

projection un retard du moment d'impact qui influe sur le déroulement entier de la projection. Il en résulte, en premier lieu, une réduction de la vitesse d'impact dont la valeur influe d'une façon décisive sur la quantité de terre tamisée. Les relations entre la projection et l'impact ont été déterminées, pour une grille oscillante à guidage parallèle, au moyen de méthodes de mesure électriques et par un film enregistrant le mouvement de la totalité de la terre. On a obtenu ainsi des connaissances très étendues sur les rapports entre le mouvement de la grille et celui de la terre.

On peut déduire des recherches théoriques et expérimentales sur le tamisage de la terre par une grille oscillante que l'on n'obtient des conditions de tamisage optimum que si la couche de terre sur la grille est aussi mince que possible. De plus, il faut faire attention que la cohésion de la terre soit déjà diminuée avant l'opération de tamisage proprement dite. De même, l'adaptation de la vitesse d'alimentation à la vitesse d'impact peut être réalisée plus facilement quand la couche de la terre sur la grille est réduite. L'adaptation de la grille oscillante aux conditions de travail variées est très limitée. Il est donc nécessaire d'utiliser des dispositifs qui permettent le changement rapide et en continue de la fréquence d'oscillation de la grille et de sa position.

Wolfgang Baader: «La separación de la tierra en cosechadoras de patatas por cribas oscilantes.»

El empleo de cribas oscilantes para la separación de la tierra en la cosecha mecánica de patatas, hacía necesaria la investigación de los fenómenos de movimiento y de cribado que se presentan, ya que se

apreciaban diferencias a veces considerables entre las condiciones prácticas y las relaciones deducidas de la teoría de la oscilación, conocidas hasta la fecha.

Las posibilidades de deformación que tiene la tierra, y la carga relativamente elevada que pesa sobre las cribas, dan lugar a una prolongación temporal del choque al final de las diferentes proyecciones, ejerciendo una influencia sobre todo el comportamiento de la patata en el lanzamiento. De esto resulta en primer lugar una reducción de la velocidad de choque, cuyo valor influye de manera decisiva la cantidad de tierra separada por cada choque.

Se han establecido las condiciones de lanzamiento y de choque en una criba de conducción paralela, con instrumentos eléctricos, y de todo el movimiento del material con fotografía retardada en películas, consiguiéndose así una impresión bastante clara sobre el curso de los movimientos de la criba y de la tierra.

De las investigaciones teóricas y de las prácticas se puede deducir que, para conseguir resultados óptimos, separando la tierra con criba oscilante, es preciso conservar la capa de material encima de la criba tan baja como sea posible. Además hay que procurar la destrucción de la buena cohesión de los terrones, antes de cribar. Resulta también más fácil establecer el acuerdo necesario entre la velocidad de transporte y la de choque, cuando la capa sea menos alta. La criba oscilante en sí se adapta muy poco a condiciones de trabajo que varíen mucho, por lo que requiere para su empleo práctico dispositivos que permitan el cambio rápido y sin escalonamiento de la frecuencia de oscilación y de su ajuste.

Wolfgang Baader:

## Die meßtechnische Erfassung der Vorgänge bei der Absiebung von Erde auf schwingenden Siebrosten

Institut für Landmaschinenforschung, Braunschweig-Völkenrode

Bei der Verwendung schwingender Siebelemente für die Abtrennung der Erde in Kartoffelentmaschinenten läßt sich der Bewegungsablauf des Gutes nicht mit der Wurftheorie einer inkompressiblen Einzelmasse allein erfassen. Das Deformationsvermögen der Erde und die in der Regel große Siebbelastung beeinflussen das Wurfverhalten des Siebgutes so stark, daß eine Vorausberechnung der günstigsten Betriebsverhältnisse mit den herkömmlichen Methoden nicht ausreicht. Durch experimentelle Untersuchung der Wechselwirkungen zwischen schwingendem Siebrost und Erde können aber die Abweichungen zwischen der bisher bekannten Wurftheorie und den in der Praxis auftretenden Verhältnissen erklärt werden. Für eine Analyse des Wurf- und Absiebvorganges müssen insbesondere bekannt sein:

1. die spezifische Siebdurchgangsleistung, das heißt das pro Zeiteinheit von einem Quadratmeter Siebfläche abgesiebte Gewicht siebbaren Gutes, in Abhängigkeit von der Sieblänge bei verschiedener Feuchtigkeit des Siebgutes und verschiedenen Siebeinstellungen;
2. der Phasenwinkel der Siebbewegung bei der Ablösung und dem Aufprall der untersten Siebschicht und
3. die Relativbewegung der einzelnen Siebgutschichten zum Sieb.

Zur Klärung dieser Einflußgrößen sind im Institut für Landmaschinenforschung an einem Versuchsstand Messungen durchgeführt worden, über deren Ergebnisse bereits berichtet wurde [1]. Die folgenden Ausführungen beschränken sich darum auf die Darstellung der verwendeten Meßmethoden<sup>1)</sup>.

### Versuchsaufbau

Die Versuchsanlage (Bild 1) war für Siebbelastungen von 150 bis 170 kg/m<sup>2</sup>s ausgelegt, was den im praktischen Feldbetrieb auftretenden Belastungen entspricht. Der Siebrost (1) mit einer Gesamtlänge von 1000 mm und einer Breite von 400 mm bestand aus 11 Stahlrohren von 10 mm Durchmesser, die in lichten Ab-

ständen von 25 mm in Längsrichtung zwischen zwei Holmen aus Lindenholz angeordnet waren. Seitenwände aus Blech beziehungsweise Plexiglas verhinderten das Ausbrechen des Siebgutes. Das Sieb war an zwei Paar 800 mm langen Stahlrohrschwingen im Maschinengestell aufgehängt. Dieses Viergelenkgetriebe wurde über eine 700 mm lange Kurbelstange von einem Exzenter (2) in Schwingung versetzt, dessen Amplitude von 0 bis 45 mm stufenlos verstellt werden konnte. Der Antrieb der Exzenterwelle erfolgte über Keilriemen von einem Gleichstrommotor (4) aus, der stufenlos von 300 bis 1800 U/min zu steuern war. Ein zweiter, ebenfalls verstellbarer Exzenter war mit einer auf das Sieb abgestimmten Ausgleichsmasse (3) verbunden. In der Mittelstellung des Schwingenausschlages (Phasenwinkel 0°) betrug der Winkel zwischen den Schwingen und der Vertikalen 40°. Bei parallelen und gleichlangen Schwingen waren sowohl das Gestell als auch die Siebebene zur Horizontalen unter einem gleichen Winkel von 15° geneigt. In der Nullstellung des Getriebes standen die Schwingen unter einem rechten Winkel zur Verbindungsebene zwischen der Exzenterwellenmitte und der Achse durch die Anlenkpunkte für die Kurbelstange am Sieb, wobei die Anlenkpunkte des hinteren Schwingenpaares und die der Kurbelstange in einem Doppellager zusammengefaßt waren.

