

Institut für Ernährungswissenschaften der Landwirtschaftlichen Fakultät, Martin-Luther-Universität Halle BRD¹
Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Freising, BRD²
Arbeitsgruppe Biometrie und Informatik der Landwirtschaftlichen Fakultät, Martin-Luther-Universität Halle (BRD³)

Atmung und Transpiration von Baldrian-Wurzeln (*Valeriana officinalis* L.) während der Nacherntezeit

Horst Böttcher¹, Ingeborg Günther¹, Ulrich Bomme², Kristina Warnstorff³

(Eingegangen am 07.03.2005)

Summary

Respiration and transpiration of valerian roots (*Valeriana officinalis* L.) during postharvest period

Freshly harvested valerian roots (*Valeriana officinalis* L.) of the 'Anthos' variety and the 'BLBP 19' genetic selection strain have a remarkable respiration rate. The mean values obtained from 5 tests increased to $108.6 \pm 8.6 \text{ W t}^{-1}$ at $+1 \text{ }^\circ\text{C}$, $268.0 \pm 25.5 \text{ W t}^{-1}$ at $+10 \text{ }^\circ\text{C}$, $554.3 \pm 31.4 \text{ W t}^{-1}$ at $20 \text{ }^\circ\text{C}$ and as much as $921 \pm 21.6 \text{ W t}^{-1}$ at $30 \text{ }^\circ\text{C}$. After harvest, this respiratory intensity maintained a non-continuous progression for 21 days in storage, which can only be described through piece-wise regressions with three sub-sections. Directly after digging up, the senescence- and storage-related decrease occurred. After 1 to 3 days, the progression changed and a steady increase of the respiration occurred in every temperature level and every experiment (2nd postharvest section). After 3 to 11 days, the highest value was reached, which, depending on temperature, was around 27.2 to 80.3 W t^{-1} , at $10 \text{ }^\circ\text{C}$, above the values on harvest days. Then the senescence-related regression of the respiration intensity occurred for another 9 to 16 days. Unlike leaf, herbal and flower drugs, the regression after 21 days of storage at $+1 \text{ }^\circ\text{C}$ was only at -4.8 to -16.8 W t^{-1} , at $10 \text{ }^\circ\text{C}$, there was even an increase of $+46.5 \text{ W t}^{-1}$. The temperature primarily changed the duration of the sections affected by physiology and the steepness of the increase in the receding respiration process.

The recorded respiration values also gave a rise to increased losses of fresh and dry matter, as well as a deterioration in external quality traits while in storage.

Practical notes are given concerning effective ventilation, as well as organisation and planning of postharvest activities.

Einleitung

Wachsender Bedarf und steigende Qualitätsansprüche an die Arznei- und Gewürzdrogen erfordern das Ausschöpfen aller Reserven des Anbau- und Ernteverfahrens. Das trifft besonders auch für den Ernte- und Nacherntebereich zu. Während das Nachernteverhalten von Blüten- und Krautpflanzen kürzlich umfangreich analysiert wurde (BÖTTCHER et al., 2000, 2001a, 2002c, 2003b), fehlen noch genauere Angaben zu den Wurzel drogen. Es wurden zwar ausführliche Erkenntnisse über das Verhalten vom Erntegut der Wurzeln von Eibisch, Rotem und Blassem Sonnenhut, Liebstöckel und Angelika berichtet (BÖTTCHER und GÜNTHER, 2005), jedoch liegt für die wirtschaftlich wichtige Art Baldrian nur eine Notiz über eine beachtliche Höhe der Atmungsintensität frisch geernteter Wurzeln des Baldrian und über ein abweichendes Verhalten während der Nacherntezeit im Vergleich zu anderen Arten vor (BÖTTCHER et al., 1999b). Darauf hin wurde ein Versuchsprogramm initiiert, dessen Ergebnisse jetzt vorgestellt werden.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die in erntefrischen Baldrian-Wurzeln speziell ablaufenden physiologischen Atmungs- und Tran-

spirationsvorgänge zu quantifizieren und zu beschreiben, um die Ergebnisse mit anderen Wurzel- und auch Kraut- und Blütendrogen zu vergleichen.

Material und Methoden

Pflanzenmaterial

Die Baldrian-Pflanzen sind auf Feldversuchspartellen der Versuchstationen Baumannshof (Landkreis Pfaffenhofen in Oberbayern) und des Lehr- und Versuchsstützpunktes Julius Kühn in Halle a. d. Saale (Sachsen-Anhalt) herangewachsen. Beim erstgenannten Standort handelte es sich um einen leicht sauren humosen Sandboden, beim zweiten um einen sandigen Lößlehm. Zur Wurzelgewinnung sind jeweils Pflanzen aus dem ersten oder zweiten Standjahr verwendet worden.

Die langen und zahlreichen Wurzeln, die vom Rhizom des Baldrians ausgehen, wiesen zur Ernte mittlere Durchmesser, ermittelt am oberen Drittel ihrer Gesamtlänge, bei den einzelnen Ernten zwischen $1,35$ und $2,53 \text{ mm}$ ($s = 0,51 \dots 1,58 \text{ mm}$) (Tab. 1) auf und belegten damit eine gute Entwicklung der Pflanzenbestände.

Der Anbau erfolgte nach der praxisüblichen Technologie (BOMME, 2001). Die Ernte ist im Herbst nach Einlagerung der Reservestoffe aus dem Laub in das Wurzelgewebe und Bildung der Wirkstoffe vorgenommen worden. Der Anbauzeitraum und Einzelheiten der Erntetermine für die insgesamt 5 Versuche sind in Tab. 1 aufgezeichnet. Die Ernte- und Aufbereitungsarbeiten erfolgten praxisäquivalent (BOMME, 2001). Nach dem mechanisierten Entfernen des Laubes ist die Rodung mit einem Schwingsieb oder von Hand vorgenommen worden. Um den unerwünschten Erdanteil aus dem Wurzelballen leichter entfernen zu können, wurde der Wurzelstock vor dem Waschen mit einem scharfen Beil in zwei Hälften getrennt. Bei dieser Vorbereitung wurden auch Laubblattreste und Stängelansätze sauber nachgeputzt, so dass später immer laubrestfreie Wurzelstöcke oder -hälften zur Lagerung und Wirkstoffbestimmung verwendet werden konnten. Die Hauptreinigung erfolgte mit einer Trommelwaschmaschine und das Entfernen des überschüssigen Haftwassers aus den Wurzelstöcken durch schwaches Zentrifugieren mit einer Haushaltsschleuder. Durch eine mechanisch-schonende Behandlung beim Waschen und durch scharfen Schnitt beim Zerteilen größerer Wurzelstöcke sollte eine Aktivierung der Atmungsprozesse verhindert werden.

