

Einfluß der Schwingungsparameter von Siebketten auf die Absiebeigenschaften

Dipl.-Ing. H. Hempel/Dipl.-Ing. H. Schmidt/Dr. rer. nat. H. Schubert
Forschungszentrum für Mechanisierung der Landwirtschaft Schlieben/Bornim der AdL der DDR

1. Problemstellung

Die Flächenleistung von Kartoffelvollerntemaschinen wird bei mittleren bis schweren Absiebedingungen durch die unzureichende Absieleistung der Siebketten begrenzt. Der sich auf den Siebketten vollziehende Trennprozeß kann jedoch nicht ausschließlich durch die erzielte Absieleistung bewertet werden. So können die während des Trennprozesses auftretenden mechanischen Wechselwirkungen zwischen den Stäben der Kette und den Kartoffeln unerwünschte Beschädigungen der Knollen hervorrufen. Maßnahmen zur Erhöhung der Absieleistung dürfen daher nicht dazu führen, daß die Beschädigungen verursachenden Grenzwerte für die mechanische Beanspruchung von Kartoffeln überschritten werden. Bei der Siebkette wird sowohl die Absieleistung als auch die mechanische Beanspruchung der Kartoffeln außer durch die Masse und die Eigenschaften der abzutrennenden Beimengungen vor allem durch Konstruktions- und Betriebsparameter bestimmt:

- Länge des Siebwegs
- Breite der Siebkette
- Masse der Siebkette
- Steigung der Siebkette
- Umlaufgeschwindigkeit der Siebkette
- Siebstabteilung
- Durchmesser der Siebstäbe
- elastische Verformbarkeit des Siebstabquerschnitts
- statische Siebkettenspannung
- Biegesteifigkeit der Siebstäbe und der Siebkettengurte
- Frequenz der senkrecht zur Siebfläche eingeleiteten Impulse
- Schwingwegamplitude der senkrecht zur Siebfläche eingeleiteten Impulse.

Mit Ausnahme der Frequenz und der Schwingwegamplitude der Siebkettenschwingung bzw. -erregung senkrecht zur Siebfläche lassen sich für diese Parameter optimierte Wertebereiche angeben [1, 2]. Ein Ansatzpunkt bei der Suche nach Möglichkeiten zur Erhöhung der Absieleistung besteht somit in der Ermittlung eines Wertebereichs mit maximaler Absieleistung für die Frequenz und die Schwingwegamplitude der Siebkettenschwingung oder -erregung senkrecht zur Siebfläche.

2. Wechselwirkung zwischen Siebgut und schwingender Siebkette

Infolge von Schwingungen der Siebkette senkrecht zur Siebfläche kann in Abhängigkeit von den dabei auftretenden Beschleunigungen das Siebgut von der Siebkette abheben und sich zeitweise nur unter dem Einfluß der Schwerkraft bewegen. Beim Wiederauftreffen des aufgeworfenen Siebguts auf die Siebkette wird die aus der Wurfbewegung resultierende kinetische Energie durch Reibung und unelastischen Stoß innerhalb des Siebguts aufgezehrt. Aufgrund dieser Energieeinleitung in das Siebgut wird der eigentliche Siebprozeß, der in einem Vergleich der Einzelkörper des Siebguts mit einem durch

die Siebspalten gegebenen Abmessungsnormal und der Aussonderung aller unter diesem Abmessungsnormal liegenden Einzelkörper durch die Schwerkraft besteht, durch einen die Bindungen zwischen den Einzelkörpern betreffenden Zerkleinerungsprozeß ergänzt.

Die Aufprallenergie ist von der Frequenz und von der Schwingwegamplitude der Schwingungen der Siebkette senkrecht zur Siebfläche abhängig [3]. Die Auswahl der für eine hohe Absieleistung günstigen Werte der Frequenz und der Schwingwegamplitude soll daher mit Hilfe einer Extremwertbetrachtung für die Aufprallenergie erfolgen.

