

# Die Bruchkraft als Qualitätsmerkmal von Kartoffeln

*Kartoffeln müssen wegen ihrer vielfältigen Verwendungsmöglichkeiten im Vergleich zu anderen Kulturen eine Vielzahl von Qualitätskriterien erfüllen. Produkte des ökologischen Anbaues werden im Vergleich zu konventionell erzeugten Produkten häufig als qualitativ hochwertiger erachtet. Wichtige Qualitätsmerkmale der Kartoffel sind deren Festigkeitseigenschaften. Das hier vorgestellte Messverfahren erlaubt diese Merkmale objektiv zu ermitteln. Der Stempeltest wurde in der DFG-Forschungsgruppe "Optimierungsstrategien im Organischen Landbau (OSIOL)" eingesetzt, um den Einfluss verschiedener Versuchsfaktoren auf dessen Festigkeitskennwert zu prüfen.*

Dipl.-Ing. Marianna Németh ist seit 1998 am Lehrstuhl für Landtechnik (Leiter: Prof. Dr.-Ing. K.-H. Kromer) als wissenschaftliche Mitarbeiterin tätig.

## Schlüsselwörter

Kartoffeln, Stempeltest, Kartoffelqualität, organischer Landbau

## Keywords

Potatoes, penetrometer test, potato quality, organic farming

Literaturhinweise sind unter LT 01 SH 118 über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/local/fliteratur.htm> abrufbar.

Die Kartoffelqualität wird weder durch die Verordnung über gesetzliche Handelsklassen für Speisekartoffeln noch durch eine sensorische Prüfung von gegarten Kartoffeln erfasst. Speisekartoffeln werden in rohem Zustand gekauft, aber nicht roh verzehrt. Die Qualitätskriterien fassen die Komplexität und hohen Anforderungen der Kartoffelqualität zusammen. Die Festigkeitseigenschaften als ein Teil der mechanischen Eigenschaften von Kartoffeln gelten als bedeutende Qualitätsmerkmale.

Die Kartoffelknolle stellt ein komplexes biologisches System mit hohem Wassergehalt (~75%) und grosser Variabilität hinsichtlich äusserer und innerer Eigenschaften dar. Die Zusammensetzung, der Trockenmassegehalt und die Gewebestruktur der Knollen verändern sich während des Wachstums, der Reife und während der Lagerung ständig. Dabei reagieren sie auf jede Veränderung der Umweltfaktoren.

Demzufolge sind die Festigkeitseigenschaften von Kartoffeln von sehr vielen Faktoren abhängig, wobei ein Großteil dieser Zusammenhänge bis heute nicht bekannt ist. Die Gründe hierfür sind, dass die Kartoffel ein kompliziert aufgebautes biomechanisches System darstellt, dessen Verhalten nicht durch wenige physikalische Kenngrößen beschrieben werden kann, wie etwa bei Stahl. Deshalb müssen bei der mechanischen Beschreibung des biologischen Materials vergleichsweise oft Annahmen getroffen werden. Auf diese Weise gewonnene Ergebnisse sind nur unter den festgelegten Bedingungen gültig. Die Festigkeitseigenschaften landwirt-

schaftlicher Stoffe können trotz dieser Einschränkungen durch standardisierte Messmethoden und deren Messgrößen [2] weitgehend objektiv und reproduzierbar beschrieben werden. Eine Messmethode stellt der Stempeltest dar.

## Stempeltest

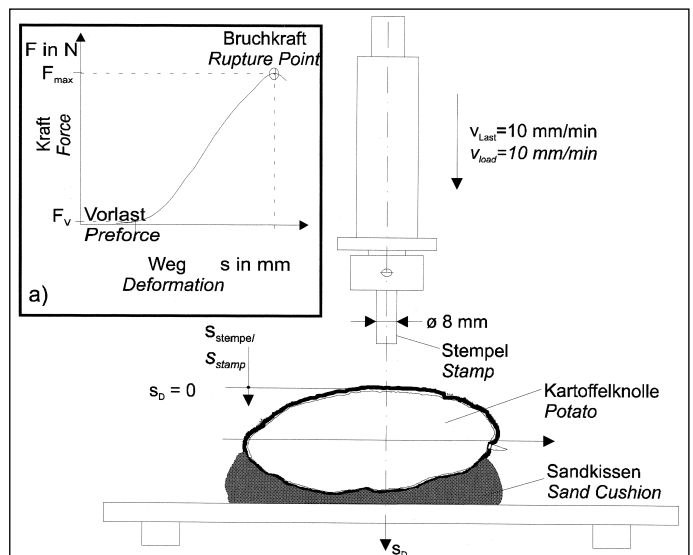
Hier erfolgt die quasi-statische Beanspruchung durch das Eindringen eines definierten Stempel mit konstanter Geschwindigkeit in die Knolle. Diese quasi-statische Belastungsart entspricht in der Regel der statischen Beanspruchung der Kartoffelknollen während der Lagerung in den Lagerräumen.

