

# Materialkennwerte für ein rheologisches Modell der Kartoffel

Dr. habil. K. Baganz, Institut für Mechanisierung Potsdam-Bornim der AdL der DDR

Durch die Anwendung rheologischer Modelle konnten die Aussagen über die Festigkeits- und Verformungseigenschaften landtechnischer Arbeitsmaterialien gegenüber denen, die auf der Basis der klassischen Festigkeitslehre möglich waren, wesentlich präzisiert werden. Bei der Arbeit mit rheologischen Modellen muß jedoch beachtet werden, daß sie in der Regel — als Interpretationsmodell für Versuchsergebnisse — einen durch die Versuchsbedingungen begrenzten Anwendungsbereich aufweisen.

In diesem Beitrag wird ein rheologisches Modell für Kartoffeln behandelt, das die Verformungsbedingungen dieses biologischen Materials für Belastungszeiten von 0,1...1000 s bei mittleren Belastungen widerspiegelt. Die untere Grenze der Belastungszeit entspricht damit etwa der oberen Belastungszeit bei Stößen in Erntemaschinen, der andere Grenzwert den Größenordnungen der Zeiten bei Zwischenlagerungen.

## Methodik

Für die Untersuchungen fand eine im Institut entwickelte Retardations-Meßeinrichtung Verwendung, die in Stufen einstellbare vertikale Belastungen und einstellbare Belastungszeiten von 0,1 s an aufwärts zuließ. Die Verformung wurde durch elektrische Geber und Lichtdirektreiber bestimmt, wobei eine Verformung von 0,01 mm noch mit Sicherheit ermittelt werden konnte. Den gesamten Versuchsablauf steuerte eine automatische Zeitschaltung  $1/\mu$ .

Da Versuchsreihen mit ganzen Knollen trotz strengster Größenauswahl zu hohen Versuchsstreuungen durch Formunterschiede führten, wurden die Standardversuche mit Kartoffelwürfeln von 17,6 mm Kantenlänge und einer Belastung von 4,8 kp/cm<sup>2</sup>, d. h. etwa 50 Prozent der Bruchbelastung, durchgeführt.

Aus der Analyse des zeitlichen Verformungsverhaltens ergeben sich folgende Verformungsanteile für die Versuchsbedingungen:

- elastische Verformung (Index 1)
- nichtlineare plastische Verformung (Index 2)
- nichtlineare visko-elastische Verformung (Index 3)
- sofortige bleibende Verformung (Index 4)

Unter Verwendung von Gliedern mit nichtlinearem (logarithmischem) Verhalten anstelle von „Spektral“-Gruppen gleicher Elemente kann das mit dem Logarithmus der Zeit lineare Verhalten bei Be- und Entlastung wie folgt interpretiert werden  $1/\mu$ :

$$\begin{aligned} \varepsilon_t &= \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \varepsilon_4 \\ &= \frac{\sigma}{K_1} + \frac{\sigma}{K_2} \lg t + \frac{\sigma_0}{K_2} \lg t_0 \\ &+ \frac{\sigma}{K_3} (\lg t + D) + \frac{\sigma_0}{K_3} (\lg t_0 + D) \left(1 - \frac{\lg t}{T}\right) \\ &+ \frac{\sigma + \sigma_0}{K_4} \end{aligned}$$

$\varepsilon_t$	relative lineare Verformung
$t$	Zeit des betrachteten Abschnitts
$t_0$	Zeit des vorlaufenden Abschnitts
$\sigma$	Belastung im betrachteten Abschnitt
$\sigma_0$	Belastung im vorlaufenden Abschnitt
$K_1, K_2, K_3, K_4, D$	Materialkennwerte
$T$	

Als Zeitbasis für die Kennwerte werden im folgenden  $1/10$  s (ds) benutzt. Die visko-elastische Verformung wird in der Auswertung durch das Verhältnis  $K_3/D$  gekennzeichnet, dessen Kehrwert dem auf die Spannung  $\sigma_0 = 1,0$  kp/cm<sup>2</sup> und der Belastungszeit  $t_0 = 1/10$  s normierten visko-elastischen Verformung entspricht.

## Versuchsergebnisse

Aus den Versuchsreihen, für die überwiegend das Knollenmaterial vom Institut für Kartoffelzüchtung Groß-Lüsewitz zur Verfügung gestellt wurde, sollen zur Kennzeichnung von Tendenzen

- die Wirkung der N-Düngung
  - der Einfluß der Lagerzeit und
  - der Temperatureinfluß
- näher betrachtet werden.