Werden die zur Siebfläche senkrechten Schwingungen der Siebkette in einem rechtwinkligen kartesischen Koordinatensystem, dessen Ursprung mit der umlaufenden Siebkette fest verbunden ist und dessen Abszissenachse in die Umlaufrichtung der Siebkette zeigt, als eine in Umlaufrichtung fortschreitende Welle dargestellt -

$$y = s_0 \sin \omega \left(t - \frac{x}{c} \right); \quad (1)$$

y Ordinate der Transversalschwingungen in m

s₀ Schwingwegamplitude in m

ω Kreisfrequenz in Hz

t Zeit in s

x Abszisse der Transversalschwingungen in m

c Phasengeschwindigkeit der Transversalschwingungen der Siebkette in m/s

- so gilt unter den vereinfachenden Bedingungen der Mechanik des Massenpunktes für die spezifische Aufprallenergie:

$$\frac{E}{m} = \frac{1}{2} \left(\frac{ds_p}{dt} + \frac{ds_f}{dt} \right)^2; \quad (2)$$

E Aufprallenergie in (kg · m²)/s²

m Masse des Massenpunktes in kg

s_p Ordinate des Zusammenpralls zwischen Siebkette und Massenpunkt in m

s_f Strecke, die vom Massenpunkt nach dem Erreichen der maximalen Steighöhe bis zum Zusammenprall mit der Siebkette im freien Fall durchgemessen wird, in m.

Die Geschwindigkeit der Siebkette in ihrer zur Siebfläche senkrechten Schwingungsrichtung ist im Moment des Aufpralls des Massenpunktes durch folgenden Ausdruck gegeben:

$$\frac{ds_p}{dt} = s_0 \omega \cos \omega \left[t_p + \frac{g}{2c} \sin \alpha (t_p - t_A)^2 \right]; \quad (3)$$

Für die Geschwindigkeitskomponente des fallenden Massenpunktes in Richtung der Ordinatenachse lautet die Bestimmungsgleichung:

$$\frac{ds_f}{dt} = [s_0 \omega \cos \omega t_A \cos \alpha - g(t_p - t_A)] \cos \alpha; \quad (4)$$

t_p Zeitpunkt des Zusammenpralls zwischen Siebkette und Massenpunkt in s

t_A Ablösezeitpunkt beim Wurf in s
g Erdbeschleunigung (g = 9,81 m/s²)
α Anstiegswinkel der Siebkette in rad.

Aus der Bedingung, daß die Vertikalkomponente der im Moment des Abhebens am Massenpunkt angreifenden Beschleunigung gleich der Erdbeschleunigung ist, leitet sich der Ablösezeitpunkt des Massenpunktes von der Siebkette ab:

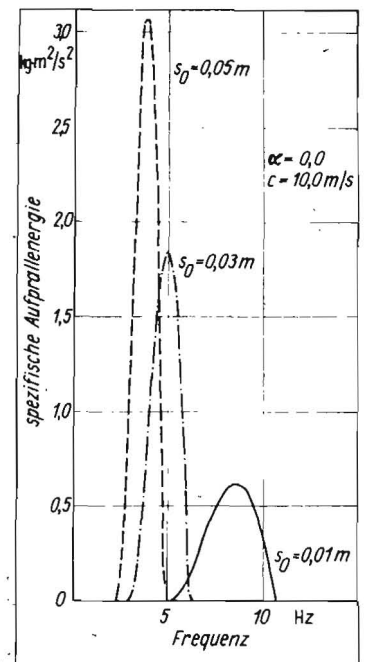
$$t_A = \frac{1}{\omega} \arcsin \frac{g}{s_0 \omega^2 \cos \alpha} \quad (5)$$

Der Zeitpunkt des Zusammenpralls ist gleich der kleinsten positiven Wurzel der aus den Wurfgesetzen folgenden Bestimmungsgleichung

$$\sin \left\{ \omega \left[t_p + \frac{g}{2c} \sin \alpha (t_p - t_A)^2 \right] \right\} - \frac{g}{s_0 \omega^2 \cos \alpha} - \omega \cos^2 \alpha (t_p - t_A) \sqrt{1 - \left(\frac{g}{s_0 \omega^2 \cos \alpha} \right)^2} + \frac{g}{2s_0} (t_p - t_A)^2 \cos \alpha = 0. \quad (6)$$

Die aus den Gln. (2) bis (6) berechnete spezifische Aufprallenergie zeigt in ihrem Frequenzverlauf deutlich ausgeprägte Maxima (Bild 1).