Für die Bestimmung des Festigkeitskennwertes wird das Kraft-Weg-Verhalten mit Hilfe einer Materialprüfmaschine und der zugehörigen Software der Firma Zwick aufgenommen. Die Größe und Form des Stempels sind als Standard festgelegt [2]. Zur Messung wurde die Kartoffelknolle auf einem mit Sand gefüllten Kissen gegen horizontales Verschieben positioniert (Bild 1). Die Vorkraft beträgt 5 N, die Stempelgeschwindigkeit 10 mm/min.

In Bild 1a wird eine kartoffeltypische Kraft-Weg-Kurve dargestellt. Die maximale Kraft als Messgröße ( $F_{max}$ ) ergibt die Bruchkraft oder Bruchgrenze, die sowohl bei der Materialprüfung von Metallen als auch bei landwirtschaftlichen Stoffen ein

Bild 1: Schematische Darstellung des Stempeltests; a) typischer Kraft-Weg-Verlauf bei der Kartoffel

Fig. 1: Scheme of penetrometer test; a) typical force-deformation-curve of potatoes



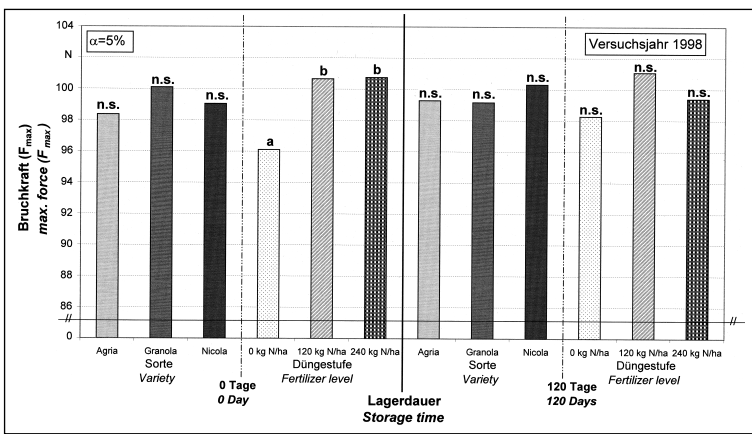


Bild 2: Bruchkraft nach 0 und 120 Tagen bei drei Sorten und drei Düngestufen, Versuchsjahr 1998

Fig. 2: Maximum force of the penetrometer test, 0 and 120 days of storage, three varieties and three fertilizer level, year of experiment 1998

maßgeblicher Festigkeitskennwert ist. Die maximale Kraft bezeichnet den Punkt der Kraft-Weg-Kurve, bei dem die Knolle ihre Widerstandskraft verliert, zusammenbricht, was mit der vollständigen Zerstörung der Kartoffelschale und der darunterliegenden Rindenschicht einhergeht.

### Bewertung des Stempeltests

Für die Versuchsdurchführung ist zu beachten, dass die Prüfknohle so ausgerichtet wird, dass die Kreisfläche des Stempels parallel zur Knollenoberfläche steht. So wird sicher gestellt, dass die Kraft während des Testes genau immer mit der gleichen Fläche wirkt. Aus diesem Grund eignen sich runde Kartoffelsorten und kleinere Sortierungen hierfür weniger. Auch Sorten mit rauher Schale sind wegen des höheren Eindringwiderstands für dieses Testverfahren weniger geeignet. Weitere Ursachen für Messfehler können von aussen nicht sichtbare Verletzungen oder Krankheiten sein.

In der Fehlerbetrachtung des Stempeltests muss der systematische Fehler wegen der konstant gewählten Messparameter nicht berücksichtigt werden. Zur Bestimmung des zufälligen Messfehlers wurde die Untersuchung mit 20 homogenen Knollen wiederholt. An einer Knolle wurden vier Messungen nacheinander vorgenommen. Die Variationskoeffizienten der mechanischen Eigenschaften der Kartoffeln liegen in der Größenordnung von 25% [3]. Für den Stempeltest ergibt sich ein Schwellenwert von 2 bis 5% für den durchschnittlichen zufälligen Messfehler, der gering ist.

