Gartenbauwissenschaft, **65** (1). S. 22–29, 2000, ISSN 0016–478X. © Verlag Eugen Ulmer GmbH & Co., Stuttgart

Physiologisches Nacherntеverhalten von Bohnenkraut (*Satureja hortensis* L.)

Physiological Postharvest Response of Savory (*Satureja hortensis* L.)

H. Böttcher, Ingeborg Günther und Kristina Warnstorff
(Institut für Tierernährung und Vorratshaltung und Arbeitsgruppe Biometrie und Agrarinformatik der Landwirtschaftlichen Fakultät Halle)

Zusammenfassung

Frisch geerntetes Bohnenkraut aus dem Feldanbau ist durch eine ungewöhnlich hohe Atmungsintensität gekennzeichnet. Im Mittel von 8 Versuchen erreichte sie bei Bedingungen von 10 °C 696 W t^{-1}, von 20 °C 1578 W t^{-1} und von 30 °C 2536 W t^{-1}. Diese relativ hohe Intensität blieb auch während der Nachernteperiode für 80 h erhalten. Die Werte nehmen in jedem Temperaturbereich nur um 49, 46 und 41 % der ursprünglichen Intensität ab, auch bei 30 °C trat trotz beträchtlicher Alterung und Welke kein Zusammenbruch der Atmung ein. Dies Verhalten erfordert es, einen alterungsunabhängigen Anteil der Atmungsintensität (α) in das Regressionsmodell zur Kennzeichnung des Nacherntеverlaufes der Atmung von leicht verderblichen pflanzlichen Produkten $y = \alpha + \beta \cdot e^{c(t-z)}$ ($c < 0$) einzufügen. Die beträchtliche Varianz der Atmungsintensität erklärt sich aus den jährlichen Witterungs- und Anbaubedingungen und dem Anbaustandort. Die hohe Atmungsintensität bedingt im Verlauf der Nacherntezeit beachtliche Verluste an Trockenmasse (10 °C im Mittel 1,3 % in 24 h) und Abnahmen an Frischmasse durch die Transpiration (10 °C im Mittel 1,65 % in 24 h). Farbe und äußere Qualität bleiben am besten im getrockneten Produkt erhalten, wenn das Erntegut unter relativ kühlen Bedingungen nach der Ernte aufbewahrt wird.

Summary

Freshly harvested savory from field cultivation is characterized by an unusually high respiration rate. Mean value of 8 trials reached at condition of 10 °C 696 W t^{-1}, of 20 °C 1578 W t^{-1}, and of 30 °C 2536 W t^{-1}. This comparatively high rates were maintained throughout a postharvest period of 80 h. The values declined only by 49, 46 and 41 % of the initial rate for each temperature range, and even at 30 °C there was no respiratory collapse despite notable senescence and wilting. This behaviour required to introduce a senescence independent part of the respiration activity (α) into the regression model for characterizing the postharvest course of respiration for perishable plant crops $y = \alpha + \beta \cdot e^{c(t-z)}$ ($c < 0$). The considerable variance is explained by the annual weather and growing conditions and the location. The high respiration rate ensued a distinct loss of dry matter throughout postharvest time (10 °C: $\bar{x}$ 1,3 % in 24 h) and a decrease in fresh weight by transpiratory activity (10 °C: $\bar{x}$ 1,65 % in 24 h). Colour and exterior quality were best maintained in dried material, when the herbs were held at relative cool conditions after the harvest.

Einleitung

Die zunehmende Verwendung von pflanzlichen Gewürzen in der Speisebereitung führt auch zu einem steigenden Bedarf beim Bohnenkraut, so daß der Feldanbau unter den günstigen mitteldeutschen Standortbedingungen ausgeweitet wurde. Um den gleichzeitig zunehmenden Qualitätsansprüchen an das Endprodukt besser gerecht zu werden, sind Untersuchungen vor allem auch im Bereich von Ernte und Nacherntebehandlung und das Vertiefen der Kenntnisse zum Nacherntеverhalten für jede Art der Gewürzpflanzen notwendig.

Atmung, Transpiration, Alterung, Reifung und Veränderung der äußeren Qualitätsmerkmale sind die wichtigsten Prozesse im lebenden Produkt nach der Ernte (KAYS 1991, CANTWELL und REID 1993). Jedoch ist erst wenig über Art und Ausmaß der speziellen Veränderungen von Gewürz- und Arzneipflanzen während der Nacherntezeit bekannt. Auch AHARONI et al. (1993) haben unterstrichen, daß junge grüne Kräuter auf Grund ihres altersbeschleunigten Stoffwechsels schnell ihren Frischegrad, ihren Chlorophyllgehalt und ihre Würzkraft verlieren und verderben können.

In einer ersten Arbeit konnten beträchtliche Unterschiede im Verhalten der verschiedenen Arten nachgewiesen werden (BÖTTCHER und GÜNTHER 1995), die in Beziehung zu den genutzten pflanzlichen Organen, ihrem physiologischen Entwicklungszustand, ihren Wachstums- und Erntebedingungen u.a. Einflüssen, stehen. Bohnenkraut war nach der Ernte bei Bedingungen von 10 °C durch eine beträchtliche Atmungsintensität von 547–744 W t^{-1}, die nur eine langsame Abnahme während der Nacherntezeit zeigte, und durch einen Frischmasseverlust zwischen 2,5 und 3,5 % innerhalb von 24 h gekennzeichnet. CANTWELL et al. (1993) ermittelten auch eine ausgeprägte Ethylenempfindlichkeit für Bohnenkraut, die schon bei 9 ppm Ethylen in der Lageratmosphäre nachweisbar war. Aber weitere konkrete Angaben über Bohnenkraut sind bisher nicht bekannt.

