

Analyse wesentlicher Einflußgrößen auf die mechanische Beanspruchung der Kartoffeln und Beurteilung der Beanspruchungsverhältnisse in Mechanisierungsmitteln bei der Ernte und Aufbereitung

Dr. agr. Dipl.-Ing. R. Habelt, KDT, Forschungszentrum für Mechanisierung der Landwirtschaft Schlieben/Bornim der AdL der DDR

1. Problemstellung

Kartoffel sind unter Produktionsbedingungen bei der Ernte und Aufbereitung mechanischen Beanspruchungen ausgesetzt. Zunehmende Maschinenleistungen, verbunden mit höheren Operationsgeschwindigkeiten, der Funktionselemente, wachsenden Förderstrecken, Fallstufen und Transportwegen sowie mit zunehmenden Kräften, die auf das Gut wirken, haben dazu geführt, daß in der Tendenz die Erntegutbelastungen gewachsen sind [1].

Außere und innere Beschädigungen sind Folgen dieser mechanischen Beanspruchungen und können zu erhöhten Verlusten führen. Ein hoher Anteil beschädigter Kartoffeln setzt den Gebrauchswert von Speise-, Pflanz- und Industriekartoffeln herab, die Sortier- und Schälabfälle sowie die Verluste und die Anforderungen an die Aufbereitung steigen. Eine konsequent auf die Verringerung der mechanischen Beanspruchung orientierte technologische Gestaltung von Verfahrensabschnitten und diesbezüglich konzipierte Mechanisierungsmittel sind deshalb notwendig.

Das Ziel sowohl der Züchtung als auch der Mechanisierungsforschung besteht darin, durch geeignete Maßnahmen, wie Bereitstellung von Kartoffelsorten für die industriemäßige Produktion, den Beschädigungsgrad bzw. durch entsprechende Mechanisierungsmittel die mechanische Beanspruchung zu senken. Dazu sind Mechanisierungsmittel bereitzustellen, in denen das Erntegut möglichst geringen mechanischen Beanspruchungen unterliegt. Die genaue Kenntnis der Zusammenhänge und der Ursachen, die zur Beschädigung führen, ist dafür Voraussetzung.

Fortsetzung von Seite 347

heren Verfahrenskosten verursachen als der Direkttransport vom Feld zum Lager. Dieses Problem muß in der Praxis weiter untersucht werden, um konkrete Hinweise für die zweckmäßigste Anwendung neuer Verfahren des Kartoffeltransports geben zu können.

Literatur

- [1] Ehlich, M.; Huhn, W.: Der Transportaufwand der Landwirtschaft der DDR und Schwerpunkte für seine Verringerung. DDR-Verkehr, Berlin 18 (1985) 1, S. 8–11.
- [2] Zschieschang, B.: Bericht über den Praxisentwurf 1986 der Ankuppelvorrichtung AKV 1. Institut für Energie- und Transportforschung Meiblen/Rostock, 1981 (unveröffentlicht).

A 4974

2. Bewertung der Arbeitsqualität von Mechanisierungsmitteln und Verfahrensabschnitten

Die Bewertung von Mechanisierungsmitteln bzw. Verfahrensabschnitten im Hinblick auf Qualitäts- und Gebrauchswertminderung der Kartoffeln geht gegenwärtig von den sichtbaren Beschädigungen aus. Daraus abgeleitete Grenzwerte für zulässige mechanisierungsmittelbedingte Beschädigungen sind Bestandteil der Agrotechnischen Forderungen (ATF) an Mechanisierungsmittel bzw. Verfahrensabschnitte und damit Richtwerte für Neuentwicklungen. Die Bewertung der Arbeitsqualität von Mechanisierungsmitteln anhand des Beschädigungswertes weist einen prinzipiellen Mangel auf. In den Beschädigungen widerspiegeln sich sowohl die Beschädigungsursachen – mechanische Beanspruchung – als auch die Beschädigungsempfindlichkeit der Kartoffeln, d. h. biologische Eigenschaften. Ob und in welcher Größe Beschädigungen auftreten, hängt u. a. von der Gestaltung der Wirkpaarung Arbeitsorgan–Kartoffel, von der Anzahl der Wirkpaarungen, von den Beimengungen sowie von den biologischen Eigenschaften der Kartoffeln ab (Tafel 1). Aus Beschädigungen abgeleitete Aussagen über Mechanisierungsmittel beziehen demzufolge immer Eigenschaften der Kartoffeln mit ein. Ein weiteres Problem besteht darin, daß international die Bestimmung und Klassifizierung von Beschädigungen unterschiedlich gehandhabt wird. Eine vergleichende Bewertung oder gemeinsame Nutzung von Ergebnissen wird dadurch erschwert.

