Gartenbauwissenschaft, **67** (6). S. 243–254, 2002, ISSN 0016–478X. © Verlag Eugen Ulmer GmbH & Co., Stuttgart

Physiologisches Nachernteverhalten von Pfefferminze (*Mentha x piperita* L.)

Physiological Postharvest Response of Peppermint (*Mentha x piperita* L.) Herbs

H. Böttcher[1)], Ingeborg Günther[1)] und R. Franke[2)]
([1)]Institut für Ernährungswissenschaften der Landwirtschaftlichen Fakultät Halle (Saale) und [2)]Salus-Haus, Bruckmühl)

Zusammenfassung

Frisch geerntete Pfefferminze-Pflanzen (*Mentha x piperita* L.) weisen eine beachtliche Atmungsintensität auf. Sie erreichte im Mittel von 6 Versuchen bei 10 °C 552±155 W t^{-1}, bei 20 °C 1181±325 W t^{-1} und bei 30 °C 2209±523 W t^{-1}. Diese Atmungsintensität zeigte unmittelbar nach der Ernte einen deutlichen alterungsabhängigen Rückgang entsprechend der Regressionsfunktion $\hat{y}=\alpha+\beta\cdot e^{c(x-z)}$ ($c<0$; x=Lagerdauer in h). Innerhalb von 80 h Lagerung betrug der alterungsbedingte Rückgang bei 10 °C 60,1 %, bei 20 °C 51,1 % und bei 30 °C 44,4 % der ursprünglichen Rate. Die Auswirkung des Stoffwechsels auf den Verlust an Frisch- und Trockenmasse und die äußeren Qualitätsmerkmale wurden für die Temperaturstufen 10, 20, und 30 °C quantifiziert. Der Gehalt an ätherischen Ölen stieg bei Bilanzberechnung unter Berücksichtigung der Masseveränderungen durch Atmung und Transpiration, insbes. für den zweiten Schnitt, um >7,77 %/24 h. Die einzelnen Ölkomponenten unterlagen folgenden typischen Veränderungen, wenn sie auf der Grundlage von Bilanzen bestimmt und kalkuliert wurden:

Abnahmen traten für Menthon (erster Schnitt) um –3,76 %/24 h, Pulegon (erster Schnitt) um –4,05 %/24 h und Carvon um –3,95 %/24 h ein; Erhöhungen konnten für Menthol um +10,21 %/24 h, Menthofuran um +9,06 %/24 h, Menthylacetat um +23,05 %/24 h, Isomenthon (zweiter Schnitt) um +4,61 %/24 h und Cineol um +0,83 %/24 h ermittelt werden. Keine klare Antwort war für Limonen gegeben. Diese Zunahmen können auf eine Biosynthese während der Nacherntezeit zurückgeführt werden. Beste Erhaltung der äußeren Qualitätsmerkmale wurde durch Aufbewahren des Erntegutes bei +10 °C ermittelt.

Summary

Freshly harvested peppermint herbs (*Mentha x piperita* L.) have a considerable respiration rate according to 552±155 W t^{-1} [watts ton^{-1}] at 10 °C, 1181±325 W t^{-1} at 20 °C and 2209±523 W t^{-1} at 30 °C, on average of 6 trials. This respiration rate showed a clear senescence-related decline immediately after harvest in accordance with the course of the regression function $\hat{y}=\alpha+\beta\cdot e^{c(x-z)}$ ($c<0$; x=storage time in hrs). During 80 hrs of storage the senescense-caused decrease reached 60.1 % of its initial rate at 10 °C, 51.1 % at 20 °C and 44.4 % at 30 °C, respectively. The consequence of the metabolism on the loss of fresh weight, dry matter and external quality traits were quantified for temperature levels of 10, 20 and 30 °C, respectively. With consideration of the changes in mass by respiration and transpiration, the calculated balanced content of essential oil increased – especially in the second cut of the plants – by 7.77 %/24 hrs. The single essential oil components underwent the following typical changes, also estimated and calculated on the basis of balance calculation:

Decreases were recorded for menthone (first cut) by –3.76 %/24 h, for pulegone (first cut) by –4.05 %/24 h and for carvone by –3.95 %/24 h.

Increases occurred with menthol by +10.21 %/24 h, menthofuran by +9.06 %/24 h, menthylacetate by +23.05 %/24 h, isomenthone (2^{nd} cut) by +4.61 %/24 h and cineole by 0.83 %/24 h. No clear response could be found for limonene. These increases can be explained by a biosynthesis of the components during the postharvest period. The best maintaining of external quality traits could be found by storing the harvested plant material at 10 °C.

Einleitung

Der phytotherapeutische und aromatisierende Wert von Pfefferminze wird neben anderen Merkmalen, wie den Lamiaceae-Gerbstoffen, durch ihren Gehalt an ätherischen Ölen, durch die im Öl enthaltenen Komponenten und das Verhältnis dieser zueinander bestimmt (Bomme und Hillenmeyer 2001; Petersen 2001). Um eine hohe und günstige Qualität abzusichern, wurden bei Pfefferminze schon wiederholt die genetischen, agro- und verarbeitungstechnischen Einflüsse näher analysiert (White et al. 1987; Court et al. 1993; Pank et al. 1994; Bomme et al. 2001). Bomme prüfte mit seinen Mitarbeitern ein Sortiment von 122 Minze-Sorten und -Herkünften aus aller Welt auf ihren Krautertrag und Gehalt an ätherischen Ölen. (Stahn und Bomme 1997; Bomme et al. 2001; Bomme und Hillenmeyer et al. 2001).

Schon frühzeitig wurde auch das Nachernteverhalten bei Pfefferminze näher untersucht. Esdorn (1950) ermittelte teilweise beträchtliche Zunahmen im Gehalt an ätherischem Öl von Pfefferminz-Erntegut während

einer mehrtägigen Nachlagerung und natürlicher Welke und Trocknung, die als „postmortale Ölneubildung" ausgelegt wurden. FRANZ und WÜNSCH (1972) stellten an welkenden Pefferminzblättern im Verlauf von 48 h bei +22 °C einen Anstieg des Gehaltes an ätherischem Öl um 36,4 % bzw. 5 % bezogen auf den Schnitttermin fest. Durch den Abbau des Proteins im Stoffwechsel stieg die Summe freier Aminosäuren während der Nacherntezeit (Zustand der Welke) auf das 2,7-fache an. Während die zum Erntetermin vorherrschenden Verbindungen Asparagin- und Glutaminsäure innerhalb von 48 h um 29 % bzw. 67 % zurückgingen, war ein sehr auffälliger Anstieg von L-Leucin auf den 12,8-fachen Wert gemessen worden (FRANZ und WÜNSCH 1973), das als Precursor für die verstärkte Bildung von pflanzlichen Aromastoffen und ätherischen Ölen angesehen wird (FRANZ und WÜNSCH 1972). Sie belegten durch Einbau von ^{14}C-markiertem L-Leucin diese These (FRANZ und WÜNSCH 1973).

