Gartenbauwissenschaft, **67** (6). S. 234–242, 2002, ISSN 0016–478X. © Verlag Eugen Ulmer GmbH & Co., Stuttgart

Physiologisches Nacherntеverhalten von Liebstöckel-Kraut (*Levisticum officinale* W.D.J. Koch)

Physiological Postharvest Response of Lovage (*Levisticum officinale* W. D. J. Koch) Herbs

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

Zusammenfassung

Frisch geerntetes Liebstöckel-Kraut (*Levisticum officinale* W.D.J. Koch) ist durch eine beachtliche Atmungsintensität gekennzeichnet, die im Mittel von vier Versuchen bei 10 °C 322 ± 28 W t^{-1}, bei 20 °C 792 ± 92 W t^{-1} und bei 30 °C 1409 ± 155 W t^{-1} erreichte. Diese Werte waren auch während der Nacherntezeit von 70 h relativ stabil, denn ein altersbedingter Rückgang trat nur bei 20 °C um 13,4 % und bei 30 °C um 17,6 % bezogen auf die Rate zum Erntezeitpunkt ein. Liebstöckel-Kraut zeigte während der Nacherntezeit einen besonderen Verlauf der Atmung. Unmittelbar nach der Ernte war – wie bei allen bisher untersuchten Arten – ein steiler Rückgang von der 4. bis zur 10. Stunde um bis zu 38,1 W t^{-1} h^{-1} (30 °C) bestimmt worden. Dann folgte unmittelbar ein steiler Anstieg bis zu einem Maximum in der 38. bis 49. h, um dann wieder einen altersbedingten exponentiell fallenden Verlauf einzuleiten (Abnahme um 315 W t^{-1} bei 30 °C in 32 h im Mittel von 4 Versuchen). Es wird ein Umschalten auf einen alternativen Atmungsweg vermutet. In physiologisch jüngeren Pflanzen (Versuch 3) konnte kein zwischenzeitlicher Anstieg bei 10 °C nachgewiesen werden. Das für Liebstöckel-Kraut typische Verhalten der Atmung führte auch zu Verlusten an Frisch- und Trockenmasse und zum Abbau der äußeren Qualitätsmerkmale während einer Nacherntezeit von 80 h. Schnell einsetzende und häufige Belüftung nach der Ernte zur Abführung der frei gesetzten Atmungswärme sichert die Qualität zuverlässig.

Summary

Freshly harvested lovage (*Levisticum officinale* W.D.J. Koch) herbs are characterized by noticeabile respiration rates, amounting to 322 ± 28 W t^{-1} at 10 °C, to 792 ± 92 W t^{-1} at 20 °C und to 1409 ± 155 W t^{-1} at 30 °C on average of four trials. These levels were maintained thoughout a postharvest period of 70 h. Only a small senescence-related decline occurred during this period, at 20 °C by 13.4 % and at 30 °C by 17.6 % of their initial rate at each temperature level. Lovage herbs showed a special intermediate increase and decrease of the course of respiration during postharvest time. Immediately after harvest a sharp decline from 4th to 10th h was estimated up to 38.1 W t^{-1} h^{-1} (30 °C) like other proofed species. After that follows a steep increase to a maximum at 38th to 49th h after harvest, presumeable caused by a switch in a alternative respiration chain. After passing the maximum, the course of respiration changed again to a senescence-caused exponential dropping course (decrease by 313.8 W t^{-1} at 30 °C during 32 h, on average of four trials). In physiological younger herbs (trial 3) no intermediate increase in respiration could be found at 10 °C. The typical respiration response of lovage was responsible for the losses in fresh and dry matter and for the dropping of the external quality traits during a postharvest period of 80 h. Quickly started and frequent ventilating after harvest for leading off the released respiration heat maintained the quality surely.

Einleitung

Eine gute und sachgerechte Nacherntebehandlung ist ein entscheidender Baustein zur Erhaltung der Qualität von Liebstöckel-Kraut. Über die physiologischen Reaktionen von Liebstöckel-Kraut nach der Ernte ist aber nur wenig bekannt (AHARONI et al. 1993; CANTWELL und REID 1993), lediglich BÖTTCHER und GÜNTHER (1995) benannten erste Parameter zur physiologischen Aktivität. Obwohl dieses Gewürzkraut als Pflanze in vollem Blattwachstum genutzt wird, konnte eine beachtliche Atmungsintensität von 350 bis 390 W t^{-1} bei einer Temperatur von 10 °C an lagerndem frischem Erntegut (8. bis 42. Stunde nach der Ernte) ermittelt werden. Trotzdem zeigten die physiologisch bedingten Verluste nur niedrige Raten von 2,0 % an Frischmasse und 1,2 % an Trockenmasse in 24 h, die vergleichsweise niedrig zu anderen Pflanzenarten liegen. Während für die bisher untersuchten Arznei- und Gewürzpflanzen (Majoran, Zitronenmelisse, Thymian, Bohnenkraut, Kamillenblüten) stets ein „negativ exponentiell fallender Verlauf“ für die Atmungsaktivität während der Nacherntezeit in Abhängigkeit von der Lagerdauer (x in h) entsprechend der Regressionsfunktion $\hat{y} = a + b \cdot e^{c(x-z)}$ ($c < 0$) typisch war (BÖTTCHER et al. 1999a, 2000a, b, 2001a, b), wurde für Liebstöckel-Kraut in einem Vorversuch ein abweichendes Verhalten mit einem zwischenzeitlichen Anstieg der Atmungsintensität in der Zeit nach der Ernte beobachtet. Dies gab den Anlaß zur Anlage von 4 unabhängigen Versuchen zum Nacherntеverhalten dieser Pflanzenart.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, das Stoffwechselverhalten von Liebstöckel-Kraut aus dem Feldanbau

während der Nacherntezeit in Abhängigkeit von der Temperatur, bei der die Pflanzen lagerten, und der Lagerdauer nach der Ernte zu quantifizieren, um damit die Voraussetzungen zur Berechnung und Optimierung der nacherntetechnologischen Behandlungsmaßnahmen, wie Belüften, Kühlen u.a. zu gewinnen.

Ebenso wie für alle bisher untersuchten Arznei- und Gewürzpflanzen wird unter Nacherntezeit in dieser Arbeit der Zeitraum zwischen der unmittelbaren Ernte (dem Schneiden der grünen Pflanzen auf dem Felde) und dem Beginn ihrer weiteren Bearbeitung durch Trocknen und Verarbeiten verstanden, der bis zu 70–80 Stunden ausgedehnt wurde, um die Veränderungen klarer erfassen zu können. In der Praxis sollte die Bearbeitung jedoch sehr viel schneller erfolgen.

