

# Teilflächenspezifische Ertragsmessung bei Zuckerrüben

Eine präzise Landwirtschaft mit der kleinflächigen Berücksichtigung der Faktorunterschiede erfordert die teilflächenspezifische Ertragskartierung. Direkte und indirekte Durchsatz-Messverfahren für Zuckerrübenroder werden konstruktionsmethodisch und wertanalytisch untersucht. Ein indirektes Verfahren auf der Basis der Volumenstrommessung mit einem Laser Scan Profilometer wird in der Praxis zur teilflächenspezifischen Ertragskartierung eingesetzt. Nach Fehleranalyse und Praxiserprobung ist es zur Ertragskartierung geeignet. Der Ertrag auf Teilflächen von 467 m<sup>2</sup> schwankt auf einer Versuchsfläche von 3,18 ha zwischen 54 und 97 t/ha.

Dr.-Ing. Peter Degen und Dipl.-Ing. Marcus Häfner waren und DIa Oliver Schmittmann ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Landtechnik der Universität Bonn (Leitung: Prof. Dr.-Ing. Karl-Hans Kromer), Nussallee 5, 53115 Bonn, e-mail: o.schmittmann@uni-bonn.de

## Schlüsselwörter

Zuckerrübenenernte, Ertragsmessung, rechnergestützte Landwirtschaft

## Keywords

Sugar beet harvesting, yield measuring, computer-aided farming

Literaturhinweise sind unter LT 01111 über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/local/fliteratur.htm> abrufbar.

Eine umweltverträgliche und nachhaltige Zuckerrübenproduktion auf hohem Niveau mit steigender Ausnutzung des Ertragspotenziales bei gleichzeitigem Schutz der biotischen und abiotischen Bodenpotenziale muss zwingend die Faktorenunterschiede wie Topografie, regionale Witterung, Bodenart und -fruchtbarkeit und damit den Einfluss von Standort, Technik- und Betriebsmitteleinsatz auf die Ertragsbildung und die Qualität berücksichtigen.

In einem ökonomischen Umfeld konzentrieren sich dabei die Ziele auf die Senkung der Produktionskosten, die Minderung der Verluste und die Steigerung der Qualität. Hierfür müssen jedoch die Wirkungshöhe und -richtung der Einzelfaktoren flächenbezogen, also für den Schlag oder eine Teilfläche bekannt sein. Die Größe der Teilfläche richtet sich nach den Unterschieden

auf dem Schlag oder der Größe des Schlages.

Typische Beispiele der Präzisionslandwirtschaft (Precision Farming) sind die optimierte und damit teilflächenbezogene Applikation von Mineraldünger und Pflanzenschutzmitteln. Voraussetzung für die Anwendung dieser Form der Landwirtschaft ist die Messbarkeit der Faktoreinflüsse, etwa der Ertragsfähigkeit der Teilfläche, und die Verfügbarkeit kostengünstiger, funktionssicherer Messsysteme und Sensortechnologien sowie die Kenntnis der Verknüpfungsfunktionen von Ursache und Wirkung, beispielsweise in Form von Prognosemodellen für den Ertrag, die Nährstoff-Verfügbarkeit und die Entwicklung der Schaderregerpopulation.

