

## 9 Sensorgestützte Beregnungssteuerung – ein Blick in die angewandte Forschung

Jano Anter, Martin Kraft und Dr. Tina Langkamp-Wedde  
Thünen-Institut für Agrartechnologie

### 9.1 Einleitung

Nordost-Niedersachsen ist das ackerbaulich intensivste Bewässerungsgebiet in Deutschland. Über Jahrzehnte haben Landwirte, Beratung und Firmen umfangreiches Wissen aufgebaut und nutzen dieses insbesondere zur Produktion von Kartoffeln und Zuckerrüben. Die Bedeutung der Bewässerung nimmt durch den Klimawandel in Deutschland und weltweit zu. Wasserverfügbarkeit und Bewässerung sind zentrale globale Zukunftsthemen. Ohne Bewässerung ist Pflanzenbau in vielen Teilen der Welt nicht denkbar. Dabei treten zunehmend Nutzungskonkurrenzen um die Ressource Wasser in den Vordergrund und erfordern neue, innovative Anpassungen im Sinne einer nachhaltigen Bewässerung.

Im Rahmen des EU-Förderprogramms EIP-Agri (Europäische Innovationspartnerschaft „Landwirtschaftliche Produktivität und Nachhaltigkeit“) wird das Innovationsprojekt „Sensorgestützte Beregnungssteuerung in Kartoffeln“ (SeBeK) von 2017 bis 2019 mit rund 780.000 € von der Europäischen Union und dem Land Niedersachsen gefördert. In dem Innovationsprojekt arbeiten die Ostfalia Hochschule in Suderburg, das Thünen-Institut in Braunschweig (Institut für Agrartechnologie), die Landwirtschaftskammer Niedersachsen in Uelzen, die Universität Göttingen und ein Uelzener Landwirt als sogenannte Operationelle Gruppe gemeinsam am Thema „Nachhaltige Bewässerung“.

Die entsprechende Fortentwicklung der bestehenden Bewässerungssysteme für Intensivkulturen wie Gemüse und Kartoffel ist Thema der Operationellen Gruppe „Nachhaltige Bewässerung“. Grundlegendes Ziel ist die Schonung der Ressource Wasser durch Entwicklung einer weltweit einsetzbaren und möglichst intuitiv bedienbaren Messtechnik zur Bestimmung der Bewässerungsbedürftigkeit und Steuerung der Bewässerungstechnik für die trockenstressempfindlichen Kulturarten Kartoffel, Zuckerrübe und Gemüse.

In dem Innovationsprojekt soll ein Sensor, für den das Thünen-Institut über erste Ergebnisse zum Einsatz in Winterweizen verfügt, für den Einsatz in Kartoffeln angepasst werden. Es handelt sich um eine berührungslose Messung der Bestandstemperatur, die zur Ableitung des Bewässerungsbedarfs als geeignet erscheint.

Es wird angestrebt, im Anschluss an das Projekt und aufbauend auf den gewonnenen Erfahrungen in der Zusammenarbeit zu einer Verstetigung der Arbeit zu gelangen. Hierzu ist die Gründung eines ‚Instituts für nachhaltige Bewässerung‘ am Standort Suderburg eine Option.

## 9.2 Motivation

Die Entscheidung über Zeitpunkte und Mengen der Bewässerung basiert heute überwiegend auf den eigenen Erfahrungen der Landwirte und agrarklimatischen Modellen und Vorhersagen (z. B. „agrowetter Beregnung“ des Deutschen Wetterdienstes; Hinweisdienst des Fachverbandes Feldberegnung). Für eine weitere Optimierung und die Berücksichtigung schlagspezifischer Daten stehen verschiedene EDV-gestützte Modelle zur Verfügung. Der Aufwand für Datenbeschaffung und -eingabe begrenzt die Anwendung in der Praxis. Während die Modelle eine gute Grundlage für die Bewässerungssteuerung liefern, besteht bei den kulturartspezifischen Feinheiten noch Optimierungsbedarf (Riedel, 2014).