Das Erntegut wurde entweder sofort für die nacherntephysiologischen Untersuchungen erntefrisch eingelagert oder für die Gewinnung von Trockengut (Droge) für die Bestimmung der Inhaltsstoffe im Warmluftschrank bei $45 \text{ }^\circ\text{C}$ bis zur Massekonstanz getrocknet.

Versuchsablauf

Für den technologischen Versuchsablauf und die technische Gestaltung der einzelnen Varianten konnten die Erkenntnisse, die mit den

Tab. 1: Charakterisierung des Erntegutes von Baldrianwurzeln zur Drogengewinnung und seiner anfänglichen Atmungsintensität bei Messbedingungen von 10 °C.

Versuch-Nr.	Stand-jahr	Rodungs-termin	Sorte	Herkunft	mittlerer Wurzel-durchmesser in mm ¹⁾	Trockenmasse %	Temperatur		Klima während der Ernte	Atmungsintensität W · t ⁻¹
							Luft °C	Produkt °C		
1	2	25.10.94	'Anthos'	Baumannshof LfL	.....	27,6	15	18	feucht, kühl	264...271
2	1	24.10.95	'Anthos'	Baumannshof LfL	2,53 ± 1,51	27,4	15	16	trübe, kühl	266...315
3	1	28.10.96	'BLBP 19'	Baumannshof LfL	1,61 ± 1,58	28,1	16	16,5	sonnig, kühl	234...242
4	2	01.11.96	'Anthos'	Halle	1,35 ± 0,51	26,3	13,6	15,3	nach Regen-wetter kühl	263...289
5	2	17.10.94	'Anthos'	Halle	1,77 ± 0,71	27,8	10	11	feucht, kühl	162...170

1) Messung am oberen Drittel der Gesamtlänge der Wurzeln, n = > 20.

Wurzeln von Eibisch, Sonnenhut und Liebstöckel während der Nacherntezeit gewonnen worden waren, voll übernommen werden (BÖTTCHER und GÜNTHER, 2004): Die frisch geernteten und gewaschenen Wurzeln wurden in einer Menge von 1900 bis 2200 g in die Mess- und Lagergefäße eingefüllt, in den temperierten Räumen aufgestellt und verblieben für 21 Tage in diesen Gefäßen. Die Abführung der freigesetzten Atmungsenergie und des Kohlendioxides sowie die Zuführung von Sauerstoff erfolgten durch die Kombination von Raumbelüftung und schwacher Zwangsbelüftung zu den Messzeitpunkten. Durch die Gefäße wurde während des Messvorganges kontinuierlich temperierte CO₂-freie Luft in einer Rate von 50 L h⁻¹ geleitet, so dass in der Fortluft die von den Wurzelproben ausgeschiedene Menge an CO₂ als Maß für die Atmungsintensität mit einem Messgerät Siemens Ultramat 21/21+02 kontinuierlich aufgezeichnet werden konnte.

An diesem lagernden Pflanzenmaterial wurden die Parameter wie Atmung, Frisch- und Trockenmasseverlust sowie Veränderung der äußeren und inneren Qualitätsmerkmale bestimmt. Um die Auswirkungen der Atmung und Transpiration in den lagernden Wurzelstöcken zu berücksichtigen, wurden die Veränderungen an Frisch-, Trockenmasse und Wirkstoffen als Bilanzversuche angelegt und ausgewertet.

Folgender Versuchsaufbau liegt der Arbeit zu Grunde

Temperaturstufe:

+1 (± 0,2) °C, ≈ 97 % relative Luftfeuchtigkeit
(≈ 0,01 kPa Wasserdampfpartialsättigungsdifferenz):

10 (± 0,2) °C, ≈ 98 % relative Luftfeuchtigkeit
(≈ 0,03 kPa Wasserdampfpartialsättigungsdifferenz)

20 (± 0,2) °C, ≈ 92 - 97 % relative Luftfeuchtigkeit
(≈ 0,33 kPa Wasserdampfpartialsättigungsdifferenz)

30 (± 0,3) °C, ≈ 91 - 97 % relative Luftfeuchtigkeit
(≈ 0,53 kPa Wasserdampfpartialsättigungsdifferenz)

- Lagerdauer: 0, 1, 2, 4, 8, 20 d ab Erntetermin
- Versuche: 5 (siehe Tab. 1)
- Wiederholungen: n = 2 bzw. 4 parameterabhängig.

Atmungsmessung

Die Messung der Atmungsintensität erfolgte in gleicher Weise, wie sie für die Wurzeln von Eibisch, Sonnenhut und Liebstöckel (BÖTT-

CHER und GÜNTHER, 2005) vorgenommen wurde. Zu den vorgesehenen Messzeitpunkten sind die Mess- und Lagergefäße den Lagerräumen entnommen und in die Messanlagen eingehängt worden. Dabei war stets die Temperaturgleichheit zwischen Lager- und Messpunkt gegeben. Für die Atmungsmessung wurde das bekannte Durchflussmessverfahren gewählt, wobei CO₂-freie Luft in die Messgefäße eingeleitet und die ausgeschiedene CO₂-Menge in der Fortluft kontinuierlich aufgezeichnet worden ist (BÖTTCHER et al., 1999a, 1999b).

Aus den kontinuierlichen Registrierungen sind zu den vorgesehenen Zeitpunkten die Messwerte entnommen und in die energetische Maßeinheit der Atmungsintensität W t⁻¹ [Watt · Tonne⁻¹] umgerechnet und der statistischen Bearbeitung unterzogen worden.

Frischmasseverlust

Auch Baldrian-Wurzeln neigen zur reichlichen Abgabe von zell-eigenem Wasser aus ihren Geweben durch Transpiration an ihre Umgebungsluft, da sie nur über einen geringen Transpirationsschutz verfügen. Dies führt zu einem Qualitätsabbau und einer Konzentrierung der Inhaltsstoffe. In den Geweben läuft gleichzeitig eine nicht unbedeutende Atmung ab, die einerseits zu einem Verbrauch an Trockensubstanz führt und andererseits Atmungsenergie als Wärmeenergie freisetzt. Letztgenannte vergrößert das Sättigungsdefizit und begünstigt damit die Transpiration.

Da Atmung und Transpiration in den Ernteprodukten gleichzeitig ablaufen, könnten ihre jeweiligen Ergebnisse nur mit erheblichem experimentellen Aufwand bestimmt werden. Daher werden sie in der Praxis gemeinsam als **Frischmasseverluste** berechnet und ausgewiesen. Es wurde – ebenso wie bei den Wurzeln von Eibisch, Sonnenhut und anderen Arten – durch Bestimmung der quantitativen Differenz an Frischmasse zwischen Versuchsbeginn und -ende nach 20 Tagen, bezogen auf den Einlagertermin, bestimmt.

