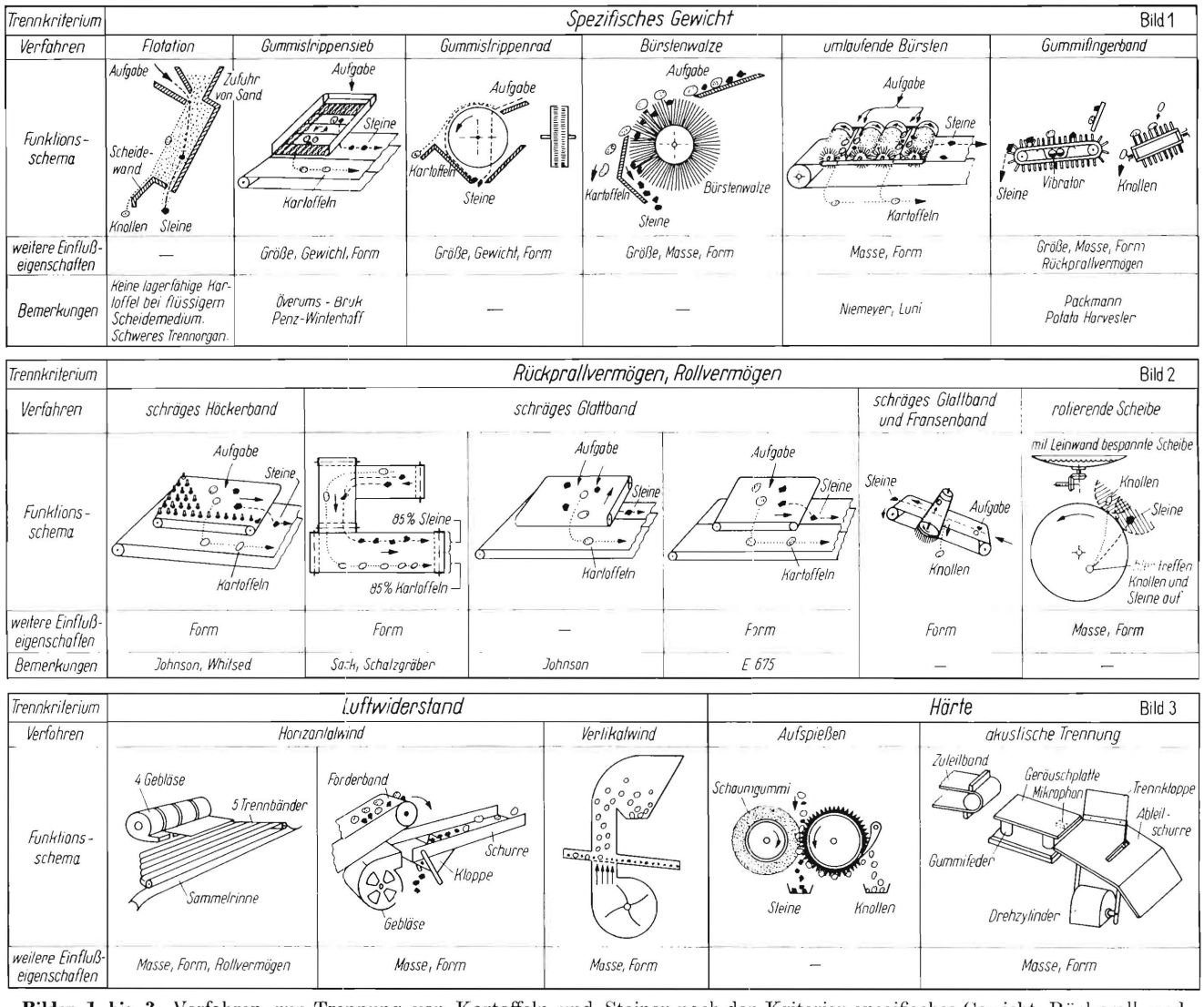
Ein neues Verfahren zum Trennen von Steinen und Kartoffeln mit Hilfe akustischer Impulse

Von **Manfried Koch**, Aachen

Im landwirtschaftlichen Betrieb stellt die Kartoffelernte eine der größten Arbeitsspitzen dar. Durch die Abwanderung der Arbeitskräfte aus der Landwirtschaft wurde schon früh mit der Mechanisierung der Kartoffelernte begonnen. Als nach dem zweiten Weltkrieg bei der Kartoffelernte im verstärkten Maße das Sammelernteverfahren anstatt des Vorraternteverfahrens eingesetzt wurde, sah sich die landtechnische Forschung ganz neuen Problemen gegenüber. Während das Absieben des Erdbodens keine großen Schwierigkeiten mehr bereitete, die Abscheidung des Kartoffel- und Unkrautes verhältnismäßig einfach zu beherrschen war und auch zufriedenstellende Lösungen entwickelt worden waren, bringt die Trennung der Kartoffeln von Fremdkörpern, wie Steinen und Kluten, größere Schwierigkeiten mit sich.

Das Abscheiden der Fremdbeimengungen aus dem Erntestrom durch einfache Handauslese ist wohl im Hinblick auf die Beschädigung der Kartoffeln die schonendste Methode, aber der Arbeitskräftemangel zwingt zu rationelleren Lösungen. Zuerst wurden zahlreiche Trennhilfen entwickelt, die nach unterschiedlichen Trennkriterien arbeiten. Alle bisher entstandenen Trenneinrichtungen benötigen jedoch je nach den Verhältnissen noch 2 bis 5 Nachlesepersonen. Um die Zahl der Arbeitskräfte weiter zu reduzieren, müssen neue Wege beschritten werden [1; 2]. Als Beitrag dazu wurde im Institut für Landtechnik der Technischen Hochschule Aachen ein neuartiges Trennverfahren entwickelt, dessen Grundidee aus einer Beobachtung bei einer Vorführung der ersten Kartoffel-Sammelerntemaschinen entstand und darin besteht, daß eine Kartoffel, die in einen leeren Blechbehälter, z. B. einen Sammelbunker, fällt, ein ganz anderes Geräusch erzeugt als ein Stein, und mit Hilfe dieses Geräuschunterschiedes eine Trennvorrichtung gesteuert wird.



Bilder 1 bis 3. Verfahren zur Trennung von Kartoffeln und Steinen nach den Kriterien spezifisches Gewicht, Rückprall- und Rollvermögen, Luftwiderstand und Härte.

Dr.-Ing. Manfried Koch ist wissenschaftlicher Assistent im Institut für Landtechnik (Direktor: Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Hans Sack) der Rhein.-Westf. Technischen Hochschule Aachen.

Physikalische Eigenschaften der Kartoffeln und Steine

Die Eigenschaften der im Erntegut enthaltenen Anteile sind teilweise sehr verschieden und können als Kriterium für eine Trennung der Einzelteile ausgenutzt werden. Bei den bisher entwickelten Trenneinrichtungen werden oftmals mehrere Eigenschaften wirksam, deren Einflüsse sich fördernd, aber auch störend auf das Trennergebnis auswirken können.

Die **Bilder 1 bis 3** bringen im Schema die Verfahren zur Trennung von Steinen und Kartoffeln, die nach den Trennkriterien spezifisches Gewicht, Rückprallvermögen, Rollvermögen, Luftwiderstand und Härte arbeiten [3 bis 18]. Die meisten der gezeigten möglichen Trennverfahren sind nicht oder noch nicht über das Versuchsstadium hinausgewachsen. In der Praxis bewährt haben sich die Trenneinrichtungen, die nach dem Roll- und Rückprallvermögen arbeiten bzw. das Bürsten-Trennorgan, das nach dem unterschiedlichen spezifischen Gewicht der beteiligten Körper arbeitet und wie es z. B. von der Firma Niemeyer, Oese, in die Kartoffel-Vollerntemaschine eingebaut wird.

Für das Trennkriterium Härte sind in Bild 3 zwei Verfahren dargestellt, nach denen eine Trennung der Einzelkomponenten möglich erscheint. Die Ausnutzung der unterschiedlichen Härten der Einzelkomponenten zur Erzeugung unterschiedlicher Geräuschimpulse wird in einem Verfahren von *Sack* [17] beschrieben.

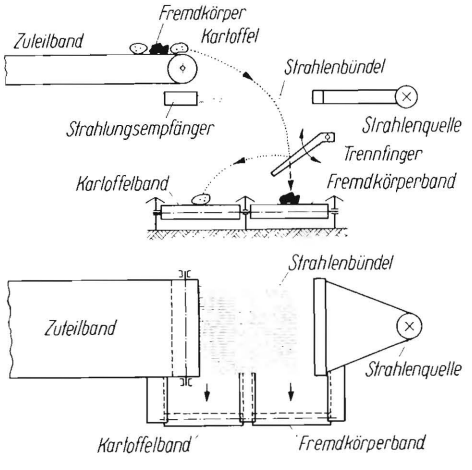


Bild 4. Abscheidung von Fremdkörpern aus Kartoffeln mit Hilfe von Röntgenstrahlen.

In **Bild 4** ist ein Verfahren wiedergegeben, bei dem in einer Trenneinrichtung die verschiedene Absorption von Strahlungen zur Trennung der Kartoffeln von den Beimengungen herangezogen wird. Dieses Verfahren wurde vom National Institute of Agricultural Engineering in Schottland entwickelt [19 bis 22]. Die Einzelkörper werden über das Zuteilband der Trenneinrichtung zugeführt. Von Röntgenstrahlbündeln, die von der Strahlenquelle ausgehen, werden die Einzelkörper abgetastet. Je nach der Absorption der Strahlung wird vom Empfänger eine Kartoffel, ein Stein oder eine Klute registriert. Passiert ein Fremdkörper ein Strahlenbündel, dann wird über dem Empfänger der Trennfinger ausgelenkt, so daß der Fremdkörper auf das Fremdkörperband gelangt und somit aus der Maschine herausgeführt werden kann. Wird dagegen eine Kartoffel vom Empfänger registriert, dann beharrt der Trennfinger in seiner Stellung und die Kartoffel gelangt auf das Abführband und somit in den Sammelbehälter. Jedem Röntgenstrahlbündel ist ein Trennfinger zugeordnet.