Ziel der Arbeit ist es, die physiologischen Reaktionen und Veränderungen von einjährigem Bohnenkraut aus dem Feldanbau während der Nacherntezeit zu quantifi-

Tab. 1. Charakterisierung des Erntegutes Bohnenkraut und seiner anfänglichen Atmungsintensität bei Meßbedingung von 10 °C
Characterization of the plant crops and their initial respiration rate at measurement conditions of 10 °C

Versuchs-Nr.	Ernte-datum	Entwicklungs-zustand (Stengel mit ersten Blüten)	Herkunft	genutzte Trieblänge (von oben) in cm	Trocken-masse %	Temperatur Luft °C	Temperatur Produkt °C	Klima während der Ernte	Atmungs-intensität W t^{-1}
1	22.07.93	Blühbeginn	Calbe	14-20	...	20,1	...	kühl, bedeckt	753...775
2	26.07.93	30 %	Halle	13-21	...	15,0	...	trüb, kühl	583...617
3	19.07.94	3 %	Calbe	22-26	18,2	25,8	22,4	trüb, schwül	1025...1115
4	22.07.94	1 %	Halle	24-32	27,0	34,7	34,1	trockenes Wetter, heiß und sonnig	810...875
5	19.07.95	Vor Blühbeginn	Calbe	20-27	20,7	25,4	23,5	schwül, warm, trocken	511...527
6	27.07.95	6 %	Halle	25-40	27,9	19,1	18,5	trocken, trüb	494...504
7	31.07.96	3 %	Calbe	18-27	19,4	23,2	25,7	schwül, warm, Vortag 10 mm Regen	552...600
8	05.08.96	4 %	Halle	18-25	19,2	20,0	23,5	sonnig, trocken	688...704

zieren und zu analysieren, um damit Unterlagen für die verbesserte Gestaltung der Nacherntetechnologie, wie Belüftung, Kühlung, Trocknung u.a., zu erhalten.

Unter Nacherntezeit wird in dieser Arbeit der Zeitraum zwischen der Ernte (dem Schneiden der grünen Pflanzen auf dem Feld) und der weiteren Bearbeitung durch Trocknen oder Verarbeiten gesehen. Es handelt sich um ein frisch geerntetes, technisch unverändertes Pflanzenmaterial. Der Zeitabschnitt ist in diesen Versuchen bis auf 72 und 80 Stunden ausgedehnt worden, um die physiologischen Reaktionen des Erntegutes deutlicher erfassen zu können; in der Praxis sollten solche Zeiträume vermieden werden.

Material und Methoden

Pflanzenmaterial

Einjähriges Bohnenkraut (*Satureja hortensis* L.), Sorte „Aromata", aus dem Feldanbau der Agrargenossenschaft e.G. Calbe (Saale), einem bekannten Produzenten im Gebiet der Magdeburger Börde, und aus Feldparzellenversuchen der Lehr- und Versuchsstation in Halle wurde für die Versuche verwendet. Es ist jeweils zum optimalen Zeitpunkt für die Gewürznutzung (≈ 5 % Anteil Stengel mit ersten Blüten) von Hand geschnitten worden. Angaben zur Herkunft des Pflanzenmaterials, des physiologischen Entwicklungszustandes und der Witterung sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Es war ausschließlich ein Schnitt von jedem Bestand möglich.

Vom frisch geschnittenen, technisch nicht behandelten Erntegut ist aus 12 zufällig ausgewählten Teilproben eine Mischprobe von 400 g gebildet worden, die innerhalb von 2–3 Stunden nach dem Schneiden in die Meß- und Lagerboxen eingefüllt wurde. Dort verblieb sie für 72 bis 80 Stunden unter unbelichteten Bedingungen bei hoher Konstanz der Klimaführung. Die gewählten Temperaturen entsprachen dabei folgenden physiologischen Bedingungen:

10 °C (±0,2 °C) – 98 % relative Luftfeuchtigkeit
verzögertes Altern (Seneszenz) durch die kalten Bedingungen,

20 °C (±0,1 °C) – 95 % relative Luftfeuchtigkeit
normal verlaufender Alterungsvorgang (Seneszenz)

30 °C (±0.2 °C) – 92–97 % relative Luftfeuchtigkeit
beschleunigtes Altern durch physiologsich überhöhte Temperarturbedingungen.

Damit sollten die verschiedenen, in der Praxis während der Sommermonate eintretenden Bedingungen nachgestellt werden. In jeder Temperaturstufe waren 2 unabhängige Meß- und Lagerboxen im Einsatz, die zugleich als unabhängige Wiederholungen im statistischem Sinne zu betrachten sind.

Atmungsmessung

Zur Ermittlung der Atmungsintensität wurden die Meßbehälter kontinuierlich von einem CO_2-freien Luftstrom in der Menge von 50 bis 80 l h^{-1} durchflossen, so daß im Ausgangsluftstrom eine genaue Ermittlung der abgegebenen Mengen von CO_2 unter den gewählten Bedingungen mit einem *Siemens Ultramat 21/21+O_2* möglich war (BÖTTCHER und GÜNTHER 1995, BÖTTCHER et al. 1999). Kühlaggregate und Heizregister sorgten für gleichbleibende Meßbedingungen.

Der temperierte Luftstrom sorgte zugleich auch für die Abführung der freiwerdenden Atmungsenergie, so daß die Produkttemperatur konstant blieb. Sobald sie nach dem Einlagern die vorgesehene Höhe erreicht hatte, begannen die kontinuierlichen Messungen. Zu festgelegten äquidistanten Zeitpunkten sind dann im Verlauf der Nachernteperiode die Meßwerte für die freigesetzten CO_2-Mengen abgelesen und gleich in W t^{-1} als typische Maßeinheit für die Atmungsintensität auf energetischer Basis umgerechnet worden (1 mg CO_2 kg^{-1} h^{-1} = 3,0287 W t^{-1}), denn die Atmung ist nicht nur ein Vorgang des Gasaustausches, wie von BANKS et al. (1995) aufgezeigt wurde, sondern auch ein Prozeß der Wärmefreisetzung (Atmungswärme). Die Maßeinheit (W t^{-1}) ist zugleich für die Auslegung der Nachernteverfahren, wie Belüften, Kühlen, Trocknen u.a., gut geeignet und angepaßt. Der Verbrauch an Sauerstoff konnte nicht mit der notwendigen Genauigkeit bestimmt werden, aber er verhielt sich äquimolar, so

daß von einem Atmungsquotienten von etwa 1 ausgegangen werden kann.

