

Trennung von Kartoffeln und Steinen nach Rückprallvermögen und Rollwiderstand

Nachdem in Heft 3/1957 dieser Zeitschrift 29 bisher bekanntgewordene Verfahren der mechanischen Trennung von Kartoffeln und Steinen beschrieben sowie eigene Untersuchungen und Berechnungen über das Rückprallvermögen und den Rollwiderstand von Kartoffeln und Steinen veröffentlicht wurden [2], folgen hier weitere Versuchsergebnisse, die im Landmaschinen-Institut der Universität Göttingen (Direktor: Prof. Dr. Gallwitz) gewonnen wurden.

Als Versuchsgut wurden vier Kartoffelgruppen ausgewählt:

1. Gruppe: klein (längster Durchmesser 40—55 mm), langoval (Breite weniger als 75 % der Länge)
2. Gruppe: klein, rundoval (Breite mehr als 75 % der Länge)
3. Gruppe: groß (längster Durchmesser 55—80 mm), langoval
4. Gruppe: groß, rundoval,

dazu übergroße (länger als 80 mm) rund- und langovale Kartoffeln. Als Teststeine wurden 10 natürliche (4 runde, 3 lange und 3 scheibenförmige) Steine ausgewählt. Von den runden Steinen 1 bis 4 und von den langen Steinen 5 bis 7 wurden die Rollwiderstände ermittelt [2, Abb. 13]. Jede Kartoffel und jeder Stein ging einzeln durch die Trennanlage hindurch. Jeder Stein wurde 60 mal fallen gelassen, die Kartoffeln unterschiedlich oft, aber in einem bestimmten Verhältnis der Gruppen zueinander. Im ganzen wurden für jede Einstellung einer Trennanlage 600 mal Steine und 600 mal Kartoffeln durch die Trennanlage geschickt und einzeln registriert. Nach der Erprobung einer Versuchsanlage wurden neue Kartoffeln verwendet, damit das Rückprallvermögen bei allen Versuchsreihen gleich blieb. (Näheres s. Maack [1, S. 53/57].)

Trennung nach Rückprallvermögen

Steine und Kartoffeln fielen aus 150 mm Höhe auf eine Unterlage, wurden dort durch einen horizontalen Luftstrom (15,5 m/sec) von der Seite angeblasen, und es wurde ermittelt, welche Körper anschließend über eine neben dem Auftreffpunkt quer zum Luftstrom liegende Leiste sprangen (Abb. 1). Bei einer Leiste mit einem Querschnitt von 10 x 10 mm konnten bis auf 20 % alle Steine und Kartoffeln getrennt werden. Selbst wenn bei einer Leistenhöhe von 6 mm nur 1 % der Kartoffeln vor der Leiste liegen blieb, wurden noch 38 % der Steine von der Leiste aufgehoben. Demzufolge lassen sich Kartoffeln und Steine allein nach dem Rückprallvermögen nicht trennen. Aber als Vortrennung vor anderen Verfahren, die anschließend nach dem Rollwiderstand trennen, könnten 40 % der Steine an der Leiste aufgehoben werden, womit die entscheidende Trennanlage entlastet würde.

Trennung nach Rollwiderstand

Das Verfahren des „Tive 203“ der Maschinenfabrik Slöörs AB., Stockholm [2, Abb. 9]

Bei diesem Verfahren werden die Körper, die auf den horizontal quer zum Luftstrom laufenden Bändern liegen, seitlich

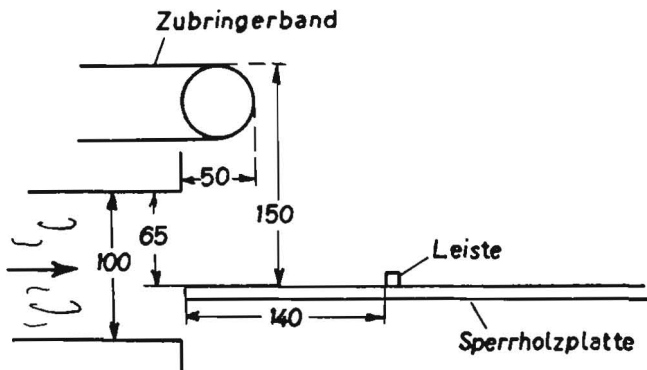


Abb. 1: Versuchsanordnung zur Trennung von Steinen und Kartoffeln nach dem Rückprallvermögen

angeblasen und dabei die Kartoffeln durch ihren geringeren Rollwiderstand vom Wind in die Sammelrinne abgetrieben, während die Steine auf den Bändern liegen bleiben. Es wird mit verschiedenen schnell laufenden Bändern gearbeitet, wodurch alle Körper, auch die auf dem hinteren Band liegenden, einmal dem Luftstrom ausgesetzt werden sollen. Damit sollte

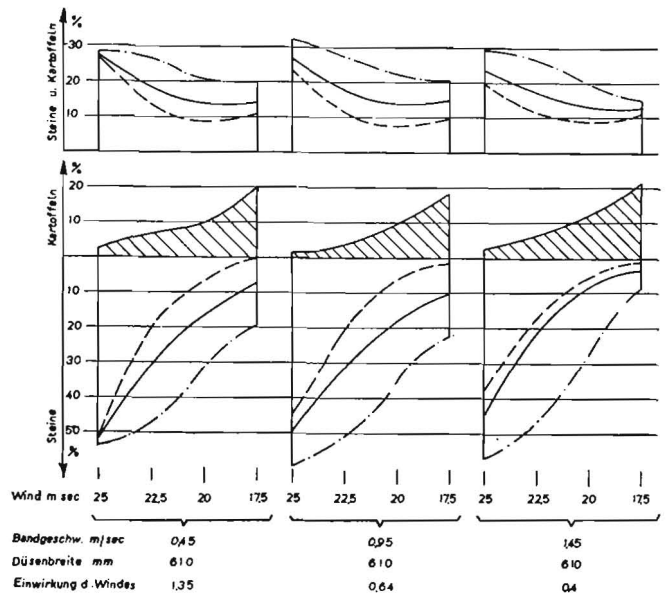


Abb. 2: Fehltrennung von Steinen und Kartoffeln, die auf einem waagerechten Band durch den Luftstrom bewegt werden

Fehltrennung bei nur kantigen Steinen: - - -
 Fehltrennung bei nur runden Steinen: · · ·
 Fehltrennung bei den ausgewählten 10 Steinen: ———