Deshalb wird der Einsatz von Meßverfahren angestrebt, die objektiv und möglichst unabhängig von den Eigenschaften des biologischen Produkts eine Bewertung und Kennzeichnung der in Mechanisierungsmitteln auftretenden mechanischen Beanspruchungen ermöglichen.

Mit dem im Forschungszentrum für Mechanisierung der Landwirtschaft Schlieben/Bornim entwickelten Modell-Meßkörper (telemetrisches Meßverfahren) ist eine Kennzeichnung und Bewertung der von Mechanisierungsmitteln ausgehenden mechanischen Beanspruchungen möglich. Dabei können sowohl Einzelbeanspruchungen als auch im Komplex wirkende mechanische Beanspruchungen erfaßt werden. Weiterhin ist es möglich, Aussagen zum Entstehungsort von Beanspruchungen, über ihre Intensität und Anzahl, über die Einwirkdauer und über die Verweilzeit der Kartoffeln im Mechanisierungsmittel zu treffen. Dazu wurden entsprechende Kenngrößen, wie mittlere Stoßzahl \bar{z} , mittlere maximale Stoßkraft $\bar{F}_{E,max}$ und mittlerer Beanspruchungskennwert \bar{BKW} , abgeleitet (Bild 1):

$$\bar{z} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m z_{ij} \quad (1)$$

Tafel 1. Einflußfaktoren auf die Kartoffelbeschädigung

Beschädigungsempfindlichkeit	mechanische Beanspruchung
Sorte	technische Parameter
Standort	kinetische Energie
Reifegrad	Unterlagenelastizität
Düngung	Krümmungsradius des Gegenkörpers
Kartoffeltemperatur	Maschineneinstellparameter
Bodenfeuchte	Einsatzbedingungen
Bodentemperatur	Steinanteil
	Bodenart
	Durchsatz

$$\bar{F}_{E,max} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n F_{E,max,j} \quad (2)$$

$$\bar{BKW} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m z_{ij} F_{E,i} \quad (3)$$

Die im weiteren dargestellten Ergebnisse beruhen auf Messungen mit dem telemetrischen Meßverfahren. Anhand experimenteller Untersuchungen wurde unter Labor- und Praxisbedingungen an Übergabestellen, auf aktiven Arbeitselementen und in Mechanisierungsmitteln der Einfluß von technischen Parametern sowie von Einsatz- und Betriebsbedingungen auf die Beanspruchungskenngrößen Stoßzahl, Verweilzeit und Intensität der Stoßkraft bestimmt.

3. Ergebnisse

Bei den Untersuchungen wurde vom gegenwärtigen Stand der Technik bei der Ernte und Aufbereitung ausgegangen. Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt anhand einiger ausgewählter Probleme.

3.1. Übergabestellen

Im Verfahrensabschnitt „Ernte – Aufbereitung“ sind je nach technologischer Gestaltung bis zu 20 Übergabestellen vorhanden. Die Fallstufenhöhen liegen im Bereich von 300 bis 2000 mm, wobei Fallstufenhöhen von 400 bis 600 mm überwiegen. Besondere Schwerpunkte sind die Annahme der Kartoffeln und die Zwischenspeicher.

Die an Übergabestellen auftretende maximale Stoßkraft (Bild 2) wird vor allem durch die kinetische Energie (resultierend aus der Fördergeschwindigkeit des abgebenden Arbeitselements und der Fallgeschwindigkeit), die Unterlagenelastizität und den Aufprallwinkel beeinflusst. Die Beanspruchungshäufigkeit wird dagegen durch die Verweilzeit des Gutes im Übergabebereich bestimmt. Eine Fallstufe mit besonders hohen Kartoffelbeanspruchungen ist die Übergabe der Kartoffeln vom Transportfahrzeug in die Annahmeeinrichtung. Die durch das technische Prinzip und die Aufstellung (Bild 3) – stationär an Rampen oder mobil ebenerdig – bedingte Fallhöhe h ist die Hauptursache für die