Die Temperaturabhängigkeit der Atmungsintensität wurde als Q_{10} nach folgender Formel berechnet:

$$Q_{10} = \frac{AI_{(T+10)}}{AI_T} \quad \text{optimale Werte 2,3 ... 2,5,}$$

wobei AI die Atmungsintensität und T die aktuelle Temperatur darstellen.

Frischmasseverluste und Trockenmasse

Der Frischmasseverlust ist nach Wägung zu Beginn des Versuches und nach unterschiedlichen Zeitpunkten der Lagerdauer in Masse-% bestimmt worden. Die Trockenmasse wurde nach einem Trocknen des Pflanzenmaterials bis zur Massekonstanz in einem Luftstrom von 40 °C (Verhinderung eines temperarturbedingten Entweichens der ätherischen Öle) berechnet. Der Trockenmasseverlust wurde dann in% der ursprünglichen Trockenmassse ausgedrückt.

Äußere Qualitäts- und Farbmerkmale

Sie wurden durch den visuellen Vergleich mit täglich frisch geernteten Proben gewonnen.

Statistische Auswertung

Der Einfluß der Prüffaktoren (Lagertemperatur, Lagerdauer), sowie der Faktoren Standort und jährliche Anbaubedingungen auf die Atmungsintensität ist mit Hilfe der mehrfaktoriellen Varianzanalyse geschätzt worden. Das Signifikanzniveau p wird ausgewiesen.

Die Veränderungen der Atmungsintensität im Verlauf der Lagerzeit, die zugleich den Einfluß der Seneszenz darstellen, sind durch eine nichtlineare Regressionsfunktion geschätzt worden (WARNSTORFF und DÖRFEL (1998), wofür sich die gleiche Regressionsfunktion wie für Majoran (BÖTTCHER et al. 1999) als geeignet erwies:

$$y = \alpha + \beta \cdot e^{c(t-z)} \quad (c < 0).$$

Dabei bedeuten:

- y – Atmungsintensität in W t^{-1}
- t – Nacherntezeit in h
- α – mittlere verbleibende Atmungsintensität bei relativ langer Lagerdauer in der Nacherntezeit (asymptotischer Wert)
- β – mittlere maximal mögliche, alterungsbeeinflußte Abnahme der Atmungsintensität während der Nacherntezeit
- c – Maß für die Veränderung der relativen Abnahmerate im Verlauf der Nacherntezeit (Abnahme relativ zur maximal möglichen Abnahme); c ist temperaturabhängig.
- z – Zeitdauer von der Ernte bis zum Erreichen des Gleichgewichtszustandes im Meßsystem (Beginn des Auswertungszeitraumes) in h
- a+b – mittlere Atmungsintensität zu Beginn des Auswertungszeitraumes.

Das gewählte Regressionsmodell erlaubt die Interpretation des natürlichen Verlaufes der Atmungsintensität sowohl für jeden einzelnen Versuch als auch für die Versuchsserien.

Das Bestimmtheitsmaß B ist der Anteil an der Gesamtvariabilität, der durch die geschätzte Regressionsfunktion erklärt wird (Rasch et al. 1994):

$$B = \frac{SQ_{Regression}}{SQ_y}$$

Die Varianz $SQ_{Regression}$ kann in den Versuchen keinen Wert größer als die $SQ_{Behandlung}$ erreichen, so daß in der Regressionsanalyse das Bestimmtheitsmaß unterschätzt wird (BÄTZ et al. 1987). Das versuchsbezogene Bestimmtheitsmaß ist demnach:

$$B_{korr.} = \frac{SQ_{Regression}}{SQ_{Behandlung}}$$

wobei „die Behandlung“ in diesem Fall die Nacherntezeitdauer (4, 10, 20, ... h) ist.

Ergebnisse

Atmungsintensität zum Erntezeitpunkt

Unter Bedingungen von 10 °C weist frisch geerntetes Bohnenkraut eine unerwartet hohe Atmungsintensität auf. Sie schwankte in den einzelnen Versuchen zwischen 494 und 1115 W t^{-1} (Tab. 1) und beträgt im Mittel von 8 Versuchen 696 W t^{-1}. Einen großen Einfluß auf die Variabilität der Atmungsintensität zum Erntezeitpunkt übten die Jahre, ausgedrückt durch die Witterungs- und Anbaubedingungen ($p < 0{,}001$), aus (1993 $\bar{x}$ = 682; 1994 $\bar{x}$ = 955; 1995 $\bar{x}$ = 509, 1996 $\bar{x}$ = 636 W t^{-1}). Es ist jedoch kein direkter Einfluß der Witterungsbedingungen unmittelbar zum Erntezeitpunkt (Tab. 1), sondern das Ergebnis der Umwelteinwirkung über die gesamte Entwicklungsdauer des Pflanzenbestandes. Es bestehen aber auch Einflüsse des Standortes (Calbe/Halle) ($p = 0{,}0028$) und ein geringer Wechselwirkungseffekt zwischen den Faktoren Jahres- und Standortbedingungen ($p = 0{,}0006$), denn in den ersten drei Jahren war die Atmungsintensität vom Standort Calbe jeweils höher als die von Halle.

Es konnten keine gesicherten Beziehungen der Atmungsintensität zum Erntetermin, zum Entwicklungszustand (% Stengel mit ersten Blüten) und der genutzten Trieblänge gefunden werden.

