

## Einsatz eines Thermografiekamerasystems in der Hochdurchsatz-Phänotypisierung von Getreidefeldversuchen

Philipp Daniel König<sup>1</sup>, Hans Peter Maurer<sup>2</sup>, Mario Jenz<sup>1</sup>, Kim Möller<sup>1</sup>, Jan Neuweiler<sup>2</sup>, Dominik Nieberg<sup>1</sup>, Johannes Trini<sup>2</sup>, Tobias Würschum<sup>2</sup> und Arno Ruckelshausen<sup>1</sup>

**Abstract:** In der Pflanzenzüchtung werden Multisensorsysteme, insbesondere bildgebende Sensorensysteme, bei der Hochdurchsatz-Phänotypisierung von Pflanzen im Feld eingesetzt. Hierdurch können Informationen über den Zustand von Pflanzen nicht-invasiv gesammelt und interpretiert werden, welche bislang nicht zur Verfügung standen. In dieser Arbeit soll das Einsatz- und Nutzenpotenzial von bildgebenden Thermografiekamerasystemen zur Erfassung von Ertragsparametern in Getreidefeldversuchen exemplarisch evaluiert werden. In die Hochdurchsatz-Feldphänotypisierungsplattform „BreedVision“ und deren Sensordaten-Aufnahmesystem, den „BreedVision-DataRecorder“ [Mö16], wurde ein Thermografiekamerasystem integriert. In zwei Messfahrten wurden die Wärmebilder des Pflanzenbestandes von 200 Feldversuchspartellen der Getreideart Triticale erfasst. Verschiedene Methoden zur Berechnung der Parzellentemperatur wurden angewendet und eine Korrelation zwischen der Parzellentemperatur und dem Biomasse- und Kornertrag bei Triticale beobachtet. Darüber hinaus wurde untersucht, inwieweit sich Störgrößen, die bei den Messungen durch wechselhafte Umweltbedingungen auftreten, mit statistischen Methoden minimieren lassen.

**Keywords:** Multisensorsystem, Thermografiekamera, Hochdurchsatz-Phänotypisierung

### 1 Einleitung

Bei der Phänotypisierung von Pflanzen im Feld werden immer häufiger Multisensorplattformen zur nicht-invasiven Aufnahme von Pflanzenmerkmalen unter Feldbedingungen eingesetzt. Hierzu zählt z. B. BreedVision, welche unter anderem mit verschiedenen bildgebenden Sensoren bestückt ist [Mö16]. Die Plattform kann im Hochdurchsatz Sensordaten aufnehmen, mit denen Züchter Aussagen über die Resistenz von Pflanzen, beispielsweise gegen Umwelteinflüsse oder Krankheiten, treffen können [Ru14]. Durch diese Sensordaten können nicht nur Aussagen über den Zustand der Pflanzen, sondern auch beispielsweise Vorhersagen über Ertragsparameter des Pflanzenbestandes getroffen werden. Die Biomasse ist hierbei ein wichtiger Ertragsparameter. In Bezug darauf wurden bereits durch das Betrachten der Daten von verschiedenen Sensoren (Sensordatenfusion) gute Korrelationsergebnisse von Sensordaten und Ertragsparametern erzielt, um verlässliche Vorhersagen zu treffen [Ch19]. Mit Wärmebildkameras lassen sich Vorhersagen über die

---

<sup>1</sup> Hochschule Osnabrück, Labor für Mikro- und Optoelektronik, Sedanstraße 26, 49076 Osnabrück, {Philipp-Daniel.Koenig; Mario.Jenz; K.Moeller; D.Nieberg; A.Ruckelshausen}@hs-osnabrueck.de

<sup>2</sup> Universität Hohenheim, Landessaatzuchtanstalt, Fruwirthstraße 21, 70599 Stuttgart, {H-P.Maurer; Jan.Neuweiler; Johannes.Trini; Tobias.Wuerschum}@uni-hohenheim.de

Biomasse von Pflanzen erstellen, indem der Bestand in verschiedenen Dünge­stufen beobachtet wird [Gu16].

