

Elektronische Messrübe mit sechs Beschleunigungssensoren

In Halle wurden für die Analyse der Reinigungsorgane in Zuckerrüben-erntemaschinen die „Elektronischen Messrüben“ entwickelt, die bei geringen Abmaßen jetzt sechs Beschleunigungssensoren enthalten. Das ermöglicht eine deutlich verbesserte Abbildung des Bewegungs- und Beschleunigungsverhaltens der Rüben auf den Reinigungselementen. Der modulare Aufbau ermöglicht zudem die Integration der Sensoren direkt in die natürlichen Zuckerrüben und eröffnet eine umfassendere Analyse der Schädigung des Zuckerrübenkörpers bei unterschiedlicher Krafteinwirkung.

Dipl.-Ing. Winfried Fechner ist Mitarbeiter am Institut für Agrartechnik und Landeskultur der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Ludwig-Wucherer-Str. 81, 06108 Halle (Saale); e-mail: fechner@landw.uni-halle.de; Prof. Dr. Wolfgang Büscher ist der Direktor des Institutes; e-mail: buescher@landw.uni-halle.de
Ein besonderer Dank gilt dem Verband Sächsisch-Thüringischer Zuckerrübenanbauer e. V. Zeitz und der Südzucker GmbH Zeitz für ihre finanzielle und materielle Unterstützung.

Schlüsselwörter

Zuckerrübenerte, Beschädigung, Beschleunigung, Messsystem

Keywords

Sugar beet harvest, damage, acceleration, measuring system

Literaturhinweise sind vom Verlag unter LT 00109 erhältlich oder über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/local/fliteratur.htm> abrufbar.

Die 6-reihige Zuckerrübenerntetechnik besitzt heute einen hohen technischen Entwicklungsstand. Die Erdabscheidung als ein wesentlicher Bestandteil erreicht aber nicht immer befriedigende Ergebnisse. Mit einer einfachen Erhöhung der Reinigungsin-tensität steigen die unerwünschten Beschä-digungen des Zuckerrübenkörpers [1 bis 3]. Deshalb ist zu fordern, die Wirkung der Rei-nigungsorgane zu erhöhen und gleichzeitig deren schädigende Wirkung zu senken.

Mit dem am Institut entwickelten zu-ckerrübenähnlichen, elektronischen Mess-körpern („Elektronischen Messrüben“) soll die Belastung von Zuckerrüben in der Ernte-maschine untersucht und analysiert werden [4, 5, 6]. Ziel der Neuentwicklung aus dem Jahr 1998 ist es, mit dem erweiterten Mess-umfang mehr Informationen zum Bewe-gungsverhalten der Zuckerrüben als Basis für die Gestaltung und Konstruktion von Reinigungsbaugruppen zu schaffen und mögliche Beschädigungen im Einsatz besser vorhersagen zu können.

Aufbau der „Elektronischen Messrüben“

Mit der Überarbeitung der „Elektronischen Messrüben“ gegenüber den Vorgängermodellen konnten die Anzahl der integrierten Beschleunigungssensoren von drei auf sechs erhöht und gleichzeitig die äußeren Abmes-sungen und das Gewicht deutlich verringert werden (*Bild 1*).

Jeder frei bewegliche Körper besitzt im Raum sechs Freiheitsgrade. Nur wenn man alle sechs Komponenten kennt, kann man die Bewegung des Körpers und auch die wirkenden Beschleunigungen beschreiben. Deshalb wurden die sechs Beschleunigungs-sensoren außerhalb des Masseschwerpunktes paarweise gegenüber an einem Würfel befestigt (*Bild 2*). Bei geradliniger Beschleunigung des Würfels erfahren alle Teil-chen die gleiche Beschleunigung (Voraus-setzung: keine Körperverformung, keine Körperdrehung). Der gemessene geradlinige Beschleunigungsanteil a_{ti1} und a_{ti2} (t : Trans-lation; i : x-, y- oder z-Richtung) ist für beide Sensorgruppen von Betrag und Richtung gleich (Gl. 1). Wird der Würfel in Rotation um den Schwerpunkt gebracht, sind die in den Sensoren hervorgerufenen Beschleuni-

