

Verfahren zum visuellen Sortieren stückiger Haufwerke

Von Alfred Stroppel und Karl Knorr, Braunschweig

Mitteilung aus dem Institut für Landmaschinen der Technischen Hochschule Braunschweig

Das Sortieren von Haufwerken (Kartoffeln, Obst u. dgl.) nach gewissen Merkmalen der Oberfläche wird auch in Zukunft nicht voll mechanisiert werden können, weil als Sortierorgan zum Erkennen und Beurteilen der physikalisch schwer faßbaren Sortiermerkmale nur das menschliche Auge in Frage kommt. Die qualitative und mengenmäßige Leistung des Menschen beim visuellen Sortieren hängt davon ab, wie schnell und sicher er die Gesamtoberfläche der Einzelkörper überblicken und beurteilen kann. Das visuelle Sortieren am vereinzelteten Haufwerkstrom wird dem üblichen Verleseverfahren am Band gegenübergestellt, und es wird an Hand von Versuchen über den Gütegrad und die mögliche Stundenleistung beim Sortieren nach den beiden Verfahren berichtet.

Das Trennen von Haufwerken nach bestimmten Merkmalen, durch die sich die Einzelkörper voneinander unterscheiden, bezeichnet man ganz allgemein als Sortieren. Bei den in der Landwirtschaft eingesetzten Sortiervorgängen wird in den meisten Fällen das Unterscheidungsmerkmal durch eine physikalische Größe (Dichte, Masse, Farbe, Länge u. a.) beschrieben und der Trennvorgang mittels physikalischer Methoden (Sieben, Wägen u. a.) durchgeführt. Auf diese Weise werden z. B. bei der Kartoffelsortierung die großen von den kleinen Knollen getrennt; ähnlich ist es bei der Obstaufbereitung. Auf einem Strohschüttler werden die Körner vom Stroh, auf einer Kartoffelerntemaschine die Steine und Kluten von den Kartoffeln, mit einer Zitronensortiermaschine die grünen von den gelben Früchten und in einem Trieur die Getreidekörner von dem Unkrautsamen getrennt, d. h. sortiert. Batel [1] hat anhand von Beispielen gezeigt, durch welche physikalische Methoden gewisse Sortiermerkmale erfaßt werden können und wie entsprechende Sortiereinrichtungen aussehen.

Nun sind in der landwirtschaftlichen Praxis aber auch Haufwerke zu sortieren, deren Unterscheidungsmerkmale zwar visuell leicht zu erkennen und zu beurteilen sind, die aber physikalisch nur schwer zu fassen sind. Das sind z. B. alle mechanischen Beschädigungen und örtlich begrenzte Verfärbungen der Oberfläche von Früchten (Kartoffeln, Obst). So wird beispielsweise bei der Kartoffelaufbereitung in den Lagerhäusern neben der Größensortierung ein weiterer Sortiervorgang durchgeführt, bei dem visuell die guten von den schlechten Kartoffeln getrennt werden. Dabei werden folgende Knollen aussortiert: beschädigte Kartoffeln (Beschädigungen: Druckstellen, Rißwunden, Fleischwunden, angefaulte Stellen), grüne, unförmige und Mutterknollen. Die auszusortierenden Kartoffeln sind also durch eine ganze Reihe verschiedenartiger Sortiermerkmale gekennzeichnet. So unterscheidet sich eine beschädigte Kartoffel durch bestimmte Form- und Farbabweichungen an der Oberfläche, eine grüne durch die Farbe, eine unförmige Kartoffel durch die Form und eine Mutterknolle durch Elastizität und Oberflächenrauigkeit von der geforderten Verkaufskartoffel. Diese Sortiermerkmale sind zu verschiedenartig, als daß sie sich durch eine einzige physikalische Größe erfassen ließen. Für solche Trennvorgänge ist das menschliche Auge als Sortierorgan unerläßlich. Deshalb stellen diese Sortierverfahren in arbeitswirtschaftlicher Hinsicht immer einen Engpaß dar. So sind beispielsweise nach Untersuchungen von Schmitz [2] in einer mit 28 Arbeitskräften belegten Kartoffelgrößensortieranlage allein 20 Personen, das sind 70%, mit dem qualitativen Sortieren beschäftigt.

Dipl.-Ing. Alfred Stroppel ist wissenschaftlicher Assistent am Institut für Landmaschinen der TH Braunschweig (Direktor: Prof. Dr.-Ing. H. J. Matthies). Ing. Karl Knorr war technischer Mitarbeiter an demselben Institut.

Die folgenden Ausführungen beziehen sich ausschließlich auf das visuelle Sortieren stückiger Haufwerke (Obst, Kartoffeln), bei dem also das Sortierorgan durch die Augen und Hände eines Menschen dargestellt wird. Das schließt nicht aus, daß der gesamte übrige Ablauf des Sortiervorganges weitgehend mechanisiert ist. Bild 1 und 2 zeigen die beiden grundsätzlichen Möglichkeiten für das visuelle Sortieren. Bei dem einen läßt die Sortierperson ihren Blick über einen unregelmäßigen und breiten Strom des zu sortierenden Haufwerkes streichen und entfernt dabei bestimmte Einzelkörper. In der Regel wird ein derartiges Aussortieren als Verlesen bezeichnet und von Hand auf sogenannten Verlesebändern durchgeführt. Bei dem zweiten Verfahren wird das Haufwerk vor dem Sortiervorgang vereinzelt,

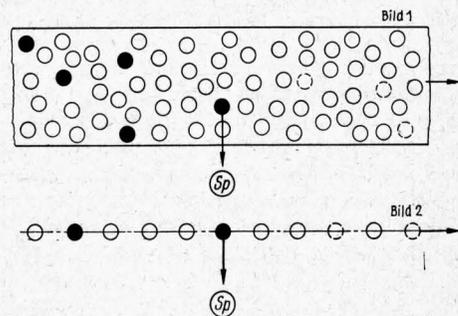


Bild 1 und 2. Handsortierverfahren von Haufwerken bei unregelmäßigem, breitem Strom der Einzelkörper auf Verleseband und bei vereinzeltetem Strom der sich in regelmäßigen Abständen folgenden Einzelkörper.

Sp Sortierperson

so daß die Einzelkörper nacheinander in das Blickfeld der Sortierperson treten. Hier richtet also die Sortierperson ganz bewußt ihren Blick auf jeden Einzelkörper und entscheidet dann. Im folgenden wird auf die Leistungsfähigkeit (Mengenleistung und Sortierqualität) dieser beiden Verfahren eingegangen. Dabei wird zuerst die Frage beantwortet, wann ein Sortiermerkmal auf der Oberfläche eines Einzelkörpers erkennbar ist. Im Anschluß daran wird die Handsortierung mittels herkömmlicher Verlesebänder erläutert, mit denen bekanntlich eine zwar relativ große Mengenleistung, aber dafür eine nicht immer zufriedenstellende Sortierqualität erzielt werden kann. Da dieser letztgenannte Nachteil im Verfahren begründet ist und sich nur unbedeutend durch konstruktive Änderungen verbessern läßt, wurde im Institut für Landmaschinen der TH Braunschweig eine Handsortiereinrichtung entwickelt, die im Prinzip nach Bild 2 arbeitet. Die konstruktive Ausführung und die Versuchsergebnisse hierzu werden im letzten Teil dieser Arbeit gebracht¹⁾.

