

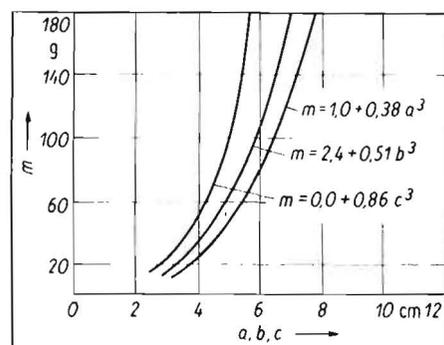
Sortiereignung von Kartoffelknollen

Dr.-Ing. J. Břečka, Hochschule für Landwirtschaft Prag

1. Einleitung

Da bisher nur komplizierte Trennmechanismen die Kartoffelsortierung nach der Masse ermöglichen, werden die Knollenabmessungen als sekundäres Trennkriterium verwendet. Im staatlichen Standard der ČSSR (ČSN) werden für Pflanz- und Speisekartoffeln einige charakteristische Abmessungen angeführt, z. B. die Knollenlänge früher Speisekartoffeln (minimal 40 mm) oder der Querdurchmesser später Speise- und Pflanzkartoffeln. Der Querdurchmesser wird nach Qualität (bei Speisekartoffeln Auslese und Qualität I bis III, bei Pflanzkartoffeln einfache und doppelte Sortierung) und Knollenform, die eine Sorteneigenschaft ist, festgelegt. Bei Speisekartoffeln wird nach der Knollenform zwischen ovalen und kugeligen Knollen unterschieden, wobei ovale solche sind, bei denen ein nicht näher bestimmter „überwiegender“ Anteil der Knollen eine um $\frac{1}{4}$ größere Länge als Breite hat. Bei Pflanzkartoffeln werden ovale bis lange, sonstige (kugelige, runde) und hörnchenförmige Knollen unterschieden, die nach dem Längsdurchmesser sortiert werden. Ovale bis lange Knollen sind im Standard nicht näher definiert. Der durch den Standard festgelegte Quer- oder Längsdurchmesser wird mit einem Quadratmaßkaliber gemessen. Die meisten Sortiereinrichtungen haben ebenfalls quadratische Sieböffnungen, so daß das gewählte Meßmittel vorteilhaft ist. Bei Verwendung von Sieben oder Mechanismen mit nichtquadratischen Öffnungen, z. B. kreisförmigen oder länglichen, erfaßt ein Quadratmaß nicht die Knollenabmessungen, nach denen diese Mechanismen sortieren.

Bild 1. Knollenmasse m in Abhängigkeit von Länge a , Breite b und Dicke c bei Knollen der Kartoffelsorte 'Krašava'



2. Methodik und Ergebnisse

Die Eigenschaften von Kartoffelknollen im Hinblick auf die Sortierung können durch Masse, Volumen und Abmessungen charakterisiert werden. Dabei ist die sich ändernde Knollenform unterschiedlicher Sorten zu beachten. Die Sortierung mit Sieben oder Profiwalzen erfolgt auf der Basis der Knollenabmessungen, einer nur sekundären Eigenschaft, vor allem nach der Knollenbreite und -dicke oder nur nach der Knollenbreite.

2.1. Masse, Volumen und Abmessungen der Knollen

Wird die Knollenform auf ein abgeflachtes Ellipsoid der Länge a , der Breite b und der Dicke c reduziert, ist ihr Volumen

$$V = \frac{\pi}{6} a b c. \quad (1)$$

Ist die Knollendichte ρ bekannt, kann die Knollenmasse m bestimmt werden zu

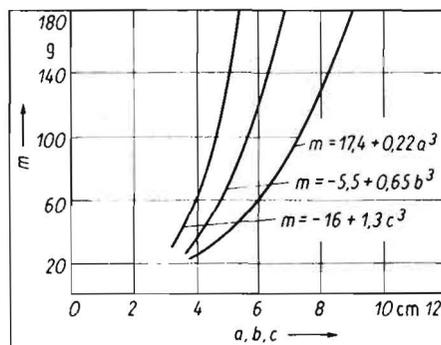
$$m = V\rho = \frac{\pi}{6} a b c \rho. \quad (2)$$

Aus Gl. (2) ist ersichtlich, daß sich die Masse m mit der 3. Potenz der Abmessungen ($a b c$) ändert. Angenähert kann die Knollenmasse nach Gl. (3) bestimmt werden:

$$m = \epsilon a b c; \quad (3)$$

ϵ Koeffizient, der außer der Knollendichte auch die Formdifferenzen zwischen dem angenommenen flachen Ellipsoid und der tatsächlichen Knolle beinhaltet und im Bereich von $(0,56 \dots 0,65) 10^3 \text{ kg/m}^3$ angegeben wird.