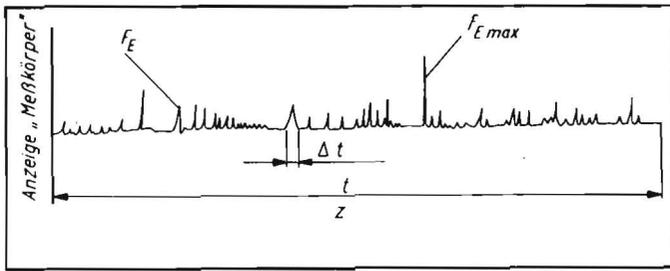


Bild 1. Beanspruchungsmeßschrieb nach dem Durchlauf eines Modell-Meßkörpers durch ein Mechanisierungsmittel (Meßwiederholung $n \geq 30$); F_E Stoßkraft, $F_{E,max}$ maximale Stoßkraft, Δt Einwirkdauer, t Verweilzeit, z Stoßzahl (Anzahl der Kräfteinwirkungen F_i)

Bild 4. Abhängigkeit der Beanspruchungskennwerte vom Erdpolster auf den Siebketten bei gleicher Maschineneinstellung

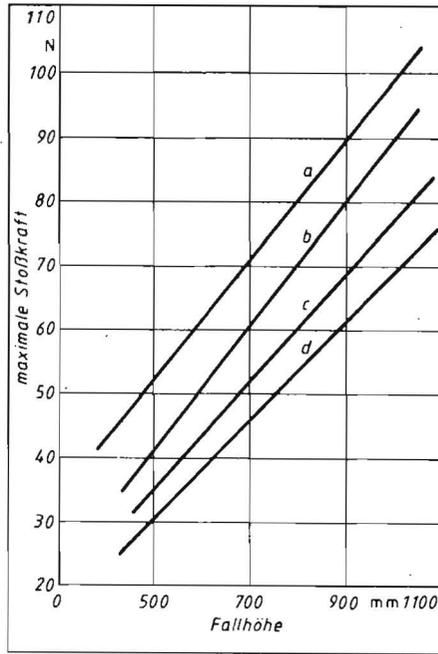
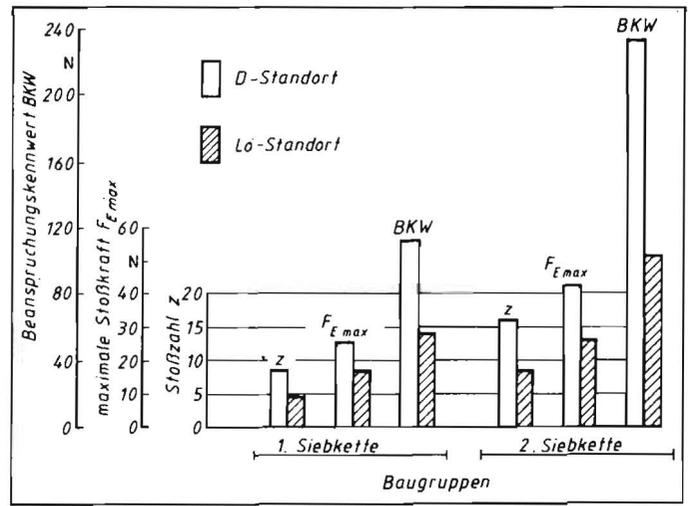


Bild 2. Abhängigkeit der maximalen Stoßkraft von der Fallhöhe und der Anfangsgeschwindigkeit des Modell-Meßkörpers;
 a $F_{E,max} = 5,75 + 0,092 h$, $B^{**} = 0,4501$, Anfangsgeschwindigkeit 1,25 m/s
 b $F_{E,max} = -8,04 + 0,097 h$, $B^{**} = 0,8001$, Anfangsgeschwindigkeit 1,0 m/s
 c $F_{E,max} = -7,39 + 0,084 h$, $B^{**} = 0,6410$, Anfangsgeschwindigkeit 0,75 m/s
 d $F_{E,max} = -7,64 + 0,076 h$, $B^{**} = 0,6231$, Anfangsgeschwindigkeit 0,5 m/s