Das akustische Trennverfahren

Im Folgenden wird über die Entwicklung eines Trennorgans berichtet, das die akustischen Folgeerscheinungen der unterschiedlichen Härte von Kartoffeln, Steinen und Kluten als Trennkriterium benutzt. Nach einem Vorschlag von *Sack* [17] beruht das Kriterium auf folgender Beobachtung:

Legt man eine Kartoffel auf eine Stahlplatte, die eine definierte erzwungene Schwingung ausführt, dann entsteht ein Geräusch, das sehr unterschiedlich ist zu dem Geräusch, das ein Stein oder eine harte Klute auf der Schwingplatte erzeugt. Dieser Geräuschunterschied wird zur Trennung der Güter herangezogen. Eine Trenneinrichtung, die zur Abscheidung der Fremdkörper aus dem Kartoffelstrom die akustischen Folgeerscheinungen der Körper verwendet, baut sich aus folgenden Baugruppen auf:

1. aus dem Zuteilorgan für das Kartoffel-Fremdkörpergemisch,
2. den Vorrichtungen für die Geräuscherzeugung und die Geräuschaufnahme,
3. der Vorrichtung für die Umwandlung des Geräuschimpulses in einen Steuerimpuls,
4. der Vorrichtung für die Verwertung des Steuerimpulses und zum Abscheiden der Fremdkörper und
5. den Sammelbehältern.

Das Zuteilorgan

Voraussetzung für die Erzeugung der akustischen Impulse ist, die Einzelteile des Gutsstromes hintereinander mit der Geräuscherzeugungsvorrichtung in Berührung zu bringen. Die Lösungsmöglichkeiten der Vereinzelung des Gutsstromes sollen hier nicht besprochen werden. Bei den Versuchen wurden die Einzelkörper hintereinander auf ein 3 m langes Zuteilband gelegt, dessen Fördergeschwindigkeit stufenlos eingestellt werden konnte. Es kam also nur ein periodischer Versuchsbetrieb zustande.

Die Geräuschaufnahme

Die Vorrichtung für die Geräuscherzeugung und für die Geräuschaufnahme ist für das Funktionieren der Trenneinrichtung von ausschlaggebender Bedeutung. Es wurden zwei Systeme auf ihre Eignung hin untersucht:

1. eine Geräuschplatte, die eine erzwungene Schwingung und
2. eine Geräuschplatte, die eine freie Schwingung ausführt.

In **Bild 5 und 6** sind die beiden Ausführungen schematisch dargestellt. Bild 5 zeigt das Schema für die erzwungene Schwingung der Geräuschplatte, wobei die Einzelkörper, Kartoffeln, Steine und Kluten einzeln über die schwingende Stahlplatte geführt werden. Die erzeugten Geräusche können durch folgende Größen beeinflußt werden:

1. durch die erzwungene Schwingfrequenz der Platte,
2. durch die Schwingamplitude der Platte,
3. durch die Abmessungen der Schwingplatte,
4. durch die Befestigung der Schwingplatte und
5. durch den Elastizitätsmodul des Plattenmaterials.

Auf einem Schwingtisch wurde der Einfluß der aufgezählten Varianten auf das erzeugte Geräusch untersucht. Das aufgenommene Geräusch wurde mit Hilfe von Oktav- und Terzfilter bzw. Röhrenvoltmeter und Kathodenstrahloszillograph analysiert. Als günstigste Einstellung der Variationsmöglichkeiten ergab sich eine Antriebsfrequenz von 25 Hz und eine

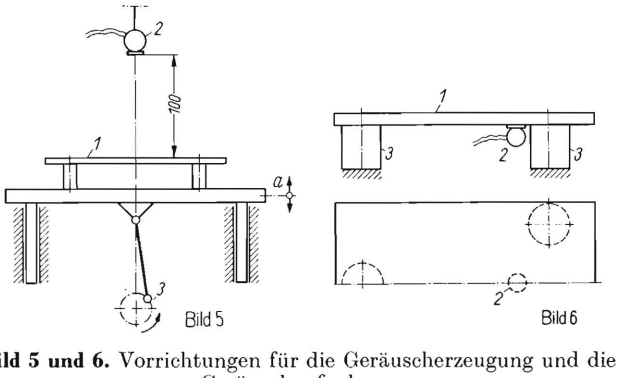


Bild 5 und 6. Vorrichtungen für die Geräuscherzeugung und die Geräuschaufnahme.

Bild 5. Erzwungene Schwingung
1 Geräuschplatte 100 mm × 80 mm × 4 mm
2 Mikrophon
3 Antrieb
$f = 25$ Hz; $a = \pm 1{,}8$ mm

Bild 6. Freie Schwingung
1 Geräuschplatte 140 mm × 110 mm × 4 mm
2 angeflanschtes Mikrophon
3 gedämpfte Federung (Schaumgummi)

Schwingamplitude von ± 1,8 mm bei mittleren Körpermassen mit einer 100 mm × 80 mm × 4 mm großen Stahlplatte aus St 00. Diese Anordnung der Geräuschplatte hat aber entscheidende Nachteile:

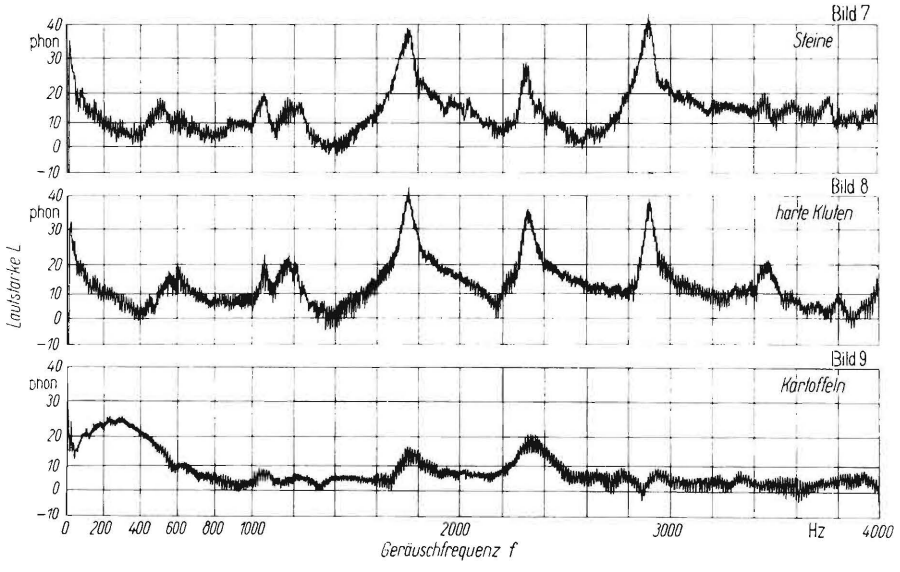
1. Der notwendige freie Durchgang bedingt einen Mikrophonabstand von 100 mm von der Erzeugungsstelle des Geräusches. Dadurch können Fremdgeräusche zu Störimpulsen und damit zu Fehlabscheidungen des Trennorgans führen.

2. Die Einzelkörper werden über die Schwingplatte geführt und erzeugen im Zusammenwirken mit der Geräuschplatte mehrere Geräuschimpulse, d. h., es entstehen keine scharf abgegrenzten Geräuschimpulse, die für die Abscheidung des Einzelkörpers unbedingt gefordert werden müssen.

3. Der Antrieb der Schwingplatte führt ebenfalls zu Störimpulsen und damit zu Fehlabscheidungen.

Aus diesen Gründen ging man von dieser Geräuscherzeugung ab und kam zu der Anordnung mit freischwingender Geräuschplatte, die in Bild 6 dargestellt ist. Auf drei Schaumgummistopfen wird eine Stahlplatte von 140 mm × 110 mm × 4 mm so abgestützt, daß sie freie gedämpfte Schwingungen ausführen kann. Der Aufprall eines Körpers erregt die Platte zu Schwingungen, die von dem angeflanschten Mikrophon aufgenommen werden. Die oben aufgeführten Nachteile sind durch diese Anordnung behoben. Es traten durch Fremdgeräusche keine Störimpulse mehr auf.

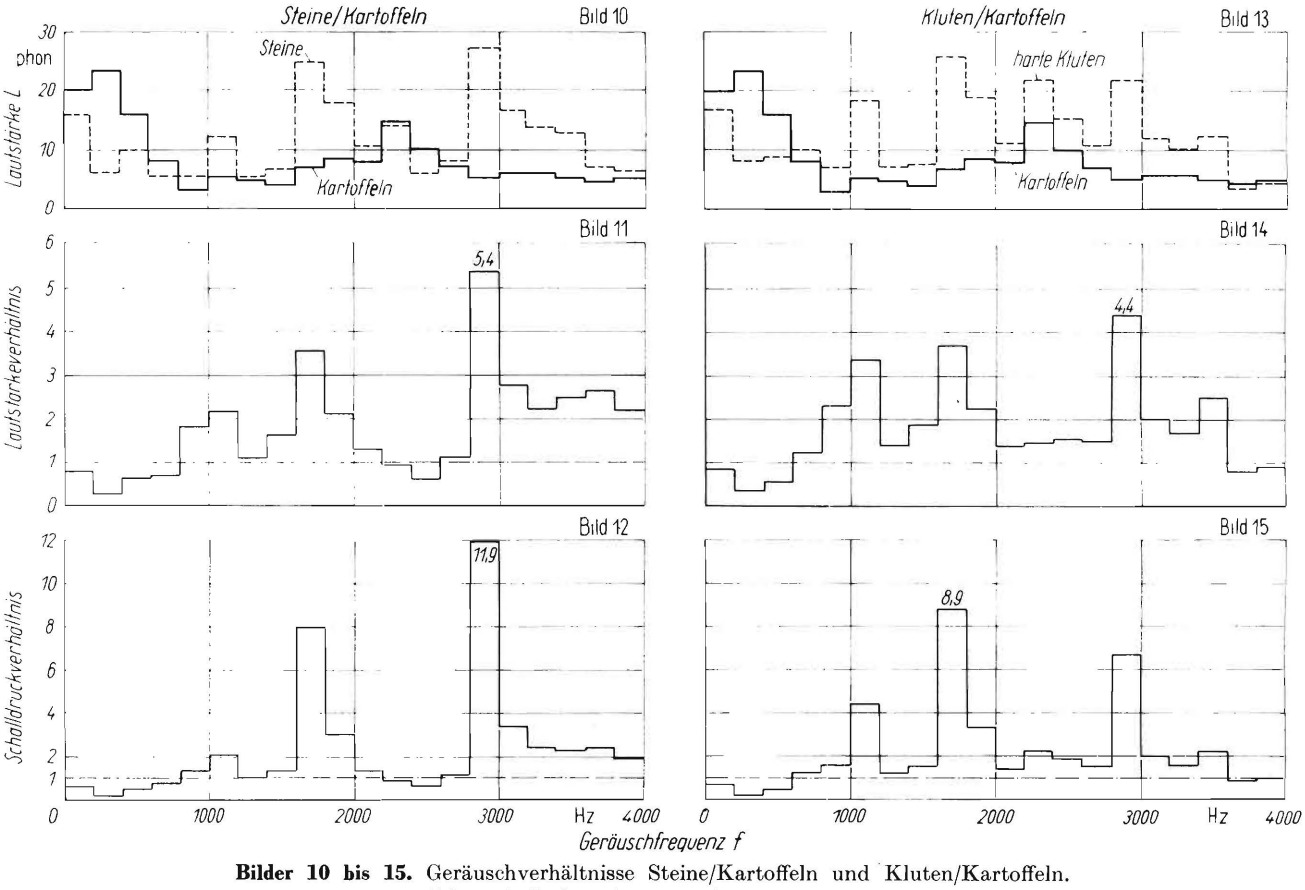
Für die Wahl der Plattengröße und die Auslegung der elektrischen Schaltelemente des Steuerkreises wurden die Geräusche einer Analyse unterzogen. Ziel der Geräuschanalyse ist die Ermittlung der Lautstärkenverhältnisse von Steinen und Kartoffeln bzw. Kluten und Kartoffeln, um die Grenzfrequenz des nachgeschalteten Frequenzsiebes festlegen zu können.