Bild 2. Knollenmasse m in Abhängigkeit von Länge a , Breite b und Dicke c bei Knollen der Kartoffelsorte 'Blanik'



Bei den 17 untersuchten Kartoffelsorten änderte sich ϵ in zwei aufeinanderfolgenden Jahren im Bereich von $(0,55 \dots 0,73) 10^3 \text{ kg/m}^3$. Diese Spanne wurde aus den Mittelwerten berechnet, so daß der Schwankungsbereich bei der Berechnung aus den Einzelwerten auch größer sein kann.

Um die kubische Abhängigkeit $m = f(a b c)$ durch Prüfung bestätigen zu können, ist die Einführung einer allgemeinen Form der kubischen Parabel vorteilhaft:

$$m = A + B(a, b, c)^3. \quad (4)$$

Die sich dem Wert 1 nähernden Korrelationskoeffizienten weisen auf einen sehr engen Zusammenhang der gemessenen Werte mit der allgemeinen Form der Parabel hin. Zur Veranschaulichung sind von den 17 untersuchten Kartoffelsorten die Zusammenhänge für eine runde Kartoffelsorte ('Krašava') und für eine ovale Kartoffelsorte ('Blanik') in den Bildern 1 und 2 dargestellt. Bei runden Knollen (Bild 1) liegen die Parabeln aller 3 Abmessungen (a, b, c) sehr dicht beieinander, und die Regression der Abmessungen b und c ist geringer als bei ovalen Knollen. Deshalb können runde Knollen exakter nach den Abmessungen b und c in bestimmte Abmessungs- und damit auch Maschengruppen sortiert werden.

Die drei Grundmaße können durch ein Maß, den äquivalenten Knollendurchmesser

$$d = \sqrt[3]{a b c} \quad (5)$$

ersetzt werden, aus dem ebenfalls die Knollenmasse bestimmt werden kann:

$$m = \epsilon d^3. \quad (6)$$

2.2. Häufigkeitsverteilung der Knollenabmessungen und -masse

Die Häufigkeitsverteilungen der Knollenabmessungen und -masse haben Bedeutung für die Berechnung des Ertrags und können zur Festlegung geeigneter Abmessungen von Öffnungen der Sortier- und Fördereinrichtungen der Maschinen herangezogen werden.

Die Häufigkeitsverteilungen der Länge, Breite und Dicke wurden bei 15 Kartoffelsorten untersucht. Aufgrund der eindeutigen Ergebnisse wurden nur 4 Sorten mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test bewertet, jede Sorte mit 7 Prüfungen während der Vegetationszeit (10. Juli bis 27. September). Bei allen Un-

Fortsetzung von Seite 367

Werden beide zulässigen Werte überschritten, so muß entweder eine Änderung der Grundkonzeption der Maschine, z. B. des Achsabstands, durchgeführt oder eine nicht optimale Einstellung des Regelkreises in Kauf genommen werden.

5. Kartoffelbeschädigungen und -verluste

Untersucht man die auftretenden Verluste und Beschädigungen als Funktion der Maulweite der Kartoffelaufnahmeelemente bei

verschiedenen Sorten (Bild 5) für die automatische Lenkung und die Handlenkung, so zeigt sich, daß die resultierende Scharabweichung bei automatischer Lenkung nur 36 mm beträgt, während sie bei Handlenkung 68 mm erreicht.

Daraus ergeben sich unterschiedliche Beschädigungen und damit Kartoffelverluste. Bei einem zulässigen Wert von 1% Massenanteil sind bei den Sorten „Ora“ und „Mariella“ mit automatischer Lenkung nur Maulweiten von etwa 480 mm bzw. 500 mm notwendig, während es mit Handlenkung bei

der Sorte „Ora“ 540 mm und bei „Mariella“ etwa 600 mm wären. Dadurch verringert sich die aufzunehmende Dammasse bei Anwendung der automatischen Lenkung.