Doch in den bisherigen Versuchen sind die physiologischen Aktivitäten der Kräuter nach der Ernte (Atmung, Transpiration), insbesondere ihre Abläufe und Intensitäten, nicht berücksichtigt worden. Es wurden noch keine Bilanzversuche zum Erfassen der Wirkstoff veränderungen angelegt.

Die bisherigen Angaben zu den ablaufenden physiologischen Prozessen während der Nacherntezeit im Pfefferminze-Erntegut sind spärlich. So bestimmten CANTWELL und REID (1993) am 3. Tag nach der Ernte an Pfefferminz-Pflanzen eine beachtliche Atmungsintensität: bei 0 °C von 60,6 W t^{-1}, bei 10 °C von 242,3 W t^{-1} und bei 20 °C von 848,1 W t^{-1}.

Der Q_{10}-Wert für den Temperaturanstieg lag für die Spanne 10/20 °C mit 3,5 sehr hoch. Ethylenbildung und -sensibilität bestimmen den Abbau der visuellen Qualität während der Nacherntezeit entscheidend. Die Ethylenbildungsrate in Pfefferminze-Pflanzen lag bei 0 und 10 °C mit 0,08 bzw. 0,26 nl C_2H_4 g^{-1} h^{-1} weit unter dem Mittelwert für die untersuchten Kräuter. Bei 20 °C stieg sie auf 1,70 nl C_2H_4 g^{-1} h^{-1} an, wobei der Q_{10} für die Spanne 10/20 °C 6,5 aufweist. Dies erklärt den steilen Rückgang der äußeren Qualität bei 20 °C. Auch die Ethylenempfindlichkeit ist sehr ausgeprägt und kann schon bei 0,4 ppm in der Lageratmosphäre nachgewiesen werden (CANTWELL und REID 1993). Trotzdem wird die Ethylenwirkung für Pfefferminzerntegut sowohl hinsichtlich des visuell erkennbaren Vergilbens als auch der Blattabscision nach 7 Tagen als „moderat" eingeschätzt (CANTWELL und REID 1993).

Pfefferminze-Kraut erweist sich mit einem Verlust von nur 7,4 ml Wasser 0,1 m^{-2} Tag^{-1} im Vergleich zu allen anderen Kräutern als relativ widerstandsfähig gegenüber einer Wasserabgabe (CANTWELL und REID 1993).

In einer neueren Arbeit unterstreicht FRANZ (2001) die Notwendigkeit, neben Erntetechnik und -zeitpunkt auch die Nacherntetechnologie und Lagerung in die nachhaltige Qualitätssicherung von Arznei- und Gewürzpflanzen sowohl bei der „Good Manufacturing Practise" als auch bei der „Good Agricultural Practise" einzubeziehen.

Ziel der Arbeit war es, das Stoffwechselverhalten von Pfefferminze-Pflanzen aus dem mitteldeutschen Feldanbau während der Nacherntezeit zu quantifizieren und Erkenntnisse über die Stabilität der qualitätsbestimmenden Wirkstoffe und die eintretenden Veränderungen in ihrem Spektrum zu gewinnen. Dies erfolgte in Abhängigkeit von der Lagertemperatur und -dauer. Gleichzeitig sollten Grundlagen für die optimale Gestaltung der Nacherntebehandlung erarbeitet werden.

Unter der Nacherntezeit wird in dieser Arbeit der Zeitraum von der Ernte, d. h. dem Schneiden der grünen Pflanzen auf dem Felde, bis zur weiteren Verarbeitung durch Belüften, Kühlen, Gefrieren, Trocknen und Extrahieren verstanden. Es handelt sich hier um ein frisch geerntetes, technisch unbearbeitetes Pflanzenmaterial, das innerhalb der Nacherntezeit bis zu 80 Stunden ab Schnitttermin gelagert worden ist.

Material und Methoden

Pflanzenmaterial

Pfefferminze-Pflanzen (*Mentha x piperita* L) der verbreiteten Sorte 'Multimentha' sind für die Versuche im Feldanbau auf dem Kräuterhof Bernburg-Waldau und auf Feldversuchsparzellen der Lehr- und Versuchsstation Halle (Saale) (beide Standorte sandiger Lößlehm, mitteldeutsches Trockengebiet) aus Kopfstecklingen herangewachsen. Die Pflanzen sind zum optimalen Zeitpunkt für die Arzneinutzung im Knospenstadium bis Beginn der Blüte von Hand mit der Schere mit 8 cm verbleibender Stoppel geschnitten worden. Es ist darauf geachtet worden, daß noch keine Gelbfärbung, vor allem an den ältesten Blättern, eingetreten war. Insgesamt wurden 6 Versuche zur Nacherntelagerung durchgeführt, dabei waren die Versuche 5 und 6 als 1. und 2. Schnitt vom gleichen Pflanzenbestand entnommen worden, so daß ein direkter Vergleich des Schnittzeitpunktes möglich ist. Angaben zur genutzten Pflanzenlänge, zu den Witterungsbedingungen bei der Ernte und zum Erntezeitpunkt sind in Tab. 1 zusammengefaßt.

Die Temperaturwerte von Umgebungsluft und Ernteprodukten (Tab. 1) sind mittels digitaler Temperatursensoren unmittelbar zum Schnitttermin bestimmt worden.

Versuchsablauf der Nacherntelagerung

Das frisch geschnittene Erntegut (Blätter und Stengel) ist „zufällig" in Stichproben von 400 g Masse eingeteilt und in die gleichen Meß- und Lagerboxen eingelegt worden, wie sie für Bohnenkraut, Kamillenblüten, Zitronenmelisse, Salbei u.a. verwandt worden sind (BÖTTCHER und GÜNTHER 1999; BÖTTCHER et al. 2000a, b; 2001a). Sie lagerten unbelichtet, bei konstanter Temperatur und hoher Luftfeuchtigkeit ohne Unterbrechung bis zu 80 h. Die drei gewählten Temperaturstufen simulierten folgende physiologischen Bedingungen:

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

Tab. 1. Charakterisierung des Erntegutes von Pfefferminze ('Multimentha') und seiner anfänglichen Atmungsintensität bei Meßbedingung von 10 °C.
Characterization of plant crops of peppermint herbs (variety 'Multimentha') and their initial postharvest respirationrate at measurement conditions of 10 °C.

