

# Die Absiebung von Erde in Kartoffelerntemaschinen mit schwingenden Siebrosten

Institut für Landmaschinenforschung, Braunschweig-Völkenrode

Das Zerlegen von Korngemischen in ihre einzelnen Größenklassen erfolgt heute überwiegend mit Hilfe von schwingenden Siebelementen. Durch eine entsprechende Wahl des Bewegungsgesetzes und der Form des Siebbodens läßt sich das Schwingsieb den meisten Siebaufgaben anpassen, sofern innerhalb des zu verarbeitenden Gutes keine zu großen Bindekräfte herrschen. Im Landmaschinenbau findet es vorwiegend als Reinigungs- und Sortiersieb bei der Aufbereitung von Getreide, Sämereien und Knollenfrüchten Verwendung. In allen diesen Fällen wird bei geringer Schichthöhe des Gutes ein guter Siebeffekt erzielt, wobei gleichzeitig eine ausreichende Weiterförderung der nicht abgesiebten Bestandteile gewährleistet ist [1+6]. Bei der konstruktiven Auslegung der unter derart eindeutigen Betriebsverhältnissen arbeitenden Siebeinrichtungen kann ohne weiteres von der Theorie der Wurf- und Gleitbewegung einer Einzelmasse ausgegangen werden<sup>1)</sup>.

Sobald aber der Siebgutverband durch Bindekräfte stärker zusammengehalten wird, muß das Siebgut vom Sieb so stark beschleunigt werden, daß durch die freiwerdenden Stoß- und Trägheitskräfte die Bindekräfte innerhalb des Siebgutes überwunden und so die siebbaren Teile in die Lage versetzt werden, zu den Sieböffnungen zu gelangen und durch diese hindurchzutreten. Diese Wirkung wird um so stärker, je größer beim Aufprall am Ende eines Wurfes die Relativgeschwindigkeit zwischen dem Sieb und dem Siebgut ist.

In einer Kartoffelerntemaschine hat das Sieb die Aufgabe, die Knollen von der Erde zu trennen und weiterzufördern. Die Gesamtbeaufschlagung des Siebes kann je nach Dammmform, Tiefeneinstellung des Schares, Fahrgeschwindigkeit und Feuchtigkeitsgehalt der Erde zwischen 30 und 60 kg/s schwanken. Außerdem sind Zusammensetzung, Struktur und Festigkeit der Erde, sowie der Anteil von Steinen, Kraut und Wurzelwerk sehr verschieden. Das Siebelement arbeitet hier also unter weitaus schwierigeren Bedingungen als in einer normalen Sortier- oder Reinigungsanlage. Die Unterbringung des Siebes in der fahrenden Maschine erfordert weiterhin ein Minimum an Gewicht und Raumbedarf, so daß auch von dieser Seite konstruktive Schwierigkeiten auftreten.

## Der Vorgang der Absiebung

Eine Beurteilung der Vorgänge bei der Absiebung von feuchter Erde auf einem schwingenden Siebrost setzt die Kenntnis des

<sup>1)</sup> Der vorliegende Aufsatz stellt einen Auszug aus der Dissertation des Verfassers dar [7], die in den Jahren 1956—1960 am Institut für Landmaschinenforschung der Forschungsanstalt für Landwirtschaft in Braunschweig-Völkenrode auf Anregung und unter der Leitung des damaligen Institutsdirektors, Prof. Dr.-Ing. D. SIMONST, entstanden ist. Die Untersuchungen wurden vom Kuratorium für Technik in der Landwirtschaft und von der Deutschen Forschungsgemeinschaft unterstützt, denen auch an dieser Stelle dafür gedankt sei

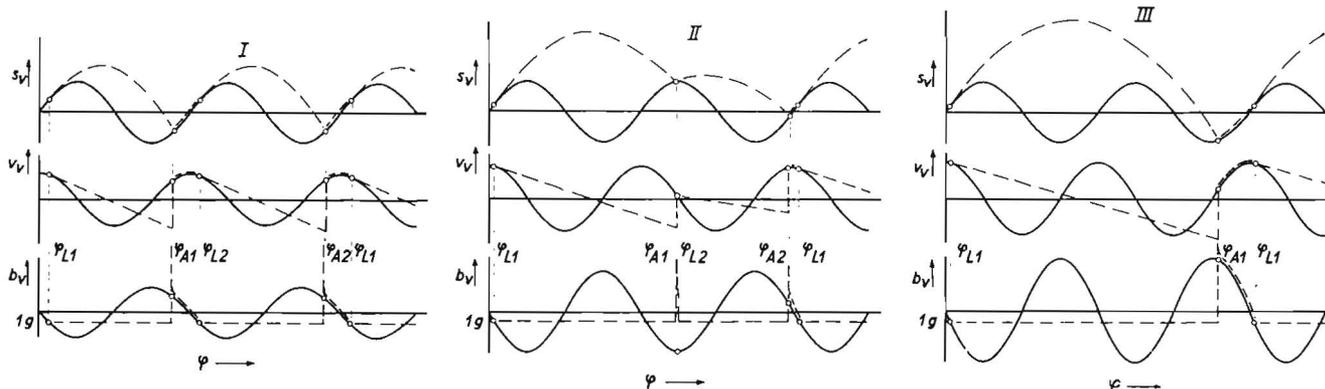
Bewegungszustandes zwischen Siebgut und Sieb voraus. Das Verständnis der Zusammenhänge wird erleichtert, wenn man das Siebgut zunächst als eine inkompressible Einzelmasse betrachtet, die unter dem Einfluß einer periodischen Siebbewegung gleitend und in kurzen Würfen über den Siebboden wandert.

In den Bildern 1 bis 3 sind jeweils die Vertikalkomponente des Weges ( $s_v$ ), der Geschwindigkeit ( $v_v$ ) und der Beschleunigung ( $b_v$ ) des Siebes über der Zeit beziehungsweise über dem Drehwinkel  $\varphi$  der Antriebswelle aufgetragen. Der entsprechende Bewegungsverlauf der Einzelmasse läßt sich anhand der gestrichelten Linien verfolgen.

