

Hans-Werner Griepentrog, Kopenhagen

Fehlerquellen der Ertragsermittlung beim Mähdrusch

Die Ertragskartierung bildet einen wichtigen Baustein zur Datenerfassung im Rahmen der teilflächenspezifischen Pflanzenproduktion. Trotz bereits langjähriger Erprobung ist die Datenerfassung und Anlage von Ertragskarten nach wie vor nicht einfach. Bevor Ertragsrohdaten für die Kartierung herangezogen werden, sollten diese kritisch betrachtet und einer Fehleranalyse unterzogen werden. Der Korndurchsatzsensor ist zwar ein wichtiges Messgerät, er liefert jedoch nur eine Messgröße. Weitere wichtige Parameter zur Ertragsberechnung müssen herangezogen werden. Zur Reduzierung der Fehlerwahrscheinlichkeit sind auch konstruktive Besonderheiten der Sensorinstallation zu beachten. Zu unterscheiden sind Fehler der Massenbilanzierung mit beispielsweise Kornankladungen und Fehler der dargestellten Einzelerträge in Ertragskarten. Die Massenerfassung kann mit Fehlern von 2 % erfolgen, während Ertragskarten mit Fehlern um 10 % behaftet sind.

Der Ertrag eines Pflanzenbestandes zum Zeitpunkt der Ernte wird beeinflusst von sehr unterschiedlichen Maßnahmen, die der Landwirt vor und während der Vegetationsperiode durchführt. Diese können mit Hilfe der teilflächenspezifischen Verfahren aus pflanzenbaulicher, aber auch aus ökonomischer und ökologischer Sicht optimiert werden.

Die Zielgröße der Ertragsermittlung ist die Erfassung des pflanzenbaulichen Ertrages. Leider wird heute häufig von Ertragsmessungen in Mähdreschern gesprochen. Das Messen des variierenden Pflanzenertrages ist jedoch weder direkt noch indirekt möglich: Der Ertrag wird aus einer Reihe von Einzelmesswerten verschiedener Sensoren und Parameter berechnet. Die Bestimmung des Kornertrages ist somit eine komplexe Messaufgabe [1].

Die möglichen Fehlergrößen sind in *Übersicht 1* dargestellt. Aus dieser Dar-

stellung wird deutlich, dass der Fehler der Ertragsermittlung von einer Vielzahl von Parametern beeinflusst wird. Erschwerend kommt hinzu, dass viele Parameter – ähnlich wie der zu erfassende Ertrag – sich während des Dreschens in Abhängigkeit von der Position auf dem Feld ändern. Im Sinne eines geringen Gesamtfehlers wäre daher zu empfehlen, möglichst viele Parameter mit Hilfe von Sensoren in ihrem zeitlichen oder lokalen Verlauf zu erfassen. Bei einigen Größen ist leider heute kein Messprinzip bekannt oder ein funktionssicherer Betrieb in Aussicht (Kornverluste, Schwarzbesatz).

Bei der Interpretation von Ertragskarten stellt sich die Frage, wie fehlerbehaftet die Darstellung ist. Eine Fehleranalyse der Technik zur Ertragsermittlung ist besonders aufgrund des komplexen Charakters der Messaufgabe wichtig, damit Fehlinterpretationen vermieden werden. Um eine akzeptable Reduzierung des Fehlers zu erreichen, müssen bestimmte technische Voraussetzungen gegeben sein.

Da der Ertrag nicht gemessen werden kann, muß er nach folgender Gleichung aus Einzelmesswerten je Messzyklus (Abtastrate) berechnet werden [1, 2]:

$$E_i = \frac{\dot{m}_i \cdot T_i}{x_i \cdot b_i} \cdot \frac{1 - U_i}{1 - U_{bez}}$$

\dot{m}_i : Korndurchsatz

T_i : Abtastrate

x_i : Weg

b_i : Schnittbreite

U_i : Kornfeuchte

U_{bez} : bezogene Kornfeuchte

Aus der Gleichung wird ersichtlich, dass zur Ertragsbestimmung neben dem Korndurchsatz die Kornfeuchte, die Schnittbreite und der zurückgelegte Weg in den Ertragswert eingehen. Andere Messwerte wie Höhe der Kornverluste und Verunrei-

nigungsgrad wären sehr sinnvoll und würden das Gesamtergebnis verbessern.

Korndurchsatz

Zur Korndurchsatzmessung im Mähdrescher stehen heute eine Reihe von Sensoren zur Verfügung. Diese arbeiten nach unterschiedlichen Prinzipien wie dem volumetrischen, dem Impulsmess- oder Kraftmess- und anderen indirekten Verfahren [1].

Die Korndurchsatzsensoren werden im Elevatorkopf installiert und ermöglichen eine kontinuierliche Erfassung des Körnerstroms mit Abtastraten von beispielsweise ein bis drei Sekunden.

Die meisten Messverfahren wurden im Labor untersucht und haben sich in der Praxis bewährt. Die Messfehler dieser Sensoren sind akzeptabel und liegen bei ± 2 bis 3 % [3].