Versuchs-Nr.	Standjahr	Schnitt	Erntedatum	Entwicklungszustand	Standort	genutzte Sproßlänge in cm	Trockenmasse %	Temperatur Luft °C	Temperatur Produkt °C	Klima während der Ernte	Atmungsintensität W t^{-1}
1	1	1.	03.08.93	Blühbeginn	Bernburg	30–36	18,0	30,2	27,9	sonnig, warm	710–740
2	2	1.	30.06.94	ohne Blühansatz	Bernburg	25–35	16,3	17,4	18,2	Vorabend: Gewitter, kühl nach Wärmeperiode, sonnig	380–460
3	3	1.	26.05.95	ohne Blühansatz	Halle	24–36	16,9	24,8	22,3	schwül, trübe	466–483
4	3	3.	21.10.95	Knospen ohne Blüten	Halle	22–32	15,5	11,0	11,3	kühl, sonnig, trocken, leicht taufrisch	353–362
5	1	1.	25.07.96	Knospen 3 % Blüten	Halle	25–35	21,1	19,2	19,2	trübes Wetter, nachfolgend Regen, mehrere Tage trocken	588–622
6	1	2.	09.09.96	Knospen ohne Blüten	Halle	23–30	21,5	18,0	15,0	kühl, trocken, zeitweise sonnig	698–769

Damit sollten Ernte- und Lagerbedingungen nachgestellt werden, wie sie in der Praxis auftreten können. Bei jeder Temperaturstufe waren zwei unabhängige Meß- und Lagerboxen im Einsatz (d. h. n=2). Der technische Versuchsaufbau war somit für alle Versuche folgender:

Produkttemperatur (Faktor A):	10, 20 und 30 °C
Lagerdauer (Faktor B):	4, 10, 20 … 80 h
Versuche:	1–6
Wiederholungen:	n=2

Die Lagerversuche sind als Bilanzversuche angelegt worden, so daß durch Bilanzberechnung die Ermittlung der Verluste an Trockenmasse, ätherischem Öl und seinen Komponenten möglich war.

Atmungsmessung

Durch die Lager- und Meßboxen wurde kontinuierlich ein temperierter CO_2-freier Luftstrom mit einer Rate von 60 bis 70 l h^{-1} geleitet (Meßaufbau siehe BÖTTCHER et al. 1999a, b). Dadurch konnte die von den Pflanzenorganen freigesetzte Menge an Atmungs-CO_2 kontinuierlich in der Abluft mittels eines Meßgerätes Siemens Ultramat Modell 21/21+O2 gemessen werden. Der Luftstrom führte gleichzeitig die gebildete Atmungswärme ab, damit die gewählte Temperatur aufrechterhalten werden konnte. Aus den Meßwertreihen sind in äquidistanten Zeitintervallen die Meßwerte abgenommen und in W t^{-1} (Watt Tonne^{-1}) als energiebezogene Maßeinheit für die Atmungsintensität umgerechnet worden (BÖTTCHER et al. 1999a, 2000b). Dadurch wird es möglich, die Meßergebnisse direkt für die Berechnung der entscheidenden nacherntetechnologischen Maßnahmen wie Belüften, Trocknen u.a. zu nutzen (BÖTTCHER und GÜNTHER 1999; BÖTTCHER et al. 1999a, b, 2000a, b, 2001a).

Die Temperaturabhängigkeit der Atmungsintensität ist durch Berechnung des Q_{10} charakterisiert (BÖTTCHER und GÜNTHER 1999, BÖTTCHER et al. 1999a, b).

Frischmasseverlust und Trockenmasse

Sie sind in folgender Weise bestimmt worden:

Frischmasseverlust: Bestimmung als Massedifferenz durch Netto-Wägung des frischen Pflanzenmaterials zu Lagerbeginn (Erntezeitpunkt) und Lagerende mit Bezug auf den Einlagerzeitpunkt.

Trockenmasse: schonende Warmlufttrocknung bei 35 bis 40 °C bis zur Massekonstanz.

Trockenmasseverlust: Berechnung der Massebilanz für den Zeitraum von 80 h mit Bezug auf die Trockenmassemenge der Atmungssproben zum Einlagerzeitpunkt (M_{TMA}/M_{TME} %). [M_{TMA}=Masse der Proben an Trockenmasse zum Auslagerzeitpunkt, M_{TME}=Masse der Proben an Trockenmasse zum Einlagerzeitpunkt].

Wirkstoffbestimmung

Für die quantitative Wirkstoffbestimmung sind die Pflanzenproben (grobgeschnittene Ganzpflanzen) nach ihrer Entnahme sofort schonend im Warmluftstrom von 35 bis 40 °C getrocknet und für 8 bis 10 Tage zur Nachtrocknung und zum Feuchtigkeitsausgleich im Trockengut in mehrfachlagigen Papierbeuteln in einem Raum mit gleichmäßiger niedriger Luftfeuchtigkeit (<40 %) zwischengelagert worden. Dann erfolgte eine mechanische Aufbereitung durch eine Moulinette auf eine Partikelgröße von ca 700 µm.

Ätherische Öle

20 g zerkleinerte Prüfsubstanz ist einer zweistündigen Wasserdampfdestillation unterzogen und der Gehalt in ml 100 g^{-1} lufttrockener Droge bestimmt worden (siehe auch BÖTTCHER et al. 2002a).

Komponenten des ätherischen Öles

Die gaschromatographische Bestimmung der wichtigsten Einzelkomponenten Menthon, Menthol, Isomenthon, Menthofuran, Cineol, Pulegon, Menthylacetat, Limonen und Carvon erfolgte entsprechend der Vorschrift für Pfefferminzöl (EUROP. PHARMACOPOEIA 2002). Das wasserfrei abgelassene Öl ist mit Diethylether zu einer 1 %-igen Lösung verdünnt worden. Diese wurde zur gaschromatographischen Bestimmung unter folgenden Bedingungen verwandt: Kapillarsäule DB-Wax 60 m, 0,32 mm ID, 0,25 µm FD; Trägergas Stickstoff, nachgereinigt, Durchflußrate: 1,5 ml min^{-1}; gespritzte Menge: 1 µl; Injektor-/Detektor-Temperatur 225 °C; Temperaturprogramm: 1 min bei 65 °C halten; dann 3 min bis 180 °C, dann 10 min bis 200 °C, dann 35 min isotherm. Die Ermittlung der Identität der einzelnen Substanzen erfolgte durch Retentionszeitenvergleich mit definierten Referenzsubstanzen bzw. durch Aufspiken der Probelösung mit definierten Referenzsubstanzen. In Zweifelsfällen wurde auch GC-MS eingesetzt.

Aus den Gaschromatogrammen wurde die Gesamtfläche ermittelt und für die einzelnen Peaks der prozentuale Flächenanteil der Komponenten berechnet und dieser auf den Anteil am Gesamtöl in % zu den einzelnen Meßzeitpunkten bezogen.

Das Erfassen der Veränderungen der Komponenten im Verlauf der Nacherntezeit erfolgte über die Ermittlung der absoluten Menge der einzelnen Komponenten in den Drogenproben. Für die Bilanzberechnung sind dann diese absoluten Mengen der gelagerten Proben jeweils mit den aus erntefrischem Material (Lagerbeginn) in Beziehung gebracht und als Veränderungen in % der Menge zum Erntezeitpunkt gesetzt worden (Abb. 6–8).

Zum Einsatz kamen die Referenzsubstanzen nach EUROPEAN-PHARMACOPOEIA (2002): Menthon *R*, Menthol R, (+)-Isomenthon *R*, Menthofuran *R*, Cineol *R*, Pulegon *R*, Menthylacetat *R*, Limonen *R*., und (+)-Carvon *R*. Sie wurden vor der Bestimmung einer Gehalts- und Identitätsprüpfung unterzogen.