Einfluß der Temperatur auf die Atmungsintensität zum Erntezeitpunkt

Mit ansteigenden Temperaturen erhöht sich die mittlere Atmungsintensität in jedem Versuch beträchtlich (Abb. 1). Die mittlere Atmungsintensität beträgt für die Temperaturstufe von 10 °C 696, von 20 °C 1578 und von 30 °C 2536 W t^{-1}. Im Einzelfall konnten bei 30 °C Werte bis 3700 W t^{-1} gemessen werden. Der temperaturbedingte Anstieg von 10 auf 20 °C schwankte in den einzelnen Versuchen zwischen 1,9 und 2,7 (Abb. 1), der Q_{10} betrug im Mittel 2,30 (Tab. 2) und entsprach damit voll der van't Hoff'schen Regel. Von 20 auf 30 °C war

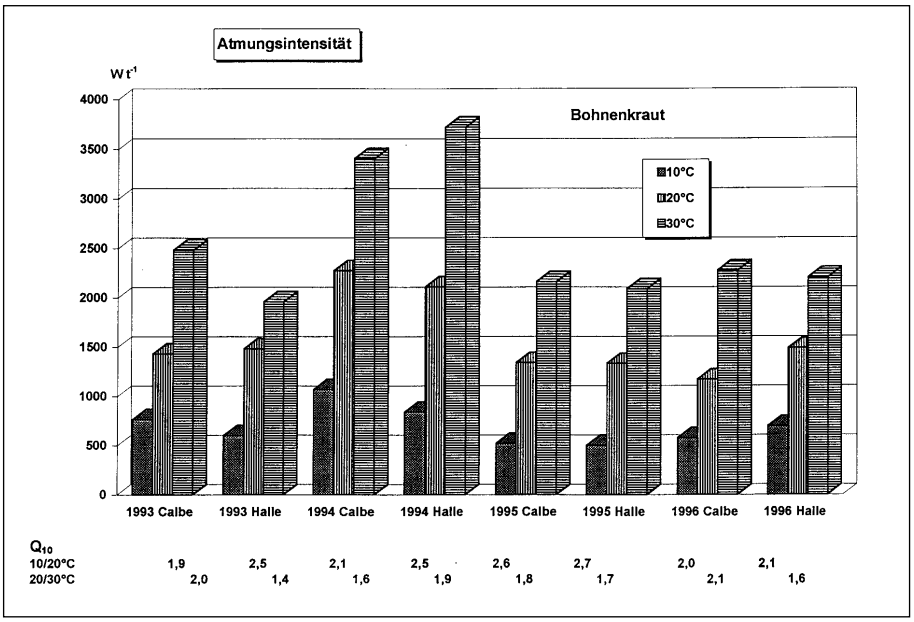


Abb. 1 Einfluß der Temperatur auf die Atmungsintensität von frisch geerntetem Bohnenkraut
Influence of temperature on the respiration rate of freshly harvested savory herbs

Tab. 2. Bestimmung des Q_{10} für die temperaturabhängige Atmungsintensität von einjährigem Bohnenkraut
Estimation of the Q_{10} of the temperature influenced respiration rate of annual savory.

Jahr	Herkunft	Serie	erntefrisches Stadium		gealtertes Stadium	
Intervall			10/20 °C	20/30 °C[1]	10/20 °C	20/30 °C[1]
1993	Calbe	1	1,87	1,98	2,64	2,57
1993	Halle	2	2,47	1,39	2,79	1,63
1994	Calbe	3	2,12	1,57	2,90	1,99
1994	Halle	4	2,51	1,87	2,16	1,50
1995	Calbe	5	2,58	1,75	1,88	2,10
1995	Halle	6	2,67	1,70	2,09	1,71
1996	Calbe	7	2,03	2,09	1,97	1,89
1996	Halle	8	2,13	1,60	1,33	1,51
$\bar{x}$			2,30	1,74	2,22	1,86

[1] Werte von 30 °C produkttemperaturbereinigt

dieser Anstieg verzögert, der Q_{10} für diesen Temperaturbereich erreichte im Mittel nur $\bar{x} = 1{,}61$. Allerdings lag bei Meßbedingungen von 30 °C die Produkttemperatur infolge verstärkter Transpiration des Pflanzenmaterials um 1 bis 2 K tiefer als die vorgegebene Solltemperatur. Bei Berechnung des Q_{10} auf dieser Basis erhöhte er sich auf 1,74 (Tab. 2, Abb. 1). Damit wird eine wärmebedingte Degression der Atmungsintensität für Bohnenkraut für Lagerbedingungen von 30 °C bestätigt.

Einfluß der Alterung auf die äußeren Qualitätsmerkmale

Welken und Vergilben bestimmen den Abbau der äußeren Qualitätsmerkmale, die für Bohnenkraut als Gewürz von entscheidender Bedeutung sind. Während bei Lagerbedingungen von 30 °C bereits nach 20 h erste Veränderungen sichtbar wurden, traten sie bei 20 °C erst nach 40 h und bei 10 °C nach 80 h ein (Tab. 3). Eine frische grüne Qualität kann bei 10 °C sogar bis zu 72 und 75 h erhalten bleiben, bei 20 °C lag diese Qualitätsgrenze bei 45 h und bei 30 °C nur bei 30 h, da hierbei auch eine deutliche Verhärtung der Stengel und Blattstiele beobachtet werden konnte (Tab. 3).

Einfluß der Alterung auf die Atmungsintensität

Trotz der hohen Atmungsintensität zum Erntezeitpunkt war diese am Ende des untersuchten Nacherntezeitraumes bis zu 80 h relativ stabil, unabhängig von der vorliegenden Temperatur (Abb. 2 bis 4). In den ersten 12 h nach der Ernte nahm sie am stärksten ab, am dritten Tag zeigte sie einen etwa gleichbleibenden Verlauf.

