

Trennung von Kartoffeln und Steinen mit geneigten Bändern

Institut für Landmaschinenforschung, Braunschweig-Völkenrode¹⁾

Von einem Sammelroder wird gefordert, daß mit ihm die Kartoffeln sauber, verlustfrei und schonend geerntet werden können. Nach dem Absieben der Erde und dem Abtrennen des Krautes sind aber normalerweise zwischen den Kartoffeln noch Steine und Erdkluten vorhanden. Diese Beimengungen müssen von Hand oder mechanisch von den Kartoffeln abgeschieden werden, damit man ein sauberes Erntegut erhält. Ein Gemenge läßt sich nur dann mechanisch trennen, wenn zwischen den Komponenten Unterschiede in wenigstens einer physikalischen Größe oder Eigenschaft bestehen. In Betracht kommen zur Trennung von Kartoffeln, Steinen und Erdkluten die folgenden:

1. Rollwiderstandsbeiwert;
2. Dichte;
3. Luftwiderstandsbeiwert;
4. Elastizität und
5. Härte.

Zusammenstellung und Beurteilung der auf diesen Prinzipien beruhenden Trennverfahren finden sich in früheren Veröffentlichungen [1-4]. Hier sei nur vermerkt, daß die Trennung nach dem Luftwiderstandsbeiwert wegen ihres hohen Energiebedarfes und die Trennung nach der Elastizität oder nach der Härte wegen der hohen, unvermeidlichen Knollenbeschädigungen keine Bedeutung gewonnen haben. Die heute in Sammelrodern eingebauten Trennorgane benutzen zumeist die Unterschiede im Rollwiderstandsbeiwert, einige auch die Unterschiede in der Dichte. Verfahren, die in der Hauptsache die unterschiedliche Dichte zur Trennung heranziehen, sollen in einer späteren Veröffentlichung behandelt werden. Dieser Beitrag befaßt sich mit der Trennung von Kartoffeln und Beimengungen nach dem unterschiedlichen Rollwiderstandsbeiwert. In Ergänzung zu den oben genannten früheren Veröffentlichungen, bei denen bis auf einige Tastversuche die Kartoffeln und Beimengungen (Steine) dem Trennorgan einzeln zugeführt wurden, sind hier die Trennorgane mit normalen, im Feldeinsatz auftretenden Belastungen durch Kartoffeln und Steine beaufschlagt worden.

Die bisher in Sammelroder eingebauten, auf diesem Prinzip beruhenden Trennverfahren lassen sich in drei Gruppen einteilen (Bilder 1 bis 3).

1. In Aufgaberichtung abfallende, querlaufende Trennbänder mit ebener Oberfläche (Bild 1). In der gezeigten Ausführung ist das Trennband auch gleichzeitig Verleseband. Die schlechter rollenden Beimengungen sollen oben liegen bleiben und die Kartoffeln nach unten rollen. An die Trennzone schließt sich in Laufrichtung des Bandes die Verlesezzone für die fehlgeleiteten Kartoffeln und Beimengungen an.
2. In Aufgaberichtung abfallende, querlaufende Trennbänder mit unebener Oberfläche, zum Beispiel Gummifinger, (Bild 2). Die Kartoffeln rollen über die von den Fingerkuppen gebildete schräge Ebene herab und gelangen auf ein Verleseband. Die Beimengungen sollen von den Gummifingern festgehalten und seitlich auf ein zweites Verleseband gebracht werden.
3. In Aufgaberichtung abfallende, gegenlaufende Trennbänder mit ebener Oberfläche (Bild 3). Die Kartoffeln sollen infolge ihres kleineren Rollwiderstandsbeiwertes entgegen der Laufrichtung des Bandes neigungsabwärts rollen, die Beimengungen dagegen nach oben mitgenommen werden. Die so entstandenen Teilströme fallen auf je ein Verleseband.

Die in den Bildern 1 bis 3 eingetragenen Maße beziehen sich auf die Versuchseinrichtungen, mit denen die Trennversuche durchgeführt wurden.

Bevor über die experimentellen Untersuchungen berichtet wird, soll anhand einiger theoretischer Überlegungen gezeigt werden,

¹⁾ Diese Untersuchungen wurden unter Leitung von Prof. Dr.-Ing. D. SIMONS mit Unterstützung des KTL durchgeführt

von welchen Größen der Trennvorgang abhängig ist, und wo seine Grenzen zu erwarten sind.

Theoretische Betrachtung

Eine vollständige theoretische Betrachtung des Trennvorganges erfordert wegen der vielfältigen Form der Kartoffeln und Steine einen großen mathematischen Aufwand. An dieser Stelle werden daher die Bewegungsgleichungen nur für den Sonderfall eines kugelförmigen Körpers abgeleitet.

Rollt eine kugelförmige Kartoffel oder ein kugelförmiger Stein auf einer ebenen, teilweise elastischen Unterlage, so treten in der Berührungszone Reibungskräfte und Verformungen auf (Bild 4). Die Normalkomponente der Auflagekraft greift in der Berührungszone im Abstand e von der Normalen an, die durch den Körperschwerpunkt führt. Der Ansatz der Bewegungsgleichungen ergibt:

$$G \cdot \sin \alpha - W - m \cdot b_s = 0$$

$$W \cdot r' - G \cdot e \cdot \cos \alpha - I_{ds} \cdot \varepsilon = 0$$

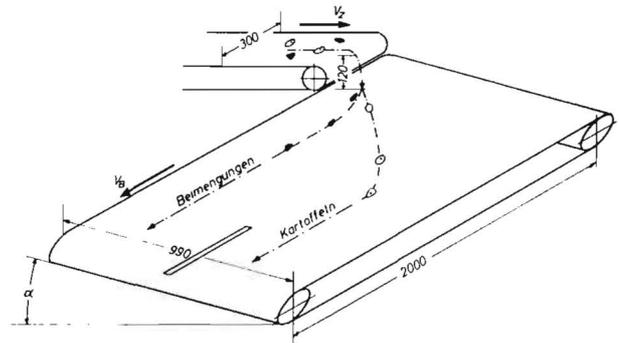


Bild 1: In Aufgaberichtung abfallendes querlaufendes Trennband mit ebener Oberfläche

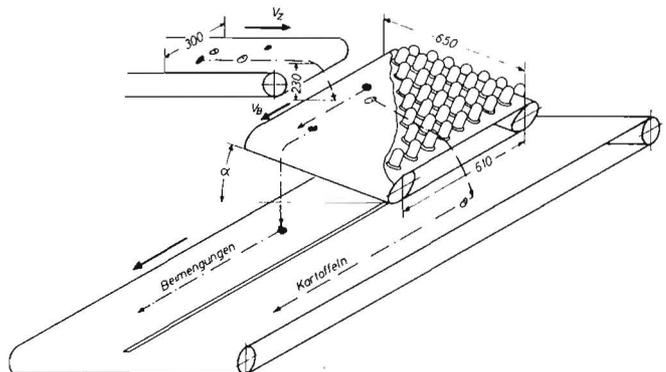


Bild 2: In Aufgaberichtung abfallendes querlaufendes Trennband mit unebener Oberfläche (Gummifinger)

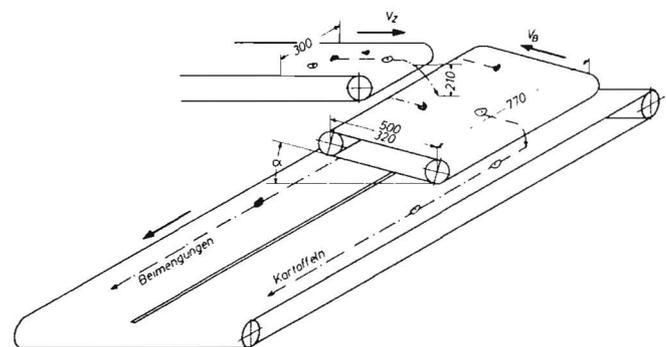


Bild 3: In Aufgaberichtung abfallendes gegenlaufendes Trennband mit ebener Oberfläche