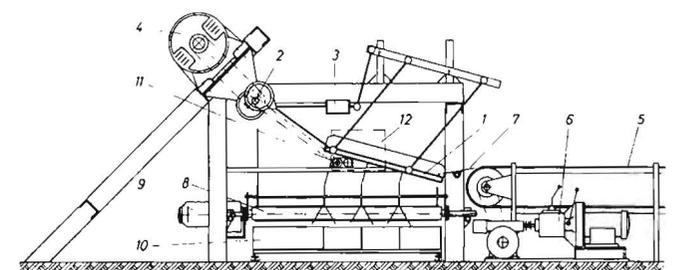


Bild 1: Aufbau des Versuchsstandes

- |  |                                       |
|--|---------------------------------------|
| 1 = Siebrost mit Plexiglas-Seitenwand; | 7 = Übergangsplatte;                  |
| 2 = Exzenterwelle;                     | 8 = Querband;                         |
| 3 = Ausgleichsmasse;                   | 9 = Antrieb für Querband;             |
| 4 = Antriebsmotor;                     | 10 = Wagen mit Auffangbehältern;      |
| 5 = Zuführband;                        | 11 = Phasen- und Zeitanzeiger;        |
| 6 = Antrieb für Zuführband;            | 12 = Bildausschnitt für Filmaufnahmen |

<sup>1)</sup> Die beschriebenen Versuche wurden unter der Leitung von Prof. Dr.-Ing. D. SIMONS + mit finanzieller Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft durchgeführt, der auch an dieser Stelle dafür gedankt sei

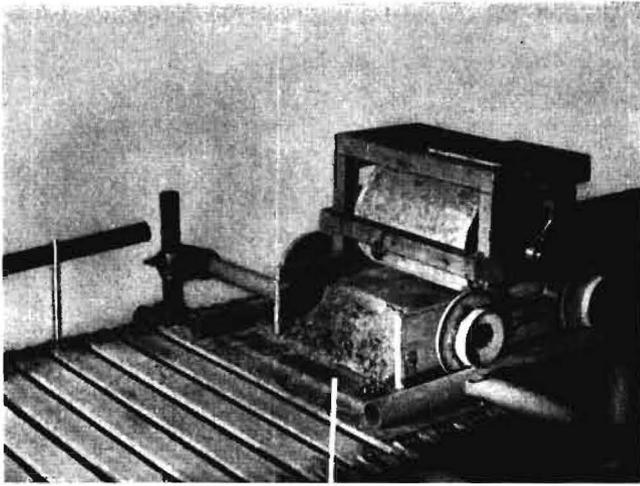


Bild 2: Verdichten des Erddammes durch eine im Tiefgang begrenzte Walze

Die Beschückung des Siebes erfolgte über ein 12 m langes Zuführband (5), bestehend aus zwei Laschenkettens mit dazwischengeschraubten Holzleisten, über welche ein dünnes gummiertes Tuch gelegt war. Die Leisten des oberen Trums mußten auf Gleitschienen geführt werden, um eine ebene Bandoberfläche zu erhalten. Da bei der Kartoffelernte das Siebgut in Form eines geschlossenen und zusammenhängenden Damms dem Sieb zugeführt wird, mußte die Aufbereitung der Erde entsprechend vorgenommen werden. Das Versuchsmaterial bestand aus Ackerboden, dessen Korngrößenzusammensetzung mit Hilfe der Schlämmanalyse ermittelt wurde (Tafel I [1]). Die stark angetrocknete Erde (Feuchtigkeit etwa 12%) wurde zuerst von Steinen und Faserteilen gesäubert und dann in einem Reißwolf auf eine Aggregatgröße kleiner als 5 mm gebracht. Nachdem durch Wasserzusatz, kräftiges Mischen mit dem Zerreißer und etwa 48-stündiges Lagern ein gleichmäßiger Feuchtigkeitsgehalt (zwischen 15 und 21%) erreicht war, wurde die Erde locker in einen 350 mm breiten und 150 mm tiefen Kanal eingefüllt, der auf einer Länge von 10 m auf dem Förderband durch zwei hochklappbare Bretterwände gebildet wurde. Nach Verdichtung der Erde um 15% der Ausgangshöhe mit einer im Tiefgang begrenzten Walze (Bild 2) konnten die Seitenwände hochgeklappt werden (Bild 3). Der so aufbereitete Damm wurde dann über eine Glasplatte (7) als Überleitelement auf das Sieb geschoben. Unter dem Siebrost war ein quer zur Schwingungsrichtung laufendes Förderband (8) zur Aufnahme des verarbeiteten Siebgutes angeordnet. Zur getrennten Erfassung des Siebgutdurchgangs in drei Bereichen der Sieblänge sowie des Übergangs war das Querband (8) in seiner Längsrichtung in mehrere Kanäle aufgeteilt. Bei der Messung der Siebdurchgangsleistung förderte das Querband (8) alles Gut zuerst auf die rechte Seite des Versuchsstandes (in Beschückungsrichtung gesehen). Sobald

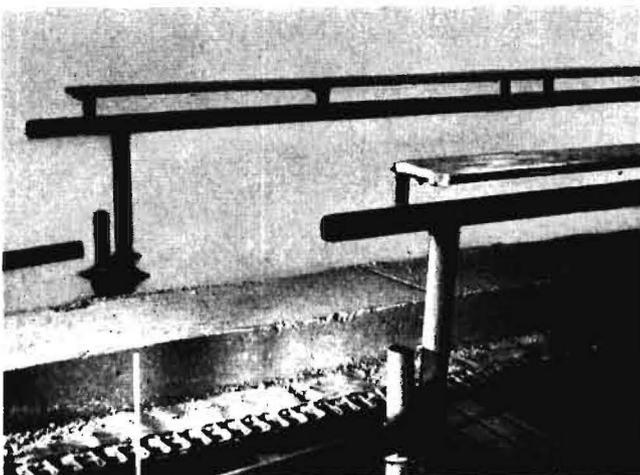


Bild 3: Erddamm auf dem Zuführband nach dem Walzen und Hochklappen der Seitenwände

sich im Absiebvorgang ein gleichbleibender Zustand eingestellt hatte, konnte die Laufrichtung des Querbandes elektrisch umgesteuert werden, wobei das Siebgut dann in fahrbare Auffangbehälter (10) auf der linken Seite des Versuchsstandes gefördert wurde. Nachdem eine Siebgutmenge, die einer Strecke von 3,5 m des Zuführbandes entsprach, aufgefangen war, bewirkte die Steuerung wieder die Umkehrung der Laufrichtung des Querbandes. Auf diese Weise war es möglich, die Versuche unter gleichen Beschickungsverhältnissen durchzuführen.