Bilder 7 bis 9. Analyse der von Steinen, harten Kluten und Kartoffeln auf der Geräuschplatte erzeugten Geräusche.

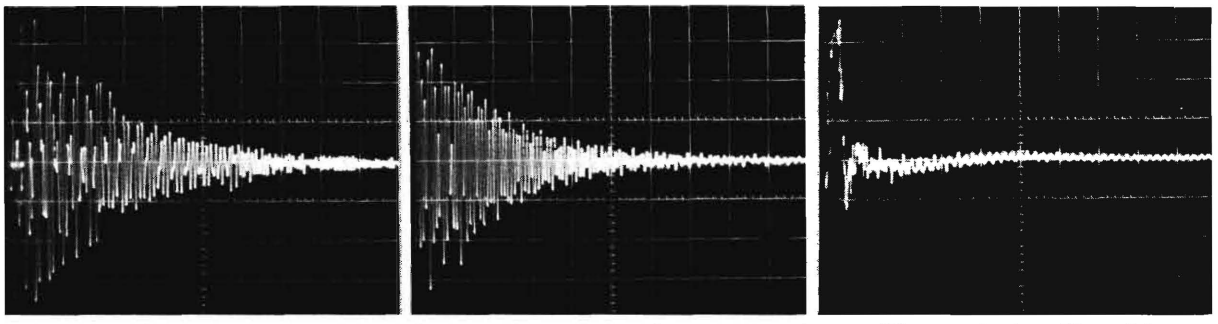
Der Nullwert der Lautstärke ist aus meßtechnischen Gründen fiktiv, d. h., den Diagrammen können keine absoluten Lautstärken entnommen werden. Dagegen entsprechen die Lautstärkenunterschiede in den Diagrammen den in den Ordinaten angegebenen Werten in Phon. Die Körper schlugen im Zentrum der Stelle auf, an der das Mikrophon angebracht war.

Registrierdaten: Papiergeschwindigkeit 20 mm/min, Analysiergeschwindigkeit 5 Hz/s, d. h., in jeder Sekunde wurde die Lautstärke einer Geräuschbandbreite von 5 Hz gemessen, Bandbreite 6 Hz bei 3 phon Amplitudenabfall



Bilder 10 bis 15. Geräuschverhältnisse Steine/Kartoffeln und Kluten/Kartoffeln.

Siehe auch die Anmerkungen zu den Bildern 7 bis 9.



Bilder 16 bis 18. Schirmbildaufnahmen der Geräuschimpulse eines Steines, einer harten Klute und einer Kartoffel (gesamtes Frequenzgemisch). Die Körper schlugen im Zentrum der Stelle auf, an der das Mikrophon angebracht war.

Die mit 19 cm/s Bandgeschwindigkeit halbspurig auf Magnettonband aufgenommenen Geräusche wurden mit 38 cm/s Bandgeschwindigkeit abgespielt und einem Suchtonanalysator zugeleitet. Der Analysator registriert die Lautstärke bei einer einstellbaren Suchtonfrequenzbreite. Die Geräuschanalyse wurde von 0 bis 4 kHz durchgeführt. Die **Bilder 7 bis 9** zeigen die mit den entsprechenden Koordinaten versehenen Analysierschriebe für ein durch einen Stein erzeugtes Geräusch, für die Geräusche einer harten Klute und einer Kartoffel. Über der Geräuschfrequenz ist die Lautstärke L der Geräusche aufgetragen. Die Lautstärke L ist definiert durch die Gleichung

$$L = 20 \lg (p/p_0),$$

wobei $p_0 = 2 \cdot 10^{-4}$ μbar den Schalldruck eines Normalschalles der Frequenz $f_n = 1000$ Hz (Hörschwelle des menschlichen Ohres) ist und p denjenigen Schalldruck des Normalschalles bedeutet, der mit dem gemessenen Schall als gleich laut empfunden wird. Die Lautstärke wird in μbar/μbar = phon angegeben[1]). Die Lautstärke 0 ist in den Bildern 7 bis 9 ein rein fiktiver Wert, absolute Lautstärkenwerte können nicht angegeben werden, da die Lautstärkenverluste in den verschiedenen Übertrager- und Meßgeräten nicht bekannt sind. Um die Schalldruckverhältnisse zu bilden, ist die Kenntnis des absoluten Wertes nicht notwendig. Die Aufzeichnung zeigt deutlich die erheblichen Lautstärkenunterschiede zwischen Kartoffeln und Steinen bzw. Kartoffeln und Kluten. Die Spitzenwerte der Lautstärke treten jeweils bei den Eigenfrequenzen der Geräuschplatte auf, besonders stark zwischen 1,6 und 3 kHz.

Um die Lautstärken- und Schalldruckverhältnisse zu ermitteln, wurden die Lautstärkenmittelwerte für eine Bandbreite von jeweils 200 Hz durch Planimetrieren gebildet. In den **Bildern 10 bis 12** sind die Lautstärkenwerte und die Verhältniswerte für die Lautstärke und den Schalldruck über der Geräuschfrequenz graphisch dargestellt. Das günstigste Schalldruckverhältnis Steine/Kartoffeln liegt zwischen 2,8 und 3,0 kHz mit 11,9 entsprechend einem Lautstärkenverhältnis von 5,4 (siehe Bild 11 und 12). Für die Trennung der Kluten von den Kartoffeln **(Bilder 13 bis 15)** liegt das günstigste Verhältnis zwischen 1,6 und 1,8 kHz. Das maximale Schalldruckverhältnis beträgt hierbei 8,9 entsprechend dem Wert von 3,7 für das Lautstärkenverhältnis. Wird das der Geräuschaufnahme nachgeschaltete Frequenzsieb mit einer Grenzfrequenz von 1,6 kHz ausgelegt, dann ist in jedem Fall eine Abscheidung von Steinen und harten Kluten aus einem Kartoffelstrom mit Sicherheit möglich. Die entsprechenden Untersuchungen mit plastischen Kluten ergaben dagegen, daß sich zwischen Kartoffeln und plastischen Kluten keine scharfe Unterscheidung der Geräuschmerkmale ergibt.

Tafel zu den Bildern 16 bis 18:

		Stein (Bild 16)	Harte Klute (Bild 17)	Kartoffel (Bild 18)
Fallhöhe	mm	20	20	100
Masse	g	59	17	64
Rasterteilung in den Bildern:				
y-Ordinate	mV	50	20	20
x-Ordinate	ms	5	5	5

Für die Leistungsfähigkeit des Trennorgans ist die Ausklingzeit des Geräuschimpulses von ausschlaggebender Bedeutung. Zur Ermittlung der Ausklingzeit des Geräusches und zur Erweiterung der obigen Erkenntnisse wurden die einzelnen Geräuschimpulse näher untersucht und miteinander verglichen. Die beim Aufprall der im Gutsstrom vorhandenen Körper entstehenden Geräuschimpulse wurden auf einen Kathodenstrahloszillographen gegeben und die Schirmbilder fotografiert. Das Abklingen des Geräuschimpulses wird durch die Eigendämpfung des Systems Geräuschplatte-Gummistopfenabstützung und durch die Fremddämpfung der auftreffenden Körper beeinflußt.

In den **Bildern 16 bis 18** sind die Schirmbilder der Geräuschimpulse von Stein, harter Klute und Kartoffel wiedergegeben. Durch eine vierfache Vergrößerung der Schirmbildaufnahmen konnten die Werte für maximale Impulsspannung U_{max} und die Ausklingzeit t mit ausreichender Genauigkeit ermittelt werden. Die Werte sind in der **Tafel 1** zusammengefaßt. Bildet man trotz der unterschiedlichen Fallhöhen die Verhältnisse der Impulsspannungen bzw. der Ausklingzeiten für die getesteten Körper, dann erkennt man eine weitere Möglichkeit für die Trennung der Steine und harten Kluten von Kartoffeln, nämlich nach der Ausklingzeit des Geräuschimpulses.

Zusammenfassend kann also gesagt werden, im Zusammenwirken einer definiert abgestützten Stahlplatte und dem Aufprall von Kartoffeln, Steinen und harten Kluten entstehen Geräusche, die sich nach drei Merkmalen unterscheiden lassen:

1. nach dem Frequenzspektrum der Geräusche,
2. nach dem Schalldruck bestimmter Frequenzbereiche und
3. nach der Ausklingzeit der Geräuschimpulse.

Diese Merkmale stellen jedes für sich ein Trennkriterium dar. Bei den Versuchen wurde zur Trennung eine Kombination der beiden ersten Kriterien gewählt.

[1]) s. DIN 1318 Lautstärke, Begriffsbestimmung.