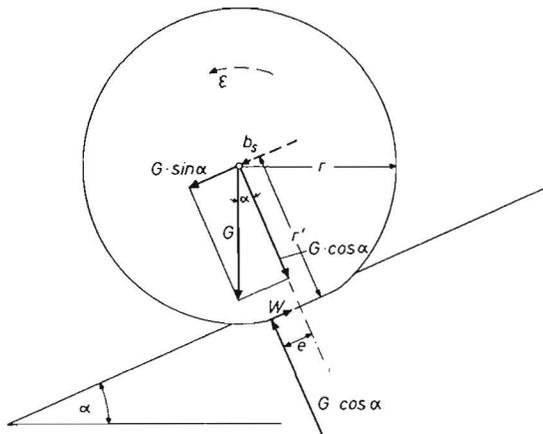


Bild 4: Kräftegleichgewicht an einer beschleunigt neigungsabwärts rollenden Kugel

Es bedeuten:

- G Gewicht des rollenden Körpers [kp]
- I_{dx} Massenträgheitsmoment um eine Schwerachse [$\text{kg} \cdot \text{m}^2$]
- W Rollwiderstand [kp]
- b_s Beschleunigung [m/s^2]
- e Hebelarm der Rollreibung [m]
- $f_R = e/r =$ Rollwiderstandsbeiwert [—]
- g Erdbeschleunigung [m/s^2]
- m Masse des rollenden Körpers [kg]
- r Kugeldurchmesser [m]
- r' Rollradius [m]
- α Neigungswinkel der Rollebene [$^\circ$]
- ϵ Winkelbeschleunigung [$1/\text{s}^2$]

Bei reinem Rollen der nicht abgeplatteten Kugel ist:

$$b_s = r \cdot \epsilon$$

Da die Abplattung der Auflagefläche klein gegenüber dem Kugelradius ist, kann man in erster Näherung den Rollradius r' gleich dem Kugelradius r setzen. Durch Auflösen der Gleichungen nach der Beschleunigung b_s können Aussagen über das Bewegungsverhalten und somit über die mögliche Trennung eines Gemenges gemacht werden. Es ist:

$$b_s = \frac{5}{7} g (\sin \alpha - f_R \cdot \cos \alpha) \quad (1)$$

Nach Gleichung (1) ist die Beschleunigung einer rollenden Kugel von ihrem Gewicht unabhängig und allein durch f_R und α bestimmt. Bei einem beliebig gestalteten Körper ist der Rollwiderstandsbeiwert abhängig von der Form, der Oberfläche und der Elastizität des rollenden Körpers und der Unterlage. Dabei sei davon abgesehen, daß er auf einer weichen Unterlage im geringen Maße vom Gewicht des rollenden Körpers beeinflusst wird.

Ist der Rollwiderstandsbeiwert zweier zu trennender Stoffe verschieden, so kann man durch entsprechende Wahl der Neigung der Rollebene erreichen, daß Körper mit einem größeren Rollwiderstandsbeiwert eine Verzögerung erfahren und auf dem Trennorgan liegen bleiben, während Körper mit einem kleineren f_R beschleunigt werden und vom Trennorgan herunterrollen. Der Rollwiderstandsbeiwert der Kartoffeln und Beimengungen schwankt infolge ihrer von der Kugel abweichenden unregelmäßigen Form sehr stark. Nach Messungen von BAGANZ [3] haben zwar Steine im allgemeinen einen größeren Rollwiderstandsbeiwert als Kartoffeln, die Streubereiche dieser Beiwerte überdecken sich aber derart, daß eine vollständige Trennung beider Komponenten allein auf Grund der Unterschiede im Rollwiderstandsbeiwert nicht möglich sein kann.

Bei den Aufgaberichtung abfallenden, querlaufenden Trennbändern sollen die Beimengungen nach dem Auftreffen auf das Trennband nach einer bestimmten Rollstrecke zum Stillstand kommen. Die Gleichung für die Länge dieser Verzögerungstrecke in Neigungsrichtung des Bandes lautet unter der Annahme einer gleichmäßigen verzögerten Bewegung

$$s = \frac{v_0^2}{2 b_s} \quad (2)$$

v_0 ist die Geschwindigkeit, mit der die Körper nach dem Auftreffen auf das Trennband zu rollen anfangen.

Ähnliche Verhältnisse finden sich bei den in Aufgaberichtung abfallenden, gegenlaufenden Trennbändern. Rollt ein Körper neigungsabwärts entgegen der Laufrichtung des Bandes, so ist seine Geschwindigkeit v größer und entgegengesetzt der Bandgeschwindigkeit; für die nach oben mitgenommenen Körper ist die Geschwindigkeit kleiner. Mit der Annahme einer gleichmäßig beschleunigten Bewegung lautet das Zeit-Geschwindigkeits-Gesetz für einen auf dem Trennband rollenden Körper:

$$v = v_0 + b_s \cdot t \quad (3)$$

Nach den Gesetzen der Stoßtheorie ist für beide Trennbänder die Anfangsrollgeschwindigkeit v_0 von den im Moment des Auftreffens auf die Unterlage herrschenden Geschwindigkeitsverhältnissen, dem Stoßwinkel und der Elastizität des stoßenden und gestoßenen Körpers abhängig.

Einflußgrößen

Wie die theoretischen Betrachtungen zeigen, lassen sich die Faktoren, welche die Trennung bestimmen, durch folgende konstruktiv veränderliche Größen beeinflussen:

- Geschwindigkeit und Neigung des Trennbandes;
- Zuführgeschwindigkeit des Gutstromes zum Trennband;
- Fallhöhe vom Zuführband zum Trennband und
- Oberfläche des Trennbandes.

Im praktischen Einsatz eines Sammelroders kann das Trennergebnis außerdem von folgenden Faktoren beeinflusst werden:

- Belastung des Trennorgans;
- Art der Beimengungen und
- Rollwiderstandsbeiwert der Kartoffeln und Beimengungen.

Veränderungen dieser Größen wirken sich auf die Leitgütegrade der Kartoffeln und Steine aus. Dabei ist unter Leitgütegrad das Verhältnis der richtig geleiteten Kartoffeln beziehungsweise Steine zu den insgesamt vorhandenen Kartoffeln beziehungsweise Steinen zu verstehen.

Mit zunehmender Bandgeschwindigkeit nimmt die Anfangsrollgeschwindigkeit der Körper auf dem Trennband etwas zu. Bei den querlaufenden Trennbändern werden dann nach Gleichung (2) auch Körper mit einem größeren Rollwiderstandsbeiwert eine längere Strecke rollen. Kartoffeln mit einem größeren Rollwiderstandsbeiwert werden also mit wachsender Bandgeschwindigkeit richtig geleitet. Da sich aber die Streubereiche der Rollwiderstandsbeiwerte von Kartoffeln und Steinen teilweise überdecken, nehmen gleichzeitig die Fehlleitungen der Steine zu. Eine Verbesserung des Kartoffel-Leitgütegrades ist demnach immer mit einer Verschlechterung des Stein-Leitgütegrades verbunden.

Bei dem gegenlaufenden Trennband werden bei einer Erhöhung der Bandgeschwindigkeit auch Körper mit einem kleineren Rollwiderstandsbeiwert von dem aufwärtslaufenden Trennband mitgenommen, da die Anfangsrollgeschwindigkeit nicht in dem Maße wie die Bandgeschwindigkeit zunimmt. Bei dieser Trennbandart wird demnach der Kartoffel-Leitgütegrad mit zunehmender Bandgeschwindigkeit schlechter und der Stein-Leitgütegrad besser.