Bild 1. Verlauf der spezifischen Aufprallenergie in Abhängigkeit von der Frequenz für unterschiedliche Schwingwegamplituden (Frequenzbereiche, bei denen die Flugzeit die Schwingungsdauer übersteigt, wurden vernachlässigt)



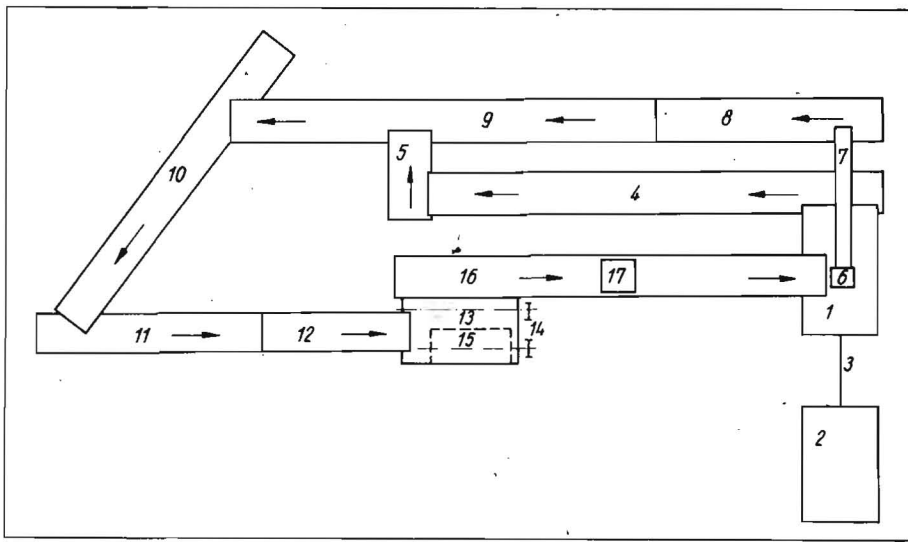


Bild 2. Absiebversuchsstand;

1 Absiebvorrichtung, 2 Vielstufengetriebe, 3 Gelenkwelle, 4 Leichtgutförderer (6 m lang), 5 Rutsche, 6 Auffangkasten, 7 Schacht, 8 Bandwaage I, Leichtgutförderer (3 m lang), 9 Leichtgutförderer (6 m lang), 10 Leichtgutförderer (4,5 m lang), 11 Bandwaage II, Leichtgutförderer (3 m lang), 12 Hohenförderer (2,5 m lang), 13 Zellenraddosierer, 14 Kettenantrieb, 15 Keilriemenvariator, 16 Leichtgutförderer (6 m lang), 17 Bodenandrückwalze