Der Einfluß der Dauer der Nachlagerzeit auf die Atmungsintensität wird durch folgende Regressionsgleichungen für die verschiedenen Temperaturstufen belegt:

$10\,°C \quad \hat{y} = 318{,}43 + 384{,}53 \cdot e^{-0{,}029904 \cdot (t-4)}$
$B_{korr.} = 0{,}983 \qquad s_R = 181{,}26 \qquad a + b = 702{,}96$

$20\,°C \quad \hat{y} = 822{,}83 + 729{,}55 \cdot e^{-0{,}050410 \cdot (t-4)}$
$B_{korr.} = 0{,}979 \qquad s_R = 447{,}44 \qquad a + b = 1552{,}38$

$30\,°C \quad \hat{y} = 1414{,}12 + 1038{,}40 \cdot e^{-0{,}041860 \cdot (t-4)}$
$B_{korr.} = 0{,}940 \qquad s_R = 841{,}73 \qquad a + b = 2452{,}52.$

Der etwas abweichende Verlauf des Versuchsergebnisse im Temperaturbereich von 30 °C für die Jahre 1994 und 1993 ist in Abb. 4 mit eingezeichnet.

Der Anteil der alterungsbedingten Atmungsabnahme im Verlauf von 80 h betrug bei 10 °C 49,1 %, bei 20 °C = 46,0 % und bei 30 °C 40,6 %. Am Ende der gewählten Nachlagerzeit von 70–80 h variierte die Atmungsintensität der einzelnen Versuche bei 10 °C noch zwischen 220 und 600 W t^{-1}, bei 20 °C zwischen 400 und 1650 W t^{-1} und bei 30 °C zwischen 740 und 2640 W t^{-1}.

Sowohl die Lagertemperatur ($p < 0{,}0001$) als auch die Lagerdauer während der Nacherntezeit ($p < 0{,}0001$) übten bei den 8 Versuchen einen signifi-

Tab. 3. Die Bewertung der äußeren Qualität von Bohnenkraut während der Nacherntezeit (Serie Halle 1996)
Assessment of the external quality of annual savory during postharvest period

Lagerdauer	Temperatur°C		
h	10 °C	20 °C	30 °C
20	frisch, grün	noch frisch, noch grün	minimal gewelkt, leicht hell-grün
40	frisch, grün	leichte Welke, kein Vergilben	gewelkt u. verhärtet, deutlich hellgrün
50	noch frisch u. grün	leichte Welke und Vergilbung	sehr gewelkt u. verhärtet, schwach hellgrün
60	noch frisch u. grün	welk, vergilbt	sehr gewelkt u. verhärtet, schwach gelbgrün, verblüht
70	minimal gewelkt, noch grün	deutlich welk und vergilbt	welk, deutlich eingetrocknet, gelbgrün, verblüht
80	leicht gewelkt, aufgehellt grün	ausgeprägt welk, leichte Vergilbung	sehr welk u. eingetrocknet, verhärtet, grünlich gelb, abgeblüht

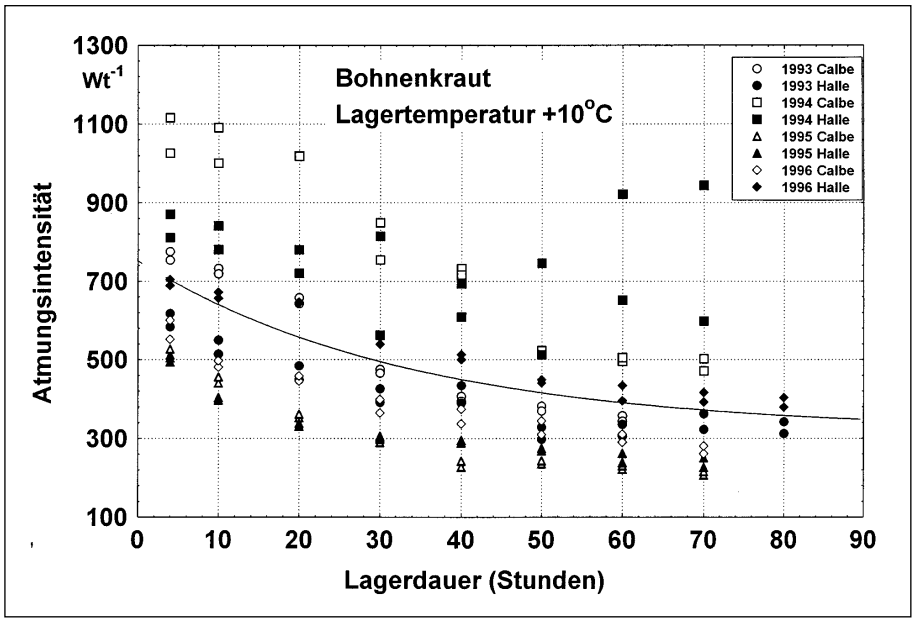


Abb. 2 Einfluß der Lagertemperatur von 10 °C auf die Atmungsintensität von Bohnenkraut während der Nacherntezeit
Effect of storage temperature of 10 °C on the postharvest respiration rate of savory herbs