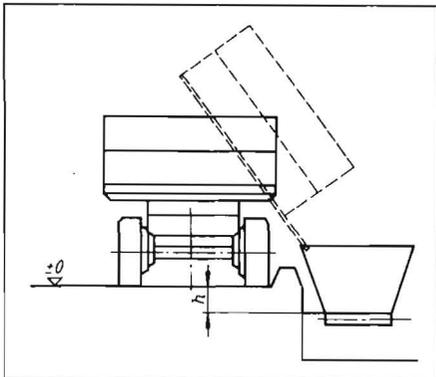


Bild 3. Zuordnung Transportfahrzeug - Annahmeeinrichtung;
 $h = -1000$ mm beim Annahmeförderer T236,
 $h = -380$ mm beim Annahmeförderer T236/1,
 $h = 100 \dots 470$ mm beim Breitbandförderer

Tafel 2. Beanspruchungskenngrößen bei untersuchten Lösungen zur Annahme von Kartoffeln

Variante	Gurtbandoberkante der Annahme über oder unter Fahrhahnniveau mm	Fallhöhe h mm	mittlere Stoßzahl \bar{z}	mittlere Stoßkraft $F_{E,max}$ N	mittlerer Beanspruchungskennwert BKW N
HW80 - T 236	-1 000	1 900	17,6	92,5	509,6
HW80 - T236 ¹⁾	-1 000	1 900	33,8	58,0	472,0
HW80 - T236/1	-380	1 280	14,8	55,9	322,3
HW80 - Annahmedosierer	100	800	-	51,0	282,0
HW80 - Annahmedosierer	240	660	22,8	31,7	276,0
HW80 - Annahmedosierer	470	430	15,4	19,1	167,0

1) verringerte Fallhöhe durch Abkippen in teilweise gefüllten Annahmeförderer

Größe der mechanischen Beanspruchung. Hohe Kartoffelbeanspruchungen treten bei den Annahmeförderern T236 bzw. T238 zu Beginn des Befüllvorgangs auf.

Mit kleiner werdender Fallhöhe verringert sich die Kartoffelbeanspruchung (Tafel 2). Eine schonende Annahme ermöglichen auf Fahrhahnniveau aufgestellte Annahmeeinrichtungen durch Fallhöhen < 800 mm. Solche Fallhöhen < 800 mm reduzieren erheblich die Kartoffelbeanspruchung, können aber unter ungünstigen Bodenverhältnissen durch ihr geringes Sofortannahmevermögen die Selbstentleerung der Transportfahrzeuge behindern und somit höhere Standzeiten verursachen.

Im Interesse einer schonenden Annahme von Kartoffeln ist die kontinuierliche Entladung der Transportfahrzeuge gegenüber der Momententladung zu bevorzugen. Längere Entladezeiten sind an anderen Stellen im Ernte-, Transport- und Aufbereitungszyklus auszugleichen.

3.2. Aktive Arbeitselemente

3.2.1. Allgemeines

Aktive Arbeitselemente haben die Aufgabe, durch gezielte Einwirkung auf das Erntebzw. Rodegut dieses in seiner Zusammensetzung zu verändern. Durch die Einwirkung von Druckbeanspruchungen werden im Gutstrom vorhandene Kluten zerkleinert. Zu den aktiven Arbeitselementen gehören u. a. Fraktionier- und Siebketten sowie Klutenballons und Klutenreiber.

Die auf aktiven Arbeitselementen wirksame mechanische Beanspruchung ist das Ergebnis des komplexen Wirkens der Faktoren kinetische Energie, Unterlageneelastizität und Krümmungsradius. Ihr quantitativer Einfluß wird durch die Einsatz- und Betriebsbedin-

gungen bestimmt. Das Beanspruchungsniveau auf Fraktionier- und Siebketten wird vor allem von den Schwingungsparametern Amplitude und Frequenz sowie vom Durchsatz beeinflusst. In Abhängigkeit von Amplitude und Frequenz treten Beschleunigungen auf, die zum Abheben des Gutstroms und damit zu entsprechenden Kartoffelbeschleunigungen führen. Während die Frequenz bei einer Fremderregung konstant bleibt, verringert sich die Amplitude mit zunehmendem Durchsatz, d. h. mit der Belegung des Arbeitselements, und hat die Verringerung der auftretenden Stoßkräfte zur Folge. Die Frequenz und die Verweilzeit haben entscheidenden Einfluß auf die Beanspruchungshäufigkeit (Tafel 3). Die Verweilzeit ist wiederum vom Durchsatz, d. h. vom Fördervorgang, abhängig. Durchsätze ≤ 30 t/h auf der Fraktionierkette verursachen durchschnittlich bis zu 80% höhere Verweilzeiten und damit das 2,5fache an Beanspruchungen. Große Durchsatzschwankungen führen zu Verweilzeiten im Bereich von 2,9 s bis 11,0 s und damit zu einer Beanspruchungshäufigkeit von 9 bis 32 Stößen auf der Fraktionierkette.

