

# Wirkungsweise mechanischer Reinigungswerkzeuge für Zuckerrüben

*Zuckerrüben und Erdpartikel kommen in einem gemeinsamen Haufwerk als lose und anhaftende Bestandteile vor. Die Erde wird in Löse- und Trennoperationen aus dem Zuckerrüben-Erdgemisch entfernt. In einem dynamischen Wirkmodell werden die reinigungsrelevanten Prozessoperationen definiert. Ihnen liegt ein Impulseintrag vom Reinigungswerkzeug in das Aufgabegut zugrunde. Adhäsions- und Kohäsionsbindungen werden aufgebrochen und anhaftende Erdpartikel in lose überführt. Ebenso bewirkt der Impulseintrag beim Trennen die Durchmischung des Haufwerkes, um lose Partikel abzutrennen. Ein Stoßmessdetektor wird eingesetzt, um die vom Reinigungswerkzeug abgegebenen Stöße zu messen.*

Dr.-Ing. Peter Degen war bis 1998 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Landtechnik Bonn (Direktor Prof. Dr.-Ing K.-H. Kromer), Nussallee 5, 53115 Bonn; er ist jetzt Mitarbeiter der John Deere Werke Zweibrücken, Homburgerstr. 117, 66482 Zweibrücken; e-mail: DegenPeter@JohnDeere.com

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

## Schlüsselwörter

Zuckerrüben, Erntemaschinen, Löseprozesse, Trennprozesse, Reinigung, Stöße, Siebsterne

## Keywords

Sugar beets, harvesters, loosening processes, separation processes, cleaning, impact, turbines

Zuckerrüben gehören aufgrund ihrer vielfältigen Verwertungsmöglichkeiten zu den Erlös stärksten Feldkulturen. Aus ihnen wird Zucker als wertgebender Inhaltsstoff mit einer hohen Reinheit von bis zu 99,5% extrahiert. Um eine effiziente Steuerung der mechanischen und chemischen Extraktionsprozesse zu ermöglichen, muss die Rohware Zuckerrüben definierte Qualitätsanforderungen erfüllen. Hierzu gehört der Anteil an Erde, Steinen, Rübenköpfen und Blättern, wovon Erde den größten Störeinfluss auf die Weiterverarbeitung hat. Im Mittel der letzten zehn Jahre lag der Erdanteil bei 12% mit fallender Tendenz [8].

Bei ungünstigen Erntebedingungen werden mit den Erntemaschinen große Mengen Erde in anhaftender und loser Form aufgenommen. Sie werden trotz mehrstufiger Reinigungssysteme in den Erntemaschinen und der Feldrandreinigung nicht vollständig aus dem Zuckerrübenegut abgereinigt. Die Verringerung unerwünschter Erdbeimengungen im Erntegut ist eine wesentliche Führungsgröße bei der Auslegung und der Einstellung der einzelnen Reinigungselemente. Neu entwickelte Sensortechnologien tragen dazu bei, dass der Betrieb von Reinigungswerkzeugen permanent im optimalen Wirkungsbereich erfolgen kann [1, 4, 5, 7].

Um das Nutzungsspektrum bekannter Reinigungswerkzeuge auszuschöpfen und neue Werkzeuge mit optimierten Funktionen zu entwickeln, ist die Kenntnis von Wirkung und Ursache unabdingbar. Am Beispiel eines dynamischen Modells wird die Wirkungsweise mechanischer Reinigungswerkzeuge erläutert.

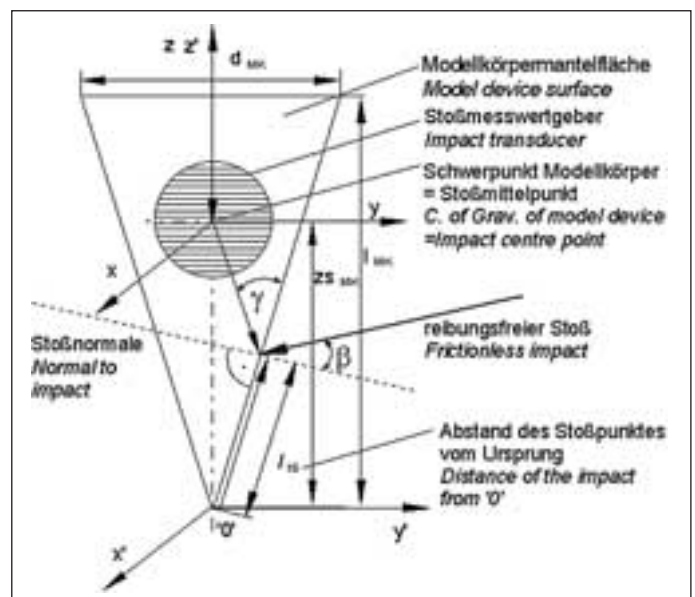
Bild 1: Stoßmesswertgeber und Definition der geometrischen Größen