Wenn die vertikal gerichtete Komponente der Siebbeschleunigung  $b_v$  abwärts gerichtet ist und von gleicher absoluter Größe wie die Erdbeschleunigung  $g$  wird, also die Gleichung

$$b_v + g = 0 \quad (1)$$

erfüllt ist, löst sich eine lose auf dem Sieb liegende Masse von diesem ab und beschreibt anschließend eine Wurfbahn, deren Gestalt von der Richtung und Größe der Geschwindigkeit der Masse bei der Ablösung bestimmt wird (Bild 1). Wenn der Beschleunigungsverlauf des Siebes in Abhängigkeit von der Zeit oder dem Drehwinkel der Antriebswelle bekannt ist, kann man den Ablösezeitpunkt der Einzelmasse und ihren Geschwindigkeitszustand in diesem Augenblick berechnen. Es besteht dann die Möglichkeit, mit Hilfe der Wurfgesetze den Zeitpunkt des Zusammentreffens von Masse und Sieb, sowie die Richtung und Größe der Aufprallgeschwindigkeit zu bestimmen. Während einer Schwingungsperiode kann höchstens ein Wurf stattfinden. Wird die Siebbeschleunigung durch Erhöhung der Drehzahl, Vergrößerung der Amplitude oder Veränderung der Bewegungsbahn des Siebes gesteigert, dann hat die Masse eine größere Abwurfgeschwindigkeit, so daß der Wurf länger dauert. Übersteigt die Wurfdauer die Zeit für eine Schwingungsperiode, so ist beim Aufprall die Siebbeschleunigung größer als die Erdbeschleunigung, und die Masse wird, sofern sie inkompressibel ist, sofort wieder abgeworfen (Bild 2). Infolge der geringeren Siebgeschwindigkeit zu diesem Zeitpunkt ist dieser zweite Wurf jedoch kürzer als der vorausgegangene Wurf. Bei einer weiteren Steigerung der Frequenz kann der Wurf sogar eine ganze Schwingungsperiode überspringen, und die Masse trifft erst nach jeder zweiten Schwingung auf das Sieb auf (Bild 3). Der mathematisch eindeutige Zusammenhang zwischen der Siebbeschleunigung und dem Ablösezeitpunkt sowie zwischen dem Ablöse- und dem Aufprallzeitpunkt wird in Bild 4 in Abhängigkeit von der Beschleunigung noch einmal übersichtlich gezeigt. Statt eines absoluten Beschleunigungsmaßstabes ist auf der Abszisse das Verhältnis der maximalen Vertikalbeschleunigung



Bilder 1 bis 3: Die Vertikalkomponente der Bewegung einer inkompressiblen Masse auf einer schwingenden Unterlage  
 I) Gleiche Wurfdauer bei jeder Schwingungsperiode II) Wechsel von langer und kurzer Wurfdauer III) Gleiche Wurfdauer bei jeder zweiten Schwingungsperiode  
 $s_v$  = Vertikalkomponente des Weges  
 $v_v$  = Vertikalkomponente der Geschwindigkeit  
 $b_v$  = Vertikalkomponente der Beschleunigung  
 $\varphi$  = Phasenwinkel der Antriebs-Drehbewegung  
 ausgezogene Kurve: Bewegung des Siebes  
 gestrichelte Kurve: Bewegung der Masse

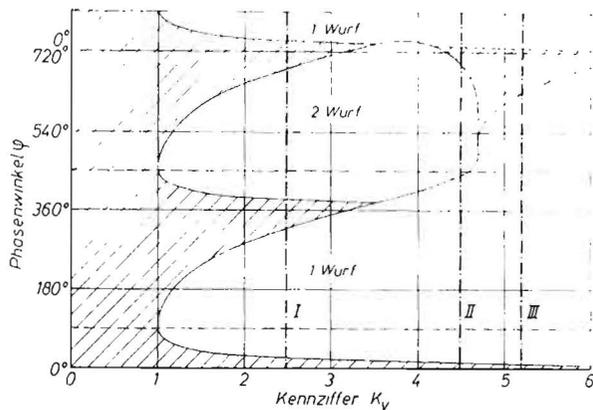


Bild 4: Wurfbewegung einer Inkompressiblen Masse. Ablöse- und Aufprall-Phasenwinkel in Abhängigkeit von der Siebkennziffer Kraftschluß zwischen Unterlage und Masse im schraffierten Bereich

des Siebes  $b_{v,max}$  zur Erdbeschleunigung  $g$ , gekennzeichnet durch die Kennziffer

$$K_r = \frac{b_{v,max}}{g} \quad (2)$$

aufgetragen. Die strichpunktierten Linien beziehen sich auf die in den Bildern 1 bis 3 dargestellten charakteristischen Bewegungsfälle. Die Phasenbereiche, in welchen eine kraftschlüssige Verbindung zwischen Sieb und Siebgut besteht, sind durch Schraffur besonders hervorgehoben.

Die in einer Kartoffelerntemaschine abzusiebende Erde kann aber nicht als eine inkompressible Einzelmasse betrachtet werden, da sie sich in einer relativ starken Schicht über das Sieb bewegt und in ihrer Gesamtheit, wie auch in ihren Einzelaggregaten, bei der Einwirkung äußerer Kräfte erhebliche Formveränderungen erfährt. Je nach Zusammensetzung und Struktur des Siebgutes sowie Art und Größe der Bindekräfte zwischen den einzelnen Aggregaten können sich elastische und plastische Verformungen einstellen.