Bewertung der äußeren Qualitätsmerkmale

Um einen Überblick über die Veränderungen der äußeren Qualität des lagernden Pflanzenmaterials zu bekommen, sind alle lagernden Proben am Versuchsende nach 20 Tagen visuell auf die Merkmale Welke, Verfärbung und Fäuleerscheinungen bewertet und mit erntefrischen Proben verglichen worden. Auch der Geruch wurde auf abweichende Nuancen bewertet.

Statistische Auswertung

Die Messergebnisse der Versuche sind folgender statistischer Bearbeitung (BÖTTCHER et al., 2000, 2002a, 2003a) unterzogen worden:

- Ein- und mehrfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA)
- Durchführung von Testen mit dem paarweisen Mittelwertsvergleich
- Nichtlineare Bruchpunktregressionen (piece-wise-regressions) für die Atmungsintensität in Abhängigkeit von der Lagerdauer während der Nacherntezeit [x] in Tagen, für Gesamtkurvenverläufe oder einzelne Entwicklungsabschnitte (STATISTICA™ for Windows™, version 6.0, Statsoft Inc.).

Ergebnisse

Atmungsintensität zum Erntezeitpunkt

Frisch geerntete Baldrian-Wurzeln wiesen eine beachtliche Atmungsintensität auf, die bei Temperaturen von +1 °C in den einzelnen Versuchen zwischen 100 und 117 W t⁻¹ schwankte und erreichte am Erntezeitpunkt im Mittel von 4 Versuchen $\bar{x} = 108,6 \pm 8,6$ W t⁻¹. Bei klimatischen Bedingungen von 10 °C, die oft zum Vergleich der Intensität der verschiedenen Arten herangezogen werden, lagen die Werte zwischen 238 und 301 W t⁻¹ mit einem Mittelwert aus 4 Versuchen von $\bar{x} = 268,0 \pm 25,5$ W t⁻¹. Bei 20 °C erreichte dieser Wert $\bar{x} = 554,3 \pm 31,4$ W t⁻¹ und bei 30 °C sogar $\bar{x} = 921,5 \pm 21,6$ W t⁻¹.

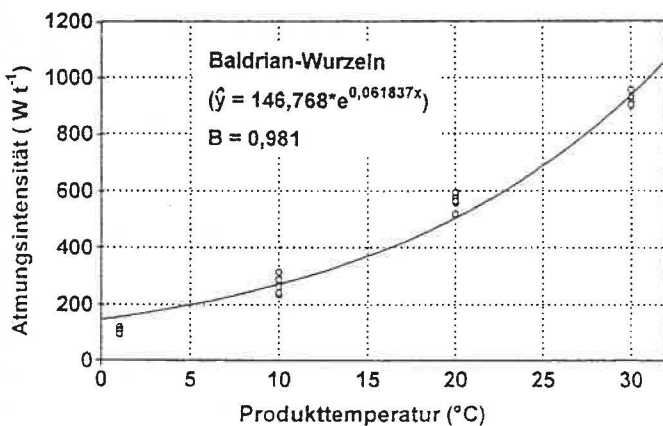


Abb. 1: Einfluss der Produkttemperatur auf die Atmungsintensität von frisch gerodeten Baldrian-Wurzeln (Mittelwert aus 5 Versuchen)

Bei Baldrian-Wurzeln erhöhte sich die Atmungsintensität mit Ansteigen der Temperatur exponentiell, wie es Abb. 1 zeigt. Bei 30 °C sind in einigen Versuchen noch Einzelwerte von 920 W t⁻¹ bestimmt worden. Das Ausmaß des Anstieges der Atmung mit der Temperatur, ausgedrückt durch den Q₁₀, ergibt bei höherem Temperaturniveau einen geringeren Quotienten:

- Temperaturspanne 1 / 10 °C: Q₁₀ = 2,59
- Temperaturspanne 10 / 20 °C: Q₁₀ = 2,07
- Temperaturspanne 20 / 30 °C: Q₁₀ = 1,77 (30 °C temperaturkorrigiert).

Die ersten beiden Spannen entsprechen voll der Van't Hoff'schen Regel und liegen im für lebende pflanzliche Organe üblichen Bereich. Die Temperaturstufe von 30 °C wurde von den frisch geernteten Baldrian-Wurzeln ungünstig mit einem starken Rückgang der Intensität beantwortet. Er ist als Kennzeichen einer deutlichen Wärmedepression zu werten.

Einfluss der Lagerung auf die äußeren Qualitätsmerkmale

Die gewählten Temperaturbedingungen bewirkten einen starken Ein-

fluss auf die äußeren Qualitätsmerkmale. Nach 21 Tagen Aufbewahren wurde folgende Bewertung im Versuch 3 (Tab. 1) abgegeben, die zugleich dem Verhalten des Erntegutes in den anderen Versuchen entspricht:

Qualitätsmerkmale:

- 1 °C: frisches Aussehen, Wurzeln hell, nur minimal nach braun verfärbt, keine sichtbare Welkeerscheinung, kein Schimmel- und Fäulebefall;
- 10 °C: feinste Faserwurzeln nach braun verfärbt, Nebenwurzeln dagegen noch hell und frisch, ohne Fäule und Schimmel, gealtert, leichte Welke sichtbar;
- 20 °C: feinste Faserwurzeln verstärkt nach braun verfärbt, vereinzelt Fäulepusteln, deutliche Welke, Nebenwurzeln nur minimal braun verfärbt, sehr gealtert, aber noch einwandfreier Geruch;
- 30 °C: Faserwurzeln dunkelbraun, Nebenwurzeln ebenfalls stark nachgebräunt, eingetrocknetes Aussehen, begrenzter Fäule- und Schimmelbefall.

Unter 10 °C war eine deutlich bessere Erhaltung der äusseren Qualität gegeben. Höhere Temperaturen sind der Qualität des Baldrian sehr abträglich.

Einfluss der Lagerung auf die Atmungsintensität

Die Varianzanalyse aller gemessenen Einzelwerte belegt Wechselwirkungen der Einflußfaktoren mit der Umwelt [Versuche, Jahresbedingungen] (C) auf die Atmungsintensität von frisch geernteten und gelagerten Baldrian-Wurzeln, wie die Aufstellung in Tab. 2 zeigt: Auffallend sind die signifikanten Wechselwirkungen der Temperatur und des Umweltfaktors (A x C) bezüglich der Atmungsrate und der Lagerdauer innerhalb der Temperaturstufen und des Umweltfaktors B (A) x C.