### Versuchsfaktoren und -parameter

Die Feldversuche wurden 1997, 1998 und 1999 auf dem Versuchsgut Wiesengut angelegt. Es wurde eine Blockanlage mit vier Wiederholungen gewählt. Als qualitätsrelevanter Faktor wurden die Sorten Agria als Verarbeitungssorte, Granola als vorwiegend festkochende und Nicola als festkochende Speisekartoffelsorte angebaut. Wegen der geringeren Erträge im organischen Landbau wurde die Auswirkung erhöhter organischer

Düngemengen auf Ertrag und Qualität untersucht. Es wurden drei Düngestufen mit 0, 120 und 240 kg N/ha in Form von Rottemist angelegt. Da die Kartoffel eine typische Lagerfrucht ist, wurde als Versuchsfrage der Einfluss der Lagerzeit auf den Festigkeitskennwert und dadurch auf die Qualität ermittelt. Für die Durchführung der Laboruntersuchungen wurden drei Termine gewählt – zur Einlagerung, nach 60 und 120 Tagen Lagerzeit. Die Einlagerung erfolgt bei Temperaturen unter 6 °C und 95% relativer Luftfeuchtigkeit. Die Messungen erfolgten bei einer durchschnittlichen Raumtemperatur von 20 °C und etwa 50% Luftfeuchtigkeit im Materialprüflabor des Instituts für Landtechnik der Universität Bonn. Die Kartoffeln wurden vor der Untersuchung zwei Stunden in diesem Klima gelagert. Der Stichprobenumfang betrug pro Faktorstufe 30.

### Ergebnisse und Diskussion

Die Darstellung der Ergebnisse beschränkt sich exemplarisch auf zwei Versuchsjahre (1998 und 1999), drei Sorten und zwei Lagerdauerstufen (0 und 120 Tage). Entsprechend den drei Versuchsfaktoren erfolgte die statistische Auswertung mit einer dreifaktoriellen Varianzanalyse.

Reife Kartoffelknollen haben zur Ernte eine hohe Bruchkraft und brechen bereits bei geringer Dehnung. Hingegen weisen gelagerte Kartoffeln eine geringere Bruchkraft und eine relativ grosse Dehnbarkeit auf [3,

4]. Andere Literaturstellen weisen bei Kartoffeln mit zunehmender Lagerdauer eine Zunahme der Bruchkraft aus [5, 6].

Der zur Düngung verwendete Rottemist wurde mengenmässig einer Faktorstufe zugeordnet. Jedoch ist die Verfügbarkeit des Stickstoffs für die Kartoffelpflanze in Frage zu stellen. Die Freisetzung des Stickstoffes aus dem organischen Stallmist im Boden und die Verfügbarkeit für die Kartoffelpflanze ist ein sehr schwer einschätzbarer Faktor. Unter anderem ist die Freisetzung witterungsabhängig [7, 8]. Aus diesen Gründen ergaben sich in den Versuchsjahren abweichende Ergebnisse.

Im Jahre 1998 hatten die Sorten kaum Einfluss auf die Bruchkraft. Der statistisch gesicherte Unterschied in den Düngestufen beim Einlagerungstermin weist darauf hin, dass die Bruchkraft mit gesteigerter N-Düngung tendenziell zunimmt. Der Grund dafür ist, dass bei erhöhten Düngegaben der Ertrag steigt, die Knollen und deren Zellen grösser ausfallen und deutlich mehr Wasser aufnehmen. Diese Knollen werden dadurch spröder, sie weisen also eine höhere Bruchkraft während des Belastungstestes auf. 1998 ergaben sich nach 120 Tagen Lagerdauer keine signifikante Unterschiede (Bild 2).

Für das Jahr 1999 können sowohl die Düngestufen als auch die Sorten und die Lagerdauer differenziert werden. Die Ergebnisse sind in Bild 3 dargestellt. Bei den drei Düngestufen konnte die für 1998 ermittelte Tendenz nicht bestätigt werden. Diesbezüglich lässt sich vermuten, dass der Faktor Düngestufe in diesem Versuchsaufbau anhand dieser Messmethode nicht sicher differenzierbar ist. Die Sorten Agria und Granola erreichen eine signifikant höhere Bruchkraft als die Sorte Nicola zur Einlagerung. Die Sorte Granola besitzt sehr gute Lagereigenschaften, dementsprechend verändern sich deren Werte nach 120 Tagen Lagerung kaum. Die Sorte Nicola weist mit zunehmender Lagerzeit deutlich niedrigere Festigkeitskennwerte auf, die sich auch in erhöhter Keimfreudigkeit zeigen.

Bild 3: Bruchkraft nach 0 und 120 Tagen bei drei Sorten und drei Düngestufen (1999)

Fig. 3: Maximum force of the penetrometer test, 0 and 120 days of storage, three varieties and three fertilising level