Statistische Auswertung

Der Einfluß der Prüffaktoren (Lagertemperatur, Lagerdauer sowie jährliche Anbau- und Witterungsbedingungen) auf die Prüfmerkmale ist mit Hilfe der ein- und mehrfaktoriellen Varianzanalyse geschätzt worden, signifikante Differenzen sind auf der Basis einer Irrtums wahrscheinlichkeit von p = 0,05 % in den Abbildungen mit dem Zeichen + ausgewiesen. Häufig sind auch Mittelwerte mit ihrer statistischen Streuung *s* angegeben.

Der Alterungsverlauf der Atmungsintensität der bei den verschiedenen Temperaturstufen gelagerten Stichproben erfolgte durch geeignete Regressionsfunktionen in Abhängigkeit von der Lagerdauer (x). Ihre Auswahl erfolgte durch das versuchsbezogene Bestimmtheitsmaß $B_{korr.}$ ($= SQ_{Regression}/SQ_{Behandlung=Nacherntelagerung}$), das den durch die geschätzten Regressionsfunktionen abgedeckten Anteil von der Gesamtvariabilität ausdrückt. (BÖTTCHER und GÜNTHER 2000a, b).

Zur technischen Bearbeitung wurde jeweils das Programm „Statistica for windows ™ operating system, Release 5.0, Stat. Soft Inc. Tulsa, OK." genutzt.

Ergebnisse

Atmungsintensität zum Erntezeitpunkt

Bei einer Temperatur des Erntegutes von 10 °C lagen die gemessenen Einzelwerte aus den 6 Versuchen im Bereich zwischen 353 und 770 W t^{-1}. Der Mittelwert für diese Temperaturstufe berechnet sich auf 552 ± 155 W t^{-1}. Die relativ große Schwankungsbreite der Einzelmeßwerte und die hohen Werte für die statistische Streuung der Mittelwerte (s) lassen einen zweifachen Temperatureinfluß aus den „jährlichen Wachstumsbedingungen" erkennen, denn neben den abgestuften aktuellen Tagestemperaturen am Erntetag führt die für Pfefferminze weitgezogene Erntezeitspanne, die zwischen Ende Mai und Mitte Oktober lag (Tab. 1), auch zu einem jahreszeitlichen Temperatureinfluß. So ist im Versuch 1 (Tab. 1) bei einem Erntermin am 3. August bei einer Produkttemperatur von 27,9 °C eine Atmungsintensität von 725 W t^{-1} bestimmt worden, im Versuch 4 (Tab. 1) bei Schnitt am 21. Oktober mit einer Produkttemperatur von 11,3 °C dagegen der niedrigste Wert mit 358 W t^{-1} (Meßbedingungen jeweils 10 °C). Unter Vorsommerbedingungen am 26. Mai

Tab. 2. Bewertung der äußeren Qualität von Pfefferminze-Pflanzen während der Nacherntezeit (Versuch 2).
Assessment of the external quality of peppermint-herbs during postharvest period (Trial 2).

Lagerdauer	**Temperatur**		
h	**10 °C**	**20 °C**	**30 °C**
20	frisch, grün, ohne Welke	noch frisch, voll grüne Farbe.	leicht gewelkt, noch vollgrün
40	frisch, voll grün, Spuren von Welke	leicht gewelkt, noch grün und sehr ansehnlich	ausgeprägt gewelkt und gealtert, aber noch grün
60	noch sehr frisch und grün, nur minimale Welke	minimale Welke, grün, nur vereinzelt minimaler Gelbstich	deutlich ausgeprägt gewelkt, graugrüne Farbe
70	wenig gewelkt, frisch, ohne Vergilbung	leicht gewelkt, noch grün, vereinzelt Gelbstich	stark gewelkt, teils eingetrocknet, gelbgrüner Farbstich
80	minimale Welke, grün ohne Vergilbung	deutlich gewelkt, grün mit Gelbstich	teils eingetrocknet, stark gelbgrün bis gelblich

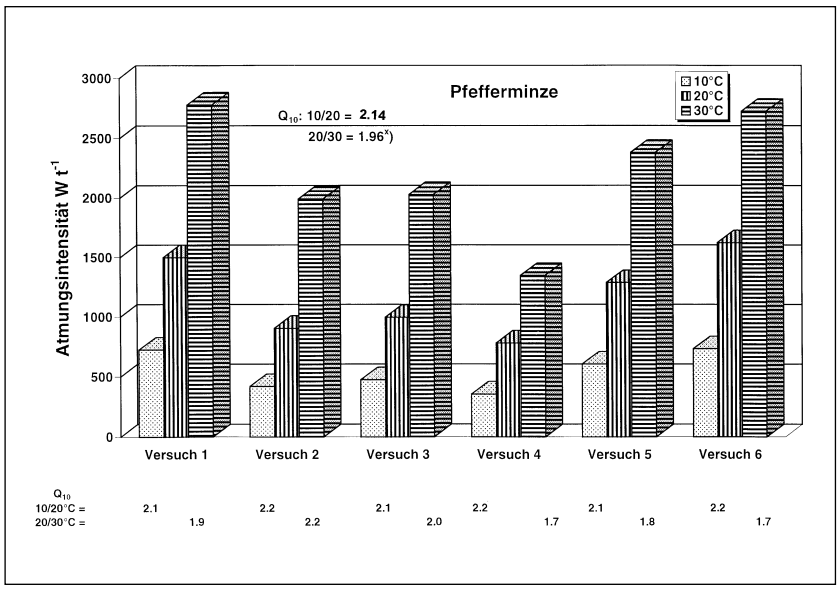


Abb. 1. Einfluß der Temperatur von 10, 20 und 30 °C auf die Atmungsintensität von frisch geernteten Pfefferminze-Pflanzen.
Influence of temperature (10, 20 and 30 °C) on the respiration rate of freshly harvested peppermint herbs.

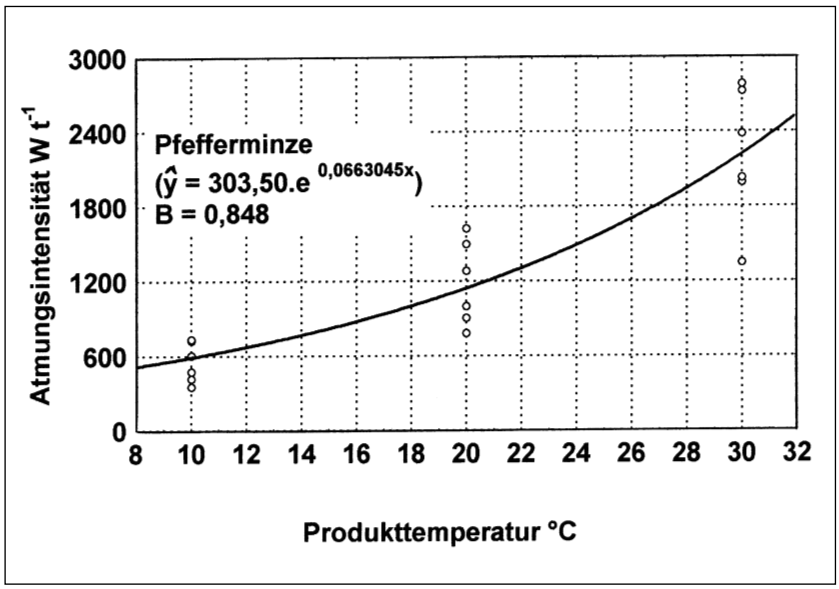


Abb. 2. Einfluß der Produkttemperatur auf die Atmungsintensität frisch geernteter Pfefferminze-Pflanzen.
Influence of product temperature on the respiration rate of freshly harvested peppermint herbs.