Die Neigung der Rollebene hat nach Gleichung (1) einen Einfluß auf die Beschleunigung des rollenden Körpers. Mit zunehmender Neigung werden bei allen Trennbändern auch schlechter rollende Kartoffeln so weit beschleunigt, daß sie richtig geleitet werden; der Kartoffel-Leitgütegrad wird besser, während sich der Stein-Leitgütegrad verschlechtert.

Ändert man die Geschwindigkeit v_s des Zuführbandes oder die Fallhöhe h zwischen Zuführband und Trennband, so ändert sich auch die Größe und Richtung der Aufprallgeschwindigkeit. Bei elastischen und nahezu elastischen Körpern wird sich dann auch die Größe und Richtung der Geschwindigkeit nach dem Stoß ändern. Nach Untersuchungen von MAACK [2] sind diese Geschwindigkeitsänderungen aber durch das unterschiedliche elastische Verhalten und durch die unregelmäßige Form der Körper großen Schwankungen unterworfen, so daß sich die Zuführgeschwindigkeit und die Fallhöhe auf das Trennergebnis nur geringfügig auswirken können. Um die Beschädigungsgefahr

der Kartoffeln zu verringern, sollte man daher grundsätzlich versuchen, beide Größen möglichst klein zu halten. Die Versuche bestätigten diese Regel.

Bei einer profilierten Bandoberfläche wird sich der unterschiedliche Rollwiderstandsbeiwert nur beschränkt auf die Trennung auswirken. Infolge eines Sortiervorganges können kleine Kartoffeln und Beimengungen von der Profilierung festgehalten werden und das Trennergebnis verschlechtern. Dieser Effekt kann auch durch ein starkes Verkleben der Trennbandoberfläche mit feuchter Erde eintreten.

Die Belastung eines Trennorgans mit Kartoffeln ist von der Fahrgeschwindigkeit, dem Ertrag und dem mittleren Knollengewicht abhängig. Sie beträgt bei einem einreihigen Sammelroder mit einer Reihenweite von 62,5 cm

$$Q = 104 \cdot \frac{E \cdot V_F}{q_m} \quad [\text{Knollen/min}] \quad (4)$$

Es bedeuten:

- Q Belastung des Trennorgans mit Kartoffeln [Knollen/min]
- E Ertrag [dz/ha]
- V_F Fahrgeschwindigkeit [km/h]
- q_m mittleres Knollengewicht [g/Knolle]

Diese gegenseitigen Beziehungen sind in Bild 5 in einem Nomogramm dargestellt. Bei mittlerer Fahrgeschwindigkeit und durchschnittlichem Ertrag wird das Trennorgan mit 1000 Kartoffeln/min belastet.

Hinzu kommen die im Erntegutstrom noch vorhandenen Beimengungen, die in ungünstigen Fällen 100 und mehr Stückprozent betragen können (Kartoffeln = 100). Sie setzen sich zusammen aus Steinen, Erdkluten, restlicher loser Erde, Mutterknollen und durch die Krauttrennung nicht abgeschiedenem Kartoffel- und Unkraut. Die folgenden Untersuchungen beschränken sich auf die Trennung von Kartoffeln und Steinen. Von der Trennung der Erdkluten wurde abgesehen, da praktische Feldversuche gezeigt haben, daß sie sich mit geeigneten Bändern in annähernd gleicher Weise wie Steine abscheiden lassen. Krautreste hindern die Kartoffeln und Steine am Rollen und verschlechtern die Leitgütegrade.

Der Rollwiderstandsbeiwert der Kartoffeln ist von ihrer Form abhängig, die je nach Sorte zwischen rund und lang-oval schwankt. Die Form und damit der Rollwiderstandsbeiwert der Steine schwankt wesentlich mehr. Grob läßt sich eine Einteilung vornehmen in runde oder ovale Steine mit stark abgerundeten Ecken und Kanten und in flache, scheibenförmige oder ovale Steine mit scharfen Kanten und Ecken. Dabei hat die letzte Gruppe einen so hohen Rollwiderstandsbeiwert, daß sie sich gut von den Kartoffeln trennen läßt. Schwierig ist die Trennung, wenn die Steine eine ähnliche Form wie die Kartoffeln haben.

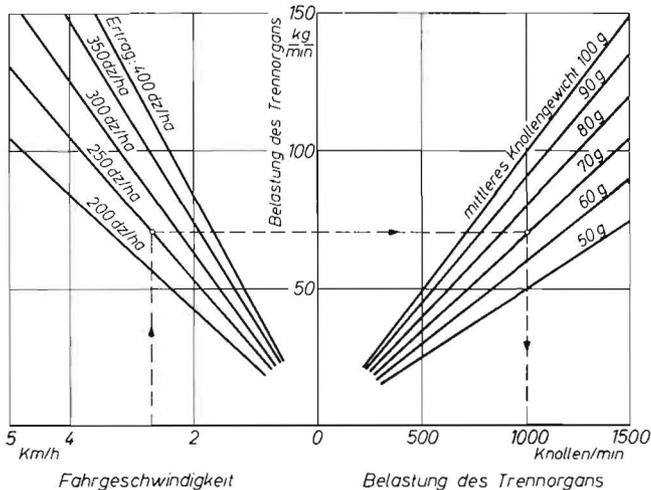


Bild 5: Belastung eines Trennorgans mit Kartoffeln in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit, dem Ertrag und dem mittleren Knollengewicht. Beispiel: Fahrgeschwindigkeit 2,7 km/h, Ertrag 250 dz/ha, mittleres Knollengewicht 70 g = Belastung 1000 Knollen/min

Versuchsdurchführung

Zur Durchführung der Versuche wurde ein Prüfstand mit einem 10 m langen Zuführband benutzt, so daß die in den Bildern 1 bis 3 dargestellten Trennbänder unter vergleichbaren Bedingungen untersucht werden konnten. Jede Messung für eine bestimmte Einstellung der Trennbänder wurde viermal durchgeführt.

Als quer- beziehungsweise gegenlaufende Trennbänder mit ebener Oberfläche wurden 5 mm dicke Gummitransportbänder verwendet. Das querlaufende Trennband mit unebener Oberfläche war mit Gummifingern von 15 mm Durchmesser und 35 mm Höhe besetzt. Die Teilung der Finger in Laufrichtung des Bandes betrug 40 mm und senkrecht dazu 25 mm.

Als Versuchsgut wurde die als rund-oval zu bezeichnende Kartoffel „Magna“ benutzt. Da bei jedem Lauf durch die Trennanlage einige Kartoffeln beschädigt werden, war es erforderlich, die Knollen nach einer Reihe von Versuchen durch neue zu ersetzen; dabei war die Größenzusammensetzung des benutzten Kartoffel- und Steinsortiments stets gleich (Tafel 1). Die Kartoffeln und Steine wurden mit Ringlehren nach dem größten Durchmesser sortiert. Da die lichte Weite zwischen den Siebstäben der Schwing- sieb- und Siebkettenroder unter normalen Verhältnissen 25 bis 30 mm beträgt, wurden Kartoffeln und Steine kleiner als 25 mm nicht berücksichtigt; denn sie werden mit der Erde abgeseibt.