Eine der wichtigsten Messaufgaben ist demzufolge die teilflächenbezogene Mes-

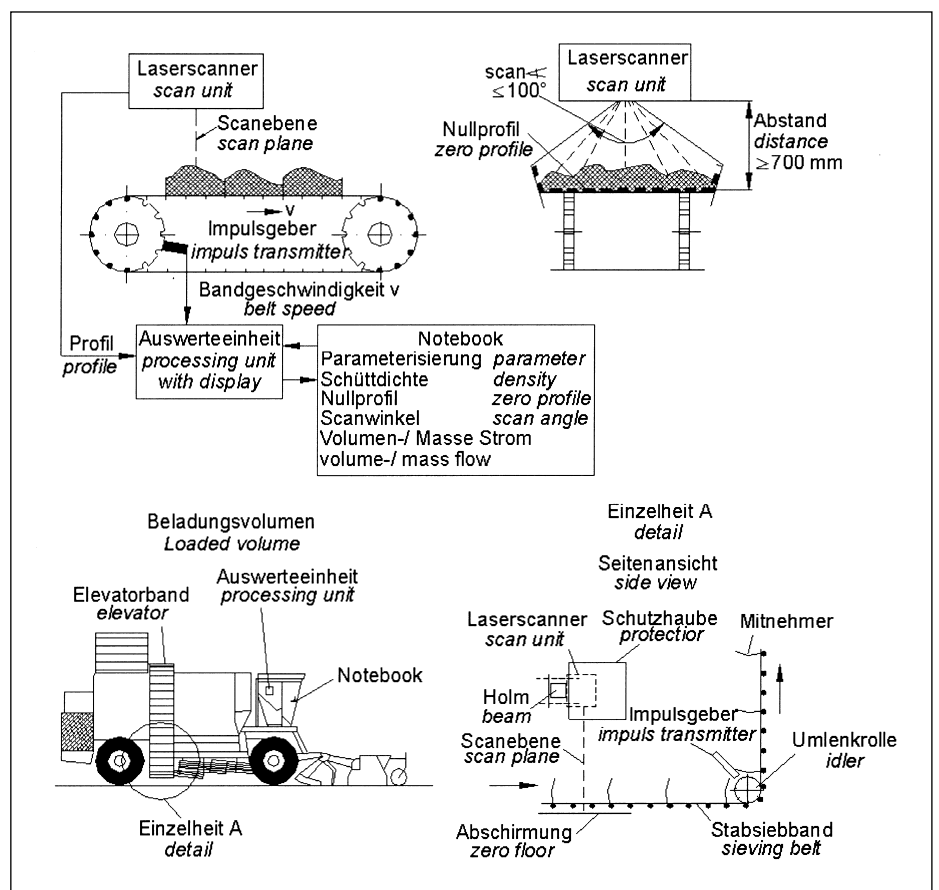


Bild 1: Aufbau der Volumenstrommessung

Fig. 1: Scheme of the volume-flow measuring device

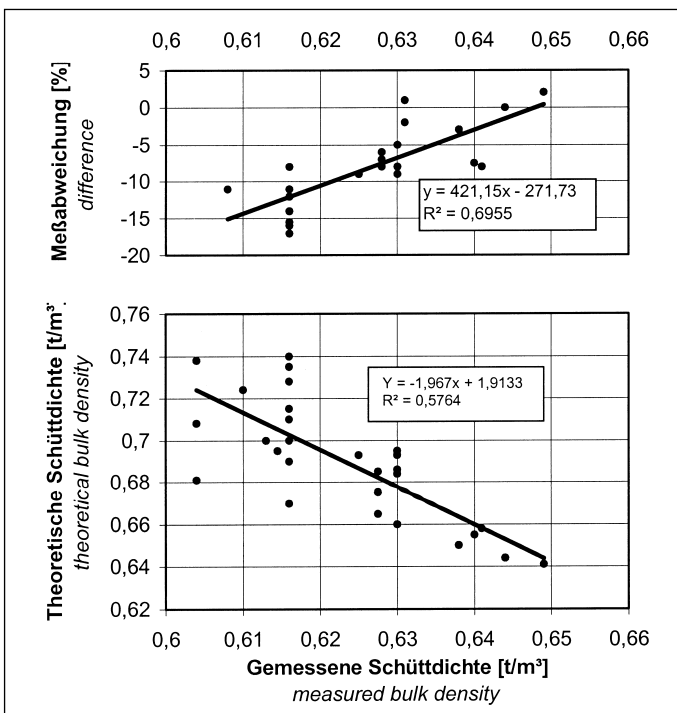


Fig. 2: Measurement difference vs. bulk density and regression (measured and theoretical bulk density)

sung des Ertrages (Ertragskartierung). Dazu muss der Massedurchsatz des Roders in Echtzeit mit den Ortsdaten der Teilfläche (Georeferenzdaten des GPS) verknüpft und in Auskunftdateien (Schlagkartei, GIS) abgelegt werden.