Die Erkennbarkeit eines Sortiermerkmals

Es ist notwendig, zwischen dem auf einem Einzelkörper für das Auge sichtbaren Bereich und dem meist etwas kleineren Bereich, in dem ein Sortiermerkmal tatsächlich zu erkennen ist, zu unterscheiden. Wenn ein Einzelkörper in das Blickfeld der Sortierperson gerückt wird, so ist für sie auch bei voller Ausleuchtung des Einzelkörpers immer nur der ihr zugewandte Teil der Gesamtoberfläche sichtbar, z. B. bei einem kugelförmigen Einzelkörper die eine Hälfte der Oberfläche. Der Betrachter wird jedoch nicht ohne weiteres alle Einzelheiten dieses sichtbar

¹⁾ Die Untersuchungen wurden mit der finanziellen Unterstützung des Niedersächsischen Ministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten durchgeführt. Dafür sei auch an dieser Stelle gedankt.

gemachten Teils der Gesamtoberfläche erkennen können. Dazu müssen weitere Bedingungen erfüllt sein. Gewisse Oberflächenbeschädigungen können z. B. nur im schräg einfallenden Licht erkannt werden, während sie sich im Hellfeld kaum von der Umgebung unterscheiden. Kleinere Beschädigungen sind mit bloßem Auge unter Umständen nur aus der Nähe zu erkennen, dagegen aus größerer Entfernung nicht; nicht zu vergessen die subjektiven Voraussetzungen für die Erkennbarkeit eines Sortiermerkmals, wie z. B. die Sehschärfe, die Sehkraft (Ausdauer oder rasches Ermüden beim Sehen), Konzentrationsfähigkeit der

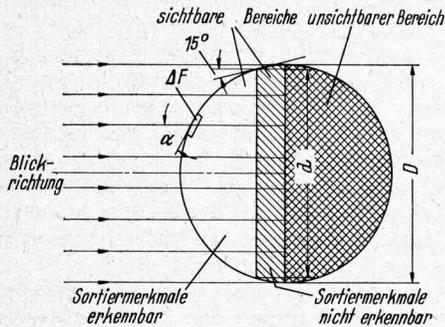


Bild 3. Die Sichtbarkeit der Oberfläche eines kugelförmigen Körpers.

Sortierperson u. a. m. Aber selbst wenn die Sortierperson alle genannten Voraussetzungen erfüllt und beim Sortieren optimale Lichtverhältnisse herrschen, kann man noch zwischen zwei sichtbaren Oberflächenbereichen des Einzelkörpers unterscheiden: einem Bereich, in dem die Sortiermerkmale gut erkennbar sind, und einem solchen, in dem sie nicht erkennbar sind. Dieser Punkt soll im folgenden noch etwas näher untersucht werden.

Bei den folgenden Betrachtungen wird vorausgesetzt, daß die Entfernung zwischen Einzelkörper und Auge der Sortierperson im Vergleich zu den Abmessungen des Einzelkörpers groß ist, so daß die Sehstrahlen in erster Näherung parallel sind. Ferner wird der Einfachheit halber angenommen, daß die Einzelkörper Kugelgestalt haben. Ein Sortiermerkmal ΔF auf der für die Sortierperson sichtbaren Oberfläche kann dann zur Blickrichtung einen Winkel von 0 bis 90° einnehmen, **Bild 3**. Da erfahrungsgemäß bei Winkeln $\alpha < 15^\circ$ das Sortiermerkmal nicht mehr exakt zu erkennen ist, ergeben sich auf der Kugeloberfläche F_{ges} neben der hinteren unsichtbaren Kugelhälfte entsprechend den Sichtverhältnissen zwei charakteristische Zonen: eine sichtbare Kugelkalotte F_s , auf der die Sortiermerkmale gut zu er-

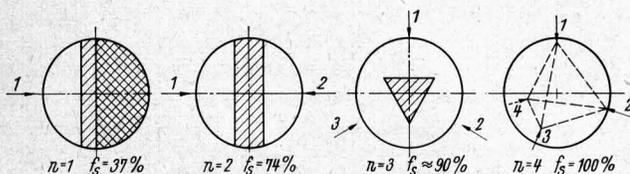


Bild 4. Die Sichtbarkeit der Oberfläche eines kugelförmigen Körpers bei $n = 1, 2, 3$ und 4 Blickrichtungen. Im schraffierten Bereich sind die Sortiermerkmale nicht erkennbar.

f_s relative Sichtfläche

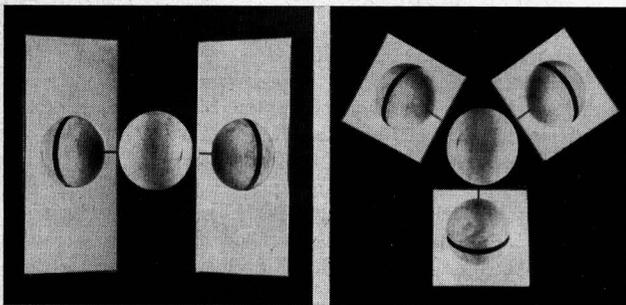


Bild 5 und 6. Spiegelmodelle mit vier Ansichten ($n = 4$) und drei Ansichten ($n = 3$) eines kugelförmigen Körpers.

kennen sind, und eine sichtbare Ringzone F_R , auf der die Sortiermerkmale nicht oder kaum zu erkennen sind. Bezieht man den Flächenanteil F_s auf die Gesamtoberfläche F_{ges} , so kann man eine relative Sichtfläche f_s definieren, die angibt, auf wieviel Prozent der Gesamtoberfläche Sortiermerkmale gut erkennbar sind:

$$f_s = \frac{F_s}{F_{ges}} 100 [\%].$$

Für die in **Bild 3** dargestellten Verhältnisse ergibt sich für $\alpha = 15^\circ$ eine relative Sichtfläche von

$$f_s = \frac{1/2 \pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2}) 100}{\pi D^2} = \frac{(1 - \sin 15^\circ) \cdot 100}{2} = 37 [\%].$$

d. h., nur auf 37% der Gesamtoberfläche des kugelförmigen Einzelkörpers sind Sortiermerkmale gut erkennbar, wenn der Einzelkörper von einem festen Ort aus betrachtet wird. Der Rest der Oberfläche muß also durch irgendwelche Hilfsmittel in das Blickfeld der Sortierperson gerückt werden. Setzt man voraus, daß der Sortiervorgang von einer einzigen Person durchgeführt wird, so gibt es grundsätzlich zwei Möglichkeiten, die unsichtbaren und bedingt sichtbaren Teile der Oberfläche für die Sortierperson sichtbar zu machen:

1. durch Drehung des Einzelkörpers und
2. durch Spiegelung der Oberfläche des Einzelkörpers.

