

Oliver Schmittmann und Peter Hien, Bonn

Einzelrübenbezogene Ertragsmessung von Zuckerrüben

Teilflächenspezifische Ertragsmessungen und -kartierungen sind Voraussetzung für einen an die kleinräumige Heterogenität angepassten Pflanzenbau. Durchsatzmessungen im Roder beziehen sich auf ein Gemisch aus Rüben, Erde, Blatt- und Kopfanteilen und werden durch die rauen Bedingungen beim Roden erschwert. Aus diesem Grund ist ein neues Ertragsmesssystem entwickelt worden, das sich auf die ungerodete Einzelrübe bezieht. Das Vermessen und das Zählen der Rüben liegen diesem System zu Grunde.

Dipl.-Ing.agr. Oliver Schmittmann ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Landtechnik (e-mail: o.schmittmann@uni-bonn.de; Dr. Peter Hien war von 1988 bis 1996 am Lehrstuhl für Landtechnik (Leiter Prof. Dr.-Ing. K. H. Kromer) und ist seit 1998 Geschäftsführer der MSO Messtechnik und Ortung GmbH, 53902 Bad Münstereifel; e-mail: Peter.Hien@t-online.de

Schlüsselwörter

Zuckerrübenerte, Ertragsmessung, Ertragskartierung

Keywords

Sugar beet harvesting, yield measurement, yield mapping

Literaturhinweise sind unter LT 01 SH 117 über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/local/fliteratur.htm> abrufbar.

Bild 1: Sensoren für die Ertragsmessung

Fig. 1: Sensors for yield measurement

Ökonomische und ökologische Rahmenbedingungen für die Landwirtschaft erfordern die Suche nach möglichen Optimierungspotenzialen im Pflanzenbau. Die Ertragsfähigkeit des Standortes und die Wirkrichtung und -höhe der Einzelfaktoren (Standortfaktoren und Kulturmaßnahmen) müssen bekannt und messbar sein. Die Bedeutung der Messbarkeit steigt mit der Heterogenität des Standortes.

Eine teilflächenspezifisch angepasste Landbewirtschaftung beruht auf der Erfassung der ertragsbildenden und -beeinflussenden Faktoren und des Ertrags als Zielgröße. Der Ertrag muss für jede Kultur der Frucht- oder Felderfolge bekannt sein, da ihre Ansprüche an den Standort verschieden sind. Der Ertrag von Getreide lässt keine unmittelbare Prognose des Ertrags von Zuckerrüben zu. Informationen werden mit Positionsdaten (GPS) gekoppelt und in Geografischen Informationssystemen (GIS) verwaltet und bearbeitet. Aus ihnen sind in Verbindung mit Expertenwissen, Erfahrungen und produktionstechnischen Anbaumodellen Applikationskarten zu entwickeln, durch deren Realisierung der Pflanzenbau bezüglich seines Ertragspotenzials und seiner Nachhaltigkeit optimiert werden kann.

Typische Beispiele der Präzisionslandwirtschaft sind die teilflächenspezifische Aussaat und die teilflächenspezifische Ertragsmessung. Hierfür ist der Einsatz von zuverlässiger Aktorik, Sensorik und Ortungstechnik notwendig.

Im Bereich der Zuckerrüben sind noch keine praxistauglichen Systeme zur Ertragsbestimmung im Roder vorhanden. Ein teilflächenspezifischer Anbau von Zuckerrüben ist damit nicht ohne weiteres möglich.

Die Messung des Massestroms im Roder zur Ertragsmessung bietet zudem noch einen Nutzen für die Prozessoptimierung bei der