#### Bestimmung des Phasenwinkels für die Ablösung und den Aufprall des Siebgutes

Um das Zusammenwirken zwischen Siebgut und Sieb zahlenmäßig erfassen zu können, mußte eine zeitliche Registrierung des Ablöse- und Aufprallzeitpunktes ohne Rückwirkung auf den Bewegungsverlauf des Siebgutes und den Absiebvorgang ermöglicht werden.

Zur Bestimmung des Aufprallphasenwinkels an mehreren über die Sieblänge gleichmäßig verteilten Stellen wurde zunächst ein Siebstab mit neun Kontakten ausgerüstet, deren Aufbau in Bild 4 gezeigt ist. Die Betätigungskraft betrug bei allen Kontakten weniger als 10 p. Jedem Kontakt war in einem Registriergerät

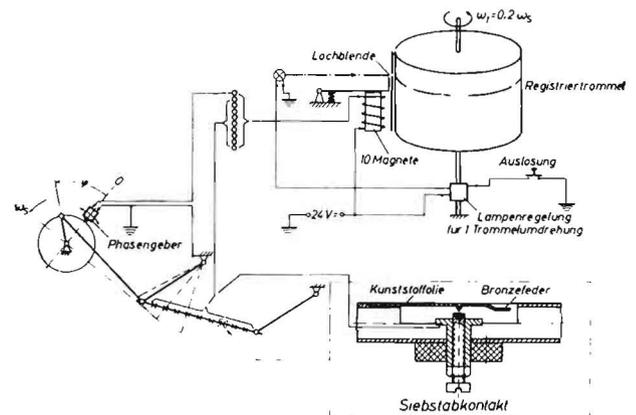


Bild 4: Verfahren zur Registrierung des Aufprallphasenwinkels mit Hilfe von Kontaktgebern auf dem Siebstab

ein Elektromagnet zugeordnet, welcher in stromlosem Zustand eine Lochblende von 1 mm Durchmesser verdeckt ließ. Beim Aufprall des Siebgutes schloß der Kontakt einen Stromkreis, so daß der Magnet die Blende öffnete und ein Lichtstrahl auf die mit einem lichtempfindlichen Film belegte Registriertrummel hindurchtreten konnte. Die Trommel wurde von einem Gleichstrommotor angetrieben, der in dem Läuferstromkreis des Antriebsmotors für die Siebbewegung eingeschaltet und zu dessen Drehzahl in Verhältnis 5:1 unteretzt war.

Um eine Doppelbelichtung des Filmes zu vermeiden, erhielt die Lampe eine nur während einer Trommelumdrehung über eine von Hand auslösbare Steuerung Strom. Die Zuordnung der Aufprallmarkierung zur Nullphase erfolgte über einen weiteren Kontakt an der Siebantriebswelle, dessen Lage gegenüber der Nullstellung des Siebes durch Drehung um die Wellenachse mit Hilfe eines Stroboskopes einreguliert war. Dieser Kontakt ist als Position 8 in Bild 5 eingezeichnet. Bild 5 gibt eine Übersicht über die gesamte elektrische Anlage, wie sie im Verlaufe dieses Beitrages beschrieben wird.

Da Unterschiede in der Anzug- und Abfallzeit der einzelnen Registrierermagnete die Meßergebnisse verfälschen konnten, mußte das Registriergerät geeicht werden. Zu diesem Zweck wurde ein Vergleichsmagnet gleicher Bauart in einen Schleifenzillographen eingebaut und mit ihm der Strahlengang einer Oszillographenschleife unterbrochen. Mit einem Gleichstrommotor ( $n = 200$  bis  $1000$  U/min), auf dessen Welle ein Nocken angebracht war, wurde nun ein Kontakt gesteuert, mit dem der Magnet und eine weitere Schleife parallel geschaltet waren. Aus dem Vergleich der von dem Magnet hervorgerufenen Strahlunterbrechung und der Strahlauslenkung durch die Schleife ergab sich dann unmittelbar die Phasenverschiebung beim Anzug beziehungsweise Abfall des Vergleichsmagnetes für verschiedene Schaltfrequenzen. Der Vergleichs-

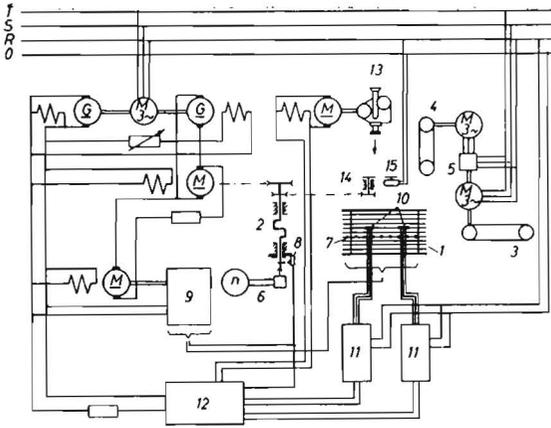


Bild 5: Aufbau der gesamten Versuchsanlage

- |   |                        |
|---|------------------------|
| 1 = Siebrost;                           | 9 = Registriergerät;   |
| 2 = Exzenterwelle;                      | 10 = Normalkraftgeber; |
| 3 = Zuführband;                         | 11 = Verstärker;       |
| 4 = Querband;                           | 12 = Oszillograph;     |
| 5 = elektrische Steuerung für Querband; | 13 = Filmkamera;       |
| 6 = Drehzahlanzeiger;                   | 14 = Phasenanzeiger;   |
| 7 = Siebstabkontakt;                    | 15 = Zeitanzeige;      |
| 8 = Geber für Null-Phase                |                        |

magnet wurde dann in das Registriergerät eingebaut, mit den anderen Magneten parallel geschaltet und mit demselben Kontakt angesteuert. Auf diese Weise war die Bestimmung der Abweichungen in der Anzugszeit der einzelnen Magnete, bezogen auf den Vergleichsmagnet, und damit auch des Gesamtfehlers möglich.