Literatur

- [1] Jakob, P., u. a.: Automatische Lenkung. VEB Weimar-Kombinat, Bericht 1969.
- [2] Jakob, P.: Beitrag zur beimengungsarmen Kartoffelaufnahme. Technische Universität Dresden, Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik, Dissertation B 1978.

untersuchungen wurde eine nur unbedeutende Differenz zwischen der empirischen Verteilung und der theoretischen Normalverteilung nach Gauß nachgewiesen. Nur in einem Fall (von 81) wurde ein bedeutender Unterschied festgestellt, und zwar bei der Knollenlänge der Kartoffelsorte 'Blanik'. Diese Verteilung ist im Bild 3 zusammen mit den Häufigkeitsverteilungen dargestellt, bei denen Signifikanz der Differenzen nicht nachgewiesen wurde. Aus den Kurven ist ersichtlich, daß bei anderer Wahl der Klassengrenzen auch bei dieser Untersuchung Signifikanz der Differenzen nicht unbedingt feststellbar sein muß. Die Gesamtheit der Längen, Breiten und Dicken weist also Normalverteilung auf, so daß zur statistischen Charakterisierung der Grundgesamtheit der Mittelwert und die mittlere quadratische Abweichung verwendet werden können. Gleichzeitig wurden die Häufigkeitsverteilungen der Knollenmasse untersucht. Hierbei wurde mit hoher Wahrscheinlichkeit eine bedeutende Abweichung der empirischen von der Normalverteilung festgestellt. Nur in drei Untersuchungen (von 27) konnte eine bedeutende Differenz nicht nachgewiesen werden, z. B. bei einer Untersuchung der Kartoffelsorte 'Saskia' (Bild 4), in den übrigen zwei Untersuchungen derselben Kartoffelsorte wurde sie festgestellt. Auf der Grundlage der Untersuchungen kann also abgeleitet werden, daß die Häufigkeitsverteilungen der Knollenmasse nicht der Normalverteilung unterliegen. Die unsymmetrische Häufigkeitsverteilung der Knollenmasse zeigt, daß in der Gesamtheit der geernteten Knollen ein höherer Anteil Knollen mit geringer Masse vorhanden ist. Ein Teil dieser Knollen fällt bei der Ernte durch die Siebe (Verluste) oder gelangt bei der Sortierung in den Abfall (Ertragsminderung).

Die empirischen Häufigkeitsverteilungen der Knollenabmessungen und -masse stimmen auch mit einer einfachen mathematischen Überlegung überein. Zeigen die Knollenabmessungen (Länge, Breite, Dicke) der Grundgesamtheit der Knollen Normalverteilung, kann die Knollenmasse der gleichen Grundgesamtheit nicht normalverteilt sein, da sie sich mit der dritten Potenz der Abmessungen, also nicht linear, ändert. Zur Untersuchung der Häufigkeitsverteilung wurde die Masse in gleicher Weise wie die Abmessungen mit linearer Teilung auf der x-Achse abgetragen. Dadurch wird die Kurve der Häufigkeitsverteilung der Masse unsymmetrisch.

2.3. Knollenform

Länge, Breite und Dicke der Knollen und ihr Verhältnis zueinander sind eine Eigenschaft von Kartoffelsorten. Die Knollenform kann durch das als Formzahl bezeichnete Verhältnis der Abmessungen charakterisiert werden:

$$k_1 = a/b \text{ (7); } k_2 = b/c \text{ (8); } k_3 = a/b \text{ (9).}$$

Ihre Werte sind größer als 1. Die Formzahl k_1 erfaßt die Formabweichungen in der Ebene der Länge und Dicke, der Koeffizient k_3 in der Ebene der Länge und Breite. Nähern sich k_1 und k_3 dem Wert 1, ist die Knolle rund. Je größer k_1 und k_3 werden, um so mehr nähert sich die Knollenform einer Ellipse, sie wird oval bis langoval. Der Koeffizient k_2 erfaßt Formänderungen in der Ebene der Knollenbreite und -dicke. Nähert sich k_2 dem

