Dehnung der Arbeitsvorgänge viele Einzelheiten, die im normalen Bewegungsablauf nicht erkennbar sind. Es wurde bestätigt, daß bei Eggen mit feststehenden Zinken die Hauptzerkleinerungsarbeit von der ersten und zum geringen Teil noch von der zweiten Zinkenreihe geleistet wird. Für die Zerkleinerung ist das Aufbrechen des unberührten Bodens in der ersten Zinkenreihe entscheidend. Von den weiteren Zinkenreihen werden die losen Erdklumpen nur mehr oder weniger hin- und hergeschoben und in den meisten Fällen nur unwesentlich zerkleinert. Stärker an der Zerkleinerung sind die Querstege der Egge, vor allem bei

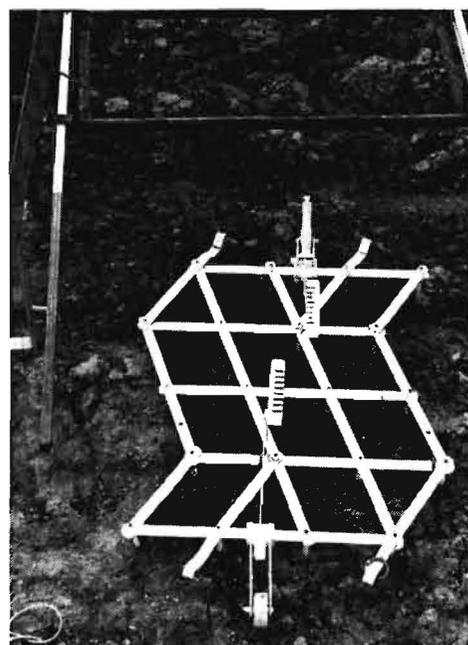


Bild 5: Versuchseggfeld mit Tiefganganzeiger

<sup>1)</sup> Die Anschaffung der Filmkamera erfolgte durch die Unterstützung und durch die Bereitstellung von finanziellen Mitteln der Deutschen Forschungsgemeinschaft

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 trockenen 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.