Von einem zweijährigen Stickstoff-Düngungsversuch (0; 80; 160; 240 kg N/ha) mit 4 Sorten wurden die rheologischen Kennwerte des Erntegutes nach der angeführten Methodik bestimmt.

Die varianzanalytische Auswertung (Tafel 1) ergab nur für den Modul der bleibenden Verformung  $K_4$  eine gesicherte Abhängigkeit von der Stickstoffgabe, die auf das Jahres-Sortenmittel normiert dargestellt wird durch

$$K_{4rel} = 0,80 + 0,00166 N$$

d. h. mit steigender N-Düngung vermindert sich die bleibende Verformung bei Belastung. Der Sorteneinfluß war bei den 4 Versuchsorten u. a. bei der Bruchbelastung  $\sigma_B$  und dem visko-elastischen Kennwert  $K_3/D$  nachweisbar. Die Jahreswirkung kann — wie nachfolgend gezeigt wird — nennenswert durch die in beiden Versuchsjahren unterschiedlichen Untersuchungszeiten nach der Ernte nicht bestimmt worden sein.

Um die Veränderung der rheologischen Kennwerte während einer Lagerzeit zu bestimmen, wurden mit der Sorte Ora von einem Standort zeitlich gestaffelte Versuche von 8 Tagen vor dem Rodetermin bis 100 Tage nach diesem durchgeführt. Bei den Untersuchungen vor der Ernte wurden die Kartoffeln bis zur Messung im Boden gelassen, die Lagerung nach der Ernte erfolgte bei einer Temperatur von 8 °C. Aufgrund von Vorversuchen liefen die Messungen zum Erntezeitpunkt in kurzen Zeitintervallen.

Für fast alle Kennwerte ( $K_1, K_3/D, K_4, \sigma_B$ ) waren gesicherte, fallende Tendenzen mit der Zeit festzustellen (Bild 1). Auffällig sind die unmittelbar bei und kurz nach der Ernte auftretenden stärkeren Streuungen, die mit einem Anstieg im Zeitraum 0,5 Tage nach der Ernte verbunden sind. Diese

Tafel 1. N-Düngungsversuch Groß Lüsewitz, verkürzte Varianztabelle

Kennwert	FG	$K_1$	$K_2$	$K_3/D$	$K_4$	$\sigma_B$	PW <sup>1</sup>
N-Düngung (D)	3	F = 0,64	F = 0,81	F = 0,79	F = 7,77++	F = 2,12	F = 0,87
Sorte(S)	3	1,19	0,82 /	11,78**	3,52(+)	4,88	29,82+++
Jahr (J)	1	0,55	3,67	94,74+++	59,08+++	48,55+++	86,25+++
WW:DS	9	0,65	0,86	1,08	1,68	1,65	0,42
WW:SJ	3	1,63	1,09	2,10	4,51	9,17**	2,45
WW:DJ	3	0,08	0,94	4,84+	9,45**	2,50	1,21
Rest	9	$\bar{x} = 43,1$	$\bar{x} = 236$	$\bar{x} = 2470$	$\bar{x} = 94,9$	$\bar{x} = 11,4$	$\bar{x} = 40,0$