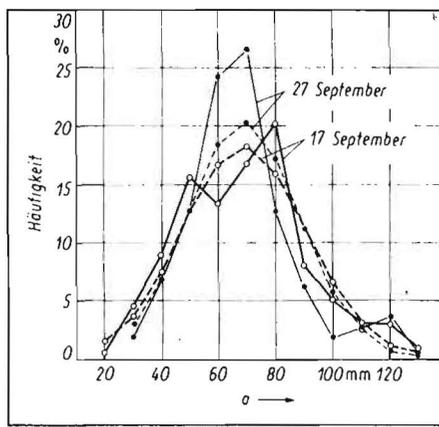


Bild 3. Empirische (volle Linie) und theoretische (gestrichelte Linie) Häufigkeitsverteilung der Knollenlänge a der Kartoffelsorte 'Blanik' (Differenz der empirischen und theoretischen Häufigkeitsverteilung: 17. September nichtsignifikant $p > 0,05$; 27. September signifikant $p = 0,05$)

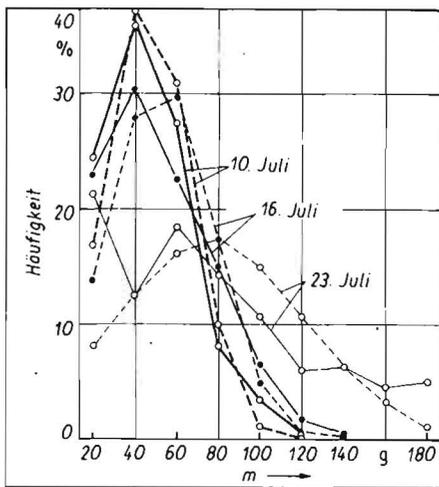


Bild 4. Empirische (volle Linie) und theoretische (gestrichelte Linie) Häufigkeitsverteilung der Knollenmasse m der Kartoffelsorte 'Saskia' (Differenz der empirischen und theoretischen Häufigkeitsverteilung: 10. Juli nichtsignifikant $p > 0,05$; 16. Juli signifikant $p = 0,05$; 23. Juli hochsignifikant $p = 0,01$)

Wert 1, ist die Knolle in dieser Ebene kreisförmig. Je größer k_2 wird, um so mehr nimmt die Knolle Ellipsenform an, sie wird flach (nierenförmig). Damit können die Formkombinationen flachrund und flachoval auftreten. Soll die Knollenform beurteilt werden, müssen wenigstens zwei der Formzahlen bekannt sein, die dritte kann aus ihnen berech-

net werden. Bei einigen Sorten ist auch der Grad der Oberflächenkrümmung zu „Hörnchen“ (schwach, stark) von Interesse.

Die Größe der Formzahlen wird durch die Größe (Masse) der Knollen bestimmt. Die Knollenmasse zeigt sowohl im bestimmten Entwicklungsstadium als auch nach der Reife beachtliche Variabilität. In der über zwei Jahre untersuchten variablen Gesamtheit von 17 Kartoffelsorten wurde bei 16 Sorten die Funktion $k_1 = f(m)$ und bei 14 Sorten die Funktion $k_2 = f(m)$ nachgewiesen. Zur Veranschaulichung sind beide Abhängigkeiten mit den gemessenen Werten der Kartoffelsorte 'Blanik' im Bild 5 dargestellt. Da sich die Formzahlen k_1 und k_2 mit der Knollenmasse ändern, müssen für die Bestimmung ihrer Größe als Kennzeichen der Kartoffelsorten alle Knollen einer Staude bewertet werden. Bei 17 Sorten lagen die Formzahlen in folgenden Bereichen:

- $k_1 = 1,29 \dots 1,79$
- $k_2 = 1,15 \dots 1,35$
- $k_3 = 1,10 \dots 1,38$.

Die einzelnen Kartoffelsorten weisen allerdings größere oder kleinere Ungleichmäßigkeiten der Knollenform auf. Diese Unausgeglichenheit kann durch einen Variationsfaktor der Formkennzahlen erfaßt werden, der bei 14 der untersuchten Kartoffelsorten für $k_1 = 7,5 \dots 21\%$ und für $k_2 = 7,3 \dots 11,5\%$ betrug. Der Variationsfaktor weist also auf eine nahezu doppelt so große Formungleichmäßigkeit in der Knollenlänge als in der Knollenbreite hin. Auf die Formungleichmäßigkeit haben die Wachstumsbedingungen der einzelnen Jahre Einfluß, die u. a. vor allem die Knollenmasse beeinflussen, die ihrerseits, wie nachgewiesen wurde, auf die Form und damit auch auf die Formungleichmäßigkeit wirkt.