(Versuch 3) ist trotz einer Produkttemperatur von 22,3 °C nur eine Intensität von 475 W t^{-1} erreicht worden (Tab. 1).

Mit Ansteigen der Temperatur erhöhte sich auch die Atmungsintensität der Pfefferminze in den einzelnen Versuchen erheblich (Abb. 1 u. 2), so daß bei 30 °C Werte bis zu 2 700 W t^{-1} gemessen wurden. Die Mittelwerte zum Erntezeitpunkt betrugen bei einer Temperatur von 20 °C 1181±325 W t^{-1} und von 30 °C 2209± 523 W t^{-1}. So erreichte der Q_{10}-Wert für die Temperaturstufe von 10 zu 20 °C in den Einzelversuchen Werte zwischen 2,1 und 2,2 ($\bar{x}$=2,14) (Abb. 1) und entsprach damit der van't Hoff'schen Regel. Für den anschließenden Temperaturbereich von 20 zu 30 °C schwankte der Q_{10} zwischen 1,7 und 2,2 (Abb. 1), so daß sich ein Mittelwert von $\bar{x}$=1,87 (bei Korrektur der Temperaturerniedrigung im Produkt $\bar{x}$=1,93). Somit ist in der höheren Temperaturspanne nur eine geringere Wärmedepression für die Atmung von Pfefferminze als bei der niederen Temperaturspanne gegeben.

Einfluß der Lagerung auf die äußeren Qualitätsmerkmale

Die Qualitätsveränderungen von Pfefferminze-Pflanzen während der Nacherntezeit werden in erster Linie durch das Welken als Folge der permanenten Transpiration von Zellwasser, in zweiter Position durch die etwas zeitlich später einsetzende Vergilbung bestimmt. In Tab. 2 sind die typischen Veränderungen aus dem Versuch 2, stellvertretend für alle anderen Versuche, formuliert. Dabei ist ein starker temperaturabgestufter Einfluß gegeben, denn eine „gute Qualität" ist bei Bedingungen von 10 °C bis zu 70 h gegeben, bei 20 °C bis zu 60 h und bei 30 °C nur bis zu 30 h der Nacherntezeit gesichert.

Einfluß der Lagerung auf die Atmungsintensität

Nimmt man eine statistische Analyse aller gemessenen Werte für die Atmungsintensität von Pfefferminze während der Nacherntezeit vor, so stellt man einen stark ausgeprägten Einfluß des Prüffaktors „Lagertempera-

tur“ (A) mit $F_{exp.}=5707^{+}$ fest. Mit deutlichem Abstand folgen die Prüffaktoren „jährliche Versuchsbedingungen“ (C) mit $F_{exp.}=526^{+}$ und die „Lagerdauer“ (B) mit $F_{exp.}=280^{+}$. Von den Wechselwirkungen fallen insbesondere AxC ($F_{exp.}$ 103,4^{+}) und AxB ($F_{exp.}$ 25,5^{+}) ins Auge. Die Wechselwirkung AxC belegt den bereits angesprochenen Einfluß des Erntezeitpunktes auf die Atmung, der aus der relativ weiten agrotechnischen Spanne des Erntetermines und der aktuellen Tagestemperatur resultiert.

In Abhängigkeit von der Lagerdauer zeigte die Atmungsrate in den ersten Stunden nach der Ernte einen wesentlich stärkeren Rückgang in der Zeiteinheit als zu einem späteren Termin, so daß sich die reale Atmungsintensität während der Lagerung einem alterungsunabhängigem Anteil (α) asymptotisch nähert. Ein solches Verhalten entspricht auf jeder Temperaturstufe einem „negativ exponentiell fallenden“ Verlauf im Regressionsmodell (WARNSTORFF und DÖRFEL 1999). Dies wurde auch bei der Mehrzahl der bisher untersuchten Arznei- und Gewürzpflanzen gefunden und durch folgendes Regressionsmodell belegt, das aber auch dem Verhalten anderer frischer pflanzlicher Produkte entspricht (BRASH et al. 1995):

$$\hat{y}=\alpha+\beta\cdot e^{c(x-z)} \qquad (c<0). \qquad \text{(Gleichung 1)}$$

Dabei bedeuten:
- $\hat{y}$ – Atmungsintensität [W t^{-1}]
- x – Nacherntezeit [h]
- α – verbleibende Atmungsintensität unter Seneszenzbedingungen bei relativ langer Lagerdauer (alterungsunbeeinflußt) [W t^{-1}]
- ß – alterungsbeeinflußte Abnahme der Atmungsintensität während der Nacherntezeit [W t^{-1}]
- c – Maß für die Veränderung der relativen Abnahmerate im Verlauf der Nacherntezeit (Abnahme relativ zur maximal möglichen Abnahme) [h^{-1}]
- z – Zeitdauer von der Ernte bis zum Erreichen des Gleichgewichtszustandes im Meßsystem [h]
- α+ß – mittlere Atmungsintensität zu Beginn des Auswertungszeitraumes [W t^{-1}].

Der Seneszenzverlauf (Alterung) von Pfefferminzpflanzen konnte an Hand der vorliegen den Meßergebnisse der 6 Versuche mit folgenden Regressionsgleichungen belegt werden:

• 10 °C

$$\hat{y}=209{,}9370+343{,}9550e^{-0{,}045115(x-4)} \qquad \text{(Gleichung 2)}$$

$B_{korr.}=0{,}998$
$s_R=\pm 100{,}49$
$a+b=553{,}892$

• 20 °C

$$\hat{y}=574{,}3282+600{,}6591e^{-0{,}081785(x-4)} \qquad \text{(Gleichung 3)}$$

$B_{korr.}=0{,}995$
$s_R=\pm 213{,}2309$
$a+b=1174{,}9873$

• 30 °C

$$\hat{y}=1213{,}297+970{,}9490e^{-0.087215(x-4)} \qquad \text{(Gleichung 4)}$$

$B_{korr.}=0{,}946$
$s_R=\pm 455{,}864$
$a+b=2184{,}246.$

Der Alterungsverlauf der Atmung von frisch geernteten Pfefferminze-Pflanzen ist für die drei untersuchten Temperaturstufen graphisch in den Abb. 3–5 aufgezeichnet.

Der Anteil der alterungsbedingten mittleren Atmungsabnahme im Verlauf von 80 h konnte aus den erhaltenen Regressionsfunktionen berechnet werden. Er erreichte bei 10 °C 60,1 %, bei 20 °C 51,1 % und bei 30 °C 44,4 %. In der 70. Stunde nach der Ernte wiesen Pfefferminze-Pflanzen in den einzelnen Versuchen noch folgende Atmungsintensität auf: 10 °C = 127–354 W t^{-1}, 20 °C 350–820 W t^{-1} und 30 °C 742–2040 W t^{-1}.

