

Manfred Linke und Martin Geyer, Potsdam-Bornim

Verdunstungskühlung zur Frischhaltung von Obst und Gemüse bei Direktvermarktung

Die klimatischen Bedingungen in Verkaufsräumen sind meist ungeeignet für Obst und Gemüse. Verdunstungskühlung bietet sich als Möglichkeit an, um die Präsentationsbedingungen von Frischmarktprodukten bei der Direktvermarktung deutlich zu verbessern. In einer Versuchsanlage mit Ultraschallvernebler konnte die Wasserdampfpartialdruckdifferenz zwischen der Gemüseoberfläche und der umgebenden Luft um mehr als 80% verringert werden. Dadurch sanken die Transpirationsverluste bei Kopfsalat nach fünf Stunden Lagerzeit von 12% auf 2%. Entsprechend den jeweiligen Anforderungen können Einfachlösungen für die Direktvermarktung bis hin zu anspruchsvollen Varianten konzipiert werden.

Dipl.-Ing. Manfred Linke ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Technik im Gartenbau des ATB, Max-Eyth-100, D-14469 Potsdam; Dr. agr. Martin Geyer leitet die gleiche Abteilung (Wissenschaftlicher Direktor: Prof. Dr.-Ing. Jürgen Zasko), e-mail: geyer@atb-potsdam.de. Das Projekt wurde durch die Arbeitsgemeinschaft für Elektrizitätsanwendung in der Landwirtschaft (AEL), Essen, finanziell unterstützt.

Schlüsselwörter

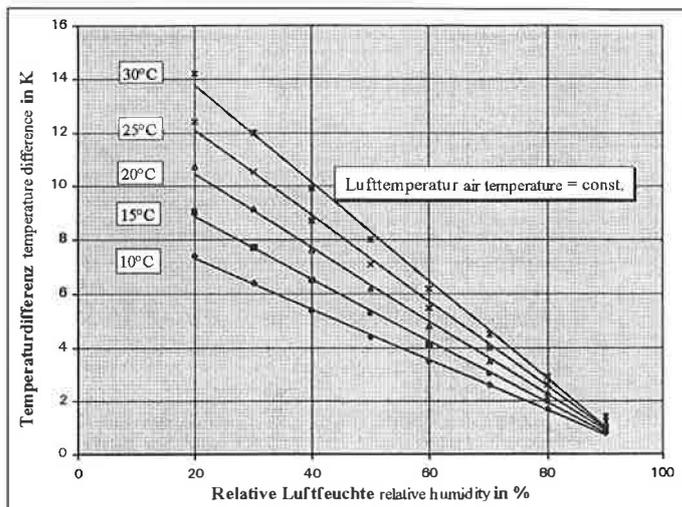
Verkaufstheken, Direktvermarktung, Verdunstungskühlung, Obst, Gemüse

Keywords

Food display cabinet, atmospherical evaporation, farm marketing, fruit, vegetable

Bild 1: Änderung der Lufttemperatur bei der Verdunstungskühlung in Abhängigkeit vom Luftzustand der umgebenden Luft

Fig. 1: Changes in air temperature due to atmospheric evaporation depending on air condition of ambient air



Die meisten Obst- und Gemüsearten reagieren nach der Ernte auf hohe Temperaturen und niedrige relative Luftfeuchten mit schnellem Verderb. Besonders stark wirken sich ungünstige klimatische Bedingungen bei Blatt- und Wurzelgemüse, wie Kopfsalat oder Bundmöhren, aus. Bereits nach wenigen Stunden werden Welkeerscheinungen sichtbar. Neben dem Verlust der äußerlichen Attraktivität verlieren solche Produkte auch erhebliche Mengen an wertgebenden Inhaltsstoffen.

Der Grund für die schnelle Welke von Gemüse liegt zum einen am Gemüse – ungünstiges Oberflächen/Volumenverhältnis (Blattsalate) und geringe Transpirationswiderstände von Wurzeln und Knollen (Möhren, Radies) – und zum anderen an der meist zu hohen Lufttemperatur und der zu geringen relativen Luftfeuchte in den Verkaufsräumen. Dementsprechend besteht eine große Wasserdampfpartialdruckdifferenz zwischen Produktoberfläche und umgebender Luft.

Im Rahmen des Projektes wurde das Prinzip der Verdunstungskühlung untersucht, um

Obst und Gemüse beim Verkauf über einen längeren Zeitraum frisch und attraktiv zu erhalten. Hierdurch kann die Wasserdampfpartialdruckdifferenz und die Temperatur am Produkt mit einfachen Maßnahmen verringert werden.

Befeuchtung und Kühlung der Luft

Der Übergang von Wasser aus der flüssigen in die dampfförmige Phase bei atmosphärischem Druck wird als Verdunstung bezeichnet. Verdunstung ist das Ergebnis des Zusammenwirkens von Wärme- und Stoffaustausch zwischen einem Wasserreservoir und der umgebenden Luft. Für die Verdunstung ist Energie (etwa in Form von Wärme) erforderlich, die der Luft und/oder dem frischen Produkt entzogen wird und die somit zu einer örtlichen Abkühlung führt.