In Bild 6 sind drei mit diesem Verfahren aufgenommene Registrierfilme dargestellt. Die Siebkennziffer  $K_v$  kennzeichnet das Verhältnis der Vertikalkomponente der maximalen Siebverzögerung zur Erdbeschleunigung. Bei gleicher Siebeinstellung ist also die Siebkennziffer dem Quadrat der Siebfrequenz proportional. Die Endpunkte der Marken in der obersten Reihe bedeuten jeweils die Nullphase des Siebes. Die folgenden Markierungen entsprechen den Siebstabkontakten in der Reihenfolge des Förderstromes auf dem Siebrost, wobei der Anfang einer Strichmarke die Phasenlage des Aufpralls bedeutet. Auf dem oberen Film, der bei einer niedrigen Siebkennziffer  $K_v$  aufgenommen wurde, ist die Wurffolge vollkommen gleichmäßig und stimmt mit der Siebfrequenz überein. Bei einer höheren Kennziffer wird jeder zweite Wurf kürzer, um bei einem noch höheren  $K_v$ -Wert ganz zu verschwinden. Statt dessen wird der erste Wurf länger und geht schließlich in einen Wurf über zwei Schwingungsperioden über.

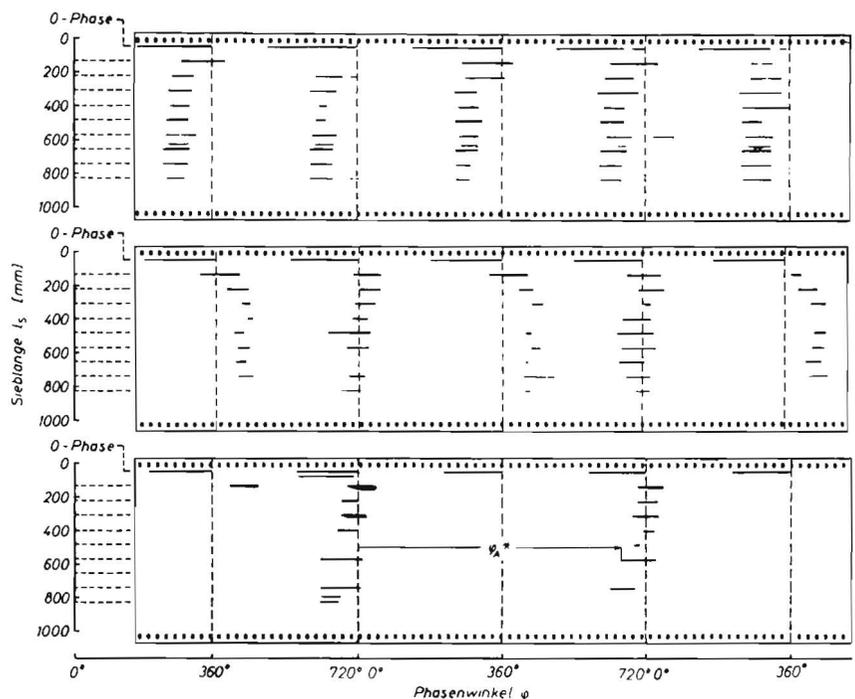


Bild 6: Registrierfilme nach dem Kontaktverfahren

Bestimmung des Aufprallphasenwinkels der Erde  $\varphi_0^*$  an neun Stellen entlang der Sieblänge  $l_s$  bei verschiedenen Siebkennziffern  $K_v$

Die mit diesem Verfahren gewonnenen Ergebnisse ermöglichten bereits einen guten Einblick in die Zusammenhänge bei der Wurfbewegung. Leider war jedoch eine Messung des Ablösephasenwinkels mit den Kontakten nicht möglich, denn es stellte sich heraus, daß bei niedrigen Siebkennziffern der Stromkreis bereits zu einem Zeitpunkt unterbrochen wurde, bei welchem nach der Größe der Siebverzögerung noch keine Ablösung möglich war. Es konnte aber beobachtet werden, daß sich besonders bei feuchter Erde auf dem Siebstab unmittelbar vor und hinter dem Kontakt ein Grat aus feinkörnigem Gut aufbaute. Die Folie aus Polyäthylen, mit welcher der Kontakt abgedeckt war, nahm dagegen das Siebgut nicht an, so daß der Kontakt bald nach dem Auftreffen der untersten Schicht teilweise im toten Winkel des nachfolgend aufprallenden Siebgutes lag. Die Kontaktfeder unterlag somit nicht in vollem Umfang der Einwirkung der Normalkraft von seiten des Siebgutes und konnte sich infolge ihrer Rückstellkraft vorher öffnen. Diese Unzulänglichkeiten ließen sich unter Beibehaltung des Meßverfahrens aus konstruktiven Gründen nicht beseitigen, so daß die Anwendung einer anderen Meßmethode notwendig wurde.

Bei dem daraufhin entwickelten elektronischen Meßverfahren wurde der Siebstab an der Meßstelle auf eine Länge von 70 mm unterbrochen, und die Lücke mit einem 60 mm langen Zwischenstück ausgefüllt, das über eine Dural-Feder mit dem Stab verbunden war (Bild 7). Dehnungsmeßstreifen auf der Feder gestatteten nun mit Hilfe eines Trägerfrequenz-Verstärkers und eines Schleifenoszillographen die Registrierung der vom Siebgut auf den Geber ausgeübten Normalkraft. Da aber der Geber als ein einseitig starr eingespannter Träger zu betrachten war, der an seinem Ende durch eine Flächenlast senkrecht zur Trägerachse beansprucht wird, ferner der tragende Querschnitt des Trägers über seine ganze Länge konstant war, konnte angenommen werden, daß vor der Einspannstelle auf der Ober- und Unterseite des Trägers die Oberflächendehnung in Längsrichtung proportional zur Belastung verläuft. An dieser Stelle aufgeklebte Dehnungsmeßstreifen mußten somit eine Meßspannungsänderung liefern, die der Belastung ebenfalls proportional war.

In einem Vorversuch wurde bei großer Siebbelastung und einer hohen Kennziffer zuerst die vom Geber abgegebene maximale Meßspannung im Verstärker auf den zulässigen maximalen Ausschlag der Oszillographenschleife abgestimmt. Mit dieser Empfindlichkeit des Verstärkers wurde dann anschließend der Geber stufenweise mit geeichten Gewichten belastet. Die sich daraus ergebende Abhängigkeit zwischen Schleifenausschlag und statischer Belastung verlief linear.