Der Ansatz, den Bewässerungsbedarf anhand von Bodenfeuchtemessungen mit Bodenfeuchte-sensoren zu bestimmen, wird durch die erhebliche Streuung und Unsicherheit der punktuellen Bodenfeuchtemessungen erschwert. Zudem sind Bodenfeuchtesensoren kostenintensiv (Thörmann et al., 2014).

Mit den derzeit verfügbaren Hilfsmitteln verbleiben bei den Bewässerungsentscheidungen Unsicherheiten, die einen optimalen Einsatz der Feldbewässerung und eine optimale Nutzung des aus verschiedenen Wasserkörpern für die Bewässerung entnommenen Wassers erschweren.

Die für Nordost-Niedersachsen dargestellte Problemlage besteht in ähnlicher Form in allen Bewässerungsgebieten Deutschlands und weltweit. Die für Niedersachsen erarbeiteten Lösungsansätze leisten daher neben der Optimierung der landwirtschaftlichen Urproduktion in Nordost-Niedersachsen einen wichtigen Beitrag zur Lösung ähnlicher Problemlagen in anderen Regionen und bieten Wettbewerbschancen für niedersächsische Unternehmen.

## 9.3 Methode

Das Innovationsprojekt verfolgt einen neuartigen Ansatz zur Bestimmung des tatsächlichen Trockenstresses und Beregnungsbedarfs direkt an den Pflanzen durch Messung der Bestandstemperatur. Erste Messungen mit dieser Technik wurden an Winterweizen durchgeführt. Ausreichend mit Wasser versorgte Bestände weisen an sonnigen Sommertagen eine Evapotranspiration von mehr als 8 mm pro Tag auf. Die Verdunstung kühlt die Bestände so weit ab, dass die an der Oberfläche gemessene Bestandstemperatur trotz der intensiven Sonnenbestrahlung mehrere Kelvin unterhalb der Umgebungstemperatur gehalten werden kann (Stark und Wright, 1985, Stark et al., 1991, Erdem et al., 2006).

Bei unzureichendem Wasserangebot tritt eine Stresssituation ein, auf die die Pflanzen mit einer Reduzierung der Stomataweite reagieren, woraus eine verringerte Transpiration folgt. Damit reduziert sich die Verdunstungskühlung der Pflanzen, was zu einer höheren Bestandstemperatur führt. Bei ausreichend starkem Trockenstress und abhängig von der Wettersituation kann die

Blatttemperatur von Kartoffeln nach eigenen Messungen um mehr als 4 °C über der Temperatur der Umgebungsluft und um bis zu 8 °C über der Blatttemperatur optimal wasserversorgter Pflanzen liegen. Bei Weizen wurden noch höhere Temperaturdifferenzen beobachtet (Balota et al., 2007, Kraft et al., 2015).

Mit berührungslosen Infrarotthermometern oder Thermografiekameras lässt sich die Temperatur von Kartoffelbeständen einfach und zerstörungsfrei messen, wobei die gemessene Fläche anders als bei Bodenfeuchtemessungen beliebig skaliert werden kann, sodass lokale Streuungen kaum ins Gewicht fallen. Aus der Bestandstemperatur und den gleichzeitig vor Ort gemessenen Wetterdaten lässt sich der Crop Water Stress Index (CWSI) (Jackson et al., 1981, Jackson et al., 1988) berechnen. Nach der definierten Gleichung von Idso (1981) rangiert der CWSI theoretisch von 0 (ungestresst) bis 1 (maximaler Stress). Veröffentlichungen aus der Türkei lassen erwarten, dass sich der CWSI bei Kartoffeln als Indikator und Schwellenwert für Bewässerungsentscheidungen eignet (Erdem et al., 2005).

Im Projekt werden die Bestandstemperatur und der CWSI in mehreren Bewässerungsversuchen sowie auf Praxisflächen gemessen. Begleitend erfolgen Messungen des Bodenwassergehalts, des Pflanzenwachstums, des relativen Wassergehalts (RWC), des Blattwasserpotenzials ( $\Psi$ ) sowie Bildaufnahmen mit einer Farb- und einer Thermalkamera. Mit diesen Daten wird die Qualität der CWSI-Messung untersucht und das Messverfahren bewertet und optimiert. Aus dem (destruktiv zu bestimmenden) relativen Wassergehalt (RWC) und dem Potenzial ( $\Psi$ ) der Blätter lassen sich Rückschlüsse auf den Trockenstress der Kartoffeln ziehen (van Loon, 1981).