3.2.2. Erntemaschinen

Die mechanische Beanspruchung der Kartoffeln in Erntemaschinen beruht auf der Wechselwirkung von Einsatz- und Betriebsbedingungen. In Abhängigkeit von den Einsatzbedingungen Bodenart und Bodenfeuchte sind entsprechende Maschineneinstellparameter und Durchsätze anzuwenden. Den Einsatzbedingungen unangepaßte Absiebtintensitäten (D-Standort, Einsatz von Klopferwellen bzw. großen Schüttelwellensegmenten bei der 2. Siebkette) führen zu einem ungenügenden Erdpolster auf den Siebketten und damit zu einer geringen Dämpfung der Aufprallener-

Tafel 3. Abhängigkeit der Verweilzeit und damit der Beanspruchungshäufigkeit vom Durchsatz und von der Frequenz

Durchsatz t/h	Verweilzeit s	Stoßzahl ¹⁾	Stoßzahl ²⁾
10	4,7	17,4	24,3
20	3,8	14,1	12,7
30	3,3	12,2	11,4
40	2,9	10,7	9,8

- 1) aus der Verweilzeit und der Frequenz bestimmte Stoßzahl
2) im Praxisversuch gemessene Stoßzahl

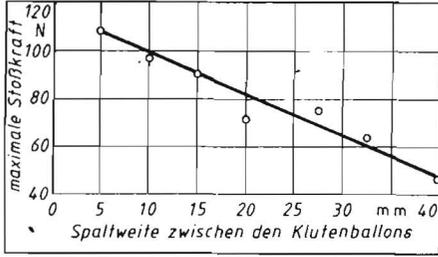


Bild 5. Abhängigkeit der Kartoffelbeanspruchung von der Spaltweite zwischen den Klutenballons (Luftdruck in den Klutenballons 98,1 kPa)

Bild 6. Beanspruchungsdiagramm für die Ernte und Aufbereitung von Kartoffeln bei unterschiedlichen Verfahren; a Rodetrennlader und Direkteinlagerung, b Rodelader und Aufbereitung, c Rodelader und Aufbereitung (Einsatz von T236/1, T430 als Höhenförderer und eines neuen Einlagerungsgeräts ohne innere Fallstufe), d Rodelader und Direkteinlagerung

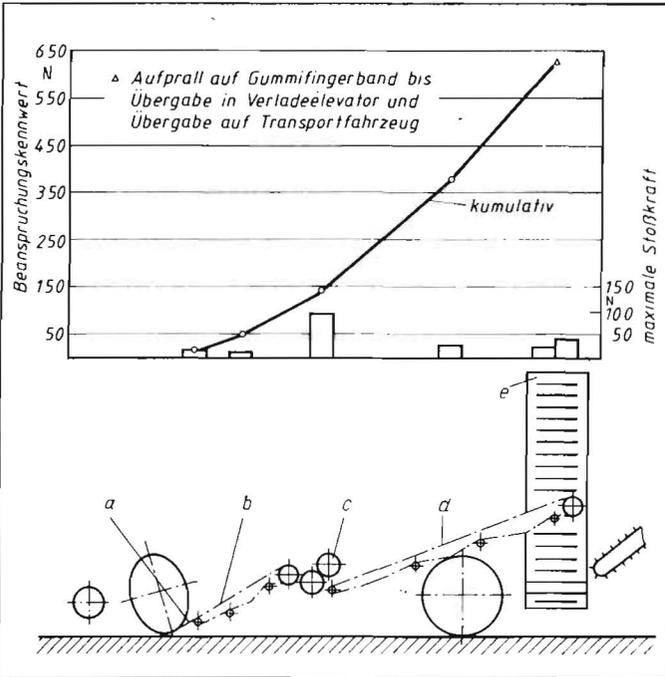


Bild 7. Beanspruchungsdiagramm für den Rodelader E684; a Dammaufnahme, b 1. Siebkette, c Klutenballon, d 2. Siebkette, e Verladeelevators

