

# Modellierung des Schnitvorganges beim Trockenschälen von Kartoffeln

*Auf ihrem Weg zum Verbraucher wird ein großer Anteil der Kartoffeln vor dem Garen frisch geschält. Durch ein neu konzipiertes Schälverfahren können die gegenwärtig hohen Verluste und Umweltbelastungen minimiert werden. Moderne Schälverfahren setzen messerartige Schneiden ein. Ausgehend von der Untersuchung eines mechanischen Schälverfahrens mit einer räumlich schwingenden Messerplatte wird im Weiteren ein Modellierungsansatz für die Simulation des Schnittes vorgestellt. Er ist eng gekoppelt mit einer Modellierung des Stoßverhaltens von Kartoffelknollen, die in einem separaten Beitrag in dieser Zeitschrift bereits vorgestellt worden ist [1].*

Dr.-Ing. Jörg Winkelmann war wissenschaftlicher Mitarbeiter im Institut für Agrartechnik Bornim, Max-Eyth-Alle 100, 14469 Potsdam (Wissenschaftlicher Direktor: Prof. Dr.-Ing. J. Zanke), Abteilung Technik der Aufbereitung, Lagerung und Konservierung, die von Prof. Dr.-Ing. habil. Christian Füll geleitet wird; e-mail: cfuerrll@atb-potsdam.de

Referierter Beitrag der LANDTECHNIK, die Langfassung finden Sie unter LANDTECHNIK-NET.com

## Schlüsselwörter

Kartoffeln, Schälen, Prozesssimulation, Schnittmodellierung

## Keywords

Potatoes, peeling, process simulation, cut modelling

Literaturhinweise sind unter LT 01404 über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/local/fliteratur.htm> abrufbar.

Beim Schneiden kommt es im Schnittgut durch die in der Regel keilförmige Geometrie der eindringenden Schneide zu örtlich extremen Spannungs-Dehnungszuständen, die zum Bruch oder zur Zerstörung des Gewebes und zum Fortschritt des Schnittes führen. Dabei liegt in der Schneideneinflusszone ein sehr komplexer räumlicher Spannungszustand vor. Die sich einstellenden Spannungs-Dehnungs-Verhältnisse werden neben der Makro- und Mikrogeometrie der Schneide geprägt durch solche Größen wie Reibung des Schnittgutgewebes auf der Schneidenoberfläche (insbesondere der Schneidenflanke), viskoelastisch-plastische Eigenschaften des Schnittgutgewebes, Verteilung der Massendichte im Schnittgutgewebe sowie durch die Schnittbewegung (Richtung und Betrag der Relativgeschwindigkeit zwischen Schneide und Schnittgut) selbst.

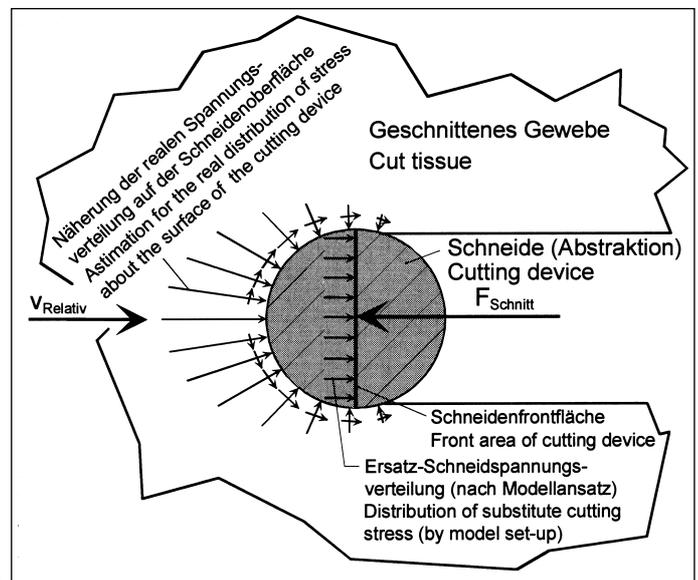
Viele Untersuchungen auf diesem Gebiet und speziell zum Schneiden landwirtschaftlicher Güter gehen von definierten Verhältnissen sowohl für die Schneide und deren Bewegung als auch für das Schnittgut und seine Bewegung aus [2, 3, 4]. Beim Schnitt einer geführten, aktiven Schneide durch eine frei bewegliche Kartoffelknolle stellt sich deren Bewegungsbahn jedoch erst als Folge der Wechselwirkungskräfte zwischen der Schneide und der Knolle ein. Benötigt werden also vereinfachende Annahmen, die diese Wechselwirkungskräfte in Abhängigkeit vom momentanen relativen Bewegungszustand zwischen Schneide und Knolle eindeutig festlegen.