Sorten: Kordula, Tunika, Mariella, Sita  
N-Düngung: 0, 80, 160, 240 kg N/ha

<sup>1</sup> PW = Pendelwert nach Gall

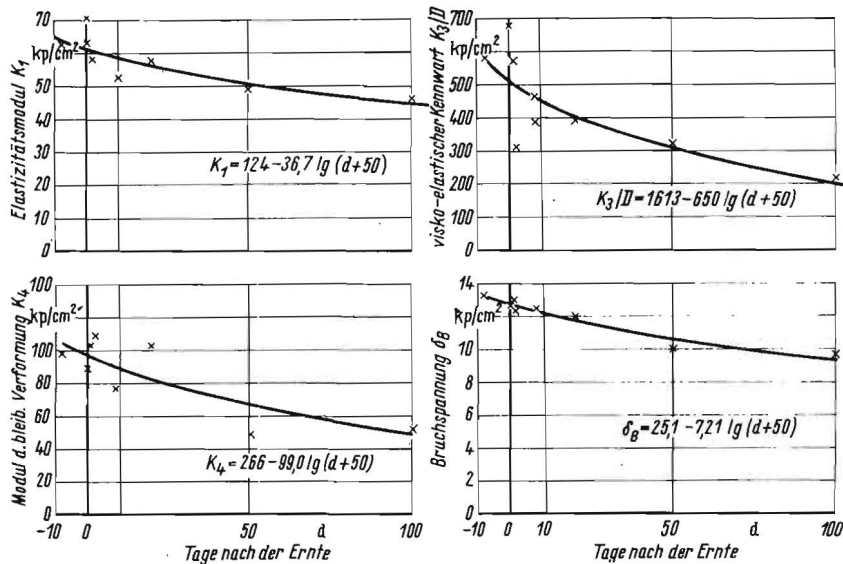


Bild 1. Langzeit-Versuch bei der Kartoffelsorte „Ora“. Die Lagerung nach der Ernte erfolgt bei einer Temperatur von 8 °C. Für fast alle Kennwerte ( $K_1$ ,  $K_3/D$ ,  $K_4$ ,  $\delta_B$ ) sind fallende Tendenzen festzustellen.

Tendenz, die mit einer erhöhten Beschädigungsempfindlichkeit der Knollen nach dem Freilegen (veränderte Stoffumsetzungen?) zu erklären ist, findet man u. a. auch bei den nach einem anderen Verfahren ermittelten Elastizitätsmodulen nach Finney [2]. Im Gegensatz zu den genannten Kennwerten war bei dem Modul der plastischen Verformung  $K_2$  eine steigende Tendenz mit der Zeit bei starker Streuung zu verzeichnen. Der Einfluß der Knollentemperatur auf das Verformungsverhalten wurde mit entsprechender Methodik ergänzend zu früheren Versuchen [3] im Temperaturbereich  $\theta = 3 \dots 22$  °C ermittelt. Aus den von 2 Ernten mit mehreren Sorten durchgeführten Untersuchungen ergab sich nur eine gesicherte Veränderung des Elastizitätsmoduls  $K_1$  mit der Knollentemperatur. Im Mittel der Versuche war diese Änderung für den auf die 10-°C-Werte der Sorten normierten Elastizitätsmodul  $K_{1, \theta}/K_{1, 10}$  zu beschreiben durch

$$K_{1, \theta}/K_{1, 10} = 1,12 - 0,12 \lg \theta.$$

Aus früheren Untersuchungen waren die ebenfalls vom Logarithmus der Temperatur abhängigen gleichsinnigen Tendenzen des Beschädigungswertes bekannt.

Da uns für einige Versuchsreihen parallele Beschädigungsuntersuchungen des Instituts für Kartoffelzüchtung Groß-Lüsewitz zur Verfügung standen, konnten die rheologischen Kennwerte auf ihre Beziehung zum Beschädigungsverhalten ausgewertet werden. Übereinstimmend mit den Tendenzen beim Temperaturversuch ergab sich nur für den Elastizitätsmodul eine gesicherte Beziehung zu dem auf das Versuchsmittel normierten Beschädigungswert entsprechend

$$BW_{rel} = -2,25 + 0,071 K_1$$

und damit ein relativ hoher Einfluß des — in diesen Versuchsreihen sortenbedingten — Elastizitätsmodul-Unterschiedes.

### Schlußfolgerungen

Die rheologischen Kennwerte für das angeführte Modell und in dem untersuchten Bereich von Belastungszeit und -spannung können aufgrund der zweijährigen Untersuchungen mit folgenden Mittelwerten angegeben werden:

Elastizitätsmodul	$K_1 = 45$ kp/cm <sup>2</sup>
Modul der plastischen Verformung	$K_2 = 2000$ kp/cm <sup>2</sup>
Modul der kurzfristigen visko-elastischen Verformung	$K_3/D = 300$ kp/cm <sup>2</sup>
Modul der sofortigen bleibenden Verformung	$K_4 = 90$ kp/cm <sup>2</sup>
Bruchbelastung (Druck)	$\sigma_B = 11$ kp/cm <sup>2</sup>

Tafel 2. Vergleich der rheologischen Kennwerte von Kartoffeln und Erdkluten

Kennwert		Kartoffel	Erdklute	
Elastizitätsmodul $K_1$	kp/cm <sup>2</sup>	45	500	1:11
Modul d. plastischen Verformung $K_2$	kp/cm <sup>2</sup>	2000	3000	1: 1,5
Modul d. kurzfrist. visko-el. Verformung $K_3/D$	kp/cm <sup>2</sup>	300	3000	1:10
Modul d. sof. bleib. Verformung $K_4$	kp/cm <sup>2</sup>	90	300	1: 3

Die entscheidenden Verformungsanteile bei kurzfristigen Belastungen (0,1 ... 1,0 s) von Kartoffeln sind

elastisch	60 Prozent
hleibende (sofort.)	30 Prozent
visko-elastische	10 Prozent.

