

Manfred Linke und Martin Geyer, Potsdam

Kontrolle des Nachernteverhaltens von Obst und Gemüse mit Verdunstungsmesszellen

Empfindliche Gartenbauprodukte verlieren auf dem Weg vom Erzeuger zum Verbraucher häufig unzulässig viel Wasser infolge von ungünstigen Klimabedingungen. Verantwortlich dafür sind die Stoffübertragungsbedingungen, die durch Temperaturen, Luftfeuchte und Luftströmung in Produktnähe charakterisiert sind. Eine effektive Kontrolle des Stoffübergangs unter Praxisbedingungen ist daher nahezu unmöglich. In dem vorliegenden Beitrag werden neuentwickelte, einfache Prüfkörper vorgestellt, die ähnliche Transpirationseigenschaften wie gartenbauliche Produkte haben. Damit wird eine aktive Einflussnahme auf ungünstige Umgebungsbedingungen in der Nacherntekette möglich.

Manfred Linke ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Technik im Gartenbau (Leitung Dr. Martin Geyer) des Leibniz-Institutes für Agrartechnik (Amt. Wiss. Direktor: Prof. Dr. R. Brunsch), Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam-Bornim; e-mail: mlinke@atb-potsdam.de

Schlüsselwörter

Gartenbau, Prozesskontrolle, Nacherntekette, Transpirationsverlust

Keywords

Horticulture, process control, postharvest chain, transpiration loss

Literatur

Literaturhinweise sind unter LT 07322 über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/local/fliteratur.htm> abrufbar.

Frischeverluste von Obst und Gemüse in der Nachernte lassen sich prinzipiell in Atmungsverluste (Inhaltsstoffe wie Vitamine, Mineralstoffe, bioaktive Substanzen) und Transpirationsverluste (Wasserverluste) unterteilen [1]. Die vorrangig temperaturabhängigen Inhaltsstoffverluste werden zunehmend mit gebräuchlichen, kommerziell verfügbaren Temperaturdatloggern überwacht. Im Gegensatz dazu existieren für Transpirationsverluste, die in erster Linie von der Wasserdampfpartialdruckdifferenz zwischen der Produktoberfläche und der Umgebung abhängig sind, keine einfachen Hilfsmittel zur Prozesskontrolle.

Die Transpirationsintensität wird vom Zustand der Produktes und von den Umgebungsbedingungen beeinflusst, wobei der aktuelle Produktzustand durch Vor- und Nachernteeinflüsse charakterisiert ist. Die Durchlässigkeit der Gewebeschichten kann durch natürliche Variabilitäten (zuzüglich Vorernteklima, Düngung, Bewässerung) erhebliche Unterschiede aufweisen.

Neben diesen direkt durch den Produktzustand bedingten Transpirationsverlusten treten Verluste durch die Klimaführung in der Nachernte auf. Die Strömungsverhältnisse unmittelbar an der Produktoberfläche, die Luftfeuchte in der Umgebung und gegebenenfalls Wärmestrahlung beeinflussen die Intensität des Stoffaustausches. Die Interaktion von Produkt und Umgebung wird eingeschränkt durch künstliche Widerstände (Verpackungsmaterialien) und zusätzlich durch eine gewisse Selbstschuttfunktion (Überlagerung von Grenzschichten mehrerer Produkte) [2].

Insbesondere durch die Formenvielfalt entstehen bei wechselnden äußeren Anströmbedingungen komplizierte Strömungsverhältnisse an den Produktoberflächen, die in Abhängigkeit vom Produktzustand und den anderen Klimafaktoren einen großen Einfluss auf den Wasserverlust haben können. Die Vielzahl der möglichen Einflussgrößen kann mit herkömmlichen Messmitteln zur Temperatur-, Luftfeuchte- und Luftgeschwindigkeitsmessung nur dann wirksam überwacht werden, wenn davon ausgegangen wird, dass die Luftströmung nahezu vollständig verhindert wird.

Aus den genannten Gründen wurden am Leibniz-Institut für Agrartechnik spezielle Verdunstungsmesszellen mit ähnlichem Transpirationsverhalten wie reale Produkte zur Charakterisierung des Stoffüberganges zwischen Produkt und Umgebung entwickelt.

Material und Methoden

Wesentliches Merkmal dieser Prüfkörper ist, dass durch entsprechende Materialauswahl und konstruktive Gestaltung Wasserabgaberraten realisiert werden, die zum Verhalten realer Produkte in Beziehung gesetzt werden können. Sie überwachen die Beeinflussung der Grenzschicht zwischen Produkt und Umgebung. Die Verdunstungsmesszellen bestehen immer aus einem wasserhaltigen Material und Hüllschichten, die die Wasserabgabe einschränken. Sie sind von ihren Hauptabmessungen her so zu gestalten, dass sie entweder klein im Verhältnis zu dem zu überwachenden Produkt sind oder die Gestalt des Produktes selbst haben.