## 2 Material und Methoden

Eine Thermografiekamera ist ein Sensorsystem, welches die Oberflächentemperatur auf Basis der abgegebenen Infrarotstrahlung der Messobjekte in einem Bild wiedergibt. Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein Thermografiekamerasystem VarioCAM HD 780 S zusammen mit einem Objektiv mit der Brennweite 15 mm der Firma InfraTec GmbH verwendet, welches für die Messfahrten im Feld in die höhenverstellbare Sensorbox der Multisensorplattform „BreedVision“ eingebaut wurde (Abb. 1A). Durch den Einbau in die höhenverstellbare Sensorbox wird ein konstanter Abstand von ca. 0,4 m zwischen den Pflanzen und der Kamera, unabhängig von der Wuchshöhe der Pflanzen, in einer Versuchsparzelle automatisiert sichergestellt. Der Bildbereich der Thermografiekamera entspricht einem Messbereich mit der Fläche von ca. 0,5 m x 0,4 m auf der Parzellenoberfläche und das Kamerabild hat eine Auflösung von 640 x 480 Pixeln. Während der Messfahrt mit einer Fahrgeschwindigkeit von  $v=0,56$  m/s nimmt die Kamera Infrarotbilder der Versuchsparzellen (Abb. 1B) mit einer Frequenz von  $f=60$  Bildern/s aus der Vogelperspektive auf. Die Bilder werden im BreedVision System mit Zeit- und Ortsreferenzierung für eine spätere Bestimmung der Temperatur einer Pflanzenparzelle abgelegt.

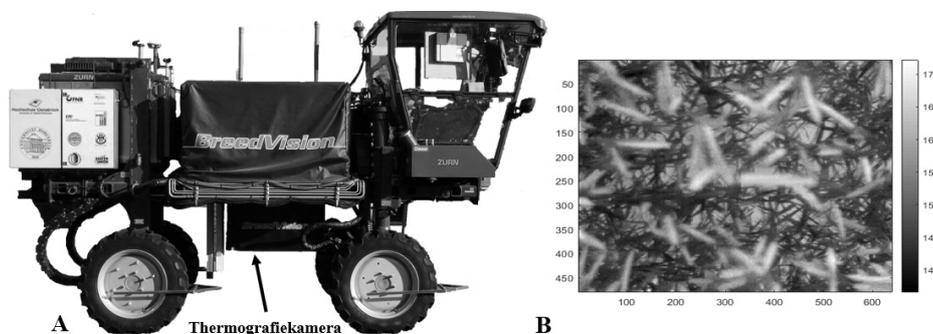


Abb. 1: (A) Multisensorplattform „BreedVision“ mit Einbauort der Thermografiekamera innerhalb der höhenverstellbaren Sensorbox, (B) Wärmebild von einer Pflanzenparzelle (Triticale), aufgenommen mit dem Thermografiekamerasystem aus der Vogelperspektive.

Des Weiteren wurden die Sonneneinstrahlung in  $\text{Watt/m}^2$  mit einem Pyranometer der Firma LAMBRECHT auf dem Dach der Multisensorplattform und die Umgebungstemperatur in  $^{\circ}\text{C}$  mit Hilfe eines Ultraschallsensorsystem UMSys-01 der Firma iotec GmbH erfasst, in dem sich ein PT-100 Temperaturfühler befindet. Für die Demonstration der Nutzung der Thermografiekamera wurde eine Messfahrt am späten Nachmittag zwischen 16:30 Uhr und 19:30 Uhr am 14.06.2018 auf einem Versuchsfeld der Saaten-

