

Einsatzmöglichkeiten und Grenzen der Thermografie

Untersuchung gartenbaulicher Produkte

Nach der Ernte stellen sich auf der Oberfläche von Obst und Gemüse im Ergebnis von komplizierten Wärme- und Stoffaustauschvorgängen zwischen dem Produkt und der Umgebung Temperaturen ein, die meist tiefer sind als die Lufttemperatur. Die Verteilung dieser Oberflächentemperaturen kann mit Infrarotthermografiesystemen gemessen werden. Temperaturdifferenzen werden in Form von Farbunterschieden sichtbar gemacht und per Computerbildanalyse ausgewertet. Möglichkeiten und Grenzen von thermografischen Systemen für Untersuchungen von Qualitätsveränderungen werden nachfolgend aufgezeigt.

Manfred Linke ist wissenschaftlicher Mitarbeiter der Abteilung Technik im Gartenbau (Leitung Dr. Martin Geyer), Dr. Horst Beuche und Prof. Dr. Hans Jürgen Hellebrand sind wissenschaftliche Mitarbeiter der Abteilung Technikbewertung und Stoffkreisläufe des Instituts für Agrartechnik Bornim e.V. (ATB; Wiss. Dir.: Prof. Dr.-Ing. J. Zaske), Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam
e-mail: mlinke@atb-potsdam.de

Referierter Beitrag der LANDTECHNIK, die Langfassung finden Sie unter LANDTECHNIK-NET-com.

Schlüsselwörter

Gartenbau, Produktqualität, Transpiration, Thermografie

Keywords

Horticulture, produce quality, transpiration, thermography

Literaturhinweise sind unter LT 00622 über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/lo-cal/fliteratur.htm> abrufbar.

Bestimmte Produkteigenschaften von geerntetem Obst und Gemüse, wie der Wasserzustand, der Gehalt an Inhaltsstoffen und der Entwicklungszustand zum Erntezeitpunkt, haben großen Einfluss auf die Veränderung der Nacherntequalität. Im Normalfall setzen Qualitätsverluste unmittelbar nach der Ernte ein, hervorgerufen durch den Abbau von Reservestoffen (Atmung) und durch Wasserverluste infolge von Transpirationsaktivitäten.

Durch die Wahl des Erntezeitpunktes und die darauf abgestimmte Gestaltung der Nacherntebedingungen (Lagerung, Transport, Vermarktung) kann diesen Verlusten erfolgreich entgegengewirkt werden.

Sowohl die Atmung als auch die Transpiration beeinflussen auch den thermischen Zustand des Produktes. Wasserverluste sind das Ergebnis von komplizierten Wärme- und Stofftransportvorgängen zwischen dem Produkt und seiner Umgebung.

Die Transpirationsintensität hängt dementsprechend von bestimmten Produkteigenschaften (Größe, Form, Struktur und Durchlässigkeit der Oberfläche), vom Zustand der Umgebungsluft und der umgebenden Flächen und von den Strömungsbedingungen der Luft in Produktnähe ab.

Bei normalen Raumluftbedingungen ergibt sich auf der Produktoberfläche eine Temperatur, die von dem Anteil der Verdunstungskühlung infolge Transpiration dominiert wird. Selbst Produkte mit großem natürlichen Transpirationsschutz (Äpfel) zeigen bei freier Konvektion am Einzelprodukt Temperaturdifferenzen zwischen Oberfläche und Umgebung von mehr als 1 K. Bei sehr empfindlichen Produkten (Radiessknollen) lagen die Differenzen bei bis zu 6 K.

Erste Anwendungen der Thermografie zur Untersuchung von Pflanzen liegen mehr als 40 Jahre zurück [1, 2]. Infolge von sinkenden Preisen und von Verbesserungen der Bedienbarkeit hat sich die Thermografie insbesondere innerhalb der letzten zehn Jahre zu einem wichtigen Werkzeug der Ingenieurwissenschaften entwickelt.

Das grundsätzliche Ziel dieser Arbeit besteht darin, Möglichkeiten der Nutzung der



Bild 1: Thermografiekamerasystem

Fig. 1: Thermo vision camera system

Thermografie zur nichtdestruktiven Bestimmung von Produkteigenschaften und damit verbundenen Maßnahmen zur Qualitätserhaltung zu untersuchen und Grenzen für ihren Einsatz zu fixieren.

Material und Methoden

Es wurden experimentelle Untersuchungen an verschiedenen gartenbaulichen Produkten unter Laborbedingungen mit einem Infrarotthermografiesystem (Varioscan 2011, Jenoptik) durchgeführt (Bild 1). Das vorhandene Wärmebildsystem besteht aus einem stickstoffgekühlten Kamerakopf, der mit einem Computer gekoppelt ist, sowie der dazu erforderlichen Steuerungssoftware und einer kommerziellen Auswertesoftware für die Bildanalyse.