Volumetrisch arbeitende Messgeräte zur Korndurchsatzbestimmung weisen leider eine höhere Empfindlichkeit gegen Seiten- und Längshang auf [3, 4]. Mähdrescher mit volumetrischer Messung werden deshalb mit Neigungssensoren ausgerüstet, um eine Kompensation des Hangeinflusses zu ermöglichen.

Messsysteme nach dem volumetrischen Prinzip weisen einen weiteren Nachteil auf: Zur Bestimmung des Masendurchsatzes muss die Schüttdichte des Erntegutes bekannt sein. Hierzu wird sie meist einmalig je Frucht und Schlag bestimmt und als fester Wert eingegeben. Fraglich ist jedoch, ob dadurch der Einfluss dieses Parameters genügend berücksichtigt wird. Es muss angenommen werden, dass sich die Schüttdichte während des Dreschens ebenfalls ändert und es bei Abweichungen vom eingestellten Wert zu fehlerhaften Messungen

Übersicht 1: Fehlerquellen bei der Ertragsermittlung

Table 1: Error sources effecting yield logging

- Korndurchsatz (grain flow)
- Kornfeuchte (grain moisture)
- Positionsbestimmung (positioning)
- Datensynchronisation (data synchronisation)
- Kornverluste (grain losses)
- Hang (slope)
- Schüttdichte (bulk density)
- Schwarzbesatz (impurities)

Realtime:

- Weg/Geschwindigkeit (distance/velocity)
- Schnittbreite (cutting width)

Mapping:

- Rastergröße (cell size)
- Interpolationsverfahren (interpolation)

Prof. Dr. Hans-Werner Griepentrog ist Associate Professor des Department of Agricultural Sciences, Agricultural Engineering, The Royal Veterinary and Agricultural University (KVL), Agrovej 10, DK - 2630 Taastrup, e-mail: hwg@kvl.dk

kommen kann. Sensoren zur kontinuierlichen Messung der Schüttdichte während des Dreschens wären hier notwendig. Derartige Geräte sind zur Zeit noch in der Entwicklung [1, 5].

Unabhängig vom Messprinzip des Durchsatzsensors muss unbedingt eine Feuchtekorrektur durchgeführt werden. Hierzu ist eine kontinuierliche Messung des Feuchtegrades des Erntegutes notwendig. Über die Schlaglänge eines Feldes kann sich die Körnerfeuchte erheblich ändern, beispielsweise von 12 auf bis zu mehr als 20 %.

Sensoren zur kontinuierlichen Feuchtemessung des Erntegutes existieren und sollten in der Korntankbefüllschnecke und nicht im Korntank installiert sein. Der Feuchtwert sollte dem aktuellen Korndurchsatz zugeordnet werden können, was bei Messungen im Korntank nicht möglich ist. Hier werden nur mittlere Feuchtwerte je Ladung gemessen. Korndurchsatzmesssysteme ohne Feuchtekomensation erlauben keine ausreichend genaue Ertragsermittlung [5].

Zur Darstellung und Vergleichbarkeit der Ertragswerte in einer Karte müssen die Werte auf ein gleiches Feuchteniveau bezogen werden. Ohne eine kontinuierliche Messung des Feuchtegehalts und der Zuordnung zum Korndurchsatz ist dieses nicht möglich.

Die Abtastrate für Durchsatzmessungen liegt bei ein bis drei Sekunden. Erfahrungen haben gezeigt, dass die Abtastrate bei zwei oder drei Sekunden liegen sollte. Abtastraten von einer Sekunde stellen eine zu hohe Auflösung in Fahrtrichtung dar und belasten unnötig die Speicherkapazität des Bordcomputers sowie die Datenübertragung.

Die Kalibrierung der Korndurchsatzsensoren muss für jede Frucht und bei veränderten Erntebedingungen sehr sorgfältig durchgeführt werden. Dieses erfolgt in der Regel mit dem Gegenwiegen der Korntankladungen auf Fuhrwerkswaagen. Die Ergebnisse dieser Wiegun-gen sagen über den Fehler der lokalen Ertragsbestimmung direkt wenig aus. Sie sind für eine hohe Genauigkeit einer Ertragskarte jedoch eine wichtige Voraussetzung.

Wegmessung und Schnittbreite

Der gemessene Korndurchsatz muß zur Ermittlung des Ertrages auf die während des Zeitintervalls abgeerntete Fläche bezogen werden. Diese Fläche ergibt sich aus dem zurückgelegten Weg und der Schnittbreite der Maschine. Der zurückgelegte Weg wird an Mähdreschern über Wegimpulszählung an Fahrzeugrädern oder über Radarsysteme gemessen. Beide Verfahren liefern mit entsprechend

sorgfältiger Kalibrierung gute Ergebnisse.