Bei der Auswahl und der Dimensionierung der Gerätetechnik für die Verdunstungskühlung müssen, um eine optimale Abkühlung zu erreichen, die zu mischenden Masseströ-

Tab. 1: Veränderung der Atmungsrate in Abhängigkeit von der Temperaturabsenkung durch Verdunstungskühlung bei Kopfsalat

Table 1: Change in respiration rate depending on temperature difference due to atmospheric evaporation in the case of lettuce

Temperatur [°C]	Atmungsrate R1* [mg/kg h]	Temperatur durch Verdunstungskühlung bei 40% rH, [°C]	Atmungsrate R2 [mg/kg h]	Differenz R1-R2 [%]
10	21 - 40	4,5	13 - 20	50 - 76
15	32 - 45	8,5	19 - 34	49 - 76
20	51 - 60	13,5	29 - 44	57 - 73
25	73 - 91	16,0	36 - 48	49 - 53

*)Angaben zur Temperaturabhängigkeit der Atmungsrate nach [2]

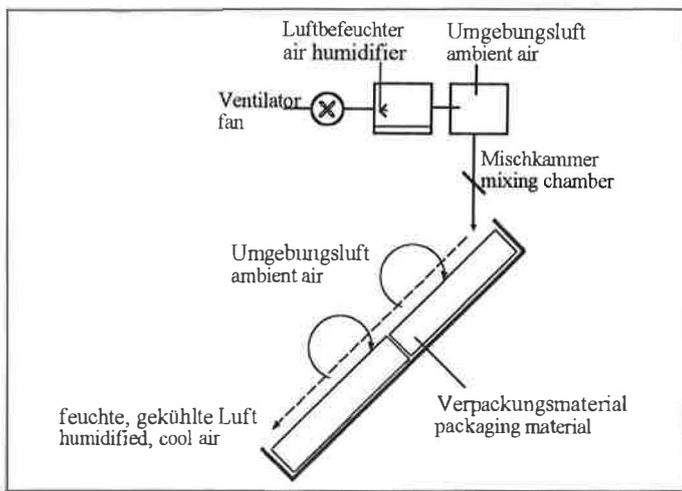


Bild 2: Anlage zur Verdunstungskühlung von Gemüse

Fig. 2: Facility for atmospheric evaporation of vegetables

me von Wasser und Luft so aufeinander abgestimmt sein, dass die Luft die gesamte Wassermenge gerade vollständig aufnehmen kann.

In Bild 1 sind die erreichbaren Abkühlungen der Luft bei der Mischung von Wasser mit Raumluft dargestellt. Variable Luftzustände (Temperatur 10 bis 30 °C, relative Feuchte 20 bis 90 %) führen zu unterschiedlichen Abkühlungen.

Effekte durch Verdunstungskühlung

Neben der Einschränkung der Transpiration durch die Verringerung der Wasserdampfpartialdruckdifferenz reduziert die Temperaturabsenkung auch temperaturabhängige Abbauprozesse (etwa Atmung) im Produktinnern [1]. Je geringer die Atmung, desto länger bleibt die Qualität erhalten. Weil die Atmungsrate exponentiell ansteigt, sind durch kleinere Temperaturabsenkungen von 5 bis 9 K bereits verhältnismäßig große Verminderungen der Atmung zu erreichen (Tab.1).

Technische Möglichkeiten zur Luftbefeuchtung

Eine aktive Luftbefeuchtung ist mit verschiedenen Maßnahmen möglich [3]. Eine lufttechnische Anlage, welche die oben beschriebenen Bedingungen erfüllen kann, besteht mindestens aus einer Belüftungseinheit, einer Befeuchtungseinheit und einer Mischstrecke sowie Luftleiteinrichtungen.

Die Belüftungseinheit und die Befeuchtungseinheit sind so auszuwählen, dass die Luft im gesättigten Zustand (100% Luftfeuchte) das Produkt anströmt. Zu stark übersättigte Luft führt zu unerwünschter Tropfenbildung auf dem Produkt, auf der Verpackung und/oder auf dem Kühlmöbel. Zu trockene Luft hat negative Auswirkungen auf die Haltbarkeit des Produktes.

Die Mischung von Wasser- und Luftmassenstrom kann auf unterschiedliche Art und Weise erfolgen. Für den hier interessierenden Anwendungsfall sind zwei prinzipielle Lösungen denkbar:

- Die Luft wird über eine freie Wasserober-

fläche geführt und nimmt durch die vorhandene Partialdruckdifferenz Wasser auf. Es sind technische Lösungen bekannt, bei denen die Austauschfläche durch textile Gewebe, das teilweise mit einem Wasserreservoir in Verbindung steht, vergrößert wird.