Tafel 1: Größenzusammensetzung der benutzten Kartoffeln und Steine

größter Durchmesser	Kartoffeln	Steine
mm	Stückprozent	
< 34	10	40
34—50	40	40
50—70	40	10
> 70	10	10

Ebenfalls wurden keine größeren Steine als die größten vorkommenden Kartoffeln benutzt, weil man annehmen kann, daß sie in den meisten Fällen bereits vom Acker abgelesen sind. Entsprechend den Schwankungsgrenzen in der Form der Steine wurde eine Unterteilung in Steine runder oder ovaler Form mit stark abgerundeten Kanten und in flache oder ovale Steine mit scharfen Kanten vorgenommen. Vorwiegend ist die Trennung runder Steine untersucht worden, da diese am meisten Schwierigkeiten bereiten.

Versuchsauswertung

Durch Zählen und Wägen der richtiggeleiteten Kartoffeln und Steine wurden die Leitgütegrade bestimmt. Sie sind in Stückprozent angegeben, weil für die nachfolgende Handauslese nur die Stückzahlen der fehlgeleiteten Kartoffeln interessieren. In den Diagrammen sind die aus den vier Wiederholungen errechneten Mittelwerte eingezeichnet. Die Ergebnisse wurden mit einer Varianzanalyse ausgewertet, um ein Maß für die Versuchsstreuung zu erhalten. Mit einem anschließend durchgeführten t -Test [5; 6] läßt sich dann errechnen, wie groß der Unterschied zwischen zwei zu vergleichenden Mittelwerten sein muß, um mehr oder weniger gut gesichert zu sein. In den Diagrammen sind diese erforderlichen Grenzdifferenzen jeweils für die Kartoffel- und Stein-Leitgütegrade für Vertrauensgrenzen von $P = 1\%$ und $P = 5\%$ angegeben. Statistisch gut gesichert sind alle Differenzen, die größer als die für $P = 1\%$ errechnete Grenzdifferenz sind, während Differenzen zwischen $P = 1\%$ und $P = 5\%$ als gesichert zu betrachten sind. Kleinere Differenzen zweier Mittelwerte als die für $P = 5\%$ errechnete Grenzdifferenz sind nicht signifikant, das heißt die Abweichungen liegen innerhalb der Versuchsstreuungen.

Ergebnisse der Versuche

Einfluß der Bandgeschwindigkeit und Bandneigung

Auf dem Prüfstand wurde bei unterschiedlicher Neigung der Bandoberfläche die Geschwindigkeit der Trennbänder in weiten Bereichen verändert. Die gemessenen Leitgütegrade sind in

Bild 6 für verschiedene Neigungen in Abhängigkeit von der Bandgeschwindigkeit aufgetragen und in Bild 7 für verschiedene Bandgeschwindigkeiten in Abhängigkeit von der Neigung. Bei einer Zuführgeschwindigkeit $v_z = 0,36$ m/s wurden die Trennbänder mit 960 Kartoffeln/min zuzüglich 25 Stückprozent runden Steinen belastet (Stein-Kartoffel-Verhältnis = 25 Stückprozent). Die Fallhöhe betrug in dieser Versuchsreihe beim querlaufenden Band mit ebener Oberfläche 100 mm, beim querlaufenden Band mit Gummifingern 230 mm und beim gegenlaufenden Band 210 mm.

Die Varianzanalyse der Einzelwerte ergab, daß sich bei allen untersuchten Trennbändern der Einfluß der Bandgeschwindigkeit und der Bandneigung auf die Leitgütegrade sehr gut statistisch sichern läßt.

Bei dem querlaufenden und dem gegenlaufenden Trennband mit ebener Oberfläche bestätigten die Versuche den durch die theoretische Betrachtung des Rollvorganges zu erwartenden Kurvenverlauf: wächst die Bandgeschwindigkeit, so wird der Kartoffel-Leitgütegrad für das querlaufende Band besser, während er sich bei dem gegenlaufenden verschlechtert. In beiden Fällen ist die Tendenz der Stein-Leitgütegrade gegenläufig zu der der Kartoffel-Leitgütegrade. Bei den Versuchen war außerdem deutlich zu beobachten, daß sich bei kleinen Trennbandgeschwindigkeiten die Kartoffeln und Steine gegenseitig am Rollen hinderten.

Bei der Beurteilung dieser Versuchsergebnisse ist zu berücksichtigen, daß das querlaufende Band mit ebener Oberfläche in

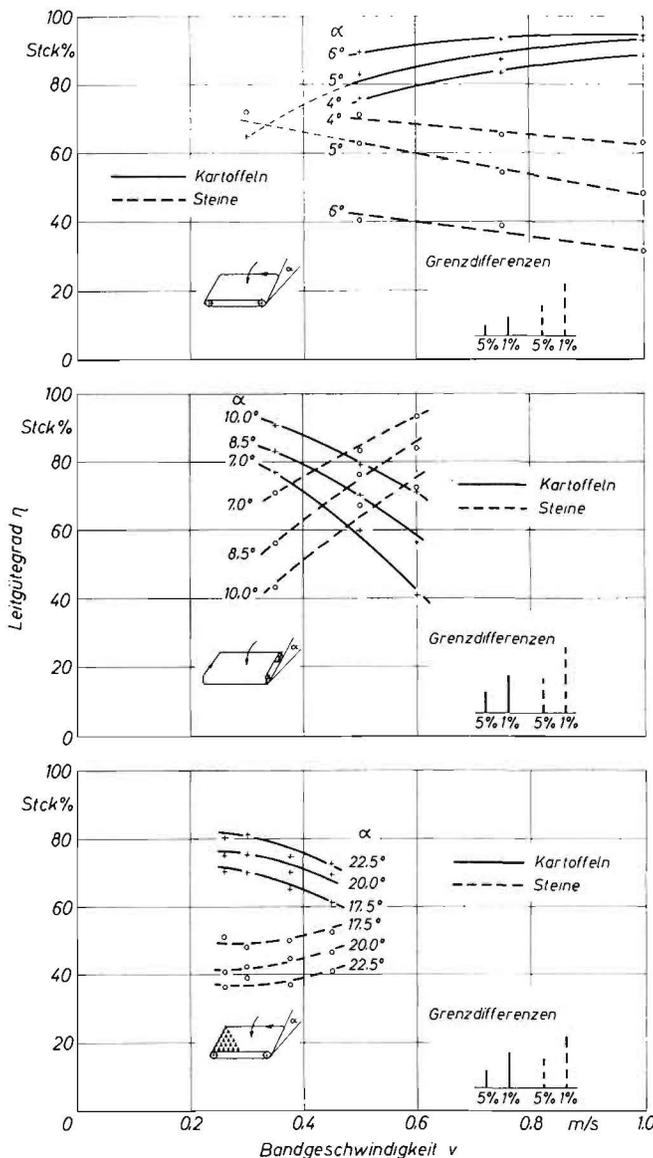


Bild 6: Leitgütegrade in Abhängigkeit von der Bandgeschwindigkeit
Parameter: Bandneigung; Belastung: 960 Knollen/min zuzüglich 25 Stückprozent runde Steine

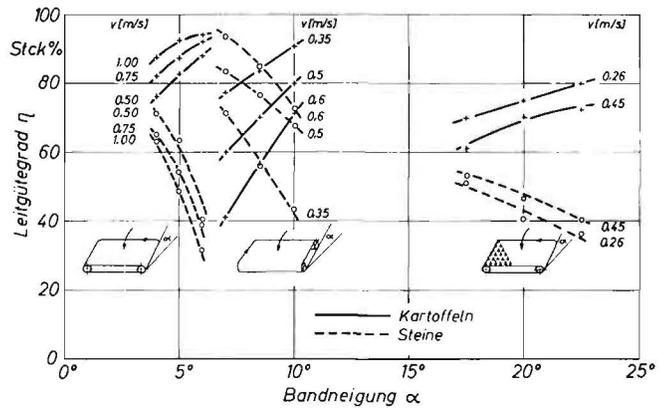


Bild 7: Leitgütegrade in Abhängigkeit von der Bandneigung
Parameter: Bandgeschwindigkeit; Belastung: 960 Knollen/min zuzüglich 25 Stückprozent runde Steine

vielen Fällen gleichzeitig zum Auslesen der fehlgeleiteten Kartoffeln und Steine benutzt werden soll. Nach Untersuchungen von GREEN und WILHELMY [7; 8] ist die Leistung der Verlesepersonen von der Geschwindigkeit des Verlesebandes abhängig; die günstigsten Bandgeschwindigkeiten betragen danach je nach Belastung 0,25—0,4 m/s. In Bild 6 wurde für dieses Trennband die Tendenz der Leitgütegrade bei Bandgeschwindigkeiten kleiner als 0,5 m/s eingezeichnet. Durch die geringe Geschwindigkeit und die gegenseitige Behinderung wird wohl der Stein-Leitgütegrad besser, aber der Kartoffel-Leitgütegrad verschlechtert sich erheblich. Für eine gute Trennung werden also größere Bandgeschwindigkeiten benötigt, als sie für eine gute Verlesemöglichkeit gefordert werden müssen.