## Theoretischer Ansatz und Annahmen

Prinzipiell kann davon ausgegangen werden, dass die Festigkeit der Schneide bedeutend höher ist als die des Schnittgutes, so dass die Geometrie der Schneide sich beim Schnitt nicht verändert. Weiterhin beruht der hier gewählte Modellierungsansatz darauf, dass die Vorgänge beim Schnitt unterteilbar sind in eine unmittelbar an oder vor der Schneidenfront stattfindende Gewebezzerstörung und eine hauptsächlich an den Schneidenflanken, aber auch im danach folgenden Teil der Schneide vor sich gehende, zerstörungsfreie Gewebedeformation, also eine Klinge mit kreisrunder Querschnittsform (Schneidendraht) schneidet oder zerstört das Gewebe, und die definierte Geometrie der Schneidenflanken deformiert die beim Schnitt neu entstandene Oberfläche und das darunterliegende Gewebe. Von der Schneideneinflusszone weiter entfernt liegende Teile des Schnittgutes bleiben unbeeinflusst. Wird in Betracht gezogen, dass im speziellen Fall des Schälen von Kartoffeln auf einer sich schnell bewegenden und mit verhältnismäßig kleinen Schneidlöchern versehenen Messerplatte die mögliche Dicke der abgeschnittenen Späne aufgrund der geringen auftretenden Durchdringung sehr begrenzt ist, wodurch diese nahezu biegeschlaff werden, genügt es, für eine Bestimmung der

Bild 1: Skizze zur tatsächlichen Spannungsverteilung vor der Schneide und zur Ersatz-Schneidspannung

Fig. 1: Sketch of real stress distribution in front of cutting device and of substitute cutting stress



Wechselwirkungskräfte zwischen Knolle und Messerplatte die Verhältnisse an der Schneidenfront und an der oberen Schneidenflanke zu erfassen. Die Wirkung des durch die Schneidenflanken aufgespannten Keiles bleibt hier ausgeschlossen.

Solange der gedachte Schneiddraht sich senkrecht zu seiner Axialrichtung bewegt, schneidet er das Gewebe (ausgeprägte Gewebetextur wird ausgeschlossen) unabhängig von der Richtung völlig gleichartig (normal gerichteter Schnitt). Tritt jedoch die Bewegungskomponente in axialer Richtung hinzu (ziehender Schnitt), ändert sich das Schneidverhalten stark. Zum einen werden dann auf der Berührungsoberfläche zwischen Gewebe und Schneidenfront starke Scherspannungen erzeugt, zum anderen kommt es durch die Rauigkeit des Klingenmaterials zu einer regelrechten Gewebeabrasion. Im speziellen Fall der kreisförmigen Lochschneide ist zu erwarten, dass hier der normal gerichtete oder „hackende“ Schnitt weitaus häufiger auftritt als der ziehende Schnitt. Aus diesem Grund wird für die Bestimmung der Kräfte beim Schnitt ein Ansatz verwendet, der nur von der senkrecht zur Schneidenfront stehenden Kraft- und Bewegungskomponente ausgeht.

Es wird angenommen, dass die für den Fortschritt der relativen Bewegung zwischen Schneide und Schnittgut notwendige Kraft im Gleichgewicht steht mit dem Produkt aus Schneidenfrontfläche und einer Ersatzspannung, bei der Gewebebruch einsetzt (Bild 1). Die Relativgeschwindigkeit beeinflusst die Höhe der Spannungen und Kräfte im Modell nur durch ihre Richtung, nicht aber durch ihren Betrag. Die Größe dieser Ersatzspannung ist für reale Gewebe und reale Schneiden mit geringen Flankenlängen zu ermitteln. Für den Fall, dass die Relativbewegung des Gewebes gegenüber der Schneide nicht in Richtung des durch die Schneidenflanken ausgebildeten Keiles erfolgt, sondern senkrecht zu den Schneidenflanken, erzeugen die im Rahmen des Stoßmodelles abgebildeten visko-elastischen Gewebeeigenschaften einen der Bewegung entgegenwirkenden Druck auf der gesamten Kontaktfläche beziehungsweise eine entsprechende Kraft.

### Umsetzung in ein Modell

Basis des Schnittmodells ist eine diskretisierte Oberfläche. Dieselbe Diskretisierung wird auch für das Stoßmodell benötigt. Ergebnis der Diskretisierung sind Gewebeelemente mit länglicher, quaderförmiger Geometrie. Die Gesamtheit dieser Gewebeelemente bilden die äußere, flexible Hülle der zu schneidenden Knolle. Bild 2 verdeutlicht

den Vorgang des Schneidens an der diskretisierten Struktur.

Das visko-elastische Element A führt in undeformierter, kräftefreier Lage durch seine kinematische Kopplung an den starren Massekern die Bewegung des Kerns mit aus. Mit dem zeitlichen Fortschritt der Bewegung wird es gegen die Schneidenfront gedrückt. Zur Lage-, Geschwindigkeits- und Deformationsbestimmung am oberflächenseitigen Ende dieses Elementes dient der entsprechende Referenzpunkt.