## 9.4 Projektdurchführung und -vorhaben

Bereits 2016 konnten mit einer bestehenden Messstation des Thünen-Instituts auf einer Praxisfläche in Niendorf II Voruntersuchungen durchgeführt werden. Erste Grundfragen der Anwendung, z. B. die optimale Ausrichtung bei Messungen in Kartoffelbeständen, konnten dadurch vorab bearbeitet werden. Im ersten Jahr des Innovationsprojekts (2017) wurden dann die bestehende Messstation überarbeitet und zusätzlich 2 neue Stationen gebaut.

In der Wachstumsphase der Kartoffeln 2017 konnte eine Station auf der Versuchsfläche in Hamerstorf und eine Station auf der Praxisfläche in Niendorf II aufgebaut werden (siehe Abbildung 9-1). Die zweite Messstation für Niendorf II konnte nicht rechtzeitig fertiggestellt werden und findet somit ihren Einsatz erst im zweiten Projektjahr.

Auf der Versuchsfläche in Hamerstorf werden zwei Bewässerungsstrategien (optimale und reduzierte Bewässerung) mit einer unberegneten Variante begleitend gemessen und verglichen. Vergleichskriterien sind neben der Erntemenge und -qualität auch die betriebswirtschaftliche Bewertung der Bewässerungsstrategien. Aus den gewonnenen Messdaten sollen Aussagen zur Bewässerungssteuerung abgeleitet werden.

Die Messungen auf der Praxisfläche in Niendorf II dienen zum einen der Prüfung der überarbeiteten Messtechnik im Praxiseinsatz. Zum anderen ist für den späteren Routineeinsatz ein Verfahren zu entwickeln, das für heterogene Ackerschläge mit geringem Kostenaufwand (möglichst nur ein Sensor) zu repräsentativen Messergebnissen gelangt. Der im Projekt beteiligte Landwirt bietet hier ausgezeichnete Voraussetzungen, da aus einem früheren Projekt bereits Schlag-Kenntnisse vorliegen. Vergleichend werden konventionelle Methoden der Bewässerungsbedarfsermittlung (klimatische Wasserbilanz, Bodenfeuchtemodellierung) schlagspezifisch angewandt.

**Abbildung 9-1:** Erweiterte Messtation in Niendorf 2017



Quelle: J. Anter (2017).

Im zweiten Projektjahr (2018) sollen die geschaffenen Grundlagen fortentwickelt und für den Praxiseinsatz vorbereitet werden. Die gewonnenen Daten sollen in ein Verfahren der automatisierten Datenverarbeitung übernommen und nutzbar gemacht werden. Die Ableitungen auf Basis der Sensormessung und der Aussagen nach konventionellen Methoden werden verglichen. Es wird geprüft, inwieweit die Sensormessungen zur Optimierung der Steuerungsempfehlungen nach konventionellen Methoden eingesetzt werden sollten oder als alleinige Information dienen können.

Im dritten Jahr (2019) erfolgt auf dem Praxisbetrieb eine vergleichende Bewertung der konventionellen Bewässerungssteuerung mit der durch den Sensoreinsatz optimierten Steuerung. Exakte Versuchsergebnisse hierzu werden auf dem Versuchsfeld ermittelt. Wirtschaftlichkeit und Akzeptanz des Verfahrens bei den Landwirten werden evaluiert. In Zusammenarbeit mit dem Praxisbetrieb wird die neue Messtechnik in den betrieblichen Ablauf integriert und getestet. Zum einen sind dabei die neu entwickelten Sensoren und Datenübertragungseinrichtungen – möglichst unter Nutzung der auf dem Betrieb vorhandenen Landtechnik – in ein auf Praxisflächen einsetzbares Messsystem zu integrieren. Hierbei sind sowohl mobile (z. B. Schlepper) als auch stationäre (z. B. Kreisregner) Systeme zu betrachten. Zum anderen müssen die regelmäßig durchzuführenden Messungen in den Arbeitsablauf der landwirtschaftlichen Praxis integriert werden. Dies ist nur in enger Kooperation zwischen Landwirtschaftsbetrieb und Wissenschaft möglich.