Material und Methoden

Pflanzenmaterial

Die Liebstöckel-Pflanzen (*Levisticum officinale* W.D.J. Koch) für die Lagerversuche und Qualitätsbestimmung stammten aus dem Feldanbau der Lehr- und Versuchsstation in Halle. Der Standort mit leichtem Lößlehm liegt im klimatisch und bodenstandortlich günstigen Anbaugebiet für Gewürzpflanzen in Mitteldeutschland (Lehr- und Versuchsstation der Landw. Fakultät Halle, Julius-Kühn-Feld). Das Ernten der Pflanzen erfolgte durch manuelles Schneiden vormittags im Stadium des voll entwickelten Blattwachstums vor Ansetzen der Blütenansätze, was allgemein als der optimale Zeitpunkt für die Gewürzgewinnung gilt. Analog zur mechanisierten Ernte sind jeweils Blattspreiten mit Blattstielen für die Versuche gewonnen worden. Das Erntematerial konnte für alle vier Versuche in den einzelnen Jahren aus dem gleichen Pflanzenbestand gewonnen werden, da er zur mehrjährigen Nutzung angelegt war. Der Entwicklungszustand des Erntegutes und die Erntebedingungen für die vier durchgeführten Versuche sind in Tab. 1 zusammengestellt.

Das frisch geschnittene, sonst technisch unbehandelte Erntegut ist aus zufällig entnommenen Einzelproben zu Mischproben von 400 g Masse aufgeteilt worden, die in die Meß- und Lagergefäße eingefüllt worden sind. Darin verblieben sie für 70 bis 80 h im unbelichteten Zustand. Sechs separate Lager- und Meßboxen liefen immer gleichzeitig parallel bei vorgegebener Meßtemperatur.

Mit den gewählten Temperaturstufen und Feuchtigkeitsgehalten sollten folgende physiologische Bedingungen simuliert werden:

- verzögerte Seneszenz durch die kalten Bedingungen 10 (±0,2) °C, ≈98 % relative Luftfeuchtigkeit
- normal verlaufende Seneszenz 20 (±0,1) °C, ≈95 % relative Luftfeuchtigkeit
- beschleunigte Seneszenz durch physiologisch erhöhte Temperatur 30 (±0,2) °C, ≈92–97 % relativer Luftfeuchtigkeit.

Damit sollten die in der Praxis anzutreffenden unterschiedlichen Ernte- und Lagerbedingungen erfaßt werden. Bei jeder Temperaturstufe waren zwei unabhängige Meß- und Lagergefäße im Einsatz, so daß zwei statistische Wiederholungen gegeben waren (n=2).

Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau gestaltete sich bei allen 4 Versuchen gleichartig:

- Prüffaktor A: jährliche Anbaubedingungen: 4 Versuche in 3 Jahren (Tab. 1)
- Prüffaktor B: Nacherntetemperatur: 10, 20, 30 °C
- Prüffaktor C: Lagerdauer während der Nacherntezeit: 4, 10, 20, 30 … 80 Stunden
- Wiederholungen: n=2.

Messung der Atmungsintensität

Die geernteten Pflanzenproben, die innerhalb von 1 h in die Meß- und Lagerboxen eingefüllt wurden, sind sofort auf die vorgesehene Temperatur eingestellt und mit CO_2-freier Außenluft (60 … 80 l h^{-1}) kontinuierlich belüftet worden. Dadurch sollten das gebildete CO_2 und die entstandene Atmungswärme kontinuierlich abgeführt werden. Die technische Ausrüstung ist ausführlich bei BÖTTCHER et al. (1999b) beschrieben und die technischen Besonderheiten in weiteren Arbeiten dargestellt worden (BÖTTCHER und GÜNTHER 1995; BÖTTCHER et al. 1999a). Die freigesetzte Mengen an CO_2 sind fortlaufend in der Abluft mit einem Meßgerät Siemens Ultramat 21/21+O2 gemessen und registriert worden. Im äquidistanten Abstand sind die Meßwerte im Verlauf der Nachernteperiode abgegriffen und gleich in die typische energetische Maßeinheit für die Atmung in W t^{-1} [Watt · Tonne^{-1}] umgerechnet worden (BÖTTCHER et al. 1999a, 2001b). Dieses Energiemaß ist gleichzeitig für die Auslegung weiterer Nacherntebehandlungsschritte, wie Belüften, Kühlen, Trocknen u.a. gut geeignet und angepaßt. Der Verbrauch an Sauerstoff konnte in der vorhandenen Anlage nicht mit der erforderlichen Genauigkeit bestimmt werden, er verhielt sich jedoch etwa äquimolar, so daß von einem Atmungsquotienten von etwa 1 ausgegangen werden kann.

Tab. 1. Charakterisierung des Erntegutes Liebstöckel-Kraut und seine anfänglichen Atmungsintensität bei Meßbedingungen von 10 °C

Characterization of plant crops (Lovage Herbs) and their initial respiration heat release at measurement conditions of 10 °C

Versuchs-Nr.	Standjahr	Schnitt	Erntedatum	Entwicklungszustand	Standort	genutzte Blattlänge (in cm)	Trockenmasse (%)	Temperatur Luft (°C)	Temperatur Produkt (°C)	Klima während der Ernte	Atmungsintensität (W t^{-1})
1	1	1	09.08.93	grüne Blätter	Halle	31–40	13,5	28	22	warm, bedeckt	322 … 332
2	2	1	27.06.94	grüne Blätter	Halle	32–52	13,6	32	26	sehr warm, sonnig	358 … 366
3	3	1	12.05.95	grüne Blätter	Halle	28–42	11,9	13,1	12,6	trüb, kühl	298 … 306
4	3	2	03.07.95	grüne Blätter	Halle	30–43	15,2	24,0	20,4	nach Gewitternacht, warm, teils sonnig	285 … 314

Die Temperaturangleichung des Erntegutes und der Aufbau des notwendigen Gleichgewichtes im Meßsystem waren innerhalb von 4 h (Konstante „z" der Funktion) erreicht, so daß ab diesem Zeitpunkt relevante Ergebnisse vorlagen.

Die Temperaturabhängigkeit der physiologischen Prozesse von pflanzlichen Produkten wird üblicherweise durch den Q_{10}-Wert beschrieben (BÖTTCHER und GÜNTHER 1999; BÖTTCHER et al. 1999a, 2000a).

Veränderungen der Frisch- und Trockenmasse

Die Bestimmung des Trockenmassegehaltes (Warmluftstrom von 80 bis 90 °C) sowie der Verluste an Frisch- und Trockenmasse erfolgten an Hand von Bilanzberechnungen entsprechend der Beschreibung für andere Pflanzen (BÖTTCHER und GÜNTHER 2001a, 2002a).