2.4. Form und Abmessungen der Sortieröffnungen

ČSN beurteilt Knollen, mit Ausnahme früher Speisekartoffeln, mit Hilfe des Quadratmaßes (Öffnungen), genauso wie die meisten Sortiereinrichtungen die Knollen durch quadratische Sieböffnungen in bestimmte Größengruppen und damit auch Massegruppen sortieren. In geringerem Umfang haben die Sieböffnungen Kreisform. In Vorsortiereinrichtungen gibt es auch Siebflächen mit länglichen Öffnungen, dazu gehören Stabsiebketten- oder Riemensiebmaschinen.

Die kreisförmige Öffnung sortiert Knollen nach der Breite. Soll die Knolle durch die runde Öffnung fallen, reicht es, wenn der kleinste Öffnungsdurchmesser d_{\min} gleich der Knollenbreite b ist. Aufgrund des Zusammenhangs $m = f(a, b, c)$ (s. a. Bilder 1 und 2) kann festgestellt werden, daß zur Gewinn-

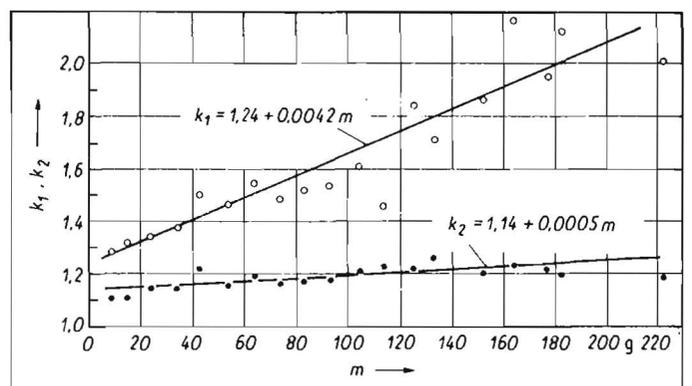


Bild 5. Formzahlen k_1 und k_2 in Abhängigkeit von der Knollenmasse m der Kartoffelsorte 'Blanik'

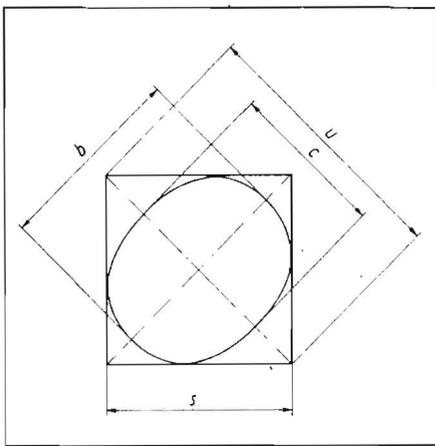


Bild 6. Knollenlage beim Durchfallen durch eine quadratische Öffnung

Bild 7. Nomogramm zur Bestimmung der Seitenlänge s_{min} einer quadratischen Sieböffnung auf der Basis der Knollenbreite b und der Knollendicke c