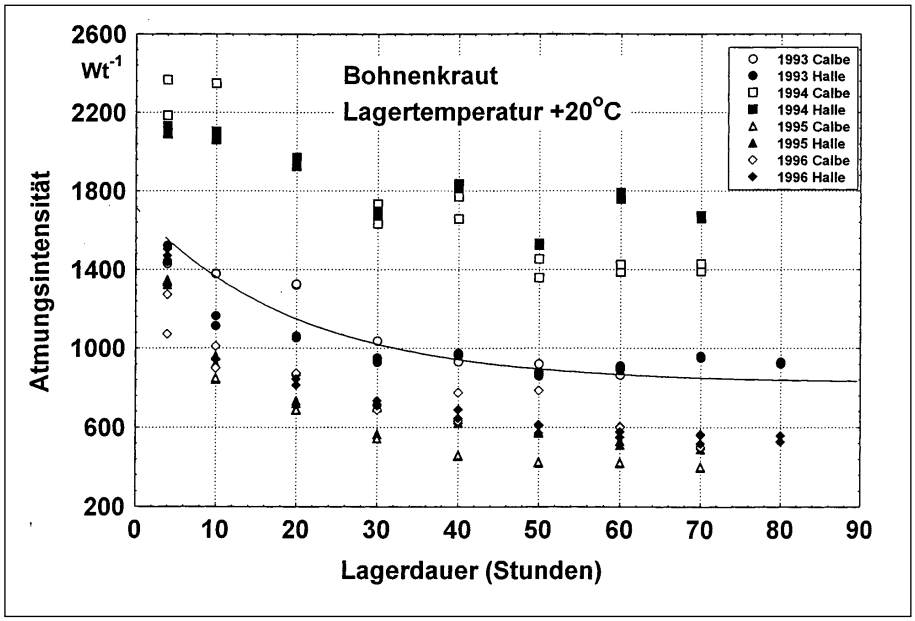


Abb. 3 Einfluß der Lagertemperatur von 20 °C auf die Atmungsintensität von Bohnenkraut während der Nacherntezeit
Effect of storage temperature of 20 °C on the postharvest respiration rate of savory herbs

kanten Einfluß auf die Atmungsintensität aus. Eine Wechselwirkung beider Prüffaktoren war nicht nachweisbar ($p = 0{,}785$).

Die spezifischen Wachstumsbedingungen der beiden untersuchten Standorte beeinflußten im vierjährigen Mittel das Atmungsverhalten deutlich, wie die Regres-

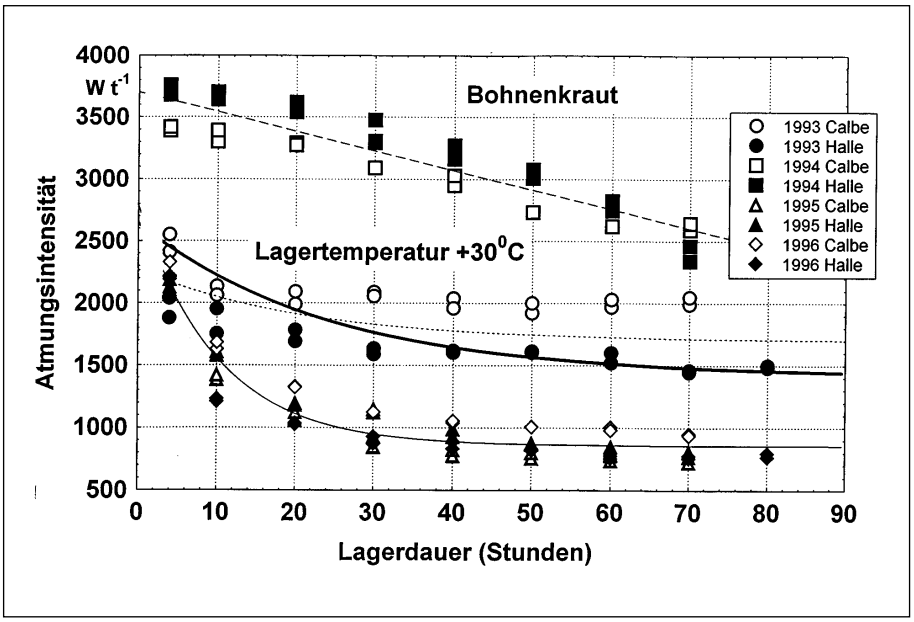


Abb. 4 Einfluß der Lagertemperatur von 30 °C auf die Atmungsintensität von Bohnenkraut während der Nacherntezeit (Verlauf: Gesamtfunktion: ——; 1994 ——; 1993: - - -)
Effect of storage temperature of 30 °C on the postharvest respiration rate of savory herbs (course:total function ——; 1994 ——; 1993: - - -)

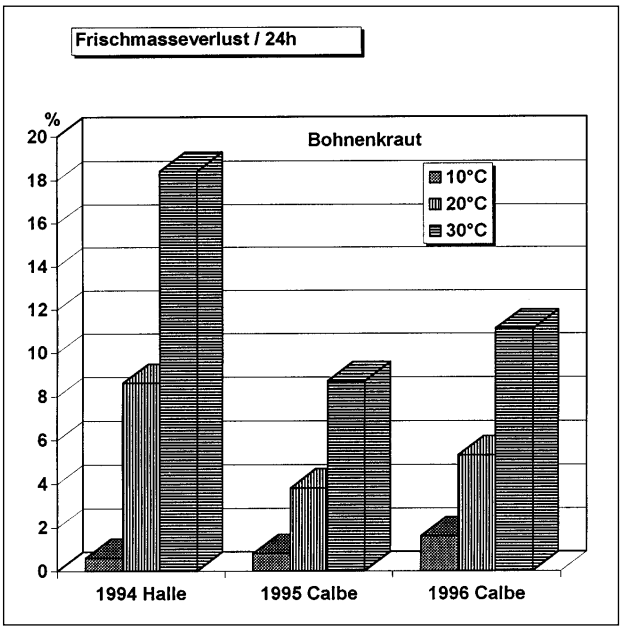


Abb. 5 Einfluß der Lagertemperatur auf die Frischmasseverluste von Bohnenkraut während der Nacherntezeit in drei typischen Versuchen
Influence of temperature on the fresh weight loss rate of savory herbs during postharvest storage for three typical trials

sionsfunktionen für die Temperaturbedingung von 10 °C belegen:

Calbe $\hat{y} = 146{,}61 + 597{,}70 \cdot e^{-0{,}020033 \cdot (t-4)}$
$a_1 + b_1 = 744{,}31$

Halle $\hat{y} = 388{,}39 + 269{,}59 \cdot e^{-0{,}036356 \cdot (t-4)}$
$a_2 + b_2 = 657{,}98.$

Das Erntegut vom Standort Calbe wies eine höhere mittlere Anfangsintensität ($a_1 + b_1$) und eine geringere verbleibende Aktivität (a_1) am Ende der Alterungsphase auf, so daß die mittlere alterungsabhängige Abnahme (b_1) an der Atmungsintensität größer als für den Standort Halle ausfiel (Calbe 80,3 %, Halle 41,0 %).