Bewertung der äußeren Qualitätsmerkmale

Für bestimmte Verwendungszwecke der pflanzlichen Drogen (Trockengewürz, Speisezutat u.a.) sind die äußeren Qualitätsmerkmale von großer Bedeutung. Daher wurden Farbe, Konsistenz, Erscheinung,Vergilbung und Welke durch unmittelbaren visuellen Vergleich der lagernden Proben mit täglich frisch vom Feld gezogenen Pflanzen bestimmt.

Statistische Auswertung

Die Bearbeitung der Meßergebnisse erfolgte
- durch Berechnen von Mittelwerten und der zugehörigen Standardabweichung *s*,
- durch Schätzen des Einflusses verschiedener Faktoren auf die Merkmale (Atmungsintensität, Masseverluste) durch mehrfaktorielle Varianzanalyse
- durch Schätzen der Abhängigkeit des Merkmals Atmungsintensität von der Lagerdauer je Temperaturstufe mit Hilfe exponentieller Regressionsfunktionen $\hat{y} = a + b \cdot e^{c(x-z)}$ ($c < 0$). Dabei ist x = Lagerdauer [h], z = Zeitpunkt [h] des Erreichens des Gleichgewichtszustandes im Meßsystem. (Statistica für windows 5.5)

Der Anteil der Gesamtvariablität, der durch die geschätzte Regressionsfunktion erklärt werden kann, wurde durch das versuchsbezogene Bestimmtheitsmaß $B_{korr.}$ (BÄTZ et al. 1987; RASCH et al. 1994) charakterisiert:

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

Ergebnisse

Atmungsintensität zum Erntezeitpunkt

Bei einer Temperatur von 10 °C, die häufig zu physiologischen Vergleichszwecken herangezogen wird, weist frisch geerntetes Liebstöckel-Kraut eine beachtliche Atmungsintensität auf. Diese schwankte in den Einzelmessungen zwischen 285 und 366 W t^{-1} und erreichte im Mittel der vier Versuche $\bar{x} = 322{,}6 \pm 28{,}3$ W t^{-1}. Dabei ist ein schwacher Einfluß der Umwelteinwirkung über die Gesamtentwicklungsdauer des Bestandes, nicht aber des Standjahres des Bestandes zu beobachten.

Mit Ansteigen der Temperatur zum Erntezeitpunkt erhöht sich auch die mittlere Atmungsintensität. Bei einer Temperatur von 20 °C wurden $792{,}4 \pm 92{,}1$ W t^{-1} und bei 30 °C $1408{,}8 \pm 155{,}7$ W t^{-1} gemessen (Abb. 1).

Bei einer Erhöhung der Temperatur von 10 auf 20 °C wird für den Q_{10} ein Mittelwert von 2,46 (2,26 … 2,61) erreicht, was im Vergleich zu anderen Pflanzenarten als normal anzusehen ist. Bei weiterer Anhebung der Temperatur von 20 auf 30 °C ist bereits eine deutliche wärmebedingte Depression in der Atmungsintensität erkennbar, denn der Mittelwert für den Q_{10} liegt nur noch bei $\bar{x} = 1{,}79$ (1,67 … 1,82). Berücksichtigt man die bei 30 °C erhöhte Transpiration des Pflanzenmaterials und die damit verbundene Absenkung der Solltemperatur um 1 bis 1,6 K (BÖTTCHER und GÜNTHER 1995, BÖTTCHER et al 2000b), erhöht sich der Mittelwert auf $\bar{x} = 1{,}85$.

Einfluß der Lagerung auf die äußeren Qualitätsmerkmale

Der Rückgang der Qualität der lagernden Liebstöckel-Pflanzen wird durch die Transpiration von Zellwasser (Welke) und den Abbau von Chlorophyll (Vergilbung) (Tab. 2) verursacht. Er ist in hohem Maße von der Produkttemperatur und der Lagerdauer abhängig. Eine „gute Qualität" kann nach Tab. 2 bei Bedingungen von 10 °C bis zu 70 h, von 20 °C bis zu 60 h und von 30 °C bis zu 30 h erhalten werden. Soll den äußeren Qualitätsmerkmalen eine hohe Bedeutung beigemessen werden (z.B. als Frischkraut), muß die Produkttemperatur möglichst weit unter 10 °C eingestellt werden.

Einfluß der Lagerung auf die Atmungsintensität

Unterzieht man alle vorliegenden Meßwerte von erntefrischen und gelagerten Liebstöckel-Proben einer Varianzanalyse (Tab. 3), fällt erwartungsgemäß ein dominierender Einfluß der Lagertemperatur in Wechselwirkung mit dem Einfluß der jährlichen Witterungs- und Anbaubedingungen (A x B) auf. Diese jährlichen Bedingungen (A) sind sogar als Hauptwirkung gesichert, obwohl die Differenz zwischen den beiden am weitesten auseinanderliegenden Versuchsmittelwerten der Atmungsintensität bei 10 °C zum Erntezeitpunkt nur 63 W t^{-1} beträgt. Während keine Wechselwirkung von C (B) (Lagerdauer innerhalb der Temperaturstufen) mit den Witterungs- und Anbaubedingungen nachgewiesen werden kann, ist die Wirkung der Lagerdauer innerhalb der Temperaturstufen im Mittel der Versuche C (B) schwach signifikant (Tab. 3). Dies deutet bereits an, daß bei Liebstöckel- Pflanzen im Gegensatz zu anderen untersuchten Arten (Salbei, Zitronenmelisse, Kamillenblüten, Wermut) kein ausgeprägter Rückgang der Atmungsintensität mit der Lagerdauer im beobachteten Zeitraum vorzuliegen scheint. Dies belegen auch die aufgetragenen Mittelwerte der Atmung je Untersuchungszeitpunkt für alle Versuche in Abb. 2 sehr deutlich. In allen vier Versuchen (z.B. bei 30 °C) ist ein zwischenzeitlicher Anstieg der Atmungsintensität gegeben.