### Funktionsforderungen und Konzeption

In konstruktionsmethodischer Vorgehensweise wurde eine Anforderungsliste mit Funktions-, Betriebs-, Schnittstellen- und sonstigen Forderungen aufgestellt und diese nach Priorität Fest- oder Wunschforderung klassifiziert. Als biotechnische Voraussetzungen sind Erträge an reinen Rüben von 30 bis 75 t/ha und damit 1,4 bis 3,5 kg/lfd m und Reihe zu berücksichtigen. Bei einem Erdanteil von 5 bis 20% und Rodegeschwindigkeiten von 4,5 bis 8 km/h errechnet sich ein theoretischer Massestrom von über 8 kg/s und Reihe.

- Massestrom als Zeitintegral der Gewichtskräfte

$$\dot{m} = \frac{dm}{dt} = \frac{dV}{dt} \cdot \zeta = \frac{dA}{dt} \cdot v \cdot \zeta \quad \dot{g} = const.$$

mit  $\zeta$  = Schüttdichte;  $v$  = Stromgeschwindigkeit;  $A$  = Gutstromquerschnitt

- Massestrom als Zeitintegral der Impulskräfte

$$\dot{m} = \frac{d}{dt} \sum m_i = \frac{1}{v_2 - v_1} \sum dF_i$$

mit  $m_i$  = Impulsmasse;  $v_2 - v_1$  = Geschwindigkeitdifferenz;  $F_i$  = Stoßimpuls

- Massestrom als Algorithmus biotechnischer Größen oder des Energiebedarfes

$$\dot{m} = f(d_{max}) \quad \dot{m} = f(M_d)$$

mit  $d_{max}$  = maximaler Rübandurchmesser;  $M_d$  = Antriebsmoment des Förderelements

Für die rodergebundene Massestrommessung in Echtzeit ist demzufolge zu unterscheiden zwischen direkten Messverfahren

(unmittelbarer Zusammenhang von Massestrom und physikalischer Größe, wie Gewichtskraft, Kraftimpuls, Restintensität) und indirekten Messverfahren (Verknüpfungsfunktion von Massestrom und biotechnischen oder physikalisch-technischen Größen, etwa Volumenstrom • Schüttdichte).

Wertanalytisch wurden vier direkte Messverfahren – Förderbandwaage (66,7%), Impulsbandwaage (44,4%), Prallplatte (47,2%), Strahlungsabsorption (58,3%) – und vier indirekte Messverfahren – Profil mechanisch (25%), Profil Laserimpulslaufzeit/Laser Scan (91,7%), Profil Pulsradar (83,3%), Profil Ultraschall (80,6%) – verglichen, in ( ) sind die Wertzahlen angegeben. Für die messtechnische Realisierung wurde demzufolge das Laserimpuls-Laufzeit-Verfahren (Bulk Scan -System LMS 210 der Fa. Sick) gewählt (Bild 1). Als Entfernungsmessgenauigkeit werden  $\pm 50$  mm im Messbereich von 0,7 bis 30 m angegeben bei einem radialen Blickfeld von  $100^\circ$  und einem Lichtpulsabstand von  $0,25^\circ$ . Infolge der Klassifizierung des Profils in 50 mm Abständen ergibt sich eine systematische Messunsicherheit von 7,14%.

### Versuchsmethodik

Das Messsystem wurde in einem Rübenreinigungslader mit den Versuchsparametern Messabweichung, Erdanteil, Lademasse und Schüttdichte erprobt.