Tafel 4. Einfluß der Absiebtintensität auf die Kartoffelbeanspruchung

Baugruppe	Beanspruchungskenngrößen					
	Variante I ¹⁾		Variante II ²⁾			
	\bar{z}	$F_{E \max}$ N	\overline{BKW} N	\bar{z}	$F_{E \max}$ N	\overline{BKW} N
1. Siebkette	8,5	15,8	104,0	2,3	12,7	25,0
2. Siebkette	50,2	89,0	1 013,0	7,6	22,7	90,0

- 1) Erregung der 1. und 2. Siebkette mit Schüttelwellensegmenten bzw. Klopferrollen (fehlendes Erdpolster ab letztem Drittel der 1. Siebkette)
2) 2. Siebkette ohne Einsatz von Erreger-elementen

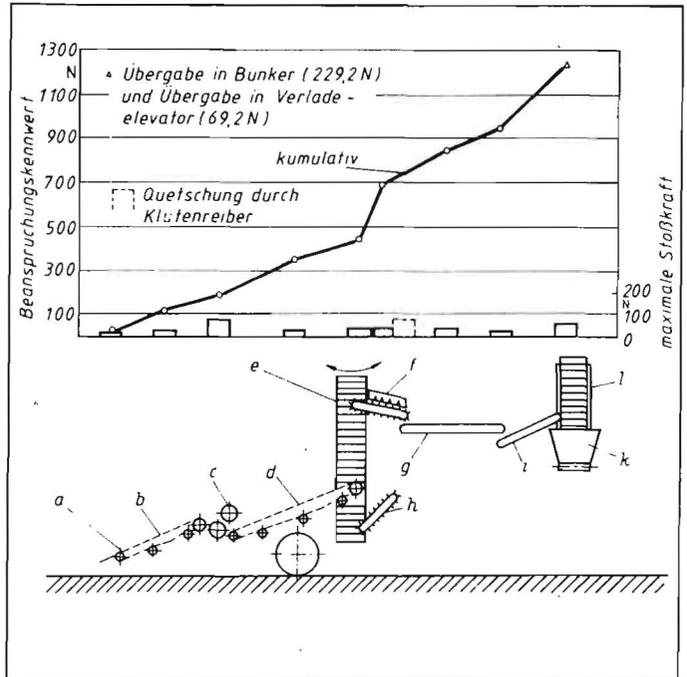
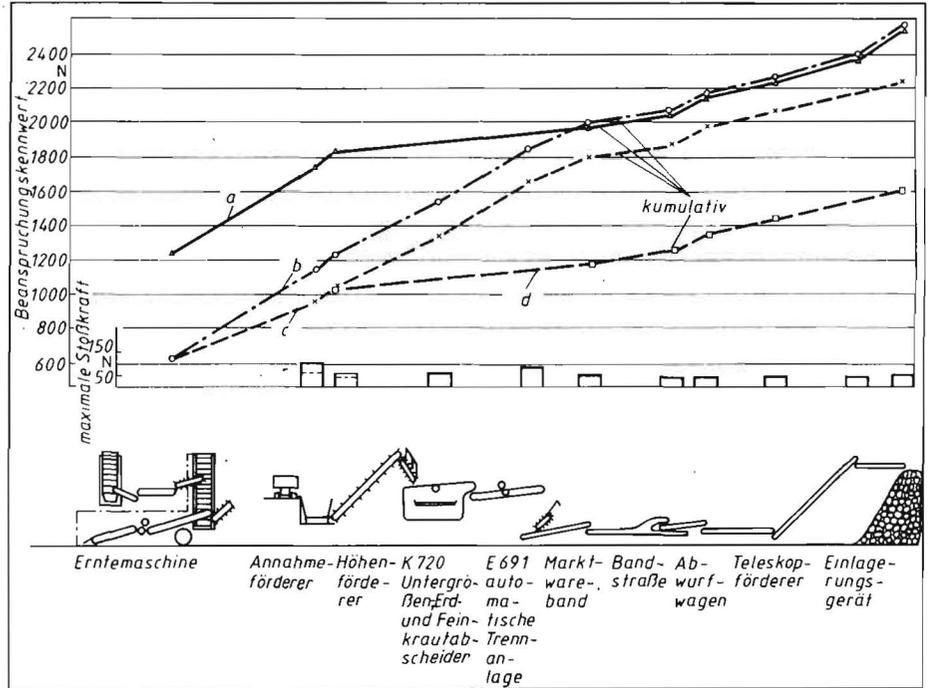


Bild 8. Beanspruchungsdiagramm für den Rodetrennlader E686; a Dammaufnahme, b 1. Siebkette, c Klutenballon, d 2. Siebkette, e Trogtaschenförderer, f Klutentrennband, g Verlese-kette, h Gummifingerband, i Bunkerförderer, k Bunker, l Verladeelevators

gie sowie zu schlechten Fördervorgängen, die mit einer großen Beanspruchungshäufigkeit und zunehmenden Stoßkräften verbunden sind (Tafel 4). Ein ausreichendes Erdpolster bewirkt dagegen die Dämpfung der Absiebintensität, einen günstigeren Fördervorgang und damit die Verringerung der Kartoffelbeanspruchung (Bild 4).