Nach dem Erntezeitpunkt tritt zuerst – wie bei allen anderen Arten – ein Abfall der Intensität, danach ein starker Anstieg und anschließend ein alterungsbedingter Rückgang ein. Daher ist es erforderlich, den scharfen Knick im Verlauf der Funktion, der nach 10 Stunden Lagerung nach der Ernte eintritt, durch getrennte

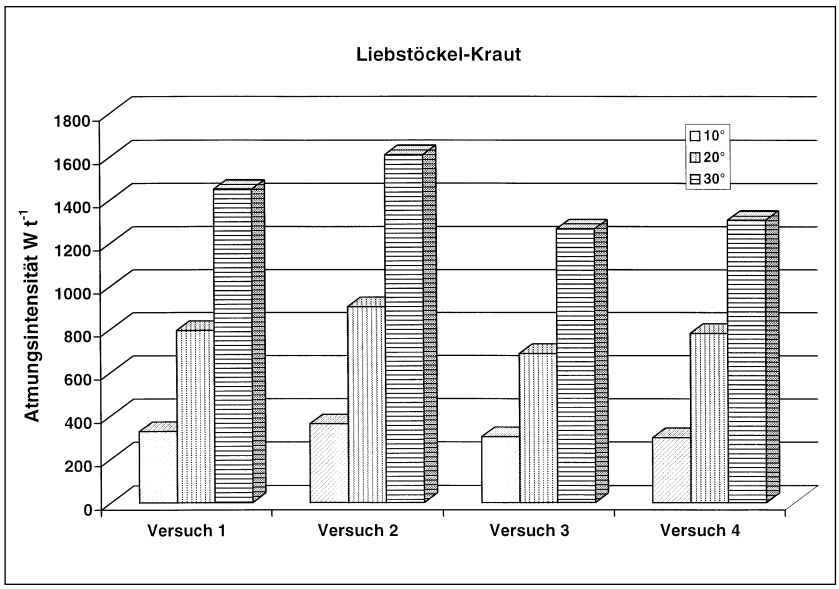


Abb. 1. Einfluß der Temperatur auf die Atmungsintensität von frisch geernteten Liebstöckel-Pflanzen.
Influence of temperature on the respiration rate of freshly harvested lovage herbs.

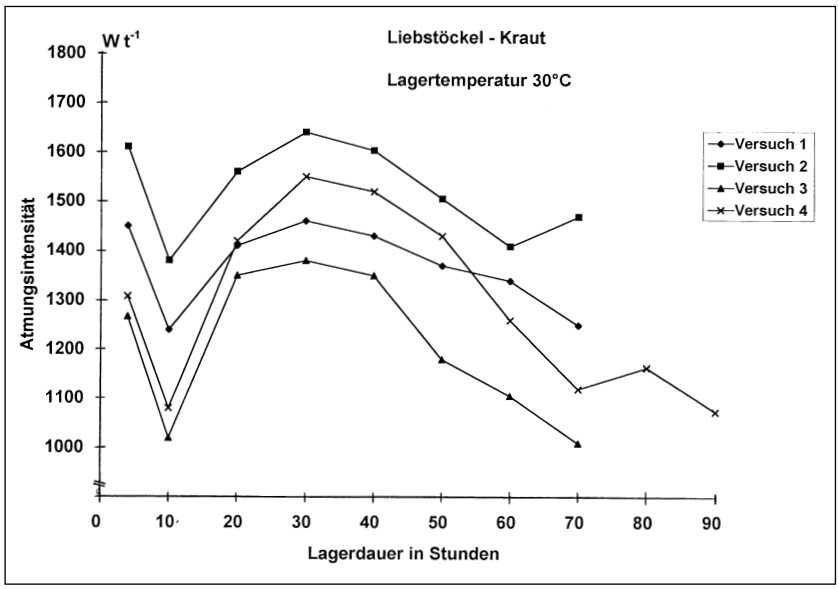


Abb. 2. Einzelmeßpunkte für die Atmungsintensität von Liebstöckel-Kraut in Abhängigkeit von der Lagerdauer bei Nacherntebedingungen von 30 °C.
Single measurement points for the respiration rates of lovage herbs in dependence of storage time at postharvest conditions of 30 °C.

Schätzung und Beschreibung des Verlaufes der Atmungsintensität in zwei abgegrenzten Abschnitten der Nacherntezeit zu schätzen. Offenbar interferieren im Stoffwechsel des Liebstöckel-Krautes zu diesem Zeitpunkt zwei verschiedene Prozesse in der Atmung.

Die geschätzten Regressionsfunktionen für die beiden ermittelten Abschnitte der Lagerdauer je Temperaturstufe sind in Tab. 4 mit den zugehörigen Parametern zusammengestellt und in Abb. 3–5 aufgezeichnet.

Im *ersten* untersuchten Abschnitt der Nacherntezeit, von der 4. bis zur 20. h nach der Ernte, ist unter allen Bedingungen einheitlich ein steiler Rückgang der Atmungsintensität (Tab. 4; Abb. 3–5) entsprechend einer linearen Funktion gegeben:

$$\hat{y} = a_1 + b_1(x - z), \; (b_1 < 0) \qquad (1)$$

x = Lagerdauer nach Erntezeitpunkt [h]
z = Zeitpunkt des Gleichgewichts im Meßsystem für Temperatur und Gaszusammensetzung [h]
y = Atmungsintensität [W t^{-1}]

Dieser ist aber stark temperaturabhängig, denn er beträgt, ausgedrückt durch den Regressionskoeffizienten b_1, bei

10 °C −5,02 W t^{-1} h^{-1}
20 °C −20,86 W t^{-1} h^{-1}
30 °C −38,12 W t^{-1} h^{-1}

Im zweiten Abschnitt der Nacherntezeit ist ein differenziertes Verhalten gegeben. In den Versuchen 1, 2 und 4 steigt die Atmungsintensität nach der 10. h überraschend stark an, um dann nach Durchlaufen eines Maximums, das in seiner Höhe etwa dem Mittelwert zum Erntezeitpunkt entspricht oder diesen sogar überschreitet, deutlich abzufallen. Dieser letzte Rückgang ist auf eine physiologische Alterung der Blattorgane zurückzuführen. Dieses Gesamtverhalten läßt sich für diese drei Versuche durch quadratische Funktionen vom Typ

$$\hat{y} = a_2 + b_2(x - z) + b_{22}(x - z)^2 \qquad (2)$$

x = Lagerdauer nach Erntezeitpunkt in [h]
z = Zeitpunkt des Gleichgewichtes im Meßsystem für Temperatur und Gaszusammensetzung [h]
y = Atmungsintensität in [W t^{-1}]

beschreiben. Dabei gibt es wieder einen ausgeprägten Temperatureinfluß. Mit steigender Temperatur verkürzt sich die Zeit bis zum Erreichen des Maximum und gleichzeitig wird das Ausmaß des Anstieges immer größer (Tab. 4; Abb. 3–5):

10 °C: Maximum nach 49,0 h, Zunahme bis zum Maximum +41,53 W t^{-1}
20 °C: Maximum nach 38,9 h, Zunahme bis zum Maximum +85,18 W t^{-1}
30 °C: Maximum nach 38,0 h, Zunahme bis zum Maximum +240,45 W t^{-1}

Eine ähnliche temperaturabhängige Reaktion trifft auch für die alterungsbedingte Abnahme nach Überschreiten des Maximum zu (Tab. 4; Abb. 3–5):

Tab. 2. Bewertung der äußeren Qualität von Liebstöckel-Kraut während der Nacherntezeit (Versuch 3, gekürzte Fassung).
Assessment of the external quality of lovage herbs during postharvest period (Trial 3, shortened report).