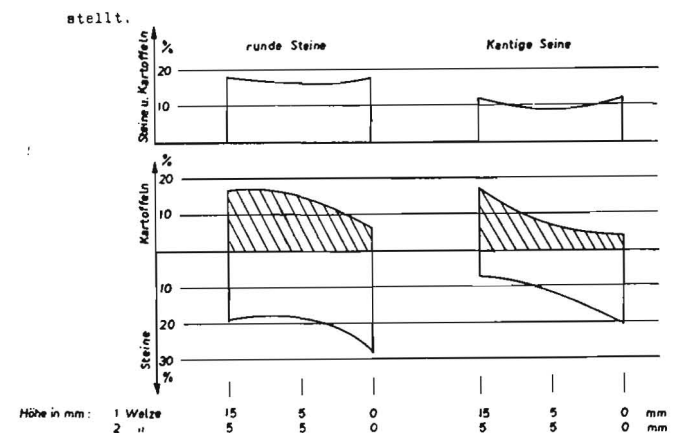


Abb. 3: Mengenversuch: fehlgeleitetes Gut in Gewichtsprozenten in Abhängigkeit von Höhe der Walzen und Form der Steine

Schwierigkeiten ausgewichen werden, die schon im NIAE beim Verfahren 24 aufgetreten waren [2]. Aber auch beim „Tive 203“ sind die auf dem hinteren Band liegenden Körper dem Luftstrom kürzere Zeitabstände ausgesetzt als die auf dem direkt an der Düse vorbeilaufenden Band. Außerdem werden die auf dem ersten Band ins Rollen gekommenen Körper gegen die auf dem zweiten bis fünften Band liegenden Körper stoßen und aufgehoben oder diese mitreißen, was die Trennung verschlechtert. Deshalb wurde hier nur die Frage angeschnitten: Wie weit lassen sich Steine und Kartoffeln trennen, die in einer Reihe hintereinander durch den Luftstrom wandern, also keiner im Windschatten des anderen liegt?

Abbildung 2 zeigt die Ergebnisse dieser Untersuchung. In der Ordinate sind die Prozentwerte der fehlgeleiteten Körper aufgetragen, und zwar nach unten die Steine, die durch den Wind vom Band getrieben wurden, bezogen auf die Zahl aller Steine, und nach oben die Kartoffeln (schraffiert), die auf dem Band liegen blieben, bezogen auf die Zahl aller Kartoffeln. Darüber ist der Anteil aller fehlgeleiteten Steine und Kartoffeln dargestellt, bezogen auf die 1200 Proben. Die durchgezogene Linie zeigt den Prozentsatz der fehlgeleiteten Teststeine und darüber die sich daraus ergebende Fehltrennung von Steinen und Kartoffeln. Die strichpunktierte Linie zeigt die fehlgeleiteten Steine, wenn die Teststeine nur rund, die unterbrochene Linie zeigt das Trennergebnis, wenn die Teststeine nur kantig gewesen wären. In jeder Kurvengruppe ist die Windgeschwindigkeit variiert, und bei den Kurvengruppen nimmt von links nach rechts die Bandgeschwindigkeit zu und damit die Einwirkungszeit des Windes ab. Die Abbildung zeigt, daß die beste Trennung bei einer Windgeschwindigkeit von 20 m/sec mit 13 % fehlgeleiteten Steinen und Kartoffeln, und zwar unabhängig von der Bandgeschwindigkeit, erzielt wurde.

Deshalb wurde ein zweiter Versuch mit gleicher Windgeschwindigkeit (20 m/sec), aber unterschiedlicher Düsenbreite und unterschiedlicher Bandgeschwindigkeit durchgeführt, womit der Einfluß der Einwirkungszeit auf die Trennqualität ermittelt werden sollte. Bis zu einer Einwirkungszeit von 0,35 sec bleibt die Trennqualität konstant bei 13 %; erst bei geringerer Einwirkungszeit nimmt die Zahl der fehlgeleiteten Körper zu. Verbessern ließe sich das Trennergebnis noch durch Anbringung von Sieben vor der Düse, deren Maschen nach oben hin weiter werden und durch welche die Windgeschwindigkeit abgestuft kurz über dem Band 17,5 m/sec, an der oberen Grenze des Strahles aber 25 m/sec betragen würde. Dadurch würden die kleinen Steine, welche den gleichen Rollwiderstand wie die großen Kartoffeln aufweisen, einem geringeren Luftdruck ausgesetzt.

Wenn diese Trennqualität befriedigt, könnte schon mit einem Band getrennt werden, auf dem die Kartoffeln hintereinander liegen. Es könnte aber auch mit mehreren parallel laufenden Bändern gearbeitet werden, von denen das vorderste am schnellsten, das hinterste am langsamsten laufen und außerdem hinter jedem Band eine Sammelrinne die Kartoffeln auffangen würde. Nur so würde verhindert, daß sich die rollenden Körper auf den einzelnen Bändern gegenseitig beeinflussen.

Trennung rollender Kartoffeln und Steine an Hindernissen

Kartoffeln und Steine wurden von einem horizontalen Wind (15 m/sec) rollend über eine waagerechte Unterlage getrieben und mußten drei Leisten (10 x 10 mm) überwinden. Die Kartoffeln überrollten diese mit ihrem geringeren Rollwiderstand sehr viel leichter. Auch wurden sie durch ihre im Mittel geringere Masse bei durchschnittlich gleicher Windangriffsfläche besonders zwischen den Leisten vom Wind wieder beschleunigt. Das zeigt sich darin, daß bei größerem Leistenabstand der Anteil der Kartoffeln, die die dritte Leiste überrollten, sehr viel größer wurde. Dies waren bei 100 mm Leistenabstand 26 %, bei 160 mm 46 % der Kartoffeln. Von den Steinen rollten bei allen Leistenabständen 6 % über die zweite Leiste; über die dritte Leiste gelangte selten einer.

Trennung durch rotierende Bürstenwalzen [3]

Beim „Digger“ [2, Abb. 4] bürsten die rotierenden Walzen die Kartoffeln auf das Verleseband, während die Steine unter den Bürstenwalzen hindurchgehen. Die geringste Fehltrennung, die bei Veränderung der Umdrehungszahl der Walzen und des Abstandes der Bürstenwalzen vom Band bei einzeln hindurchgeschickten Körpern erreicht wurde, betrug 13 %. Ein Mengenversuch, bei dem die Trennanlage eine Zeit lang gleichmäßig belastet wurde (1,88 kg Kartoffeln/sec), zeigte, daß diese bei einem Steinanteil von 30 % bei kantigen Steinen bis auf 8 % und bei runden Steinen bis auf 17 % alle Steine und Kartoffeln voneinander trennt (Abb. 3). Die bei dem Mengenversuch verwendeten Steine zeigt Abbildung 4.