Den Bedingungen unangepaßte Einstellungen der Spaltweite zwischen den Klutenballons führen gleichfalls zu überdurchschnittlichen Beanspruchungen (Bild 5).

4. Verfahrensbetrachtung

In Abhängigkeit von der technologischen Gestaltung und den Maschineneinstellparametern werden auf die Kartoffeln bei der Ernte und Aufbereitung bis zu 200 Beanspruchungen ausgeübt. Die auf die Kartoffeln einwirkende maximale Stoßkraft kann bei unsachgemäßer Arbeitsweise bis zu 90 N betragen. Insgesamt werden die Kartoffeln bei dem Verfahren „Rodeladerernte mit stationärer Aufbereitung“ gegenwärtig einer Beanspruchung von rd. 2600 N ausgesetzt (Bild 6). Dabei entfallen rd. 630 N auf die Erntemaschine E684 (Bild 7) und rd. 2000 N auf die Aufbereitung. Beim Einsatz eines Rodetrennladers E686 wird durch zusätzliche Baugruppen eine Beanspruchung von rd. 1240 N bei der Ernte auf die Kartoffeln ausgeübt (Bild 8). Das würde bei einer nachfolgenden Aufbereitung des Rodegutes eine Gesamtbeanspruchung der Kartoffeln von rd. 3400 N bedeuten. Beim Verfahren Rodetrennladerernte und Direkteinlagerung wird das gleiche Beanspruchungsniveau wie bei dem Verfahren Rodeladerernte mit stationärer Aufbereitung erreicht (Bild 6).

Im Interesse der Senkung der mechanischen Beanspruchung sollte die Einlagerung teilaufbereiteter Rohware bzw. die Direkteinlagerung angestrebt werden. Bei der Frühkartoffelernte ist der Rodetrennlader einzusetzen. Solche bisher praktizierten Verfahrensschritte, wie Ernte mit Rodelader, Aufbereitung, Zwischenlagerung und Vermarktung, führen zu hohen Kartoffelbeanspruchungen.

Unter den Bedingungen der Frühkartoffelernte führt dieses Verfahren infolge der Loschalligkeit der Kartoffeln zum Schalenabrieb und zu Feuchtigkeitsverlusten. Dadurch treten erhebliche Qualitätsminderungen auf. Angestrebt werden sollte daher zumindest in den ersten zwei Erntewochen ein Verfahren, bei dem die Kartoffeln nach der Ernte unter Umgehung der Aufbereitung direkt dem Handel zugeführt werden.

5. Schlußfolgerungen

Im Ergebnis der durchgeführten Untersuchungen können u. a. nachstehende Schlußfolgerungen abgeleitet werden:

- Reduzierung der Fallhöhen auf ≤ 300 mm
- Reduzierung der Anzahl der Fallstufen
- Verringerung der Gurtbandgeschwindigkeit auf $\leq 0,5$ m/s (u. a. Regelung der Fördergeschwindigkeit nach dem Durchsatz)
- Einsatz von elastischen Unterlagen bei gegenwärtig noch technologisch bedingten Fallhöhen > 500 mm
- Gestaltung von Krümmungsradien ≥ 10 mm
- den Einsatzbedingungen angepaßte Maschineneinstellungen, wie Erregung der Siebketten, Spaltweite zwischen den Klutenballons, Übergabehöhe Verladeelevators – Transportfahrzeug
- Einsatz von Dosiereinrichtungen nach der Annahme
- Betreiben der Mechanisierungsmittel im Bereich des Nenndurchsatzes bzw. Anpassung der Arbeitsbreite an den vorgesehenen Durchsatz
- Reduzierung der Aufbereitungsstrecke und Einsatz von neuen Wirkelementen, z. B. zur Fraktionierung der Kartoffeln
- automatische Regelung der Arbeitsgeschwindigkeit, der Absiebintensität und der Siebkettengeschwindigkeit bei Erntemaschinen in Abhängigkeit von den Einsatzbedingungen
- Einsatz der entsprechenden Erntemaschinen in Abhängigkeit vom Standort zur Realisierung der Direkteinlagerung.