Lagerdauer (storage period) (in h)	**Temperatur (temperature)**		
	10 °C	**20 °C**	**30 °C**
20	sehr frisch, voll grün	sehr frisch, voll grün	frisch, nicht gewelkt, grün
40	frisch, grün	frisch, grün, wenig gewelkt	nicht mehr frisch, wenig gewelkt, hellgrün
60	minimal welk, hellgrün	nicht mehr frisch, wenig gewelkt, leicht hellgrün	leicht Welke, gelbgrüne Farbe
70	minimal welk, leicht gelbgrün	leichte Welke, leicht hellgrün	ausgeprägte Welke, stark gelbgrüne Farbe
80	deutliche Welke, gelbgrün	stark gewelkt, stark gelbgrün	starke Welke, starke gelbgrüne Farbe
90	starke Welke, gelbgrüne Farbe	starke Welke und Veränderung, sehr stark gelbgrüne Farbe	unansehnliche Welke und Alterung, mehr gelbe als grüne Farbe

Tab. 3. Varianzanalyse für die Atmungsintensität von Liebstöckel-Kraut während der Nacherntezeit.
Analysis of variance for respiration rates of lovage herbs during postharvest period.

Ursache (Source)	**FG (df)**	**F-Wert (F-value)**	**p-Level (p-level)**
A (Jährliche Witterungs- und Anbaubedingungen)	3	141,15+	<0.000 00+
A x B	6	10,50+	<0.000 00+
A x C (B)	63	1,30	0.062761
B (Nacherntetemperatur)	2	6050,48+	<0.000 00
C (B) (Lagerdauer in Temperaturstufen in B	21	15,04+	<0.000 00
Rest	96		

Tab. 4. Regressionsfunktionen für die Atmungsintensität von Liebstöckel-Kraut während der Nacherntelagerung in Abhängigkeit von der Lagertemperatur.
Regression functions of respiratrion rates of lovage herbs during postharvest storage in dependence of the storage temperature.

Temperatur-stufe	**Zeitabschnitt ab Ernte**	**Versuchs-Nr.**	**Regressionsfunktionen**		**B-Werte**
10 °C	4. bis 10. h	1 bis 4	$\hat{y}=322{,}625-5{,}021(x-4)$		21,38
	10. bis 70. h	1, 2, 4	$\hat{y}=289{,}813+2{,}4570(x-4)-0{,}0273(x-4)^2$	(x>10)	17,43
		3	$\hat{y}=208{,}500+139{,}875e^{-0{,}127859(x-4)}$	(x>10)	85,46
20 °C	4. bis 10. h	1, 2, 4	$\hat{y}=827{,}33-20{,}861(x-4)$		38,09
		3	$\hat{y}=687{,}50-24{,}417(x-4)$		93,88
	10. bis 70. h	1, 2, 4	$\hat{y}=690{,}077+7{,}107(x-4)-0{,}1017(x-4)^2$		29,15
	20. bis 70. h	3	$\hat{y}=406{,}632+8{,}846(x-4)-0{,}1044(x-4)^2$	(x>20)	29,62
30 °C	4. bis 10. h	1 bis 4	$\hat{y}=1408{,}75-38{,}125(x-4)$		37,63
	10. bis 70. h	1 bis 4	$\hat{y}=1121{,}61+20{,}8756(x-4)-0{,}3072(x-4)^2$	(x>10)	48.60

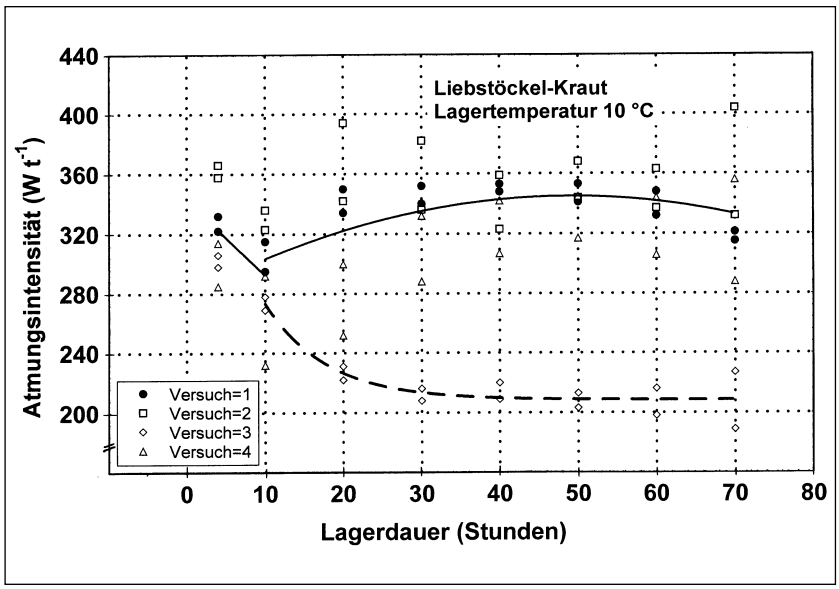


Abb. 3. Einfluß der Lagertemperatur von 10 °C auf die Atmungsintensität von Liebstöckel-Kraut während der Nacherntezeit. *Effect of storage temperature of 10 °C on the respiration rate of lovage herbs during postharvest storage.*

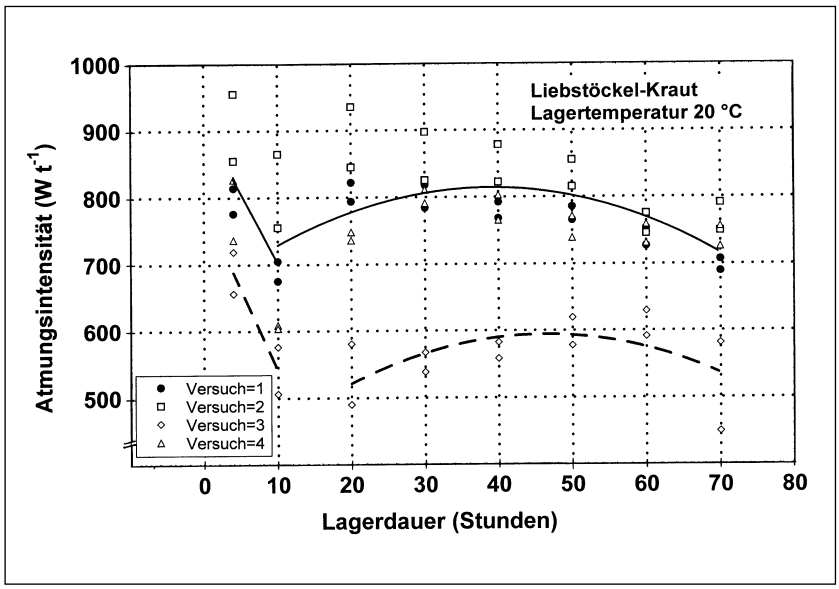


Abb. 4. Einfluß der Lagertemperatur von 20 °C auf die Atmungsintensität von Liebstöckel-Kraut während der Nacherntezeit. *Effect of storage temperature of 20 °C on the respiration rate of lovage herbs during postharvest storage.*