Die mobile Erprobung des Messsystems erfolgte in einem handelsüblichen 6-reihigen Köpfrdebunker (Bild 2) mit den Versuchsparametern teilflächenbezogene Erntemasse, Schüttdichte, Erdanteil und Fahrgeschwindigkeit. Die Versuchsanlage in Langparzellen ermöglichte die teilflächenspezifische Beerntung von  $467 \text{ m}^2$  (Bild 3).

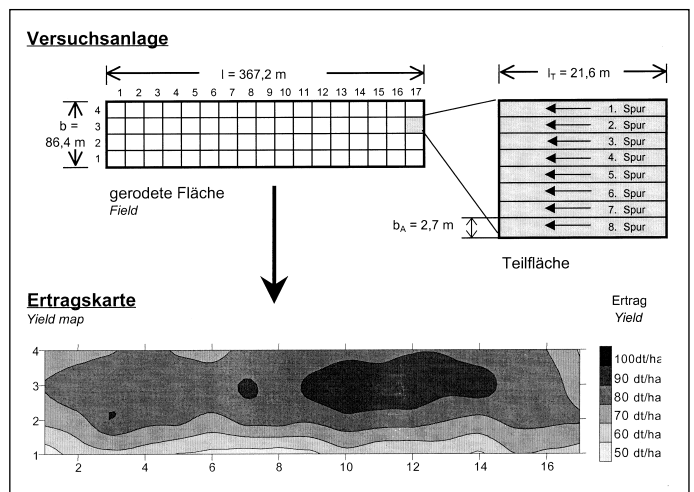


Bild 2: Messabweichungen gegen Schüttdichte (gemessen) und Regressionsgleichung zur Korrektur (gemessene und theoretische Schüttdichte)

Bild 3: Versuchsanlage und teilflächenspezifischer Ertrag

Fig. 3: Trial and site specific yield

### Versuchsergebnisse

Im stationären Versuch war bei der Untersuchung des Parametereinflusses auf die Messabweichung der Lademasse und dem Erdanteil kein Zusammenhang nachweisbar. Negativ korreliert ist die Schüttdichte, der Fehler nimmt also mit steigender Schüttdichte zu ( $B = 69,6\%$ ). Für die aktuellen Messwerte wurde eine theoretische Schüttdichte errechnet und mit der in einem Probencontainer ( $1 \text{ m}^3$ ) ermittelten Schüttdichte verglichen, wonach ein Zusammenhang mit einem Bestimmtheitsmaß von  $B = 57\%$  besteht. Die Fehlerbetrachtung zwingt zur Berücksichtigung der unterschiedlichen Porosität für gerüttelte und ungerüttelte Körper. Die Korrektur des systematischen Fehlers aufgrund der Schüttdichtendifferenz ergibt einen bereinigten Messfehler von 1 bis 4%.

Die Ergebnisse der mobilen Erprobung weisen gleichermaßen eine negative Messabweichung bei einer nur geringen Streuung von 1,158 auf, relative Ertragsunterschiede können demnach gesichert gemessen werden. Eine Abhängigkeit der Messabweichung von Lademasse, Fahrgeschwindigkeit und Schüttdichte ist wegen der geringen Anzahl von Wiederholungen nicht zu sichern. Eine Korrektur der Schüttdichte aufgrund der Ergebnisse der stationären Erprobungen verringert den Messfehler auf 1%, so dass die Messergebnisse zur Kartierung des aktuellen Ertrages verwendet werden können (Bild 3). Danach schwanken die Erträge auf Teilflächen von  $21,6 \cdot 21,6 \text{ m} = 467 \text{ m}^2$  auf einem Schlag von 3,18 ha zwischen 54 und 97 t/ha. Die Ergebnisse decken sich mit englischen Versuchsergebnissen, wonach bei Schlaggrößen von über 7 ha Ertragschwankungen von über 100% auftreten. Die Verknüpfung von Volumenstrom-Messsystem, Roderinformationssystem und GIS ergibt ein für die rechnergestützte Landwirtschaft erforderliches teilflächenspezifisches Ertragsmesssystem.