

# Systeme zur Ertragsbestimmung bei Zuckerrüben

Schlagbezogene Ertragsangaben sind im Zuckerrübenanbau durch Wiegung der abgelieferten Erntemengen und spätere Angabe der Abzüge für Beimengungen verlässliche Betriebsdaten. Die Entwicklung der Technik ermöglicht seit der Verfügbarkeit der Satellitenortung diese Betriebsdaten bei der Ernte und mit hoher räumlicher Auflösung teilflächenspezifisch zu ermitteln. Während der Flächenbezug durch GPS mit ausreichender Qualität und zeitlich direkt verfügbar ist, kann der Durchsatz während der Rübenerte nur ansatzweise ermittelt werden und hat im Gegensatz zur teilflächenspezifischen Online-Ertragsermittlung im Getreideanbau noch keinen Eingang in die Praxis gefunden.

Dr. Oliver Schmittmann ist wissenschaftlicher Mitarbeiter, Prof. Dr. Peter Schulze Lammers Leiter des Bereiches Systemtechnik in der Pflanzenproduktion am Institut für Landtechnik der Universität Bonn, Nussallee 5, 53115 Bonn; e-mail: [landtechnik@uni-bonn.de](mailto:landtechnik@uni-bonn.de)

## Schlüsselwörter

Teilflächenspezifische Landbewirtschaftung, Zuckerrübenerntetechnik, Ertragssensorik

## Keywords

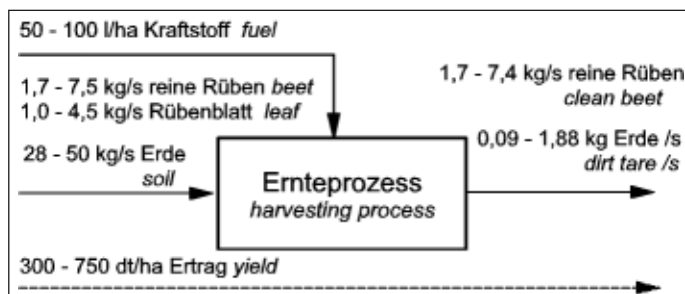
Site-specific farming, sugar beet harvesting technology, yield sensing

## Literatur

Literaturhinweise sind unter LT 03221 über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/local/fliteratur.htm> abrufbar.

Bild 1: Massenstrommodell für die Zuckerrüben-ernte (für eine Reihe)

Fig. 1: Mass flow model for sugar beet harvest (for one row)



In der Deutschland werden derzeit rund 1450000 ha Zuckerrüben mit einem durchschnittlichen Ertrag von 570 dt/ha angebaut. Die Standorte sind weitgehend durch homogene Bodenverhältnisse und kleinstrukturierten Anbau (die durchschnittliche Anbaufläche beträgt 9 ha) geprägt.

Diese Voraussetzungen legen nahe, dass auf den Schlägen keine gravierenden Ertragsunterschiede auftreten. Die Ergebnisse von Untersuchungen mit Ertragssystemen für Teilflächen [1, 2, 3, 4] zeigen aber deutliche Unterschiede in der Ertragsverteilung auf Schlägen.

Um diese teilflächenspezifisch variierenden Ertragsunterschiede erfassen und hieraus als Konsequenz pflanzenbauliche Informationen gewinnen zu können, ist der Einsatz von Echtzeit-Ertragssystemen notwendig. Im folgenden Beitrag werden hierzu verschiedene Ansätze vorgestellt.

## Rahmenbedingungen

Als Rahmenbedingungen für eine Messung des Durchsatzes werden folgende Annahmen getroffen:

- Als biotechnische Voraussetzungen gelten Ertragsspannen von: 300 bis 750 dt/ha reine Rüben 1,4 bis 3,5 kg/lfd. m und Reihe
  - Erdanteil: 5 bis 20%
  - Rodegeschwindigkeiten: 4,5 bis 8 km/h
- Hieraus lassen sich folgende Größen für ein Massenstrommodell ableiten (Bild 1).

## Systematik

Grundsätzlich kann die Ertragsbestimmung vor, während und nach der Ernte durchgeführt werden. Jedes Verfahren ist durch spezielle Vor- und Nachteile gekennzeichnet.

Empirische Ertragsbestimmungen als technisch einfachste Methode basieren auf

der Erfassung von Einzelrüben. Entweder werden stichprobenartig Proberodungen vorgenommen, anhand deren der Ertrag auf die Gesamtfläche umgerechnet wird, oder alternativ wird die mittlere Einzelrübenmasse bestimmt. Der geschätzte Ertrag ergibt sich dann durch Multiplikation mit der Bestandesdichte (Pesée geometric).

Beide Verfahren sind zur Abschätzung des Ertrags ausreichend geeignet und beziehen sich auf die Masse von Rüben ohne Erdanhang, liefern aber keinen genauen Ertrag von Teilflächen, vor allem vor dem Hintergrund der hohen Variabilität der Standortfaktoren und des kleinen Stichprobenumfangs. Die Erstellung exakter Ertragskarten ist nur mit sehr grossem zeitlichen Aufwand möglich.