$$a_{ti1} = a_{ti2} \quad (1)$$

$$\frac{a_{ti1}}{l_1} = \frac{-a_{ti2}}{l_2} \quad (2)$$

$$a_{ti2} = \frac{a_{ti2} - a_{ti1}}{1 + \frac{l_1}{l_2}} \quad (3)$$

$$a_{ti1} = a_{ti2} = a_{ti} - a_{di2} \quad (4)$$

$$a_{ti} = \frac{a_{ti1} + a_{ti2}}{2} \quad (5)$$

$$a_{i0} = \sqrt{\left(\frac{a_{ix1} + a_{ix2}}{2}\right)^2 + \left(\frac{a_{iy1} + a_{iy2}}{2}\right)^2} \quad (6)$$

$$a_w = \cos\left(\gamma - \arctan\frac{a_{dx}}{a_{dy}} + a_{dy} > 0 * \pi\right) * \frac{\sqrt{a_{dx}^2 + a_{dy}^2}}{r} \quad (7)$$

$$a_z = -\sin\left(\gamma - \arctan\frac{a_{dx}}{a_{dy}} + a_{dy} > 0 * \pi\right) * \sqrt{a_{dx}^2 + a_{dy}^2} \quad (8)$$

gungen a_{di1} und a_{di2} entgegengesetzt gericht. Der Betrag der Beschleunigungen ist dem Abstand vom Schwerpunkt proportional (Gl. 2). Weiterhin ist die Summe aus geradliniger und Drehbeschleunigung gleich den gemessenen Beschleunigungen a_{i1} und a_{i2} (Gleichungen 3 und 4).

Im weiteren Verlauf können aufbauend auf die Komponenten in x-, y- und z-Richtungen die geradlinige Beschleunigung der Messrü-be in Rübenlängsachse (Gl. 5) und senkrecht dazu (Gl. 6) berechnet werden. Beide lassen sich zur geradlinigen Beschleunigung ge-samt zusammenfassen.

In der berechneten, durch Rotation her-vorgerufenen Drehbeschleunigung a_d sind die Winkelbeschleunigung a_w und die Zen-trifugalbeschleunigung a_z als Komponenten enthalten. Unter Berücksichtigung der Wirk-richtung dieser beiden Komponenten erge-ben sich beispielsweise in Rübenlängsachse die Gleichungen 7 und 8.

Der Winkel γ ist konstant und konstruktiv bedingt. Während die Zentrifugalbeschleu-nigung ein Maß für die Drehzahl des Kör-pers (Rotation um seinen Schwerpunkt) ist, repräsentiert die Winkelbeschleunigung de-ren Veränderung. Aus den Beschleunigungs-komponenten in den Richtungen x, y und z können dann wieder die Winkel- und Zen-trifugalbeschleunigung bezogen auf die Rü-benlängsachse, senkrecht dazu oder für die Zuckerrübe insgesamt berechnet werden.

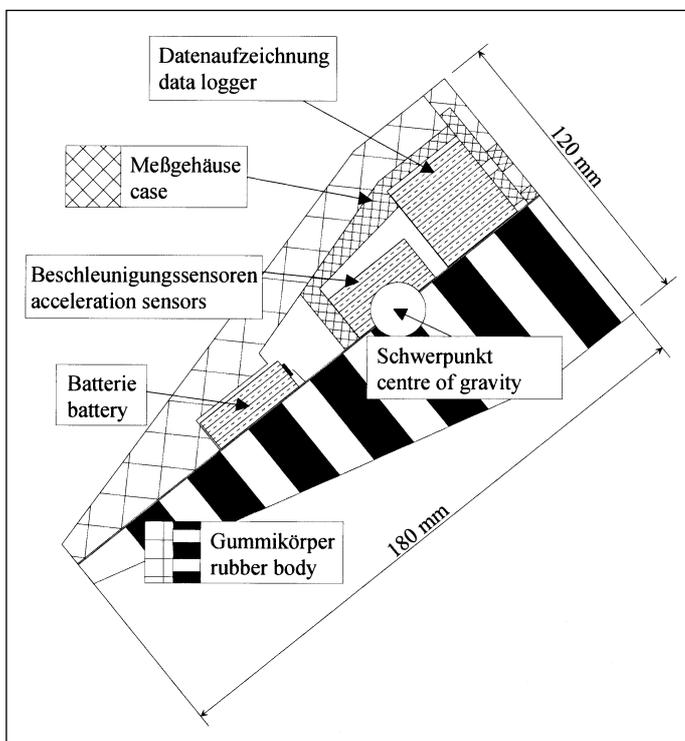


Bild 1: Aufbau der „Elektronischen Messrüben“

Fig. 1: Factors influencing sugar beets

geradlinigen Beschleunigung gesamt bei einer Verweildauerklassierung (kumulative Wirkung). Für den Wurzelbruch hingegen brachte wie in den Vorjahren die Maximalwertspeicherung der geradlinigen Beschleunigung gesamt die beste Anpassung (ereignisorientierte Wirkung).