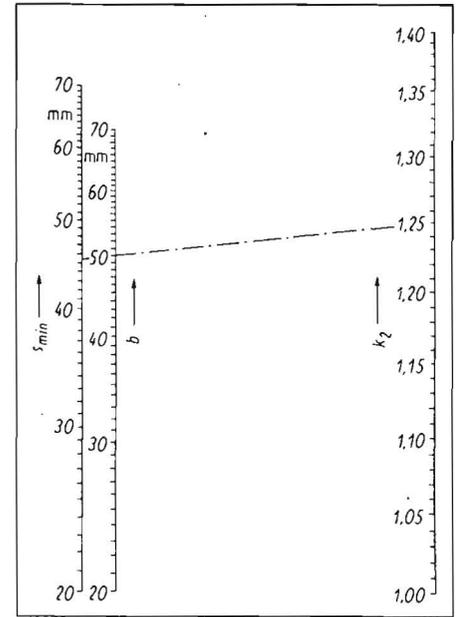
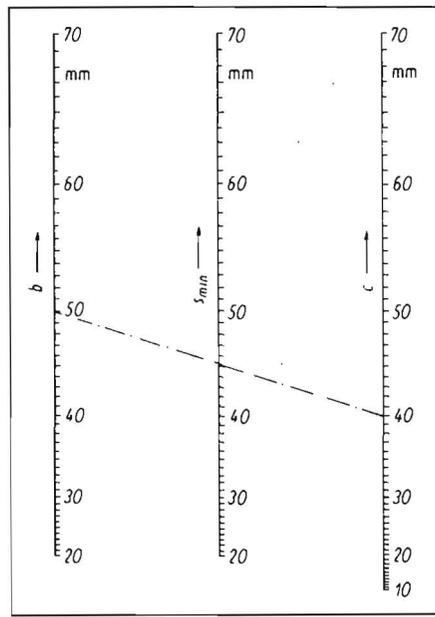


Bild 8. Nomogramm zur Bestimmung der Seitenlänge s_{min} einer quadratischen Sieböffnung auf der Basis der Knollenbreite b und der Formzahl k_2

nung einer bestimmten Massegruppe die Sortierung nach der Knollenlänge am vorteilhaftesten ist, es folgen die Knollenbreite und schließlich die Knollendicke. Leider ist außer dem Zellausleser keine Maschine bekannt, die die Länge zur Sortierung nutzt. Aus dieser Sicht erscheint die runde Öffnung als günstigste, denn sie sortiert nach der Breite. Die Längsöffnung ist aus o. g. Grund bei der Knollensortierung am ungenauesten, weshalb sie nur für grobe Sortierung, d. h. für die Vorsortierung, oder für längsovale Knollen verwendet werden kann.

Die quadratische Öffnung sortiert die Knollen nach den zwei Abmessungen Knollenbreite und Knollendicke. Vereinfacht man die Knollenform auf ein abgeflachtes Ellipsoid, kann die Knolle nur dann durch die kleinste quadratische Öffnung gelangen, wenn sie sich in Richtung ihrer Längsachse bewegt. Die Größe der Sieböffnung ist dabei nach Bild 6 vom elliptischen Querschnitt der Knolle abhängig, wobei sich die Knollenbreite b und die Knollendicke c in die Diagonalen u der Quadratöffnung drehen. Die minimale Seitenlänge s_{min} kann aus dem elliptischen Knollenquerschnitt berechnet werden:

$$s_{min} = \sqrt{\frac{b^2 - c^2}{2}} \quad (10)$$

Bei unterschiedlicher Form des Knollenquerschnitts fallen Knollen mit unterschiedlichen Abmessungen b und c durch die gleiche Öffnung s . Im Grenzfall $b = c$ wird der elliptische Knollenquerschnitt zu einem kreisförmigen, und die quadratische Öffnung ist bei der Sortierung genauso exakt wie eine kreisförmige, denn sie sortiert nach der Knollenbreite, und ihre minimale Größe ist $s_{min} = b$.

Ist demgegenüber $b > c$, fallen durch die gleiche Öffnung s_{min} Knollen mit der Breite b , aber auch Knollen mit größerer Breite, denn sie können sich in Richtung der Diagonalen drehen, deren Größe angenähert $u = 1,4 s_{min}$ ist. Aus den o. g. Formkoeffizienten k_2 ist ersichtlich, daß die Knollenbreite im Verhältnis zur Knollendicke bei den untersuchten Sorten immer um 15 bis 35% größer war. Deshalb kann festgestellt werden, daß durch die

gleiche Öffnung mit s_{min} entsprechend dem Koeffizienten $k_2 = b/c$ Knollen ungleicher Breite b durchfallen:

$$s_{min} = b \sqrt{\frac{1}{2} \left(1 - \frac{1}{k_2^2} \right)} \quad (11)$$

So fallen z. B. runde Knollen mit $k_2 = 1,15$ bei $s_{min} = 0,94 b$ und ovale Knollen mit $k_2 = 1,35$ bei $s_{min} = 0,88 b$ durch.