Tab. 2: Ergebnisse der Varianzanalyse der Messwerte zur Atmungsintensität von Baldrian-Wurzeln

Prüffaktor	Freiheitsgrade	F _{exp.} -Werte	p-Werte
C: Versuche, Jahresbedingungen	2	36,2*	< .0001
A: Temperatur	3	8 600,5*	<.0001
B: Lagerdauer (A)	32	11,1*	<.0001
A x C:	6	8,3*	<.0001
B(A) x C:	64	4,3*	<.000!
Rest	108	625,23	

Die große Varianz des MQ_(R) von 625,23 in Verbindung mit den geringen F_{exp.}-Werten für die Lagerdauer deutet auf einen unsteten Verlauf der Intensität der Atmungsprozesse aus der Sicht der Lagerdauer hin. Dies ist völlig abweichend zu den bisher an anderen Pflanzen ermittelten gleichmäßig negativ exponentiell abnehmendem Verlauf (Pfefferminze, Zitronenmelisse, Kamille) (BÖTTCHER et al., 2000, 200c, 201a). Die Aufzeichnung der Messwerte in den Abb. 2-5 zeigt die Verteilung derselben für die jeweiligen Temperaturstufen.

Auf Grund der scharfen Änderung des Kurvenverlaufes an bestimmten Punkten war für den Aussagebereich (0 bis 21 Tage) Nacherntedauer nur ein Regressionsmodell mit Bruchpunkten geeignet. Es konnten drei Teilbereiche <A, A - B und >B entsprechend nachstehendem Modell gebildet werden:

$$\hat{Y} = a_1 + b_1 \cdot x (x \leq A) + a_2 + b_2 \cdot x (A < x \leq B) + a_3 + b_3 \cdot e^{-cx} (x > B).$$

Dabei bedeuten:

\hat{y} = die durch statistische Schätzung bestimmte mittlere Atmungsintensität [$W t^{-1}$],

x = Nacherntedauer [Tage]

a_1, a_2 bzw. a_3 = mittlere Atmungsintensität zu Beginn des 1., 2. bzw. 3. Nachernteabschnittes (Regressionskonstante) [$W t^{-1}$],

b_1 bzw. b_2 = mittlere Veränderung (positiv oder negativ) der Atmungsintensität in Abhängigkeit von der Nacherntedauer im 1. und 2. Nachernteabschnitt [$W t^{-1}$] (Regressionskoeffizienten)

b_3 = mögliche maximale Veränderung der Atmungsintensität vom Beginn des 3. Nachernteabschnittes an [$W t^{-1}$]

c_3 = relative Abnahmerate der Atmungsintensität (Konstante).

Mit diesem Modell konnte der gesamte untersuchte Nacherntebereich von 21 Tagen erfasst werden. Diese gesicherten Regressionsfunktionen sind für die einzelnen Stufen in Tab. 3 aufgeschrieben. Die Verteilung der Messwerte lässt für Baldrian-Wurzeln drei Ab-

schnitte für die Atmungsintensität während der Nacherntezeit erkennen:

1. Abschnitt: Rückgang der Atmungsintensität unmittelbar nach der Ernte,

2. Abschnitt: Einsetzen eines steilen linearen Anstieges bis zu einem Höchstwert,

3. Abschnitt: Übergang in einen Abschnitt erneuter Abnahme mit exponentiellem oder linearem Verlauf.

Dieses Gesamtverhalten war typisch für alle vier Temperaturstufen und für jeden Versuch (Abb. 2 - 5, Tab. 3). Das Temperaturniveau veränderte dabei deutlich die Zeitdauer und das Ausmaß der Veränderung, aber nicht deren Richtung.

Durch die Bruchpunktregression konnte in jedem Versuch eine hohe Güte der Anpassung für die Regressionsfunktion erreicht werden: Der Anteil der erklärten Varianz aus den Einzelwerten in Tab. 3 weist für jede Funktion meist Werte von >75 % aus, nur im Versuch 3 zeigten sich bei 10 °C mit 50,7 % ungünstigere Werte.

Tab. 3a: Alterungsbedingter Atmungsverlauf während der Nacherntelagerung von Baldrian-Wurzeln (Teil 1)

Tab. 3a: Senescence-caused course of respiration during the postharvest storage of valerian-roots

Temperatur (temperature)	Versuch (trial)	1. Nachernteabschnitt (1. postharvest stage)	2. Nachernteabschnitt (2. postharvest stage)	3. Nachernteabschnitt (3. postharvest stage)	Anteil der erklärten Varianz (part of the described variance)	S_R S_R
+1 °C	2	$\hat{y} = 117,0 - 8,00 x$ ($0 < x \leq 1$)	$\hat{y} = 100,5 + 13,25 x$ ($1 < x < 6$)	$\hat{y} = 112,05 + 242,10 \cdot e^{-0,2585 x}$ ($x \geq 6$)	92,9	6,45
	3	$\hat{y} = 109,00 - 4,00 x$ ($0 < x \leq 1$)	$\hat{y} = 100,5 + 3,25 x$ ($1 < x < 4$)	$\hat{y} = 3247,1 - 3134,12 \cdot e^{+0,004 x}$ ($x > 4$)	90,0	3,44
	4	$\hat{y} = 100,00 - 7,50 x$ ($0 < x \leq 1$)	$\hat{y} = 84,0 + 7,50 x$ ($1 < x \leq 4$)	$\hat{y} = 71,215 + 66,1377 \cdot e^{-0,1113 x}$ ($x > 4$)	82,4	6,31
10 °C	2	$\hat{y} = 267,50 - 28,00 x$ ($0 < x \leq 1$)	$\hat{y} = 254,53 + 7,778 x$ ($1 < x \leq 12$)	$\hat{y} = 394,70 - 3,70 x$ ($x > 12$)	78,15	21,48
	3	$\hat{y} = 288,30 - 10,74 x$ ($0 < x \leq 4$)	$\hat{y} = 212,32 + 9,48 x$ ($4 < x \leq 12$)	$\hat{y} = 364,60 - 3,60 x$ ($x > 12$)	50,71	26,74
	4	$\hat{y} = 234,90 - 0,0857 x$ ($0 < x \leq 4$)	$\hat{y} = 169,21 + 13,57 x$ ($4 < x \leq 12$)	$\hat{y} = 409,00 - 4,00 x$ ($t < 12$)	97,48	8,74
	5	$\hat{y} = 276,0 - 31,0 x$ ($0 < x < 1$)	$\hat{y} = 258,5 + 5,00 x$ ($x < 1$)	.....	76,4	11,40
+20 °C	2	$\hat{y} = 517,5 - 37,0 x$ ($0 > x \leq 1$)	$\hat{y} = 482,74 + 12,00 x$ ($1 < x \leq 12$)	$\hat{y} = 619,1 - 2,10 x$ ($x > 12$)	78,3	27,82
	3	$\hat{y} = 566,5 - 15,0 x$ ($0 > x \leq 1$)	$\hat{y} = 547,17 + 7,63 x$ ($1 < x < 8$)	$\hat{y} = 451,1 - 418,97 \cdot e^{-0,134337 x}$ ($x \geq 8$)	79,6	24,78
	4	$\hat{y} = 562,9 - 45,25 x$ ($0 > x \leq 2$)	$\hat{y} = 409,83 + 20,25 x$ ($2 < x < 12$)	$\hat{y} = 703,80 - 8,92623 x$ ($x > 12$)	70,83	30,03
30 °C	2	$\hat{y} = 944,0 - 184,0 x$ ($0 > x \leq 1$)	$\hat{y} = 686,67 + 27,50 x$ ($x > 1$)	.....	89,75	31,86
	3	$\hat{y} = 905,0 - 54,5 x$ ($0 > x \leq 1$)	$\hat{y} = 848,33 + 6,13 x$ ($1 < x < 8$)	$\hat{y} = 1060,64 - 12,782 x$ ($x \geq 8$)	73,46	31,99
	4	$\hat{y} = 913,5,90 - 46,0 x$ ($0 > x \leq 6$)	$\hat{y} = 13,05 + 103,62 x$ ($6 < x \leq 8$)	$\hat{y} = 957,67 - 10,08 x$ ($x > 8$)	81,29	46,07