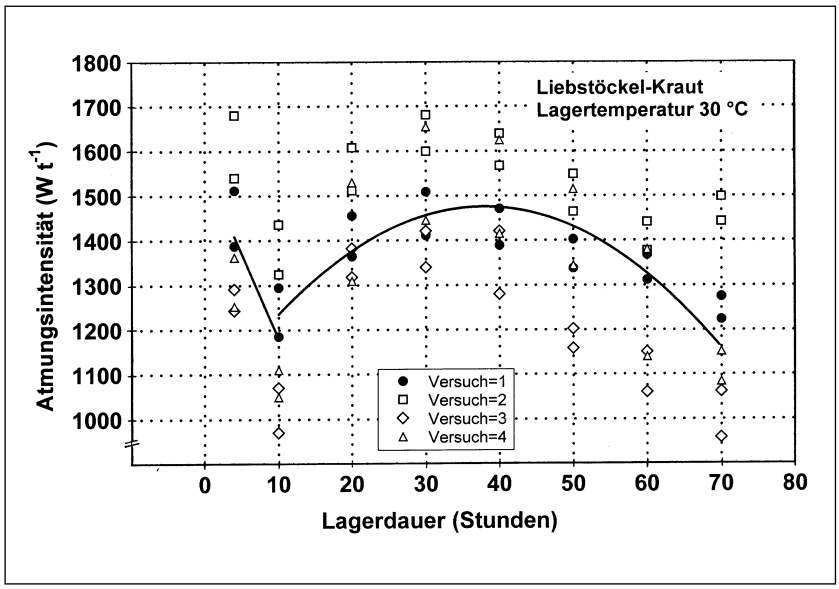


Abb. 5. Einfluß der Lagertemperatur von 30 °C auf die Atmungsintensität von Liebstöckel-Kraut während der Nacherntezeit. *Effect of storage temperature of 30 °C on the respiration rate of lovage herbs during postharvest storage.*

10 °C: Dauer des Rückganges: 21 h, Abnahme Maximum bis Versuchsende: –12,0 W t^{-1}
20 °C: Dauer des Rückganges: 31 h, Abnahme Maximum bis Versuchsende: –98,7 W t^{-1}
30 °C: Dauer des Rückganges: 32 h, Abnahme Maximum bis Versuchsende: –313,8 W t^{-1}.

Im Versuch 3 konnte ein völlig anderes Nachernteverhalten der Pflanzen in ihrer Atmung ermittelt werden. Bei 10 °C ist überhaupt kein Anstieg eingetreten, auch nicht ansatzweise. Diese Liebstöckel-Pflanzen zeigten einen „negativ exponentiell fallenden Verlauf" mit der Lagerdauer ab Erntezeitpunkt (WARNSTORFF und DÖRFEL 1999)(Tab. 4; Abb. 3). Damit ist völlige Übereinstimmung mit den Erkenntnissen für Salbei, Zitronenmelisse, Bohnenkraut, Thymian und Roten Sonnenhut (BÖTTCHER und GÜNTHER 1999, 2001b; BÖTTCHER et al. 2000a, b, 2001b) gegeben:

$$\hat{y} = a + b \cdot e^{c(x-z)} \quad (c < 0) \qquad (3)$$

Bei 20 °C setzte der Anstieg der Atmungsintensität entsprechend einer quadratischen Gleichung (3) zeitlich deutlich verzögert und viel schwächer als bei den physiologisch älteren Ernteproben der Versuche 1, 2 und 4 ein (Tab. 4, Abb. 4):

Beginn der Zunahme erst nach 20 h,
Maximum nach 45 h,
Zunahme bis zum Maximum 72,4 W t^{-1}
Rückgang um 58,1 W t^{-1} .

Bei einer Temperatur von 30 °C war ein ähnliches Verhalten wie bei den anderen drei Versuchen entsprechend der Gleichung (2) gegeben (Abb. 2), so daß eine Schätzung der Funktion über alle vier Versuche möglich war (Abb. 5).

Die alterungsbedingten Gesamtveränderungen der Atmungsintensität vom Erntezeitpunkt bis zur 70. h der Nacherntezeit sind auf Grund des zwischenzeitlichen Atmungsanstieges bei Liebstöckel-Pflanzen – bezogen auf den Erntezeitpunkt – nur sehr gering:

10 °C + 3,21 %
20 °C – 13,42 %
30 °C – 17,56 %.

Beim Vorliegen eines „negativ exponentiell fallenden Verlaufes", z.B. bei 10 °C im Versuch 3, ist dagegen eine wesentlich größere Abnahme um 30,95 % im gleichen Zeitraum von 70 h gegeben.

In gealterten Liebstöckel-Pflanzen war nach 70 h Aufbewahren der Q_{10} für den temperaturbedingten Anstieg der Atmung – bezogen auf erntefrische Pflanzen – verringert. Er erfüllte zwar bei der Temperaturstufe von 10 zu 20 °C mit einem Wert im Mittel der Versuche von 2,15 noch die Bedingungen der van't Hoff'schen Regel; für die Spanne von 20 zu 30 °C wird die Wärmedepression aber noch stärker wirksam als bei erntefrischen Proben ($\bar{x} = 1{,}65$).

Frisch- und Trockenmasse-Veränderungen

Atmung und Transpiration führen zu ausgeprägten Frischmasseverlusten. Diese erreichen im Mittel der Versuche bei 10 °C 1,70 M% 24 h^{-1}, bei 20 °C 4,90 M% 24 h^{-1} und bei 30 °C 10,51 M% 24 h^{-1}.

Der mittlere Trockenmassegehalt der erntefrischen Pflanzen lag in den Versuchen zwischen 11,9 und 15,2 % (Tab. 1). Die während der Nacherntezeit eintretenden Verluste an Trockenmasse konnten in Bilanzversuchen mit 2,20 M% 24 h^{-1} bei 10 °C, 4,07 M% 24 h^{-1} bei 20 °C und 6,30 M% 24 h^{-1} bei 30 °C gesichert werden.