Als nächstes wäre die Frage zu klären, wie oft der Einzelkörper gedreht bzw. gespiegelt werden muß, damit $f_s = 100\%$ wird. In **Bild 4** sind die Sichtbarkeitsverhältnisse an einer Kugel schematisch dargestellt, für den Fall, daß diese aus $n = 1$ bis 4 Blickrichtungen betrachtet wird. Bei $n = 4$ kann man sämtliche Punkte der Kugeloberfläche gut erkennen, d. h. die relative Sichtfläche ist in diesem Fall 100%. Die gleichmäßige Verteilung der Blickrichtungen auf der Kugeloberfläche ist dann erreicht, wenn man sich die Durchstoßpunkte der Blickrichtungen als Eckpunkte einer gleichseitigen Dreieckspyramide vorstellt, die von der Kugel umspannt wird. Es ist also erforderlich, daß der Einzelkörper mindestens dreimal in einer bestimmten Weise gedreht bzw. gespiegelt wird, damit alle Teile der Oberfläche erkennbar sind. **Bild 5** zeigt ein Spiegelmodell mit den geforderten vier Kugelansichten. Bei $n = 3$ bleiben zwei bedingt sichtbare Kugeldreiecke übrig, trotzdem sind aber schon etwa 90% der Gesamtoberfläche gut zu übersehen. Das dazugehörige Spiegelmodell ist in **Bild 6** abgebildet. Bei $n = 2$ sind nur 74% der Gesamtoberfläche zu übersehen, was für die Beurteilung der Oberfläche des Einzelkörpers nicht ausreicht, so daß dieser Fall ausscheidet.

Die Betrachtungen wurden an einer Kugel angestellt, die nicht an der Sortierperson vorbeibewegt wurde. Um eine angemessene Mengenleistung erzielen zu können, muß bei dem Handsortierverfahren die Brauchbarkeit der Einzelkörper beurteilt werden, während diese an der Sortierperson vorbeibewegt werden. Durch eine zu große Fördergeschwindigkeit der Einzelkörper kann die Erkennbarkeit eines Sortiermerkmals zusätzlich erschwert bzw. in Frage gestellt werden. Deshalb darf man eine maximal zulässige Geschwindigkeit, die durch Versuche bestimmt werden muß, nicht überschreiten.

Handsartierung auf Verlesebändern

Das in der Landwirtschaft übliche Handsortierverfahren soll am Beispiel des Kartoffelverlesens näher erläutert werden. Bei der Kartoffelaufbereitung gelangt der von der Größensortiermaschine kommende Kartoffelstrom auf ein Verleseband, an dem meistens vier, seltener zwei oder sechs Personen mit dem Auslesen der schlechten Kartoffeln beschäftigt sind. Die Breite des Verlesebandes wird durch die Griffweite der Verleseperson und die Bandgeschwindigkeit durch deren Reaktionsvermögen bestimmt. Nach den Erfahrungen der DLG-Vergleichsprüfung von Kartoffelsortiermaschinen [3] kann man mit einer Verlesebandbreite von 0,35 bis 0,4 m bei einseitiger Bedienung rechnen (Die Breite des Ableitkanals für die schlechten Kartoffeln ist abgezogen worden). Für die Bandgeschwindigkeit wird ein

Optimalwert von 0,15 m/s angegeben. Da im allgemeinen an beiden Seiten des Bandes Verlesepersonen stehen, beträgt die Breite eines entsprechenden Verlesebandes 0,7 bis 0,8 m. Aus diesen Werten errechnet sich die optimale Flächenleistung eines Verlesebandes zu 0,1 bis 0,12 m²/s. Mit dieser Flächenleistung kann man jedoch nur dann rechnen, wenn die Verlesepersonen nur die Aufgabe haben, die unbrauchbaren Kartoffeln zu erkennen und zu entfernen. Das Wenden der Kartoffeln muß durch zusätzliche Einrichtungen vorgenommen werden.

Bei den meisten Verlesebändern werden die Knollen mittels besonderer Wendeeinrichtungen an einer bestimmten Stelle einmal um 180° gedreht. In der Regel werden dafür sogenannte Wendestufen und Wenderechen eingesetzt, deren Arbeitsweise in **Bild 7 und 8** schematisch dargestellt ist. Zur Erzeugung einer Wendestufe werden entweder — wie im Bild gezeigt — zwei Bänder hintereinander so angeordnet, daß sich eine Stufe ergibt, oder es wird nur ein einziges Band verwendet, das in der Mitte stufenförmig umgelenkt wird. Sobald die Kartoffeln an diese Wendestufe gelangen, sollen sie sich durch Ausnutzung ihrer Rolleigenschaften um 180° drehen. Bei Verwendung eines Wenderechens, das gewisse konstruktive Vorteile hat, wird quer über dem Verleseband eine Klemmvorrichtung angebracht, an der schmale Gummistreifen rechenförmig befestigt sind. Diese Gummistreifen berühren die vorbeiströmenden Kartoffeln, wodurch diese um 180° gedreht werden sollen. Man hat durch ein einfaches Experiment — indem man Kartoffeln, die zur Hälfte mit weißer Farbe angestrichen waren, über die Wendestufe bzw. durch den Wenderechen schickte — zeigen können, daß die Knollen wegen ihrer unterschiedlichen Form und Größe und der damit verbundenen besonderen Rolleigenschaften nicht in jedem Fall gewendet werden, und daß der Prozentsatz der nicht-gewendeten Kartoffeln unter Umständen groß sein kann. So wurde in der DLG-Vergleichsprüfung von Kartoffelsortiermaschinen [3] festgestellt, daß bei vier geprüften Maschinen an den Wendestufen nur 53 bis 75% der Knollen gewendet wurden. Ein Gerät mit Wenderechen hatte ein etwas besseres Ergebnis (79%) aufzuweisen. Zu diesen negativen Wendeeigenschaften kommt noch ein Nachteil grundsätzlicher Art hinzu, nämlich der, daß die Kartoffel nur einmal gedreht wird, wodurch — wie im vorigen Abschnitt gezeigt wurde — nicht alle Einzelheiten der Kartoffeloberfläche erkannt werden können. Um die Qualität der Verlesearbeit zu verbessern, entwickelte man etwas kompliziertere Verleseeinrichtungen, bei denen der Kartoffeltransport von der Aufgabe- zur Absackstelle durch hintereinanderliegende Walzen, die dauernd in Bewegung sind, erfolgt, **Bild 9**. Da jede Kartoffel von den Walzen ständig gedreht wird, kommt jeder Teil der Kartoffeloberfläche mehrere Male nach oben. Zur Erzielung einer großen Mengenleistung haben die Transport- und Wenderollen eine relativ hohe Drehzahl, so daß bei den Verlesepersonen leicht Ermüdungserscheinungen auftreten, die eine schlechte Sortierqualität verursachen. Dieser Nachteil wird bei den Rollenverlesebändern mit verzögerter Rollendrehzahl herabgemindert. In **Bild 10** ist diese Einrichtung, bei der unterhalb des Rollenbandes ein zweites mit etwas geringerer Bandgeschwindigkeit läuft, schematisch dargestellt. Die Geschwindigkeit des Zusatzbandes kann man verändern, so daß die Drehbewegungen der Kartoffeln individuell eingestellt werden können.