Das davorliegende Element B befindet sich momentan im Schneideneingriff. Beim ersten Eingriff der Schneide in das durch dieses Element repräsentierte Gewebe wird eine Fixierung der Eingriffsstelle in radialer Richtung vorgenommen, die durch Einsetzen eines radial verschobenen Schnittreferenzpunktes realisiert wird. Nach erfolgtem Schnitt durch das gesamte Element wird zur Aktualisierung der Knollenoberflächengeometrie der Elementreferenzpunkt auf diesen Schnittreferenzpunkt gesetzt. Die Modellierung der Schnittkräfte erfolgt unter Nichtbeachtung der visko-elastischen Gewebeeigenschaften nach Art einer Reibung rein geschwindigkeitsabhängig (Richtung der Geschwindigkeit).

Die visko-elastischen Elemente C, D und E sind bereits geschnitten worden, wodurch ihre Elementreferenzpunkte radial verschoben wurden. Das Element C berührt im betrachteten Zustand die Schneidenflanke. Dadurch wird es in radialer Richtung deformiert, was aufgrund der Umsetzung des Stoßansatzes zu normal gerichteten Reaktionskräften durch die visko-elastischen Glieder, und damit auch zu tangential gerichteten Reibkräften auf der Schneidenflanke führt. Die Elemente D und E liegen außerhalb der Kontaktfigur und sind daher kräftefrei.

Die Schnittkraft besitzt zwei Komponenten. Die erste Komponente  $F_{\text{Schnitt,Front}}$  liegt tangential zur Messerplatte, steht also normal auf der Schneidenfront und zeigt innerhalb der durch die Platte aufgespannten Ebene, ausgehend vom Schnittreferenzpunkt des Elementes entlang des Richtungsvektors  $u$  in Richtung des Schneidlochmittelpunktes. Die zweite Kraftkomponente  $F_{\text{Schnitt,Flanke}}$  resultiert beim Schnitt aus der Relativbewegung zwischen Knolle und Messerplatte senkrecht zur Messerplattenebene und verläuft in dieser Richtung. Sie steht unter dem Einfluss der Schneidenflankenwirkung und wird entsprechend korrigiert.

### Schlussbemerkungen

Im Rahmen der durchgeführten Untersuchung zum Schälvorgang durch Lochschneiden, bei dem viele Einzelschnitte an der Knollenoberfläche erfolgen, erwies sich der

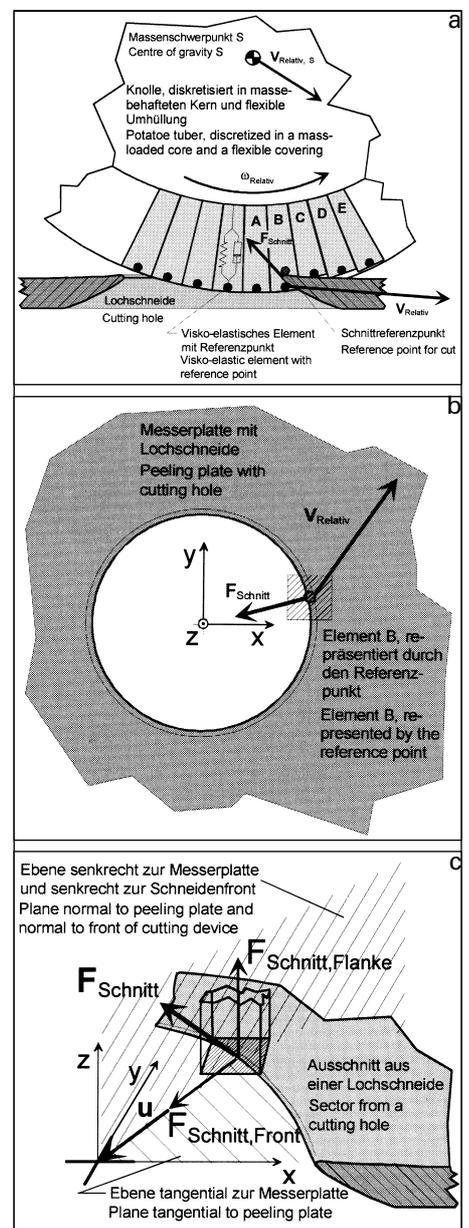


Bild 2: Bestimmung der Kräfte beim Schnitt am diskretisierten Modell der Kartoffelknolle a) Seitenansicht, b) Draufsicht, c) Komponenten der Schnittkraft

Fig.2: Assessing forces when cutting at a discretionary model of the potato tuber a) side view, b) bird view, c) components of the cutting forces

gezeigte Modellierungsansatz als praktikabel. Insbesondere zur Bestimmung des Bruchspannungs-Kennwertes und des Richtungsfaktors wurde eine Vielzahl von Experimenten durchgeführt. Ein Indiz für die richtige Abbildung der Schnittkräfte und in Verbindung damit auch der Stoßkräfte ist die zwischen Rechnung und Experiment weitgehend übereinstimmende Bewegungsbahn der frei beweglichen Knolle, die als Folge dieser Kraftwirkungen zustande kommt. Auf der Grundlage der Modelle für den Schnitt sowie Stoßvorgang ist die Berechnung der Schäliefenverteilung über der Oberfläche der Knolle möglich.