Bild 1: Schematische Darstellung einer Verdunstungsmesskugel mit wasserhaltigem Granulat (rechts: trocken; links: befeuchtet)

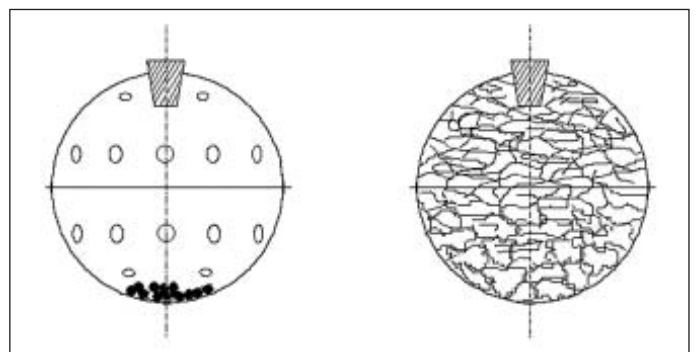


Fig. 1: Scheme of an evaporation sphere with waterholding material (right: dry; left: wetted)

Das Funktionsprinzip der Verdunstungsmesszellen zur Charakterisierung der Umgebungsbedingungen von empfindlichem Obst und Gemüse beruht auf den bekannten Diffusionsgesetzen [3]. Der Wasserdampfstrom vom Produkt in die Umgebung ist abhängig von der Konzentrationsdifferenz (absolute Luftfeuchte) und den Widerständen im Wasserdampfpfad (Gewebe, Grenzschicht, Verpackung).

Solche Messmittel stellen eine kostengünstige Lösung für die Erfassung von Nacherntebelastungen durch Transpirationsvorgänge dar. Dabei wird ein überwiegend aus wasserhaltigem Material bestehender Prüfkörper so dimensioniert, dass er ähnliche Transpirationseigenschaften aufweist wie das zu überwachende gartenbauliche Produkt. Damit besteht die Möglichkeit, technische Parameter (Klimaparameter, Schutzeigenschaften von Verpackungen) und/oder technologische Prozesse (Luftführung und Steuerungsregime im Lager, Transportbedingungen, Bedingungen bei der Warenpräsentation) so zu verändern, dass Frischeverluste minimiert werden.

Am Beispiel einer Verdunstungskugel, die für die Überwachung der Umgebungsbedingungen von Obst und Gemüse in verschiedenen Verpackungseinheiten eingesetzt wird, sollen sowohl einige konstruktive als auch methodische Aspekte der Entwicklung und der Anwendung dargestellt werden.

Der schematische Aufbau ist in *Bild 1* dargestellt. Ein Kunststoffhohlkörper etwa von der Größe eines Tischtennisballs wurde mit einer Einfüllöffnung und vielen kleineren Öffnungen versehen und mit einem Wasserspeichergranulat (Polyacrylamid) befüllt. Das Granulat kann in trockenem oder in gequollenem Zustand in die Hohlkugel eingefüllt werden. Zu Beginn von vergleichenden Messungen sollte die mit einem Stopfen verschlossene Kugel möglichst ähnlich große Wassermengen aufgenommen haben. Es ist zu beachten, dass kein freies Wasser weder als Tropfen- noch als Film vorhanden ist. In Vorbereitung auf die Messung ist außerdem von Bedeutung, dass die Verdunstungskugel und die Umgebung im thermischen Gleichgewicht sind (Lufttemperatur = Kugeltemperatur).

Die Anzahl und der Durchmesser der Öffnungen werden so bemessen, dass die Kugel bei definierten Klimabedingungen (etwa uneingeschränkte freie Konvektion) ein ähnliches Transpirationsverhalten wie das zu untersuchende Produkt aufweist. Wenn Strahlungseinflüsse zu erwarten sind, sollte die Oberfläche des Prüfkörpers ein ähnliches Emissionsverhältnis wie das zu untersuchende Produkt aufweisen.

Im einfachsten Fall können durch Differenzwägungen in definierten Zeitintervallen

