

## Ableitung des teilflächenspezifischen Kornertrags von Getreide aus Reflexionsdaten

Franz-Xaver Maidl<sup>1</sup>, Andreas Spicker<sup>1</sup>, Andreas Weng<sup>1</sup> und Kurt-Jürgen Hülsbergen<sup>1</sup>

**Abstract:** In 14-jährigen Parzellenversuchen zu Winterweizen mit differenzierter Stickstoffdüngung und verschiedenen Sorten wurden zu vier Terminen die oberirdische Biomasse und die Stickstoffaufnahme bestimmt. Darüber hinaus wurden zu den gleichen Terminen die Pflanzenreflexion erfasst und aus diesen Daten verschiedene Vegetationsindices berechnet. Es wurde versucht, aus diesen Daten den Kornertrag zu schätzen. Manche Vegetationsindices (z. B. NDVI) zeigten eine nur mäßige Beziehung zum Kornertrag, während andere Vegetationsindices (z. B. REIP, SR1) sehr gute Beziehungen zeigten. Die Beziehung Vegetationsindex und Kornertrag unterlag jedoch großen Jahrgangsschwankungen, so dass eine Ableitung des absoluten Kornertrags mit großen Unsicherheiten behaftet ist. Die Ableitung relativer Kornerträge und damit die Abgrenzung von Ertragspotenzialzonen war jedoch mit hoher Genauigkeit möglich. Bei Kenntnis des absoluten Kornertrags für den Schlag kann so über den Relativertrag der Teilflächen auf deren absoluten Kornertrag geschlossen werden.

**Keywords:** Ertragsermittlung, Teilschlag, Pflanzenreflexion, Vegetationsindices

### 1 Einleitung und Problemstellung

Um den Erfolg einer Produktionsweise im Pflanzenbau abschätzen zu können bzw. das Produktionsverfahren zu optimieren, ist es wichtig, den Ertrag zu kennen. Bisher wird der Ertrag in der Regel über die Fuhrwerkswaage für den gesamten Schlag erfasst. Mit zunehmender Schlaggröße und dem Streben nach weiterer Optimierung gewinnt die Abgrenzung von Managementzonen zunehmend an Bedeutung. Die Abgrenzung von Managementzonen erfolgt entweder über Bodenkarten oder über die teilflächenspezifische Ertrags erfassung.

Am meisten verbreitet ist die lokale Ertragsermittlung mit dem Mähdrescher. Hierbei gibt es eine Reihe von Fehlerquellen, wie Schnittbreite, Fahrgeschwindigkeit und Fehler des Systems, u. a. Geschwindigkeit und Position werden ausreichend genau erfasst [No03]. Die Fehler bei der Durchsatzmessung liegen bei 3 %, können jedoch bis auf 10 % ansteigen [Re02]. Die größten Fehler ergeben sich durch Abweichungen in der Schnittbreite [St03]. Für ganze Schläge ist die Abweichung gering, je kleiner der Teilschlag, desto größer die Abweichung, wie Vergleichsmessungen von Groß- und Parzellenmähdrescher zeigten [Ba04]. Im Unterschied zu diesen Verfahren können Ertragsschätzungen auch schon vor dem Zeitpunkt der Ernte getroffen werden. Eine

---

<sup>1</sup> Technische Universität München, Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme, Liesel-Beckmann-Str. 2, 85354 Freising, maidl@wzw.tum.de

Möglichkeit hierzu bieten Satellitendaten bzw. Satellitendaten in Kombination mit meteorologischen Daten und einem Wachstumsmodell [Ha05].

Zur Bestimmung des Biomasseaufwuchses, des Stickstoffstatus und zur Phänotypisierung von Pflanzenbeständen werden immer mehr mit großem Erfolg Reflexionsdaten verwendet [Li03], [Sc07], [Sp08]. In dieser Arbeit sollten daher die Möglichkeiten der reflexionsoptischen Erfassung des Kornertrags von Getreide vor dessen Ernte untersucht werden.

## **2 Material und Methoden**

Die Datengrundlage bilden Parzellenversuche zu Winterweizen, welche in den Jahren 2003 bis 2017 auf den Versuchstationen der Technischen Universität München in Dürnast und Roggenstein durchgeführt wurden. Es handelt sich einerseits um Stickstoffsteigerungsversuche mit 15 bis 20 N-Stufen und um Sortenversuche mit vier bis fünf Sorten in Kombination mit vier N-Stufen. Beide Versuchsserien waren stets in vierfacher Wiederholung und als Doppelparzellen angelegt. Eine der Doppelparzellen diente der Gewinnung von Biomasseproben und der Bestimmung der Stickstoffaufnahme zu vier Terminen (BBCH 30, BBCH 32, BBCH 49 und BBCH 65), während an der anderen Parzelle, zu den gleichen Terminen, die Reflexionsmessungen und die Ernte mit dem Parzellenmährescher durchgeführt wurden.