Fig 1: Impact transducer device and definition of geometrical parameters

## Dynamisches Wirkmodell

Die dynamische Wirkung mechanischer Löse- und Trennwerkzeuge auf die einzelnen Haufwerkspartikel hängt neben der konstruktiven Gestaltung vom dynamischen Bewegungszustand ab. Das Aufgabegut erfährt vom Reinigungswerkzeug einen Impulseintrag. Dieser bewirkt neben der permanenten Durchmischung des Gutes und seiner Förderung die Übertragung von Stoßkräften, die zum Lösen und Abtrennen der abzureinigenden Erdbeimengungspartikel erforderlich sind.

Die Haftbrücken werden aufgebrochen und anhaftende Partikel gelöst. Sie können dann aufgrund geometrischer Unterschiede zu den Zuckerrüben aus dem Gutstrom abgetrennt werden. Es müssen also zwei Bedingungen erfüllt sein, damit anhaftende Erdpartikel von den Zuckerrüben abgelöst und dann abgetrennt werden können. Erstens ist eine Mindestimpulshöhe erforderlich, um die Haftbrücken aufzubrechen. Zweitens müssen die Auftreffpunkte der Stöße dort sein, wo viele stark anhaftende Erdpartikel sind. Stellen mit hohem Adhäsionsvermögen der Erdpartikel befinden sich bei Zuckerrüben an den Wurzelansatzflächen und im Rodescharbereich. Daher wird im dynamischen Wirkmodell neben der Bestim-



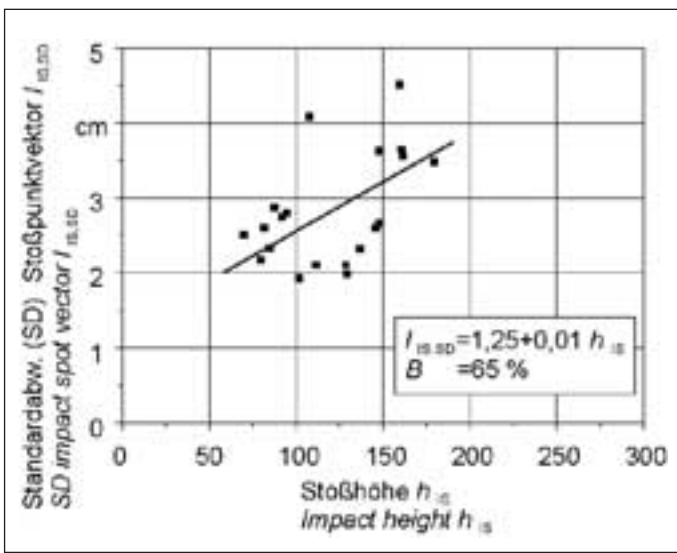


Bild 2: Korrelationen Standardabweichung (SD) Länge Stoßpunktvektor  $l_{IS}$  und Stoßhöhe  $h_{IS}$

Fig 2: Correlation SD length of impact spot vector  $l_{IS}$  and impact height  $h_{IS}$

mung der Stoßintensität und Häufigkeit die Verteilung der Stöße auf der Mantelfläche der Zuckerrüben für die Bestimmung der Wirksamkeit von mechanischen Reinigungswerkzeugen benutzt.

In Bild 1 wird die Lage des Stoßmesswertgebers in einem rübenähnlichen Modellkörper dargestellt. Dieser Modellkörper wird dem Zuckerrüben gutstrom in einem Reinigungswerkzeug beigegeben [6].