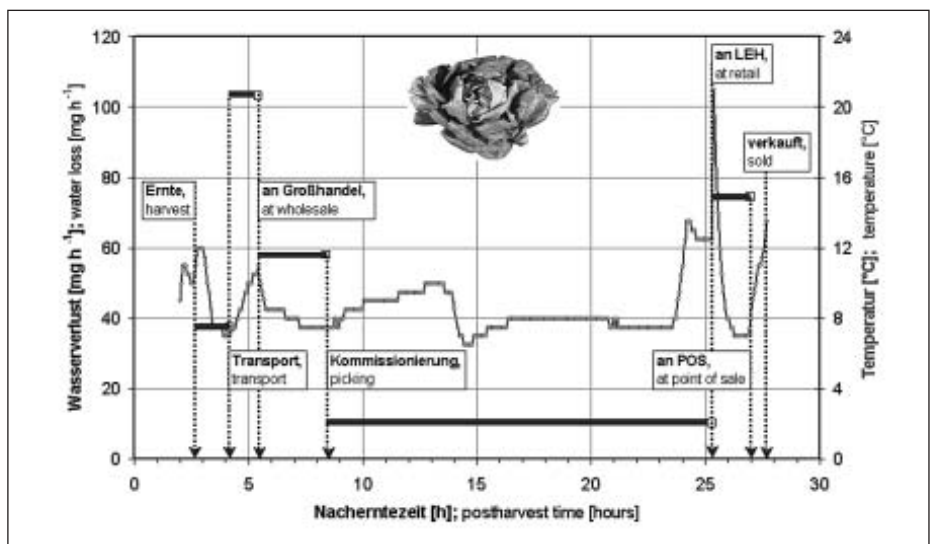


Bild 2: Kontrolle der Klimabelastungen von Kopfsalat in der Nacherntekette mit Temperaturdataloggern und Verdunstungsmesskugeln

Fig. 2: Control of the climatic loads of lettuce in the postharvest chain by means of temperature devices and evaporation spheres

ermittelte Wasserabgaberraten der Prüfkörper zur Charakterisierung der Umgebungsbedingungen herangezogen werden. Diese Wasserabgaberraten (pro Zeit- und Oberflächeneinheit) umfassen die Stoffübergangszahl (Grenzschichtwiderstand) und die wirksame Potenzialdifferenz (Wassergehaltsdifferenz zwischen Produkt und Umgebung). Wenn die Umgebungsbedingungen (Lufttemperatur, -feuchte) in ausreichender Entfernung von den Prüfkörpern zusätzlich gemessen werden, sind aus den Wasserabgaberraten detailliertere Aussagen zu den Bedingungen am Messort möglich. Von besonderem Interesse sind hier die Strömungsbedingungen an der Produktoberfläche, die mit herkömmlichen Messmitteln praktisch nicht erfasst werden können.

Ergebnisse und Diskussion

Die oben beschriebenen Messkugeln, ergänzt durch kommerziell verfügbare Miniatur-Datalogger, wurden im Rahmen von umfangreichen Versuchsanstellungen zur Aufdeckung von Schwachstellen in den Nachernteketten von Gemüse eingesetzt. *Bild 2* zeigt reale Klimabelastungen von Kopfsalat in einer handelsüblichen Verpackungsform auf dem Weg vom Erzeuger zum Verbraucher, die mit Temperaturdatalogger und Verdunstungskugel ermittelt wurden. Ziel der Untersuchungen war die Aufdeckung von Schwachstellen in der Nacherntekette [4]. Dazu wurden je eine Kugel und ein Datalogger in den Verpackungen (Kunststoffcontainer) in unmittelbarer Nähe zum Kopfsalat (im Bereich der Grenzschicht) eingelegt. Während die Temperaturwerte kontinuierlich über den gesamten Messzeitraum aufgezeichnet wurden, waren die Messkugeln an den vorher vereinbarten Kontrollpunkten auszutauschen. In dem dargestellten Beispiel weisen die Abschnitte

Transport zum Großhandel und Präsentation im Lebensmitteleinzelhandel (LEH) hohe Wasserverlustraten der Prüfkörper auf. Diese deuten darauf hin, dass in den Bereichen die relative Luftfeuchte (zu niedrig) und/oder die Luftströmung am Produkt (zu hoch) unzulässige Werte erreicht haben müssen. Außerdem auffällig ist der große Unterschied im Großhandel auf insgesamt etwas niedrigerem Niveau. Hier sind die Bedingungen im Annahbereich wesentlich ungünstiger als im Kommissionierungsbereich. Über die Kenntnis der Wasserabgaberraten der Kugeln kann so aktiv Einfluss auf die ungünstigen Klimabedingungen genommen werden. Mögliche Gegenmaßnahmen wären Vermeidung von Zuglufterscheinungen, Veränderung der Luftfeuchte und/oder Erhöhung der künstlichen Transpirationswiderstände (Folierung der Stapel oder Abdeckung mit Lochfolien).

So und in ähnlicher Weise kann mit einfachen Messmitteln zur Qualitätserhaltung beigetragen werden. Verdunstungsmesszellen sind einerseits sehr preiswert, andererseits sind relativ präzise Differenzwägungen erforderlich. Für genauere Analysen (etwa auf der Grundlage der Stoffübergangszahl) müssen zusätzlich die vom Produkt nicht beeinflussten Klimabedingungen (Lufttemperatur, relative Luftfeuchte) gemessen und entsprechende Verrechnungen nach bekannten thermodynamischen Beziehungen der Psychrometrie vorgenommen werden [5].

Die Verdunstungsmesszellen können auch für die Überwachung anderer Frischmarktprodukte und in Kombination mit Temperatur-/Luftfeuchtemessungen zur Kontrolle von Strömungsbedingungen in Räumen mit großen Abmessungen (Lagerhäuser, Gewächshausanlagen, Stallanlagen) eingesetzt werden. Pflanzenbestände im Freiland können kontrolliert werden, wenn ein Regenschutz angebracht wird.