Trifft ein derartiges Gut am Ende eines Wurfes auf den schwingenden Siebrost auf, dann fällt zunächst der über dem offenen Rostquerschnitt ankommende Teil der untersten Schicht zwischen den Stäben durch, sofern der Korndurchmesser kleiner als der lichte Stababstand ist und die Bindekräfte durch die beim Aufprall freiwerdenden Trägheitskräfte überwunden werden. Dies wird um so eher eintreten, je größer die Aufprallgeschwindigkeit ist. Je nach der Stabform und Beschaffenheit des Gutes baut sich gleichzeitig auf den Stäben infolge Adhäsion und Reibung ein dachförmiger Grat aus verfestigtem Gut auf. Durch Reibung an den abgebremsten Gutteilen werden in der Berührungszone immer mehr nachfolgende Teile festgehalten, der Durchgangsquerschnitt wird kleiner, und schließlich bildet sich über den Stäben ein Gewölbe, das eine weitere Absiebung verhindert (Bild 5). Erst jetzt werden die darüber liegenden Siebgutschichten vollständig abgebremst und verdichtet. Der Aufprallvorgang läuft also nicht mehr wie bei der inkompressiblen Einzelmasse in unendlich kurzer Zeit, sondern während einer gewissen Zeitspanne ab. Fällt der theoretische Ablösezeitpunkt, in dem die abwärts gerichtete Vertikalkomponente der Siebeschleunigung der Erdbeschleunigung gleicht, in den Aufprallzeitraum, dann kann die Ablösung nicht sofort eintreten; denn die Summe aller normal zur Siebfläche gerichteten Kräfte zwischen Siebgut und Sieb muß erst zu Null werden. Die Ablösung tritt also in diesem Fall später ein, das Gut wird mit geringerer Geschwindigkeit abgeworfen, und die Wurf-dauer ist kürzer. Hieraus können sich völlig andere Ablöseverhältnisse ergeben, die insbesondere bei großer Schichthöhe die Aufprallverhältnisse und damit die Siebleistung beeinflussen. Eine theoretische Behandlung der Wurfbewegung ohne Berücksichtigung der Schichthöhe und des Verformungsverhaltens des Siebgutes führt darum in der Regel zu Ergebnissen, die mit der Praxis nicht im Einklang stehen.

#### Die Bestimmung des Bewegungsablaufes

Da eine genaue zahlenmäßige Erfassung dieser Einflüsse infolge starker Wechselwirkungen theoretisch kaum möglich ist, mußte

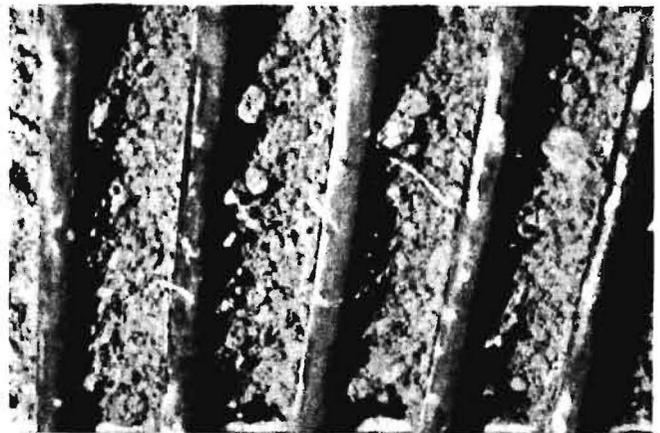


Bild 5: Gewölbebildung nach dem Aufprall von Erde auf einem Siebrost

das Verhalten von feuchter Erde auf einem schwingenden Siebrost experimentell untersucht werden. Die Arbeiten erstreckten sich im wesentlichen auf die Bestimmung des Bewegungsablaufes zwischen Erde und Siebrost, wobei in erster Linie auf die Ermittlung der Ablösungs- und Aufprallwerte in Abhängigkeit von der Siebfrequenz bei konstanter Schwingungsamplitude und Bewegungsbahn des Siebes Wert gelegt wurde. Hierfür war die Entwicklung spezieller elektrischer Meßverfahren notwendig. Durch den Einsatz einer Zeitdehner-Filmkamera war es ferner möglich, das gesetzmäßige Zusammenwirken der einzelnen Siebgutschichten und den daraus resultierenden Einfluß der Schichthöhe auf die Wurfbewegung nachzuweisen<sup>2)</sup>. Bild 6 zeigt den Getriebeaufbau des verwendeten Versuchssiebes mit den dazugehörigen Einstelldaten.

Als Versuchsgut wurde Ackerboden mit einem Feuchtigkeitsgehalt von 17 bis 18 Gewichtsprozent verwendet, der zuvor von faserigen Bestandteilen und Steinen gesäubert worden war (Tafel 1). Für jeden Versuch wurde die Erde auf einem Förderband zu einem Damm mit konstantem Querschnitt und gleichmäßiger Dichte gewalzt und anschließend mit einer konstanten Geschwindigkeit dem Sieb bei einer Aufgabemenge von 40 bis 45 kg/s zugeführt.

Das 400 mm breite und 1000 mm lange Sieb bestand aus mehreren Rundstäben mit 10 mm Durchmesser, die in Längsrichtung des Siebes mit einer lichten Weite von 25 mm angeordnet waren. Ein in der Siebmitte liegender Stab war mit elektrischen Druckgebern ausgerüstet, die eine Erfassung der vom Gut auf das Sieb ausgeübten Normalkraft ermöglichten. Die Meßeinrichtung gestattete die genaue Bestimmung des Ablösephasenwinkels; leider konnte aber der Augenblick, in welchem das Siebgut am Ende eines Wurfes gerade das Sieb berührt, meßtechnisch nicht erfaßt werden, da sich infolge des Absiebvorganges die für das Ansprechen der Geber erforderliche Normalkraft erst später einstellte. Mit Hilfe der gemessenen Ablösewerte war aber eine Berechnung des Berührungszeitpunktes und damit des Bewegungsablaufes für die unterste Siebgutschicht möglich. Als Ergänzung zu diesen Messungen wurde die Siebgutbewegung von der Seite gefilmt. Die Aus-

<sup>2)</sup> Über den Versuchsaufbau und die Meßverfahren wird in einer weiteren Veröffentlichung an dieser Stelle berichtet.