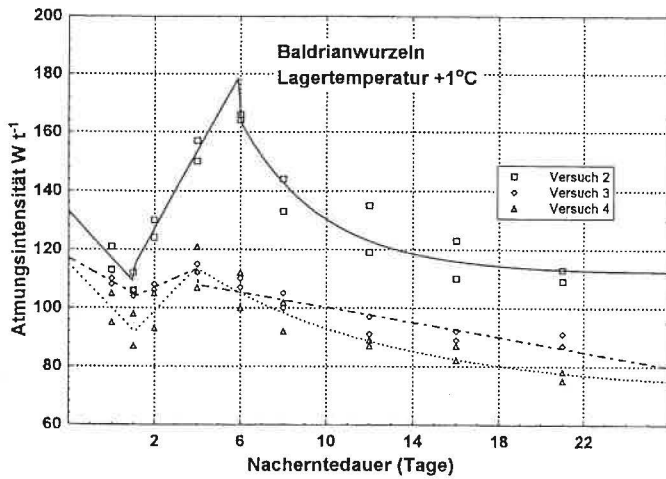


Abb. 2: Einfluss der Lagerdauer auf die Atmungsintensität von Baldrian-Wurzeln während der Nacherntezeit bei einer Lagertemperatur von 1 °C

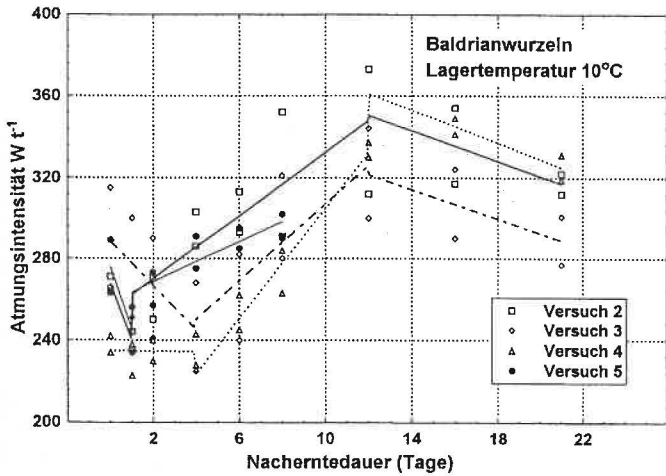


Abb. 3: Einfluss der Lagerdauer auf die Atmungsintensität von Baldrian-Wurzeln während der Nacherntezeit bei einer Lagertemperatur von 10 °C

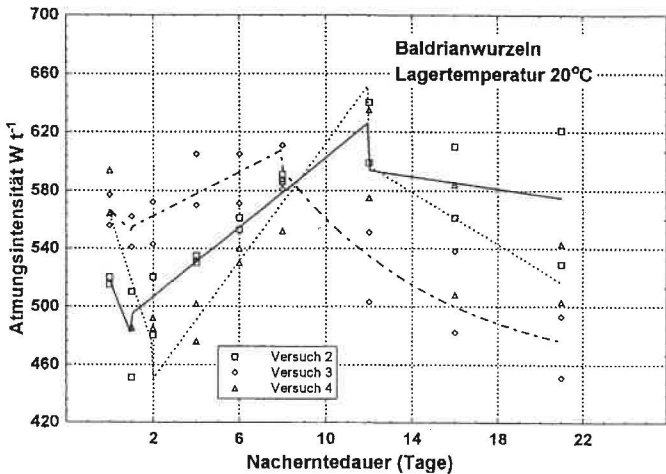


Abb. 4: Einfluss der Lagerdauer auf die Atmungsintensität von Baldrian-Wurzeln während der Nacherntezeit bei einer Lagertemperatur von 20 °C

Kennzeichen des 1. Nachernteabschnittes

Wie bei allen bisher untersuchten Arznei- und Gewürzpflanzen (BÖTTCHER, et al., 1999a, 2000, 2001c, 2002 c), fällt die Atmungsintensität der Baldrian-Wurzeln in den ersten Stunden nach der Rodung (1. Tag) beachtlich ab. So beträgt die *mittlere Abnahme* über alle Versuche bezogen auf die mittleren Anfangswerte für die einzelnen Temperaturstufen im Mittel der Versuche (Tab. 3) bei

- 1 °C -6,5 W t⁻¹ (= -6,0 %)
- 10 °C -9,6 W t⁻¹ (= -9,6 %)
- 20 °C -47,5 W t⁻¹ (= -8,8 %)
- 30 °C -171,5 W t⁻¹ (= -18,6 % bezogen auf den jeweiligen mittleren Anfangswert des Teilabschnittes).

Die Dauer dieses Abschnittes erstreckte sich bei 1 °C auf 1 Tag, bei 10 °C auf 1 - 4 Tage, bei 20 °C auf 1- 2 Tage und bei 30 °C auf 1 - 5 Tage.

Bei Bedingungen von 20 und 30 °C waren die absoluten Werte für den Rückgang sehr beachtlich und erwartungsgemäß.

Kennzeichen des 2. Nachernteabschnittes

In allen Versuchen und Temperaturstufen folgte für Baldrian-Wurzeln schlagartig ein ausgeprägter *Anstieg* der Atmungsintensität im Mittel der Versuche (Abb. 2 bis 5), der auch wieder stark temperaturngeprägt war:

- bei 1 °C um +32,8 W t⁻¹ (= +34,5 %)
- bei 10 °C um +76,2 W t⁻¹ (= +34,1 %)
- bei 20 °C um +129,3 W t⁻¹ (= +26,9 %)
- bei 30 °C um +131,0 W t⁻¹ (= +8,5 %, auch hier bezogen auf den mittleren Anfangswert des Teilabschnittes).

Bis zum Erreichen des Höchstwertes waren erforderlich: bei 1 °C 3 bis 5 Tage, bei 10 °C 8 bis 11 Tage, bei 20 °C 7 bis 11 Tage und bei 30 °C 2 bis 5/7 Tage. Dabei konnte stets ein linearer Verlauf ermittelt werden (Tab. 3).

