

# Berührungslose Temperaturmessungen im Versuchsfeld „Aquarius 2010 Winterweizen“ zur Abschätzung des Trockenstresses

Ergebnisse präliminarer Messungen im Versuchsfeld „Aquarius 2010 Winterweizen“ der Landwirtschaftskammer Hannover in Hamerstorf

Dipl.-Inform. Martin Kraft

Institutsbericht 2010

## Zusammenfassung

*In einem Bewässerungsversuch mit 3 Bewässerungsstufen und 8 Winterweizensorten wurden zu zwei Terminen die Bestandstemperaturen mit Hilfe eines preiswerten tragbaren Infrarotthermometers gemessen. Die optimal bewässerten Bestände waren am 17.6.2010 um 3,5°C und am 29.6.2010 um 6,3°C kälter als die Bestände ohne Beregnung. Auch zwischen den verschiedenen Sorten waren tendenzielle Temperaturunterschiede erkennbar.*

## Einleitung

In Deutschland werden ca. 560.000 ha landwirtschaftliche Nutzfläche bewässert, wobei der Anteil beregneter Flächen steigt bei gleichzeitigem Rückgang der landwirtschaftlich genutzten Flächen (Hennies, 2010). Die Verfügbarkeit von Wasser zu Bewässerungszwecken ist durch das Wasserhaushaltsgesetz (WHG vom 31. Juli 2009) regional teilweise eingeschränkt. In vielen Bundesländern müssen die Landwirte für die Wasserentnahme zu Bewässerungszwecken eine Gebühr entrichten. In Niedersachsen beispielsweise sind es 0,511 Eurocent je m<sup>3</sup> (Niedersächsisches Wassergesetz vom 19. Februar 2010). Den größten mengenabhängigen Kostenanteil der Bewässerung stellen für den Landwirt allerdings die Energiekosten dar; diese liegen nach Berechnungen der Landwirtschaftskammer Niedersachsen bei ca. 11 bis 19 Eurocent je m<sup>3</sup> (Fricke, 2006).

Der Landwirtschaft müssen deshalb sparsame und effiziente Techniken und Lösungen für die Bewässerungssteuerung an die Hand gegeben werden. Bei der Entscheidung über Bewässerungstermine und -mengen spielt der tatsächliche Wasserbedarf der Kulturen eine wesentliche Rolle. Zur Ermittlung des Wasserbedarfs können Modelle eingesetzt werden, welche auf den Wetterdaten und Bodendaten beruhen (z.B. „Agrowetter“ des Deutschen Wetterdienstes). Daneben kann die im Boden enthaltene pflanzenverfügbare Wassermenge mittels Bodenfeuchtesensoren gemessen werden (Walker et al., 2004).

Bisher gibt es nur wenige Möglichkeiten und Instrumente, um den Wasserbedarf direkt an den Pflanzen zu messen. Ein mögliches Messinstrument ist die am Markt erhältliche Scholanderbombe, mit der das Wasserpotenzial der Pflanzen an den Stängeln abgeschnittener Blätter gemessen werden kann. Eine Variation stellt das Pump-Up-Gerät dar, bei dem der erforderliche Druck durch eine Handpumpe erzeugt wird. Der Einsatz dieser Geräte wurde u.a. von Porten et al. (2007) für den Weinbau und von Paschold und Kleber (2007) für Spargel beschrieben. Diese Geräte werden jedoch in der Praxis nicht in nennenswertem Maße eingesetzt.