Die Mengenleistung eines Verlesebandes ist das Produkt aus Flächenleistung und Kartoffelmenge pro Flächeneinheit. Die optimale Flächenleistung eines 0,7 bis 0,8 m breiten Bandes wurde mit 0,1 bis 0,12 m²/s angegeben, die mittlere Bandbelegung ist etwa 10 kg Kartoffeln pro 1 m² Verlesebandfläche. Daraus ergibt sich eine Mengenleistung von 3600 bis 4300 kg/h, wobei vorausgesetzt wurde, daß auf beiden Seiten des Bandes Verlesepersonen stehen. Bei Verwendung einer Wendestufe bzw. eines Wenderechens sind insgesamt vier Verlesepersonen erforderlich, so daß für diesen Fall die auf die Verleseperson bezogene optimale Mengenleistung 900 bis 1100 kg/h beträgt. Da — wie gezeigt wurde — die Wendeeinrichtungen unvollkommen arbeiten, rüstet man manchmal die Verlesebänder mit zwei Wendeeinrichtungen aus, so daß insgesamt sechs Verlesepersonen erforderlich sind. Die optimale Mengenleistung pro Verleseperson würde dann bei etwas verbesserter Verlesequalität

600 bis 700 kg/h sein. Ein qualitativ einwandfreies Sortieren ist aber auch in diesem Fall nicht immer gewährleistet.

Handsörtierung bei vereinzeltm Gutstrom

Es wurde am Beispiel der Qualitätssörtierung von Kartoffeln gezeigt, daß das bisher übliche Verleseverfahren am Band deswegen kein zuverlässiges Sortieren zuläßt, weil die optischen Voraussetzungen für die Erkennbarkeit der Gesamtoberfläche der Einzelkörper nicht gegeben sind. Um diesen Nachteil zu beheben, muß man die Einzelkörper „in den Griff bekommen“, was nur mit einem Verfahren nach Bild 2, d. h. mit einem vereinzeltm Haufwerkstrom, möglich ist. Es bestanden von vornherein Zweifel, daß mit einem solchen Verfahren die gleichen

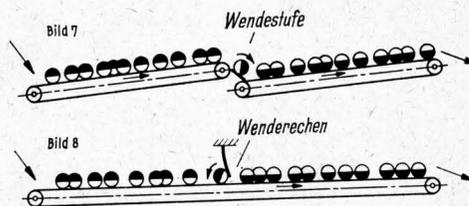


Bild 7 und 8. Arbeitsweise der gebräuchlichen Wendeeinrichtungen an Kartoffelverlesebändern (schematisch).

Mengenleistungen wie beim Verleseverfahren erzielt werden können. Diese Zweifel werden damit begründet, daß beim Verlesen auf dem Band die Sortierperson den Haufwerkstrom flächenhaft sieht, während sie im anderen Fall ihren Blick auf jeden Einzelkörper konzentrieren muß, was erfahrungsgemäß mehr Zeit erfordert. Wesentlich ist aber, daß man hierbei mit einer besseren Sortierqualität rechnen kann, so daß dieses Verfahren in den Fällen, wo auf beste Qualität Wert gelegt wird, jedenfalls besser geeignet ist als das Verlesen am Band. Das ist beispielsweise beim Sortieren von Obst der Fall, aber auch je nach Qualitätsansprüchen der Verbraucher beim Kartoffelsortieren. Im folgenden wird auf das entwickelte Handsörtierverfahren näher eingegangen.

Vereinzeltm Haufwerkströme können in alle Richtungen gefördert werden. Es wurde eine vertikale Förderrichtung (von unten nach oben) gewählt, weil bei dieser Anordnung die Sortierperson in optimaler Sichtweite arbeiten kann und weil ähnliche Aggregate als Vereinzeltungsorgane verwendet werden können, wie sie bei den automatischen Kartoffellegemaschinen, bei denen eine Becherkette die Knollen aus einem Vorratsbehälter schöpft, in Anwendung sind. Außerdem ist es vorteilhaft, wenn ein

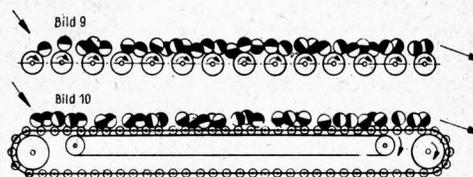


Bild 9 und 10. Kartoffelverlesebänder mit hintereinanderliegenden Wendewalzen (schematisch).

Bild 9: Normalausführung, Bild 10: mit verzögerter Walzendrehzahl.

Förderstrom jeweils nur das Blickfeld einer einzigen Sortierperson passiert, da man diese dann auch für die sortierten Einzelkörper verantwortlich machen kann. Um das zu erreichen, muß der zur Sortiereinrichtung geleitete Haufwerkstrom in parallel laufende Teilströme aufgefächert werden. Um eine angemessene Mengenleistung zu bekommen, darf die Vereinzeltung nicht so weit getrieben werden, daß sich im Gesichtsfeld der Sortierperson jeweils nur eine einzige Ansicht eines Einzelkörpers befindet. Man wird daher an einer Sortierperson zwei oder drei Sortierströme vorbeiführen.

Die für die Sortierperson schlecht sichtbaren und unsichtbaren Teile der Oberfläche der Einzelkörper werden nicht durch

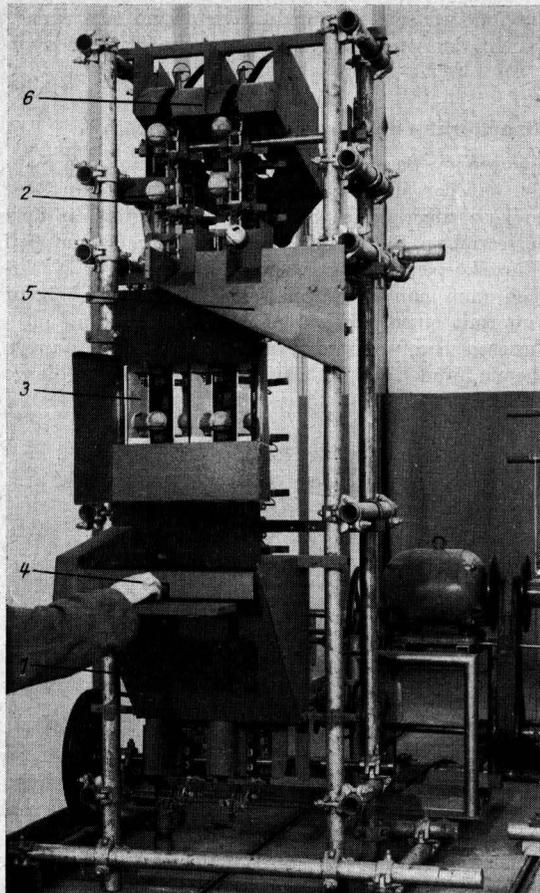


Bild 11. Versuchsstand für das neu entwickelte Handsortierverfahren.