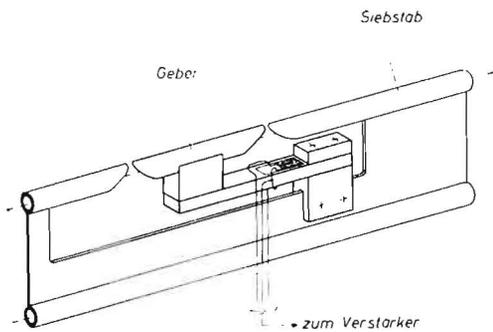


Bild 7: Geber zur Messung der Ablöse- und Aufprallphasenlage

Leider war die Empfindlichkeit dieser Geberkonstruktion durch eine Mindest-Eigenfrequenz begrenzt. Die erste Geberausführung mit einer weichen Feder und der damit verbundenen tiefen Eigenfrequenz (150 Hz) führte unter dem Einfluß der Siebbeschleunigung zu Koppelschwingungen mit der Siebfrequenz als Grundfrequenz und zu überlagerten höheren Frequenzen bis etwa 800 Hz. Der Betrag der Störampplituden bis zu Frequenzen von etwa 300 Hz machte eine Auswertung der Ablöse- und Aufprallphasenwerte nahezu unmöglich. So mußte unter Einbuße der Empfindlichkeit die Eigenfrequenz des Gebers erhöht werden. Als Kompromiß wurde eine ungedämpfte Eigenfrequenz von 570 Hz der Berechnung der Geberabmessungen zugrunde gelegt. Die Bestimmung der wirklichen gedämpften Eigenfrequenz erfolgte mit Hilfe eines Ausschwingversuches. Zu diesem Zweck wurde der Geber über einen dünnen Faden mit einer konstanten Kraft belastet. Der nach Durchschneiden des Fadens eingetretene Ausschwingvorgang ermöglichte in Verbindung mit einer auf dem Oszillogrammstreifen registrierten Zeitmarke von 100 Hz die Auszählung der Schwingungen und damit die Bestimmung der Eigenfrequenz, die sich zu 500 Hz ergab. Infolge der relativ hohen Steifigkeit des Gebers war zu befürchten, daß die Ablösewerte beim Kontaktverfahren durch die Rückstellkraft der Feder verfälscht wurden. Bereits bei sehr niedrigen Siebfrequenzen stimmten jedoch die gemessenen Ablösewerte mit den theoretischen Werten genau überein. Bei einem Einfluß der Rückstellkraft auf die Ergebnisse hätten sich im untersten  $K_g$ -Bereich die gemessenen Ablösewerte unter den theoretischen einstellen müssen.

Bei den Versuchen wurden zwei dieser elektronischen Geber in einer Entfernung von 300 und 600 mm vom Siebanfang auf einem Siebstab angeordnet. So war eine Phasenmessung sowohl im Einflußbereich der Siebgutzuführung hinter dem Schar als auch im Bereich der ungestörten Wurfbewegung möglich. Die Unterschiede im Aufprallphasenwinkel in diesen beiden Bereichen deckten sich mit den Ergebnissen des Kontaktverfahrens. Die Ablösung erfolgte

in der Regel im Bereich der Zuführung etwas später als beim freien Wurf, weil die Normalkraft durch den Zusammenhang des Siebgutes mit dem festen Damm erhöht wird. Bild 8 zeigt drei Registrierfilme, die mit dem elektronischen Verfahren bei einer Siebampplitude von 31 mm aufgenommen wurden. Beim Vergleich der Aufprallwerte erkennt man die starken Abweichungen zwischen den im Einflußbereich der Zuführung (Geber I) und im freien Wurfbereich (Geber II) gewonnenen Ergebnissen. Sie bestätigen ebenfalls die Messungen mit dem Kontaktverfahren. Bei der niedrigen Siebkennziffer ist wieder die vollkommen periodische Wurf-folge zu erkennen, die bei einer Erhöhung der Siebkennziffer im zweiten Meßfilm in einen periodischen Wechsel eines langen mit einem kurzen Wurf übergeht. Bei der höheren Kennziffer bleibt dieser Wechselwurf im Bereich der Zuführung erhalten, während der freie Wurf bereits über zwei Schwingungen geht. Im Gegensatz zu den unterschiedlichen Aufprallwerten stellt sich in beiden Siebbereichen die Ablösung im gleichen Zeitpunkt ein. Die Gutbewegung wird also nur während des Wurfes durch die unvollständige Trennung des Siebgutes vom Damm gehemmt.

Den Aufzeichnungen ist weiterhin zu entnehmen, daß der Schleifenausschlag während des Wurfes unter dem Einfluß der Vibrationen mit sehr kleiner Amplitude um den Nullwert schwingt. Sobald sich nach dem Aufprall das Gut durch die Gewölbebildung auf dem Siebstab abstützt, wird der Verlauf der Normalkraft registriert. Die Ablösung erkennt man am Beginn des vibrierenden Strichverlaufes. In diesem Augenblick ist die Nulllinie nicht immer erreicht, denn in der Regel bleibt auf dem Geber noch ein dünner Siebgutbelag haften, so daß der Geber infolge der Dämpfung langsam ausschwingt. Dieser Ausschwingvorgang ist bei fast allen Messungen deutlich festzustellen. Es lag nun aber die Vermutung nahe, daß sich das Gewölbe zwischen dem Geber und den beiden benachbarten Siebstäben infolge seiner Stützkraft und der damit verbundenen Adhäsion etwas später ablöst als das unmittelbar darüber liegende Siebgut. Der Geber würde dann eine spätere Ablösung angeben, weil er erst dann in seine Ausgangslage zurückschwingen kann, wenn er nicht mehr von der Gewölbestützkraft behindert wird. Um über diese Vorgänge Auskunft zu erteilen, wurde der Geber I zwei Siebstäbe neben dem Geber II angeordnet und der Zwischenraum zwischen den beiden Nachbarstäben auf die Länge des Gebers mit einem steifen Blech geschlossen. Über diese Flächen und den dazwischen liegenden Geber wurde eine sehr dünne Kunststoffolie geklebt. Zu beiden Seiten des Gebers konnte nun keine Absiebung stattfinden und die Gewölbebildung war unterbrochen. Der Geber stand jedoch ungestört unter dem Einfluß der Normalkraft durch das Siebgut. Da die Adhäsion des Siebgutes gegenüber der Kunststoffolie kleiner ist als gegenüber der Metalloberfläche des Gebers II, war zu erwarten, daß sich das Siebgut dann ablöst, wenn die Normalkraft zu Null geworden ist. Die Vergleichsmessungen zwischen dem Geber I und dem frei im