Alternativ zur Blattwasserpotenzialmessung mit der Scholanderbombe wird nach Möglichkeiten gesucht, den Wasserstatus der Pflanzen berührungslos online und vollautomatisch zu ermitteln. Ein Ansatz ergibt sich aus der Tatsache, dass gesunde Pflanzen bei hoher Sonneneinstrahlung und hohen Temperaturen eine aktive Temperaturregulation durch die Verdunstung von Wasser betreiben. Stehen die Pflanzen unter Trockenstress, so wird Wasser nur in reduziertem Maße oder gar nicht abgegeben, weshalb — bedingt durch die fehlende Verdunstungskühlung — die Blatttemperatur höher ist als bei ausreichend wasserversorgten Pflanzen. Zur berührungslosen Messung der Oberflächentemperatur eines Pflanzenbestands eignen sich Infrarotthermometer (Fuchs und Tanner, 1966), welche preiswert am Markt verfügbar sind. Zwischen der Oberflächentemperatur ausreichend versorgter und stark gestresster Bestände wurden bei gleichen Wetterbedingungen Temperaturunterschiede von mehreren Grad Celsius gemessen (Fuchs, 1990; Irmak et al., 2000; Balota et al., 2007; Kraft et al., 2010a).

In diesem Bericht wird über Versuchsmessungen im Jahr 2010 berichtet, welche in einem Beregnungsversuch der Landwirtschaftskammer Hannover im Rahmen des EU-Verbundprojekts „Aquarius – Dem Wasser kluge Wege ebnen!“ durchgeführt wurden. Die Temperaturmessungen erfolgten nach einer kurzfristig getroffenen Kooperationsabsprache. Es stand deshalb nur eine improvisierte und eingeschränkt aussagekräftige Messtechnik zur Verfügung. Die Messungen hatten ausdrücklich einen präliminaren Charakter im Hinblick eine zukünftige Ausweitung der wissenschaftlichen Zusammenarbeit zwischen der Landwirtschaftskammer (LWK) und dem Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI).

## Versuchsanlage

Der Versuch war auf dem Versuchsfeld der LWK in Hamerstorf (bei Uelzen) mit 8 Winterweizensorten (s. Tabelle 4) angelegt. Zusätzlich zum natürlichen Niederschlag erfolgte eine bedarfsabhängige Beregnung mit einer mobilen Beregnungsmaschine mit Düsenwagen, wobei drei Bewässerungsstufen eingerichtet waren: Eine Stufe ohne Beregnung, eine Stufe mit reduzierter und eine Stufe mit optimaler Wasserversorgung.

Die Beregnungssteuerung erfolgte anhand von Bodenfeuchtemessungen. Hierzu wurden in der reduziert und in der optimal wasserversorgten Variante wöchentlich an je zwei Stellen in zwei Tiefen (0-30 cm und 31-60 cm) mit dem Bohrstock Proben entnommen und der Bodenwassergehalt durch Wiegen und Trocknung bestimmt. Unter Einbeziehung der Lagerungsdichte wurde der volumetrische Wassergehalt und die nutzbare Feldkapazität (% nFK) bestimmt.

Tabelle 1: Beregnungen bis 29. Juni 2010.

| <b>Datum</b> | <b>optimal</b> | <b>reduziert</b> |
|--------------|----------------|------------------|
| 08. Juni     | 32 mm          |                  |
| 14. Juni     |                | 27 mm            |
| 18. Juni     | 27 mm          |                  |
| 25. Juni     | 27 mm          |                  |

Die bis zum letzten Messtermin erfolgten Beregnungen sind in Tabelle 1 dargestellt. Die Beregnung der reduzierten und der optimalen Bewässerungsstufe erfolgte an unterschiedlichen Tagen. Natürliche Regenereignisse traten im Juni vom 7. bis 12. Juni (23,0 mm) sowie am 19. und 20. Juni (5,6 mm) auf. Die für die Messtermine relevanten gemessenen Bodenfeuchtwerte sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Tabelle 2: Bodenfeuchte in % nFK (nutzbare Feldkapazität) in 0-60 cm Bodentiefe in der optimal und der reduziert bewässerten Variante.

| Datum    | optimal | reduziert |
|----------|---------|-----------|
| 14. Juni | 80      | 33        |
| 21. Juni | 72      | 52        |
| 28. Juni | 65      | 32        |