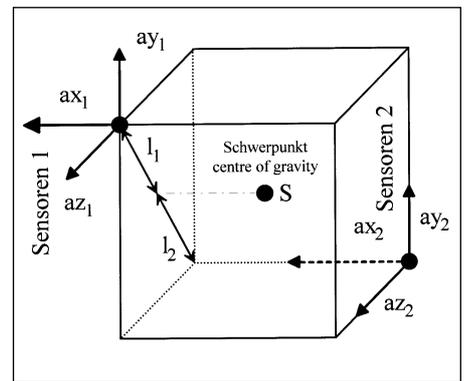


Bild 2: Anordnung der Beschleunigungssensoren

Fig. 2: Placement of acceleration sensors

Messrüben“ wurde die Basis geschaffen, das Bewegungsverhalten von Zuckerrüben in der Erntemaschine umfangreich zu analysieren. Auch unter schwierigen Bedingungen konnten die Sensoren sicher eingesetzt werden. Aus dem gewonnenen Datenmaterial können die Stellen starker Beanspruchung erkannt und beseitigt werden.

Eine weitere Forderung ist die Vorhersage von Beschädigungen auf der Basis ermittelter Belastungskennwerte. Dies setzt aber noch weitere Untersuchungen im Labor und im praktischen Einsatz voraus. Zur Reduzierung des Versuchsaufwandes entstand die Idee, bei Messungen die Sensoren direkt in natürliche Zuckerrüben einzusetzen. Diese Erprobung in natürliche Zuckerrüben konnte im Herbst 1999 mit Erfolg abgeschlossen werden.

Ergebnisse

Zum Nachweis einer korrekten Messung wurden bei Voruntersuchungen die „Elektronischen Messrüben“ in eine Drehmaschine eingespannt und Messungen bei verschiedenen Drehzahlen wiederholt. Die Ergebnisse sind für jeweils drei Ein- und Ausschaltvorgänge von etwa 5 s Dauer in Bild 3 dargestellt.

Eine geradlinige Beschleunigung des Schwerpunktes tritt nicht auf. Mit den bisher verwendeten und in der Literatur beschriebenen 3-sensorigen Messrüben waren keine Beschleunigungen nachweisbar. Die unterschiedliche Drehzahleinstellung sowie An- und Auslaufdrehzahlen können dagegen gut anhand der Zentrifugalbeschleunigung sichtbar gemacht werden (Diagramme rechts). Mit steigender Drehzahl nimmt die Fliehkraft zu. Das Beschleunigungsverhalten der Drehmaschine ist aus der Winkelbeschleunigung ersichtlich und nicht gleich.

Danach kamen die modifizierten „Elektronischen Messrüben“ auch unter Praxisbedingungen zum Einsatz. Das geschah auf verschiedenen, möglichst einzelnen Reinelementen des Roders direkt auf dem Feld. Es zeigte sich, dass mit wachsender Beschädigung die verschiedenen Belastungskennwerte auf den unterschiedlichen Reinigungsorganen in verschiedenartigem Maße ansteigen. Die Auswertung begann mit der Analyse der Abhängigkeit der geradlinigen Beschleunigungen von den Drehzahlen der Reinigungsorgane, da hier Vergleichsergebnisse aus vorangegangenen Messungen vorlagen [7, 8].

Daran schloss sich die Regressionsanalyse – bezogen auf die Beschädigung an bonitierten Zuckerrüben – an. Für die Oberflächenbeschädigung ergab sich die größte Abhängigkeit vom Belastungskennwert der

Auch die neuen Belastungskennwerte aus Winkel- und Zentrifugalbeschleunigung ergaben signifikante Zusammenhänge. Aufgrund des geringeren Stichprobenumfanges sind dazu aber ausreichend abgesicherte Aussagen zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch nicht möglich. Bedingt durch die schwierigen Witterungsverhältnisse im Herbst 1998 konnte keine ausreichende Anzahl an Wiederholungen realisiert werden.