Drehung, sondern durch Spiegelung sichtbar gemacht. Das vereinfacht und verbilligt die Konstruktion. Außerdem ist es weniger anstrengend, wenn man einen nur in der Förderrichtung bewegten Körper beobachten und beurteilen muß. Es wurde die Spiegelanordnung nach Bild 6 verwendet. Zwar ist, wie gezeigt wurde, die Oberfläche des Einzelkörpers hierbei nur zu 90% sichtbar, man hat aber den Vorteil, daß die Spiegel nicht mitgeführt zu werden brauchen, wie es die Anordnung nach Bild 5 notwendig machen würde. Da die Sortierperson bei der gewählten Spiegelanordnung die Möglichkeit hat, den Einzelkörper während der Bewegung auch schräg von oben und unten zu betrachten, erhöht sich die prozentuale Sichtfläche von 90 auf nahezu 100%.

Bei dem Verleseverfahren am Band mußten die Verleserpersonen die unbrauchbaren Einzelkörper von Hand herausnehmen, was auf die Dauer sehr anstrengend sein kann. Deswegen wurde bei dem entwickelten Verfahren auch dieser Vorgang mechanisiert, so daß die Sortierperson nur die Aufgabe hat, die un-

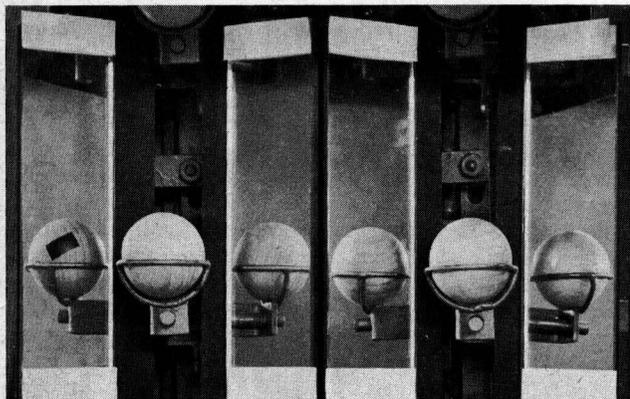


Bild 12. Spiegelanordnung bei dem neuen Versuchsgerät aus der Sicht der Sortierperson.

brauchbaren Einzelkörper zu erkennen und dann die Ausschidetaste zu drücken. Befindet sich also der Einzelkörper im Blickfeld der Sortierperson, so muß sie sich entscheiden, ob der Körper zu den guten oder schlechten gehört. Bei einem schlechten Einzelkörper drückt sie eine Taste, wodurch über einen Auslösemechanismus der in dem betreffenden Becher liegende Einzelkörper automatisch an einer bestimmten Stelle abgekippt wird. Befindet sich ein guter Einzelkörper im Becher, so wird die Drucktaste nicht betätigt, infolgedessen wird dieser Einzelkörper an einer anderen Stelle abgeworfen als der schlechte. Wie schon erwähnt, soll eine Sortierperson bis zu drei Sortierketten bedienen, wobei sie höchstens drei Drucktasten zu betätigen hätte.

Zusammenfassend ergeben sich folgende wesentliche Merkmale eines neuen Handsortierverfahrens:

1. Vereinzelter Haufwerkstrom (maximal drei Becherketten)
2. Vertikale Förderbewegung (von unten nach oben)
3. Sichtbarmachung der gesamten Einzelkörperoberfläche durch Spiegel (Anordnung nach Bild 6)
4. Entfernung der unbrauchbaren Einzelkörper durch Drucktastenbetätigung.

In **Bild 11** ist der Versuchsstand für das entwickelte Handsortierverfahren zu sehen. Über ein Zuführband (im Bild nicht zu sehen) gelangen die Einzelkörper in den Aufgabebehälter 1 des Sortiergerätes. Aus diesem werden sie durch Schöpfbecher, die an einer umlaufenden Gliederkette 2 befestigt sind, herausgenommen und anschließend in vertikaler Richtung nach oben gefördert. Über dem Behälter — in Höhe des Augenpaares der Sortierperson — sind die Spiegel 3 angebracht. **Bild 12** zeigt die Spiegelanordnung aus der Sicht der Sortierperson. Diese drückt dann eine der Tasten 4, wenn auf der Spiegelstrecke ein unbrauchbarer Einzelkörper erscheint. Über eine Abwurfschurre 5 wird dieser Einzelkörper dann abgekippt (Ableitblech wurde abgenommen). Ist ein guter Einzelkörper im Becher, so findet die Entleerung erst hinter dem oberen Kettenrad 6 statt.

In **Bild 13 bis 16** wird die Arbeitsweise des Drucktastenmechanismus gezeigt, der an der Stelle angebracht ist, wo die unbrauchbaren Einzelkörper abgeworfen werden, siehe Bild 11. Beim Drücken der Drucktaste wird der Hebel 1 in Bild 15 nach oben gestoßen und damit das Teil 2 aus der vertikalen in die schräge Lage gebracht, in der es durch Teil 3 arretiert wird. Bei der Bewegung der Kette nach oben gleitet der Stift 4 an dieser schrägen Fläche entlang, wodurch der Bolzen 5 nach rechts geschoben wird. Auf diese Weise wird der Bügel 6 mit dem Hebel 7 der Becherhalterung, die beide auf dem an der Förderkette befestigten Bolzen 8 drehbar gelagert sind, verriegelt. Dadurch kann, wie Bild 16 zeigt, der Inhalt des Schöpfbechers an der Abwurfstelle für die unbrauchbaren Einzelkörper durch den Bolzen 9 abgekippt werden. Der Bolzen 5 und die schräge Fläche 2 wird nach dem Abkippvorgang wieder in die Ausgangsstellung gebracht. Die Bilder 13 und 14 zeigen den Mechanismus bei nicht gedrückter Taste, die Bilder 15 und 16 bei gedrückter Taste.