Verwendete Formelzeichen

f	Hz	Schwingfrequenz, Geräuschfrequenz
a	mm	Schwingamplitude
L	phon	Lautstärke
p	μ bar	Schalldruck
p_0	μ bar	Schalldruck an der Hörschwelle bei $f = 1000$ Hz
U_{max}	m V	maximale Geräuschamplitudenspannung
t	ms	Ausklingzeit
v	km/h	Fahrgeschwindigkeit
s	cm	Reihenabstand der Kartoffeln
F_{ges}	ha/h	Flächenleistung
E	dz/ha	Ernteertrag (Kartoffeln)
B	kg/min	Organbelastung
S_K	Stk/min	Organbelastung durch Kartoffeln
S_{ges}	Stk/s	Organbelastung durch Gesamtzahl der Körper bzw. Zuteilgeschwindigkeit
ε_F		Abscheidungsgrad für die vorgesehene Fremdkörperabscheidung (ε_S Abscheidungsgrad für Steine)
n_F		Anzahl der Fremdkörper (n_S Anzahl der Steine)
n_K		Anzahl der Kartoffeln
n_S/n_K		Steineanteil
δ_F		fehlgeleitete Fremdkörper, bezogen auf die Gesamtzahl der Fremdkörper (δ_S fehlgeleitete Steine)
δ_K		fehlgeleitete Kartoffeln, bezogen auf die Anzahl der Kartoffeln

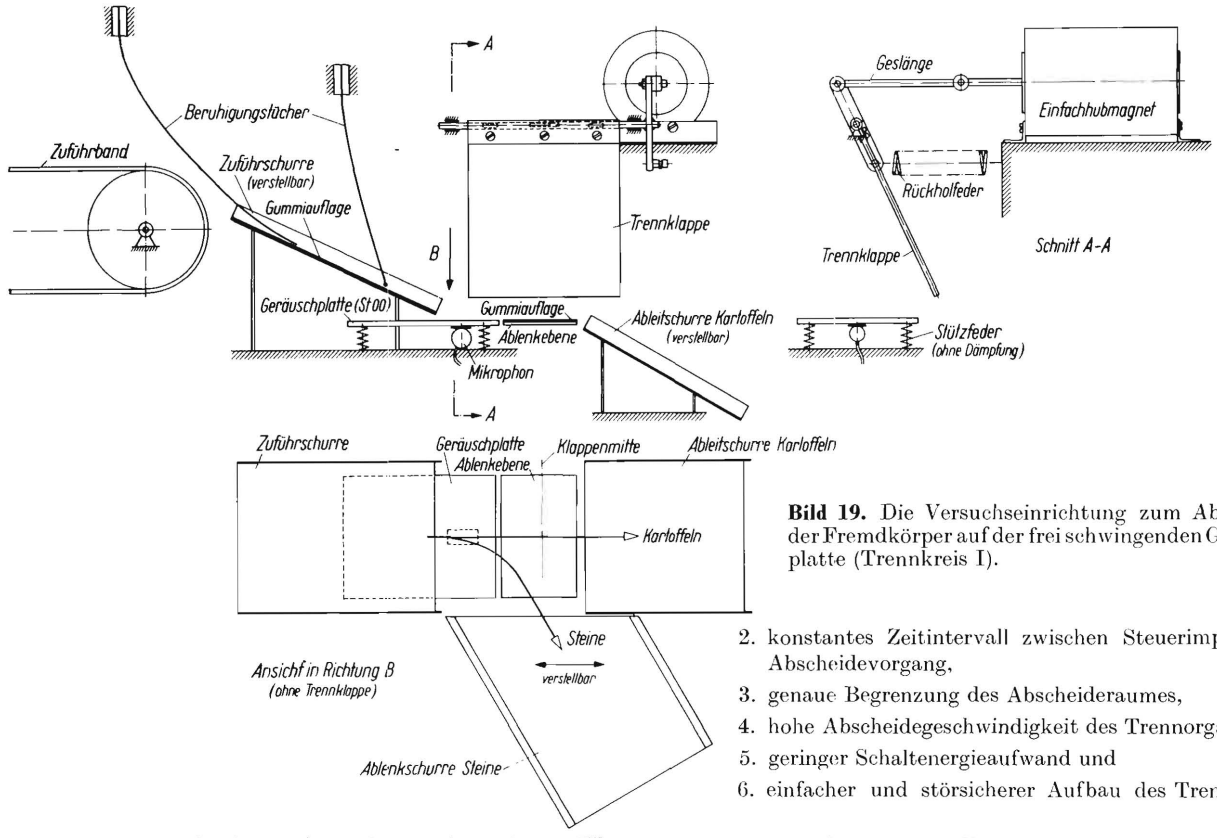


Bild 19. Die Versuchseinrichtung zum Abscheiden der Fremdkörper auf der frei schwingenden Geräuschplatte (Trennkreis I).

Tafel 1. Die durch die Geräuschimpulse von Stein, harter Klute und Kartoffel erzeugten maximalen Impulsspannungen U_{max} und die Ausklingzeiten t und deren Verhältnisse (Ergebnisse aus den Schirmbildaufnahmen in den Bildern 16 bis 18).

	Stein	Klute	Kartoffel
U_{max} mV	150	50	15
t s	35	30	2,5

	Stein/Kartoffel	Klute/Kartoffel
U_{max}/U_{max}	10,0	3,3
t/t	14	12

Geräuschimpuls — Steuerimpuls

Bild 19 und 20 zeigen schematisch die Anordnung des Versuchstrennorganes. Von der Zuteileinrichtung 1 gelangen die Einzelkörper (Steine, Kartoffeln, Kluten) über die bei einigen Versuchen angewendete Zuführschurre 3 auf die Geräuschplatte 2. Dort erzeugen sie den Geräuschimpuls, der vom Mikrophon 4 aufgenommen wird. Der Geräuschimpuls wird über den Vorverstärker 5, dem oben erwähnten Frequenzsieb 6, über den regelbaren Nachverstärker 7 und den Gleichrichter 8 dem eigentlichen Steuerrelais 9 zugeführt. Das Frequenzsieb hat im Steuerkreis die Aufgabe, die tiefen Geräuschfrequenzen der Kartoffelimpulse zu absorbieren und nur die Steine- und Klutengeräuschfrequenzen durchzulassen. Durch das Steuerrelais 9 wird der nachgeschaltete Trennkreis beaufschlagt, der die eigentliche Abscheidung der Fremdkörper vornimmt. Über den Aufbau und die Ausführung der einzelnen elektrischen Schalteinheiten sei hier nichts ausgeführt.

Die Trennvorrichtung

Für die Auslegung der Trennvorrichtung wurden mehrere Ausführungen untersucht. Folgende Bedingungen müssen von ihr möglichst günstig erfüllt sein:

1. keine Beschädigung der Kartoffel,
2. konstantes Zeitintervall zwischen Steuerimpuls und Abscheidevorgang,
3. genaue Begrenzung des Abscheideraumes,
4. hohe Abscheidegeschwindigkeit des Trennorgans,
5. geringer Schaltenergieaufwand und
6. einfacher und störsicherer Aufbau des Trennorgans.

In Vorversuchen wurden die günstigsten Anordnungen zwischen Zuteilorgan und Trennorgan ermittelt, bei denen die obigen Bedingungen erfüllt sind; sie sollen hier nicht näher behandelt werden.

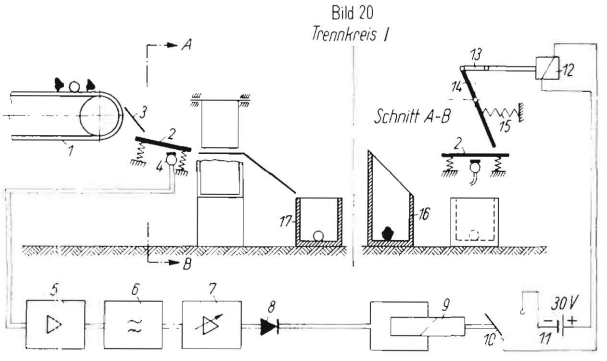
Die in den folgenden Bildern gezeigten Anordnungen stellen die Entwicklung der Ausführungen des Trennorgans bei den durchgeführten Versuchen dar.

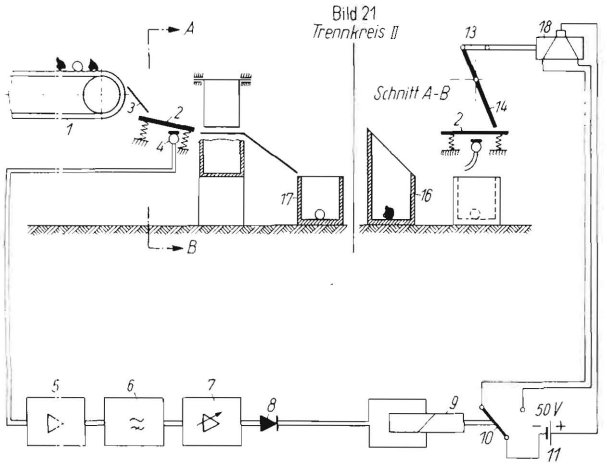
Die verschiedenen Trennkreise

Beim **Trennkreis I** in **Bild 20** wird durch das Steuerrelais 9 der Schließerkontakt 10 betätigt. Ein vom Mikrophon 4 aufgenommener Geräuschimpuls eines Fremdkörpers bewirkt also die Erregung des Elektrodenmagneten 12, der seinerseits die Trennklappe 14 auslenkt und den Fremdkörper senkrecht zur Richtung des Kartoffelstromes abscheidet. Nach dem Abklingen des Geräuschimpulses, d. h. nach dem Abfallen des Steuerrelais 9, holt die Feder 15 die Trennklappe 14 wieder in die Ausgangsstellung zurück. Diese Anordnung ließ eine Zuteilgeschwindigkeit von 4 Einzelkörpern je Sekunde zu (vgl. auch die weiter unten angeführten Versuchsergebnisse). In einer Abwandlung wurde ein stärkerer Hubmagnet verwendet (Trennkreis Ia), der eine höhere Schalthäufigkeit zuläßt. Es handelte sich um den im Trennkreis II verwendeten Umkehrhubmagneten, der als Einfachhubmagnet geschaltet wurde.

Im **Trennkreis II** nach **Bild 21** wird der Einfachhubmagnet und die Rückholfeder 15 des Trennkreises I durch einen Umkehrhubmagneten 18 ersetzt. Das Steuerrelais 9 erhält einen Wechselkontakt 10. Die maximale Hubarbeit wurde größer als notwendig gewählt, weil die Begrenzung von Hub und Hubkraft eine höhere maximale Schalthäufigkeit zuläßt. Es wird also Hin- und Rückgang der Trennklappe mit elektrischer Energie betrieben. Durch diese Anordnung konnte eine zulässige Zuteilgeschwindigkeit von 5 Einzelkörpern je Sekunde erreicht werden (vgl. die unten angeführten Versuchsergebnisse). **Bild 24** zeigt den Antrieb der Trennklappe mit dem Gestänge des Umkehrhubmagneten und schrägstehender Trennklappe.