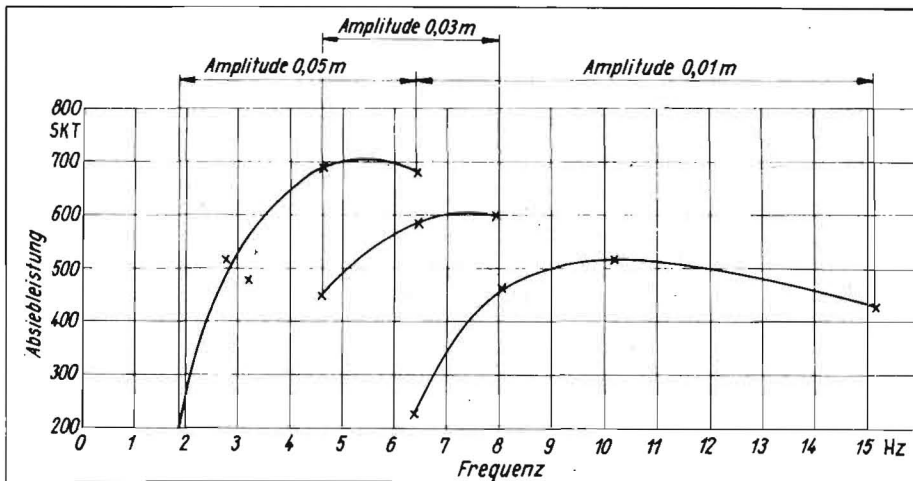


Bild 3. Absiebleistung in Abhängigkeit von Frequenz und Amplitude bei einer Bodenfeuchtigkeit von 8,1 bis 8,5% (jeder angegebene Meßpunkt entspricht dem Mittelwert aus mindestens 5 Einzelwerten)

3. Experimentelle Untersuchung des Einflusses der Schwingungsparameter von Modellsiebketten auf die Absiebleistung

Die experimentelle Untersuchung der Absiebleistung in Abhängigkeit von der Grundfrequenz und der dieser zugeordneten Schwingwegamplitude von Siebketten-schwingungen senkrecht zur Siebfläche erfolgte im Labor unter Modellbedingungen. Diese Modellbedingungen waren dadurch gekennzeichnet, daß

- die Absiebleistung an einem 250 mm × 250 mm großen, im folgenden als Siebstruktur bezeichneten Ausschnitt der Siebfläche einer Flachriemen-Sieb-

stabbette, die als 1. Siebkette im Kartoffelrodeler E 684 zum Einsatz gelangt, gemessen wurde

- die Siebstruktur durch Einleitung einer sinusförmigen Schwingung in vertikaler Richtung beidseitig auf den Mittelstab erregt wurde
- die Siebstruktur an ihren vier Eckpunkten so arretiert war, daß sie sich bei halbem Hub des Mittelstabs in horizontaler Lage befand und daß bei maximaler Auslenkung weder ein merklicher Durchhang der Siebstruktur noch statische Einspannkkräfte auftraten.

Von 0,000 bis 0,090 m waren die Schwingwegamplitude in Stufen von 0,005 m und die

Tafel 1. Gemessene und berechnete Frequenzen der Maxima der Absiebleistung und der Aufprallenergie für den Absiebversuchsstand

Schwingweg-amplitude m	gemessene Frequenz des Absiebleistungs- maximums Hz	berechnete Frequenz des Maximums der Aufprallenergie Hz	Abweichung der Frequenzen der Maxima Hz
0,01	9,5	9,1	0,4 (4%)
0,03	7,2	5,2	2,0 (28%)
0,05	5,4	4,1	1,3 (24%)

Tafel 2. Stoßmassen, die bei einer Siebkette mit einem Anstiegswinkel von $\pi/6$ und Siebstäben mit einem Durchmesser von 12 mm ohne Gummiummantelung im Hinblick auf das Auftreten von Kartoffelbeschädigungen nicht überschritten werden dürfen

Schwingweg-amplitude m	berechnete Frequenz des Maximums der Aufprallenergie Hz	Maximalwert der spezifischen Auf- prallenergie ($\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2$)	Maximalwert der Stoßmasse kg
0,01	9,0	0,54	0,333
0,03	5,2	1,58	0,114
0,05	4,0	2,61	0,069

Schwingungsfrequenz in 26 Stufen von 2 bis 20 Hz verstellbar. Der Absiebversuchsstand setzte sich aus einem Zellenraddosierer, der Absiebvorrichtung, zwei Bandwaagen, fünf Förderbändern und der Meßeinrichtung zusammen (Bild 2). Mit Hilfe des Zellenraddosierers wurde eine konstante Siebbeaufschlagung erzeugt. Die beiden Bandwaagen dienten zur Kontrolle der Siebbeaufschlagung und zur Bestimmung der von der Siebstruktur über einem Auffangschacht in der Zeiteinheit abgesiebten Bodenmasse.