Die Reflexionsmessungen wurden mit einem 2-Kanal-Handspektrometer der Fa. tec5 durchgeführt. Der Messbereich liegt bei 350 bis 980 nm, mit einer Auflösung von 2,8 nm. Aus diesen Reflexionswerten wurden verschiedene Vegetationsindices errechnet.

## **3 Ergebnisse und Diskussion**

Die Bestimmtheitsmaße der Regressionsrechnungen zwischen dem Kornertrag und den zu verschiedenen EC-Stadien ermittelten Parametern oberirdische Biomasse, N-Aufnahme in der oberirdischen Biomasse sowie einigen Vegetationsindices aus Reflexionsmessungen sind in Tabelle 1 dargestellt. In frühen EC-Stadien errechneten sich zu allen Parametern sehr niedrige Bestimmtheitsmaße zum Kornertrag, während mit fortschreitender Vegetationsperiode eine entsprechende Zunahme festzustellen war. Die Ursache der niedrigen Bestimmtheitsmaße in frühen EBCH-Stadien ist in der langen Zeitspanne zwischen Messung und Kornernte zu sehen, in welcher viele Ereignisse (Witterung, Nährstoffverfügbarkeit, Krankheitsbefall, u. a.) sowohl positiv als auch negativ auf den Ertrag wirken können. Die Bedeutung der N-Aufnahme war zu jedem Entwicklungsstadium größer als die der Biomasse (Tab. 1). Zwischen den Vegetationsindices REIP sowie SR1 und dem Kornertrag wurden stets die höchsten Bestimmtheitsmaße errechnet. Der Index NDVI war stets erheblich schwächer. Die

Ursache hierfür ist in dem hohen Sättigungseffekt des NDVI auf Standorten mit hohen Kornerträgen zu suchen [St18]. Mit Bestimmtheitsmaßen von ca. 0,6 für REIP und SR1 können jedoch keine zuverlässigen Werte für den Kornertrag geschätzt werden. In einzelnen Jahren durchgeführte Reflexionsmessungen nach BBCH 65 zeigten noch niedrigere  $R^2$ -Werte, was in der zunehmenden Seneszenz der Pflanzen begründet sein dürfte.

<b>BBCH</b>	<b>Biomasse</b>	<b>N-Aufnahme</b>	<b>REIP</b>	<b>NDVI</b>	<b>SR1</b>
30	0,22	0,35	0,39	0,18	0,35
32	0,31	0,37	0,46	0,21	0,41
49	0,38	0,41	0,53	0,22	0,47
65	0,46	0,57	0,61	0,37	0,57

Tab. 1: Bestimmtheitsmaße ( $R^2$ ) der Regressionsrechnungen Biomasse, N-Aufnahme sowie der Vegetationsindices REIP, SR1 und NDVI von BBCH 30 bis BBCH 65 zum Kornertrag

Die Verrechnung jähriger Versuchsdaten erbrachte für alle Parameter zu BBCH 49-65 sehr hohe Bestimmtheitsmaße zum Kornertrag. Für die Vegetationsindices REIP und SR1 errechneten sich stets Bestimmtheitsmaße von 0,80 bis 0,94 (nicht dargestellt). Die Regressionsgleichungen zwischen den Jahren zeigten jedoch erhebliche Abweichungen. Zwei Ursachen dürften hierfür verantwortlich sein. Eine Ursache dürfte in der unterschiedlichen Ausprägung der Ertragsstrukturparameter für ein- und denselben Kornertrag in verschiedenen Jahren zu sehen sein. Eine weitere Ursache ist im unterschiedlichen Wachstum zwischen den Jahren der Zeit der Blüte (BBCH 65) und der Kornreife zu sehen.