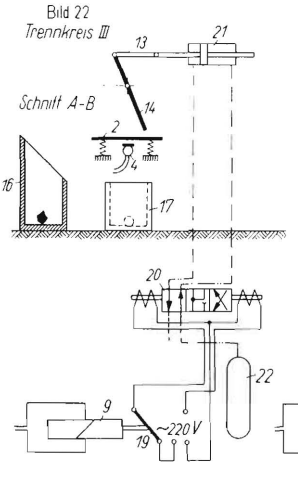
Um die Zuteilgeschwindigkeit weiter steigern zu können, wird im **Trennkreis III** in **Bild 22** eine neue Energiequelle für den Trennklappenantrieb herangezogen. Der Trennkreis II brachte bei einer Zuteilgeschwindigkeit von 6 Körpern je Sekunde

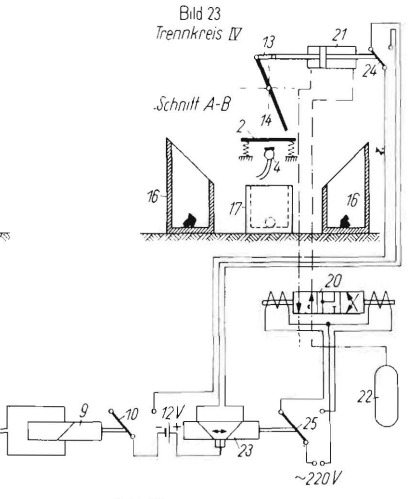




Bilder 20 bis 23. Schemata der Versuchsanordnungen mit den verschiedenen Trennkreisen I bis IV.

1 Zuteileinrichtung
2 Geräuschplatte
3 Zuführschurre
4 Mikrophon
5 Vorverstärker
6 Frequenzsieb
7 regelbarer Nachverstärker
8 Gleichrichter
9 Steuerrelais
10 Schließerkontakt
11 Stromquelle
12 Einfachhubmagnet
13 Hubgestänge für die Trennklappe
14 Trennklappe für Fremdkörper
15 Rückholfeder
16 Auffangbehälter für Fremdkörper
17 Auffangbehälter für Kartoffeln
18 Umkehrhubmagnet
19 Schließerkontakt
20 Vierwege-Elektromagnetventil
21 doppeltwirkender Axial-Pneumatikzylinder
22 Preßluft
23 Polrelais
24 Endlagenkontakte
25 Wechselkontakt
26 doppeltwirkender Drehkolbenzylinder





keine zufriedenstellenden Trennergebnisse mehr. Die Ausführung der Trennklappe wurde beibehalten. Die gleiche Steuereinrichtung des Trennkreises II schaltet im Trennkreis III ein Vierwege-Elektromagnetventil 20 für Preßluft 22. Die Schaltzeiten für das gewählte Ventil sind sehr kurz, für das Öffnen 4 ms, für das Schließen 4,5 ms. Der mit Druckluft beaufschlagte doppeltwirkende Pneumatikzylinder 21 betätigt über das Gestänge 13 die Trennklappe 14. Bei zufriedenstellenden Trennergebnissen konnte die Zuteilgeschwindigkeit auf 6 Einzelkörper je Sekunde gesteigert werden (vgl. die unten aufgeführten Versuchsergebnisse).

In den Trennkreisen I bis III hat die Trennklappe für das Ausscheiden eines Fremdkörpers eine Hin- und eine Herbewegung ausführen müssen. Im **Trennkreis IV** nach **Bild 23** wurde durch ein weiteres gepoltes Relais 23, das durch die Endlagenkontakte 24 gesteuert wurde, erreicht, daß die Trennklappe bei jedem Geräuschimpuls nur eine Hin- oder eine Herbewegung ausführt. Durch diese Maßnahme läßt sich annähernd die doppelte Schalthäufigkeit erreichen. Voraussetzung

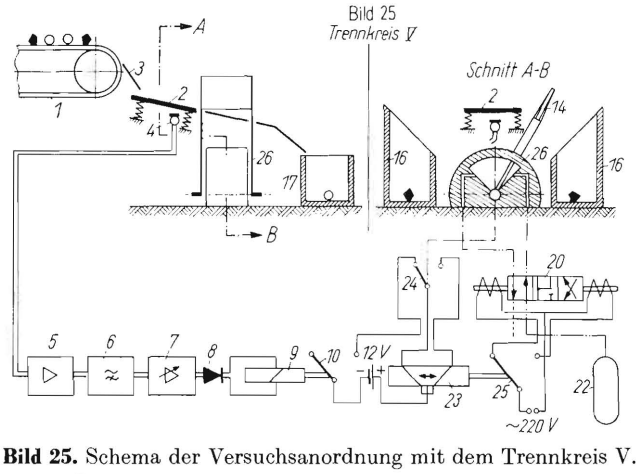
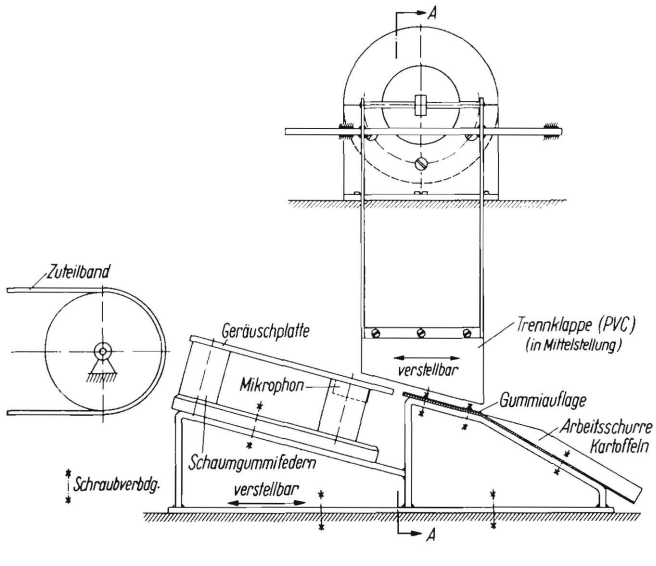


Bild 25. Schema der Versuchsanordnung mit dem Trennkreis V.
Erklärungen des Bildinhaltes siehe die Bilder 20 bis 23.



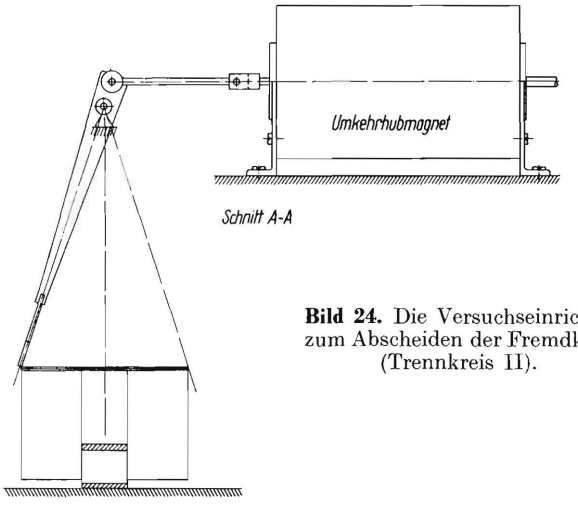
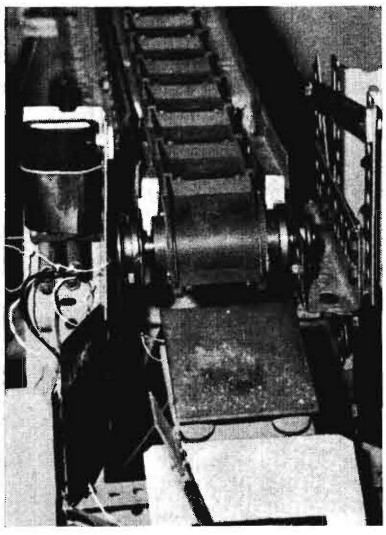


Bild 24. Die Versuchseinrichtung zum Abscheiden der Fremdkörper (Trennkreis II).



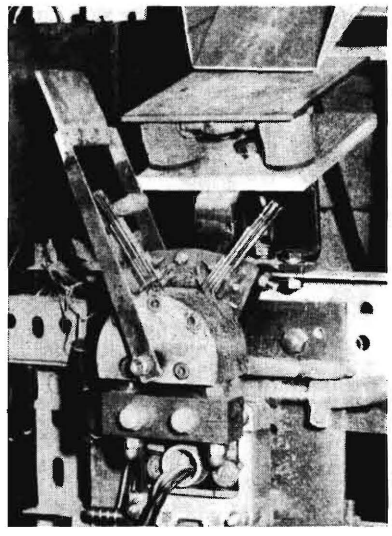


Bild 26 und 27. Das Trennorgan nach Trennkreis V mit Zuführband (Bild 25), Geräuschplatte und Drehkolbenzylinder zum Betätigen der Trennklappe.

jedoch ist, daß die Abklingzeit des Geräuschimpulses kürzer ist als die Schaltzeit der Trennklappe für eine Bewegung.

Das Relais 9 ist wieder mit dem Schließerkontakt 10 ausgerüstet und erregt je nach Lage des Endlagenkontaktes 24 die Spulen des Polrelais 23. Dieses Relais betätigt den Wechselkontakt 25, dessen Schaltstellungen gleichzeitig Ruhelagen sind, d. h., eine Spule des Elektromagnetventils 20 wird immer erregt. Die Lage des Endlagenkontaktes 24 wird durch die Stellung des pneumatischen Kolbens 21 bestimmt. Erhält das Relais 9 einen Impuls, dann wird der Kontakt 10 geschlossen, das Relais 23 wird erregt, der Kontakt 25 kommt in die rechte Endlage, das Elektromagnetventil 20 wird entgegengesetzt erregt, d. h., der Kolben 21 wird in die rechte Endstellung geschoben, wobei der Endlagenkontakt 24 auch in die rechte Endlage kommt. Da inzwischen der Geräuschimpuls abgeklungen ist, ist die Anordnung bereit, beim nächsten Impuls die Vorgänge zu wiederholen.