Auch die für das Verlesen zweckmäßige Leiste, die den Kartoffel- und den Steinstrom voneinander trennt, begrenzt die Bandgeschwindigkeit. Es hat sich als richtig erwiesen, diese Leiste in Neigungsrichtung 400 mm unterhalb des Auftreffpunktes der Körper auf dem Trennband anzubringen. Dabei darf die Leiste nicht zu dicht an die Aufgabezone herangeführt werden, um nicht durch vorzeitige Unterbrechung des Trennvorganges die erreichbare Trenngüte zu verschlechtern. Die erforderliche Trennstrecke beträgt bei einer Bandgeschwindigkeit $v_B = 0,5$ m/s etwa 400 mm und bei $v_B = 1$ m/s etwa 750 mm. Für ein kurzes Trennband ist also eine kleine Bandgeschwindigkeit erforderlich. Eine gleichzeitige Verwendung des querlaufenden Trennbandes mit ebener Oberfläche als Verleseband ist also immer ein Kompromiß.

Dagegen haben bei dem querlaufenden Trennband mit unebener Oberfläche (Gummifinger) die Kurven der Leitgütegrade nicht den theoretisch erwarteten Verlauf. Der Kartoffel-Leitgütegrad wird mit zunehmender Bandgeschwindigkeit schlechter und der Stein-Leitgütegrad besser, auch scheint der Einfluß der Bandgeschwindigkeit verhältnismäßig gering zu sein. Dieses Verhalten erklärt sich aus den besonderen Eigenschaften der profilierten Oberfläche. Das Gummifingerband trennt nicht nur nach dem Rollwiderstandsbeiwert, sondern — wie frühere Versuche gezeigt haben [9] — auch nach der Größe. Kleine Kartoffeln und kleine Steine neigen dazu, sich zwischen den Fingern festzusetzen, so daß sie auf das Steinband gelangen. Dieser Einfluß ist stark von der Größenzusammensetzung der Kartoffeln und Steine, sowie von der Teilung und Länge der Gummifinger abhängig. Durch die Gummifinger wird außerdem die Oberfläche des Trennbandes sehr elastisch. Fallen große Kartoffeln oder große Steine auf das Trennband, so bewegen sich diese springend über die Fingerkuppen und gelangen, ohne zu rollen, auf das Kartoffelband. Der unterschiedliche Rollwiderstandsbeiwert kann sich also auch bei großen Körpern nur beschränkt auswirken.

Wesentlich ist noch folgender Vorgang: Im Gegensatz zu dem untersuchten querlaufenden Trennband mit ebener Oberfläche ist das Gummifingerband kürzer gebaut, da es sich nicht als Verleseband eignet. Dadurch kann hier die Richtung der Absolutgeschwindigkeit der rollenden Körper einen Einfluß auf das Trennergebnis haben. Mit zunehmender Bandgeschwindigkeit rückt der Ablaufpunkt der Körper an der unteren Bandkante immer näher zum Bandende hin. Kartoffeln, die bei einer kleinen Bandgeschwindigkeit noch richtig geleitet werden, gelangen bei einer Erhöhung

der Bandgeschwindigkeit zu den Steinen und verschlechtern den Kartoffel-Leitgütegrad. Für den Stein-Leitgütegrad wirkt sich dagegen eine Erhöhung der Bandgeschwindigkeit günstig aus, da aus dem angeführten Grunde auch leichter rollende Steine richtig geleitet werden.

Einfluß der Zuführgeschwindigkeit und der Fallhöhe

Bei dem querlaufenden Trennband mit ebener Oberfläche wurde die Fallhöhe von 120 bis 200 mm und die Zuführgeschwindigkeit von 0,15 bis 0,36 m/s bei Trennbandgeschwindigkeiten von 0,5 und 0,75 m/s verändert. Die Neigung betrug 5° und die Belastung 960 Kartoffeln/min zuzüglich 25 Stückprozent runde Steine. Die Ergebnisse zeigen, daß die Fallhöhe keinen signifikanten Einfluß auf die Leitgütegrade hat — sie kann also so klein wie möglich gehalten werden, ohne daß sich dadurch die Trenngüte verschlechtert. Der Einfluß der Zuführgeschwindigkeit ließ sich statistisch gut sichern. Dabei verbesserten sich bei einer Erhöhung der Zuführgeschwindigkeit die Kartoffel-Leitgütegrade um 5 bis 10 Stückprozent, gleichzeitig wurden aber die Stein-Leitgütegrade um den gleichen Betrag schlechter. Größere Zuführgeschwindigkeiten können sich also nur bei einem kleinen Stein-Kartoffel-Verhältnis günstig auf das Gesamtergebnis auswirken.

Bei dem gegenlaufenden Trennband mit ebener Oberfläche betrug die Fallhöhe 210 mm. Sie wurde nicht erhöht, da bei diesem Trennband die Gefahr sehr groß ist, daß rollende Kartoffeln durch Steine, die auf das Band fallen, beschädigt werden. Man sollte die Fallhöhe nur so groß wählen, daß zwischen der Unterseite des Zuführbandes und dem Trennband genügend freier Raum ist, um durch die Krauttrennung nicht abgeschiedenes Kartoffel- oder Unkraut ohne Verstopfungen durchzulassen. Die Zuführgeschwindigkeit wurde von 0,15 bis 0,36 m/s bei Trennbandgeschwindigkeiten von 0,35 und 0,5 m/s und Neigungen von 7 bis 10° geändert. Nach der Varianzanalyse ist der Einfluß der Zuführgeschwindigkeit auf die Leitgütegrade im Bereich von 0,15 bis 0,36 m/s nicht signifikant. Grundsätzlich darf man also die Zuführgeschwindigkeit so weit herabsetzen, daß noch ein einwandfreier Materialfluß gewährleistet ist. Dann wird auch an der Aufgabestelle die Beschädigungsgefahr der Kartoffeln auf ein Minimum herabgesetzt.

Einfluß der Steinform

Die Steine runder oder ovaler Form mit stark abgerundeten Ecken und Kanten wurden in einer weiteren Versuchsserie durch flache oder ovale Steine mit scharfen Ecken und Kanten — also durch ein Sortiment mit größerem Rollwiderstandsbeiwert — ersetzt. In Bild 8 sind die Kartoffel- und Stein-Leitgütegrade für die drei Trennbänder über der Bandneigung aufgetragen. Die Belastung der Trennorgane betrug 960 Kartoffeln/min zuzüglich 25 Stückprozent flache Steine. Die Bandgeschwindigkeiten wurden so gewählt, daß gute Kartoffel-Leitgütegrade erreicht wurden.