Kennzeichen des 3. Nachernteabschnittes

Nach Erreichen des Höchstwertes stellte sich wieder ein Rückgang der Atmungsintensität ein. Die Atmung verlief zumeist ein linear abnehmend, selten wurde ein negativ exponentiell fallender Verlauf festgestellt (Tab. 3). Die mittleren Abnahmen waren auch in diesem Abschnitt stark temperaturbeeinflusst:

- bei 1 °C -38,6 W t⁻¹ (= -30,1 %),
- bei 10 °C -33,9 W t⁻¹ (= -8,7 %),
- bei 20 °C -72,4 W t⁻¹ (= -11,4 %),
- bei 30 °C -148,6 W t⁻¹ (= -14,7 % bezogen auf den mittleren Anfangswert des jeweiligen Teilabschnittes).

Dieser Abschnitt erstreckte sich bei 1 °C auf 15 bis 17 Tage, bei 10 °C auf 9 Tage, bei 20 °C auf 9 bis 12 Tage und bei 30 °C auf 13 Tage.

Die **Höchstwerte** am Ende des 2. Nachernteabschnittes sind bei Baldrian-Wurzeln sehr ausgeprägt, vor allem bei niedrigen Temperaturen. Sie liegen oftmals über den Werten der erntefrischen Pflanzen (bezogen auf den jeweiligen mittleren Anfangswert der Versuche): 1 °C mit +27,2 W t⁻¹, 10 °C mit +71,8 W t⁻¹ und 20 °C mit +80,3 W t⁻¹, während der Höchstwert bei 30 °C in der Größenordnung des mittleren Anfangswertes lag (-22,5 W t⁻¹) (Abb. 2 - 5). Am **Ende der Versuchsdauer von 21 Tagen** wies die Atmungsintensität auf Grund des zwischenzeitlichen Anstieges nur geringere Abnahmen, bezogen auf das erntefrische Gut, als die anderen Arzneipflanzen (z.B. Pfefferminze-Kraut 10 °C - 60,1 %; Zitronenmelisse-Kraut 10 °C 51,5 % innerhalb von 80 h) (BÖTTCHER et al., 2000, 2002c) auf. Für Baldrian-Wurzeln ist für Bedingungen von 1 °C nur ein Rückgang um 15,8 W t⁻¹ (= -14,5 %), von 20 °C um

26,5 W t⁻¹ (= -4,8 %) und von 30 °C um -155,5 W t⁻¹ (= -16,82 %) (Tab. 3) ermittelt worden. Bei Bedingungen von 10 °C wurde sogar ein verbliebener leichter Anstieg statistisch gesichert: +46,5 W t⁻¹ (= +17,6 %). Er wurde durch den ausgeprägten Anstieg im 2. Nachernteabschnitt bedingt.

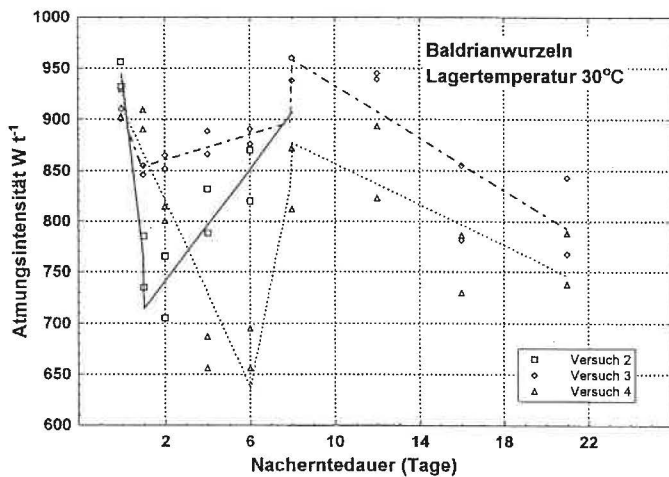


Abb. 5: Einfluss der Lagerdauer auf die Atmungsintensität von Baldrian-Wurzeln während der Nacherntezeit bei einer Lagertemperatur von 30 °C

Veränderungen der Frischmasse

Aufgrund des gewählten Verfahrens der Raumbelüftung in Verbindung mit kurzzeitiger Zwangsbelüftung geringerer Rate fielen die eintretenden *Frischmasseverluste* für Baldrian-Wurzeln erheblich niedriger als die von Blatt- und Stängelkräutern (BÖTTCHER et al., 2000, 2002a, 2002c) aus: 1 °C 0,38 %, 10 °C 0,79 %, 20 °C 1,41 % und 30 °C 2,37 % / 24 h. Deutlich ist die Temperaturabstufung zwischen 1 und 30 °C, die den Bedingungen der van't Hoff'schen Regel entspricht.

Diskussion

Vergleicht man die Atmungsaktivität pflanzlicher Organe zum Erntezeitpunkt bei Temperaturbedingungen von 10 °C, konnten für Baldrian-Wurzeln beachtliche Raten von 268 W t⁻¹ im Mittel von vier Versuchen ermittelt werden. Diese hohen Werte werden durch die feingestaltete Struktur der Wurzelstöcke, die den notwendigen Gasaustausch fördern, begünstigt. So liegt der mittlere Wurzelradius des Baldrians zwischen 1,35 und 2,53 mm (Tab. 1). Andere Wurzelrogen weisen vergleichsweise größere mittlere Wurzelradius auf: Eibisch 5,6 bis 15,4 mm, Blasser Sonnenhut 9,5 mm und Liebstöckel 10,4 mm (BÖTTCHER und GÜNTHER, 2005), dagegen kommt Roter Sonnenhut mit 2,5 mm dem Baldrian sehr nahe. Andererseits ist zu erwarten, dass der relativ späte Erntetermin im letzten Oktober-Drittel (Tab. 1) eigentlich die Atmungsintensität absenken müsste, zumal sich zum Erntezeitpunkt die Baldrian-Pflanzen bereits im Stadium der vegetativen Abreife und damit in Ausrichtung auf die physiologische Ruhe und die Umstellung auf die Seneszenz befanden. Dies wird auch durch die Stoffeinlagerung in die Wurzeln, durch den Chlorophyllabbau im Laubwerk und die fortschreitende Vergilbung von Blättern und Stängeln belegt. Trotzdem lagen die Mittelwerte der Atmung und ihre prozentualen Bezüge bei Baldrian weit über denen anderer Wurzelrogen (BÖTTCHER und GÜNTHER, 2005): Eibisch 86,1 W t⁻¹ (311,3 %), Blasser Sonnenhut 134,4 W t⁻¹ (199,4 %), Liebstöckel 135,6 W t⁻¹ (197,6 %)

und Roter Sonnenhut 202,5 W t⁻¹ (132,3%). Baldrian-Wurzeln weisen mit 268 W t⁻¹ auch erheblich höhere Aktivität als bekannte intensiv atmende Wurzel- und Knollengemüsearten auf (BÖTTCHER, 1996): Chicoree-Wurzeln 138 W t⁻¹, Spargelstangen 135 W t⁻¹, Radieschen 95 W t⁻¹, Sellerie-Knollen 68 W t⁻¹, Möhrenwurzeln 55 W t⁻¹ und Kohlrabi 46 W t⁻¹. Lediglich Brokkoli übertrifft den Baldrian mit 350 W t⁻¹.