### Messung der Bestandstemperatur und der Temperaturdifferenz DTIR

Bedingt durch die Versuchsanlage konnten die Parzellen nicht mit dem vorhandenen Mehrsensormesskopf des Instituts für Agrartechnologie und Biosystemtechnik gemessen werden. Stattdessen wurde kurzfristig ein kleines tragbares Mini-Infrarotthermometer des Typs Testo 805 beschafft. Es hat einen Öffnungswinkel von 1:1, das heißt, der Durchmesser der gemessenen Fläche ist gleich der Entfernung zwischen Thermometer und der Fläche. Die Temperatur wird in Schritten von 0,1°C angezeigt. Laut Hersteller beträgt die Genauigkeit (im hier relevanten Temperaturbereich) 1°C. Das Thermometer hat keine Logging-Funktion, so dass die Messwerte abgelesen und von Hand protokolliert werden mussten.

Bei der Temperaturmessung mit dem Infrarotthermometer wird die Durchschnittstemperatur der vom Thermometer erfassten Messfläche gemessen. Im Fall der Weizenbestände gehen also die Oberflächentemperaturen der Pflanzenteile (Ähren, Blätter, Stängel) entsprechend dem Anteil ihres Bedeckungsgrads sowie die nicht bedeckte Bodenoberfläche entsprechend ihrem Anteil ein. Der Anteil sichtbaren Bodens ist bei jungen Pflanzen, bei gestressten Pflanzen und bei vertikaler Messrichtung besonders hoch, so dass besonders in diesen Fällen die Temperatur der Bodenoberfläche mit einem entsprechenden Gewicht in das gesamte Temperatursignal eingeht. Das Infrarotthermometer misst nicht die Temperatur der Luft im Bestand. Für die Umrechnung der Infrarotsignale in Temperaturwerte ist bei dem Thermometer Testo 805 ein fester Emissionsgrad von 0,95 eingestellt. Bisher liegen für die Infrarottemperaturmessung von Pflanzenteilen nur wenige Informationen über den richtigen Emissionsgrad vor. Fuchs und Tanner (1966) ermittelten für Luzerne und Sudangras einen Emissionsgrad von 0,977 bzw. 0,976. Der in dem Thermometer fest eingestellte Emissionsgrad von 0,95 eignet sich nur für eine erste Näherung und wurde für die Messungen in diesem Experiment beibehalten. Für genauere Temperaturangaben muss eine Umrechnung der Temperaturwerte mit einem möglichst zutreffenden Emissionsgrad erfolgen.

In jeder Parzelle erfolgten drei Temperaturmessungen. Bei den beiden ersten Messungen wurde das Thermometer schräg mit einer Neigung von ca. 45° einmal vom östlichen Rand und einmal vom westlichen Rand der Parzellen in einem Abstand von ca. 75 cm auf den Bestand gerichtet; eine dritte Messung erfolge am westlichen Ende der Parzelle vertikal aus ca. 75 cm über dem Bestand. Der Temperaturwert jeder Parzelle wurde als Mittelwert aus den drei Messungen berechnet.

Zur Bildung der Temperaturdifferenz (Bestandstemperatur – Lufttemperatur) musste gleichzeitig auch die Temperatur der Umgebungsluft gemessen werden. Ein kontinuierlich messendes und loggendes System stand nicht zur Verfügung. Stattdessen wurde die Lufttemperatur vor Beginn und nach Abschluss des Messdurchgangs sowie beim zweiten Termin auch mehrfach während des Messdurchgangs mit einem Assmann-Psychrometer gemessen. Daraus wurde die Lufttemperatur für die Messzeitpunkte der einzelnen Parzellen grob interpoliert. Es ist offensichtlich, dass die so bestimmten Lufttemperaturwerte nur eine grobe Schätzung darstellen.