50 % der maximal möglichen Abnahme wurde bei einer Temperatur von 10 °C nach 23,5 h, bei 20 °C nach 14,5 h und bei 30 °C nach 23 h Lagerdauer erreicht.

Die eintretende Alterung des Bohnenkrautes im Verlauf von 80 h hatte keinen Einfluß auf die temperaturabgestufte Atmungsintensität, ausgedrückt durch den Q_{10} (Tab. 2). Zwar unterliegt der ermittelte Quotient in den einzelnen Versuchen naturgegeben gewissen Schwankungen, aber im Mittel wird die van't Hoff'sche Regel für die Spanne von 10/20 °C mit 2,22 voll eingehalten, ebenso bleibt die temperaturbedingte Degression für den Bereich 20/30 °C mit 1,86 bestehen, vergrößert sich aber auch nicht (Tab. 2).

Frischmasseverlust

Frisch geerntetes Bohnenkraut ist neben der beachtlichen Atmungsintensität auch durch eine hohe Transpirationsneigung gekennzeichnet, wie die Frischmasseverluste von 3 ausgewählten typischen Versuchen in Abb. 5 belegen. Bei Bedingungen von 10 °C traten im Mittel von 8 Versuchen 1,65 % Frischmasseverlust in 24 h ein, bei 20 °C war der Mittelwert 7,04 % und bei 30 °C 14,1 %.

Trockenmasseverlust

Der Trockenmassegehalt schwankte im Bohnenkraut zwischen 18,2 und 27,9 % (Tab. 1). Bei Lagerbedingungen von 10 °C traten, bedingt durch die ablaufende Atmung, Verluste an Trockenmasse zwischen 1,09 und 1,53 % im Laufe von 24 h ein, der Mittelwert lag bei 1,31 % je Tag. Diese Verluste waren deutlich temperaturabhängig. Ein Aufbewahren bei 20 °C führte im Mittel zu 3,03 % und ein solches bei 30 °C zu 5,46 % ($p = 0{,}008$).

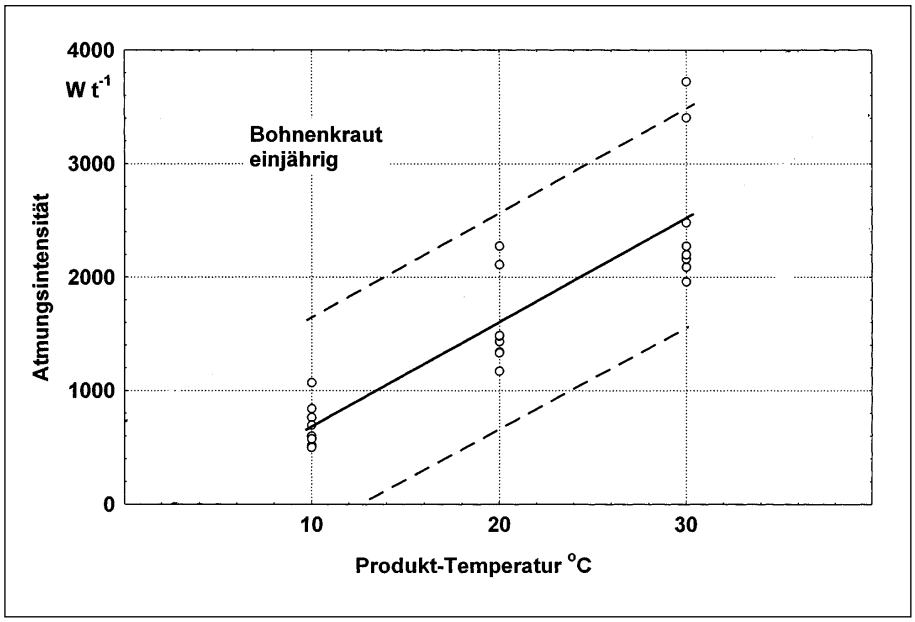


Abb. 6 Vorhersageintervall für die Atmungsintensität von frisch geschnittenem Bohnenkraut in Beziehung zur Produkt-Temperatur
Confidence interval for individual predicted values of the respiration rate of freshly cut savory herbs in relation to product temperature

Diskussion

Im Feldanbau gewachsenes und zum optimalen Nutzungstermin (≈ 5 % Stengel mit ersten geöffneten Blüten) geerntetes Bohnenkraut zeichnete sich durch eine unerwartet hohe Atmungsintensität aus (10 °C: 696 W t^{-1}). Sie übersteigt damit die Werte jener Gemüsearten, die für ihre sehr hohe Atmungsintensität bekannt sind (HANSEN 1996, RYALL und LIPTON 1983, BÖTTCHER 1996), um das zwei- bis dreifache bei Bedingungen von z.B. 10 °C: Petersilienblätter (235 W t^{-1}), Grünkohl (310 W t^{-1}) und Brokkoli (350 W t^{-1}). Die Ursache für diese hohe Aktivität ist im zarten und feingegliederten Aufbau der Pflanzen, in ihrer intensiven Stoffwechselaktivität während des Blühverlaufes und den warmen hochsommerlichen Wachstumsbedingungen in den Monaten Juni und Juli zu suchen. Die Aktivität des Bohnenkrautes liegt sogar noch 10 % höher als die unter gleichen Bedingungen gemessenen Werte für Majoran (632 W t^{-1}) (BÖTTCHER et al. 1999). Dieser geringfügig höhere Meßwert vom Bohnenkraut könnte mit dem geringeren Verholzungsgrad seiner Stengel im Vergleich zum Majoran und dem damit gegebenen größeren Anteil physiologisch aktiven Gewebes zusammenhängen.