Ein völlig abweichendes Verhalten zeigten Baldrian-Wurzeln während der Nacherntezeit von 21 Tagen. Unmittelbar nach der Ernte setzt – wie bei der Mehrzahl der anderen Pflanzen – ein alterungs- und seneszenzbedingter Rückgang der Aktivität ein (1. Nachernteabschnitt). Nach 1 bis 4 Tagen folgte ein steiler Anstieg der Atmung bis zu einem Höchstwert, der oftmals den Wert für erntefrische Proben überstieg (Abb. 2 - 5). Dies deutet darauf hin, dass ein zweiter Atmungsweg in den Geweben aktiviert wird, wie das aus dem Verhalten nach einer Wundsetzung von Geweben, nach mechanischer Stressbelastung oder aus der Reife der klimakterischen Früchten bekannt ist. Für ein zweites System sprechen die Fakten der scharfen Richtungsänderung im Funktionsverlauf, des einheitlichen statistisch gesicherten Auftretens in allen Temperaturstufen und Versuchen (Abb. 2 - 5) und das Durchlaufen eines Höchstwertes. Auch die starken Veränderungen der Umgebungsbedingungen mit der Entnahme aus der Erde (Milieu mit hohem CO₂- und niedrigem Sauerstoffgehalt) und die höhere Sauerstoff-Versorgung während der Nacherntezeit könnten begünstigend gewirkt haben. Grundsätzlich scheint das Aktivieren eines zweiten Weges in den pflanzlichen Zellen des Baldrians vorprogrammiert zu sein. Die genauen Ursachen und Abläufe für das Verhalten der Baldrian-Wurzeln müssen erst noch in weiterführenden Versuchen aufgefunden werden.

Mit Erreichen des Höchstwertes setzte wiederum als 3. Nachernteabschnitt ein linear oder exponentiell verlaufender Rückgang als Folge der fortschreitenden Seneszenz und anhaltenden Lagerveränderungen ein.

Eine solche zwischenzeitliche Erhöhung ist bisher nur sehr vereinzelt in den untersuchten Pflanzen aufgefunden worden. So z.B. im Liebstöckel-Kraut (*Levisticum officinale* W. D. J. KOCH) (BÖTTCHER et al., 2002d) für einen Lagerzeitraum von 70 h. Allerdings lag der Höchstwert nicht wesentlich über den Werten vom Zeitpunkt 4 h nach dem Ernten. An den Wurzeln des Liebstöckel-Krautes waren diese Veränderungen nicht vorhanden. Während BÖTTCHER und GÜNTHER (2002a) in Petersilie-Pflanzen nur einen exponentiell negativ fallenden Rückgang nach der Ernte ermittelten, fand APELAND (1971) einen solchen zwischenzeitlichen Anstieg nur im jeweils physiologisch ältesten Blattpaar von Petersilie-Pflanzen, aber nicht in den jüngsten. Somit scheint auch das physiologische Alter der geernteten Pflanzen entscheidend zu sein.

Ebenso reagierten Ginseng-Wurzeln (4. Anbaujahr - *Panax quinquefolius*) mit einer Aktivierung der Atmung während der Nacherntezeit. Nach 4 Wochen Aufbewahren in normaler Atmosphäre wurde ein Anstieg um 152 % gemessen; unter CA-Bedingungen mit 8 % CO₂ erreichten sie 266 % vom erntefrischen Zustand (JEON und LEE, 1999). Somit spielt auch die Zusammensetzung der Gaskomponenten der Atmosphäre eine Rolle für die Reaktion der Pflanzen. Den unmittelbaren Abfall der Aktivität nach der Ernte konnten sie nicht erfassen, da ihre Messzeitpunkte im Abstand von einem Monat erfolgten.

Das relativ hohe und lange anhaltende Atmungsniveau führte zu einem hohen Bedarf an Atmungssubstraten für den inneren Stoffwechsel, die als lösliche Kohlenhydrate, Aminosäuren, organische Säuren u.a. Verbindungen bereitgestellt werden müssen. Das hatte einen um 50 % höheren Verlust an Trockensubstanz als in anderen Wurzelrogen zur Folge (BÖTTCHER und GÜNTHER, 2005). Die Abführung der freigesetzten höheren Menge an Atmungsenergie während der Nacherntezeit durch Belüftung und Kühlung bewirkt natürlich auch einen stärkeren Verlust an Zellwasser aus dem pflanz-

lichen Gewebe. Atmungsenergie wird dabei teilweise in Transpirationsenergie überführt. Diese physiologischen Vorgänge bewirkten höhere Frischmasseverluste bei Baldrianwurzeln als in vielen anderen Arznei- und Gewürzpflanzen (BÖTTCHER und GÜNTHER, 2005), wie die ausgewiesenen Messwerte beweisen. Der Wasserentzug durch die erhöhte Transpiration führte insbesondere bei höherer Temperatur und fortschreitender Lagerdauer zu starker Welke und Beeinträchtigung des äußeren Ansehens des Lagergutes. Die Wasserabgabe wird aber auch durch einen geringeren Transpirationswiderstand derselben gefördert.

Schlussfolgerungen

Wichtigster Einflussfaktor auf die Atmung und Transpiration und die Veränderungen der äußeren Qualitätsmerkmale ist die Temperatur des Lagergutes, denn die physiologische Aktivität ist selbst bei +10 °C schon beachtlich. Obwohl Baldrian-Wurzeln erst Ende Oktober zur kühlen Herbstzeit gerodet und aufbereitet werden, bedürfen sie auf Grund dieses hohen Atmungsniveaus einer intensiven Kontrolle und Überwachung. Regelmäßige visuelle Qualitätskontrollen auf Welke und Fäule sowie Temperaturmessung in den lagernden Wurzelstapeln sollten täglich vorgenommen werden.

Entsprechend der guten, mit unserem Lagerverfahren erzielten Ergebnisse sollte auch in der Praxis eine *Zwangsbelüftung der Stapel*, vorwiegend *mit kalter Nachtluft*, zum Einsatz kommen. Da frisch geerntete Baldrian-Wurzeln nur über einen geringen Transpirationswiderstand verfügen, ist das Verfahren der Intervallbelüftung (Einsatz >10 h / d) von Vorteil, um das Austrocknen und Welken der Wurzeln zu minimieren. Es ist aber zu berücksichtigen, daß das Erntegut meist schon während der Aufbereitung gewaschen wurde und damit schätzungsweise > 4 - 8 % Haftwasser enthält. Seine Abtragung aus dem Stapel während der aktiven Belüftung unterstützt durch die auftretende Verdunstungskälte den Abkühlungsprozess und mindert den Abbau der äußeren Qualität.