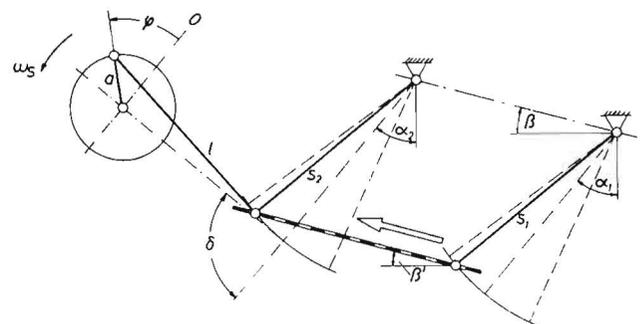


Bild 6: Aufbau des Versuchssiebes

$\alpha_1$	$\alpha_2$	40
$\beta$	$\delta$	15
	$\delta$	90
$a$		31 mm
$l$		700 mm
$s_1 - s_2$		800 mm

Tafel 1: Zusammensetzung des Versuchsbodens

Klassenbezeichnung	Korngröße [μ]	Anteil [%]
Grobsand	1000—2000	4,3
	500—1000	3,2
	200—500	25,1
Feinsand	100—200	16,5
	50—100	6,7
	20—50	29,6
	10—20	7,4
Schluff	2—10	6,0
Ton	2	5,1
Humus		3,9

wertung der Filmaufnahmen bestätigte die elektrisch gemessenen Werte. Insbesondere aber zeigten die Aufnahmen, daß sich das Siebgut infolge Elastizität nach dem Ablösen auflockert, so daß sich der Verdichtungsprozess nach dem folgenden Aufprall über eine relativ lange Zeit hinzieht. Dieses „Atmen“ des Gutes kann die Wurfbewegung und damit die Energieübertragung auf das Siebgut erheblich beeinflussen.

Versuchsergebnisse

Trägt man die wirklichen Ablöse- und Aufprallwerte über dem Beschleunigungsverhältnis (Kennziffer  $K_v$ ) auf, so ergeben sich bei entsprechender Schichthöhe die in Bild 7 dargestellten Abweichungen von den theoretischen Verhältnissen. Während bei der Bewegung einer inkompressiblen Einzelmasse der längste, nach jeder Schwingungsperiode wiederkehrende Wurf bei einem  $K_v$ -Wert von 3,45 auftritt, ist dieses Verhalten bei der Wurfbewegung von Erde unter den genannten Versuchsbedingungen bereits bei  $K_v \approx 2$  zu beobachten. Der Einfluß der Schichthöhe macht sich besonders stark bei höheren Kennziffern bemerkbar. Der Übergang zur Wurffolge über zwei Schwingungsperioden stellt sich im theoretischen Fall bei  $K_v = 4,67$  ein, in Wirklichkeit dagegen schon bei  $K_v \approx 3,7$ .

Wie stark sich diese Abweichungen auf die Aufprallgeschwindigkeit auswirken, ist in Bild 8 gezeigt. Die mechanische Beanspruchung des Siebgutes in erster Linie von der Größe der normal zum Sieb gerichteten Komponente der Relativgeschwindigkeit  $\Delta v_{An}$  beim Aufprall ab, die teilweise oder ganz abgebremst wird, wodurch eine Reaktionskraft auftritt. Diese Geschwindigkeitskomponente ist auch für die Gewölbebildung und für die je Aufprall abgesiebte Menge von entscheidender Bedeutung. Trägt man ihr Quadrat über der Siebkennziffer dimensionslos auf, dann steigt sie nach der Theorie deswurfes einer Einzelmasse von Null

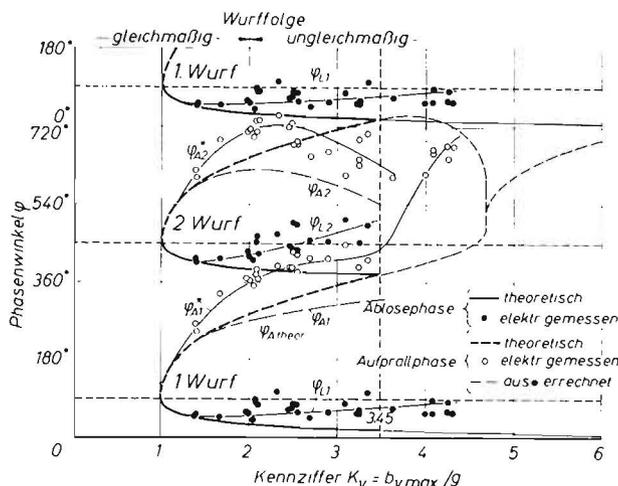


Bild 7: Verlauf des Ablöse- und Aufprallphasenwinkels in Abhängigkeit von der Siebkennziffer. Die theoretischen, für eine punktförmige Masse sich ergebenden Kurven sind dieselben wie in Bild 4

Zugeführte Siebgutmenge  $A = 40-45 \text{ kg/s}$  Schwingenneigung  $\alpha = 40^\circ$   
 Feuchtigkeit der Erde  $10-17 \text{ Gew.-%}$  Siebneigung  $\beta = 15^\circ$   
 Siebamplitude  $a = 31 \text{ mm}$

(bei  $K_v = 1,0$ ) zu einem Maximum an, dessen  $K_v$ -Wert aber nicht mit dem Ende der gleichmäßigen Wurffolge zusammenfällt. Für den ersten Wurf fällt bei höheren Kennziffern die Geschwindigkeit wieder auf Null ab, um dann wieder anzusteigen, wenn der Wurf über zwei Schwingungsperioden erfolgt. Dieser Vorgang wiederholt sich bei höheren Kennziffern in entsprechender Weise. Im Bereich des ungleichmäßigen Wurfes fällt die Aufprallgeschwindigkeit dagegen nach dem zweiten Wurf nicht auf Null ab. Auf Grund der Phasenverschiebung der Ablöse- und Aufprallwerte durch die Einwirkung der höheren Siebgutschichten hat die Aufprallgeschwindigkeit in Wirklichkeit jedoch einen völlig anderen Verlauf. Mit Ausnahme der Nullstelle, die nicht erreicht wird, liegen die wirklichen Werte zum Teil unter dem theoretischen Verlauf. Je geringer aber die Siebgutschicht gewählt wird, desto deutlicher treten  $K_v$ -Zonen mit höherer Aufprallenergie auf, und um so stärker wirken sich Unterschiede in der Kennziffer auf die Energieverhältnisse aus. Diese Erkenntnis ist für die Beurteilung der Beanspruchung von beschädigungsempfindlichem Siebgut bedeutungsvoll.