Die Tendenz der Kurven stimmt etwa überein mit der bei der Trennung runder Steine, weil sich die Einflußgrößen bis auf die Vergrößerung der Rollwiderstandsbeiwerte der flachen Steine

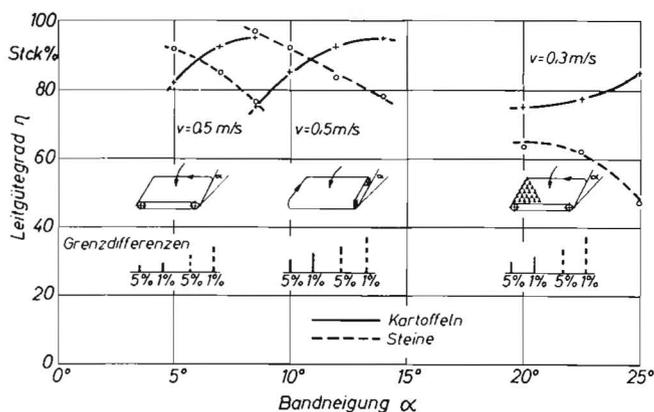


Bild 8: Leitgütegrade in Abhängigkeit von der Bandneigung
Belastung: 960 Knollen/min zuzüglich 25 Stückprozent flache Steine

nicht verändert haben. Der Einfluß der Neigung auf die Kartoffel- und Stein-Leitgütegrade ließ sich auch hier statistisch sehr gut sichern. Vergleicht man die bei gleichen Kartoffel-Leitgütegraden erhaltenen Stein-Leitgütegrade, so sind diese bei allen Trennbändern um mindestens 20 Stückprozent gegenüber runden Steinen besser geworden.

Einfluß einer stoßweisen Zuführung

Gegenüber dem Idealfall der stetigen Zuführung der Kartoffeln und Steine zum Trennorgan werden in Sammelrotern die Kartoffeln oft stoßweise zugeführt. In einer Versuchsserie wurden beim gegenlaufenden Trennband die Kartoffeln und Steine so zugeführt, daß sie das Trennband alle 2,7 Sekunden für 0,7 Sekunden stoßweise belasteten (mittlere Belastung 960 Knollen/min zuzüglich 25 Stückprozent runde Steine). Für eine Geschwindigkeit von 0,5 m/s wurde dabei die Bandneigung von 7 bis 10° verändert.

Der Vergleich dieser Meßwerte mit denen der stetigen Zuführung ergab, daß die stoßweise Zuführung auf den Kartoffel-Leitgütegrad einen sehr gut gesicherten Einfluß besitzt. Durch die stoßweise Zuführung hinderten sich die Kartoffeln und Steine gegenseitig am Rollen. Der Kartoffel-Leitgütegrad verschlechterte sich dadurch um 5 Stückprozent. Die Verbesserung des Stein-Leitgütegrades um 5 Stückprozent war dagegen nicht signifikant und konnte die Verschlechterung des Kartoffel-Leitgütegrades nicht ausgleichen.

Einfluß der Belastung

Wie Gleichung (4) zeigt, ist die Belastung eines Trennorgans mit Kartoffeln abhängig von der Fahrgeschwindigkeit, dem Ertrag und dem mittleren Knollengewicht. Wird die Belastung erhöht, so wird die Trennung durch eine stärkere gegenseitige Behinderung der Körper gestört. Um diesen Einfluß messen zu können, wurde die Belastung für die drei Trennbänder stufenweise von 300 bis 1900 Knollen/min zuzüglich 25 Stückprozent runde Steine erhöht. Die Einstellungen der drei Trennbänder wurden dabei so gewählt, daß sich bei 960 Knollen/min ungefähr gleiche Kartoffel-Leitgütegrade ergaben. In Bild 9 sind die Kartoffel- und Stein-Leitgütegrade über der Belastung aufgetragen. Die Belastung hat bei

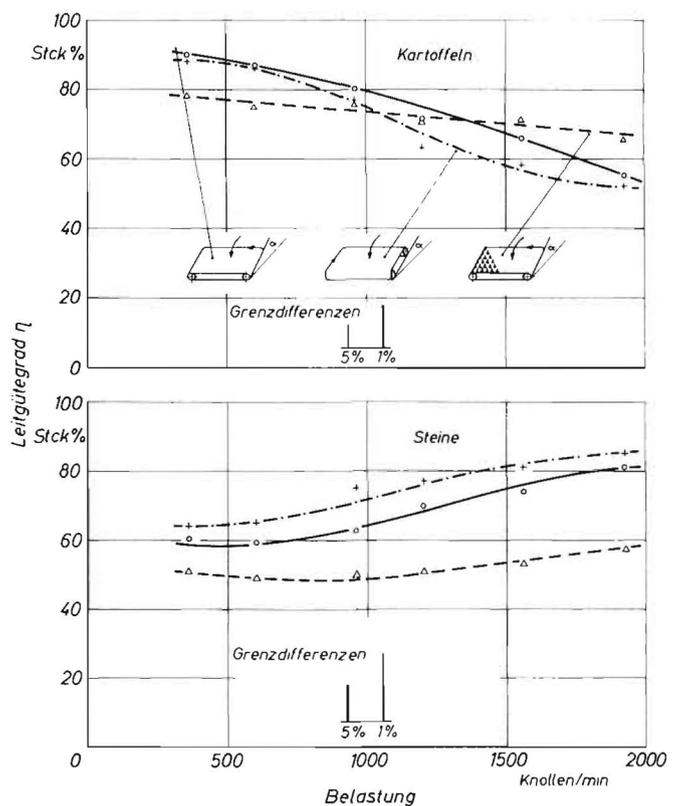


Bild 9: Leitgütegrade in Abhängigkeit von der Belastung mit Kartoffeln für die drei untersuchten Trennorgane
25 Stückprozent runde Steine

jedem Trennband einen deutlichen Einfluß auf die Leitgütegrade. Mit wachsender Belastung verschlechtert sich der Kartoffel-Leitgütegrad, während sich der Stein-Leitgütegrad verbessert. Bei dem quer- und dem gegenlaufenden Band mit ebener Oberfläche ist der Einfluß gleich groß, während das Gummifingerband nicht so belastungsabhängig zu sein scheint. Hier ist die Größenzusammensetzung der Kartoffeln und Steine im Erntegut wesentlicher als die Belastung.

Erhöhung des Stein-Kartoffel-Verhältnisses

Wird das Stein-Kartoffel-Verhältnis bei konstanter Belastung mit Kartoffeln vergrößert, so werden dem Trennorgan pro Zeiteinheit

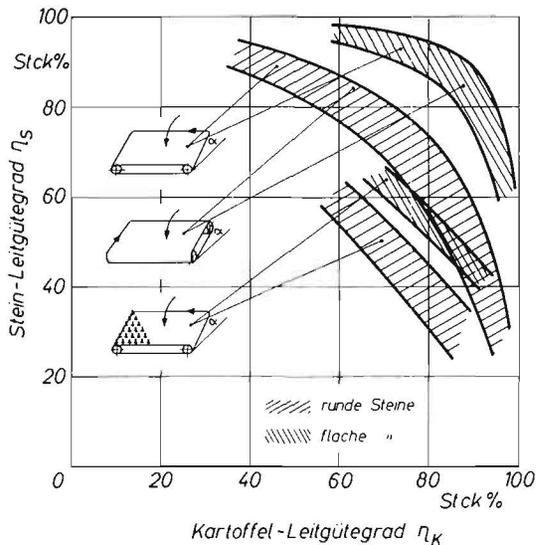


Bild 10: Erreichbare Leitgütegrade der Trennbänder bei verschiedenen Steinformen

In Aufgaberichtung abfallendes, querlaufendes und in Aufgaberichtung abfallendes, gegenlaufendes Trennband mit ebener Oberfläche
 In Aufgaberichtung abfallendes, querlaufendes Trennband mit unebener Oberfläche (Gummifinger)