Die Messungen erfolgten am 17. und am 29. Juni bei jeweils sonnigem und weitgehend wolkenfreiem Wetter; es herrschte geringer Wind mit einzelnen Böen. Laut Psychrometermessungen betrug

die Lufttemperatur am 17. Juni im Mittel  $24,4^{\circ}\text{C}$  und die relative Luftfeuchte 40%. Am 29. Juni betrug die Temperatur im Mittel  $30,1^{\circ}\text{C}$  und die Luftfeuchte ca. 45%. Am 17. Juni erfolgten die Messungen in der Zeit von 12:40 Uhr bis 14:00 Uhr, am 29. Juni von 11:15 Uhr bis 12:40 Uhr (jeweils MESZ),

Die Temperaturdifferenz DTIR wurde als Differenz der mit dem Infrarotthermometer gemessenen Bestandstemperatur TIR und der aus den Psychrometermessungen interpolierten Lufttemperatur  $T_{\text{Luft}}$  berechnet:

$$DTIR = TIR - T_{\text{Luft}}.$$

## Ergebnisse

Die Bestände mit optimaler Bewässerung waren am 17. Juni im Durchschnitt um  $3,5^{\circ}\text{C}$  und am 29. Juni um  $6,3^{\circ}\text{C}$  kälter als die Bestände ohne Beregnung (Tabelle 3). Die nicht beregneten Bestände waren am 17. Juni im Mittel um  $1,0^{\circ}\text{C}$  kälter als die Umgebungsluft, während sie am 29. Juni um  $0,5^{\circ}\text{C}$  wärmer als die Umgebungsluft waren. Die Parzellen mit reduzierter Bewässerung waren am 17. Juni geringfügig kälter als die optimal bewässerten, während sie am 29. Juni keine Temperaturdifferenz zur Umgebungsluft aufwiesen und fast so warm wie die unbewässerten Parzellen waren.

Tabelle 3: Temperaturdifferenz DTIR (Bestandstemperatur minus Lufttemperatur) von Winterweizenbeständen bei drei unterschiedlichen Beregnungsregimes.

| Beregnungsstufe | DTIR<br>17. Juni 2010  | DTIR<br>29. Juni 2010     |
|-----------------|------------------------|---------------------------|
| Ohne            | $-1,0^{\circ}\text{C}$ | $+0,5^{\circ}\text{C}$    |
| Reduziert       | $-4,8^{\circ}\text{C}$ | $\pm 0,0^{\circ}\text{C}$ |
| Optimal         | $-4,5^{\circ}\text{C}$ | $-5,8^{\circ}\text{C}$    |

In Tabelle 4 sind die Temperaturwerte für die einzelnen Sorten dargestellt. In der Versuchsanlage gab es für jede Kombination von Sorte und Beregnungsstufe 4 Wiederholungen.

## Diskussion

Bei der Interpretation aller Ergebnisse muss berücksichtigt werden, dass die in diesem Experiment durchgeführten Temperaturmessungen gewisse Ungenauigkeiten haben, so dass sowohl die absoluten Werte als auch Differenzen von wenigen Zehntel Grad nur unter Vorbehalt interpretiert werden können.

Die Temperatur der unberegneten Bestände lag im Mittel am 17. Juni um  $1,0^{\circ}\text{C}$  niedriger und am 29. Juni um  $0,5^{\circ}\text{C}$  höher als die Lufttemperatur. Als Ursache für die höhere Temperatur am zweiten Termin kommen sowohl eine erhöhte Stresssituation als auch die höhere Lufttemperatur in Frage. Es gibt bisher keine gesicherten Erkenntnisse, wonach sich aus den beiden Temperaturwerten eine Aussage über unterschiedliche Stresssituationen ableiten ließe.

Die Temperatur der optimal beregneten Bestände lag im Mittel am 17. Juni um  $4,5^{\circ}\text{C}$  und am 29. Juni um  $5,8^{\circ}\text{C}$  niedriger als die Lufttemperatur. Diese Werte lassen eine nennenswerte Abkühlung infolge Verdunstung erkennen und deuten eine gute Wasserversorgung an. Die höhere Temperaturdifferenz am zweiten Termin kann mehrere Ursachen haben. Eine höhere Wasserverfügbarkeit am zweiten Termin lässt sich aus den Bodenfeuchtemessungen nicht ablesen aber auch nicht definitiv ausschließen. Auch die höhere Lufttemperatur und eine eventuell zugenommene Höhe der Bestände können zu der höheren Temperaturdifferenz am zweiten Termin geführt haben.