Mit der Anordnung nach Trennkreis IV wurden Tastversuche gefahren mit einer Zuteilgeschwindigkeit von 7 Einzelkörpern je Sekunde. Dabei wurde erkannt, daß die Trennklappe den freien Durchgang für die Kartoffeln stark behinderte.

Um den freien Durchgang für die durchlaufenden Kartoffeln zu vergrößern, wurde der Trennklappenantrieb im **Trennkreis V** nach unten verlegt, **Bild 25.** Der Axialzylinder 21 im Trennkreis IV wurde durch einen Drehkolbenzylinder 26 ersetzt. Die Arbeitsweise des Trennorgans entspricht der Beschreibung des Trennkreises IV. **Bild 26** zeigt die Trenneinrichtung nach Trennkreis V mit Zuteilband, Geräuschplatte und Trennklappe; in **Bild 27** sind außer Geräuschplatte und Trennklappe auch der Pneumatikzylinder mit Steuerventil zu erkennen. Die kompakte Bauweise des Trennklappenantriebes ermöglichte eine größere Schalthäufigkeit und ließ eine Zuteilgeschwindigkeit von 8 Einzelkörpern je Sekunde mit zufriedenstellenden Ergebnissen zu.

Versuchsdurchführung

Die gesamten Versuche wurden im Labor durchgeführt. Da das Organ für die kontinuierliche Zuteilung, Einzelführung der Körper hintereinander, noch nicht entwickelt war, wurde für die Prüfung des Trennorgans eine diskontinuierliche Zuteilung gewählt, und zwar in der Form, daß auf das Zuteilorgan die Einzelkörper von Hand aufgelegt wurden. Eine bestimmte Anzahl von Einzelkörpern wird mit der gewählten Zuteilgeschwindigkeit dem Trennorgan zugeführt. Um beurteilen zu können, welche Trennorganbelastungen zu erwarten sind, wurde eine Kurventafel aufgestellt, **Bild 28.** Für das eingezeichnete Beispiel, das im Mittel den praktischen Gegebenheiten entspricht, ergibt sich bei einer Fahrgeschwindigkeit von 2,7 km/h mit einer einreihigen Kartoffelerntemaschine für einen Reihenabstand von 62,5 cm eine Flächenleistung der Maschine von 0,17 ha/h. Bei einem angenommenen Ernteertrag von 250 dz Kartoffeln/ha fallen je Minute 70 kg Kartoffeln an. Bei einer mittleren Knollenmasse von 70 g/Stk wird das Trennorgan mit 1000 Kartoffeln/min beaufschlagt. Sind in den Kartoffeln 40% Steine enthalten, dann müßte das Trennorgan etwa 23 Einzelkörper/s aufnehmen können. Die Trennklappe müßte also während einer Sekunde im Mittel etwa 7 Steine von 16 Kartoffeln trennen. Da von diesen 7 Steinen im Grenzfall zwei, drei oder mehr Steine unmittelbar aufeinander folgen können, muß die Trennklappe mit einer Geschwindigkeit von 23 Abscheidebewegungen/s arbeiten können.

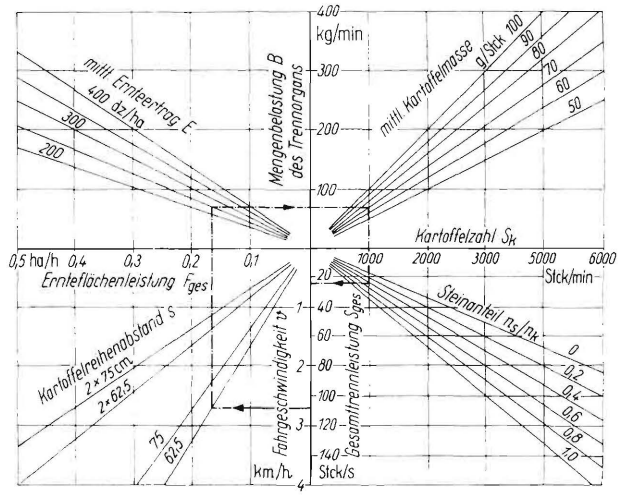


Bild 28. Kurventafel zur Ermittlung der Belastung des Trennorgans.

Die natürlichen Körper im Erntestrom einer Kartoffelerntemaschine sind für einen Laborversuch wenig geeignet, weil

1. die Kartoffel bei mehrtägiger Lagerung an Feuchtigkeit verliert und damit sich die Elastizität und das Gewicht der Kartoffel ändert, und
2. die Gestalt der Körper (rund, kantig und andere Zwischenformen) stark variiert.

Um vorerst unabhängig von diesen schlecht zu definierenden Größen das Trennorgan beurteilen zu können, wurden künstliche Kartoffeln und Steine in Kugelgestalt als Versuchskörper gewählt. Die Eigenschaften der künstlichen Körper wurden denen der natürlichen Körper weitgehend angepaßt. Der Verfasser ist sich im klaren über die Auswirkungen dieser Idealisierung, aber um die prinzipielle Funktion der Trenneinrichtung zu prüfen, schien diese Abstraktion zunächst vertretbar. In einer anschließenden Untersuchung wurden die Versuche mit natürlichen Kartoffeln und Steinen wiederholt.

Der Abscheidungsgrad

Zur Beurteilung des Trennorgans wurden bei einer Einstellung der Zuteilgeschwindigkeit die fehlgeleiteten Einzelkörper ausgezählt und in Anlehnung an *Baganz* [23] ein sogenannter Abscheidungsgrad gebildet. Der Abscheidungsgrad stelle das Verhältnis dar, der durch das Trennorgan ersparten Verlesegriffe zu der Anzahl von Verlesegriffen, die ohne Trenneinrichtung notwendig wären. Für eine vorgesehene Fremdkörperabscheidung ist also der Abscheidungsgrad

$$\varepsilon_F = \frac{n_F - (\delta_F n_F + \delta_K n_K)}{n_F}$$

hierin bedeuten:

ε_F Abscheidungsgrad für die vorgesehene Fremdkörperabscheidung (ε_S Abscheidungsgrad für Steine)

n_F Anzahl der Fremdkörper (n_S Anzahl der Steine)

n_K Anzahl der Kartoffeln

δ_F fehlgeleitete Fremdkörper, bezogen auf die Gesamtzahl der Fremdkörper (δ_S fehlgeleitete Steine)

δ_K fehlgeleitete Kartoffeln, bezogen auf die Anzahl der Kartoffeln.

Versuchsergebnisse mit Kugelkörpern

In **Tafel 2** sind die Versuchsläufe, die mit künstlichen Kartoffeln und Steinen in Kugelform gefahren wurden, zusammengestellt. In **Tafel 3** sind die Ergebnisse der Versuchsläufe 4 und 10 tabellarisch dargestellt. In **Bild 29** sind die Gesamtergebnisse der 10 Versuchsläufe graphisch dargestellt. Über dem variierten Steineanteil n_S/n_K sind die Fehlleitungen der Steine δ_S, die Fehlleitungen der Kartoffeln δ_K und der Abscheidungsgrad ε_S aufgetragen. Die Versuchsläufe 1 bis 3 dienten dazu, die Funktionsweise der einzelnen Baugruppen zu studieren. Man erkennt, daß die Kartoffelfehlleitungen δ_K nicht mit dem Steineanteil n_S/n_K in Zusammenhang stehen. Im Mittel steigen sie mit zunehmender Zuteilgeschwindigkeit S_{ges}. Die Kartoffelfehlleitungen δ_K sind durch das zu langsame Schalten der Trennklappe bei der Anordnung I zu erklären.

In den Versuchsläufen 4 und 5 wurde ein stärkerer Antriebsmagnet für die Trennklappe verwendet, wodurch eine kürzere Schaltzeit erreicht wurde. Es traten keine Kartoffelfehlleitungen mehr auf. Erst im Versuchslauf 6 machte sich wieder das relativ langsame Schalten der Trennklappe bemerkbar, d. h., es wurden wieder Kartoffeln fehlgeleitet.

Die Steineabscheidung in den Versuchsläufen 1 bis 6 kann als einwandfrei bezeichnet werden, das Trennorgan arbeitet 100%ig. Dagegen zeigte der Versuchslauf 7 deutlich, daß mit einer Zuteilgeschwindigkeit von 6 Einzelkörpern je Sekunde die Leistungsfähigkeit des elektromagnetischen Trennklappenantriebes erschöpft ist. Mit gleicher Zuteilgeschwindigkeit wurden im Versuchslauf 8 (Trennkreis III mit pneumatischem Trennklappenantrieb) gute Ergebnisse erzielt, obwohl sich gerade bei hohem Steineanteil die Fehlleitungen der Steine bemerkbar machen.

Tafel 2. Trennanordnung und Zuteilgeschwindigkeit bei den Versuchen mit künstlichen Kartoffeln und Steinen in Kugelform.

Versuchslauf	Trennkreis	Zuteilgeschwindigkeit S_{ges} Einzelkörper/s
1	I	2
2	I	2,5
3	I	3
4	Ia	3
5	Ia	4
6	II	5
7	II	6
8	III	6
9	IV	7
10	V	8

Tafel 3. Ergebnisse der Trennversuche mit Kugelkörpern.

Lfd. Nr.	$\frac{n_S}{n_K}$	n_S Stk	n_K Stk	δ_S %	δ_K %	ε_S %
Versuchslauf 4. Trennkreis Ia. S_{ges} = 3 Stk/s						
1	0,2	75	375	0	0	100,0
2	0,4	150	375	0	0	100,0
3	0,6	225	375	0	0	100,0
4	0,8	200	250	0,7	0	99,3
5	1,0	250	250	0	0	100,0
6	1,0	250	250	0	0	100,0
7	1,2	300	250	0	0	100,0
8	1,2	300	250	0,7	0	99,3
Versuchslauf 10. Trennkreis V. S_{ges} = 8 Stk/s						
1	0,2	75	375	2,7	0,3	96,0
2	0,4	150	375	1,3	0,3	98,0
3	0,6	225	375	0,9	0,3	98,8
4	0,8	200	250	1,5	0,4	98,0
5	1,0	250	250	1,2	0	98,8
6	1,0	250	250	1,6	0	98,4
7	1,2	300	250	1,7	0,4	98,0
8	1,2	300	250	1,7	0,8	97,6

Die Ergebnisse in den Versuchsläufen 9 und 10 mit Trennkreis V zeigen keine Steigerung des Abscheidungsgrades. Die Fehlleitungen der Steine werden dadurch erklärt, daß die Längenausdehnung des Auftreffbereiches der Steine auf der Geräuschplatte größer ist als die Breite der Trennklappe (vgl. hierzu **Bild 30**). Das bedeutet, daß der Stein entweder nicht mehr von der Trennklappe erfaßt wird oder bereits die Trennklappe passiert hat, ehe diese schaltet und die Abscheidung vornehmen will.