- Das kalte Wasser wird in Tröpfchenform in die Luft gebracht, um die Austauschfläche zu vergrößern. Technisch ist dies sowohl über Hochdruckdüsen als auch durch Ultraschallvernebler möglich. In beiden Fällen gelangt das Wasser als Kaltnebel in die Luft. Die Variante mit Ultraschallvernebler hat verschiedene Vorteile wie beispielsweise die einfachere Regelbarkeit der Kaltnebelmenge und den geringeren technischen Aufwand.

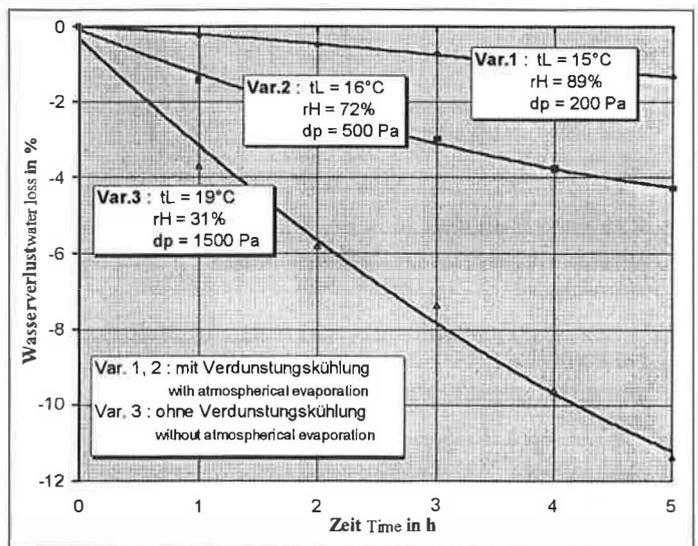
Eine leichte Übersättigung der Luft im Austrittsquerschnitt hat den Vorteil, dass die Verdunstungskälte direkt im Produktbereich wirksam werden kann. Stärkere Übersättigung führt zu nicht erwünschter Tropfen- und Filmbildung.

V Versuchsergebnisse

Zu Versuchszwecken wurde eine Verkaufstheke gebaut (40 · 120 cm) und mit einer Verdunstungskühlung mit Ultraschallvernebler ausgestattet (Bild 2). Der Ultraschallvernebler entwickelt Kaltnebel aus Wassertröpfchen mit Durchmessern zwischen 2 und 5 µm. Dieser Nebel wird in der Mischkammer (im vorliegenden Fall eine senkrecht stehenden Acrylglasröhre von 100 cm Länge) mit Umgebungsluft vermischt.

Bild 3: Wasserverluste von Kopfsalat bei Verdunstungskühlung

Fig. 3: Water losses of Butthead lettuce in the case of atmospheric evaporation



Die Austrittsöffnung wurde so gestaltet, dass die feuchte Luft von oben kommend mit einer Luftgeschwindigkeit von etwa 0,2 m/s über die Kisten mit Gemüse strömt. Je nach „Rauhigkeit“ der Oberfläche der gefüllten Kisten war bei konstanter Luftgeschwindigkeit eine mehr oder weniger starke Beimischung von Umgebungsluft im Produktbereich und damit eine Verringerung des Kühleffektes zu verzeichnen. Ein optimales Verhältnis von Wasser- zu Luftmenge lag dann vor, wenn in der Mitte der Präsentationsebene keine oder nur noch Spuren von Nebel sichtbar waren.

Im Bild 3 sind beispielhaft Ergebnisse eines Versuches mit Kopfsalat dargestellt. Durch die Erhöhung der relativen Feuchte (rH) und die Absenkung der Temperatur (tL) wird die Wasserdampfpartialdruckdifferenz (dp) zwischen Gemüseoberfläche und umgebender Luft drastisch reduziert. Im Vergleich zu der Kontrollvariante 3 (bei Raumluftbedingungen) verringerte sich die Wasserdampfpartialdruckdifferenz um mehr als 80% bei der Variante 1 mit Verdunstungskühlung unter optimalen Bedingungen. Hierdurch reduzierte sich der Wasserverlust von knapp 12% auf weniger als 2% über einen Zeitraum von fünf Stunden. Selbst als Luft- und Wassermassenstrom nicht optimal aufeinander abgestimmt waren (Var. 2), ergaben sich erhebliche Verlängerungen der Haltbarkeit des Gemüses.

Literatur

- [1] Diekmann, A., D. List und U. Zache: Cold water mist humidification to preserve quality of fresh vegetables during retail sale. *Lebensm. Wiss. und Technol.*, 26 (1993), S. 340 – 346
- [2] Hardenburg, R.E., A.E. Watada and C.Y. Wang: The Commercial Storage of Fruits, Vegetables and Florist and Nursery Stocks. USDA – Handbook No. 66, 1986
- [3] Geyer, M. und M. Linke: Frischhalten von Obst und Gemüse. *Fruchthandel* 4 (1999), S. 28 – 29