Beim Durchlauf der Reinigungsstrecke werden die Stöße vom Werkzeug und von den anderen Gutpartikeln auf den Modellkörper aufgezeichnet. Mit dem Messwertgeber wird der reibungsfreie Anteil jedes Stoßes als Stoßhöhe  $h_{IS}$  in Stoßnormalenrichtung aufgezeichnet:

$$h_{IS} = \cos \beta \cdot \sin \gamma \cdot \int F dt \quad (1)$$

Für die Untersuchung steht das translatorische Bewegungsverhalten der Zuckerrüben im Vordergrund. Somit reduzieren sich die sechs Freiheitsgrade auf die Beschreibung mit drei translatorischen Bewegungsgleichungen. Reibung infolge exzentrischer Stöße wird vernachlässigt. Zentrale Stöße werden als Ursache der translatorischen Bewegung durch einen im Schwerpunkt des rübenähnlichen Modellkörpers befindlichen Stoßmessgeber in den drei Achsen  $x$ ,  $y$  und  $z$  gemessen. Durch Umrechnung auf die Kegelmantelfläche des Messkörpers wird die Einwirkstelle des Stoßes ermittelt. Die Mantelfläche des Modellkörpers in Bild 1 wird durch folgende Gleichung definiert:

$$f(x, y, z) = \frac{x^2}{d_{MK}^2} + \frac{y^2}{d_{MK}^2} - \frac{(z - z_{MK})^2}{l_{MK}^2} = 0$$

Die maximale Stoßhöhe  $h_{IS}$  ergibt sich durch Vektoraddition der Anteile in den drei Richtungen. Der Berührungspunktvektor  $\vec{b}_{IS}$  eines Stoßes errechnet sich aus der Multiplikation der Stoßhöhe  $h_{IS}$  mit einem Skalar  $\lambda$ :

$$\vec{b}_{IS} = \begin{pmatrix} h_{IS,x} \\ h_{IS,y} \\ h_{IS,z} \end{pmatrix} \cdot \lambda = \begin{pmatrix} h_{IS,x} \cdot \lambda \\ h_{IS,y} \cdot \lambda \\ h_{IS,z} \cdot \lambda \end{pmatrix}$$

Es werden die mit dem Skalar multiplizierten Koordinaten aus Gleichung (3) in die Gleichung (2) eingesetzt und nach  $\lambda$  aufgelöst. Ein physikalisch sinnvolles Ergebnis für das Skalar  $\lambda$  ergibt sich nur, wenn  $\lambda > 0$

gilt. Die Länge des Berührungspunktvektors  $b_{IS}$  ist sonst negativ. Beim ungerichteten Stoßeintrag in das Reinigungsgut werden nur die Stöße als reinigungsrelevant definiert, die auf die Kegelmantelfläche des Modellkörpers einwirken. Stöße auf der Stirnkreisfläche sind nicht reinigungsrelevant, da sich an der Köpffläche von Zuckerrüben keine anhaftende Erde befindet. Zur weiteren Auswertung werden die Berührungspunkte vom Bezugssystem  $x$ ,  $y$ ,  $z$  des Schwerpunktkoordinatensystems auf das Ursprungskoordinatensystem "0" des Kegels verschoben. Das Vektorprodukt des Stoßpunktvektors  $l_{IS}$  bezeichnet den Abstand des Stoßpunkts zum Kegelspitzenursprung und ist damit ein Maß für die Verteilung der Stöße auf der Modellkörperfläche.

### Versuche und Ergebnisse

Anhand eines Siebsterns als typischem Reinigungswerkzeug in einem Zuckerrübenroder wurden der Messwertgeber eingesetzt und die Ergebnisse ausgewertet [2, 5]. Die Stoßhöhe  $h_{IS}$  stieg mit der Umfangsgeschwindigkeit des Sterns mit einem hohen Bestimmtheitsmaß an. Das Verhältnis der Anzahl niedriger zu hohen Stößen nahm mit steigender Umfangsgeschwindigkeit ab. Geringe Stoßhöhen resultieren aus dem Zusammenstoß vom Modellkörper mit Zuckerrüben. Die Stoßhöhe ist aufgrund der niedrigen Steifigkeit von Rüben geringer als bei Zusammenstößen mit Werkzeugteilen des Reinigungsorgans. Der vermehrte Zusammenstoß von Messwertgeber mit Werkzeugbauteilen wurde vor allem bei Versuchsläufen mit höherer Umfangsgeschwindigkeit festgestellt. Der Eintrag von hohen Stoßhöhen nahm mit steigender Geschwindigkeit zu, so dass von einem aggressiveren Verhalten des Siebsterns gesprochen werden kann.