Diskussion

Liebstöckel, das als Blattpflanze im Stadium des intensiven vegetativen Wachstums als Gewürz genutzt wird, hat eine beachtliche Atmungs- und Transpirationsrate. Bei 10 °C liegt der Mittelwert der Atmungsintensität für erntefrische Pflanzen bei 322 ± 28 W t^{-1}. Damit wird die gleiche Größenordnung wie für Blattpetersilie mit 304 W t^{-1}, Sonnenhut mit 331 W t^{-1} und Blattdill mit 473 W t^{-1} erreicht (BÖTTCHER und GÜNTHER 2001b, 2002a, b). Sie liegt auch in der gleichen Größenordnung wie stark atmende Gemüsearten (Brokkoli: 350 W t^{-1}, Grünkohl: 310 W t^{-1}) (BÖTTCHER 1996). Jedoch kommt die Atmung des Liebstöckel-Krautes nicht an die intensiv blühenden Kräuter wie Kamillenblüten (999 W t^{-1}), Wermut-Kraut (962 W t^{-1}), Bohnenkraut (696 W t^{-1}) und Majoran (632 W t^{-1}) heran (BÖTTCHER et al. 1999a, 2000b; BÖTTCHER und GÜNTHER 2001a, 2002c).

Die Auswirkungen der Atmung sind deutlich an den physiologisch bedingten Verlusten des Liebstöckel-Krautes erkennbar, denn die Frischmasseverluste betragen bei 10 °C im Mittel 1,70 M% 24 h^{-1} und die Trockenmasseverluste 2,20 M% 24 h^{-1}. Auch die Auswirkungen auf einen beschleunigten Abbau der äußeren Qualitätsmerkmale sind nicht zu übersehen.

Im Verlauf der Nacherntezeit zeigt Liebstöckel-Kraut aber ein völlig anderes Verhalten im zeitlichen Verlauf der Atmungsintensität als andere Kräuter. Während alle bisher untersuchten Arznei- und Gewürzpflanzen (Kamillenblüten, Bohnenkraut, Salbei, Zitronenmelisse, Thymian, Roter Sonnenhut (BÖTTCHER und GÜNTHER 1999, 2001b; BÖTTCHER et al. 2000a, b, 2001b) sowie auch Gemüsearten (Spargel) (BRASH et al. 1995) ab dem Erntetermin einen „negativ exponentiell fallenden Verlauf" mit einer beachtlichen altersunbeeinflußten Intensität zeigen, ist Liebstöckel-Kraut in diesem Zeitraum durch einen zwischenzeitlichen Anstieg der Atmungsintensität gekennzeichnet. In allen Versuchen und bei allen gewählten Temperaturstufen stellte sich nach der Ernte bis zur 10. Lagerstunde zunächst ein steiler Abfall ein, wie er bei allen anderen untersuchten Arten gefunden wurde. Nach diesem Zeitpunkt setzte in Liebstöckel-Kraut im weiteren Verlauf ein scharfer Anstieg bis zu einem Maximum ein, das zwischen der 38. und 49. Stunde erreicht wird. Erst dann folgt wieder ein deutlich fallender Verlauf, der auf die Alterungsprozesse zurückzuführen ist. Ein solches Verhalten ist bisher nur von APELAND (1971) bei Petersilienblättern beschrieben worden, wobei der Effekt nur bei dem jeweils physiologisch ältesten Blattpaar, nicht aber bei jüngeren nachgewiesen wurde. Der kurzzeitig und schnell am 10. Tag nach der Ernte einsetzende Umschwung im Verlauf der Atmung deutet darauf hin, daß bei beiden Pflanzenarten während der Nacherntezeit offenbar ein alternativer Atmungsweg aktiviert wird, der diesen beachtlichen Anstieg bewirkt. Beide Arten gehören der botanischen Familie der Umbelliferen an. Das Ausbleiben dieses Ansteigens im Versuch 3 bei Be-

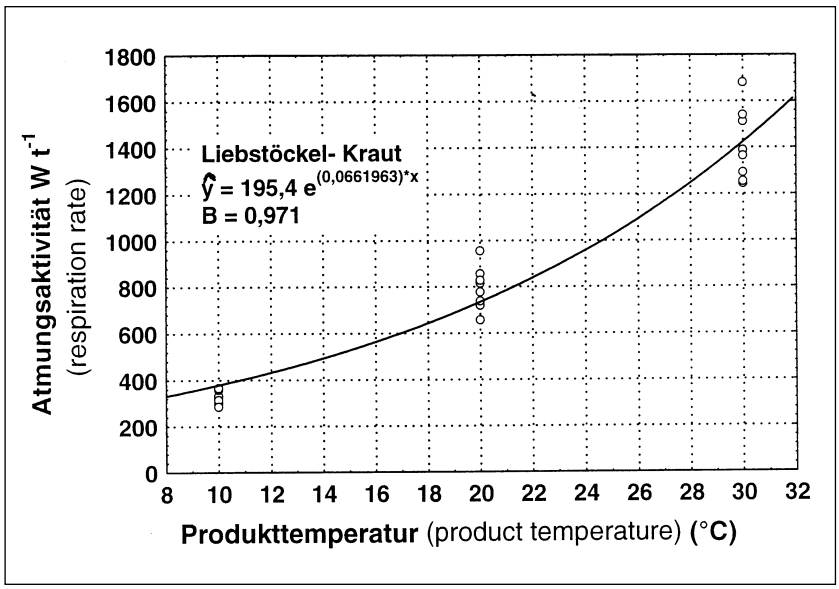


Abb. 6. Atmungsintensität von frisch geerntetem Liebstöckel-Kraut bei unterschiedlicher Produkttemperatur (nach BÖTTCHER unveröffentl.).
Respiration rate of freshly harvested lovage herbs at different producttemperature (BÖTTCHER, unpublished).

dingungen von 10 °C (Abb. 3) und eines nur minimalen Anstieges bei 20 °C (Abb. 4) zeigt deutlich, daß für die „Umschaltung" zu einem alternativen Atmungsweg bestimmte physiologische Voraussetzungen gegeben sein müssen. Aus den vorliegenden vier Versuchen lassen sich diese noch nicht erklären, wohl aber eingrenzen. Dabei ist charakteristisch, daß im Versuch 3 der Pflanzenbestand sehr zeitig am 12. Mai geerntet worden ist (Tab. 1), die Pflanzen damit physiologisch jünger als in den anderen Versuchen waren, obwohl die Wurzeln bereits im 3. Vegetationsjahr waren. Weitere Untersuchungen zur Eingrenzung des biologischen Zusammenhanges sind noch erforderlich.