In Abhängigkeit von der Knollenform können bei den untersuchten Sorten je nach Knolldrehung Knollen mit $s_{min} = b$ bis $s_{min} = 0,88 b$ durch eine quadratische Öffnung mit s_{min} fallen. Die Differenz der Knollenbreite beträgt nur annähernd 12%. Beim Durchfallen der Knollen durch eine quadratische Sieböffnung kann es daher zu größeren Ungenauigkeiten bei der Knollensortierung kommen, als bei einem Sieb mit runden Öffnungen. Die Ungenauigkeit wächst mit zunehmendem Verhältnis k_2 , d. h. bei abgeflachten Knollen.

Zur angenäherten Bestimmung der minimalen Seitenlänge einer quadratischen Öffnung s_{min} können aus den vorangehenden Gleichungen Nomogramme abgeleitet werden (Bilder 7 und 8). Sind Knollenbreite und -länge aus der geforderten angenäherten Knollenmasse bekannt, kann das Nomogramm im Bild 7 benutzt werden. Soll z. B. durch die Sieböffnung eine Knolle mit $b = 50$ mm und $c = 40$ mm durchfallen, muß ein Sieb mit einer minimalen Seitenlänge der quadratischen Öffnung von 45 mm gewählt werden. Sind die Knollenbreite und der Formkoeffizient k_2 bekannt, ist das Nomogramm im Bild 8 zu nutzen. Durch die Sieböffnung kann z. B. eine Knolle mit $b = 50$ mm und $k_2 = 1,25$ nur durchfallen wenn ein Sieb mit minimaler Seitenlänge der quadratischen Öffnung von ebenfalls 45 mm gewählt wurde. Zu beachten ist, daß Berechnung und Nomogramm für eine vereinfachte Knollenform und für eine Drehung der Knollenachsen in die Diagonalen des Quadrats gelten.

3. Diskussion und Schlußfolgerungen

Die in den Standards [1, 2] angeführten Begriffe Quer- und Längsdurchmesser der Knollen sind aus terminologischer Sicht

nicht die günstigsten. Der Begriff Abmessung scheint geeigneter zu sein, denn er ist in bezug auf das Quadratmaß nicht identisch mit Breite und Länge. Aus der durchgeführten Analyse geht hervor, daß die Sortierung nach Knollenabmessungen (sekundäre Merkmale) durch runde, längliche (rechteckige) und quadratische Sieböffnungen realisiert werden kann. Bei der Sortierung in rechteckigen Sieböffnungen fällt die Knolle vor allem entsprechend ihrer Dicke durch. Das Durchfallen entsprechend der Knollenlänge bleibt wohl mehr ein Wunsch des Autors [3]. Die Sortierung nach der Dicke ist weniger günstig. Die Knollenlänge als vorteilhafteste Abmessung im Hinblick auf die Knollensortierung kann lediglich im Zellausleser (zylindrisch, flach) genutzt werden, der allerdings die Knollenbeschädigungen ungünstig beeinflusst. Hinsichtlich der Exaktheit und der Eignung für die Knollensortierung erweisen sich runde Sieböffnungen als vorteilhaft. Sie sollten die langjährig genutzten quadratischen Sieböffnungen ablösen. In Zukunft sollten runde Öffnungen für runde und rundovale Knollen sowie längliche (rechteckige) Öffnungen für rundovale bis langovale Knollen verwendet werden. Daher wäre es günstig, das Quadratmaß durch ein Maß mit runder Öffnung zu ersetzen. Die Rundmaße würden ein schnelles und einfaches Bestimmen der Knollenhäufigkeit einer Kartoffelsorte nach der Breite und für gegebene Klassengrenzen (nach Standard) die Ermittlung des Reinprodukts und des Abfalls (Durchfall, Überlauf) ermöglichen, denn die Knollenbreite weist Normalverteilung auf.

Literatur

- [1] ČSN 462045 Kartoffellegen. Ausg. 1975.
- [2] ČSN 462211 Kartoffeln. Ausg. 1974.
- [3] Rásocha, L.: Trídění brambor podle jejich agrofyzikálně vlastnosti (Sortieren der Kartoffeln nach ihren agrophysikalischen Eigenschaften). Zemědělská technika, Praha 30 (1984) 10, S. 605-612. A 4911