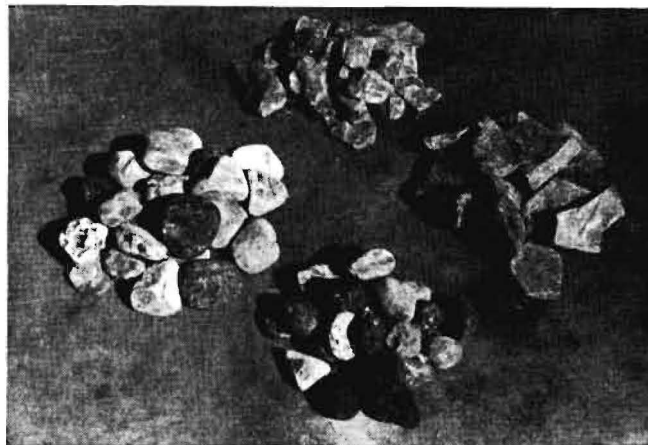


Abb. 4: Form und Größe der beim Mengenversuch verwendeten Steine

Trennung nach Rückprallvermögen und Rollwiderstand

Bei diesen Versuchen fielen die Körper von einem horizontal laufenden Band auf ein zweites, quer zum ersten und ebenfalls horizontal verlaufendes Band. Dabei wurden die Bewegungen von Kartoffeln und Steinen beobachtet und folgendes festgestellt: Es muß nach dem Aufprall ein Impuls vorhanden sein, der die Körper, die durch ihre Form in alle Richtungen zurückprallen, zum Rollen in eine Richtung zwingt. Bei den weiteren Versuchen sollte deshalb der Wind eine gleichmäßige Kraft auf die springenden und rollenden Körper ausüben. Die Steine trafen auf die Unterlage, sprangen kurz zurück und rollten dann, getrieben vom Wind, über die Fläche. Die Kartoffeln dagegen sprangen mehrmals hoch, wobei sie bei jedem Sprung vom Wind durch die größere Sprunghöhe stärker als die Steine abgetrieben wurden. Dadurch hatten sie, bis sie zum Rollen kamen, eine weitere Strecke zurückgelegt als die Steine. Dann wirkte sich zusätzlich ihr geringerer Rollwiderstand aus, so daß sie die Strecke mit geringerem Energieverlust zurücklegten. Um die Trennstrecke aber möglichst kurz zu halten, mußten die Körper Hindernisse, gerippte Unterlagen und schräge Ebenen, überwinden.

Trennung durch Wurf auf verschieden gerippte, ruhende Unterlagen

Kartoffeln und Steine wurden auf eine ebene Unterlage geworfen und dann vom Wind (17 m/sec) über eine grobgerippte (Abb. 5), eine feingerippte und eine glatte Unterlage getrieben. Quer zum Luftstrom lagen auf den Unterlagen drei Leisten, am Anfang der Unterlage, in der Mitte und am Ende. Nur bei der grobgerippten Unterlage wurde die erste Leiste fortgelassen, da diese 10 mm höher war als die beiden anderen Unterlagen. Die Höhe der Leisten wurde mit 10 x 10 mm, 8 x 10 mm und 6 x 10 mm verändert.

Die Ergebnisse zeigt Abbildung 6. Die beste Trennung wurde auf der grobgerippten Unterlage mit 6 mm hohen Leisten erzielt, und zwar bei Trennung an der dritten Leiste. Das heißt:

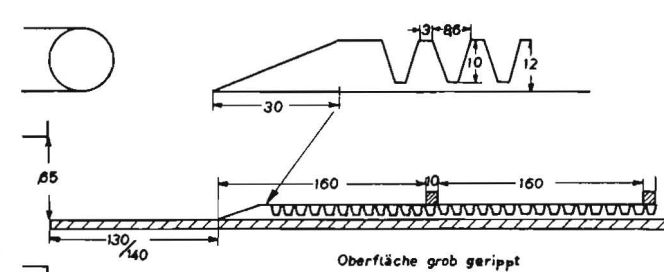


Abb. 5: Versuchsanordnung zur Trennung von Steinen und Kartoffeln durch Wurf auf eine grob gerippte Unterlage (Gummimatte)

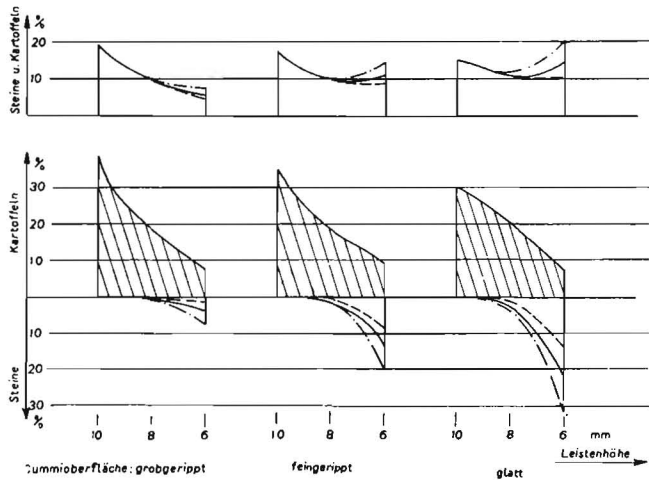


Abb. 6: Fehltrennung von Steinen und Kartoffeln auf verschieden gerippter Oberfläche (Trennung an der dritten Leiste)

Alle Kartoffeln, die vor der dritten Leiste liegenblieben, beziehungsweise alle Steine, die über die dritte Leiste hinwegrollten, wurden als fehlgeleitet bewertet. Das Roll- und Sprungvermögen der Kartoffeln war auf allen drei Unterlagen gleich, denn es rollte jedesmal etwa die gleiche Zahl Knollen über die dritte Leiste. Die Steine rollten dagegen um so schlechter, je grober die Rippung war. Bei hohen Hindernissen gingen wenig Kartoffeln, aber noch weniger Steine über die Leisten, so daß viele Kartoffeln bei den Steinen blieben und demnach fehlgeleitet wurden. Dabei rollte fast kein Stein zu den Kartoffeln. Bei niedrigen Hindernissen dagegen rollten fast alle Kartoffeln und viele Steine hinüber. Es wurden also viele Steine fehlgeleitet. Dafür blieben nur wenig Kartoffeln bei den Steinen. Bei der mittleren Leistenhöhe lag meistens das beste Trennergebnis. Auf der grobgerippten Unterlage lag das beste Trennergebnis bei einer geringeren Leistenhöhe als auf der glatten Unterlage (Tab. 1).

