

Wolfram Spreer, Cornelius Jantschke und Joachim Müller, Hohenheim

Thermofotografie zur Erfassung der Variabilität von stomatärer Leitfähigkeit an Mangobäumen

Trockenstressbedingter Stomataschluss und Anstieg der Blatttemperatur verlaufen bei den meisten Pflanzen parallel. Deshalb bietet Thermofotografie eine gute Möglichkeit, einen Überblick über räumliche Verteilung und zeitliche Entwicklung der Transpiration zu erhalten. Dies konnte an Mangobäumen im Gewächshaus gezeigt werden. Im Freiland unterliegt die Blatttemperatur jedoch einer Vielzahl von klimatischen Einflüssen, die Variabilität innerhalb der Baumkrone ist daher stärker ausgeprägt. Es müssen deswegen Modelle entwickelt werden, mit denen es ermöglicht wird, Trockenstress und Blatttemperatur unter verschiedenen Bedingungen ins Verhältnis zu setzen.

M. Sc. Wolfram Spreer ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Sonderforschungsbereich „Nachhaltige Landnutzung und ländliche Entwicklung in Bergregionen Südostasiens“ (SFB 564) der Universitäten von Hohenheim und Chiang Mai, Thailand. Dipl. Ing. sc. agr. Cornelius Jantschke ist Mitarbeiter am Institut für Agrartechnik, Universität Hohenheim, Garbenstr. 9, 70593 Stuttgart; e-mail: spreerwo@uni-hohenheim.de
 Prof. Dr. Joachim Müller betreute die vorliegende Arbeit als Teilprojektleiter. Die Arbeit des SFB 564 wird von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) finanziell unterstützt.

Schlüsselwörter

Wärmebilder, Trockenstress, Blatttemperatur

Keywords

Thermal images, dry stress, leaf temperatures

Bei der Ermittlung von Pflanzenwasserbedarf ist das Wissen um Pflanzen-Reaktionen bezüglich Trockenstress eine wichtige Grundlage. Gegenstand gegenwärtiger Untersuchungen ist, wie Messungen von Pflanzenstressreaktionen in einer effektiven Bewässerungsregelung eingesetzt werden können [1]. Neben einer Reihe anderer Größen ist die Blatttemperatur ein zuverlässiger und mit einfachen Mitteln zu erfassender Parameter, der Rückschlüsse auf die Wasserversorgung zulässt. Leidet die Pflanze unter Trockenstress, schließen sich die Stomata der Blätter, um so den Wasserverbrauch zu minimieren. Durch eine verminderte Transpiration nimmt auch die Kühlwirkung des verdunstenden Wassers ab und die Blatttemperatur steigt in Abhängigkeit von klimatischen Einflüssen (Lufttemperatur, Sonneneinstrahlung, Windgeschwindigkeit und Luftfeuchte) messbar an. Um diese Einflüsse bei der Messung berücksichtigen zu können, werden Referenzflächen verwendet. Es liegt eine Reihe von Untersuchungen vor,

in denen die Blatttemperatur in verschiedenen Kulturen als Maß für Trockenstress untersucht wurde. Die Korrelation mit der stomatären Leitfähigkeit wurde dabei nachgewiesen. Soll die Technik jedoch bei Stauden und Bäumen zum Einsatz kommen, so spielt die Variabilität innerhalb des Blattwerks eine entscheidende Rolle. Methoden zur Bestimmung der Temperatur einzelner Blätter unterliegen den selben Beschränkungen wie die direkte Messung der Transpiration als Maß der Stomataöffnung. Wird eine Auswahl von Blättern nacheinander gemessen, ist bei wenigen Blättern die statistische Aussagekraft fragwürdig. Das Messen vieler Blätter ist hingegen so zeitaufwändig, dass tagesklimatische Veränderungen während der Messung das Ergebnis beeinflussen können. Deswegen bietet der Einsatz von Wärmebildern eine gute Möglichkeit, einen Überblick über Variabilität und zeitliche Entwicklung des Stomataschlusses zu gewinnen. Diese Technik wurde bisher bei Untersuchungen im Weinbau angewandt [2].