V Versuchsergebnisse

Mit der beschriebenen Sortiereinrichtung wurden mehrere Versuchsreihen durchgeführt, um festzustellen, welche Sortierleistungen und welche Sortierqualität mit diesem Verfahren zu erreichen sind. Die Versuchskörper bestehen aus Holzkugeln mit einem Durchmesser von 55 mm. Die unbrauchbaren, d. h. auszusortierenden Kugeln sind auf der Oberfläche durch einen roten Fleck von etwa 2 cm² Größe gekennzeichnet. Die Versuche werden mit einer und zwei Becherketten und mit verschiedenen Kettengeschwindigkeiten (0,08, 0,12, 0,17 und 0,21 m/s) gefahren. Auch wird der prozentuale Anteil der unbrauchbaren Holzkugeln (10 bzw. 20%) variiert und die Sortierperson gewechselt. Für die Versuche werden drei verschiedene männliche Personen im Alter von 17, 27 und 29 Jahren eingesetzt. Der Becherabstand wird bei allen Versuchen mit 154 mm konstant gehalten. Das Versuchsgerät ist mit einer Rücklaufeinrichtung für die Holzkugeln versehen, so daß die schon sortierten Einzelkörper in dem vorgegebenen Mischungsverhältnis wieder in den Aufgabebehälter gelangen, wodurch Dauerversuche mit einer relativ kleinen Menge an Holzkugeln möglich sind. Während des

Versuches kontrollierten zwei Personen die von der Sortierperson selektierten Einzelkörper und registrierten die falsch sortierten Holzkugeln.

Das Ergebnis jedes Versuches wird durch einen Gütegrad für die Sortierqualität ausgedrückt, den Schäfer [4] bei der mechanisierten Trennung von Kartoffeln und Steinen auf Kartoffelentemaschinen als Leitgütegrad η_u definiert hat:

$$\eta_u = \frac{f z_{ges} - z_u}{f z_{ges}} 100 [\%].$$

Darin bedeuten η_u das Verhältnis der richtig geleiteten unbrauchbaren Einzelkörper zur Gesamtzahl der unbrauchbaren Einzelkörper, $f = 0,1$ bzw. $0,2$ den Anteil der unbrauchbaren Einzelkörper, z_{ges} die Gesamtzahl der Einzelkörper und z_u die Zahl der unbrauchbaren Einzelkörper, die von der Versuchsperson nicht erkannt und damit nicht entfernt wurden. Die Kenngröße η_u wird 0% , wenn kein unbrauchbarer Einzelkörper entfernt worden ist und wird 100% , wenn alle unbrauchbaren Einzelkörper entfernt worden sind.

Die Ergebnisse der Versuche sind in Bild 17 in Abhängigkeit von der Kettengeschwindigkeit dargestellt. Da festgestellt wurde, daß die drei Versuchspersonen etwa gleich gut mit dem Gerät arbeiten konnten, wurden die entsprechenden η_u -Werte gemittelt in das Diagramm eingetragen. Wie zu erwarten war, liegen die Werte bei Verwendung von nur einer Becherkette höher als bei zwei Ketten, da im ersten Fall nur die halbe Menge an Einzelkörper in der Zeiteinheit sortiert werden muß. Die Versuche ergaben erwartungsgemäß ferner, daß mit steigender Kettengeschwindigkeit der Gütegrad abnimmt. Es hat sich gezeigt, daß es keinen Zweck hat, die Kettengeschwindigkeit bei zwei Ketten viel größer als $0,17$ m/s zu wählen, weil bei dieser Geschwindigkeit das Reaktionsvermögen der Sortierperson eine obere Grenze erreicht hat. Bei Verwendung einer einzigen Becherkette liegt diese obere Grenzgeschwindigkeit bei etwa $0,21$ m/s. Würde man die Kettengeschwindigkeit steigern, so würde der Gütegrad erheblich abfallen. Bild 17 zeigt ferner den Einfluß des prozentualen Anteils der unbrauchbaren Einzelkörper auf den Gütegrad. Während beim Einsatz von nur einer Becherkette die η_u -Werte bei $f = 10\%$ in etwa mit denen für $f = 20\%$ übereinstimmen, ergaben sich bei zwei Becherketten eindeutige Unterschiede. Dabei wurde sogar festgestellt, daß bei $f = 10\%$ der Gütegrad schlechter ist als bei $f = 20\%$, was nur darauf zurückgeführt werden kann, daß die Sortierperson im ersten Fall nicht ausgelastet ist und dadurch weniger aufmerksam arbeitet — eine Erscheinung, die im täglichen Leben häufig zu beobachten ist.

Da keine Vergleichsversuche zur Bestimmung des Gütegrades für die Sortierqualität bei Verlesebändern gemacht wurden, ist eine direkte zahlenmäßige Gegenüberstellung der beiden Handsortierverfahren nicht möglich. Man kann aber annehmen, daß die Sortierqualität bei dem Verfahren mit vereinzelt Gutstrom besser ist als bei dem Verleseverfahren mit Wendestufen bzw. -rechen, da auf diesen Verlesebändern — wie bereits erwähnt — nur etwa 66% der Kartoffeln gewendet wurden. Berücksichtigt man noch, daß bei einer einmaligen Wendung nur ca. 74% , siehe Bild 4, der Gesamtoberfläche erkennbar ist, daß ferner die Kartoffeln wegen ihrer unterschiedlichen Form selten genau um 180° gedreht werden und sich zudem gegenseitig verdecken können, so ist die Annahme hinreichend begründet, daß das Verleseverfahren mit Wenderechen bzw. -stufen hinsichtlich der Sortierqualität nicht an das besprochene Verfahren heranreicht. In diesem Zusammenhang muß darauf hingewiesen werden, daß die Verlesebänder nach Bild 10 einen besseren Gütegrad der Sortierqualität haben können als die anderen Verlesebänder, was aber erst durch eingehende Untersuchungen bestätigt werden mußte.

Vergleicht man die beiden Handsortierverfahren hinsichtlich der Mengenleistung, so muß festgestellt werden, daß mit den Verlesebändern eindeutig höhere Werte erzielt werden können. Setzt man ein mittleres Knollengewicht von 70 g an, so ergibt sich für das Verfahren mit vereinzelt Gutstrom bei der maximal möglichen Kettengeschwindigkeit von $0,17$ m/s (bei zwei Ketten) und dem gewählten Becherabstand von 154 mm eine Mengenleistung von 560 kg/h pro Sortierperson. Es ist wahr-

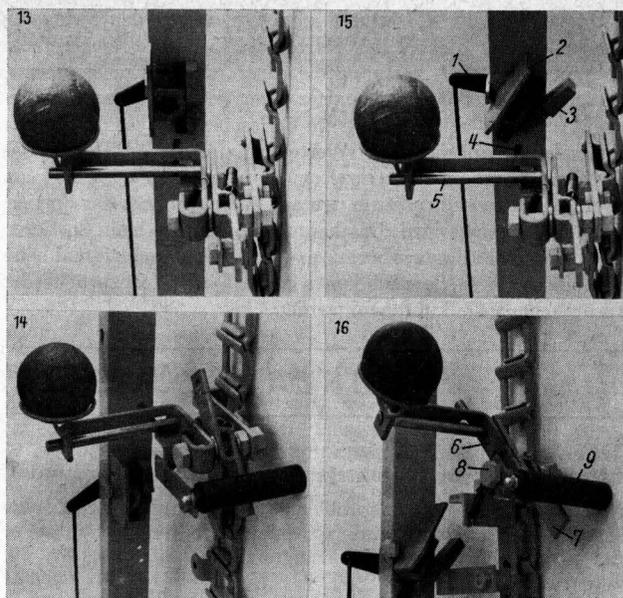


Bild 13 bis 16. Auswurfmechanismus des Versuchsgerätes.