Tabelle 1:

Leistenhöhe (mm), bei der die beste Trennung erzielt wurde

Unterlage	grobgerippt	feingerippt	glatt
Trennung an der 3. Leiste	4,5 mm	7,5 mm	8,5 mm
Trennung an der 2. Leiste	8,0 mm	9,0 mm	11,0 mm

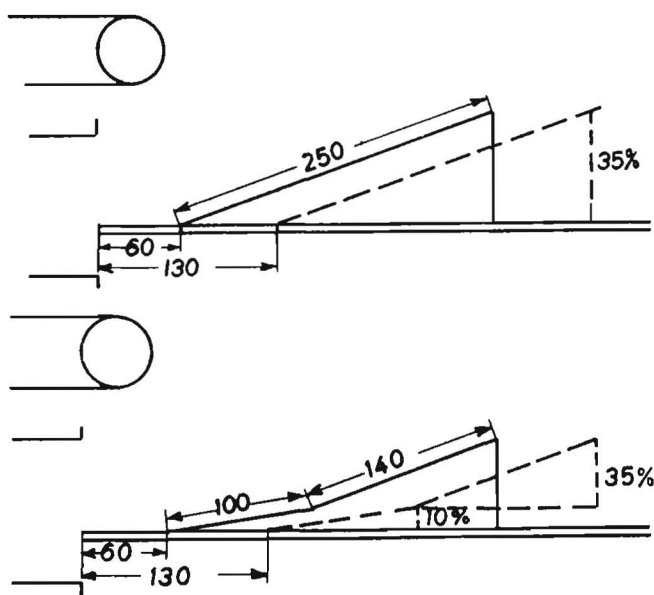


Abb. 7: Versuchsanordnung zur Trennung von Steinen und Kartoffeln an einer schrägen, ruhenden Ebene

Oben: Gleichbleibender Anstiegswinkel
Unten: Unterteilter Anstiegswinkel

Daraus geht hervor, daß die Hindernisse um so kleiner sein können, je gröber die Unterlage ist. Denn die grobe Rippung ist ein Widerstand, der auf der ganzen Rollstrecke auf den Körper einwirkt. Wird aber die Rollstrecke verkürzt und müssen außerdem die Körper ein Hindernis weniger überwinden — was eintritt, wenn die zweite Leiste als entscheidend für die Trennung angesehen wird —, so liegt das optimale Trennergebnis bei einer größeren Leistenhöhe (Tab. 1). Daraus kann gefolgert werden, daß für ein optimales Trennergebnis bei einer konstanten Windgeschwindigkeit den Körpern ein bestimmter Widerstand entgegengesetzt werden muß. Je länger die Rollstrecke ist, oder je gröber gerippt die Unterlagen sind, um so kleiner können die zusätzlichen Hindernisse sein. Wird aber die Windgeschwindigkeit erhöht, wodurch die Körper schneller über die Unterlage rollen, so muß auch der Gesamtwiderstand erhöht werden, und zwar entweder durch Verlängerung der Rollstrecke, oder durch Erhöhung der Leisten. Da die grobgerippte Unterlage mit den niedrigen Leisten das beste Trennergebnis erbrachte, wird ein gleichmäßig wirkender Widerstand, also eine lange Rollstrecke, immer die besseren Ergebnisse bringen als die kurze Rollstrecke mit hohen Hindernissen. Das geht auch aus dem Trennergebnis an der zweiten Leiste hervor, auf der das beste Trennergebnis ebenfalls auf der grobgerippten Unterlage, aber mit 9 % fehlgeleiteten Körpern erzielt wurde. Bei Trennung an der dritten Leiste wurden auf der grobgerippten Unterlage nur 5 % aller Steine und Kartoffeln fehlgeleitet.

Versuche zur Trennung auf einer schrägen ansteigenden Ebene

Die schräge Ebene ist für die aufwärts rollenden Steine und Kartoffeln ein gleichmäßig wirkender Widerstand. Ihnen wirkt hier neben dem Rollwiderstand die parallel zur Ebene gerichtete Komponente der Schwerkraft entgegen. Obgleich das Verhältnis der Rollwiderstände von Steinen und Kartoffeln bei zunehmender Steigung gleich bleibt, nimmt der absolute Rollwiderstand ab. Denn die für den Rollwiderstand entscheidende Normalkraft, welche senkrecht auf die Ebene gerichtet ist, wird kleiner. Dagegen gewinnt das spezifische Gewicht an Einfluß. Denn außer dem Rollwiderstand muß die parallel zur Ebene abwärts wirkende Komponente der Schwerkraft überwunden werden. Sie ist wie das spezifische Gewicht beim Stein im Mittel 2,3 mal so groß wie bei der Kartoffel. Rollen die Körper die Ebene aufwärts, so wirkt sich das auf die Trennung günstig aus, da die Kartoffel geringere Widerstände zu überwinden hat. Beim Abwärtsrollen wird dagegen der Unterschied im Rollwiderstand durch die größere Masse des Steines ausgeglichen, der eher zum Rollen kommt. Deshalb wurde nur Versuche angestellt, bei denen der Wind die Körper an der schrägen Ebene hochtrieb. Dabei kamen die Körper entweder an der schrägen Ebene zur Ruhe und blieben dort liegen, oder sie wurden über die obere Kante hinweggetrieben.

1. Trennung an einer schrägen, ruhenden Ebene

Bei den Versuchen fielen die Körper einmal auf eine schräge Ebene (Abb. 7a), um diese dann zu überwinden (Abstand der schrägen Ebene von der Düse 60 mm) und einmal auf eine horizontale Ebene (Abstand der schrägen Ebene von der Düse 130 mm), um anschließend über die schräge Ebene zu rollen. Dieselben Versuche wurden bei einer schrägen Ebene mit unterteiltem Anstiegswinkel wiederholt (Abb. 7b). Letztere wurde an Stelle einer Fläche mit allmählich zunehmender Steigung verwendet. Bei einer konstanten Windgeschwindigkeit von 16,5 m/sec betrug die Steigungen 15, 25 und 35 %. Bei der schrägen Ebene mit unterteiltem Anstiegswinkel blieb die erste Steigung mit 10 % konstant, und nur die zweite Steigung wurde verändert. Die Kartoffeln sollten über die obere Kante der schrägen Ebene hinwegrollen und die Steine davor liegen bleiben. Die Fehlrennung dieser Untersuchung zeigt Abbildung 8.

Bei der ersten und dritten Kurvengruppe wird bei 35 % Steigung die geringste Fehlrennung gerade erreicht, während bei der zweiten und vierten Kurvengruppe die geringste Fehlrennung schon bei 25 % liegt und bei stärkerer Steigung wieder größer wird, da zu viele Kartoffeln an der schrägen

Ebene liegen blieben. Bei der ersten und dritten Kurvengruppe trafen die Körper auf die schräge Ebene, bei der zweiten und vierten Kurvengruppe auf die horizontale Ebene und wurden dann erst, soweit sie der Wind in Bewegung hielt, die schräge Ebene hochgetrieben. Im letzteren Fall hatten die Körper eine weitere Strecke bis zur oberen Kante zurückzulegen, als wenn sie gleich auf die schräge Ebene trafen. Damit war der Widerstand, den sie bei gleicher Steigung zu überwinden hatten, größer als bei der ersten und dritten Gruppe, und deshalb mußte bei gleicher Windgeschwindigkeit das beste Trennergebnis schon bei einer geringeren Steigung liegen. Damit bestätigt sich die Beobachtung bei der Trennung an der gerippten Oberfläche, daß jeder Windgeschwindigkeit ein bestimmter Widerstand zugeordnet ist.