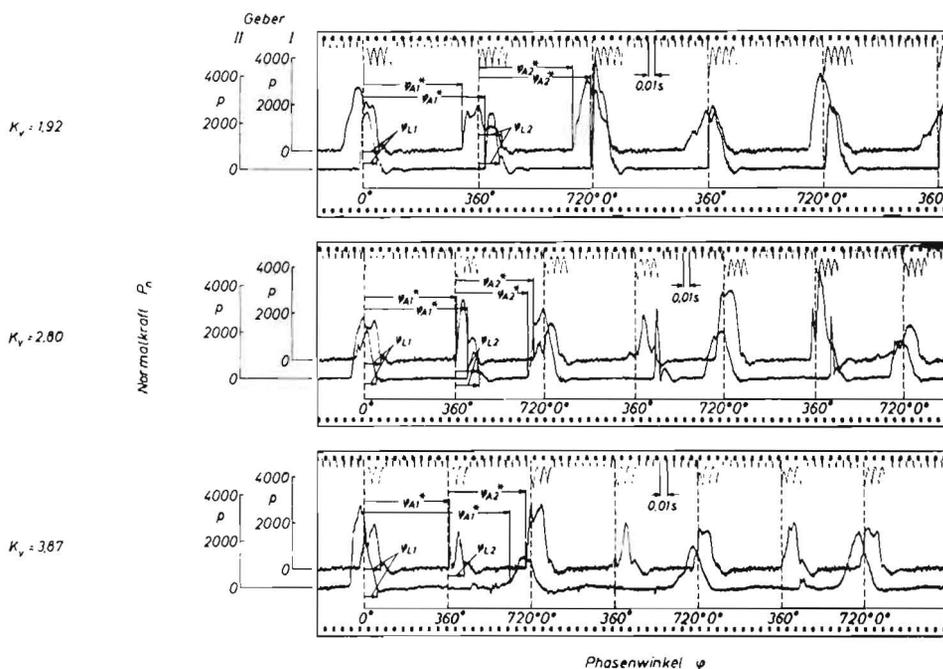


Bild 8: Registrierfilme nach dem elektronischen Verfahren  
Bestimmung des Ablösephasenwinkels  $\varphi_{L1}$  und des Aufprallphasenwinkels  $\varphi_{A1}$  von der Erde am Anfang (I) und in der Mitte des Siebes (II) bei verschiedenen Beschleunigungskennziffern  $K_g$

Gutstrom liegenden Geber II zeigten aber, daß an beiden Stellen die Ablösung beim gleichen Phasenwinkel erfolgte und somit keine Beeinträchtigung des Ablösephasenwinkels durch die Gewölbbildung zu befürchten war.

### Die Erfassung des Bewegungsablaufes der einzelnen Siebgutschichten

Weder mit dem Kontaktverfahren noch mit dem elektronischen Meßverfahren konnte der Einfluß der höher liegenden Erdschichten auf die Bewegung der untersten Schicht erfaßt werden. Um die Ursachen für die gemessenen Vorgänge zu finden, mußte deshalb ein anderer Weg beschritten werden. Die einzige Möglichkeit, ein umfassendes Bild über die gesamte Bewegung der Erde zu erhalten, war der Einsatz einer Filmkamera mit erhöhter Bildfrequenz (80 B/s). Da für eine Auswertung der Filmaufnahmen starke Lichtkontraste innerhalb des Siebgutes notwendig waren, wurde die Erde mit einem geringen Anteil von weißem Feinkies (Korngröße 4 bis 5 mm) vermischt. Im Blickfeld der Kamera war neben einem rechtwinkligen Fadenkreuz eine Synchronuhr mit einer  $\frac{1}{100}$  s-Teilung sowie eine mit der Exzenterwelle synchron laufende Phasenanzeige angebracht, die den Zusammenhang zwischen Siebbewegung und Gutbewegung herstellte. Die Kamera selbst wurde mit einem Gleichstrommotor angetrieben, der gleichzeitig mit dem Filmtransport des Oszillographen eingeschaltet werden konnte. Auf diese Weise war eine Messung der Ablöse- und Aufprallphasenwinkel und die Erfassung der gesamten Siebgutbewegung gleichzeitig möglich.

Die Auswertung der Filmaufnahmen erfolgte durch die Übertragung der Lage der einzelnen sichtbaren Kieskörner in den verschiedenen Schichthöhen sowie der Stellung des Phasenanzeigers Bild für Bild über mehrere Schwingungsperioden auf Transparentpapier. Daraus ergaben sich zunächst die Bahnkurven der einzelnen Körner (Bild 9), wobei jedem Meßpunkt ein bestimmter Phasenwinkel zugeordnet war. Da jedes Bild das mitgefilte Fadenkreuz enthält, auf welches dann das Zeichenpapier eingerichtet werden konnte, waren Auswertfehler durch Abweichungen im Bildstand ausgeschlossen.

Für die richtige Wiedergabe der Gutbewegung in den verschiedenen Schichthöhen mußte die  $y$ -Komponente der Bahnkurven auf die in einem Winkel von  $15^\circ$  geneigte Mittellage der Sieboberfläche bezogen werden.

Die Darstellung des Bewegungsablaufes in Form der Bahnkurven erlaubte bereits eine gute Beurteilung des Wurfvorganges. Die Feststellung, daß sich die Wurfweite mit der Schichthöhe der Siebfrequenz veränderte, bestätigte die ursprüngliche Vermutung, daß die Wurfbewegung zwar gesetzmäßig verläuft, aber von Faktoren beeinflusst wird, die in den Betrachtungen über die theoretischen Verhältnisse nicht berücksichtigt sind. Dies wurde besonders deutlich, nachdem die Wurfbahnkurven in ihre auf das Fadenkreuz bezogene Horizontalkomponente  $x$  und den vertikalen Abstand  $y$  zur Mittellage der Sieboberfläche zerlegt worden waren. Die Auftragung dieser Komponenten über dem Phasenwinkel der Siebbewegung verschaffte einen klaren Überblick über den Bewegungsablauf zwischen den einzelnen Schichten sowie zwischen dem Siebgut und der Sieboberfläche.