Der Infrarotdetektor (Typ MCT) arbeitet im Wellenlängenbereich zwischen 8 und 12 μm . Die Temperaturauflösung ist $< 0,1 \text{ K}$, die minimale Bildfolgezeit beträgt 0,8 s. Das System ist für Temperaturmessbereiche zwischen $-30 \text{ }^\circ\text{C}$ und $+1200 \text{ }^\circ\text{C}$ und bei Objektentfernungen ab 0,25 cm einzusetzen.

Die Bildanalysesoftware ermöglicht die Bestimmung der Temperatur sowohl von einzelnen Punkten als auch die mittlere Temperatur entlang von Linien oder wählbarer Flächen (Bild 2).

Zur Einschätzung des äusseren Frischezustandes der Produkte werden zwei Transpirationswiderstände herangezogen, die den Zustand des Produktes und den Zustand der näheren Umgebung (Grenzschicht) charak-

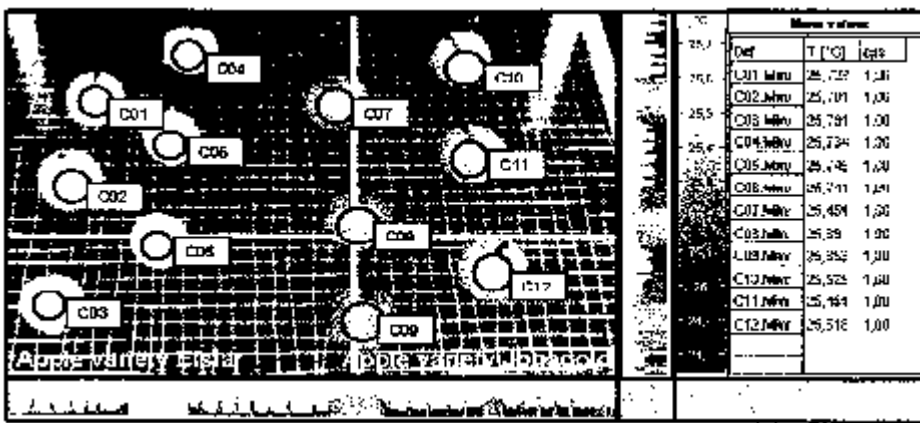


Bild 2: Bildanalysesoftware - mittlere Oberflächentemperaturen von zwei Apfelsorten bei freier Konvektion

Fig. 2: Software of image analysis - mean surface temperatures of two apple varieties at natural convection

terisieren. Sie werden nach einem im ATB entwickelten Verfahren über Wärme- und Stoffbilanzen unter Einbeziehung der Produktoberflächentemperaturen ermittelt [3].

Im Hinblick auf den Einsatz von Thermografiemessungen wurden verschiedene Fragestellungen in Verbindung mit Maßnahmen zur Qualitätserhaltung untersucht:

- Transpirationsintensität von Produkten zum Erntezeitpunkt zur Analyse von Vorerntebedingungen
- Transpirationsintensität von Produkten zur Bewertung von klimatischen Belastungen in der Nachernte
- lokale Transpirationsdifferenzen von Pflanzenteilen zur Einschätzung des Frischezustandes
- Transpirationsintensität von Produkten zur Bestimmung des Entwicklungsstadiums der Produkte (Reife von Äpfeln, Mehligkeit, Sortenunterschiede)
- lokale Transpirationsdifferenzen von Pflanzenteilen zur Bewertung von mechanischen Belastungen und von mikrobiellem Befall

Ergebnisse und Diskussion

Die mit dem Wärmebildsystem auswertbaren Temperaturdifferenzen sind bei kontrollierten Strömungsbedingungen (etwa freie Konvektion) vom Wasserstatus der Produkte und von der Wasserdampfpartialdruckdifferenz zwischen Produktoberfläche und umgebender Luft abhängig. Sie sind um so größer, je frischer das Produkt und je geringer die Feuchte der Umgebungsluft ist.

Die Transpirationswiderstände von gartenbaulichen Produktarten erstrecken sich über einen sehr weiten Bereich. Während bei jungen Radiesknollen Werte von 0,25 s/cm gemessen wurden, liegen Werte von gelagerten Äpfeln bei über 500 s/cm. Unter vergleichbaren Umgebungsbedingungen ergeben sich daraus bei freier Konvektion am Einzelprodukt Temperaturdifferenzen zwischen 6 Grad und weniger als ein Zehntel Grad.