Außerdem sind die Trennergebnisse der zweiten und vierten Kurvengruppe besser als die der ersten und dritten. Denn beim Auftreffen auf die schräge Ebene springen die Körper dem Wind eine größere Strecke entgegen — also die Ebene abwärts —, bis der Wind sie aufhält und dann die schräge Ebene wieder aufwärts treibt. Weil die Körper bei der Umkehr zur Ruhe kommen, bevor der Wind sie hochtreibt, rollen sie nur noch die Ebene aufwärts, und die Überlegenheit der Kartoffel im Rückprallvermögen geht verloren.

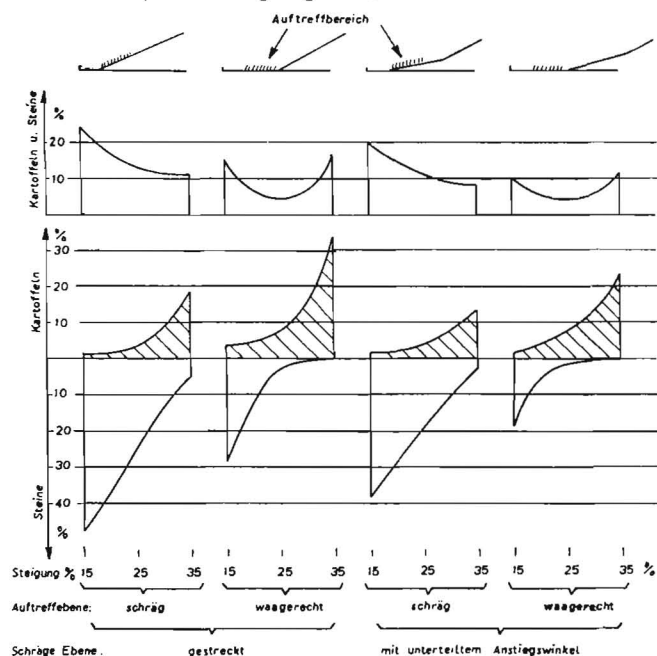


Abb. 8: Fehltrennung von Steinen und Kartoffeln bei Trennung mit Wind an der schrägen, ruhenden Ebene auf Grund des unterschiedlichen Rückprall- und Rollvermögens

Und zuletzt ist die Kurvengruppe 3 besser als die Kurvengruppe 1 und die Gruppe 4 besser als die Gruppe 2. Denn an der schrägen Ebene mit unterteiltem Anstiegswinkel können die Kartoffeln durch das allmähliche Ansteigen der schrägen Ebene und die damit verbundenen spitzen Auftreffwinkel über eine längere Strecke ihre Sprünge fortsetzen. Dadurch ist der Energieverlust geringer als wenn sie durch einen plötzlichen Anstieg (großer Auftreffwinkel) sofort zum Rollen gezwungen werden. Die beste Trennung wurde beim Auftreffen auf die horizontale Unterlage und einer sich anschließenden schrägen Ebene mit unterteiltem Anstiegswinkel bei einer Steigung von 25 % erzielt. 4,5 % der Kartoffeln und Steine wurden fehlgeleitet.

2. Trennung an einer schrägen, sich seitwärts bewegenden Ebene bei verschiedenen Windgeschwindigkeiten

In einer weiteren Versuchsreihe wurde die schräge Ebene seitwärts quer zum Luftstrom in Bewegung gesetzt. Außerdem wurden die Windgeschwindigkeiten und die Steigungen der Ebene verändert (Abb. 9). Hier wurde wegen technischer Schwierigkeiten die Erkenntnis der vorhergehenden Versuchsreihe vernachlässigt, daß die beste Trennung bei einem Auftreffen auf eine horizontale Ebene und anschließendem Rollen über eine schräge Ebene mit unterteiltem Anstiegswinkel

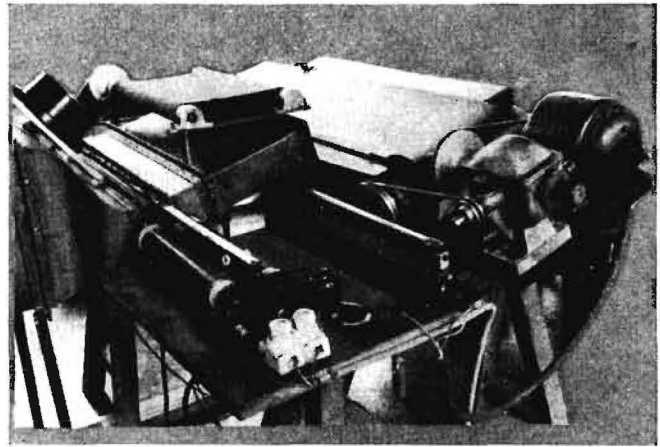


Abb. 9: Versuchsanordnung zur Trennung von Steinen und Kartoffeln an einer schrägen, sich seitwärts bewegenden Ebene

winkel erzielt wird. Die Körper prallten auf eine schräge Ebene und rollten über diese hinweg. Das Ergebnis der Untersuchung zeigt Abbildung 10. Je größer die Windgeschwindigkeit war, um so größer mußte die Steigung der Ebene sein. Das zeigt auch die Tabelle 2.

Tabelle 2:

Abhängigkeit der Steigung der schrägen Ebene von der Windgeschwindigkeit bei optimaler Trennung

Windgeschwindigkeit m/sec	15,0	17,5	20,0	22,5
Steigung in % bei geringster Fehltrennung	10,0	20,0	30,0	40,0
Trennergebnis: fehlgeleitete Körper in %	10,4	8,3	5,8	6,1
Ein anderer Versuch mit einer größeren Höhe des Düsenquerschnitts erbrachte das gleiche Ergebnis:				
Windgeschwindigkeit m/sec	20,0	22,5	25,0	27,5
Steigung in % bei geringster Fehltrennung	30,0	40,0	50,0	70,0
Trennergebnis: fehlgeleitete Körper in %	7,8	9,7	13,4	18,8

Diese Abhängigkeit der Windkraft von der Steigung der schrägen Ebene zeigt Abbildung 11. Die parallel zur schrägen Ebene, also der Windkraft entgegenwirkende Kraftkomponente $G \sin \alpha$ ist hier in % des Gewichtes ausgedrückt

$$\frac{G \sin \alpha}{G} = \sin \alpha$$

In diesem Fall entspricht der Prozentsatz dem \sin des Winkels. Diese beiden Versuchsreihen, bei denen die Windgeschwindigkeit verändert wurde, zeigen auch, wie abhängig das Trennergebnis von der Form der Steine ist. In Abbildung 12 ist das Trennergebnis dargestellt, wie es ausgesehen hätte, wenn nur runde, kantige oder sehr flache Steine unter den Kartoffeln gewesen wären. Aus Raumerparnis sind nur die