Die Ertragssysteme im Rübenroder erfordern die Bestimmung von drei Grössen: die Erntemenge, den Erdanteil und den Ertragsort (Position). Die durchsatzbezogenen Ertragssysteme in Rübenrodern sind in Bild 2 systematisch dargestellt.

Grundsätzlich sollte die Durchsatzmessung nach der bestmöglichen Abscheidung der Beimengungen erfolgen, solange keine genauen Echtzeitmesssysteme zur Bestimmung von deren Anteilen existieren.

## Durchsatzmessung durch Bestimmung des Energieflusses

Energieflussbestimmungen können in Form von Drehmoment- oder Kraftstoffverbrauchsmessungen durchgeführt werden.

- Drehmomentmessung

Die Installation von Drehmomentmess-einrichtungen an Antriebsaggregaten ist mit geringem Aufwand möglich. Geeignete Messorte sind Förderer, Siebsterne oder Elevatoren. Da während des Transportes der Rüben zum Bunker kontinuierlich Erde abgeschieden wird, ist die Drehmomentmessung am Ende der Transportkette zu bevorzugen.

Fortsetzung S. 195

- Kraftstoffverbrauchsmessung

Entscheidend für die Güte der Kraftstoffverbrauchsmessung ist die Differenz zwischen dem Leerlauf und dem Gutstrom. Ist die Differenz klein, so können Unterschiede im Durchsatz nicht exakt erfasst werden, da Beeinflussungen durch die Fahrt am Hang und variierende Bodenverhältnisse die Aussagekraft der Kraftstoffverbrauchsmessung verschlechtern.

#### Durchsatzmessung durch Bestimmung des Masseflusses

Massestrommessungen werden den direkten Messungen zugeordnet.

- Verwiegung

Kontinuierlich oder absätzig kann der Gutstrom auf Förderelementen (auch Entladebändern), Sammelbunker oder der gesamten Maschine verwogen werden. Vertikale Schwingungen des Roders und der einzelnen Baugruppen beeinflussen das Messergebnis.

- Impulsmessung

Impulsmessungen sind an Übergabe- und Stossstellen möglich. Unter Einbeziehung der Gutstromgeschwindigkeit kann der Durchsatz bestimmt werden. Zur störungsfreien Messung muss der Gutstrom sowohl ungehindert zum Sensor hin, als auch nach dem Auftreffen vom Sensor weg gefördert werden.

#### Durchsatzmessung durch Bestimmung des Volumenstroms

Volumenstrommessungen sind indirekte Verfahren, bei denen der Massestrom durch Multiplikation mit ermittelter oder angenommener Schüttdichte errechnet wird.

- Profilmessung

Durch Einbeziehung der Fördergeschwindigkeit wird der Volumenstrom bestimmt. Damit die Profilmessung möglichst exakt durchgeführt werden kann, ist die Installation solcher Systeme an Stellen sinnvoll, an denen der Gutstrom ruhig und gleichmässig verläuft. Aufspringende Rüben verfälschen die Profilmessungen. Die Schüttdichte auf dem Band variiert bei ungleichmässigem Gutstrom. Die auf der Messung des Volumenstroms beruhenden Prinzipien weisen zudem das Problem der schwankenden Gutstromdichte auf. Periodische Kalibrierungen führen lediglich zu einer geringfügigen Reduzierung der Ungenauigkeit.

- Messung der Bunkerfüllung

Die kontinuierliche Veränderung der Bunkerfüllung steht im direkten Zusammenhang mit dem Durchsatz. Die sensortechnische Erfassung des Füllzustandes ist aufgrund der grossen Oberfläche der vom Elevator abgeworfenen Rüben oder der Existenz einer Bunkerverteilschnecke schwierig. Zudem ist der Volumenzuwachs (etwa pro Sekunde) gemessen am Gesamtvolumen gering.

Aus der Systemanalyse der Ansätze zur Erfassung von Erntemengen im Roder werden die folgenden wesentlichen Probleme offensichtlich:

1. Der Gutstrom im Roder (Masse- oder Volumenstrom) enthält immer ein Gemisch aus Rüben, Kopf- und Schmutzanteilen. Es ist zurzeit noch nicht möglich, die einzelnen Fraktionen differenziert zu bestimmen. Hieraus ergeben sich aufgrund der Variabilität der Bestandteile Fehler bezüglich der absoluten Masse und damit auch Fehler bei der Bestimmung teilflächenspezifischer Ertragsunterschiede.
2. Die Messungen auf der Erntemaschine werden wesentlich von äusseren Faktoren beeinflusst. So führen die Maschinenschwingungen und Hanglage zu einer Verfälschung von Echtzeitmessergebnissen.
3. Die Messung des realen Rübenertes hängt von der Köpf- und Rodequalität ab. Rübenköpfe und abgebrochene Wurzelspitzen verbleiben auf dem Feld und werden massenmässig nicht erfasst.