Als Maß für die Absiebleistung wurde die bei vorgegebener konstanter Siebbeaufschlagung über dem Auffangschacht in einer bestimmten Zeit abgesiebte Bodenmasse benutzt. Bei jeder der ausgewählten Schwingwegamplituden zeigten sich im untersuchten Frequenzbereich Maxima der Absiebleistung (Bild 3).

4. Schlußfolgerungen

Ein Vergleich der gemessenen Absiebleistungsmaxima mit den für die spezifische Aufprallenergie berechneten Maxima ergab bei Berücksichtigung der Reproduzierbarkeit der Meßwerte hinsichtlich Lage, Verlauf und Größenverhältnis gute Übereinstimmung (Bilder 1 und 3, Tafel 1). So lagen das gemessene Absiebleistungsmaximum und das berechnete Maximum der spezifischen Aufprallenergie gleichermaßen bei einer Schwingwegamplitude von 0,05 m höher als die jeweiligen Maxima bei einer Schwingwegamplitude von 0,03 m bzw. 0,01 m. Analog überstieg sowohl das Energiemaximum als auch das Siebleistungsmaximum der Schwingwegamplitude 0,03 m das jeweilige Maximum bei der Schwingwegamplitude 0,01 m. Die gemessenen Absiebleistungskurven verliefen ebenso wie die berechneten Kurven der spezifischen Aufprallenergie im Bereich ihres Maximums mit zunehmender Schwingwegamplitude steiler.

Die dargelegten Ergebnisse weisen nach, daß

- für Schwingungen senkrecht zur Siebfläche Frequenz-Amplituden-Kombinationen existieren, für die die Absiebleistung ein Maximum erreicht
- die Absiebleistung wesentlich durch die Aufprallenergie bestimmt wird, die bei den gegebenen Parametern der Schwingung senkrecht zur Siebfläche auf das Siebgut übertragen wird
- die Frequenz-Amplituden-Kombinationen, für die ein Maximum der Absiebleistung vorliegt, in guter Näherung durch Berechnung des Verlaufs der spezifischen Aufprallenergie theoretisch ermittelt werden können. Dazu wurde im Forschungszentrum für Mechanisierung der Landwirtschaft Schlieben/Bornim für umlaufende Siebketten mit beliebig vorgegebenen Werten für den Anstiegswinkel und die Phasengeschwindigkeit ein EDV-Pro-

gramm in der Programmiersprache FORTRAN 4200 erstellt.

Die Aufprallenergie soll aber das Energieminimum für das Auftreten von Kartoffelbeschädigungen nicht übersteigen. Für einen Siebstab mit einem Durchmesser von 12 mm ohne Gummiummantelung wurde ein Wert von $0,18 \text{ (kg} \cdot \text{m}^2\text{)/s}^2$ für dieses Minimum ermittelt [4]. Daraus ergibt sich unter Berücksichtigung der berechneten spezifischen Aufprallenergien die Stoßmasse, die bei den einzelnen Schwingungszuständen mit maximaler Aufprallenergie nicht überschritten werden darf, wenn Kartoffelbeschädigungen vermieden werden sollen (Tafel 2). Stoßmassen von 0,069 kg und 0,114 kg werden von

einer Vielzahl von Kartoffeln mit Sicherheit übertroffen, zumal nicht nur die Masse der Kartoffeln selbst, sondern auch die des beim Aufprall auf ihr lastenden Erdbodens zu beachten ist. Von den herausgefundenen Schwingungszuständen mit maximaler spezifischer Aufprallenergie erfüllt somit nur der mit einer Schwingwegamplitude von 0,01 m und einer letztlich durch Anstiegswinkel und Phasengeschwindigkeit der Siebkette bestimmten Frequenz im Bereich von 8,0 bis 10,0 Hz die Forderung nach höchstmöglicher Absiebleistung unter Ausschluß von Kartoffelbeschädigungen.