Tabelle 4: Temperaturdifferenz DTIR (Bestandstemperatur minus Lufttemperatur) von Beständen mit 8 verschiedenen Winterweizensorten bei drei unterschiedlichen Beregnungsregimes. Die Spalten sind jeweils nach der Temperaturdifferenz sortiert – beginnend mit der Sorte mit der niedrigsten Bestandstemperatur.

| Beregnungsstufe | DTIR 17. Juni 2010 |        | DTIR 29. Juni 2010 |        |
|-----------------|--------------------|--------|--------------------|--------|
|                 | Ohne               | Diskus | -1,6°C             | Diskus |
| Hermann         |                    | -1,3°C | Hermann            | +0,1°C |
| Mulan           |                    | -1,3°C | Mulan              | +0,1°C |
| Julius          |                    | -1,1°C | Jenga              | +0,4°C |
| JB Asano        |                    | -1,0°C | Julius             | +0,6°C |
| Jenga           |                    | -0,8°C | JB Asano           | +0,7°C |
| Tabasco         |                    | -0,4°C | Tabasco            | +1,3°C |
| Hystar          |                    | -0,3°C | Hystar             | +1,3°C |
| Reduziert       | Tabasco            | -5,1°C | Hermann            | -0,5°C |
|                 | Julius             | -5,0°C | Mulan              | -0,4°C |
|                 | Diskus             | -4,9°C | Julius             | -0,2°C |
|                 | Hermann            | -4,9°C | JB Asano           | ±0,0°C |
|                 | Jenga              | -4,7°C | Jenga              | +0,1°C |
|                 | Hystar             | -4,6°C | Diskus             | +0,1°C |
|                 | JB Asano           | -4,6°C | Hystar             | +0,3°C |
|                 | Mulan              | -4,5°C | Tabasco            | +0,5°C |
| Optimal         | Hermann            | -5,0°C | Jenga              | -6,4°C |
|                 | JB Asano           | -4,5°C | Hermann            | -6,1°C |
|                 | Julius             | -4,5°C | Julius             | -5,9°C |
|                 | Jenga              | -4,5°C | JB Asano           | -5,8°C |
|                 | Tabasco            | -4,4°C | Tabasco            | -5,7°C |
|                 | Diskus             | -4,4°C | Diskus             | -5,7°C |
|                 | Mulan              | -4,3°C | Hystar             | -5,4°C |
|                 | Hystar             | -4,3°C | Mulan              | -5,4°C |

Auffällig ist das Temperaturverhalten der reduziert berechneten Bestände. Diese weisen am 17. Juni mit -4,8°C eine Durchschnittstemperatur auf, die sogar noch geringfügig unter der Temperatur der optimal berechneten Bestände liegt. Dagegen entspricht die Temperatur der reduziert berechneten Bestände am 29. Juni im Mittel genau der Lufttemperatur und damit fast der Temperatur der nicht berechneten Bestände. Bei beiden Terminen müssen die vorausgegangenen Beregnungstermine berücksichtigt werden: Beim ersten Messtermin lag die letzte Beregnung der reduzierten Variante nur 3

Tage zurück, während die letzte Beregnung der optimalen Variante bereits 9 Tage zurück lag. Hier ist es nicht unwahrscheinlich, dass beim Messtermin die reduzierte Variante über eine ähnlich hohe Bodenfeuchte verfügte wie die optimale Variante. (Für diesen Termin stehen keine gemessenen Bodenfeuchtwerte zur Verfügung.) Anders beim zweiten Messtermin: am 29. Juni lag die letzte Beregnung der reduzierten Variante bereits 15 Tage zurück, während die optimale Variante zuletzt 4 Tage vorher beregnet wurde. Für die reduzierte Variante wurde am 28. Juni eine Bodenfeuchte von nur 32% nFK gemessen, während der optimalen Variante 65% nFK zur Verfügung standen. Die gemessenen Temperaturdifferenzen zeichnen die unterschiedlichen Bodenwassergehalte deutlich nach.