Parallel zu den praktischen Arbeiten werden die Ergebnisse während des Projekts in einer eigenen Tagung und drei Workshops diskutiert und in den nationalen und internationalen EIP-Kontext eingebracht. Darüber hinaus werden die Ergebnisse bei nationalen und internationalen Veranstaltungen vorgestellt. Feldführungen und Tagungen für Landwirte und Fachpublikum dienen der Verbreitung der Ergebnisse.

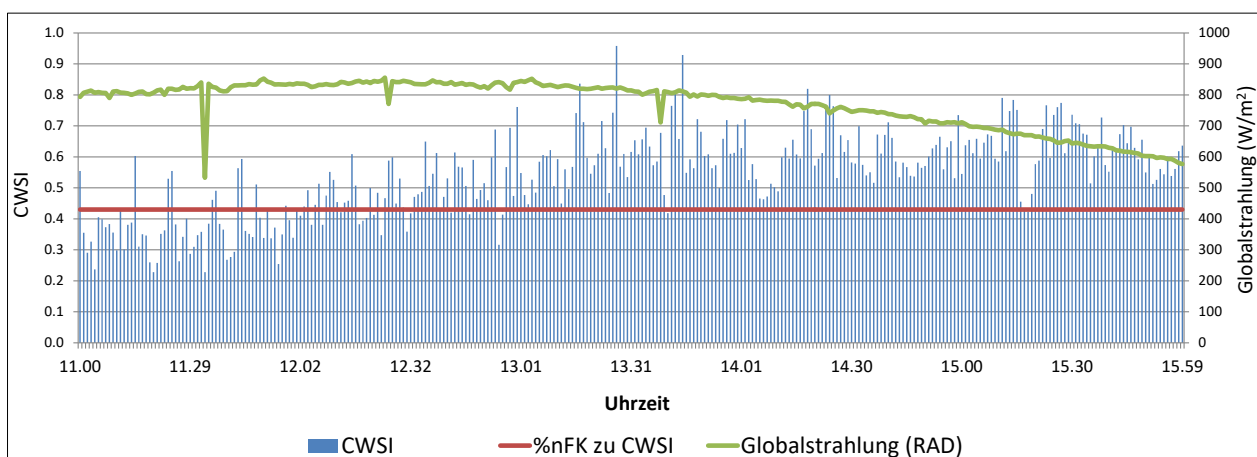
### Fünf Ergebnisse aus den Messungen 2016

Derzeit basieren die Bewässerungsentscheidungen auf den Praxisflächen überwiegend auf den Empfehlungen des Klimamodells „agrowetter Beregnung“. In den ersten Messungen und Berechnungen 2016 wurde u. a. geprüft, ob und inwieweit sich aus dem CWSI-Verlauf vergleichbare Bewässerungsentscheidungen ergeben hätten. Bei den aufgeführten Ergebnissen ist zu beachten, dass einzelne Parameter, wie zum Beispiel der Bedeckungswiderstand bei potenzieller Transpiration ( $r_{cp}$ ), für einen Winterweizenbestand berechnet wurden. Diese Parameter müssen für Kartoffelbestände angepasst werden.

Im Folgenden sind ausgewählte Messergebnisse wie der CWSI-Verlauf (blaue Balken), die Globalstrahlung (grüne Linie) und die aktuelle relative nutzbare Feldkapazität umgerechnet auf den CWSI-Wert (rote Linie) von drei verschiedenen Tagen zwischen 11:00 und 16:00 Uhr aufgeführt.