Das Messen der aktuellen Schnittbreite während des Dreschens ist heute noch nicht praxisreif. Verschiedene Systeme wurden jedoch bereits auf ihre Zuverlässigkeit und Genauigkeit hin untersucht und es konnte nachgewiesen werden, dass die Qualität der Ertragskarten verbessert wurde [1, 5, 6, 7]. Lücken im Bestand, Lagergetreide oder Unkrautnester werden von den Sensoren nur fehlerhaft erkannt und führen deshalb zu falschen Werten der Breite des abgeernteten Getreidebestandes.

In den meisten Fällen wird heute mit einer fest eingestellten, konstanten Schnittbreite gearbeitet. In diesem Fall muß der eingegebene Wert sehr wohl überlegt und gut gemessen sein. Von der Einhaltung dieses Wertes hängt die Genauigkeit der Größe der Bezugsfläche sowie der Ertragswerte ab. Einige Bordcomputer in Mähdreschern erlauben auch die schnelle Änderung der Schnittbreite nach dem Teilbreitenprinzip.

Positionsbestimmung

Die Positionsbestimmung des Mähdreschers während der Ernte auf dem Feld ist Voraussetzung für eine Ertragskartierung. In den letzten Jahren ist die Zuverlässigkeit und Genauigkeit der DGPS-Systeme verbessert worden. Heute gibt es eine Vielzahl von Unternehmen, die GPS- und Referenzsignal-Empfangssysteme anbieten. Für die Ertragskartierung ist die Genauigkeit dieser Systeme mit 2 bis 5 m ausreichend [8].

Die flächendeckende Versorgung von Referenzsignalen ist heute leider immer noch nicht gegeben. Referenzsignale, die ebenfalls über Satellitensysteme gesendet werden, können diese Situation in den nächsten Jahren vielleicht verbessern.

Die Qualität und Zuverlässigkeit der Positionierungsdaten lassen häufig zu wünschen übrig, so dass eine Überprüfung der Positionsdaten von Ertragsrohdaten nach wie vor wichtig erscheint. Störungen der DGPS-Empfänger treten leider häufig auf, so dass Positionierungsfehler entstehen, die während des Dreschens nicht bemerkt werden.

Datensynchronisation (Datenzuordnung)

Zur Berechnung eines Ertrages an einer bestimmten Position auf dem Feld (GPS-Ortung) müssen alle hierfür notwendigen Sensordaten und andere Parameter dieser Position zugeordnet werden. Dieses betrifft die zeitliche als auch die lokale Synchronisation. Lokale Differenzen ergeben sich beispielsweise aus dem Abstand des Messerbalkens (Standort der Pflanzen) von der Position der GPS-Antenne.

Zeitliche Differenzen treten aufgrund unterschiedlicher Durchlaufzeiten der Körner zum Korndurchsatz- und Kornfeuchtesensor auf. Bei der Bestimmung der Durchlaufzeiten können sich auch Abhängigkeiten vom Gesamtmasseedurchsatz ergeben [1, 4, 9].

Auswerte- und Kartierungsmethoden

Vor dem Anwenden der eigentlichen Kartierungsprozeduren ist das Auswerten der Rohdaten über Filterprozeduren mit Plausibilitätskontrollen notwendig. Plausibilitätsprüfungen können sich auf Positionsdaten innerhalb der Feldgrenzen, Kreuzen der Fahrspuren, Fahrgeschwindigkeit größer Null, GPS-Status oder ähnliches beziehen. Hierdurch können erste Fehlerquellen beseitigt werden. Auch andere Werte, gemessen von Mähbeginn bis zum Erreichen eines dynamischen Gleichgewichts oder umgekehrt, müssen aus den darzustellenden Daten herausgenommen werden. Die Zeit vom Mähbeginn bis zum Erreichen dieses Gleichgewichts kann durchaus 16 Sekunden betragen [9, 10]. Zum Teil wird auch empfohlen, die Rohdaten mit bestimmten Glättungsalgorithmen zu bearbeiten [11].

Zur Darstellung und Kartierung der Ertragsdaten werden von den Geräteherstellern, aber auch von Mähdrescher- und Agrarsoftwarefirmen Programme angeboten. Leider gibt es bisher wenig systematische Untersuchungen zur Eignung der angebotenen Computer-Programme für die Ertragskartierung. Nur in der englischsprachigen Literatur sind Untersuchungen bekannt [12, 13].

Die am häufigsten angewandte Methode zur Kartenkonstruktion ist die Krige-Approximation. Andere Verfahren sind die Inverse-Distanz-Interpolation oder die Dreiecksvermaschung [9, 12, 14].

Die maximale Flächenauflösung von Ertragskarten mit einem Gesamtfehler von unter 10 % liegt im Mittel bei 400 m² oder 20 m [10, 15]. Für höhere Flächenauflösungen werden die Fehler aufgrund der vielfältigen Störungen größer und damit nicht mehr akzeptabel.

Literaturhinweise sind vom Verlag unter LT 98504 erhältlich.

Schlüsselwörter

Teilflächenspezifische Pflanzenproduktion, Ertragsermittlung, Ertragskartierung, Fehlerquellen

Keywords

Site specific agriculture, yield logging, yield mapping, error sources