<b>BBCH</b>	<b>Biomasse</b>	<b>N-Aufnahme</b>	<b>REIP</b>	<b>NDVI</b>	<b>SR1</b>
49	0,60	0,66	0,85	0,65	0,67
65	0,62	0,68	0,86	0,68	0,86

Tab. 2: Bestimmtheitsmaße ( $R^2$ ) der Regressionsrechnungen der Relativwerte von Biomasse, N-Aufnahme sowie der Vegetationsindices REIP, SR1 und NDVI zu BBCH 49 und BBCH 65 zum relativen Kornertrag

Zur Umgehung dieser Problematik wurden alle erhobenen Daten in Relativwerte für die Jahre bzw. Standorte umgerechnet und mit diesen Daten die entsprechenden Regressionsanalysen durchgeführt. Tabelle 2 zeigt die Bestimmtheitsmaße zwischen den untersuchten Parametern und dem Kornertrag für die Entwicklungsstadien BBCH 49 und BBCH 65 für die Relativwerte. Es ist festzustellen, für alle Parameter errechneten sich um 0,2 bis 0,3 höhere Bestimmtheitsmaße als bei absoluter Betrachtung. Die  $R^2$ -Werte von 0,86 bzw. 0,88 für die Vegetationsindices SR1 und REIP zu BBCH 65 und dem relativen Kornertrag können als sehr hoch betrachtet werden. Dies bedeutet mit Reflexionsmessungen lassen sich die unterschiedlichen Ertragsbereiche innerhalb eines Schlags zum Zeitpunkt Mitte Blüte sehr exakt abgrenzen. Bei Kenntnis des absoluten Ertrags für den Gesamtschlag lässt sich auf diese Weise eine exakte Ertragskarte mit absoluten Werten erstellen.

## 4 Zusammenfassung

Ziel der Arbeit war, aus Reflexionsdaten von Weizen auf den Kornertrag zu schließen, um teilflächenspezifische Ertragspotenzialkarten zu generieren. Einige Vegetationsindices zeigten schlechte, andere hingegen gute Beziehungen zum Kornertrag. Das Bestimmtheitsmaß zwischen Vegetationsindex und Kornertrag nahm erwartungsgemäß mit abnehmender Zeitspanne zwischen Reflexionsmessung und Ernte zu. Der späteste Termin der Reflexionsmessung wurde Mitte Blüte (BBCH 65) durchgeführt. Die Beziehungen waren in Einzeljahren eng, unterschieden sich zwischen den Jahren stark. Aus diesem Grunde wurde ein Verfahren der Schätzung des relativen Kornertrags entwickelt. Bei Kenntnis des Gesamtertrags für den Schlag kann so auf den teilflächenspezifischen Ertrag geschlossen werden.

### Literaturverzeichnis

- [No03] Noack, P.H., Muhr, T. and Demmel, M.: An Algorithm for Automatic Detection and Elimination of Defective Yield Date. In: *Prec. Agriculture '03: Proc. 4<sup>th</sup> Europ Conf Prec Agri.* 2003, pp. 445-450.
- [Re02] Reyns, P., Missotten, B., Ramon, H., De Baerdemaeker, J.: *A Review of combine Sensors for Precision Farming.* Precision Agriculture. Springer Science, 2002.
- [St02] Steinmayr, T.: Fehleranalyse und Fehlerkorrektur bei der lokalen Ertragsermittlung im Mährescher zur Ableitung eines standardisierten Algorithmus für die Ertragskartierung. *Dissertation Techn. Universität München*, 2002.
- [Ba07] Bachmeier, M.: Using a robust variogram find a adequate butterfly neighborhood size for one-step yield mapping using robust fitting paraboloid cones. *Prc. Agric.* Vol 8, No 1-2, 2007, pp. 75-99.
- [Ha01] Hagemester, A.: Informationsgehalt von ERS-1/-2 SAR-Daten zur Erfassung der Arteninventare und des Zustandes landwirtschaftlich genutzter Böden und Vegetation. *Dissertation Johannes-Gutenberg-Universität Mainz*, 2001.
- [Li03] Liebler, J.: Feldspektroskopische Messungen zur Ermittlung des Stickstoffstatus von Winterweizen und Mais auf heterogenen Schlägen. *Dissertation Techn. Universität München*, 2003.
- [Sc06] Schmid, A.: Erfassung des aktuellen Stickstoffstatus von Kulturpflanzen mit berührungsloser Sensorik zur Optimierung der teilflächenspezifischen Bestandesführung. *Dissertation Techn. Universität München*, 2006.
- [Sp16] Spicker, A.: Entwicklung von Verfahren der teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung zu Wintergerste und Winterraps auf Grundlage reflexionsoptischer Messungen. *Dissertation Techn. Universität München*, 2016.
- [St18] Strenner, M., Maidl, F.-X., Hülsbergen, K.-J.: Nitrogen Sensing by Using Spectral Reflectance measurements in Cereal Rye Canopy. *Proc. 14th Int. Conf. Prec. Agric.*, 2018.