In Bild 10 sind diese Abhängigkeiten für die in Bild 9 ermittelten Bahnkurven zusammengestellt. Um die Relativbewegung zwischen Sieb und Siebgut deutlicher darzustellen, wurde im oberen Diagramm die vertikale Amplitude des Siebes als Schwingung um die Nullachse aufgetragen. Ferner sind die Ergebnisse der elektronischen Phasenmessung auf dieser Achse vermerkt. Die Zuordnung der einzelnen Würfe zu den Bahnkurven des Bildes 9 wird durch gleiche Bezifferung hergestellt. Außer der Lageänderung eines Siebgutpunktes läßt sich aus diesen Darstellungen auch leicht die Geschwindigkeitsänderung zwischen den einzelnen Schichten ermitteln, wenn man berücksichtigt, daß die Neigung der Tangente in einem Punkt der  $y$ -Kurve beziehungsweise der  $x$ -Kurve ein Maß für die Geschwindigkeit des betreffenden Siebgutteilchens bei diesem Phasenwinkel ist. Im  $y$ -Feld ist der Aufprall durch einen Wendepunkt im fallenden Kurventeil zu erkennen, denn die Gutgeschwindigkeit erreicht dann ihren größten negativen Wert. Sie wird dann im Tiefpunkt der  $y$ -Kurve zu Null, wenn das Gut nach dem Aufprall völlig abgebremst und in seiner Be-

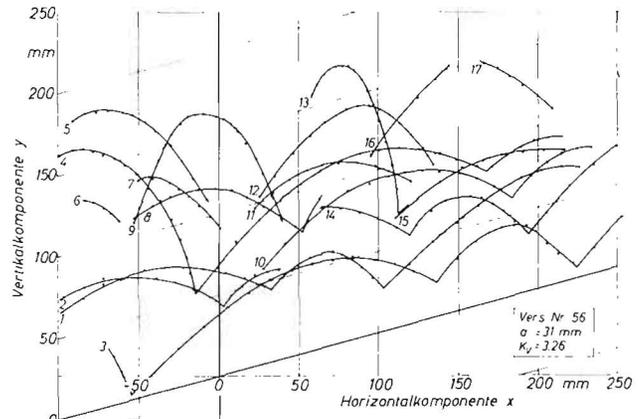


Bild 9: Bahnkurven der in die Erde eingebetteten Kieskörner

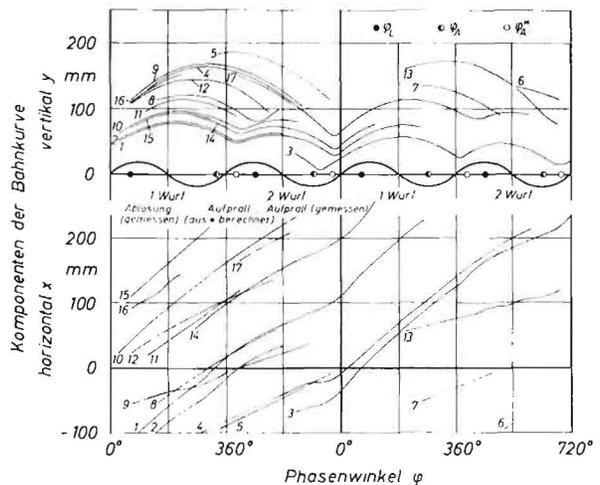


Bild 10: Vertikal- und Horizontalkomponenten der Bahnkurven nach Bild 9

wegungsrichtung und Geschwindigkeit während der Verbindung mit dem Sieb von diesem beeinflusst wird. Erst nach dem Auftreffen einer größeren Siebgutmenge reicht die Normalkraft für die elektrische Bestimmung des Aufprallphasenwinkels  $\varphi_{1*}$  aus. Die Ablösung  $\varphi_1$  tritt dann ein, wenn alle Schichten aufgeprallt sind. Daß in den einzelnen Schichten die Vertikalgeschwindigkeit zunimmt, erkennt man aus der mit der Höhe größer werdenden Steigung der  $y$ -Kurven bei konstantem Phasenwinkel. Die Zunahme der Vertikalgeschwindigkeit ist ein Maß für die Auflockerung des Gutes infolge seiner elastischen Rückfederung nach dem Aufprall. Durch diese Auflockerung treffen die einzelnen Schichten zeitlich nacheinander auf, was aus dem Kurvenverlauf deutlich zu erkennen ist. Während die untersten Schichten bei jeder Schwingungsperiode einen Wurf ausführen, beginnt sich in den oberen Schichten bereits ein Wurf über zwei Schwingungsperioden einzustellen. Die Ablösung zum zweiten Wurf tritt erst dann ein, wenn der größte Teil des Siebgutes nach dem ersten Wurf aufgeprallt ist. Die Siebgeschwindigkeit ist dann aber bereits kleiner und der zweite Wurf wird infolgedessen kürzer als der erste. Die elektronisch gemessenen Werte stehen in gutem Einklang mit den Filmaufnahmen.

Die  $x$ -Kurven der untersten Schichten verlaufen zwischen Abwurf und Aufprall nicht ganz gradlinig, wie es nach der Theorie zu erwarten wäre. Infolge der relativ geringen Auflockerung in diesem Bereich werden die mit nahezu Siebgeschwindigkeit abgeworfenen untersten Schichten von der nicht so stark beschleunigten höheren Schicht wieder abgebremst, so daß die  $x$ -Kurven im Wurfbereich leicht gekrümmt erscheinen. Im Aufprallbereich tritt jedoch durch die plötzliche Abbremsung und anschließende Beschleunigung durch das Sieb ein Krümmungswechsel ein. Daß die höheren Schichten nicht diesen Einflüssen unterliegen, beweist ihr nahezu gradliniger Verlauf. Die geringere Steigung der oberen  $y$ -Kurven deutet ebenfalls auf eine kleinere Horizontalgeschwindigkeit in den oberen Schichten hin.

Die Filmaufnahmen vermitteln somit einen Einblick über den gesamten Bewegungsablauf bei der Absiebung von Erde auf einem schwingenden Siebrast. Sie zeigen vor allem die Ursachen für die starken Veränderungen der Wurfbewegung gegenüber den theoretischen Verhältnissen.

### Zusammenfassung

Zur Erfassung der Vorgänge bei der Absiebung von Erde auf einem schwingenden Siebrast wurde ein Versuchsstand errichtet, mit welchem bei verschiedenen Siebeeinstellungen (Frequenz, Amplitude, Neigung) die pro Quadratmeter in der Zeiteinheit abgesiebte Erdmenge bei verschiedenen Feuchtigkeitswerten festgestellt werden konnte. Durch den Einsatz elektronischer Meßgeräte wurde die Zuordnung der Ablöse- und Aufprallzeitpunkte zur Siebbewegung für die unterste Siebgutschicht ermittelt.

Über das Zusammenwirken der einzelnen darüberliegenden Schichten gaben Filmaufnahmen Auskunft. Mit Hilfe der genannten Meßverfahren war es möglich, die Kenntnisse über die Wurfbewegung eines Massenverbandes auf einem schwingenden Siebelement zu erweitern.