Am Ende des gewählten Nacherntеabschnittes von 80 h lag der Wert für den temperaturbedingten Anstieg der Atmung (Q_{10}) für die Spanne von 10/20 °C mit 2,54 deutlich höher als zum Erntetermin ($Q_{10}=2{,}14$). Für die Spanne von 20/30 °C war dieser nur minimal nach oben verschoben ($Q_{10}=1{,}84$ im Mittel aller 6 Versuche). Für Pfefferminze-Pflanzen blieb also auch während der Alterung in der Nacherntezeit ihre hohe Temperatursensibilität erhalten.

Veränderungen von Frisch- und Trockenmasse

Die stark ausgeprägte Transpirationsneigung frisch geernteter Pfefferminze-Pflanzen und ihre beachtliche Atmungsintensität während des Aufbewahrens bedingen deutliche Frischmasseverluste, die bei 10 °C = 1,74 %, bei 20 °C = 4,55 % und bei 30 °C = 11,53 %/24 h erreichten. Der Trockenmassegehalt des Erntegutes bewegte sich in Abhängigkeit von den jährlichen Anbau- und Wachstumsbedingungen zwischen 15,5 und 21,5 % (Tab. 1).

Der Verlust an Trockenmasse durch die Atmung berechnet sich im Mittel von 5 Versuchen bei 10 °C auf 3,18 %/24 h, bei 20 °C auf 6,22 %/24 h und 30 °C auf 8,83 %/24 h (bezogen auf Trockenmasse bei der Einlagerung).

Veränderungen der Wirkstoffe

Die ätherischen Öle sind die Hauptwirkstoffe der Pfefferminze. Ihr Verhalten wurde speziell in den Versuchen 5 und 6 (Tab. 1) analysiert. Im ersten Schnitt waren 1,84 ml 100 g^{-1} Droge, im 2. Schnitt 1,48 ml 100 g^{-1} Droge enthalten (analysiert nach schonender Warmlufttrocknung von 35 °C). Zum Erntezeitpunkt dominierten nach der Menge die Komponenten Menthon, Menthol und Isomenthon (Tab. 3). Obwohl die Pflanzen des 1. und 2. Schnittzeitpunktes entwicklungsphysiologisch im gleichen Stadium zu Blühbeginn geerntet wurden (Tab. 1), konnten beim 2. Schnitt 11,52 % weniger Menthon, 9,39 % mehr Menthol und 3,0 % mehr Menthofuran bestimmt werden (Tab. 3). Alle übrigen 6 untersuchten Komponenten wiesen nur Veränderungen $<\pm 1{,}0$ % absolut auf.

Nach 80 h Nacherntelagerung wiesen die bei 10, 20 und 30 °C gelagerten und getrockneten Proben ähnliche Gehalte an ätherischen Ölen in der aktuellen Masse wie die nicht gelagerten Proben auf (Abb. 6 A). Lediglich bei Bedingungen von 20 °C war die Menge an ätherischen Ölen um 0,18 bzw. 0,37 ml 100 g^{-1} Droge mit Bezug auf das erntefrische Material erhöht. Bei 30 °C war diese dagegen nur 0,11 bzw. 0,37 ml 100 g^{-1} Droge (Abb. 6 A).

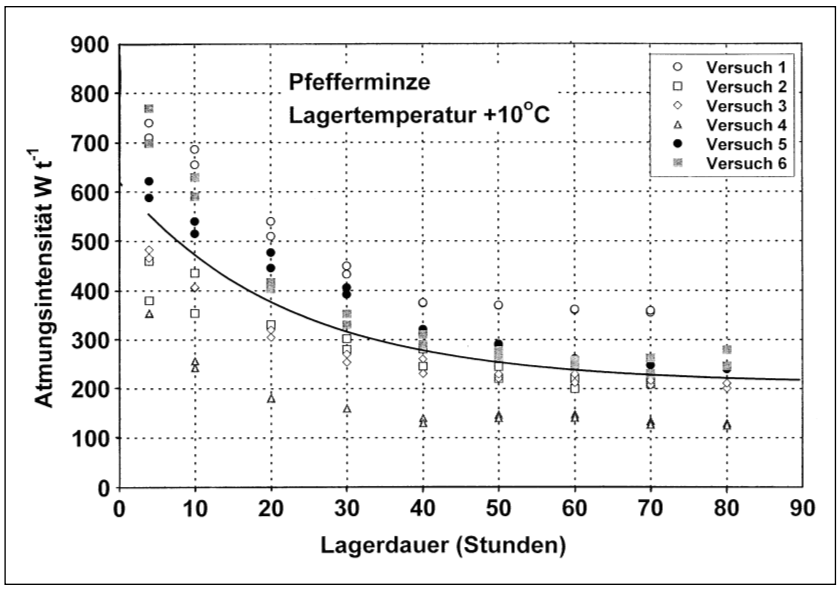


Abb. 3. Atmungsintensität von Pfefferminze-Pflanzen während der Nacherntezeit von 80 Stunden bei einer Lagertemperatur von 10 °C.
Postharvest respiration rate of peppermint herbs during 80 h of storage at a storage temperature of 10 °C.

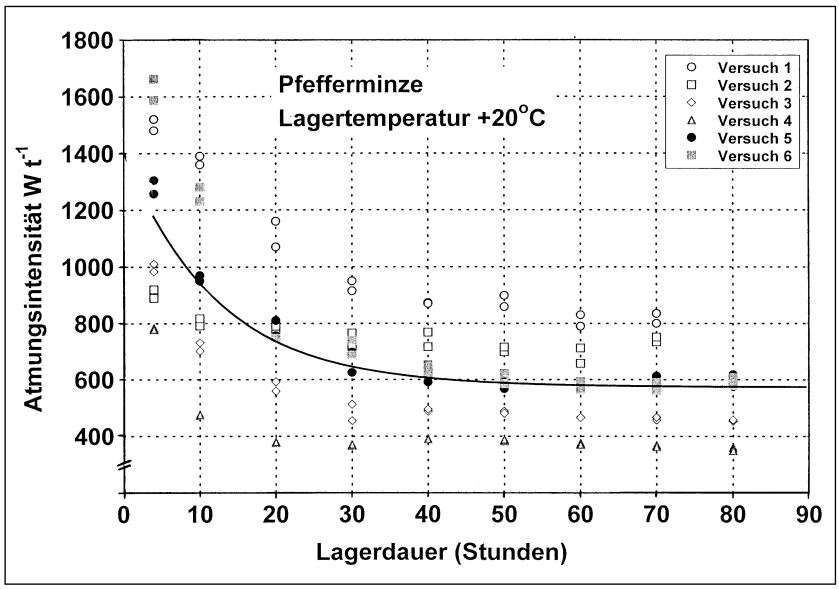


Abb. 4. Atmungsintensität von Pfefferminze-Pflanzen während der Nacherntezeit von 80 Stunden bei einer Lagertemperatur von 20 °C.
Postharvest respiration rate of peppermint herbs during 80 h of storage at a storage temperature of 20 °C.