Bild 13 und 14. Drucktaste nicht gedrückt.

Bild 15 und 16. Drucktaste gedrückt.

scheinlich, daß dieser Wert bei Verwendung von drei Ketten noch auf 600 bis 700 kg/h gesteigert werden kann. Trotzdem liegt dieser Bereich noch erheblich unter der Mengenleistung von 900 bis 1100 kg/h pro Verleseperson, die — wie schon erwähnt — bei Verlesebändern mit vier Verlesepersonen erreicht wird.

Zusammenfassung

Es gibt in der Landwirtschaft Sortiervorgänge, z. B. bei der Obst- und Kartoffelaufbereitung, die auch in Zukunft nicht vollmechanisiert werden können, da als Sortierorgan zum Erkennen und Beurteilen der physikalisch schwer faßbaren Unterschiede der Sortiermerkmale nur das menschliche Auge in Frage kommt. Dabei müssen gewisse optische Voraussetzungen getroffen werden, damit die Sortierperson die Gesamtoberfläche der Einzelkörper überblicken kann. Es wurde gezeigt, daß bei einem bewegten, kugelförmigen Körper hierfür mindestens drei Ansichten aus bestimmten Richtungen notwendig sind. Grundsätzlich unterscheidet man beim visuellen Sortieren zwei verschiedene Verfahren: Das Verlesen am Band und das visuelle Sortieren eines vereinzelt Haufwerkstromes. Das Verleseverfahren, das mittels Verlesebändern durchgeführt wird, läßt bei relativ hoher Mengenleistung eine nicht immer zufriedenstellende Sortierqualität zu, da die üblichen Wendeeinrichtungen unbefriedigend arbeiten. Es wurde deshalb ein Versuchsgerät entwickelt, das nach dem zweiten Verfahren arbeitet. Die Versuche, die mit dieser Einrichtung durchgeführt wurden, ergaben, daß die Sortierqualität sehr gut ist, die Mengenleistung aber unter der, die an Verlesebändern ermittelt wurde, blieb.

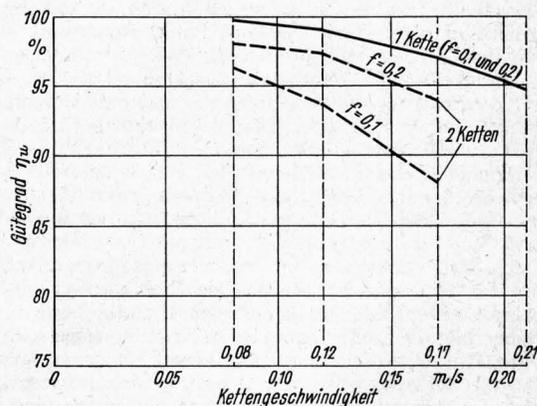


Bild 17. Gütegrad der Sortierarbeit auf dem Versuchsstand nach Bild 11 in Abhängigkeit von der Kettengeschwindigkeit.

Das entwickelte Sortierverfahren wird wegen der geringeren Mengenleistung die bei der Kartoffelaufbereitung eingesetzten Verlesebänder nicht verdrängen können, da man in der Praxis infolge des hohen Arbeitsbedarfes beim Verlesen sogar noch bestrebt ist, die Mengenleistung pro Verleseperson über die für das Verleseband angegebenen Werte hinaus zu steigern. Das Sortierverfahren mit vereinzelt Haufwerkstrom ist dort am zweckmäßigsten einzusetzen, wo auf beste Qualität der Sortierarbeit Wert gelegt wird. Das kann beispielsweise beim Sortieren von Obst der Fall sein, aber unter Umständen auch einmal beim Kartoffelsortieren, je nachdem wie die Qualitätsansprüche der Verbraucher in Zukunft sein werden.

Schrifttum

- [1] *Batel, W.*: Über das Sortieren körniger Haufwerke. *Grundl. Landtechn.* Heft 12 (1960) S. 18/24.
- [2] *Schmitz, J.*: Technik und Arbeitswirtschaft beim Kartoffelsortieren. *Landtechn.* 15 (1960) S. 54/57.
- [3] Vergleichsprüfung von Kartoffelsortiermaschinen. In: *DLG-Maschinenprüfberichte*, Gruppe 8f. Frankfurt a. M.: DLG-Verlags-GmbH. 1958. 30 S.
- [4] *Schäfer, E.*: Untersuchungen über die Trennung von Kartoffeln und Steinen mit umlaufenden Trennbürsten. *Landtechn. Forsch.* 11 (1961) S. 170/74.

KURZAUSZÜGE AUS DEM SCHRIFTTUM

Gegenüberstellung mechanischer, pneumatischer, hydraulischer und elektrischer Bewegungserzeugung

Rankers, H.: Gegenwartsprobleme der Getriebetechnik, eine Gegenüberstellung mechanischer, pneumatischer, hydraulischer und elektrischer Bewegungserzeugung. *VDI-Berichte* Nr. 77, Düsseldorf 1964, S. 5/19. DK 621-231

Zum Erzeugen, Umformen und Weiterleiten von Bewegungen und Kräften können mechanische, pneumatische, hydraulische und elektrische Einrichtungen dienen. Es gibt noch keine grundlegenden Untersuchungen, die zu objektiven Vergleichen zwischen diesen, in verschiedenen Richtungen entwickelten Systemen führen können. In dem vorliegenden Aufsatz wird der Versuch gemacht, zu einer ersten Übersicht über getriebetechnische Lösungsmöglichkeiten mit verschiedenen Mitteln zu kommen. Zunächst werden die Einzelgetriebe und ihre Eigenschaften hinsichtlich Bauform, Laufverhalten und Übersetzungsverhältnis verglichen, wobei die sogenannten „Schlußarten“, wie der Form-, der Kraft- und der Reibschluß kennzeichnende Unterscheidungsmerkmale darstellen. Besonders wertvolle Hinweise ergeben sich bei der Zusammenstellung der Einzelgetriebe zu Getriebegruppen. Es wird auf die Gegenüberstellung der Reihen- und Parallelschaltung hingewiesen, wobei dem Zusammenwirken parallelschalteeter Einzelgetriebe durch die Art der Steuerung und Regelung besondere Aufmerksamkeit zu widmen ist. Für die Auswahl zweckentsprechender Getriebearten ist eine klare und erschöpfende Aufgabenstellung Vorbedingung. Ferner sind die Stoffeigenschaften und der Verarbeitungsprozeß, die an der Wirkstelle vorliegenden Verhältnisse, der Energie- und Betriebsstoffverbrauch sowie die Möglichkeit des Standortwechsels der Getriebe bei Vergleichsbetrachtungen heranzuziehen. Ein großes Wagnis ist es, wenn versucht wird, eine Bewertung der Bewegungselemente durch einen Punktschlüssel zu erreichen. Trotz aller hier bestehenden Schwierigkeiten sollten jedoch weitere Unterlagen für befriedigende Getriebevergleiche geschaffen werden.