### Schrifttum

[1] BAADER, W.: Die Absiebung von Erde in Kartoffelerntomaschinen mit schwingenden Siebrasten. Landtechnische Forschung 11 (1961) S. 160—165

### Résumé

Wolfgang Baader: "The Measurement of Various Magnitudes arising during Various Stages of Soil Sieving with Oscillating Sieves."

In order to determine the various operational stages in the sieving of soil through an oscillating sieve, a special test stand was utilised. This enabled various values (frequency, amplitude, inclination, etc.) to be measured at various settings of the sieve for the quantities of soil sieved per unit of time and per square metre at varying degrees of humidity. The utilisation of electronic measuring instruments enabled the actual times of release and impact during the movements of the sieve to be determined for the lowest layer of soil in the sieve.

Information concerning the interaction of the individual layers above the lowest layer was furnished by photographic films. With the aid of the afore-mentioned measuring procedure, it was found possible to increase the present state of knowledge concerning the movements of soil masses on an oscillating sieve.

Wolfgang Baader: «La mesure des phénomènes créés lors du tamisage de terre au moyen de grilles oscillantes.»

Pour éclaircir les phénomènes qui se produisent lors du tamisage de terre au moyen d'une grille oscillante, on a construit un poste d'essai à l'aide duquel on a déterminé la quantité de terre passée par m<sup>2</sup> de grille en l'unité de temps en variant la teneur d'humidité de la terre et le réglage de la grille (fréquence, amplitude, inclinaison). En utilisant des appareils de mesure électronique, on a déterminé pour la couche de terre inférieure le moment de détachement et d'impact par rapport au mouvement de la grille.

On a enregistré des films qui ont donné des renseignements sur l'interaction des différentes couches supérieures. Les méthodes de mesure citées ont permis d'élargir les connaissances sur les trajets suivis par les particules d'une masse accumulée sur une grille oscillante.

Wolfgang Baader: «El conocimiento metrológico de los fenómenos producidos al separar la tierra en parrillas oscilantes.»

Para aclarar los fenómenos que se producen en la separación de la tierra en parrillas oscilantes, se ha construido un dispositivo de ensayo que permitía medir la cantidad de tierra desprendida por metro cuadrado en unidad de tiempo y con distinto contenido de humedad, que permitía variar el ajuste de la parrilla, en cuanto a frecuencia, amplitud e inclinación. Empleando instrumentos electrónicos se estableció la coordinación de los momentos de separación y de choque con el movimiento de la parrilla para la capa más baja de material.

Películas cinematográficas tomadas aclararon las condiciones de cooperación entre las diferentes capas más altas. Los instrumentos empleados permitieron ampliar el conocimiento sobre el movimiento de proyección de una cantidad en masa en un elemento de cribar oscilante.

Ehrhard Schäfer:

## Untersuchungen über die Trennung von Kartoffeln und Steinen mit umlaufenden Trennbürsten

Institut für Landmaschinenforschung, Braunschweig-Völkenrode

Die heute in Kartoffelanhmelrödem eingebauten Vorrichtungen zur Trennung der Beimengungen — Steine, Erdkluten und Krautreste — von den Kartoffeln benutzen in der Mehrzahl das unterschiedliche Rollvermögen der Kartoffeln und Beimengungen. Über derartige Systeme wurde in einer früheren Veröffentlichung [1] an dieser Stelle berichtet. Da sich die Streubereiche der Rollwiderstandsbeiwerte überdecken, wird hierbei eine nur unvollständige Trennung der Kartoffeln von den Beimengungen erreicht.

Dagegen zeigten andere Untersuchungen [2], daß bei Verwendung der unterschiedlichen Dichte bessere Ergebnisse erzielt werden können, weil hier keine Überschneidungen auftreten. Die Dichte der Kartoffeln beträgt nämlich im Mittel 1,1 g/cm<sup>3</sup>, die der Kluten 1,5—1,9 g/cm<sup>3</sup> und die der Steine 2,5 g/cm<sup>3</sup>. Sehr zuverlässig kann die Trennung durch Flotation (Wasser, Sand) [3; 4] erreicht werden. Derartige Verfahren haben sich aber unter anderem wegen ihres großen Aufwandes nicht durchzusetzen vermocht. Recht gute Trennergebnisse lassen sich bei einer günstigen Größenzusammensetzung der Kartoffeln und Beimengungen mit einem kreisförmig schwingenden Sieb aus verdrehten elastischen Gummibändern erreichen, das allerdings neben dem Dichteunterschieden der Form und Größe heranzieht [5].

Ein in letzter Zeit bekannt gewordenes Verfahren führt die Trennung von Kartoffeln und Steinen mit einer Einrichtung<sup>1)</sup> durch,

<sup>1)</sup> Die beschriebenen Prüfstandsversuche und die Feldversuche des Jahres 1959 wurden unter der Leitung von Prof. Dr.-Ing. D. SIMONS † durchgeführt. Dem Kuratorium für Technik in der Landwirtschaft (KTL) sei auch an dieser Stelle für die finanzielle Unterstützung der Arbeiten gedankt

die aus einer geneigt angeordneten kreiszylindrischen umlaufenden Bürste und einem feststehenden Leitblech besteht (Bild I). Ein Körper, der in die Rinne zwischen Blech und Bürste gerät, biegt die Borsten so weit durch, bis deren Rückstellkraft ihn an einer weiteren Abwärtsbewegung hindert. Bei einer zweckmäßigen Auswahl und Anordnung der Borsten wird die gesamte Rückstellkraft aller durchgeboenen Borsten in erster Näherung proportional dem Volumen des Körpers. Da die Masse das Produkt aus dem Volumen und der Dichte ist, werden mit dieser Einrichtung Gegenstände vornehmlich nach ihrer Dichte voneinander getrennt. Die spezifisch leichteren Körper werden von der umlaufenden Bürste

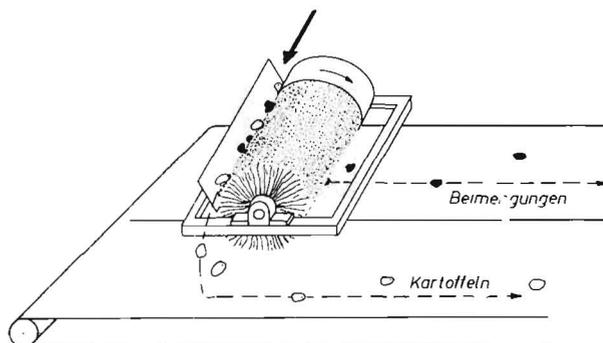


Bild 1: Arbeitsweise der umlaufenden Trennbürste