Während die je Aufprall abgesiebte Menge  $d_i$  außer von der Beschaffenheit des Siebgutes und der Ausbildung der Sieböffnungen durch die Größe der nach jedem Wurf auftretenden Aufprallgeschwindigkeit bestimmt wird, hängt die spezifische Siebdurchgangsleistung  $D_{sp}$ , also die in der Zeiteinheit von  $1 \text{ m}^2$  Siebfläche abgesiebte Menge, zusätzlich noch von der Siebfrequenz und der zeitlichen Verteilung der Würfe ab. Führt das Gut während  $n$  Schwingungsperioden des Siebes  $k$  verschiedenartige Würfe aus, dann ist bei der Siebfrequenz  $f$  die spezifische Durchgangsleistung

$$D_{sp} = \frac{f}{n} \sum_{i=1}^n d_i \quad [\text{kg/m}^2\text{s}] \quad (3)$$

Sie ist in Abhängigkeit von der Feuchtigkeit des Siebgutes in Bild 9 dargestellt. Die Messungen wurden mit gleicher Siebkennziffer, also gleicher Siebfrequenz und Getriebeeinstellung, durchgeführt. Der Gesamtdurchgang und der Durchgang im ersten, zweiten und dritten Drittel des Siebes sind getrennt aufgetragen. Dem Kurvenverlauf ist zu entnehmen, daß eine hohe Feuchtigkeit infolge großer Kohäsion des Siebgutes eine geringere Absiebleistung zur Folge hat. Nehmen aber die Bindekräfte bei sinkender Feuchtigkeit ab, dann steigt der Durchgang stark an. Unter dem Einfluß der Feuchtigkeit verändert sich weiterhin auch die Struktur des Siebgutes. Mit wachsender Kohäsion bilden sich größere Bodenkrümel, die zusätzlich die Siebleistung beeinträchtigen.

Die Absiebung ist im ersten Drittel der Sieblänge am stärksten. Infolge der großen Masse des nicht abgesiebten und zum Teil noch zusammenhängenden Gutes prallt die unterste Schicht mit großer Kraft auf das Sieb, so daß diese Teile durch die Stäbe hindurchgedrückt werden. Die Brückenbildung stellt sich somit erst später ein als in den folgenden Bereichen des Siebes, wo das Gut immer stärker aufgelockert wird und nicht mehr so hoch liegt, also mit weniger Masse auftritt. Die kinetische Energie der im lockeren Verband auftretenden Teile wird durch Reibung und Kohäsion schnell abgebaut, so daß sich die Brücke früher bildet, der Absiebungsvorgang dadurch kürzer dauert, und der Durchgang geringer wird. Unterhalb einer Feuchtigkeit von 15,5% steigt der Durchgang im

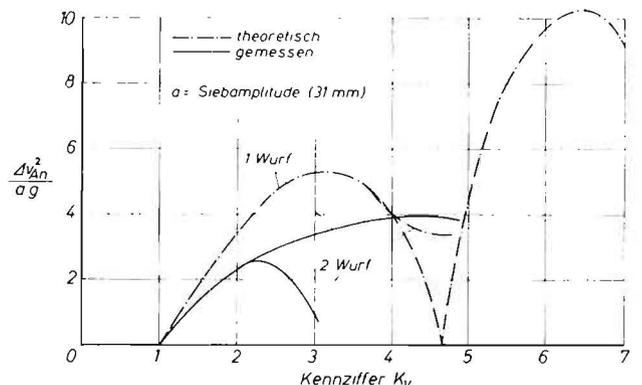


Bild 8: Relativgeschwindigkeit zwischen Sieb und Siebgut normal zum Sieb im Aufprallzeitpunkt

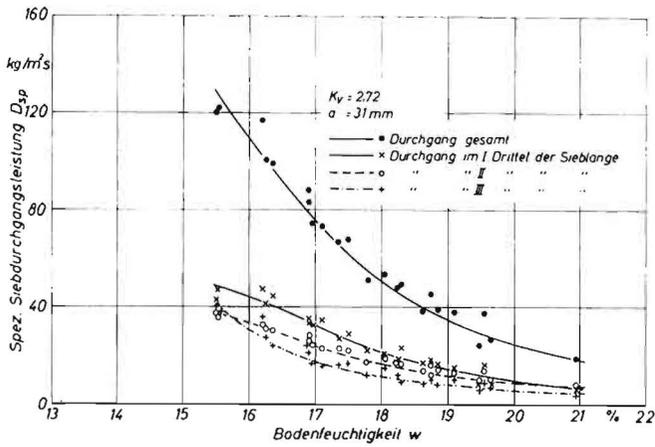


Bild 9: Die spezifische Siebdurchgangsleistung in Abhängigkeit von der Bodenfeuchtigkeit bei konstanter Siebeinstellung. Zusammensetzung des Versuchsbodens siehe Tafel I

letzten Siebdrittel jedoch plötzlich an. Hier ist die Schichthöhe bereits so gering geworden, daß sich die Brücke nicht mehr stabil ausbilden kann und beim Auftreffen weiteren Gutes durchbricht. Bestimmt man für verschiedene Feuchtigkeitswerte die Siebgutmenge, welche sich am Ende der einzelnen Siebabschnitte noch auf dem Siebrost befindet, so ergeben sich die in Bild 10 dargestellten Kurvenzüge. Die Abnahme der Siebgutmenge mit der Sieblänge tritt hier gegenüber der Darstellung in Bild 9 noch deutlicher in Erscheinung.