Die plastische Verformung kann in diesem Zeitbereich vernachlässigt werden. Aufgrund des hohen elastischen Verformungsanteils ist daher für Spannungsberechnungen an Kartoffeln nach elastischen Grundmodellen bei Stoßbelastungen bereits ein hoher Annäherungsgrad zu erwarten. Dies wird durch die zwischen Elastizitätsmodul und Beschädigungswert bestehenden Beziehungen unterstrichen. Für verfahrenstechnische Schlußfolgerungen ist es von besonderer Bedeutung, daß die für das Verformungsverhalten wesentlichen Kennwerte sorten-, lagerzeit- und temperaturabhängig sind. Für alle Trennvorgänge von Kartoffel und Erde können vergleichende Angaben auch über die rheologischen Materialeigenschaften von Bedeutung sein. Aus Untersuchungen an Bodenproben und Erdkluten, denen der gleiche Modellansatz zugrunde lag, lassen sich Mittelwerte für Erdkluten denen der Kartoffel gegenüberstellen (Tafel 2). Aufgrund der unterschiedlichen rheologischen Kennwerte beider Materialien sind daher auch unterschiedliche Hauptspannungen in den Körpern bei dem Kontakt mit Arbeitsflächen zu erwarten.

In Verbindung mit der Möglichkeit, solche Hauptspannungen zu berechnen [4/ 5], gestattet die Kenntnis der rheologischen Kennwerte das Beschreiten neuer Wege zur Deutung und Beeinflussung empirisch bestimmter Abhängigkeiten, wie sie z. B. bei der Entwicklung von knollenschonenden Absiebelelementen von Bedeutung sein können [6].

### Zusammenfassung

Für ein rheologisches Modell der Kartoffel wurden der Einfluß von Stickstoffdüngung, Lagerzeit und Temperatur auf

(Fortsetzung auf Seite 353)

# Radiometrische Verteilungsmessung bei der Kartoffelbeizung

Chem.-Ing. Lydia Hartung / Dr. M. Beer

Institut für Mechanisierung Potsdam-Bornim der AdL der DDR

## 1. Aufgabenstellung

Die industriemäßige Pflanzenproduktion kann auf den Pflanzenschutz nicht verzichten.

Relativ hohe Mittelkosten und Rückstandsprobleme zwingen zur Anwendung minimaler Mittelmengen bei gesicherter Schutzwirkung. Das setzt aber die optimale Verteilung besonders von Fungiziden und Bakteriziden auf den zu behandelnden Gütern (z. B. Saat- und Pflanzgut) voraus.

Diese Aufgabe muß durch entsprechend leistungsfähige Pflanzenschutzmaschinen gelöst werden.

Nachdem in den letzten Jahren Verteilungsmessungen an Feld- und Obstbau-, Sprüh-, Spritz- und Stäubeanlagen, an Verteileinrichtungen von Agrarflugzeugen und an Beizern mit Erfolg durch radiometrische Methoden durchgeführt worden sind <sup>1/1/2/</sup>, wurde die Aufgabe gestellt, in Zusammenarbeit mit dem Institut für Pflanzenschutzforschung der AdL Kleinmachnow die Mittelwirkung bei der Beizung von Pflanzkartoffeln rasch und gesichert zu messen, um einen schnellen Vergleich von Maschinen und -varianten zu gewinnen.

Die Verteilungsbilder unter Praxisbedingungen ließen erkennen, daß nur eine große Anzahl von Meßwerten eine gesicherte Auswertung der Varianten ermöglichen würde. Solche Messungen sind hier, wie bei anderen Pflanzenschutzverfahren bei Anwendung chemischer Analysemethoden nur mit nicht vertretbarem Zeit- und Kostenaufwand durchführbar.

Entsprechend den positiven Erfahrungen bei den o. g. Meßproblemen wurde auch hier für die vorliegende Aufgabe eine radiometrische Tracer-Methode angewendet, die auf der Markierung der wirksamen Komponente im Beizmittel mit radioaktiven Nukliden beruht.

## Meßverfahren

### 2.1. Markierung des Beizmittels

Die Markierung des wesentlichen Wirkstoffs in der Beizmittelsuspension erfolgte mit dem seit Jahren bei vielen Praxisuntersuchungen bewährten Nuklid Au-198 <sup>3/</sup> einfach durch Zugabe dieses Nuklids in Form von Goldchlorwasser-

stoffsäure (HAuCl<sub>4</sub>) zur Mittelsuspension. Das vorher gelöste Gold-Ion (Au<sup>3+</sup>) wird durch das Mittel zu elementarem Au reduziert und auf dem Mittel feinst verteilt und fest haftend niedergeschlagen. Durch starkes Rühren der Suspension bei der HAuCl<sub>4</sub>-Zugabe wird bei der Reduktion des Au<sup>3+</sup> eine gleichmäßige, d. h. massenproportionale Markierung erreicht.