Union Versuchsstation Moosburg ausgewählt. Das Wetter war zu diesem Zeitpunkt meist bewölkt mit kurzen sonnigen Abschnitten. Die Lufttemperatur schwankte zwischen 17,5 °C und 21,0 °C. Die Versuchspartzen bestanden aus 11 Saatzeihen mit einem Reihenabstand von 14 cm und waren 1,8 m breit und 5,8 m lang, was einer Größe von 10,44 m<sup>2</sup> entspricht. Insgesamt umfasste der Versuch 200 Versuchspartzen der Getreidekulturart Wintertriticale, welche mit der Sensorplattform BreedVision am Messtag zweifach für die Messungen überfahren wurden. Die Triticalepflanzen waren im Entwicklungsstadium der Teigreife der Körner (EC-Stadium = 85). Unmittelbar nach Abschluss der Messfahrten wurden die Versuchspartzen mit einem Biomassehäcksler zur Bestimmung des Gesamtpflanzenbiomasseertrages geerntet. Die 200 Partzen waren aufgeteilt in vier Blöcke mit einer unterschiedlich hohen Stickstoffdüngung im Vegetationsverlauf. Diese Stufen hatten eine Höhe von 40 %, 70 %, 100 % und 130 % relativ zur ortsüblichen N-Düngungsmenge. In jeder Düngungsstufe wurden 25 Triticalegenotypen in einem randomisierten Gitterversuch mit 2 Wiederholungen und einer unvollständigen Blockgröße von 5 Partzen angebaut. Die Daten zum Kornertrag für die 25 Triticalegenotypen wurden in einem Feldversuch mit dem gleichen Versuchsaufbau in unmittelbarer Nähe zum obig beschriebenen Feldversuch für die Gesamtpflanzenbiomasse erhoben.

### **Bestimmung der Temperatur der Pflanzen in einer Partzele**

Basierend auf einem Bild aus der Mitte einer jeden Partzele wurden verschiedene Quantile (10 %, 20 %, 30 %, 40 %, 50 %, 60 %, 70 %, 80 %, 90 %) und das Mittel der Temperaturwerte des Wärmebildes berechnet. Mit Hilfe von Bildverarbeitung wurden zusätzlich der Median und die mittlere Temperatur der Ähren in einer Partzele berechnet. Zur Korrelation der Pflanzentemperaturen mit den Ertragsparametern (Gesamtpflanzenbiomasseertrag, Kornertrag) wurden zwei verschiedene Methoden erprobt.

#### Methode 1: Korrelation der Rohdaten der Partzele

Die gemessenen Rohdaten-Temperaturwerte einer Partzele wurden in einem linearen Modell mit Kovariablen für die Berücksichtigung des Umwelteinflusses (fehlend oder Einstrahlungsintensität bzw. Umgebungstemperatur) korreliert.

$$BM = C + T \quad (1)$$

Die Buchstaben bezeichnen folgende Parameter: BM den Gesamtpflanzenbiomasseertrag, C die Kovariable für die Berücksichtigung des Umwelteinflusses (fehlend oder Einstrahlungsintensität bzw. Umgebungstemperatur) und T die Partzellentemperatur. Anschließend wurde die Korrelation zwischen der vorhergesagten und der tatsächlich beobachteten Partzellentemperatur berechnet.

#### Methode 2: Korrelation der *best linear unbiased estimators* (BLUEs)

Für die Berechnung der *best linear unbiased estimators* (BLUEs) auf Basis der genotypischen Werte wurden folgende gemischten Modelle verwendet:

$$T = C + G : R + R : B + S + F, \quad (2)$$

$$BM = G : R + R : B, \quad (3)$$

$$KE = G : R + R : B, \quad (4)$$

wobei die Buchstaben folgende Parameter bezeichnen: T die Parzellentemperatur, BM den Biomassertrag, KE den Kornertrag, C die Kovariable für die Berücksichtigung des Umwelteinflusses (fehlend oder E die Einstrahlungsintensität bzw.  $T_U$  die Umgebungstemperatur), R den Effekt der Wiederholung, B die unvollständigen Blöcke, S den Effekt der Fahrt und F den Effekt der Überfahrt. Der Doppelpunkt trennt fixe von zufälligen Effekten, wobei die fixen vor dem Doppelpunkt stehen. Das gemischte Modell wurde mit der Software ASReml innerhalb der Statistiksoftware R (3.4.4) berechnet. Wie bei der Rohdatenmethode wurden zur Bewertung der Temperaturdaten die Korrelationen zwischen den BLUEs der Parzellentemperatur und dem Gesamtpflanzenbiomassertrag berechnet.