Eine Interpretation der Sortenunterschiede im Temperaturverhalten ist mit den hier gewonnenen Messergebnissen nicht möglich. Zusätzlich zu den allgemeinen Messunsicherheiten der in diesem Experiment eingesetzten Temperaturmesstechnik entstand eine weitere Unsicherheit durch die geringe Zahl von 4 Wiederholungen und die daraus folgende geringe gesamte Messfläche je Sorte und Behandlung. Die in Tabelle 4 dargestellten Temperaturunterschiede zwischen den Sorten erwiesen sich bei einer statistischen Überprüfung fast durchgängig als nicht signifikant.

Grundsätzlich wird aber erwartet, dass sich mit besserer Messtechnik und bei einer geeigneten Versuchsanlage signifikante Temperaturunterschiede zwischen einzelnen Sorten heraus stellen werden. So neigen zum Beispiel höher wachsende Sorten zu niedrigeren Bestandstemperaturen.

## **Zusammenfassung und Ausblick**

Trotz der verschiedenen Messunsicherheiten bei den Temperaturmessungen in diesem Experiment lassen die Ergebnisse nicht nur systematische Temperaturunterschiede zwischen den drei Beregnungsstufen sondern auch mindestens tendenzielle Unterschiede zwischen den acht Sorten erkennen. Solche Temperaturunterschiede in der Kombination der Versuchsparameter Beregnung und Sorte sind perspektivisch nicht nur für Anwendungen in der Beregnungssteuerung sondern auch in der Züchtung hoch interessant.

Im Rahmen der Kooperation zwischen der Landwirtschaftskammer Hannover und dem Johann Heinrich von Thünen-Institut sollten die Temperaturmessungen in gleichartigen Versuchen unbedingt fortgeführt und ggf. auch auf andere Arten ausgedehnt werden.

Im Messjahr 2010 konnte infolge der kurzfristigen Vorplanung nur eine spontane und beschränkt geeignete Temperaturmesstechnik eingesetzt werden. Für eine Fortsetzung der Kooperation in gleichartigen Versuchen muss die Messtechnik verbessert und erweitert werden. Es sollte die Möglichkeit zum Einsatz des Mehrsensormesskopfes geschaffen werden, so dass neben der Oberflächentemperatur der Bestände auch spektraloptische Eigenschaften gemessen werden können. Neben der Bestandstemperatur sollen in der weiteren Kooperation auch spektraloptisch gemessene Indizes wie der MSI (moisture stress index; Hunt und Rock, 1989), der CWSI (crop water stress index; vgl. Cremona et al., 2000; Moran et al., 1994) und der NDWI (normalized difference vegetation index; Gao, 1996) untersucht werden. Hierfür müssen die Bestände bis auf eine gewisse maximale Entfernung mit dem Fahrzeug erreicht werden können; evtl. muss ein spezielles Fahrzeug oder Trägersystem gebaut werden, welches genau zu der Versuchsanlage passt.

Die Messtechnik für die Lufttemperatur, die Luftfeuchtigkeit und die Windgeschwindigkeit muss verbessert bzw. ergänzt werden, so dass diese Referenzgrößen während der Messungen kontinuierlich erfasst und protokolliert werden können.

Zusätzlich müssen Bestandsparameter wie Bestandshöhe, Bestandsdichte und evtl. Blattstellung erfasst werden. Hierfür soll eine 3D-Entfernungskamera zum Einsatz kommen (Kraft et al., 2010b).

Ergänzend ist in Betracht zu ziehen, auch die Lufttemperatur in den Beständen zu messen. Ebenfalls ergänzend können Thermographiebilder für die Bewertung der Ursachen und Effekte hilfreich sein.