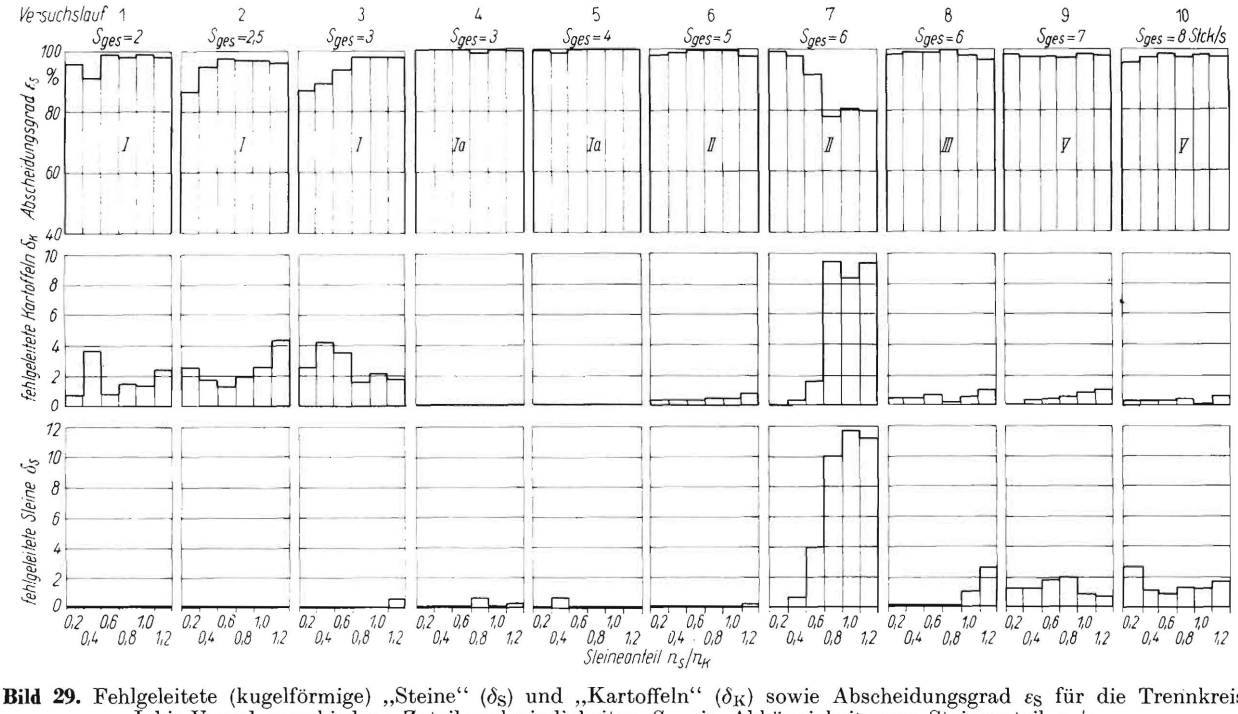


Bild 29. Fehlgeleitete (kugelförmige) „Steine" (δ_S) und „Kartoffeln" (δ_K) sowie Abscheidungsgrad ε_S für die Trennkreise I bis V und verschiedene Zuteilgeschwindigkeiten S_{ges} in Abhängigkeit vom Steineanteil n_S/n_K.

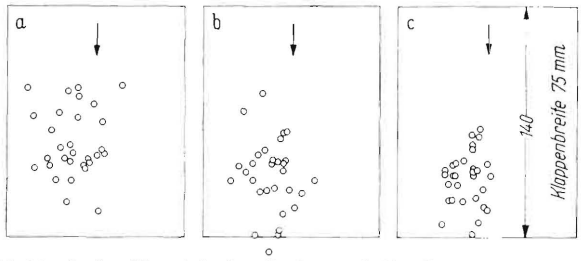


Bild 30. Auftreffbereich der Steine auf die Geräuschplatte bei einer Zuteilgeschwindigkeit von 8 Stk/s.

		a	b	c
Masse der Kugeln	g	72,5	98,0	138,4
Durchmesser der Kugeln	mm	40	45	50

Die Fehlleitungen der Kartoffeln in den Versuchsläufen 9 und 10 sind durch zwei Gründe verursacht:

1. die Geräuschimpulsdauer ist länger als die Schaltzeit für eine Bewegung der Trennklappe, und
2. der aufschlagende Stein springt hoch und trifft ein zweites Mal auf die Geräuschplatte.

Beide Ursachen haben ein Doppelschalten der Trennklappe zur Folge, d. h., eine einem Stein folgende Kartoffel wird von der zweiten Schaltbewegung der Trennklappe erfaßt und fehlgeleitet. Daher nimmt auch die Anzahl der fehlgeleiteten Kartoffeln mit dem Steineanteil zu. Die Doppelschaltungen können durch eine elektrische Impulsunterbrechung vermieden werden.

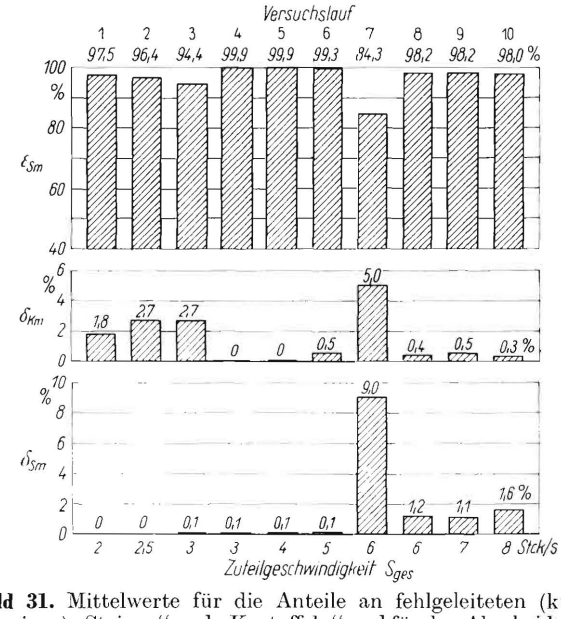


Bild 31. Mittelwerte für die Anteile an fehlgeleiteten (kugelförmigen) „Steinen" und „Kartoffeln" und für den Abscheidungsgrad für die Versuchsläufe 1 bis 10 bei einem errechneten mittleren Steineanteil $n_S/n_K = 0{,}74$ (nach Bild 29).

Da die Fehlleitungen im Durchschnitt unabhängig vom Steineanteil sind, ist eine Zusammenfassung der Ergebnisse zulässig. Für einen errechneten mittleren Steineanteil $n_S/n_K = 0{,}74$ sind in **Bild 31** die Mittelwerte der Ergebnisse für die Versuche mit Kugelkörpern dargestellt. Der mittlere Abscheidungsgrad liegt zwischen 98 und 99,9%, wenn man die Versuchsläufe 1 bis 3 und den Versuchslauf 7 außer Betracht läßt.

Versuchsergebnisse mit natürlichen Körpern

Um die erste Annäherung an die Praxis herzustellen, wurden mit der Versuchsanordnung nach dem Trennkreis V gleichartige Versuche mit natürlichen Kartoffeln und Steinen vorgenommen.

Die Form der Versuchskartoffeln war lang-oval. Die mittlere Knollenmasse betrug 75,3 g, die größte 119 g und die kleinste 34 g. Die Steine hatten sehr unterschiedliche Gestalten, sowohl die Form als auch das Steinmaterial entspricht dem, was in den Hauptanbaugebieten für Kartoffeln anzutreffen ist.

Es wurden zwei Versuchsläufe gefahren:

Versuchslauf	Trennkreis	Zuteilgeschwindigkeit S_{ges} Einzelkörper/s
11	V	7,5
12	V	8,5

Tafel 4 enthält tabellarisch die Versuchsergebnisse; sie sind in **Bild 32** graphisch dargestellt. Man erkennt den über den Steineanteil ziemlich konstanten Abscheidungsgrad von 92% für den Versuchslauf 11 und 91% für den Versuchslauf 12.

Tafel 4. Ergebnisse der Trennversuche mit natürlichen Körpern.

Lfd. Nr.	$\frac{n_S}{n_K}$	n_S Stk	n_K Stk	δ_S %	δ_K %	ε_S %
Versuchslauf 11. Trennkreis V. $S_{ges} = 7{,}5$ Stk/s						
1	0,2	75	375	0	1,1	94,6
2	0,4	150	375	0,7	2,9	92,0
3	0,6	225	375	0,9	4,5	91,6
4	0,8	200	250	0,5	5,2	93,0
5	1,0	250	250	0,8	5,6	93,6
6	1,2	300	250	1,3	11,2	89,3
Versuchslauf 12. Trennkreis V. $S_{ges} = 8{,}5$ Stk/s						
1	0,2	75	375	0	0,5	97,3
2	0,4	150	375	2,0	2,7	91,3
3	0,6	225	375	2,2	4,3	90,7
4	0,8	200	250	1,5	5,6	91,5
5	1,0	250	250	1,6	9,6	88,8
6	1,2	300	250	1,3	10,0	90,3

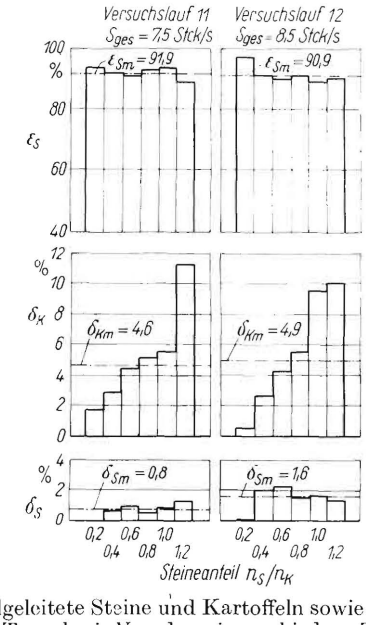


Bild 32. Fehlgeleitete Steine und Kartoffeln sowie Abscheidungsgrad für den Trennkreis V und zwei verschiedene Zuteilgeschwindigkeiten S_{ges} in Abhängigkeit vom Steineanteil.