Tafel 2: Untersuchte Bereiche der verschiedenen Einflußgrößen (Runde Steine)

Bandart	Querlaufend	Gegenlaufend	Gummifinger
Neigung [°]	4—6	6—10	17,5—22,5
Bandgeschwindigkeit [m/s]	0,3—1,5	0,3—0,8	0,26—0,45
Zuführgeschwindigkeit [m/s]	0,15—0,36	0,15—0,36	0,38
Fallhöhe [mm]	100—200	210	230
Achsabstand [mm]	—	320—500	610
Stoßweise Zuführung	—	alle 2,7 s 0,7 s lang	—
Stein-Kartoffel-Verhältnis [Stückprozent]	25—50	25—75	25
Belastung [Knollen/s]	600—1920	600—1920	600—1920

(Flache Steine)

Bandart	Querlaufend	Gegenlaufend	Gummifinger
Neigung [°]	5—8,5	7—10	20—25
Bandgeschwindigkeit [m/s]	0,3—1,5	0,35—0,6	0,26—0,45
Stein-Kartoffel-Verhältnis [Stückprozent]	25—30	25	25
Belastung [Knollen/min]	960—1920	960—1920	960

mehr Körper zugeführt. Das Trennergebnis wird durch die größere Behinderung am Rollen beeinflusst.

Beim querlaufenden Trennband mit ebener Oberfläche wurde für mehrere Bandneigungen und Bandgeschwindigkeiten das Stein-Kartoffel-Verhältnis von 25 auf 50 Stückprozent runde Steine erhöht. Die Fallhöhe vom Zuführband zum Trennband betrug 120 mm. Das Stein-Kartoffel-Verhältnis hat in dem Bereich von 25 bis 50 Stückprozent einen sehr gut gesicherten Einfluß auf das Trennergebnis. Unabhängig von der Bandgeschwindigkeit und der Neigung verschlechtert sich der Kartoffel-Leitgütegrad mit wachsendem Steinanteil, während sich der Stein-Leitgütegrad etwas verbessert. Diese Verbesserung ist aber so gering, daß bei einem Steinanteil von 50 Stückprozent ein bis zwei weitere Personen zum Auslesen der fehlgeleiteten Kartoffeln und Steine erforderlich sind als bei 25 Stückprozent.

Beim gegenlaufenden Trennband mit ebener Oberfläche wurde für eine Bandgeschwindigkeit von 0,5 m/s für mehrere Neigungen das Stein-Kartoffel-Verhältnis von 25 auf 75 Stückprozent erhöht. Die Erhöhung des Steinanteils hatte bei diesem Trennorgan einen sehr gut gesicherten Einfluß auf das Trennergebnis. Die Verschlechterung des Kartoffel-Leitgütegrades und die Verbesserung des Stein-Leitgütegrades bewegen sich in den gleichen Grenzen wie beim querlaufenden Trennband mit ebener Oberfläche.

Erreichbare Leitgütegrade

Die Untersuchungen der Trennorgane zeigen, daß zwischen den erreichbaren Leitgütegraden feste Abhängigkeiten bestehen. Ein besserer Kartoffel-Leitgütegrad ist immer mit einem schlechteren Stein-Leitgütegrad verbunden und umgekehrt. Trägt man die erreichten Stein-Leitgütegrade in einem Diagramm in Abhängigkeit von den Kartoffel-Leitgütegraden auf (Bild 10), so ergeben sich dabei für flache und runde Steine verschiedene Streubereiche, wobei die Meßwerte des querlaufenden und des gegenlaufenden Trennbandes mit ebener Oberfläche zusammenfallen. Wie die Streubereiche der Leitgütegrade des Gummifingerbandes zeigen, konnte mit diesem Trennorgan unter gleichen Bedingungen nicht die Trenngüte der anderen Bänder erreicht werden. Dagegen zeigten Beobachtungen bei Feldversuchen [9], daß restliche lose Erde, Kraut- und Unkrautreste mit allen untersuchten Trennbändern nahezu vollständig von den Kartoffeln getrennt werden können.

In Bild 10 sind sämtliche erhaltenen Meßwerte eingetragen, während die Bereiche, in denen die untersuchten Einflußgrößen verändert wurden, in Tafel 2 aufgeführt sind. Da im Feldeinsatz immer ein wechselnd zusammengesetztes Gemenge runder und flacher Steine von den Kartoffeln zu trennen ist, werden die sich dabei ergebenden Leitgütegrade zwischen den entsprechenden Streubereichen bewegen. Eine vollständige Trennung von Kartoffeln, Steinen und Erdkluten mit geneigten Bändern ist nicht möglich. Sie läßt sich aber durch entsprechende Wahl der Anfangsrollgeschwindigkeit oder der Bandneigung beeinflussen. Schwankungen der Leitgütegrade infolge einer Änderung der Bandgeschwindigkeit, der Belastung mit Kartoffeln und Steinen oder einer stoßweisen Zuführung lassen sich am einfachsten durch eine Verstellung der Bandneigung in den in Tafel 2 angegebenen Bereichen ausgleichen. Für eine größtmögliche Ausnutzung der zur Korrektur der Fehlleitungen eingesetzten Verlesepersonen ist demnach eine laufende Überwachung und Verstellung der Bandneigung erforderlich. Hierzu ist eine stufenlose verstellbare und leicht zu bedienende Verstellvorrichtung notwendig.

Zusammenfassung

Bei der Kartoffelernte sind nach dem Absieben der Erde und dem Abtrennen des Krautes normalerweise noch Steine und Erdkluten im Erntegutstrom vorhanden. Die Mehrzahl der heute in Sammelroden eingebauten mechanischen Trennvorrichtungen beruhen auf einer Anwendung des Trennverfahrens nach unterschiedlichem Rollwiderstandsbeiwert. In Übereinstimmung mit der Theorie zeigte die experimentelle Untersuchung geneigter Bänder, daß eine Trennung von den zwischen Kartoffeln und Beimengungen vorhandenen Unterschieden der Rollwiderstandsbeiwerte und der Elastizität, von der Neigung der Rollebene und von der Anfangsrollgeschwindigkeit der Körper nach dem Auftreffen auf

das Trennband abhängig ist. Flache und kantige Steine lassen sich mit den in Aufgaberichtung abfallenden, quer- oder gegenlaufenden Trennbändern weitgehend, runde Steine und — wegen ihrer ähnlichen Form — auch Erdrkluten dagegen nur unvollständig von den Kartoffeln trennen. Zum Auslesen der fehlgeleiteten Kartoffeln und Steine sind daher bei einem Anteil von 25 Stückprozent Steinen im Erntegut zwei bis drei Verlesepersonen und bei 50 Stückprozent drei bis fünf Verlesepersonen erforderlich. Für eine gute Ausnutzung der zur Korrektur der Fehlleitungen eingesetzten Verlesepersonen muß der Trennvorgang laufend überwacht und die Bandneigung nötigenfalls geändert werden. Hierzu ist eine stufenlose und leicht zu bedienende Verstellvorrichtung notwendig.