### 3 Ergebnisse und Diskussion

Die Feldversuchspartellen der vier Düngungsstufen wurden in folgender zeitlicher Reihenfolge mit der BreedVision Phänotypisierungsplattform überfahren: N-Düngungsstufe 100 %, 130 %, 70 % und 40 %. Die beiden Überfahrten über eine Parzelle fanden zeitlich unmittelbar hintereinander statt. Während der Überfahrt der N-Düngungsstufen 100 % und 130 % war das Wetter konstant bewölkt. Bei der Überfahrt der N-Düngungsstufen 70 % und 40 % gab es mehrere sonnige Abschnitte, so dass die Umgebungstemperatur und die Einstrahlung während den Fahrten stark variierten (Abb. 2).

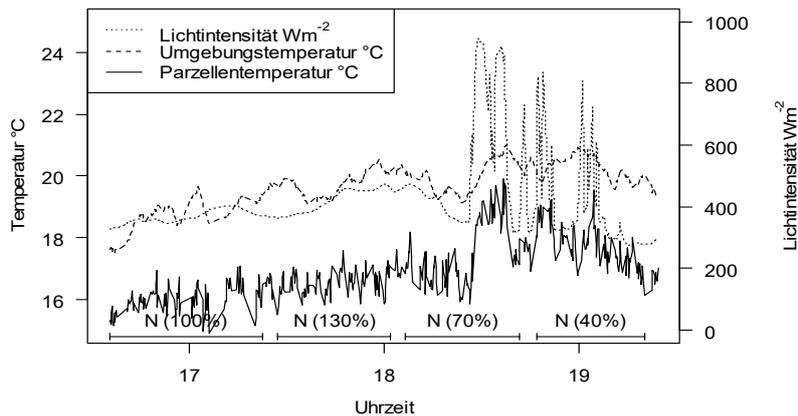


Abb. 1: Verlauf von Parzellen- und Umgebungstemperatur sowie Lichtintensität während der Messfahrten mit BreedVision in den vier Stickstoffdüngungsstufen (40%, 70%, 100%, 130%).

In den Rohwerten der Messdaten wurde eine signifikante negative Korrelation in Höhe von -0,747 bzw. -0,677 zwischen Temperatur und Biomasseertrag für N-Düngungsstufe 100 % bzw. 130 % beobachtet (Tab. 1). Aufgrund der wechselhaften Wetterbedingungen während der Messfahrten für die N-Düngungsstufen 40 % und 70 % sind die beobachteten Korrelationen deutlich geringer und teilweise nicht signifikant. Nach Berücksichtigung der Kovariablen Lichtintensität und Umgebungstemperatur im linearen Modell wurden in allen N-Düngungsstufen signifikante negative und engere Korrelationen zwischen der Parzellentemperatur und dem Biomasseertrag beobachtet. Somit ist eine Berücksichtigung der Kovariablen im Modell immer vorteilhaft, da damit störende Umwelteinflüsse während der Messfahrten ausgeglichen werden können. Bei der Auswertung der BLUEs wurde eine hohe Erblichkeit für das Merkmal Parzellentemperatur beobachtet. Die beobachteten Korrelationen zwischen den genotypischen BLUEs der Parzellentemperatur und dem Biomasseertrag sind hoch und deutlich enger als die berechneten Korrelationen auf Basis der Rohdaten. Aufgrund des gewählten gemischten Modells zur Berechnung der BLUEs mit Berücksichtigung der Messfahrt (S) und der Überfahrt (F) werden auch nach Aufnahme der Kovariablen Lichtintensität und Umgebungstemperatur die beobachteten Korrelationen nicht enger (Daten nicht gezeigt). Die Umweltvariation aufgrund der wechselhaften Wetterbedingungen wird also bereits durch die zufälligen Effekte (S) und (F) hinreichend korrigiert. Die Korrelation zwischen den BLUEs für Parzellentemperatur und Kornertrag ist möglich.