Die Abbildung 9-2 zeigt Messergebnisse eines gleichmäßig sonnigen Tagesabschnitts. Die Globalstrahlung erreicht in den Mittagsstunden um 13:00 Uhr ihre Höchstwerte von knapp über  $850 \text{ W/m}^2$ . Die relative nutzbare Feldkapazität ist vom Deutschen Wetterdienst für diesen Tag mit 57 % berechnet worden. Um die nutzbare Feldkapazität mit dem CWSI zu vergleichen, wurde in den Abbildungen 9-2 bis 9-4 die relative Zahl der prozentualen nutzbaren Feldkapazität zur Umkehrung der Skalierung von 1 abgezogen (0,43). Die minutlichen CWSI-Werte schwanken von 0,23 bis 0,96 und liegen im Mittel bei 0,54. Nach der vereinfachten Annahme ist somit der mittlere CWSI in der Zeit von 11:00 bis 15:59 Uhr leicht überschätzt.

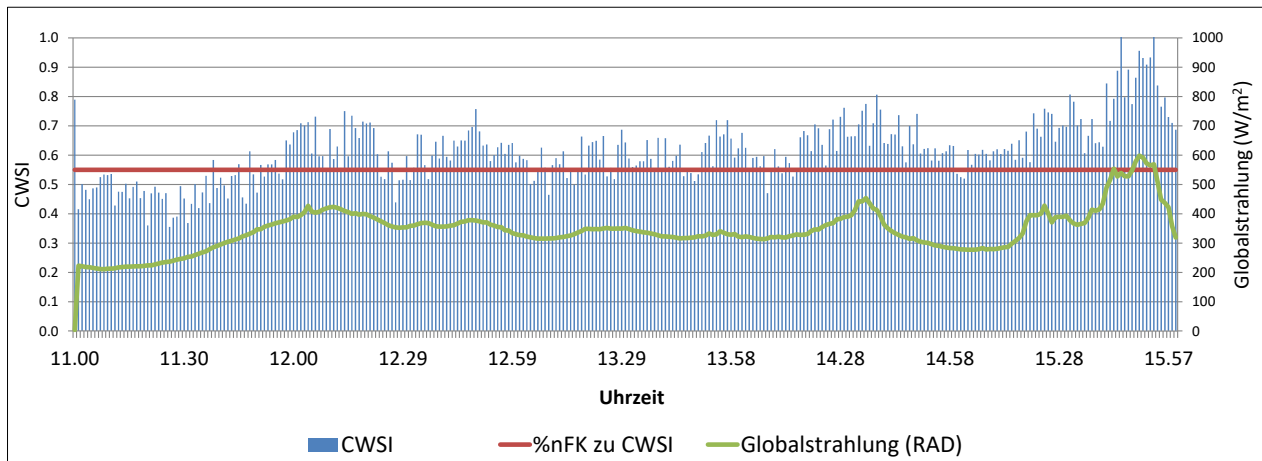
**Abbildung 9-2:** CWSI-Verlauf und Globalstrahlung am 20.07.2016



Quelle: Eigene Darstellung.

In Abbildung 9-3 ist ein gleichmäßig bewölkter Tagesabschnitt dargestellt. Die Globalstrahlung schwankt zwischen 200-600 W/m<sup>2</sup>. Die nutzbare Feldkapazität liegt bei 45 %. Umgerechnet auf den CWSI ergibt das einen Wert von 0,55. Die CWSI-Werte schwanken in der Zeit von 11:00 bis 15:59 Uhr zwischen 0,35 und 1,02. Der durchschnittliche CWSI-Wert in dieser Messperiode ist mit 0,61 auch leicht überschätzt.