Die Verteilung der gemessenen Stöße auf der Kegelmantelfläche, gemessen als Standardabweichung der Länge des Stoßpunktvektors  $l_{IS,SD}$ , korreliert mit der Stoßhöhe  $h_{IS}$  mit einem Bestimmtheitsmaß  $B$  von 65%. Hohe aufgezeichnete Stoßhöhen führen da-

zu, dass der Gutstrom zunehmend turbulenter wird und Stöße ungeordnet von Reinigungswerkzeugteilen und Zuckerrüben auf den Messwertgeber wirken (Bild 2). Als Folge nimmt die Verteilung der Stöße auf der Mantelfläche der Zuckerrüben zu. Dies ist notwendige Voraussetzung zur Abreinigung der Erdpartikel von einem möglichst großen Teil der Mantelfläche. Somit werden die reinigungsrelevanten Wurzelansatzflächen und Rodescharbereiche von anhaftender Erde befreit. Lose Erdpartikel werden durch die Bewegung von Werkzeug und Gutbestandteilen an den Öffnungen im Reinigungswerkzeug abgetrennt.

### Zusammenfassung

Durch die Interaktion von Werkzeug und Aufgabegut entsteht ein komplexes Verhalten der Gutpartikel auf dem Werkzeug. Die Reinigungswirkung entsteht durch Übertragung von Stoßimpulsen vom Werkzeug auf die Zuckerrüben. Der Messwertgeber sowie die vorgestellten Auswertalgorithmen ermöglichen eine Quantifizierung der Wirkungshöhe und -richtung von mechanischen Reinigungswerkzeugen. Durch Vergleich der Ergebnisse mit den qualitätsbeschreibenden Parametern von Zuckerrüben wie anteilige Oberflächenbeschädigung und Erdanteil wird ein Zusammenhang von Stoßspektrum und Guteigenschaften abgeleitet [3]. Vorstellbar ist die Übertragung des dynamischen Wirkmodells auf weitere Wurzelfrüchte und die Nutzung der Ergebnisse zur vollständigen Simulation von Reinigungsprozessen.

### Literatur

Bücher sind mit • gezeichnet

- [1] Degen, P. et al.: Volume and Scale Based System Measuring Machine Capacity and Yield and Soil Tare of Sugar Beet. ASAE – Paper (1998) 98 3107
- [2] Degen, P. und K.-H. Kromer: Reinigungsorgane in Zuckerrübenroder. Landtechnik 53 (1998), H. 5, S. 292-293
- [3] • Degen, P.: Untersuchungen zur Wirkungsweise mechanischer Löse- und Trennwerkzeuge bei Mehrstoffhaufwerken aus Wurzelfrüchten am Beispiel der Zuckerrüben-Erdabtrennung. Fortschritt-Berichte, VDI Reihe 14, Nr. 97, 2000
- [4] Hofmann, S., S. Lungwitz und C. Leithold: Reinigungsintensitätsregelung an Zuckerrübenerntemaschinen. Agrartechnik 37 (1987), S. 445 ff
- [5] Kromer, K.-H. und P. Degen: Ertrags- und Durchsatzmessung bei Zuckerrüben. Zuckerrübe 47 (1998), H. 2, S. 92-95
- [6] Schuh, J.-P., W. Fechner und N. Uebe: Untersuchungen zur Anwendung elektronischer Rüben in der Zuckerrübenerte. Agrartechnische Forschung 3 (1997), H. 1, S. 59-65
- [7] Thelen, M.: Verluste minimieren – Maschinen optimieren. Dt. Zuckerzeitung (1998), H. 5, S. 8-9
- [8] • Verein der Zuckerindustrie: Jahresbericht 1999/2000, Verlag Dr. Albert Bartens, Berlin