Schlussfolgerungen

Mit den überarbeiteten „Elektronischen

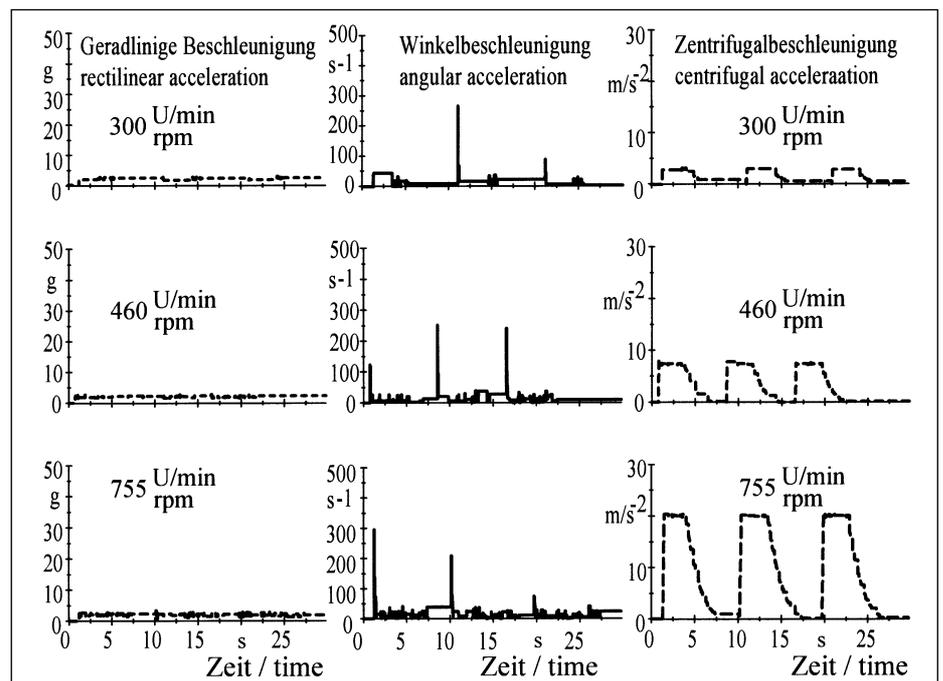


Bild 3: Beschleunigung der „Elektronischen Messrüben“ in einer Drehmaschine bei drei Ein- und Ausschaltvorgängen

Fig. 3: Acceleration of electronic sugar beet in a lathe at 3 on/off switches

Literatur

- [1] *Schäufele, W. R. und U. Bosch: Untersuchungen zur Rübenerde. Zuckerindustrie 119 (1994), H. 8*
- [2] *Tschernjawskaia, L. I. und M. S. Chelemski: Zucker- verluste bei der Lagerung und Verarbeitung von Zuckerrüben. Zuckerindustrie 122 (1997), H. 6 und H. 12*
- [3] *Karpol, F.: Zuckerverluste beschädigter Rüben durch Auswaschen. Zeitschrift für Zuckerindustrie 25 (1975), H. 8*
- [4] *Kovtun, J. I., V. F. Natarov und I. T. Derka: Künstliche Messrübe als Mittel zur Untersuchung von Rübenerntemaschinen (russ.), Traktory i Selchozmashiny (1977), H. 8, S. 22 – 23*
- [5] *Fechner, W., J.-P. Schuh und N. Uebe: Untersuchungen zur mechanischen Belastung von Zuckerrüben mit Hilfe elektronischer Messrüben. Kühn- Archiv 91 (1997), H. 2, S. 229 – 240*
- [6] *Schuh, J.-P., W. Fechner und N. Uebe: Untersuchungen zur Anwendung elektronischer Rüben in der Zuckerrübenernte. Agrartechnische Forschung 3, 1997, H. 1, S. 59 – 65*
- [7] *Fechner, W.: Untersuchungen zur Belastung von Zuckerrüben in der Erntemaschine mittels elektronischer Messrüben. Forschungsbericht 1997, Institut für Agrartechnik und Landeskultur Halle*
- [8] *Fechner, W. und Al-Ibrahim Zieb: Untersuchungen zur Belastung von Zuckerrüben in der Erntemaschine mittels elektronischer Messrüben. Forschungsbericht 1998, Institut für Agrartechnik und Landeskultur, Halle*