Ebenso überraschend ist auch die Stabilität des Atmungsstoffwechsels während der Nacherntezeit bis 72 und 80 h. Selbst unter den Bedingungen von 30 °C erfolgte in diesem Zeitraum bei einer mittleren Aktivität der Atmung von 1478 W t^{-1} trotz der eingetretenen Welkeerscheinungen, genau wie beim Majoran (BÖTTCHER et at. 1999), noch kein Zusammenbruch der Atmung. Dies begründet die Einführung eines alterungsunabhängigen Anteiles der Atmung a in das Regressionsmodell zur Charakterisierung des Verlaufes des Alterungsprozesses der Atmung leicht verderblicher Pflanzenarten. Dies bekräftigt auch die Tatsache, daß zwischen der 50. und 80. Stunde bei den verschiedenen Temperaturstufen nur noch eine sehr geringe Abnahme der Atmungsintensität im Mittel der Versuche eintritt: 10 °C um 57,5, 20 °C um 56,0 und 30 °C um 108,3 W t^{-1}. Die alterungsbedingte Degression bezieht sich dann nur auf den Anteil b. Der Einflußfaktor t berücksichtigt das physiologische Alter der Nacherntezeit in Stunden (h) ab dem Schnittzeitpunkt. Die notwendige zeitliche Angleichung der physiologischen Entwicklung wird durch die Konstante z sichergestellt. Dieses Regressionsmodell $\hat{y} = a + b \cdot e^{c \cdot t}$ ($c < 0$) ist auch von BRASH et al. (1995) zur Beschreibung der Veränderungen der Atmung von Spargel während der Nacherntelagerung bei verschiedenen Temperaturstufen herangezogen worden.

Eine relativ gute Erhaltung der grünen Farbe des Frischegrades von Bohnenkraut wird vor allem durch niedrige Lagertemperaturen von 10 °C erreicht, bei 30 °C ist dies nur bis 30 h möglich.

Die ausgewiesenen Ergebnisse belegen zugleich die Notwendigkeit einer abgestimmten Nacherntebehandlung in Form von Belüften, Kühlen oder anderen Maßnahmen, um die freigesetzte Wärmeenergie abzuführen und den qualitativen Abbau einzuschränken. Das Vorhersageintervall ist für die Atmungsintensität aus den Mittelwerten der einzelnen Versuche für die erntefrischen Proben geschätzt und als Nomogramm in Abb. 6 dargestellt worden, das als Grundlage für die erforderlichen Berechnungen und Abschätzungen, auch für den Trocknungsvorgang beim Verarbeiten, notwendig ist.

Für die technische Unterstützung bei der Betreuung der Lager- und Meßeinrichtungen danken wir Herrn Gert Scharf besonders.

Literatur

AHARONI, N., O. DVIR, D. CHALUPOWISZ und Z. AHARON 1993: Coping with postharvest physiology of fresh culinary herbs. Acta Horticulturae **344**, 69–78.

BÄTZ, G., H. DÖRFEL, A. FUCHS und E. THOMAS 1987: Einführung in die Methodik des Feldversuchs. Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin.

BANKS, N. H., D. J. CLELAND, A. C. CARMERON, R. M. BEAUDRY und A. A. KADER 1995: Proposal for a

rationalized system of units for postharvest research in gas exchange. HortScience **30**, 1129–1131.
BÖTTCHER, H. 1996. Frischhaltung und Lagerung von Gemüse. Ulmer-Verlag, Stuttgart S. 14–22
BÖTTCHER, H. und I. GÜNTHER 1995: Nacherntеverhalten und Nacherntephysiologie von Arznei- und Gewürzpflanzen. Herba Germanica **3**, 47–66.
BÖTTCHER, H., I. GÜNTHER und U. BAUERMANN (1999): Physiological postharvest responses of marjoram (Majorana hortensis Moench). Postharvest Biology and Technology **15**, 41–52.
BRASH, D. W., Ch. M. CHARLES, S. WRIGHT and B. L. BYCROFT 1995: Shelf-life of stored asparagus is strongly related to postharvest respiratory activity. Postharvest Biology and Technology **5**, 77–81.
CANTWELL, M. J. and M. S. REID 1993: Postharvest physiology and handling of fresh culinary herbs. Journal of Herbs, Spices and Medicinal Plants **1**, 83–127.
HANSEN, H. 1967: Spezifische Wärme und Atmungswärme von Gemüse. DKV-Arbeitsblatt 8–22, Kältetechnik, Karlsruhe, **19**, H. 3
KAYS, ST. J. 1991: Postharvest Physiology of Perishable Plant Products. Van Nostrand-Reinhold, New York.
RASCH, D., M. L. TIKU und D. SUMPF 1994: Elsevier's Dictionary of Biometry. Elsevier Amsterdam.
RYALL, A. L. and W. J. LIPTON 1983: Handling, Transportation and Storage of Fruits and Vegetables. Vol. 1 Vegetables and Melons, 2nd ed. AVI, Westport.
WARNSTORFF, K. und H. DÖRFEL 1998: Anwendung nichtlinearer Wachstumsfunktionen. Journal of Agronomy and Crop Science, **182**, 259–271.

Eingegangen: 25.1.1999/9.3.1999

Anschrift der Verfasser: Prof. Dr. H. Böttcher, Ingeborg Günther, Institut für Tierernährung und Vorratshaltung der Landwirtschaftlichen Fakultät Halle, Emil Abderhalden-Str. 26, D-06108 Halle (Saale), Dr. Kristina Warnstorff, Arbeitsgruppe Biometrie und Agrarinformatik, D-06099 Halle (Saale).