## Danksagung

Der Landwirtschaftskammer Hannover sei Dank gesagt für die Möglichkeit zur Durchführung der Messungen auf dem Versuchsfeld in Hamerstorf und für die freundliche und interessierte Zusammenarbeit. Persönlicher Dank gilt Frau Angela Riedel (LWK) und Herrn Dr. Heinz Sourell (vTI) für die vielen Gespräche und Hinweise, mit denen sie diese Untersuchung ermöglicht und konstruktiv begleitet haben, sowie für die kritischen Hinweise zum Manuskript dieses Berichts.

## Literatur

- Balota M, Payne WA, Evett SR, Peters TR** (2008) Morphological and Physiological Traits Associated with Canopy Temperature Depression in Three Closely Related Wheat Lines. *Crop Science*, 48, 1897-1910.
- Cremona MV, Wittich KP, Sourell H** (2000) The use of the crop water stress index in humid climates. Interner Bericht. Agrarmeteorologische Forschungsstelle Braunschweig, Deutscher Wetterdienst, und Institut für Betriebstechnik und Bauforschung, FAL Braunschweig, 18 Seiten.
- Fricke E** (2006) Energiekosten der Feldberegnung - was kostet Beregnung zur Zeit? Vortrag auf der Mitgliederversammlung des Fachverbands Feldberegnung am 7. Februar 2006, Fachverband Feldberegnung e.V. <http://www.fachverband-feldberegnung.de/pdf/KostenderBeregnung.pdf>
- Fuchs M, Tanner CB** (1966) Infrared Thermometry of Vegetation. *Agronomy Journal*, 58, 597-601.
- Fuchs M** (1990) Infrared Measurement of Canopy Temperature and Detection of Plant Water Stress. *Theor. Appl. Climatol.*, 42, 253-261.
- Gao BC** (1996) NDWI – A Normalized Difference Water Index for Remote Sensing of Vegetation Liquid Water from Space. *Remote Sensing of Environment*, 58, 257-266.
- Hennies G** (2010) Wasserwirtschaftliche Rahmenbedingungen / gesetzliche Vorgaben. Beitrag in: Feldberegnung IV, Rationalisierungskuratorium für Landwirtschaft, Hrsg. H. Sourell. In Vorbereitung.
- Hunt ER, Rock BN** (1989) Detection of Changes in Leaf Water Content Using Near- and Middle-Infrared Reflectances. *Remote Sensing of Environment*, 30, 43-54.
- Irmak S, Haman DZ, Bastug R** (2000) Determination of Crop Water Stress Index for Irrigation Timing and Yield Estimation of Corn. *Agronomy Journal*, 92, 1221-1227.
- Kraft M, Schittenhelm S, Wittich KP** (2010a) Erfahrungen mit berührungslosen Messverfahren für den Wasserversorgungszustand von Pflanzenbeständen. 16. Workshop Computer-Bildanalyse in der Landwirtschaft, 4. Mai 2010, Braunschweig. Bornimer Agrartechnische Berichte (in Druck).
- Kraft M, Freitas NR, Munack A** (2010b) Test of a 3D Time of Flight Camera for Shape Measurements of Plants. CIGR Workshop on Image Analysis in Agriculture, 26-28 August 2010, Budapest (in Druck).
- Moran MS, Clarke TR, Inoue Y, Vidal A** (1994) Estimating Crop Water Deficit Using the Relation between Surface-Air Temperature and Spectral Vegetation Index. *Remote Sensing of Environment* 49, 246-263.
- Paschold PJ, Kleber J** (2007) Blattwasserpotential von Spargelpflanzen – messen mit mobilem Messgerät. 44. Gartenbauwissenschaftliche Tagung, 21.-24. Juni 2007, Erfurt, Kurzfassungen der Vorträge und Poster, 81.
- Porten M, Kohl E, Hermen S** (2007) Bewässerungswürdigkeit einfach messen. *Die Winzer-Zeitschrift*, April 2007, 51-52.
- Walker JP, Willgoose GR, Kalma JD** (2004) In situ measurement of soil moisture: a comparison of techniques. *Journal of Hydrology*, 293, 85-99.

Fertigstellung des Berichts: 12. Oktober 2010.