Erträge lassen sich auch nach dem Ernteprozess ausserhalb des Roders ermitteln.

1. Feldverwiegung der Überladefahrzeuge
2. Vermessen der Feldrandmiete
3. Durchsatzmesseneinrichtungen auf dem Rübenreinigungslader
4. Verwiegen von Transportfahrzeugen auf dem Feld oder in der Zuckerfabrik

Die Verwiegung der Transportfahrzeuge liefert die genauesten Ergebnisse. Eine Teilflächenspezifität lässt sich nur erreichen, wenn die Masse dem ursprünglichen Wuchsort der Rüben zugeordnet werden kann.

Positiv zu beurteilen ist die nachträgliche Korrektur durch den Erd- und Kopfanteil. Die Verwiegung der Transportfahrzeuge in der Zuckerfabrik ist üblich, so kann die ermittelte Transportmenge auch zur Kalibrierung und Korrektur teilflächenspezifischer online-Messverfahren dienen.

### Kombination aus Ertragsschätzung und Echtzeitmessung

Aus den diskutierten Vor- und Nachteilen der Lösungen ergibt sich der Ansatz einer einzelrübenbezogenen Ertragsmessung im Rübenroder (Bild 2).

Dazu müssen biotechnische Stoffwerte gewonnen werden, mit deren Hilfe die Einzelrübenmassen geschätzt werden können. Aus der Addition der Einzelrübenmassen unter Einbeziehung der Standräume ist eine teilflächenspezifische Ertragsmessung in Echtzeit möglich.

### Rübenzählung

Bei der Rübenzählung wird die Anzahl der Rüben während des Rodens ermittelt. Mit

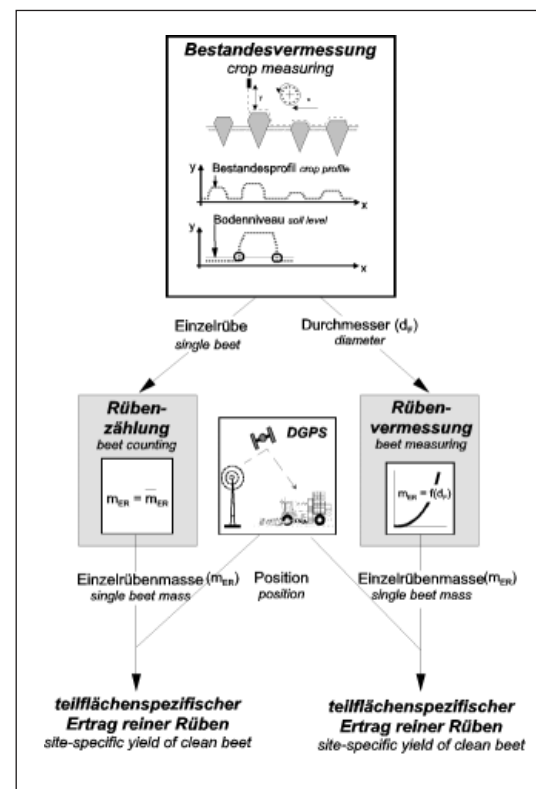


Bild 2: Prinzip der Rübenzählung und der Rübenvermessung

Fig. 2: Principle of counting beets and measuring beets

bekanntem Reihenabstand und zusätzlich ermittelter Fahrstrecke kann unter Annahme einer einheitlich verteilten Einzelrübenmasse auf den teilflächenspezifischen Ertrag geschlossen werden. Die zugrunde gelegte Einzelrübenmasse kann durch Stichprobenahme ermittelt oder nach der Ablieferung durch die tatsächliche durchschnittliche Einzelrübenmasse korrigiert werden.

### Rübenvermessung

Die Einzelrübenvermessung ist eine Weiterentwicklung der Rübenzählung. Anstelle einer Zählung werden die geschätzten Einzelmassen addiert. Der maximale oberirdische Rüben Durchmesser dient dabei der Abschätzung der Einzelrübenmasse.

### Fazit

Für die teilflächenspezifische Ertragsermittlung stehen vielfältige Ansätze zur Verfügung. Die Ertragsdaten enthalten jedoch Ungenauigkeiten, da die Rüben mit der aufgenommenen Erde in das Ergebnis einfließen oder die reinen Rüben mit einer Ungenauigkeit der Schätzung des Gewichtes der Einzelrübe behaftet sind. Das auf der Zählung der Rüben und Schätzung der Einzelrübenmasse basierende System hat jedoch den Vorteil, dass neben den teilflächenspezifischen Ertragsunterschieden auch weitere Informationen zu den Ertragsstrukturen (Verteilung der Bestandesdichte, Rüben gröÙe und Scheitelhöhe) gegeben werden.