**Empfehlungen für Konstruktion und Einsatz von Siebelementen**

Für die Anwendung schwingender Siebroste in Kartoffelentemmaschinen ergeben sich nun aus den theoretischen und experimentellen Untersuchungen eine Reihe von Gesichtspunkten, die bei der Konstruktion und beim Einsatz dieser Siebelemente zu beachten sind.

*Aufhebung der Bindekräfte im Erddamm*

Voraussetzung für eine gute Absiebung ist die ausreichende Siebbarkeit der Erde. Eine Herabsetzung der Bindekräfte im Erddamm sollte darum schon möglichst vor der eigentlichen Absiebung erfolgen, um die Bewegung für den eigentlichen Siebvorgang voll ausnutzen zu können. Eine gewisse Beeinflussung der Bindekräfte läßt sich bereits durch entsprechende Wahl der Bewegungsverhältnisse beim Übergang der Erde vom Schar zum Sieb erreichen. Sobald der Damm von der schwingenden Unterlage erfaßt wird, wirken auf das Gut Schub- und Druckkräfte ein, durch welche die Bindung zwischen den einzelnen Bodenaggregaten gelockert wird. Das Ausmaß dieser Zerkleinerung ist außer von den Bindekräften innerhalb des Erddammes vor allem von der Strecke abhängig, um die der Damm während einer Schwingungsperiode des Siebes vorrückt. Je kleiner dieser Vorschub ist, desto dichter liegen die Scherflächen, die durch Einwirkung der schräg zur Zuführriechung schwingenden Siebfläche entstehen, und um so intensiver und schneller wird das Siebgut zerteilt. Da man die Fahrgeschwindigkeit und somit die Flächenleistung des Rcders nicht herabsetzen sollte, wird diese Wirkung besser durch eine hohe Siebfrequenz erzeugt. Als weitere Einflußgröße muß das Verhältnis zwischen der Siebamplitude und der Höhe des Damms berücksichtigt werden. Ist die Amplitude gegenüber der Dammhöhe klein, dann dringt die Scherfläche nur teilweise in den Damm ein, während der übrige Teil weiterhin zusammenhält. Große Amplituden in Verbindung mit hoher Siebfrequenz beschleunigen also den Zerkleinerungsvorgang. Außerdem ist es sehr wesentlich, unter welchem Winkel zur Schwingungsrichtung der Damm dem Sieb zugeführt wird, und welche Relativgeschwindigkeit zwischen Sieb und Haufwerk während der gegenseitigen Berührung herrscht. Ein Aufstauen des Damms an der Aufgabestelle wird bei gleichzeitig guter Zerkleinerung dann vermieden, wenn die in Zuführriechung liegende Komponente der Siebgeschwindigkeit während der Berührungszeit größer ist als die Zuführgeschwindigkeit.

*Verringerung der Schichthöhe*

Wie bereits festgestellt wurde, soll die Schichthöhe auf dem Siebelement so klein wie möglich sein. Dies ließe sich am einfachsten

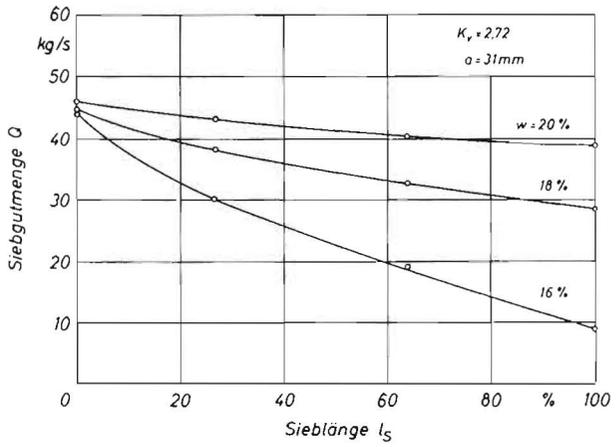


Bild 10: Die Verteilung der Siebgutmenge über der Sieblänge bei verschiedenen Siebgutfeuchtigkeiten

durch Herabsetzen der Aufgabehöhe, das heißt der Fahrgeschwindigkeit der Maschine, erreichen, doch ist dieser Weg aus Wirtschaftlichkeitsgründen nicht gangbar. Eine andere Möglichkeit, die Schichthöhe zu verringern, besteht in der Erhöhung der Fördergeschwindigkeit des Siebgutes durch einen kleineren Schwingenneigungswinkel  $\alpha$  und durch flachere oder abwärts geneigte Siebstellung (Winkel  $\beta$ ). Da jedoch hierdurch die Aufprallgeschwindigkeit und damit die Energie beim Aufprall kleiner wird, bedeutet diese Lösung eine zu starke Beeinträchtigung der Siebdurchgangsleistung. Vorteilhafter ist darum die Ausrüstung der Siebstäbe mit sägezahnartigen Aufsätzen, die neben einer Erhöhung der Fördergeschwindigkeit eine zerkleinernde Wirkung auf das Siebgut haben. Eine geringere Schichthöhe erreicht man ferner durch eine Verbreiterung des Siebes. Dies führt allerdings nur dann zu dem gewünschten Erfolg, wenn das Siebgut über die ganze Siebbreite gleichmäßig aufgeheben wird. Zu diesem Zweck muß der Siebgutverband zuerst zerteilt werden, beispielsweise mit einer kurzen, vorgeschalteten Siebkette. Dadurch wird außerdem der innere Zusammenhalt des Siebgutes herabgesetzt, gleichzeitig erzielt man eine weitere wesentliche Verbesserung der Absiebedingungen. Unabhängig von diesen Maßnahmen konstruktiver Art muß aber der aufgenommene Querschnitt des Kartoffeldammes so klein wie möglich sein. Hierzu ist eine möglichst hohe und konzentrierte Lage der Knollen im Damm wünschenswert, damit das Rodeschar flach arbeiten kann.