Dieses zwischenzeitliche Ansteigen und der Wiederabfall führt im Gegensatz zu anderen Pflanzenarten nur zu einem insgesamt geringeren Abfall der Atmungsintensität. So ist nur eine Abnahme der Intensität bei 30 °C im Verlauf von 80 h um 17 % bezogen auf den Erntezeitpunkt zu bestimmen. Alle bisher untersuchten Pflanzen (Salbei, Zitronenmelisse, Thymian, Bohnenkraut, Roter Sonnenhut) (BÖTTCHER und GÜNTHER 1999; 2001b; BÖTTCHER et al. 2000a, b, 2001b) weisen dagegen einen ausschließlich „negativ exponentiell fallenden Verlauf" auf, der während 80 h Nacherntezeit allgemein Rückgänge der Atmungsintensität um 40 bis 60 % bezogen auf den Erntezeitpunkt erkennen läßt. Dieses Verhalten von Liebstöckelkraut erfordert eine sehr viel aufmerksamere Beobachtung des Erntegutes und eine häufigere und effektive Belüftung des Lagerstapels als beim Erntegut anderer Blattdrogen, um eine Wärmeakkumulation, eine starke Transpiration und einen schnelleren Abbau der äußeren Qualitätsmerkmale zu verhindern. Dafür ist ein schneller und zielgerichteter Einsatz von kalter Außenluft (<10 °C) oder vielleicht sogar von maschineller Kühlung der Schlüssel zur Qualitätserhaltung, insbesondere wenn man die während der Nacherntezeit hohe Atmungsintensität berücksichtigt.

Ein mikrobiologischer Befall konnte bei Geruchsüberprüfung und Ermittlung von Verderbsstellen am Lagergut der Pflanzenproben während des untersuchten Zeitraumes in keinem Falle gefunden werden. Die Entwicklung von Mikroorganismen ist durch das ständige Belüften und Vermeiden von Kondensationswasserbildung bei den vorliegenden Lagerbedingungen stark eingeschränkt.

Zur genaueren energetischen Kalkulation der Atmungsintensität von erntefrischem Pflanzenmaterial ist der in Abb. 6 dargestellte Einfluß der Produkttemperatur zu nutzen. Die einzelnen Meßwerte der Atmungsintensität liegen bei Liebstöckel-Kraut nach 70 h Aufbewahren bei 10 °C noch zwischen 189 und 404 W t^{-1}, bei 20 °C zwischen 449 und 791 W t^{-1} und bei 30 °C zwischen 953 und 1498 W t^{-1}.

Literatur

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

APELAND, J. 1971: Factors affecting respiration and colour during storage of parsley. Acta Horticulturae **20**, 43–52.

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

BÖTTCHER, H. und I. GÜNTHER 1995: Nacherntеverhalten und Nacherntephysiologie von Arznei- und Gewürzpflanzen. Herba Germanica **3**, 47–66.

BÖTTCHER, H. 1996: Frischhaltung und Lagerung von Gemüse. UlmerVerlag, Stuttgart, 14–22.

BÖTTCHER, H. und I. GÜNTHER 1999: Physiologisches Nacherntеverhalten von Salbei (*Salvia officinalis* L.). Zeitsch. Arzn. Gewürzpflanzen **4**, 119–125.

BÖTTCHER, H., I. GÜNTHER und U. BAUERMANN 1999a: Physiological postharvest responses of marjoram (*Majorana hortensis* Moench). Postharvest Biology and Technology **15**, 41–52.

BÖTTCHER, H., I. GÜNTHER und K. WARNSTORFF 1999b: Nicht-destruktive Bestimmung des Gasstoffwechsels zum Erfassen des Seneszenzverlaufes während der Nacherntezeit von Arznei- und Gewürzpflanzen. Deutsche Gesellschaft für Qualitätsforschung e.V.,

34. Vortragstagung, Freising-Weihenstephan 1999, 107–118.

BÖTTCHER, H., I. GÜNTHER und R. FRANKE 2000a: Physiologisches Nachernteverhalten von Zitronenmelisse (*Melissa officinalis* L.). Zeitsch. Arzn. Gewürzpflanzen **5**, 145–153.

BÖTTCHER, H., I. GÜNTHER und K. WARNSTORFF 2000b: Physiologisches Nachernteverhalten von Bohnenkraut (*Satureja hortensis* L.). Gartenbauwissenschaft **65**, 22–29.

BÖTTCHER, H. und I. GÜNTHER 2001a: Physiologisches Nachernteverhalten von Ysop (*Hyssopus officinalis* L.). Zeitschr. Arzn. Gewürzpflanzen **6**, 73–78.

BÖTTCHER, H. und I. GÜNTHER 2001b: Physiologisches Nachernteverhalten von Rotem Sonnenhut (*Echinacea purpurea* (L.) Moench). Drogenreport **14** (26), 10–14.

BÖTTCHER, H., I. GÜNTHER, R. FRANKE and K. WARNSTORFF 2001a: Physiological postharvest responses of Matricaria (*Matricaria recutita* L.) flowers. Postharvest Biology and Technology **22**, 39–51

BÖTTCHER, H., I. GÜNTHER und L. KABELITZ 2001b: Physiologisches Nachernteverhalten von Thymian (*Thymus vulgaris* L.). Gartenbauwissenschaft **66**, 172–181.

BÖTTCHER, H. und I. GÜNTHER 2002a: Physiologisches Nachernteverhalten von Blattpetersilie (*Petroselinum crispum* (Mill.) Nym. ex A.W. Hill spp. *crispum)* L.). Zeitschr. Arzn. Gewürzpflanzen **7**, 336–341.

BÖTTCHER, H. und I. GÜNTHER 2002b: Physiologisches Nachernteverhalten von Blattdill (*Anethum graveolens* L. var. *hortorum* Alef.). Zeitschr. Arzn. Gewürzpflanzen **7**, 3–8.

BÖTTCHER, H. und I. GÜNTHER 2002c: Physiologisches Nachernteverhalten von Wermut-Pflanzen (*Artemisia absinthium* L.). Drogenreport **15**, (27), (Im Druck).

BRASH, D. W., Ch. M. CHARLES, S. WRIGHT and B. L. BYCROFT 1995: Shelf-life of stored asparagus is strongly related to postharvest respiratory acticity. 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

RASCH, D., M. L. TIKU and D. SUMPF 1994: Elsevier's Dictionary of Biometry. Elsevier Amsterdam.

WARNSTORFF, K. und DÖRFEL, H. 1998: Anwendung nichtlinearer Wachstumsfunktionen. Journal of Agronomy and Crop Science **183**, 259–271.

Eingegangen: 17.04.02 / 20.09.02

Anschrift der Verfasser: Prof. Dr. H. Böttcher, Frau Ingeborg Günther, Institut für Ernährungswissenschaften und Frau Dr. Kristina Warnstorff, AG Biometrie und Agrarinformatik der Landwirtschaftlichen Fakultät Halle, Emil Abderhalden-Str. 26, D-06108 Halle (Saale), e-mail: Guenther@landw.uni-halle.de.