Median der Parzellentemperatur					
	Kovariable	N (40 %)	N (70 %)	N (100 %)	N (130 %)
<i>Rohdaten</i>					
BM	-	-0,365***	-0,158	-0,747***	-0,677***
BM	T <sub>U</sub>	-0,457***	-0,265*	-0,793***	-0,690***
BM	E	-0,382***	-0,276*	-0,773***	-0,686***
BM	T <sub>U</sub> , E	-0,465***	-0,391**	-0,800***	-0,691***
<i>BLUEs</i>					
BM	-	-0,500*	-0,669***	-0,846***	-0,781***
K	-	-0,625***	-0,621***	-0,783***	-0,615**

Tab. 1: Korrelationen berechnet ohne (-) oder mit Kovariable (T<sub>U</sub>=Umgebungstemperatur, E = Einstrahlungsintensität) (i) basierend auf den Rohdaten der Versuchspartellen zwischen den Parzellentemperaturen in den vier Stickstoffdüngungsstufen (N 40 %, N 70 %, N 100 % und N 130 %) und dem Gesamtpflanzenbiomasseertrag und (ii) basierend auf den BLUEs der 25 Wintertriticalegenotypen zwischen den Parzellentemperaturen und den Merkmalen Gesamtpflanzenbiomasseertrag (BM) oder Kornertrag (K). \*, \*\*, \*\*\* signifikant bei P < 0,05, 0,01, 0,001.

Die Korrelationen zwischen Parzellentemperatur und den beiden Ertragsparametern waren tendenziell mit dem Median und den 40 % bzw. 60 % Quantilen in allen Stickstoffdüngungsstufen am engsten. Die übrigen berechneten Quantile wie auch die Ährentemperaturen ergaben niedrigere Korrelationen.

## 4 Schlussfolgerungen

Die beobachteten Korrelationen in diesem Entwicklungsstadium der Getreideart Triticale zwischen Parzellentemperatur und Biomasse- bzw. Kornertrag sind sehr vielversprechend und könnten als Hilfsmerkmal in der Pflanzenzüchtung für die Selektion von Genotypen mit höheren Erträgen (Biomasse bzw. Korn) verwendet werden. Jedoch muss in weiteren Experimenten untersucht werden, welche Entwicklungsstadien die besten Korrelationen zu den Zielmerkmalen zeigen. Falls die Parzellentemperatur nur mit einem gewissen zeitlichen Aufwand erfasst werden kann und währenddessen die Umweltbedingungen variabel sind, dann sollte dies im statistischen Modell mit Kovariablen berücksichtigt werden, um die Daten bestmöglich auszuwerten.

**Danksagung:** Das Forschungsprojekt SENSELGO (FKZ 22008216 und 22024515) wird vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL), der Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) und der Gemeinschaft zur Förderung von Pflanzeninnovationen e.V. (GFPi) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages finanziell gefördert.

### Literaturverzeichnis

- [Ch19] Cherednyk I. et. al.: LiDAR- und Lichtschattensensor-basierte Sensordaten-fusion zur feldbasierten Phänotypisierung von Getreide. In GI Edition Proceedings Band 287 Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft. 39. GIL-Jahrestagung 18.-19. Februar 2019 Wien, Österreich, S. 37-42, ISBN: 978-3-88579-681-7.
- [Gu16] Guo J. et. al.: Field Crops Research: Evaluation of the grain yield and nitrogen nutrient status of wheat (*Triticum aestivum* L.) using thermal imaging, *Field Crops Research* 196 (2016) 463-472, 2016.
- [Mö16] Möller, K. et. al.: Feldtaugliche Multisensorplattform für High-Throughput Getreidephänotypisierung – Aufbau und Datenhandling, Referate der 36. GIL-Jahrestagung, S. 137-140, ISBN 978-3-88579-647-3.
- [Ru14] Ruckelshausen, A.: Neue Sensorentwicklungen – ein technischer Blick auf Pflanzen, Sensoren und Daten. In *Journal für Kulturpflanzen*, 66(2), Stuttgart, S. 73-79, 2014.