Analyse von Vorerntebedingungen

Bei vielen Produkten ergeben sich ausreichend große Temperaturdifferenzen, die eine Bewertung von Vorerntebedingungen erlauben. Zum Beispiel liegt der Gewebewiderstand von Möhren zum Erntezeitpunkt bei freier Konvektion am Einzelprodukt im Bereich zwischen 1 s/cm und 6 s/cm. Dies entspricht bei normalen Raumklimabedingungen (20 °C, 50%rF) mittleren Temperaturdifferenzen zwischen Produktoberfläche und Umgebung von 1,5 bis 5,0 K.

Bewertung des Nachernteklimas

Die Bewertung von Klimabelastungen im Nacherntebereich war bei allen bisher untersuchten Produktarten (von Radiesknolle bis Apfel) möglich. Im Bereich von Produktarten mit höheren Transpirationswiderständen sind auswertbare Messeffekte erst nach einigen Stunden vorhanden.

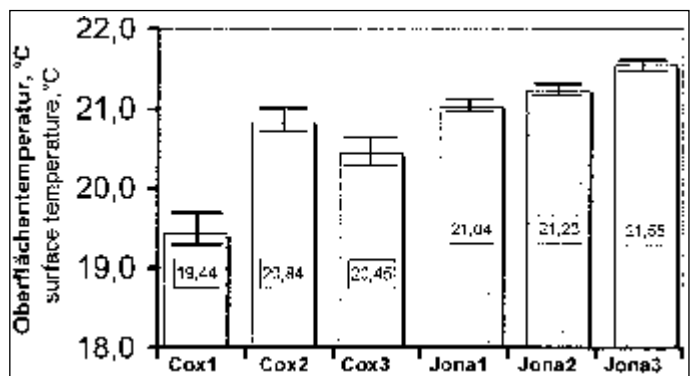
Frisezustand über lokale Transpirationsdifferenzen zwischen Pflanzenteilen

Bei verschiedenen Produktarten sind ausreichend große Temperaturdifferenzen zwischen unterschiedlichen Pflanzenteilen (Frucht und Stiel bei Apfel) vorhanden, die sich im Verlauf der Nachernte deutlich messbar verändern. Diese Differenz kann in direkte Beziehung zum Frisezustand des Produktes gesetzt werden.

Unterscheidung von Produktzuständen in der Nachernte

Bild 3: Oberflächentemperaturen von zwei Apfelsorten in unterschiedlichen Entwicklungsstadien bei freier Konvektion

Fig. 3: Surface temperatures of two apple varieties of different developmental states at natural convection



Das Transpirationsverhalten von vielen Produktarten verändert sich mit der natürlichen Entwicklung des Produktes.

Im Rahmen von durch die Europäische Union geförderten Arbeiten (ASTEQ) wurden zwei Apfelsorten (je drei unterschiedliche Entwicklungsstadien) nach entsprechenden Lagerperioden mit Hilfe der Wärmebildanalyse untersucht. In Bild 3 sind die Oberflächentemperaturen der sechs Varianten dargestellt. Bei vergleichbaren Raumklimabedingungen wurden signifikante Unterschiede der Oberflächentemperatur der beiden Sorten (Cox und Jonagold) gemessen, die sich nach erfolgter Lagerung in unterschiedlichen Entwicklungsstadien befanden.

Bewertung von mechanischen Belastungen und mikrobiellem Befall

Bei den oben genannten, untersuchten Apfelsorten waren definierte mechanische Beschädigungen, die keine Zerstörung der äußeren Gewebeschichten hervorriefen, nicht nachweisbar.

Im Gegensatz dazu konnten mechanische Beschädigungen bei Möhren eindeutig durch das unterschiedliche Transpirationsverhalten klassifiziert werden.

Am Beispiel von Pfirsichen konnte gezeigt werden, dass Zerstörungen der Oberflächenstruktur infolge mikrobieller Aktivitäten zu lokal unterschiedlichen Transpirationsintensitäten führen.

Fazit

Prinzipiell sind thermografische Systeme für Untersuchungen von gartenbaulichen Produkten im Nacherntebereich geeignet. Sie können zu qualitativ neuen Erkenntnissen führen und damit einen Beitrag zur Qualitätserhaltung leisten.

Die direkte Nutzung von Wärmebildsystemen im praktischen Nacherntebereich stößt aus mehreren Gründen jedoch sehr schnell an Grenzen. Einerseits sind die Kosten für solche Anlagen noch immer vergleichsweise hoch, andererseits werden die Anwendungsmöglichkeiten durch instationäre Temperaturverhältnisse eingeschränkt.