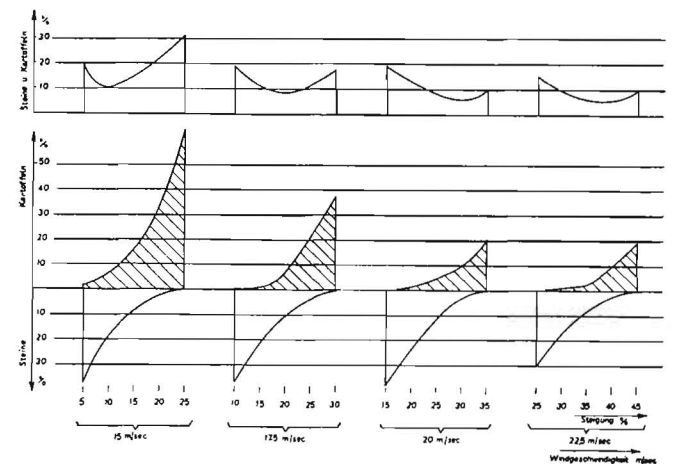


Abb. 10: Fehltrennung von Steinen und Kartoffeln an der schrägen Ebene unter Veränderung der Windgeschwindigkeit und der Steigung (Höhe des Düsenquerschnittes 65 mm)

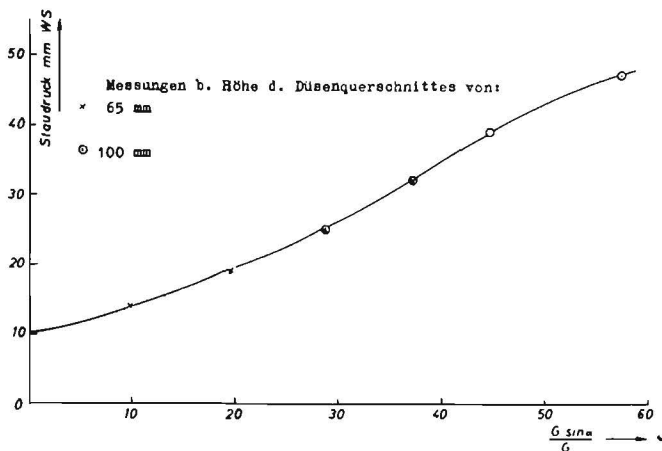


Abb. 11: Die Abhängigkeit des Staudruckes von der Steigung der schrägen Ebene bei optimaler Trennung

Windgeschwindigkeiten von 15 bis 27,5 m/sec gegenübergestellt. Während bei 15 m/sec mit nur runden Steinen 18 % aller Kartoffeln und Steine fehlgeleitet worden wären, wäre bei der hohen Windgeschwindigkeit ein sehr gutes Trennergebnis herausgekommen (12 %). Bei den scheibenförmigen Steinen wäre das Trennergebnis bei niedrigen Windgeschwindigkeiten gut (5 %) und bei hohen Windgeschwindigkeiten sehr schlecht gewesen (33 %). Das Verhalten der runden Steine führt auf das zurück, was einleitend über die Trennung an der schrägen Ebene gesagt wurde: Mit zunehmender Steigung nimmt die Normalkraft ab, während die parallel zur Ebene wirkende Kraftkomponente zunimmt. Die Wirkung des Rollwiderstandes läßt nach. Dafür wirkt sich das unterschiedliche spezifische Gewicht stärker aus: Die runden Steine werden besser aussortiert. Die scheibenförmigen, flachen Steine blieben bei 15 m/sec immer an der schrägen Ebene liegen. Bei hoher Windgeschwindigkeit begannen sie dagegen zu „flattern“, das heißt der Luftstrom griff unter die Scheibe und trug sie davon. Damit haben diese Versuche das Ergebnis der theoretischen Betrachtung einer Trennung von Kartoffeln und Steinen im vertikalen Luftstrom bestätigt, nämlich, daß Steine in der Form von Scheiben bei einer Trennung nach der Schwebegeschwindigkeit durch ihren großen Luftwiderstand zu den Kartoffeln getragen werden [2, S. 77].

Zum Abschluß wurde noch die Zeit ermittelt, während der der Luftstrom noch gerade auf die Körper einwirken muß, ohne daß sich das Trennergebnis verschlechtert. Es wurde mit einer Windgeschwindigkeit von 15 m/sec, einer Steigung von 10 % und einer Geschwindigkeit des quer zum Luftstrom verlaufenden 350 mm breiten Bandes von 0,3 m/sec gearbeitet. Kartoffeln und Steine müssen unter diesen Bedingungen 1,3 bis 1,5 sec dem Luftstrom ausgesetzt sein. Diese Zeit ist gerade noch lang genug, um die Körper unter den oben geschilderten Bedingungen voneinander zu trennen.

Ausblick

Aus all diesen Versuchen ist zu ersehen, daß eine Trennung von Kartoffeln und Steinen möglich ist. Dabei wird das Trennergebnis vom Aufwand abhängen. Je mehr Trennverfahren

Résumé:

Dr. agr. O. Maack: „Trennung von Kartoffeln und Steinen nach Rückprallvermögen und Rollwiderstand.“
 Auf Grund der im ersten Teil der Untersuchung (Landtechnische Forschung 3/1957) gesammelten Erkenntnisse werden Verfahren untersucht, in denen Kartoffeln und Steine nach dem Rückprallvermögen, nach dem Rollwiderstand oder nach beiden Eigenschaften gemeinsam getrennt werden. — Ein Verfahren, bei dem nach dem Rückprallvermögen getrennt wurde, erbrachte ein ungenügendes Ergebnis. Vor anderen Verfahren, die nach dem Rollvermögen trennen, kann dieses aber eine gute Vortrennung erbringen, so daß bei der Haupttrennung schon ein großer Teil der Steine vorher ausgeschieden wäre. — Bei der Trennung nach dem Rollwiderstand ließen sich bei allen geprüften Verfahren Kartoffeln und Steine bis auf 15 % trennen, wenn im Kartoffel-Steingemisch nur runde Steine waren, bis auf 8 %, wenn es nur kantige Steine enthielt. — Bei der Trennung nach Rückprallvermögen und Rollwiderstand war das Trennergebnis um so besser, je mehr das größere Rückprallvermögen der Kartoffeln ausgenutzt wurde. Auch die Anordnung der Hindernisse, welche die springenden und rollenden Körner zu überwinden hatten, spielte eine Rolle. Im besten Fall konnten bis auf 4,5 % alle Kartoffeln und Steine getrennt werden.