Zielstellung muss es sein, die Produkttemperatur <10 °C zu halten und einen Schwitzprozess im Stapel zu verhindern. Zur genaueren energetischen Kalkulation der Nacherntemaßnahmen, wie Belüften, Kühlen, Trocknen u.a., können die Werte der zu erwartenden Atmungsintensität der Abb. 1 entnommen werden.

Danksagung

Für die Betreuung des Feldanbaues des Baldrians in der Versuchstation Baumannshof sind wir Herrn Schidmeier zu besonderem Dank verpflichtet.

Zusammenfassung

Frisch geerntete Baldrian-Wurzeln (*Valeriana officinalis* L.), Sorte 'Anthos' und Auslesestamm 'BLBP 19', weisen eine beachtliche Atmungsintensität auf. Sie erreichten im Mittel von 5 Versuchen bei 1 °C 108,6 ± 8,6 W t⁻¹, bei 10 °C 268,0 ± 25,5 W t⁻¹, bei 20 °C 554,3 ± 31,4 W t⁻¹ und bei 30 °C sogar 921 ± 21,6 W t⁻¹. Diese Atmungsintensität zeigte nach der Ernte während 21 Tagen Aufbewahren einen unsteten Verlauf, der nur durch Bruchpunktregressionen (piece-wise regressions) mit drei Teilabschnitten (sections) beschrieben werden kann. Unmittelbar nach dem Roden trat zunächst der seneszenz- und lagerbedingte Rückgang ein. Nach 1 bis 3 Tagen wendete sich der Verlauf und es setzte ein steiler Anstieg der Atmung in jeder Temperaturstufe und jedem Versuch ein (2. Nacherntabschnitt). Nach 3 bis 11 Tagen war der Höchstwert erreicht, der temperaturabhängig um 27,2 bis 80,3 W t⁻¹ über den Werten des Erntetages lag. Dann folgte wiederum der seneszenz-verursachte Abfall

der Atmungsintensität für weitere 9 bis 17 Tage. Im Gegensatz zu Blatt-, Kraut- und Blütendrogen lag der Rückgang nach 21 Tagen Lagerens bei 1 °C nur bei -4,8 bis -16,8 W t⁻¹, bei 10 °C war sogar ein Anstieg um +46,5 W t⁻¹ gegeben. Die Temperatur veränderte in erster Linie die Dauer der physiologisch bedingten Abschnitte und die Steilheit des Anstieges im ablaufenden Atmungsvorgang. Praktische Hinweise zur effektiven Belüftung und zur Organisation und Gestaltung der Nachernte werden gegeben.

Literatur

- APELAND, J., 1971: Factors affecting respiration and colour during storage of parsley. *Acta Horticulturae* 20, 43-52.
- BÖTTCHER, H., 1996: Frischhaltung und Lagerung von Gemüse. Ulmer-Verlag, Stuttgart.
- BÖTTCHER, H., GÜNTHER, I., BAUERMAN, U., 1999a: Physiological postharvest responses of marjoram (*Majorana hortensis* Moench). *Postharvest Biology Technology* 15, 41-52.
- BÖTTCHER, H., GÜNTHER, I., WARNSTORFF, K., 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-Weißenstephan, 1999 b, 107-118.
- BÖTTCHER, H., GÜNTHER, I., FRANKE, R., 2000: Physiologisches Nachernteverhalten von Zitronenmelisse (*Melissa officinalis* L.). *Z. Arzn. Gewürzpf.* 5, 145-153.
- BÖTTCHER, H., GÜNTHER, I., FRANKE, R., WARNSTORFF, K., 2001a: Physiological postharvest responses of Matricaria (*Matricaria recutita* L.) flowers. *Postharvest Biology Technology*, 18, 39-51.
- BÖTTCHER, H., GÜNTHER, I., FRANKE, R., 2001c: Vergleichende Untersuchungen zum Nachernteverhalten ausgewählter Arznei- und Gewürzpflanzen. *Z. Arzn. Gewürzpf.* 6, 129-137.
- BÖTTCHER, H., GÜNTHER, I., 2002a: Physiologisches Nachernteverhalten von Blattpettersilie (*Petroselinum crispum* (Mill.) Nym. ex A.W. Hill spp. *crispum*). *Z. Arzn. Gewürzpf.* 7, 336-341.
- BÖTTCHER, H., GÜNTHER, I., FRANKE, R., 2002c: Physiologisches Nachernteverhalten von Pfefferminze (*Mentha x piperita* L.). *Gartenbauwissenschaft* 67, 243-254.
- BÖTTCHER, H., GÜNTHER, I., WARNSTORFF, K., 2002d: Physiologisches Nachernteverhalten von Liebstöckel-Kraut (*Levisticum officinale* W.D.J. Koch). *Gartenbauwissenschaft* 67, 234-242.
- BÖTTCHER, H., GÜNTHER, I., 2003a: Physiologisches Nachernteverhalten von Blattdill (*Anethum graveolens* L. var. *hortorum* Alef.). *Z. Arzn. Gewürzpf.* 8, 27-32.
- BÖTTCHER, H., GÜNTHER, I., 2003b: Physiologisches Nachernteverhalten von Pflanzen zur Gewinnung von Blattdrogen. *Z. Arzn. Gewürzpf.* 8, 131-137
- BÖTTCHER, H., GÜNTHER, I., 2005: Physiologisches Nachernteverhalten von Wurzeln zur Gewinnung von Drogen. *Z. Arzn. Gewürzpf.* 10, 1, 44-52.
- BOMME, U., 2001: Kulturanleitung für Baldrian, Grundlegend überarbeitete 4. Auflage. Vertrieb: URL: <http://www.stmlf-design2.bayern.de/lbp/info/faltblatt/baldrian.pdf>. Accessed 7 February 2005.
- JEON, B.S., LEE, C.Y., 1999: Shelf-life extension of American fresh ginseng by controlled atmosphere storage and modified atmosphere packaging. *J. Food Scienc* 64, 328-331.

Anschrift der Verfasser:

Prof. Dr. H. Böttcher, Frau Ingeborg Günther, Institut für Ernährungswissenschaften der Landwirtschaftlichen Fakultät Halle, Emil Abderhalden-Str. 26, D-06108 Halle (Saale), Prof. Dr. U. Bomme, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Vöttinger Str. 38, D-85354 Freising, Frau Dr. Kristina Warnstorff, Arbeitsgruppe Biometrie und Agrarinformatik der Landwirtschaftlichen Fakultät, Ludwig Wucherer-Str. 83 - 85, D-06108 Halle (Saale)