Schrifttum

- [1] HAWKINS, J. C.: Separation of stones from potatoes. Agricultural Engineering Record (1948), S. 34—42
- [2] MAACK, O.: Die mechanische Trennung von Kartoffeln und Steinen. Dissertation Göttingen 1956
- [3] BAGANZ, K.: Einige Versuche über die Fremdkörperabscheidung auf glatten, geneigten Bändern. Deutsche Agrartechnik 8 (1958), S. 339—341
- [4] GILFILLAN, G., u. A. J. CROWTHER: The behaviour of potatoes, stones and clods in a vertical airstream. Journal of Agricultural Engineering Research 4 (1959), S. 9—15
- [5] LINDNER, A.: Statistische Methoden (Lehrbuch und Monographie auf dem Gebiet der exakten Wissenschaft. Reihe der experimentellen Biologie Bd. 13) 2. erw. Aufl. Basel 1957
- [6] MUDRA, A.: Statistische Methoden für landwirtschaftliche Versuche. Berlin 1958
- [7] GREEN, H. C.: A study of the factors affecting the rate of picking on a potato harvester. Rep. nat. Inst. agr. Engng. 55, 1955,
- [8] WILHELMY, D.: Über die Probleme und derzeitigen Lösungen der Kartoffelsammel- und -vollernte. Dissertation Kiel 1958
- [9] SCHÄFER, E.: Trennung der Beimengungen von Kartoffeln (Feldversuche). Landbauforschung 9 (1959), S. 42—46

Résumé

Ehrhard Schaefer: "Separation of Potatoes and Stones by means of Inclined Belts."

After the superfluous soil has been sieved off and the remainder of the plant removed during potato harvesting, there are, however, usually stones and clods of soil still remaining. Most of the mechanical separators built into present-day potato diggers depend upon differences in rolling resistance for their operation. It was found during a series of investigations that, in consonance with theory, separation of the potatoes from the remaining foreign matter depends upon differences in the rolling resistance and elasticity, the angle of inclination of the belts and the initial velocity of the various bodies after having dropped to the belt. Flat and jagged stones are easily separated by means of longitudinal or counterrunning separating belts. Round stones and — due to their similarity in form — clods of soil, on the other hand, can only be partially separated. In order to remove the potatoes and stones that still remain together, two or three persons are required to pick out the stones manually when their quantity does not exceed 25%. If the percentage of stones rises to 50%, three to five persons are required. In order to ensure that the services of these persons are utilised to the full, the mechanical separation operations must be constantly watched, and, if necessary, the inclination of the belts altered. An easily operated and infinitely variable mechanism is necessary for this operation.

Ehrhard Schäfer: «La séparation des pommes de terre et des pierres au moyen de bandes sans fin inclinées.»

Après le tamisage de la terre et l'élimination des fanes, le flux de pommes de terre passant sur la bande sans fin contient normalement encore des pierres et des grumeaux de terre. Le principe de la plupart des organes de séparation mécaniques incorporés aux arracheuses-ensacheuses de pommes de terre actuelles repose sur le coefficient de roulement. L'essai expérimental de bandes inclinées a montré, en conformité avec la théorie, que l'élimination des objets étrangers est fonction de la différence du coefficient de roulement et de l'élasticité, de l'inclinaison de la surface de roulement et de la vitesse initiale de roulement des corps après leur impact sur la bande de séparation. Les pierres plates et les pierres à arêtes vives peuvent être éliminées à peu près complètement au moyen de bandes descendantes et tournant perpendiculairement ou en sens inverse par rapport au sens d'alimentation. Les pierres rondes et — à cause de leur forme à peu près analogue — les grumeaux de terre, ne sont éliminés qu'incomplètement. Le triage des pommes de terre et des pierres égarées exige deux à trois personnes si le pourcentage de pierres s'élève à 25 pierres sur 100 pommes de terre, et trois à cinq personnes, si le pourcentage de pierres s'élève à 50 pierres sur 100 pommes de terre. Pour utiliser au mieux les personnes employées au triage, il faut

Technisches Zeichnen

von A. BACHMANN und R. FORBERG. DIN C5, 228 S. mit 902 Bildern und 211 Tafeln (12., neubearbeitete Auflage). Herausgegeben vom Ausschuß Zeichnungen im Deutschen Normenausschuß. Verlag B. G. Teubner, Stuttgart 1960. Preis: Kart. 9.20 DM; Hln. 11.20 DM.

Wie oft müssen Zeichnungen, die für Veröffentlichungen bestimmt sind, neu angefertigt werden, da sie — Unkenntnis oder Nachlässigkeit? — nicht den Normen entsprechend angelegt sind. Wieviel Arbeit könnte erspart bleiben, würde jeder, der „zeichnet“, den „Bachmann — Forberg“ einmal zur Hand nehmen und sorgfältig studieren.

Die soeben erschienene 12., neubearbeitete Auflage des „Bachmann — Forberg“ wurde dem derzeitigen Stand der Normung entsprechend ergänzt. Als Nachschlagewerk, systematisch aufgebaut und klar gegliedert, ist sie allen, die lehrend, lernend und gestaltend auf technischem Gebiet mit dem Zeichnen in Berührung kommen, zu empfehlen. Mr.

Über Verschleißteile an Landmaschinen

Ein Untersuchungsbericht von E. BOCK, zusammengestellt von W. MINKE. Arbeits-Bericht, herausgegeben vom Handwerks-technischen Institut an der TH Hannover, Forschungsinstitut im Deutschen Handwerksinstitut e. V. DIN A4. 35 S. mit 3 Bildern. Als Manuskript gedruckt, Hannover 1959.

Die vorliegende Arbeit berichtet über eine Untersuchung, die das Handwerkstechnische Institut in 34 ausgewählten Werkstätten für Landmaschinenreparatur durchführte. Als Ergebnis werden Zahlen über die Häufigkeit der Reparaturfälle an den von den Werkstätten betreuten Maschinen, Zahlen über den jährlichen Ersatzteilbedarf, ferner Angaben über die im Außendienst erledigten Reparaturen und die Ursachen der Störanfälligkeit veröffentlicht. Obwohl die Untersuchungen nur an sieben Maschinenarten in einer begrenzten Zahl von Handwerksbetrieben durchgeführt wurden, sind die Einzelergebnisse immerhin so interessant, daß der Arbeitsbericht auch von Konstrukteuren gelesen werden sollte, um eventuelle Anregungen zur technologischen oder konstruktiven Verbesserung der Verschleißteile an Landmaschinen zu erhalten. Mr.

contrôler en permanence l'opération de séparation et, le cas échéant, modifier l'inclinaison de la bande transporteuse. Ceci exige un dispositif de réglage à variation continue et facilement manoeuvrable.

Ehrhard Schaefer: «Separación de las piedras de las patatas por cintas separadoras convenientes.»

En la cosecha de las patatas se encuentran todavía piedras y trozos de tierra endurecida entre los tubérculos, después de limpiarlos de la tierra desmenuzada y de la hierba por tamizado. La mayoría de los separadores mecánicos que hoy día se montan en las cosechadoras — recogedoras, aprovechan la diferencia en la resistencia a la rodadura como sistema separador. De acuerdo con la teoría la investigación experimental con cintas inclinadas ha demostrado que la buena separación depende de la diferencia en el factor de resistencia a la rodadura entre las patatas y los cuerpos extraños mezclados entre aquellas, de la elasticidad, de la inclinación de las cintas de transporte y de la velocidad inicial de los cuerpos después de caer éstos en la cinta. Las piedras planas y las de cantos agudos se separan bien con las cintas inclinadas en dirección de la alimentación, en sentido contrario y en sentido transversal: las piedras redondas en cambio — así como las pelotas de tierra, a causa de su forma parecida — se separan con dificultad. Para escoger las piedras y las patatas que han seguido camino equivocado, se necesitan de dos a tres personas, si el error es inferior al 25% de unidades de piedras, y de 3 a 5 personas, si el número de piedras llega al 50%. Para asegurar un rendimiento satisfactorio, el proceso de corrección de los errores por el personal debe vigilarse sin interrupción, cambiándose, si fuera preciso, el grado de inclinación de la cinta. El dispositivo de cambio debe ser sin escalonamiento y de manejo fácil.