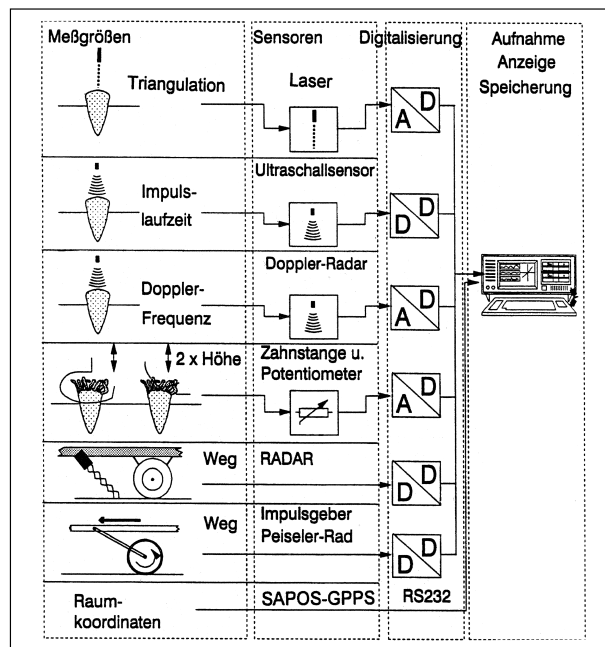
Ernte. In Form eines Maschinen-Management-Systems lassen sich Regelkreise für eine durchsatzangepasste Einstellung der Reinigungs- und Förderaggregate realisieren.

Verschiedene Ansätze der Durchsatzmessung beruhen auf Verwiegungen, Kraft- oder Drehmomentmessungen im Roder. Hier beziehen sich die Ergebnisse grundsätzlich auf ein Gemisch aus Rüben, Erde, Kopf- und Blattanteilen und somit nicht auf die 'reine' Rübe. Das Ergebnis ist vielmehr abhängig von der Güte der Schätzung des Erdanteils und dessen Schwankung auf der Fläche. Verwiegungen im Roder sind starken Schwankungen und Erschütterungen ausgesetzt und deshalb mit großer Ungenauigkeit behaftet. Volumenstrommessungen benötigen zudem eine einheitliche Schüttdichte des Gutstromes, um auf die Masse schließen zu können. Dies ist ein Anlass, nach neuen Lösungsmöglichkeiten zu suchen.

Anforderungen

Sie lassen sich aus der oben beschriebenen Problematik für ein neues praxistaugliches Ertragsmesssystem herleiten. Diese werden in Funktions-, Betriebs- und Schnittstellenforderungen unterteilt:

1. Funktionsforderungen
 - Echtzeitmessung des Rübendurchsatzes
 - Positionsbestimmung/Ortung
 - Informationsgewinnung zur Überwachung und zum Aufbau von Regelkreisen



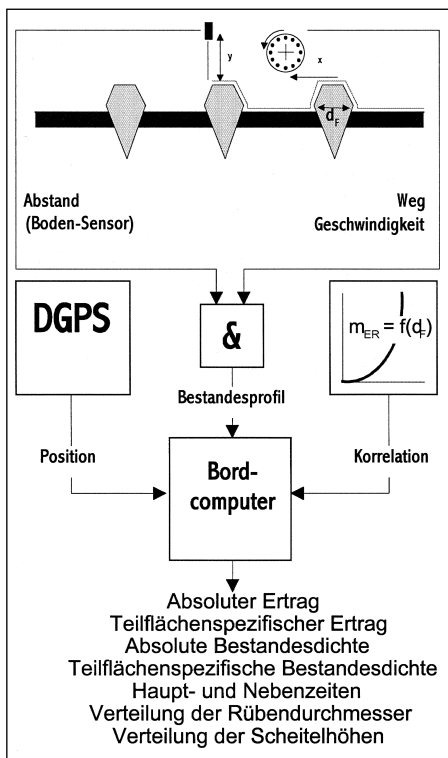


Bild 2: Messprinzip Rübenvermessung

Fig. 2: Principle of beet contour measurement

2. Betriebsforderungen

- hohe Betriebs- und Funktionssicherheit
- einfache Handhabung
- absolute Genauigkeit (Erntemenge)
- relative Genauigkeit (Ertragsunterschiede)

3. Schnittstellenforderungen

- Einsetzbarkeit in allen Rübenrodern
- Einbindung in GIS

Lösungsansatz

Zur Vermeidung der oben genannten Schwierigkeiten werden zwei Lösungsansätze verfolgt, die sich auf die ungerodete Rübepflanzung beziehen:

1. Rübenzählung

Bei der Rübenzählung wird die Rübenfrequenz (n) beim Roden gemessen. Bei bekanntem Reihenabstand (s_R) und zusätzlich gemessener Fahrstrecke (l_F), kann unter Annahme einer relativ einheitlichen Einzelrübenmasse (m_{ER}) auf den teilflächenspezifischen Ertrag (m'_A) geschlossen werden. Es gilt demnach:

$$m'_A = n \cdot \bar{m}_{ER} / l_F \cdot s_R$$

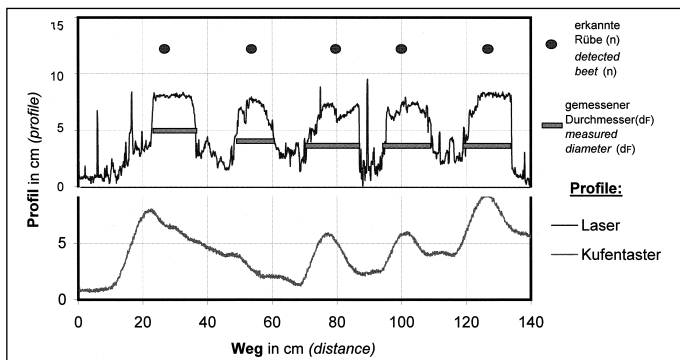


Bild 4: Bestandesvermessung mit einem Laser und einem Kufentaster

Fig. 4: Measurement of contour with a laser and a feeler skid

Bild 3: Zusammenhang zwischen dem maximalen Durchmesser und der Einzelrübenmasse

Fig. 3: Maximal diameter versus single beet mass

2. Einzelrübenvermessung

Die Einzelrübenvermessung ist eine Fortführung der Rübenzählung. Morphologische Eigenschaften der Rübepflanze (der maximale Rüben Durchmesser d_{max} oder der Durchmesser in Fahrtrichtung d_f) dienen der genauen Abschätzung der Einzelrübenmasse. Es gilt:

$$m_{ER} = f(d_{max}) = e^{a \cdot d_{max} + b}$$

$$m'_A = \sum m_{ER} / l_F \cdot s_R$$

Versuchsmethodik

Der Zusammenhang zwischen Rüben Durchmesser und Einzelrübenmasse wird untersucht. Die gewählten Lösungsansätze erfordern bei konstruktionsmethodischer Vorgehensweise die Entwicklung von Messketten zur Bestandesvermessung und die Entwicklung eines geeigneten Algorithmus zur softwaremäßigen Auswertung der Messwerte in Echtzeit. Hierfür wurden zunächst im Labor Modellrüben auf einem Band installiert und hinsichtlich des Abstandes sowie Durchmesser und Scheitelhöhe einem realen Bestand nachempfunden. Schrittweise werden die so zusammengestellten und optimierten Messketten im Feld mit einem Sensorträger und anschließend mit einem einreihigen KRB getestet und bewertet.

Morphologie und Einzelrübenmasse

Die Wuchsform des Rübenkörpers, die unter anderem durch züchterische und pflanzenbauliche Faktoren beeinflusst wird, wurde im Hinblick auf Rüben Durchmesser und Einzelrübenmasse langjährig auf unterschiedlichen Standorten mit unterschiedlichen Sorten und Anbausystemen untersucht (Bild 1).

Der maximale Durchmesser weist den engsten Zusammenhang zur Einzelrübenmasse auf (R^2 zwischen 0,87 und 0,94). Die