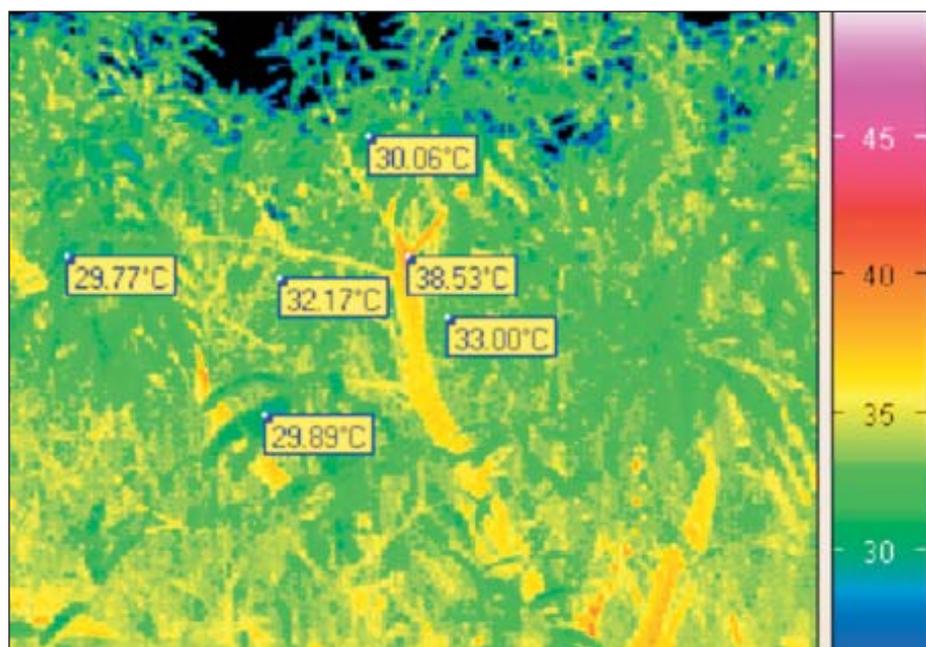


Bild 1: Variabilität in der Krone eines Mangobaums: stärkste Abkühlung an den Blättern in der Peripherie

Fig. 1: Variability in the treetop of mango tree: strongest cooling on the leaves in the periphery

Dort ist eine höhere Gleichförmigkeit in der Rebenreihe zu erwarten als bei Obstbäumen. In der vorliegenden Studie wurde Thermofotografie bei Mangobäumen eingesetzt. Sowohl unter kontrollierten Bedingungen im Gewächshaus als auch im Feld, wo durch die größere Heterogenität der Kronen stärkere Temperaturunterschiede im Tagesverlauf zu erwarten waren. Alle Untersuchungen wurden in Chiang Mai, Thailand, während der Trockenzeit (März 2006) durchgeführt. Es wurde eine Wärmebildkamera vom Typ Infratec VarioCAM verwendet.

Gewächshausuntersuchungen an Mangos

Eine erste Versuchsreihe mit Mangos wurde im Gewächshaus durchgeführt. Direkte Sonneneinstrahlung wurde vermieden und der Raum gleichmäßig ventiliert, so dass die äußeren Bedingungen als gleichförmig angenommen werden können. 21 einjährige Mangobäume (*Magifera Indica*, L., cv. Chok Anan) wurden mit geteiltem Wurzelsystem (split-root) in jeweils zwei Töpfen mit Sand als Substrat eingepflanzt und in drei Gruppen eingeteilt. Die Kontrollvariante wurde mit zwei Liter alle zwei Tage bewässert. Zwei defizitbewässerte Behandlungen erhielten jeweils die Hälfte davon, entweder gleichmäßig verteilt, oder auf einen Teil des Wurzelsystems. Lufttemperatur und relative Luftfeuchte sowie Windgeschwindigkeit wurden dokumentiert. Wärmebilder wurden im Tagesverlauf aufgenommen, gleichzeitig wurde der stomatare Widerstand mit Hilfe eines Porometers AP4 (Delta T Devices) an fünf zufallsverteilten Blättern pro Baum bestimmt.

Die Wärmebilder indizieren einen starken Anstieg der Blatttemperatur bei den defizitbewässerten Behandlungen, der allerdings trotz weitgehend homogener Umweltbedingungen nicht gleichförmig stattfindet. In erster Linie geht bei jungen Blättern die stomatare Leitfähigkeit schnell zurück, damit steigt die Blatttemperatur an. Ein ähnliches Verhalten ist bei Blättern in der Peripherie zu beobachten, während Blätter im Zentrum des Triebes noch vergleichsweise stark durch Transpiration gekühlt werden. Auch bei der Kontrollvariante wurde ein Anstieg der Blatttemperatur während der Nachmittagsstunden mit der höchsten Lufttemperatur aufgezeichnet. Allerdings war dieser weit geringer als bei den trockengestressten Pflanzen und die Temperaturentwicklung war während des gesamten Tagesverlaufs gleichförmig. So beliefen sich die maximalen Unterschiede zwischen den Varianten auf bis zu 8°C, wobei Trockenstress vor allem durch die hohen Temperaturunterschiede innerhalb des Blattwerks sichtbar wurde.