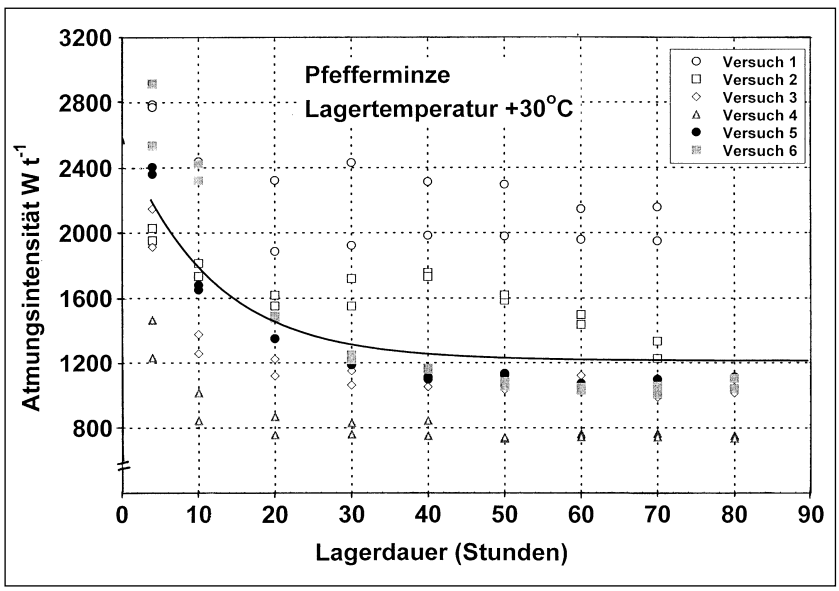


Abb. 5. Atmungsintensität von Pfefferminze-Pflanzen während der Nacherntezeit von 80 Stunden bei einer Lagertemperatur von 30 °C.
Postharvest respiration rate of peppermint herbs during 80 h of storage at a storage temperature of 30 °C.

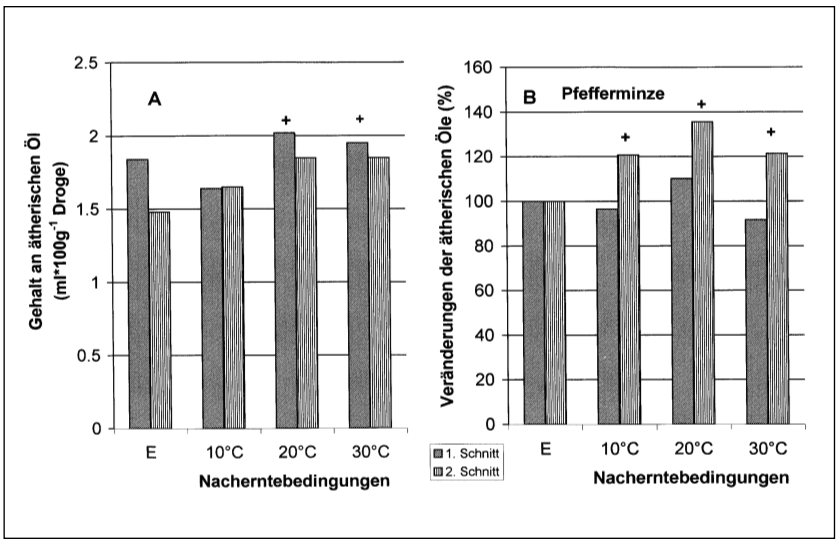


Abb. 6. Gehalt an ätherischem Öl in der Droge von frisch geernteten und gelagerten Pfefferminze-Pflanzen (A) und die relativen Veränderungen (B) während 80 h Nacherntelagerung bei 10, 20 und 30 °C unter Berücksichtigung der eingetretenen Masseverluste durch Atmung und Transpiration (E = Erntezeitpunkt).
Content of essential oil in the drug of freshly harvested and stored peppermint herbs (A) and relative changes (B) during 80 hrs postharvest storage at 10, 20 and 30 °C in consideration of the fresh weight losses due to respiration and transpiration (E = time of harvest).

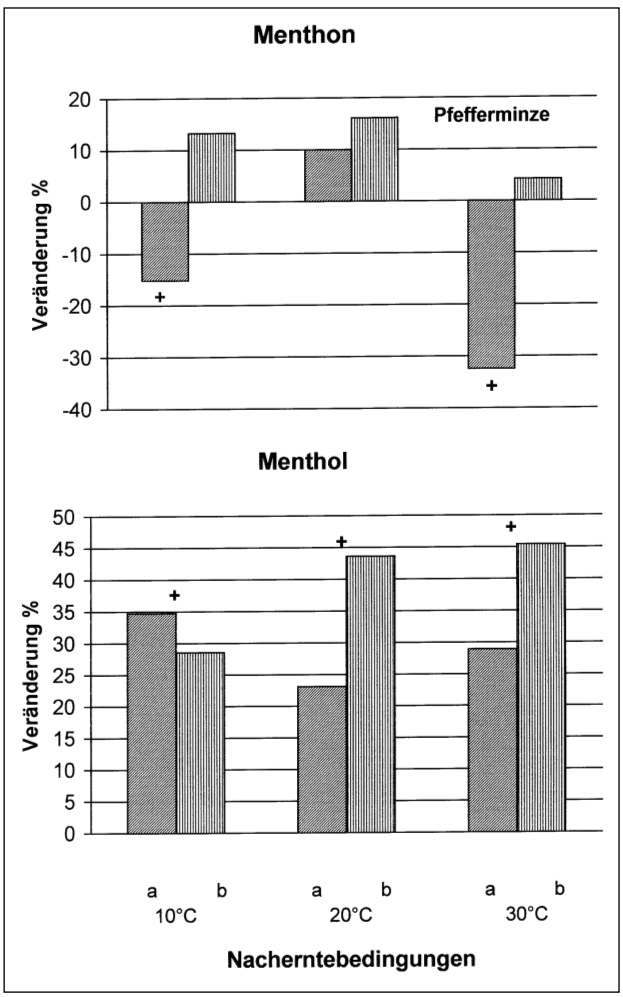


Abb. 7. Relative Veränderungen der Menge von Menthon und Menthol in Pefferminze-Pflanzen unter Berücksichtigung der Frischmasse- und Trockenmasseverluste durch Atmung und Transpiration nach 80 h Nacherntelagerung bei unterschiedlichen Temperaturen.(a = Versuch 5; b = Versuch 6).
Relative changes in the quantities of menthon and menthol in peppermint herbs in consideration of the fresh weight and dry matter losses during 80 hrs of postharvest storage at different temperatures (a = trial 5, b = trial 6).