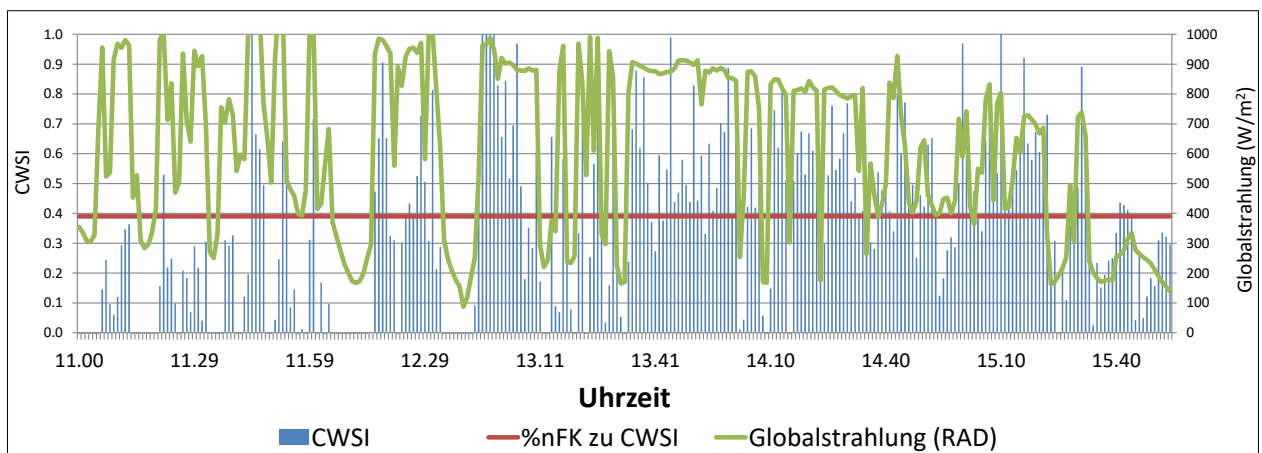
**Abbildung 9-3:** CWSI-Verlauf und Globalstrahlung am 23.07.2016



Quelle: Eigene Darstellung.

In Abbildung 9-4 ist mit dem 29.07.2016 ein sehr abwechselnd bewölkter Tag aufgeführt. Die Globalstrahlung schwankt sehr häufig von unter 300 W/m<sup>2</sup> bis über 1000 W/m<sup>2</sup>. Die nutzbare Feldkapazität an diesem Tag (61 %) umgerechnet auf den CWSI beträgt 0,39. Die CWSI-Werte schwanken zwischen 11:00 bis 15:59 Uhr sehr häufig und stark von -0,69 bis 1,25. Im Mittel liegt der CWSI bei 0,32 und ist somit leicht unterschätzt.

**Abbildung 9-4:** CWSI-Verlauf und Globalstrahlung am 29.07.2016



Quelle: Eigene Darstellung.

Die aufgeführten Ergebnisse sind auf Grundlage vorläufiger Berechnungen eines für Winterweizen vorliegenden CWSI-Modells des Thünen-Instituts ermittelt worden. Die ersten Berechnungen zeigen zum einen, dass das CWSI-Modell an Tagen mit gleichmäßiger Wolkenbedeckung (wolkenlos oder bedeckt) Ergebnisse produziert, die im näheren Bereich der übertragenden prozentualen nutzbaren Feldkapazität liegen, und zum anderen, dass das CWSI-Modell an Tagen mit abwechselnder Wolkenbedeckung stark schwankende CWSI-Werte produziert.

## 9.5 Fazit und Ausblick

Durch die bestehende Messtechnik am Thünen-Institut konnten schon im Jahr 2016 erste Messungen in Kartoffeln auf dem Praxisbetrieb in Niendorf durchgeführt werden. Grundfragen der Anwendung, wie zum Beispiel die Ausrichtung, Anzahl und Höhe der Sensoren, konnten somit vor dem offiziellen Projektbeginn bearbeitet werden. Der CWSI konnte aus den gemessenen Daten jedoch nicht zuverlässig bestimmt werden, da noch mehrere in der CWSI-Formel für Winterweizen verwendete empirische Parameter auf die aerodynamischen und mikroklimatischen Randbedingungen von Kartoffelbeständen angepasst werden müssen. Um eine möglichst genaue Annäherung dieser Parameter sicherzustellen, wurden hierfür 2017 zusätzliche Messtechniken in Form einer Eddy-Kovarianz-Station, einem 2 m und 10 m Windmessmast und mehreren Bodenwärmestromplatten und Bodentemperaturfühlern in die Messungen auf einem Schlag in Niendorf II integriert. Zudem wurden die bestehenden Messstationen überarbeitet und mit neuen Infrarotsensoren bestückt.

Sehr enttäuschend waren in der Messperiode 2017 die Wetterbedingungen. Durch die ständigen und ergiebigen Niederschläge in der gesamten Wachstumsphase der Kartoffeln gab es keine längere Trockenphase und somit auch keinen Bewässerungsbedarf. Positiv ist aber, dass die neu entwickelten Messstationen auf ihren Einsatz erfolgreich geprüft werden konnten.