*Erhöhung der Absiebintensität*

Je größer die Aufprallgeschwindigkeit und je höher die Siebfrequenz ist, desto mehr Gut wird abgesiebt. Da aber die Aufprallgeschwindigkeit sprunghaft ansteigt, sobald der Wurf über zwei Perioden beginnt (vgl. Bild 8) und damit auch die Beschädigungsgefahr stark zunimmt, ist eine weitere Steigerung der Kennziffer nicht zu empfehlen. Der günstigste Arbeitspunkt ist dann erreicht, wenn bei jeder Siebschwingung ein Wurf erfolgt und die Wurfrolle gerade noch gleichmäßig ist.

Bei gleicher Drehzahl läßt sich die Aufprallgeschwindigkeit ferner durch Vergrößerung des Schwingenneigungswinkels  $\alpha$  verbessern, allerdings ist diese Maßnahme mit einer gleichzeitigen Verminderung der Fördergeschwindigkeit verbunden. Werden dagegen der Schwingenneigungswinkel  $\alpha$  und der Siebneigungswinkel  $\beta$  um denselben Betrag geändert (Schwenken des ganzen Maschinenbestandes), so ergibt sich nur eine geringe Verbesserung der Aufprallgeschwindigkeit.

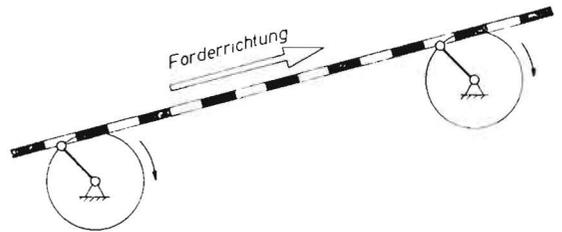


Bild 11: Kreisschwingensieb. Jeder Siebpunkt beschreibt eine in vertikaler Ebene liegende Kreisbahn

Wenn das Sieb in Schwingen stehend statt hängend ausgeführt wird, verursacht bei gleicher Antriebsdrehzahl die in Schwingenrichtung wirkende Normalbeschleunigung eine frühere Ablösung, die eine größere Ablösegeschwindigkeit und damit auch eine größere Aufprallgeschwindigkeit zur Folge hat. Eine weitere Verbesserung der Siebwirkung erhält man, wenn das Sieb eine geschlossene Kreisbewegung in vertikaler Ebene ausführt (Bild 11). Hier tritt der Ablösezeitpunkt noch früher ein, da der Einfluß der Zentripetalbeschleunigung wirksam wird. Der Abwurfwinkel, der bei dem in Schwingen geführten Sieb etwa mit dem Schwingenneigungswinkel identisch ist, liegt hier steiler, so daß auch die Aufprallgeschwindigkeit bei dieser Anordnung größer wird. Je größer die Frequenz eines derartigen Kreisschwingensiebes ist, desto weniger eignet es sich allerdings für eine Aufwärtsförderung. Es kann daher in Kartoffelerntemaschinen nur in beschränktem Umfang eingesetzt werden.

#### *Einfluß der freien Siebfläche*

Die freie Siebfläche eines Siebrostes kann im Feldbetrieb durch klebendes Gut, eingeklemmte Steine und Faserteile stark vermindert werden, wodurch die Siebleistung beeinträchtigt wird. Durch Überziehen der Stäbe mit einer Kunststoffschicht, Aufsetzen von Kunststoff-Hohlprofilen oder durch elastische Lagerung der Stäbe im Siebrahmen lassen sich diese Schwierigkeiten zum Teil beseitigen.

Eine Vergrößerung der freien Siebfläche durch Erhöhung des Stababstandes wird durch die kleinste Knollengröße begrenzt. In der Regel kann eine lichte Weite von 25 bis 35 mm nicht überschritten werden. Die freie Siebfläche kann deshalb nur durch einen kleineren Stabquerschnitt erhöht werden. Statt der bisher verwendeten breiten Siebstäbe, deren Stärke etwa 12 bis 15 mm beträgt, dürften Harfensiebe, bei welchen zum Beispiel stark gespannte Stahldrähte anstelle der Siebstäbe verwendet werden, eine größere Siebleistung bewirken. Durch ihre geringe Angriffsfläche setzen sie dem Siebgut beim Aufprall einen geringeren Widerstand entgegen, wodurch der Durchsatz ebenfalls erhöht wird. Dieses Harfensieb hat weiterhin den Vorteil, daß es infolge seiner geringen Haftfläche und seiner elastischen Eigenschaften eine große selbstreinigende Wirkung zeigt.

#### *Vermeiden von Kartoffelbeschädigungen*

Alle genannten konstruktiven Maßnahmen zur Verbesserung der Siebleistung erhöhen aber die Gefahr der Beschädigungen an den Kartoffelknollen. Diese wächst auf dem Sieb mit zunehmender Entfernung vom Schar, weil das schützende Erdpolster durch das Absieben kontinuierlich dünner wird. Daraus ergibt sich die Forderung, daß sich die Aufprallgeschwindigkeit entsprechend der Siebgutverteilung entlang der Siebfläche verändert; dies kann zum Beispiel dadurch geschehen, daß man den Schwingenneigungswinkel am Anfang des Siebes größer wählt als an seinem Ende, oder daß man am Anfang des Siebes eine Kreisbewegung vorsieht, während das Siebende in Schwingen mit einem kleinen Winkel aufgehängt oder abgestützt wird. Zur Schonung der Kartoffeln sollte man grundsätzlich auf eine restlose Absiebung der Erde auf dem eigentlichen Siebelement verzichten. Da dem Sieb in der Sammelernemaschine weitere Transport- und Trennvorrichtungen nachgeschaltet werden, die eine Absonderung der restlichen Erde ermöglichen, bedeutet diese Maßnahme keine Beeinträchtigung der Gesamtleistung der Maschine.

#### **Zusammenfassung**

Der Einsatz von schwingenden Siebelementen für die Trennung von Erde bei der mechanischen Ernte von Kartoffeln machte die Untersuchung des Bewegungs- und Absiebvorgangs für ein derartiges Siebgut notwendig, da sich zwischen den praktisch auftretenden Verhältnissen und den aus der bisher bekannten Schwingensiebtheorie abgeleiteten Zusammenhängen zum Teil erhebliche Unterschiede ergaben.