Die Mittelwerte ε_{Sm}, δ_{Km} und δ_{Sm} gelten für einen mittleren Steineanteil von $n_S/n_K = 0{,}64$.

Sowohl die Fehlleitungen der Kartoffeln als auch die der Steine sind gegenüber den Versuchen mit den Kugelkörpern stark angestiegen. Die Fehlleitungen der Kartoffeln sind ausschließlich durch fehlerhafte Doppelschaltungen der Trennklappe bedingt. Hier trifft ein Stein z. B. zuerst mit einer Ecke auf die Geräuschplatte, erzeugt einen Steuerimpuls, schlägt dann um und gibt beim Berühren der Geräuschplatte mit einer weiteren Ecke oder Kante einen zweiten Impuls. Die Trennklappe erfaßt dann die Kartoffel, die einem solchen Stein folgt. Daher nimmt auch die Anzahl der fehlgeleiteten Kartoffeln mit dem Steineanteil stark zu. Die Zahl der falsch abgeschiedenen Steine ändert sich mit dem Steineanteil kaum, wohl aber mit der Zuteilgeschwindigkeit. Die Steinefehlleitungen haben als Grund zwei Ursachen:

1. Die Steine haben eine sehr unregelmäßige Gestalt, d. h., nach dem Aufprall auf die Geräuschplatte bewegen sie sich sehr unterschiedlich weiter, unter Umständen so, daß sie von der Trennklappe nicht erfaßt werden. Es wurde festgestellt, daß die besonders kantigen Steine immer wieder fehlgeleitet wurden.

2. Auch bei den natürlichen Steinen kann (wie bei den Kugelkörpern, Bild 30) die Längsausdehnung des Auftreffbereiches auf die Geräuschplatte größer sein als die Trennklappenbreite. Dadurch werden einzelne Steine nicht abgeschieden.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß es sich grundsätzlich um zwei Nachteile des Trennkreises V handelt:

1. der Fremdkörper verläßt das Zuteilorgan im freien Flug und schlägt in einem Bereich auf die Geräuschplatte auf, dessen Größe sowohl von der Masse als auch von der Gestalt des Fremdkörpers abhängig ist;
2. der auf die Geräuschplatte schlagende Fremdkörper springt entweder hoch und trifft die Platte zweimal oder er berührt die Platte mit mehreren Ecken oder Kanten mehrmals.

In beiden Fällen treten Mehrfachschaltungen der Trennklappe auf. Der erste Nachteil hat ausschließlich die Fehlleitung von Steinen zur Folge, während der zweite Nachteil Fehlabscheidungen von Kartoffeln und Steinen hervorruft. Die beschriebenen Nachteile können beseitigt werden, wenn man die Geräuschimpulsgabe zwangssteuert, d. h., wenn man dem Fremdkörper eine auf einem kleinen Bereich begrenzte Berührung mit einer Geräuschplatte aufzwingt.

Zusammenfassung

Die Eigenschaften der unterschiedlichen Härte der Kartoffeln, Steine und Hartkluten bilden im Zusammenwirken mit den Eigenschaften einer federnd und gedämpft abgestützten Stahlplatte ein Trennkriterium dergestalt, daß die zu trennenden Güter beim Aufprall auf die Stahlplatte definiert unterschiedliche Geräusche erzeugen. Die Geräuschimpulse wurden nach verschiedenen Merkmalen analysiert, wobei sich die Geräusche in drei Merkmalen sehr stark unterscheiden, die jedes für sich ein Trennkriterium darstellt:

1. im Frequenzspektrum,
2. in der Geräuschamplitude oder dem Schalldruck,
3. in der Ausklingzeit des Geräuschimpulses.

In der untersuchten Trenneinrichtung wurde als Trennkriterium eine Kombination der Frequenz und der Amplitude angewendet. Für die gewählte Geräuschplatte ergibt sich ein Schalldruckverhältnis zwischen Geräuschen von Kartoffeln und Steinen von 1:11,9 im Frequenzbereich von 2,8 bis 3,0 kHz. Für die Trennung der harten Kluten von den Kartoffeln ist das Schalldruckverhältnis 8,9:1 im Frequenzbereich 1,6 bis 1,8 kHz am günstigsten. Für die Verwertung des Geräuschimpulses zum Abscheiden der Fremdkörper sind verschiedene Trennorgane entwickelt worden. Es wurde versucht, die Zuteilgeschwindigkeit der Einzelkörper und den Abscheidungsgrad zu steigern. Die gesamten Versuche zur Beurteilung des neuartigen Trennorgans wurden labormäßig durchgeführt. Als Versuchskörper wurden zuerst Kugelkörper mit Eigenschaften, die denen der natürlichen Körper entsprachen, verwendet. Bei einer Zuteilgeschwindigkeit von 8 Einzelkörpern je Sekunde und einem mittleren Steineanteil von 74% wurde ein Abscheidungsgrad von 98% erreicht.

Als erster Schritt zur Annäherung an die praktischen Verhältnisse wurden Versuche mit natürlichen Kartoffeln und Steinen angeschlossen. Bei einer Zuteilgeschwindigkeit von 8,5 Einzelkörpern je Sekunde wurde bei einem mittleren Steineanteil von 64% ein Abscheidungsgrad von 91% erreicht.

Folgende Einflüsse auf das Verhalten des Trennorgans wären im Hinblick auf den praktischen Betrieb noch zu klären:

1. Der Einfluß der Geländeneigung. Das Trennorgan soll in eine Kartoffelerntemaschine eingebaut werden und ist somit mit der Maschine den Neigungsänderungen des Geländes ausgesetzt.
2. Der Einfluß von Feuchtigkeit und loser Erde.
3. Der Einfluß von Kartoffel- und Unkrautbeimengungen.

Eine Abstimmung der benötigten Energiequelle auf die im praktischen Betrieb vorhandene müßte ebenfalls vorgenommen werden.

Versuche über die Abscheidung von Kluten wurden nicht durchgeführt; es kann jedoch gesagt werden, daß das Abscheiden von plastischen, feuchten Kluten mit dem beschriebenen Trennorgan nicht möglich sein wird; dagegen ließe sich wahrscheinlich einwandfrei die Abscheidung von harten, trockenen Kluten durchführen, obwohl eine starke Verschmutzung der Geräuschplatte eintreten wird.

Schrifttum

[1] *Simons, D.:* Mechanisierung der Kartoffelernte. Der Entwicklungsstand von Sammelerntemaschinen für Kartoffeln. VDI-Z. **102** (1960), S. 509/15.

[2] *Simons, D.:* Über die technische Entwicklung der Kartoffelsammelernte. Landbauforsch. **9** (1959), S. 95/98.

[3] *Maack, O.:* Die mechanische Trennung von Kartoffeln und Steinen. Diss. Univ. Göttingen 1956.

[4] *Buganz, K.:* Fremdkörperentfernung in der Kartoffelvollerntemaschine. Tag.-Ber. Nr. 22 d. wiss. Jahrestag. 1959 in Potsdam-Bornim.

[5] *Buganz, K.:* Einige Versuche über die Fremdkörperabscheidung aus Kartoffeln auf glatten geneigten Bändern. Dt. Agrartechn. **8** (1958), S. 339/41.

[6] *Hawkins, J. C.:* The design of potato-harvesters. J. Agric. Engng. Res. **2** (1957), S. 14/24.

[7] *Artuchor, J. V.:* Die Absonderung der Kartoffelknollen von festen Kluten und Steinen durch einen Luftstrom. Trakt. u. landw. Masch. 1960, Nr. 6.

[8] *Hawkins, J. C.:* Separation of stones from potatoes. Nat. Inst. Agric. Engng. Silsoe, Rec. 1948.

[9] *Gilfillan, G.* and *A. J. Crowther:* The behaviour of potatoes, stones and clods in a vertical airstream. J. Agric. Engng. Res. **4** (1959), S. 9/15.

[10] *Schäfer, E.:* Untersuchungen über die Trennung von Kartoffeln und Steinen mit umlaufenden Trennbürsten. Landtechn. Forsch. **11** (1961), S. 170/74.

[11] *Schäfer, E.:* Trennung von Kartoffeln und Steinen mit geneigten Bändern. Landtechn. Forsch. **10** (1960), S. 131/37.

[12] *Schäfer, E.:* Probleme der Trennung von Kartoffeln und Beimengungen. Landtechn. **16** (1961), S. 470/73.

[13] *Schäfer, E.:* Trennung der Beimengungen von Kartoffeln in Sammelrodern. Landbauforsch. **9** (1959), S. 42/46.

[14] *Sack, H.:* Technische Probleme der Wurzelfruchternte. Grundl. d. Landtechn. Heft 6. Düsseldorf 1955. S. 133/43.

[15] *Sohst, J.:* Kartoffelernte mit stationärer Fremdkörperabscheidung. Dt. Agrartechn. **9** (1959), S. 311/14.

[16] *Anderson, Y.:* Versuche mit mechanischer Trennung von Steinen und Kartoffeln. Jordbrukstekniska Institutet Ultuna, Uppsala 7, Sweden Cirkulär 5/1950.

[17] *Sack, H.:* Verfahren und Vorrichtung zum Trennen von pflanzlichen Knollen, Steinen und Erdkluten. Dt. Bundespatent Nr. 1 125 740.

[18] *Husemann, R.:* Untersuchungen an einer Kartoffel-Steine-Trenneinrichtung. Dipl. arb. Inst. f. Landtechn. Aachen 1961.

[19] *Palmer, J.:* Electronic sorting of potatoes and clods by their reflectance. J. Agric. Engng. Res. **6** (1961), S. 104/11.

[20] *Slight, D. L.:* Potato separation using electronic discrimination. J. Agric. Engng. Res. **6** (1961), S. 136.

[21] *Gilmour, W. D.:* An electronic potato screener. J. Agric. Engng. Res. **5** (1960), S. 437/40.

[22] X-ray eye on harvester. Farm Mechanization, July 1963.

[23] *Buganz, K.:* Zur Darstellung des Abscheideergebnisses bei der Kartoffel-Fremdkörpertrennung. Arch. f. Landtechn. **1** (1959) H. 1, S. 3/7.

[24] *Koch, M.:* Beitrag zum Problem: „Trennung von Kartoffeln, Steinen und Kluten". Diss. TH Aachen 1963.