Korrelation zwischen dem Durchmesser in Fahrtrichtung und der

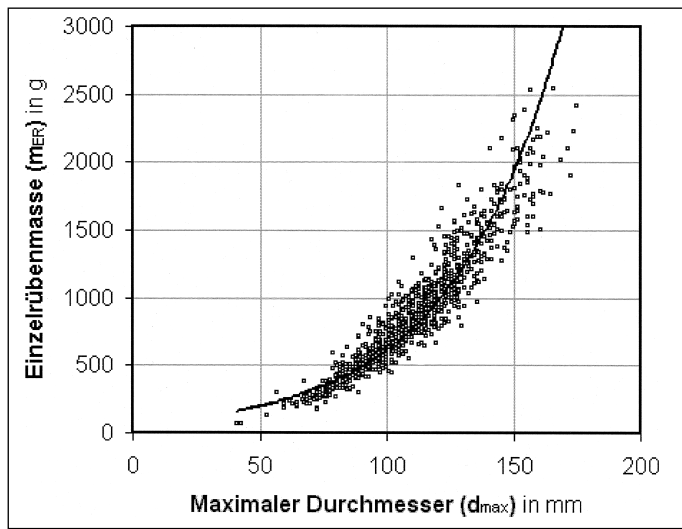
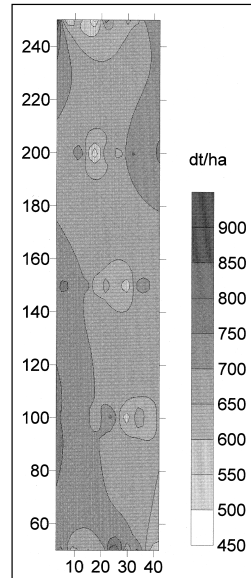


Bild 5: Ertragskarte

Fig. 5: Yield map

Einzelrübenmasse liegt bei den durchgeführten Untersuchungen etwa 2 bis 4% niedriger. Um eine hohe Qualität der Anpassung zu erreichen, ist eine regelmäßige Kalibrierung notwendig. Wird bei verschiedenen Beständen immer die gleiche Regressionsgleichung zugrunde gelegt, ergibt sich für die Ertragsfassung eine Differenz von bis zu 40 dt/ha. Dies ist ausreichend, um Ertragsunterschiede auf der Fläche zu kartieren. Nach abschließender Korrektur anhand der tatsächlich geernteten Masse kann der Fehler reduziert werden.



Die Scheitelhöhe lässt sich weniger gut zur Bestimmung der Einzelrübenmasse nutzen ($R^2 = 0,46$ bis $0,52$). Die Kopplung der Informationen Durchmesser und Scheitelhöhe bringt keine bessere Anpassung.

Messketten

Die Messketten müssen in allen Rodern problemlos eingesetzt werden können und unter den ungünstigen Bedingungen störungsfrei arbeiten. Sie sind hinsichtlich ihrer Messgenauigkeit und -geschwindigkeit für ihre Tauglichkeit zum Zählen und/oder Vermessen der Einzelrüben zu differenzieren. Eine Messkette besteht aus jeweils einem Sensor zur Messung des Bestandesprofils (y -Vektor). Ein weiterer Sensor misst den zurückgelegten Weg (x -Vektor) (Bild 2).

Das Bodenniveau wird mit einem 'Zahnstangenpotentiometer' am Kufentaster gemessen. Das Bestandesprofil wird berührungslos mit Ultraschall-, Mikrowellensensoren und mit einem Laser ermittelt oder berührend durch die Messung der Auslen-

kung des Kufentasters (mittels ‘Zahnstangenpotentiometer’) realisiert. Zur Wegmessung werden Radarsensor und Peiseler-Rad verwendet. DGPS dient zur teilflächenspezifischen Zuordnung der Ergebnisse (*Bild 3*).

Ertragsmessung und -kartierung

Im Feldversuch wurden die Sensoren nach dem Entblätterer und nach dem Köpfer eingebaut. Die Qualität der Rübenzählung

hängt in erster Linie von der ‘Rübenhöhe’ ab. Geköpfte Rüben, die weniger als 2 cm aus dem Boden ragen, sind kaum sensorisch zu erfassen. Daher ist die günstigste Sensorposition direkt hinter dem Entblätterer. Durch die vorhandene Blattbürste können auch tief sitzende Rüben erkannt werden. So konnten beim Roden über 95% der Rüben erkannt und gezählt werden.

Zur Vermessung der Einzelrübe muss diese ohne überhängende Blattreste geköpft

sein. Die Rübenreihe muss zudem frei von Störfaktoren (wie gehäckselte Blätter) sein und die Rodegruppe samt der installierten Sensoren muss schwingungsfrei laufen. Unter diesen Bedingungen ist eine Vermessung der Rüben mit einer anschließenden Kartierung möglich. Unter optimalen Bedingungen kann die Genauigkeit der Ertragsermittlung bei über 80% liegen (*Bild 4 und 5*).