Das starke Deformationsvermögen der Erde und die relativ große Belastung des Kartoffelrodersiebes bewirken am Ende der einzelnen Würfe eine zeitliche Dehnung des Aufprallvorganges, der sich auf das gesamte Wurfverhalten auswirkt. Hieraus ergibt sich in erster Linie eine Verringerung der Aufprallgeschwindigkeit, deren Größe die pro Aufprall abgesiebte Menge maßgebend beeinflusst.

Die Abwurf- und Aufprallverhältnisse wurden an einem parallel geführten schwingenden Siebrost mit elektrischen Meßverfahren und durch Zeitdehner-Filmaufnahmen der gesamten Gutbewegung erfaßt und ergaben einen weitgehenden Einblick in den Bewegungsablauf zwischen dem Siebrost und der Erde.

Aus den theoretischen und experimentellen Untersuchungen kann gefolgert werden, daß bei der Absiebung von Erde mit einem schwingenden Siebrost die Schichthöhe auf dem Sieb möglichst gering gehalten werden muß, um ein Optimum an Siebleistung zu bekommen. Weiterhin muß auf eine gute Zerstörung des Erdverbandes vor dem eigentlichen Siebvorgang geachtet werden. Auch die richtige Abstimmung von Fördergeschwindigkeit und Aufprallgeschwindigkeit läßt sich bei einer kleineren Schichthöhe besser durchführen. Das Schwingsieb ist von sich aus wenig anpassungsfähig gegenüber stark wechselnden Arbeitsbedingungen und verlangt deshalb für den praktischen Einsatz Einrichtungen zur raschen und stufenlosen Veränderung seiner Frequenz und seiner Einstellung.

#### **Schrifttum**

- [1] DECKER, O., und H. J. MAEDER: Technologische und schwingungstechnische Betrachtungen zum Siebvorgang. Firmendruckschrift Humboldt, Köln 1952
- [2] PETROW, D. G.: Die Verwendung von Sieben in Kartoffelvollernemaschinen. Selchos Maschine (1956), H. 1, S. 10—13
- [3] BAGANZ, K.: Laborversuche über Erdsabsiebung auf schwingenden Siebrosten. Diss. Humboldt-Universität Berlin 1957
- [4] BÖTTCHER, S.: Beitrag zur Klärung der Gutbewegung auf Schwingrinnen. Fördern und Heben 8 (1958), S. 127—131, S. 235—239, S. 307—315
- [5] NOACK, W.: Feldabsiebleistung von Siebelementen für Kartoffelroder. In: Vorträge der wissenschaftlichen Jahrestagung 1959 des Instituts für Landtechnik Potsdam-Bornim. (Tagungsberichte Nr. 22), Berlin 1959, S. 31—46
- [6] BAADER, W.: Das Verhalten eines Schüttgutes auf schwingenden Siebrosten. In: 18. Konstrukteurheft, VDI-Verlag Düsseldorf 1961 (Grundlagen der Landtechnik, Heft 13), S. 13—20
- [7] BAADER, W.: Untersuchungen über das Verhalten eines Haufwerkes großer Schichthöhe auf einem schwingenden Siebrost. Diss. Technische Hochschule Braunschweig 1960

#### **Résumé**

*Wolfgang Baader: "The Separation of Soil in Potato Diggers Equipped with Oscillating Sieves."*

*The application of oscillating sieving units for separating the soil from the potatoes in harvesting operations made it necessary to investigate the movements and sieving processes, since it had already been noticed that there were considerable differences between conditions pertaining in actual practice and those deduced from theoretical considerations.*

*The great properties of deformation possessed by soils and the relatively heavy loads on the potato digger sieves cause an increase in the time required for the rebound phase affects the whole of the movements in the sieves. In the first place, there is a reduction in the velocity of rebound whose magnitude has a further important effect on the quantity sieved per rebound. These relations were measured by means of electrical measuring equipment in a swinging sieve working in parallel guides. At the same time, the movements of the whole mass in the sieve were recorded photographically, whereby a very comprehensive evaluation of the interdependence of the movement of the sieve and the soil was obtained.*

*The practical and theoretical investigations have shown that in order to obtain an optimum sieving performance, the thickness of the layer of soil on the sieve should be kept as small as possible. Furthermore, the soil must be thoroughly loosened before sieving operations commence. The correct adjustment of the rate of feed and the rebound velocity can be more easily made when the thickness of the soil layer is kept at a minimum. The sieve itself cannot be closely adjusted to varying operating conditions and therefore requires, when working under field conditions, some form of equipment whereby the frequency of the sieve can be quickly and continuously adjusted to suit existing conditions.*

*Wolfgang Baader: «Le tamisage de la terre par les grilles oscillantes incorporées dans les arracheuses de pommes de terre.»*

*L'utilisation des grilles oscillantes pour la séparation de la terre dans la récolte mécanique des pommes de terre a exigé l'examen des phénomènes de mouvement et de tamisage de la terre, étant donné qu'il existe encore de grandes différences entre les phénomènes observés dans la pratique et les rapports déduits de la théorie actuelle sur une grille oscillante.*

*Le grand pouvoir de déformation de la terre et la charge relativement élevée de la grille d'une arracheuse provoquent à la fin de chaque*

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.

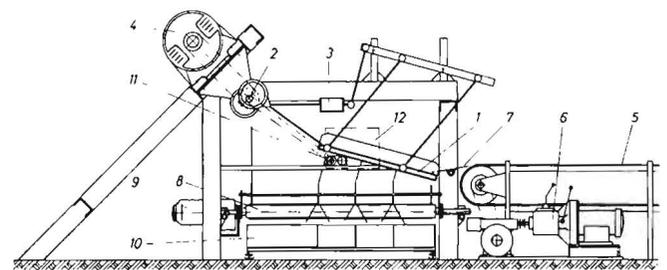


Bild 1: Aufbau des Versuchsstandes

- |  |                                       |
|--|---------------------------------------|
| 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