Für Trockenbeizversuche führen Filtration der markierten Suspension, Trocknen und mischendes Sieben mit unmarkiertem Beizmittel zu homogen markiertem Pulver mit praktisch unveränderten Stäube- und Hafteigenschaften.

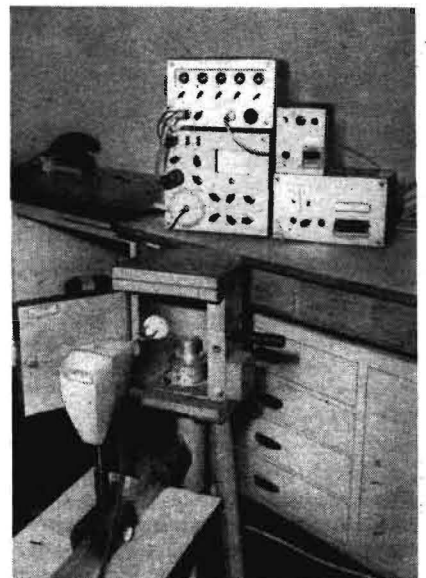
### 2.2. Messung

Zunächst interessierte die Messung der Mittelmenge je Kartoffel. Aufgrund der unregelmäßigen Gestalt und Größe der Knollen war die Messung selbst der stark durchdringenden  $\gamma$ -Strahlung problematisch. Eine Meßanordnung nach Bild 1 führte jedoch mit ausreichender Genauigkeit (> 90 Prozent) zu Meßergebnissen, die von der Kartoffelgröße, -form und Art der Mittelverteilung weitgehend unabhängig waren. Der Vergleich dieser Meßergebnisse untereinander jedoch erfordert die Normierung der Werte auf eine Bezugsgröße, wie Mittelmenge je 100 g Kartoffelmasse, wobei diese Definition die nichtlineare Abhängigkeit zwischen Kartoffelmasse und -oberfläche nicht berücksichtigt, und ein Vergleich der Mittelmengen auf Kartoffeln mit extremen Masseunterschieden nicht möglich ist.<sup>1</sup>

Wesentlich niedriger, weil dem biologischen Wirkungsmechanismus des Mittels entsprechender, war die Bestimmung der Mittelmenge auf der Kartoffeloberfläche, insbesondere auf kleinen Teilflächen. Obwohl gesicherte Grundlagenuntersuchungen noch ausstehen, wurde in Übereinstimmung

<sup>1</sup> Die Oberfläche gleicher Massen der kleinen Kartoffelfraktion ( $\approx 30$  bis 40 g/Knolle) gegenüber der großen (80 bis 100 g/Knolle) ist um rd. 30 Prozent größer.

Bild 1. Meßanordnung zur Ermittlung der  $\gamma$ -Gesamtaktivität je Kartoffel



(Fortsetzung von Seite 352)

die Modellkennwerte untersucht und ausgehend von Mittelwerten für das Verformungsverhalten verfahrenstechnische Schlußfolgerungen abgeleitet.

## Literatur

- 1/ Baganz, K.: Untersuchungen zum rheologischen Modell der Kartoffeln. *Dt. Agrartechnik* 19 (1969) H. 11, S. 548-550.
- 2/ Finney, E. u. a.: Influence of variety and time on the resistance of Potatoes to mechanical damage. *Am. Potato J.* 41 (1964), S. 41-178.
- 3/ Baganz, K.: Untersuchungen über den Temperatureinfluß auf verschiedene Festigkeitskennwerte der Kartoffel. *Thaer-Archiv* 12 (1968), S. 219-226.
- 4/ Lamm, M. I.: (Kontaktbeschädigungen von Kartoffelknollen). *Trudy Vischom*, Ausgabe 58, Moskau (1969), S. 290-314.
- 5/ Herold, B.: Theoretische Analyse der Knollenbeanspruchungen. Institut für Mechanisierung Potsdam-Bornim (1970), *Forsch.-Ber. „Beschädigungsminderung“* (unveröff.).
- 6/ Besrukij, L. P.: (Experimentelle Untersuchung der Zerstörung von Bodenkrümel). *Traktory i selchozmasiny*, Moskau (1961) H. 11, S. 23-26. A 9489