6. Zusammenfassung

Ausgehend von der gegenwärtigen Situation bei der Bewertung von Mechanisierungsmitteln hinsichtlich der von ihnen auf Kartoffeln ausgeübten Beanspruchungen wurde mit dem telemetrischen Meßverfahren eine Analyse und Kennzeichnung der Beanspruchungsverhältnisse in Mechanisierungsmitteln und Verfahrensabschnitten vorgenommen.

Die Entstehung von mechanischen Beanspruchungen ist auf Übergabestellen und aktive Arbeitselemente und somit auf technologische und technische Einflußfaktoren zurückzuführen. Entscheidende Einflußfaktoren auf die Entstehung und Größe der mechanischen Beanspruchung sind die kinetische Energie, die Unterlageneelastizität, der Aufprallwinkel des Gutes auf eine Unterlage sowie die Einsatz- und Betriebsbedingungen als Ergebnis des komplexen Wirkens der Einzelgrößen. Die Kartoffeln sind hohen Beanspruchungen ausgesetzt. Bei der Ernte und Aufbereitung unterliegen sie bis zu 200 Stößen, wirken auf sie Stoßkräfte bis zu 90 N und entsteht eine Gesamtbeanspruchung von rd. 2600 N. Schwerpunkte der mechanischen Beanspruchung sind die Annahme von Kartoffeln, Zwischenspeicher mit großen Fallhöhen sowie Fraktionier- und Siebketten. Möglichkeiten zur Beanspruchungsreduzierung, die durch die Aufbereitungs-, Lager- und Vermarktungsanlagen ohne größeren Aufwand realisiert werden können, bestehen in der optimalen Gestaltung des Aufbereitungsprozesses, wie Reduzierung der Fallstufenanzahl und der Fallhöhen, den Einsatzbedingungen angepaßte Maschineneinstellungen und Betreiben der Anlage im Leistungsreich.

Literatur

- [1] Leuschner, J.: Grundlagen der gutschönenden Technik im Gartenbau. agrartechnik, Berlin 34 (1984) 10, S. 446–449.

A 4961

Landtechnische Dissertationen

Am 20. November 1986 verteidigte Dipl.-Ing. Annlies Wilke an der Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg mit Erfolg ihre Dissertation A zum Thema

„Beitrag zur Klärung thermodynamischer und strömungstechnischer Vorgänge in Kartoffelbehälterlagern“

Gutachter:

Prof. Dr. sc. techn. W. Maltry, Forschungszentrum für Mechanisierung der Landwirtschaft Schlieben/Bornim

Prof. Dr. sc. nat. J. Hellebrand, Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg

Dr.-Ing. H.-J. Hegner, Forschungszentrum für Mechanisierung der Landwirtschaft Schlieben/Bornim.

Der Einsatz der kombinierten Lüftung in Kartoffelbehälteranlagen ermöglicht entsprechend ihrer Wirkungsweise, den ansonsten für die Belüftung notwendigen Energieverbrauch um rund 50% zu reduzieren. Die Untersuchung verschiedener Einflußfaktoren auf den Luftdurchsatz und den Wärme- und Stoffübergang am Gut zielte auf die Erstellung weiterer wissenschaftlich begründeter Projektierungsgrundlagen. Die kombinierte Lüftung, bestehend aus einer technischen Lüftungsart, der Wurflüftung, und aus Elementen der freien Lüftung durch Luken, wurde daher im einzelnen quantifiziert und qualitativ beschrieben. Die dabei auftretenden strömungstechnischen und thermodynamischen Vorgänge wurden auf der Grund-

lage von praktischen und theoretischen Erkenntnissen aus Forschungsarbeiten sowie aus Versuchsergebnissen analysiert. Praktische Untersuchungen erfolgten zur Klärung der Raumströmung (Geschwindigkeitsmessungen und Rauchversuche) sowie zur Wärme- und Stoffübertragung am Einzelbehälter und Behälterstapel (Temperaturmessungen):

Im Ergebnis der Bearbeitung wurden entsprechend der Zielstellung Projektierungshinweise abgeleitet, die außerdem zur Lösung von Optimierungsaufgaben beitragen.