Literatur

- [1] Petrov, G. D.: Kartofeleuboročnye mašiny (Kartoffelerntemaschinen). Moskva: Izdatel'stvo Mašinoštroenie 1972.
- [2] Recker, W.: Untersuchungen über das Bewegungsverhalten von Siebketten für Kartoffelerntemaschinen. Dt. Agrartechnik, Berlin 22 (1972) 12, S. 571–574.
- [3] Batel, W.: Untersuchungen zur Absiebung feuchter, feinkörniger Haufwerke auf Schwing-sieben. Technische Hochschule Aachen, Dissertation 1954.
- [4] Schlesinger, F.: Messung der zulässigen Belastungsimpulse für Kartoffeln als Grundlage für Siebwerkgestaltungen. Institut für Mechanisierung der Landwirtschaft Potsdam-Bornim, Teilbericht 1968 (unveröffentlicht).

A 3805

Ultraschallmessungen an Kartoffeln

Dipl.-Phys. M. Vette/Prof. Dr. sc. nat. J. Hellebrand

Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Sektion Mechanisierung der Tierproduktion

1. Einleitung

Im Zuge der Mechanisierung der Landwirtschaft wird die Tendenz beobachtet, daß mit der Zunahme von Belastungen des landwirtschaftlichen Stoffs durch den verstärkten Einsatz von Mechanisierungsmitteln eine Erhöhung der Beschädigung verbunden sein kann. Für die gutschonende Gestaltung technologischer Prozesse müssen Kenntnisse über die Größen gewonnen werden, die die Wechselwirkung zwischen landwirtschaftlichem Stoff und Mechanisierungsmittel beeinflussen. Das ist eine notwendige Voraussetzung, um begründete Anforderungen sowohl an die Züchtung neuer – beschädigungswiderstandsfähiger – Sorten als auch an die Zulässigkeit von Belastungsgrenzen durch Mechanisierungsmittel zu formulieren.

Die häufigste Belastungsform im Ernte-prozeß der Kartoffel ist die Stoßbelastung. In Mechanisierungsmitteln treten Stoßzeiten von 10 bis 40 ms auf [1]. Baganz [2] konnte mit Hilfe von Retardationsmessungen zeigen, daß bei Spannungsperioden < 1 s das Gesamtverhalten zu 60% elastisches Verhalten ist. Der Stoßvorgang als dynamische Beanspruchung kann durch die Hertz'sche Theorie zur Berührung fester elastischer Körper beschrieben werden [1].

Als Parameter sind somit Stoßenergie, Krümmungsradien und die elastischen Konstanten beider Partner festzustellen.

Ultraschallmessungen ermöglichen die Bestimmung „dynamischer“ elastischer Konstanten. Während die Ultraschallmeßtechnik in der Industrie (Werkstoffprüfung) vielfach eingesetzt wird und Routinemessungen durchgeführt werden, gibt es nur wenige Untersuchungen an landwirtschaftlichen Stoffen [3, 4, 5].

Mit Hilfe von Ultraschallmeßtechnik als dynamische Methode wird eine Bestimmung der Schallgeschwindigkeit in der Kartoffel vorgenommen und geprüft, ob die Schallgeschwindigkeitswerte und die daraus ermittelten elastischen Konstanten knollenspezifische bzw. sortenspezifische Kenngrößen der Kartoffeln darstellen.

2. Methoden und Materialien

In der Vielfalt der verschiedenen Prüfverfahren der Ultraschallmeßtechnik nimmt das Impuls-Laufzeitverfahren die dominierende Stellung ein. Es gestattet Messungen der Schallgeschwindigkeit und der Absorption. Prüfverfahren werden auch passive Verfahren genannt, da die Energiedichten (etwa $10^{-2} \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$ bei Dauereinstrahlung) nicht zu Veränderungen des Materials führen. Die Ausbreitung von Ultraschallwellen kann z. T. mit den Regeln der geometrischen Optik beschrieben werden, da die Ultraschallwellen stark gebündelt sind. So wird beim Impuls-Laufzeitverfahren durch einen Geber dem Probekörper eine Schwingung definierter Frequenz aufgeprägt. Die Meßgröße ist die Laufzeit der sich ausbreitenden Welle bis zum Empfänger. Zum Einsatz kam ein Ultraschallmeßgerät USME5 (Fa. Krompholz, Pirna). Als Ultraschallgeber standen Prüfköpfe im Frequenzbereich von 20 bis 500 kHz zur Verfügung. Die Messungen erfolgten an den Sorten 'Sola', 'Adretta', 'Libelle', 'Fringilla', 'Maxilla' und 'Koretta N'.