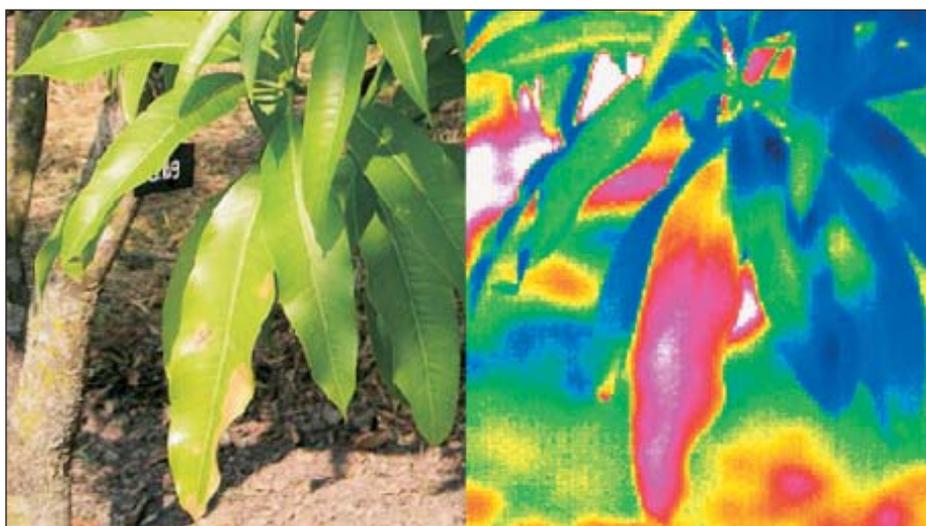


Bild 2: Aufheizung eines versiegelten Blattes. Durch künstlichen Verschluss der Stomata kann das Blatt nicht transpirieren.

Fig. 2: Heating-up of a sealed leaf. By artificial stomatal closure the leaf cannot transpire.

Freilandmessungen

In einer Mangopflanzung wurden Messungen an zehn Jahre alten Mangobäumen der selben Sorte im Pflanzabstand 4 • 4 m durchgeführt. Dabei wurden voll bewässerte Bäume (berechnet aufgrund klimatischer Wasserbilanz nach Penman-Monteith) mit nicht bewässerten Bäumen verglichen. Lufttemperatur, Lichtintensität, relative Luftfeuchte und Windgeschwindigkeit wurden vor jeder Wärmebildaufnahme bestimmt. Die räumliche Zuordnung der Blätter am Baum wurde durch Digitalbilder unterstützt. Da die Blatttemperatur im Freilandversuch tageszeitlich stärker wechselnden Umweltbedingungen unterliegt, wurden auch hier Referenzflächen verwendet, um den Einfluss der Transpiration deutlicher gewichten zu können. Ein befeuchtetes Tuch diente hierbei als Referenz für die maximale Kühlung durch Verdunstung. Um die maximale Aufheizung der Blätter nachvollziehen zu können, wurden je ein Blatt auf der Nord- und Südseite mit Naturharz überzogen, um künstlich vollständigen Stomatenschluss herzustellen. Es zeigte sich, dass auch hier ein stressbedingter Anstieg der Blatttemperatur zu beobachten war. Die Variabilität in der Krone war stark ausgeprägt (Bild 1). Äußere Blätter wiesen generell niedrigere Temperaturen auf. Selbst bei nicht bewässerten Bäumen wurden deutlich geringere Temperaturen gemessen als bei den versiegelten Referenzblättern (Bild 2).

Bewertung des Potenzials der Thermofotografie

Der Anstieg der Blatttemperatur lässt sich unter kontrollierten äußeren Bedingungen im Gewächshaus sehr gut nachvollziehen und direkt mit Trockenstress korrelieren. Weitere Untersuchungen sind hier jedoch notwendig, um Stressgradienten bestimmen

zu können, da eine frühe Erkennung von Stress wichtig ist, wenn die Messung der Blatttemperatur zur Bewässerungssteuerung eingesetzt werden soll. Bildanalyse von Wärmebildern bietet hier die Möglichkeit der sektoralen Aufteilung der Einzelpflanzen und der Bestimmung der Variabilität. Dies ist wichtig, da bei auftretendem Stress die Blatttemperatur nicht einheitlich steigt. Mit einer verbesserten Datengrundlage können möglicherweise strategische Punkte für punktuelle Messungen unter einfacherer Instrumentierung bestimmt werden.

Im Freiland unterliegt die Übertragbarkeit dieser Technik noch starken Beschränkungen durch die ausgeprägten Umwelteinflüsse. Als Basis für die Freilandanwendung können „thermal indices“ dienen, wie sie von [3] aufgrund von Experimenten in Bohnen und Wein errechnet wurden. Die komplexere Form von Obstbaumkronen erfordert die Erarbeitung eines Strahlungsmodells, dass den Einfluss von Übergangsbereichen innerhalb der Krone im Tagesverlauf angemessen berücksichtigt. Dann können auch für Obstbäume im Freiland – ähnlich wie für Wein – Referenzwerte errechnet werden, die es erlauben Trockenstress zu erkennen.

Literatur

- [1] Jones, H. G.: Use of infrared thermometry for estimation of stomatal conductance as a possible aid to irrigation scheduling. *Agricultural and Forest Meteorology* 95 (1999), pp. 139-149
- [2] Jones, H. G., M. Stoll, T. Santos, C. de Sousa, M. M. Chaves and O. M. Grant: Use of infrared thermography for monitoring stomatal closure in the field: application to grapevine. *Journal of Experimental Botany*, 53 (2002), no. 378, pp. 2249-2260
- [3] Leinonen, I., and H. G. Jones: Combining thermal and visible imagery for estimating canopy temperature and identifying plant stress. *Journal of Experimental Botany*, 55 (2004), no. 401, pp. 1423-1431