Dr. Agr. O. Maack: „Separation of Potatoes by Rebound and Resistance to Rolling.“

On the basis of knowledge gained from the tests described in the first part of this article (Landtechnische Forschung 3/1957) methods of separation of potatoes and stones by methods utilising the properties of rebound, resistance to rolling or a combination of both, were investigated. One method, which utilised the property of rebound as a means of separation, gave unsatisfactory results. Other methods using the varying rolling powers of stones and potatoes enabled a very satisfactory pre-separation to be made, whereby a greater part of the stones were already eliminated. In all methods based on resistance to rolling which were examined, potatoes and stones were separated up to 15 % in mixtures of potatoes and round stones. This result was reduced to a remainder of 8 % for mix-

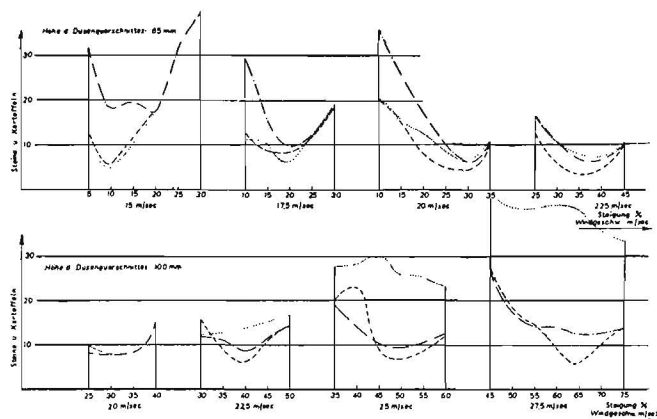


Abb. 12: Die Gesamtfehleitung von Steinen und Kartoffeln bei nur runden, kantigen und scheibenförmigen Steinen an einer schrägen Ebene

Fehlleitung bei runden Steinen ————
 Fehlleitung bei kantigen Steinen - - - - -
 Fehlleitung bei scheibenförmigen Steinen

die Kartoffeln und Steine hintereinander durchlaufen müssen, um so besser wird die Trennqualität sein. Die Zahl und die Art der Trennverfahren richten sich nach der Form der Steine. Runde Steine wird man am besten nach dem spezifischen Gewicht trennen, kantige Steine nach dem spezifischen Gewicht oder dem Rollwiderstand, vielleicht verstärkt durch das Rückprallvermögen. Außerdem dürfen zwei hintereinander arbeitende Verfahren nicht nach der gleichen Eigenschaft trennen, da das zweite Verfahren das Ergebnis nur wenig verbessern würde.

Als sehr günstig erscheint die Trennung auf einem geneigten, mit Gummifingern dicht besetzten Band. Kartoffeln und Steine fallen auf dieses Band, und die weniger tief eindringenden Kartoffeln werden vom Luftstrom oder von Bürstenwalzen das Band hinaufgetrieben. Dazu wäre eine systematische Untersuchung der Elastizität der Finger und des Fingerabstandes nötig. Bei diesem Verfahren würde nach spezifischem Gewicht und Rollvermögen getrennt werden. Ähnliche Ergebnisse würde ein anderes Verfahren bringen, bei dem Kartoffeln und Steine auf ein quer zur Bewegungsrichtung allmählich ansteigendes Band fallen und vom Wind die schräge Ebene hochgetrieben werden würden. Die besser springenden und rollenden Körper überwinden die Steigung und fallen hinter dem Band auf eine mit Gummifingern besetzte Walze, auf der die letzten runden Steine abgetrennt werden. In diesem Verfahren würden Kartoffeln und Steine nach Rückprallvermögen, Rollwiderstand und anschließend nach dem spezifischen Gewicht getrennt. Je besser bei allen Trennverfahren die unterschiedlichen Eigenschaften von Kartoffeln und Steinen ausgenutzt werden, um so besser wird das Trennergebnis sein.

Schrifttum:

- [1] Maack, O.: Die mechanische Trennung von Kartoffeln und Steinen. Prüfung bekannter Verfahren und Entwicklung neuer Methoden unter besonderer Berücksichtigung der unterschiedlichen Eigenschaften von Steinen und Kartoffeln im Luftstrom. Diss. Göttingen 1956
- [2] Maack, O.: Die mechanische Trennung von Kartoffeln und Steinen. Landtechn. Forsch. 7 (1957) H. 3 S. 71/78
- [3] Maack, O.: Steinausleseanlage am „Digger“. Landmaschinenmarkt 35 (1956) S. 582

tures of potatoes and jagged stones. When both the properties of rebound and resistance to rolling were utilised, separation was improved in direct proportion to the increase in rebound capacity of the potatoes. The method of arrangement of the obstacles to be overcome by the rebounding and rolling bodies also had some bearing on the results. The optimum method enabled all potatoes and stones to be separated down to a remainder of 4.5 %.

Dr. agr. O. Maack: «La séparation des pommes de terre et des cailloux d'après leur pouvoir de rebondissement et leur résistance au roulement.»

Les résultats obtenus lors de la première série d'essais ont servi de base pour examiner les méthodes qui visent à séparer les pommes de terre et les cailloux en faisant appel: premièrement à leur pouvoir de rebondissement, deuxièmement à leur résistance au roulement et troisièmement à l'intervention commune de ces deux facteurs. Une méthode de séparation établie sur le pouvoir de rebondissement n'a donné qu'un résultat médiocre. Quand cette méthode est appliquée avant des méthodes basées sur la résistance au roulement, elle permet une bonne présélection par l'élimination d'une grande partie des cailloux. Toutes les méthodes travaillant avec la résistance au roulement ont permis de séparer les pommes de terre et les cailloux jusqu'à 15 % quand le mélange pommes de terre/cailloux ne comportait que des cailloux ronds et jusqu'à 8 % quand ce mélange ne comportait que des cailloux angulaires. La séparation basée sur l'action commune du pouvoir de rebondissement et de la résistance au roulement a conduit à des résultats d'autant meilleurs que l'on a mis à profit le pouvoir de rebondissement élevé des pommes de terre. La disposition des obstacles que les corps rebondissants ou roulants doivent surmonter n'est pas sans influencer sur les résultats. Dans les conditions les meilleures, on a obtenu une séparation jusqu'à 4,5 %.

Dr. agr. O. Maack: «La separación de patatas y de piedras por rebote y resistencia al rodamiento.»

Fundándose en las investigaciones y los conocimientos adquiridos por las mismas (ver Landtechnische Forschung 3/1957), se investigan procedimientos para la separación de patatas y de piedras por el rebote, por la resistencia al rodamiento, o por las dos condiciones combinadas. Un procedimiento basado en el rebote, dió resultados insuficientes. Pero como procedimiento anterior al de por rodamiento, puede servir bien de separación previa, quedando separada buena parte de las piedras ya antes de la separación principal. En la separación por rodamiento, todos los procedimientos ensayados resultaron en una separación menos el 15 %, conteniendo la mezcla solamente piedras redondas, y menos el 8 %, cuando solamente había piedras de canto. En la separación combinada de rebote y rodamiento, el resultado fué tanto mejor, cuanto más se aprovechaba el rebote de las patatas. Hacia también un papel importante la disposición de los obstáculos que los cuerpos tuvieron que vencer saltando o rodando. En el mejor de los casos pudo llegarse a separar patatas y piedras quedando el 4,5 %.