Im weiteren Verlauf des „SeBeK“-Projekts sind u. a. folgende Arbeitsschritte geplant:

- Messungen in 2018, um das CWSI-Modell und deren Parameter an Kartoffelbestände weiter anzupassen.
- Prüfung und Vergleich der daraus entstehenden Bewässerungsentscheidungen.
- Bei erfolgreicher Prüfung erfolgt die Implementierung des CWSI-Modells in den Praxisbetrieb für 2019.
- Anschließende Prüfung der neu eingesetzten Bewässerungssteuerung auf Wirtschaftlichkeit, Wassernutzungseffizienz, Auswirkungen auf Erntequalität und Wassereinsparungspotenziale.

Die Analyse der Messungen von 2016 zeigen, dass die Übertragung des CWSI-Modells von ariden auf humide Wetterbedingungen zwar möglich ist, jedoch weiteren Forschungsbedarf aufdeckt

und speziell an Tagen mit wechselnder Wolkenbedeckung eine differenzierte Auswertung notwendig macht.

## Literatur

- Balota M, Payne WA, Evett SR, Lazar MB (2007) Canopy Temperature Depression Sampling to Assess Grain Yield and Genotypic Differentiation in Winter Wheat, *Crop Science* 47, 1518-1529
- Erdem T, Orta AH, Erdem Y, Okursoy H (2005) Crop water stress index for potato under furrow and drip irrigation systems. *Potato Research* 48, 49-58
- Erdem Y, Erdem T, Orta AH, Okursoy H (2006) Canopy-air temperature differential for potato under different irrigation regimes, *Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil and Plant Sciences* 56, 206-216
- Idso S B, Jackson R D, Pinter P J, Reginato R J, Hatfield J L (1981) Normalizing the stress-degree day parameter for environmental variability, *Agricultural Meteorology* 24 45-55
- Jackson R D, Idso S B, Reginato R J, Pinter Jr P J (1981) Canopy temperature as a Crop Water Stress Indicator. *Water Resources Research* 17(4), 1133-1138
- Jackson R D, Kustas W P, Choudhury B J (1988) A Reexamination of the Crop Water Stress Index, *Irrigation Science* 9, 309-317
- Kraft M, Neeland H, Riedel A (2015) Vergleichende Ertragsvorhersage von Winterweizen- und Wintergerstentensorten bei Trockenstress durch Messung der Bestandstemperatur, 21. Workshop Computer-Bildanalyse in der Landwirtschaft und 3. Workshop Unbemannte autonom fliegende Systeme (UAS) in der Landwirtschaft, 7. Mai 2015, Braunschweig. *Bornimer Agrartechnische Berichte* 88, 113-123
- Riedel A (2014) Berechnungssteuerung in: Grocholl J, Anter J, Asendorf R, Feistkorn D, Mensching-Buhr A, Nolting K, Riedel A, Schossow R, Thörmann H-H, Urban B (2014): Wasser sparen im Ackerbau, *Landwirtschaft im Klimawandel: Wege zur Anpassung – Forschungsergebnisse zu Anpassungsstrategien der Landwirtschaft in der Metropolregion Hamburg an den Klimawandel*, Teil 4, Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Bezirksstelle Uelzen, S. 86-100
- Stark J C, Wright J L (1985) Relationship between foliage temperature and water stress in potatoes. *Am. J. Potato Research* 62(2), 57-68
- Stark J C, Pavek J J, McCann iR (1991) Using Canopy Temperature Measurements to Evaluate Drought Tolerance of Potato Genotypes, *J Amer Soc Hot Sci* 116(3), 412-415
- Van Loon C D (1981) The effect of water stress on potato growth, development and yield. *American Potato Journal*, January 1981, Volume 58, Issue 1, pp 51-69



## **Bewässerung in der Landwirtschaft**

**Tagungsband zur Fachtagung am 11./12.09.2017  
in Suderburg**

Sonja Schimmelpfennig, Jano Anter, Claudia Heidecke, Stefan Lange  
Klaus Röttcher, Florian Bittner (Hrsg.)

**Thünen Working Paper 85**