GL 18

K. Hain

Die Bewegung eines einfachen Wagenmodells

Bottema, O.: Die Bewegung eines einfachen Wagenmodells. *Z. angew. Math. Mech.* 44 (1964) H. 12, S. 585/93. DK 621-231:631.373

Die Fahrmechanik spielt in der Landtechnik eine große Rolle. Der Verfasser entwickelt in dem rein mathematisch orientierten Aufsatz die Bewegungsgleichungen für das drehchemelgelenkte Fahrzeug, bei dem die Achse der Hinterräder starr mit dem Fahrgestell verbunden ist und die Achse der Vorderräder um einen in der Projektion dieser Achse liegenden Punkt verschwenkt wird. Diesem Bewegungssystem werden die Winkeldrehungen und -geschwindigkeiten der Fahrgestellängsachse relativ zu einem festen Koordinatensystem und der schwenkbaren Vorderachse relativ zum Fahrgestell sowie die Massen und die kinetischen Energien der Fahrzeugteile zugrunde gelegt. Es werden für bereits früher gefundene Zusammenhänge Ableitungen aufgestellt. Dabei ist die Achse der Hinterräder die Gangpolbahn und gleichzeitig die Polbahntangente der Fahrgestellebene, und der augenblickliche Pol (Momentanzentrum) als Schnittpunkt von Vorder- und Hinterachse stellt zugleich den Krümmungsmittelpunkt aller Punkte der Hinterachse dar, der sich mit der Polwechselgeschwindigkeit auf der Polbahntangente stetig bewegt. Die Gleichungen für die Rastpolbahn, deren Krümmungsverhältnisse in gewisser Hinsicht durch den Wendekreis erklärt werden können, und für die Schlepplkurven selbst können nicht in expliziten Formen ausgedrückt werden. Von gewisser Bedeutung sind aber die mathematisch einfacher zu erfassenden Sonderfälle, wenn z. B. der Trägheitsradius der Fahrgestellebene in bestimmtem Ver-

hältnis zum Schwerpunktabstand und zum Radstand steht. Die Schlepplkurve weist Rückkehrpunkte und Hauptkreise auf. Die letzteren entstehen asymptotisch bei kreisförmiger Führungskurve. Die Gestalt und Lage dieser geometrischen Größen hängen vor allem von der stationären Vorwärts- und der labilen Rückwärtsbewegung ab. GL 19

K. Hain

Arbeitsproduktivität und Kosten beim Schnellpflügen

Hofmann, K.: Steigerung der Arbeitsproduktivität und Kostenentwicklung beim Pflügen mit erhöhter Geschwindigkeit. *Dt. Agrartechn.* 14 (1964) Nr. 7, S. 316/17. DK 631.312:631.51

Mit Vergrößerung der Arbeitsbreite steigt die Arbeitsproduktivität, die Schleppermasse und die Motorleistung linear mit der Arbeitsbreite. Der Verfasser hält diesen Weg zur Steigerung der Arbeitsproduktivität für nicht geeignet, da er zu schweren Schleppern führt. Bei Erhöhung der Geschwindigkeit steigt je nach Schlaglänge die Arbeitsproduktivität fast linear mit der Geschwindigkeit. Der Anstieg des Zugkraftbedarfs und damit der Schleppermasse hängt bei wachsender Geschwindigkeit aber von der Form des Pflugstreichbleches ab. In Abhängigkeit von der Geschwindigkeit (0 bis 16 km/h) sind für drei Streichblechformen, für zwei spezifische Bodenwiderstände und für vier Schlaglängen die notwendigen Zugkräfte, Schleppermassen, Motorleistungen, Schichtleistungen (ha/Schicht) und Gesamtkosten (DM/ha) unter bestimmten Annahmen theoretisch untersucht und in mehreren Diagrammen dargestellt. Die Gesamtkosten (Lohn-, Kraftstoff-, Schmierstoff-, Reparaturkosten und Abschreibung) haben bei einer bestimmten Geschwindigkeit ein Minimum: für das Kulturstreichblech zwischen 8 und 10 km/h, für das Wendelstreichblech zwischen 10 und 12 km/h und für das Schnellpflugstreichblech zwischen 13 und 15 km/h. Als dritte Möglichkeit wird der Kompromiß diskutiert, bei Erhöhung der Geschwindigkeit zugleich die Arbeitsbreite zu vergrößern. Dabei zeigte sich, daß eine zu starke Vergrößerung der Arbeitsbreite kostenmäßig keine großen Gewinne bringt, zumal dann Schleppermasse und Leistung stark ansteigen. Zum Schluß werden die Folgerungen gezogen, die sich für den landwirtschaftlichen Betrieb aus den Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen ergeben.

GL 20

W. Vornkahl

Geschwindigkeitsmessung an pneumatischen Förderern mittels radioaktivierter Teilchen des Fördergutes

Rall, W. und O. Riedel: Geschwindigkeitsmessungen an feststoffbeladenen Gasströmen mit brutto-radioaktivierten Testteilchen. *Chem.-Ing.-Techn.* 37 (1965) Nr. 4, S. 418/22. DK 621.039.8:621.867.8

Bei Untersuchungen an feststoffbeladenen Gasströmungen, z. B. bei pneumatischen Fördervorgängen, macht im allgemeinen die genaue Bestimmung der Geschwindigkeit der Gutteilchen und damit die Messung des Gutdurchsatzes große Schwierigkeiten. Die Verfasser schildern ein Verfahren, mit dem die Geschwindigkeit eines Fördergutes in einem geschlossenen Rohr gemessen werden kann, ohne dabei den Strömungsverlauf durch irgendwelche Einbauten im Rohr zu stören. Dazu müssen einige Teilchen des Fördergutes radioaktiv sein. Für die geschilderten Versuche benutzten die Verfasser Lanthan, das infolge einer Neutronenbestrahlung harte γ -Strahlen aussendet. Das Testmaterial besaß eine für kurze (hier zwei Tage dauernde) Versuche sehr günstige Halbwertszeit von 40,2 Stunden, wodurch die Strahlenschutzmaßnahmen relativ gering bleiben konnten. Die Messung der Zeitdifferenz, die das Gut zum Durchfliegen einer definierten Rohrlänge braucht, geschah durch zwei am Anfang und am Ende der Meßstrecke senkrecht zur Förderrichtung angebrachte Szintillationszähler, an deren Verstärkerausgänge