Dr. agr. F. Lorenz:

Zwei Bewertungsmethoden für die Streugenaugigkeit von Düngerstreuern

Institut für Landtechnik, Pretoria, Südafrika

Mit dem Ausbau und der Weiterentwicklung der Maschinenprüfungen werden objektive Prüfmethode erforderlich, die vergleichbare Ergebnisse liefern. Bevor eine Methode als allgemeine Bewertungsgrundlage eingeführt werden kann, muß sie selbst geprüft und mit anderen bestehenden Methoden verglichen werden. Für die Auswertung der Streuversuche von Düngerstreumaschinen sind in letzter Zeit zwei Methoden entwickelt worden:¹⁾

1. Auswertung unter Verwendung der Varianzanalyse [2],
2. Auswertung mit Hilfe einer Ertragsgleichung [3].

Mit Hilfe der Düngerstreumaschine wird eine gleichmäßige Verteilung der Düngemittel angestrebt, das heißt, nach dem Bestreuen soll innerhalb jeder Meßgröße von 20 cm x 20 cm (Platten oder Kästchen) möglichst die gleiche Düngermenge vorhanden sein. Das ist eine theoretische Unterstellung. In der Praxis werden die gemessenen Werte mehr oder minder um den Mittelwert streuen.

Bei Anwendung der Varianzanalyse wird davon ausgegangen, daß die Düngermengen innerhalb der Meßgrößen statistische Werte sind. Die Streuung um den Mittelwert kann die folgenden Ursachen haben und beeinflußt werden durch:

- a) die Streueigenschaften des verwendeten Düngemittels,
- b) die Arbeit der Maschine,
- c) den Zufall (die sogenannte Fehlerstreuung).

Mit Hilfe der Varianzanalyse [2] können die einzelnen Streuungsursachen getrennt werden. Es ist dabei als sehr wesentlich anzusehen, daß es möglich ist, den Maschineneinfluß in Quer- und Längsrichtung gesondert zu erfassen. Das ist deshalb wichtig, weil viele Düngerstreuer nur in einer Richtung ungleichmäßig streuen (streifig oder wellig). Die positiven und negativen Abweichungen vom Mittelwert werden bei dieser Methode gleichmäßig bewertet.

Heyde [3] geht von der Ansicht aus, daß das Streubild durch eine zum Pflanzenertrag in Beziehung stehende Gütezahl bewertet werden sollte. Als Grundlage für seine Bewertung dient die von Mitcherlich angegebene Beziehung

$$y = 100 (1 - 10^{-cx}) \quad (1)$$

worin c ein Wirkungsfaktor des im Düngemittel enthaltenen Nährstoffes und x die Menge Reinnährstoff in dz/ha sind. Bei Anwendung der Beziehung (1) werden die positiven Abweichungen vom Mittelwert geringer bewertet als die negativen

Abweichungen. Das soll dem Gesetz vom abnehmenden Bodenertragszuwachs entsprechen, wonach die erste Düngereinheit den größten Zuwachs bringt, jede weitere Düngereinheit aber einen, entsprechend der Beziehung (1), geringeren Ertragszuwachs zur Folge hat.

Ein Vergleich beider Methoden an praktischen Beispielen soll hier folgen.

Zur Erklärung seiner Methode verrechnet Heyde [3] einen vom Verfasser [2] angeführten Streuversuch. Heyde kommt zu einer Wertzahl für die Streugüte $W = 97,3$. Als Grenzwert ($W_G \pm 50 \%$), unterhalb dem das Streubild als ausgesprochen schlecht bezeichnet wird, ist $W_G \pm 50 \% = 91,8$ errechnet. Wird als Grenzwert eine Abweichung von $\bar{z} = 25 \%$ zugrunde gelegt, so erhalten wir einen $W_G \pm 25 \% = 98,08$.

Verfasser kommt bei Verrechnung desselben Beispiels nach der Varianzanalyse zu einem F-Wert für Säulen von 4,03. Der F-Tabellenwert für die entsprechenden Freiheitsgrade ist für $P = 5 \%$ 2,1 und für $P = 1 \%$ 2,9. Der errechnete F-Wert für die Blockstreuung ist 35,76. Die F-Tabellenwerte sind für $P = 5 \%$ 1,8 und für $P = 1 \%$ 2,3.

Ein anderer Kali-Streuversuch mit kleineren Düngergewichten soll als Vergleich herangezogen werden.

Tabelle 1: Düngergewichte in g/0,04 m² in den Kästen der Prüfbahn

										SB	
0,63	0,80	0,52	0,45	0,47	0,33	0,33	0,33	0,27	0,20	4,33	
0,73	0,61	0,56	0,55	0,30	0,29	0,31	0,32	0,28	0,18	4,13	
1,05	0,74	0,59	0,46	0,26	0,26	0,28	0,29	0,25	0,22	4,40	
0,56	0,92	0,48	0,37	0,34	0,30	0,35	0,35	0,25	0,16	4,08	
0,67	0,90	0,46	0,43	0,33	0,30	0,37	0,32	0,30	0,22	4,30	
1,21	0,79	0,84	0,37	0,40	0,34	0,41	0,32	0,28	0,35	5,31	
0,97	0,70	0,62	0,44	0,39	0,33	0,38	0,31	0,31	0,17	4,62	
0,90	0,86	0,72	0,45	0,41	0,40	0,35	0,41	0,32	0,29	5,11	
0,69	0,73	0,57	0,36	0,44	0,34	0,29	0,24	0,38	0,47	4,51	
0,78	0,75	0,67	0,33	0,30	0,30	0,32	0,22	0,32	0,21	4,20	
Σ	8,19	7,80	6,03	4,21	3,64	3,19	3,39	3,11	2,96	2,47	

$$S_x = 44,99 \quad \bar{x} = 0,4499$$

$$\bar{x} S_x = 0,4499 \cdot 44,99 = 20,2410$$

$$SQ_G = (0,63^2 + 0,80^2 + \dots + 0,32^2 + 0,21^2) - 20,2410$$

$$= 4,7247$$

$$SQ_L = (8,19^2 + 7,80^2 + \dots + 2,96^2 + 2,47^2) \cdot \frac{1}{10} - 20,2410$$

$$= 3,90435$$

$$SQ_B = (4,33^2 + 4,13^2 + \dots + 4,51^2 + 4,20^2) \cdot \frac{1}{10} - 20,2410$$

$$= 0,15249$$

$$SO_F = 4,7247 - (3,90435 + 0,1525) = 0,6679$$

¹⁾ Über die den Prüfungen zugrunde liegende Meßgröße von 20 cm x 20 cm [1] besteht insofern Einigkeit, als bei dem heiligen Stand der Wissenschaft gegen diese Größe nichts einzuwenden ist.