Von jeder Sorte wurden sieben Knollen ausgewählt, und mit Hilfe eines Korkbohrers (Durchmesser 15 mm) wurden mindestens drei Zylinder (Länge 20 mm) aus dem Mark der Kartoffel entnommen, so daß je Sorte mindestens 21 Proben zur Verfügung standen.

3. Ergebnisse

Im Bild 1 ist die Schallgeschwindigkeit einiger Sorten als Funktion der Prüffrequenz dargestellt, dem Bild 2 kann man den Einfluß der Lagerzeit auf die Schallgeschwindigkeit entnehmen. Folgende Ergebnisse wurden ermittelt:

- Da im MHz-Bereich aufgrund der hohen Absorption keine Messung der Schallgeschwindigkeit mehr möglich ist, muß in den kHz-Bereich ausgewichen werden.
- Der Größtfehler für die Einzelmessung der Schallgeschwindigkeiten ist mit 4% anzugeben.
- Die Variationskoeffizienten für die Schallgeschwindigkeit der einzelnen Sorten liegen zwischen 10% und 15%. Bildet man

aus den Meßwerten aller Knollen einer Sorte „gewogene Varianzen“ [6], so erhält man Werte von 5 bis 8%. Die Schallgeschwindigkeit ist also in erster Linie eine knollenspezifische Größe.

- Die größten Schallgeschwindigkeiten treten bei den Sorten 'Sola' und 'Maxilla' auf, die kleinsten Werte wurden für 'Adretta' und 'Koretta N' gefunden.
- Eine Varianzanalyse weist zwischen den Sorten bei allen Prüffrequenzen signifikante Unterschiede aus.

4. Diskussion und Schlußfolgerungen

Die Ausbreitungsgeschwindigkeit von Ultraschallwellen im Kartoffelgewebe liegt im Bereich von rd. 450 m/s bis über 800 m/s und damit deutlich unter dem Wert von Wasser, dem Hauptbestandteil der Kartoffel. Im Unterschied zur konventionellen Werkstoffprüfung erfolgt die Untersuchung nicht im MHz-Bereich. Mit der Reduzierung der Frequenz zur Vermeidung von hoher Absorption wächst die Wellenlänge an. Sollte diese die Größenordnung der Probe erreichen, sind Veränderungen des Charakters der Wellenausbreitung zu berücksichtigen. Da innerhalb des Frequenzbereichs von 20 bis 500 kHz keine ausgeprägte Schalldispersion beobachtbar war, können Routineuntersuchungen bei einer Festfrequenz durchgeführt werden. Mit der relativ hohen Meßgenauigkeit der Einzelmessung sind erhebliche Schwankungen des biologischen Materials festzustellen. Die Meßergebnisse weisen darauf hin, daß die Schallgeschwindigkeit zur Charakterisierung der Sorten geeignet sein kann. Da jedoch knollenspezifische Größen das Ergebnis bilden, sind Messungen an einem noch größeren Kollektiv erforderlich, um Sortenunterschiede zu bestätigen.

Die Schallausbreitung im Ultraschallbereich kann mit Longitudinalwellen beschrieben werden, für die in isotropen und ausgedehnten Medien (Wellenlänge klein im Vergleich zu Probenabmessungen) folgende Beziehung gilt:

$$c_l = \left[\frac{E}{\rho} \frac{(1-\mu)}{(1+\mu)(1-2\mu)} \right]^{\frac{1}{2}}; \quad (1)$$