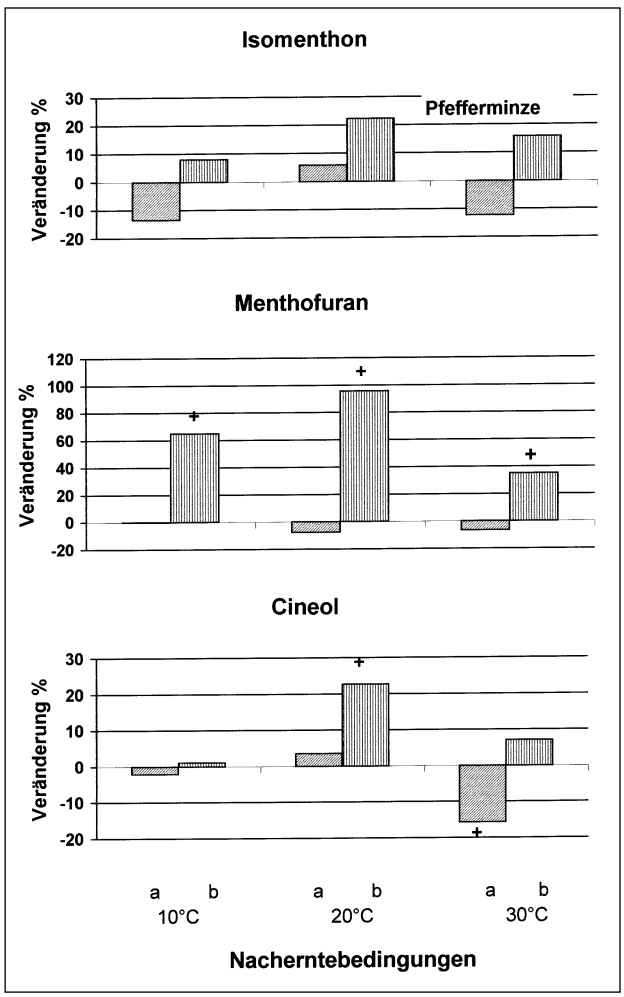


Abb. 8. Relative Veränderungen der Mengen von Isomenthon, Menthofuran und Cineol in Pfefferminze-Pflanzen unter Berücksichtigung der Frisch- und Trockenmasseverluste durch Atmung und Transpiration nach 80 h Nacherntelagerung bei unterschiedlichen Temperaturen. (a = Versuch 5; b = Versuch 6).
Relative changes in the quantities of isomenthon, menthofuran and cineol in peppermint herbs in consideration of the fresh weight and dry matter losses during 80 h of postharvest storage at different temperatures (a = trial 5, b = trial 6).

Berücksichtigt man die eingetretenen Masseveränderungen durch die hohe Atmung- und Transpirationsaktivität in Form von Bilanzauswertung, so ergeben sich die größten Erhöhungen in beiden Versuchen bei 20 °C (+10,1 bzw. 35,6 %). Zum zweiten Schnitt waren diese Anstiege am stärksten bei allen 3 untersuchten Temperaturstufen ausgeprägt: 10 °C +20,7 %, 20 °C +35,6 % und 30 °C +21,4 %) ($\bar{x}$=25,9 %) (Abb. 6 B).

Es konnten auch charakteristische Veränderungen für die Komponenten der ätherischen Öle ermittelt werden, wenn eine Bilanzberechnung vor allem für die in größerer Menge auftretenden Komponenten vorgenommen wurde. Einheitlich reagiert Menthol mit gesicherten Zunahmen um 23 bis 45 % (im Mittel 34,0 %) (Abb. 7). Für Menthon ist das Bild bei allen Temperaturbedingungen und Schnittzeitpunkten gespalten. Während bei 20 °C der quantitative Anteil um 10 bis 16 % zulegt, zeigen sich beim 1. Schnitt vor allem bei 30 °C Abnahmen von 32,4 % und bei 10 °C um 15,2 % (Abb. 7).

Für Isomenthon, Menthofuran und Cineol treten Erhöhungen der Menge vorwiegend beim 2. Schnittzeitpunkt auf, insbesondere für Menthofuran: 20 °C um 95,6 % und bei 10 °C um 65,1 %. Für den 1. Schnitt liegen die Differenzen im Schwankungsbereich der Bestimmungen Abb. 8).

Der Gehalt an den übrigen Komponenten ist sehr gering (Tab. 3), doch sind ihre Veränderungen charakteristisch (Tab. 4). Menthylacetat zeigte während der Nacherntezeit unter allen Bedingungen ausgeprägte Zunahmen ($\bar{x}$=76.8 %), bei 30 °C sogar um 140 %. Carvon nimmt ebenso eindeutig ab ($\bar{x}$=–13,1 %), im Einzelfall um 30 % (Tab. 4). Der Anteil von Pulegon verringerte sich vor allem beim 1. Schnitt ($\bar{x}$=–40,5 %) und bei Temperaturen von 30 °C. Limonen zeigte keine eindeutige Reaktion (Tab. 4).

Diskussion

Frisch geerntete Pfefferminze besitzt als intensiv wachsende Pflanze bei einer Temperatur von 10 °C mit 550 W t^{-1} eine beachtliche Atmungsintensität, die in gleicher Größenordnung wie andere Arzneipflanzen liegt, die ebenfalls zu Beginn der Blüte geerntet werden: Zitronenmelisse 523 W t^{-1}, Thymian 576 W t^{-1} und Salbei 615 W t^{-1} (BÖTTCHER und GÜNTHER 1999; BÖTTCHER et al. 2000b, 2001b). Sie erreichen nicht die Werte von Blütendrogen (Kamille 999 W t^{-1}, Wermut 962 W t^{-1} (BÖTTCHER et al. 2001a, BÖTTCHER und GÜNTHER 2002a) und übersteigen die Aktivität intensiv wachsender Gemüsearten (Brokkoli 350 W t^{-1}; Grünkohl 310 W t^{-1}) erheblich (BÖTTCHER 1996).

Allerdings zeigt Pfefferminze eine beträchtliche Streuung der Mittelwerte und eine große Spanne der Einzelwerte. Dies wird durch die weiten agrotechnischen Erntezeitpunkte, die für Pefferminze möglich

Tab. 3. Komponenten des ätherischen Öles von Pfefferminze-Pflanzen zum Erntezeitpunkt (Anteile in % des Gesamtöles).
Components of essential oils in peppermint-herbs at harvest date (Parts in % of the total oil).

Komponenten	1. Schnitt	2. Schnitt	Veränderung 1. zu 2. Schnitt
Menthon	51,71	40,19	–11,52
Menthol	18,80	28,19	+9,39
Isomenthon	5,08	4.18	–0.90
Menthofuran	2,81	5,81	+3,00
Cineol	2,85	4,01	+1,16
Pulegon	2,43	3,38	+0,95
Menthylacetat	1,71	1,86	+0,15
Limonen	1,48	1,16	–0,32
Carvon	0,32	0,19	–0,13

Tab. 4. Veränderungen der Komponenten der ätherischen Öle in Pfefferminze-Pflanzen während 80 h Lagerung nach der Ernte bei verschiedenen Temperaturen (in %) unter Berücksichtigung der Masseverluste durch Transpiration und Atmung.
Changes of the components of essential oils in peppermint herbs during storage for 80 h after harvest at different temperature conditions (in %) in consideration of the weightloss caused by transpiration and respiration.

Versuch	Schnitt	Lagerbedingung	Quantitative Veränderungen der Komponenten des ätherischen Öles bezogen auf den Erntezeitpunkt (in %)			
			Pulegon	Menthylacetat	Limonen	Carvon
5	1.	10 °C	–32,6	+82,5	–2,1	–30,3
		20 °C	–37,5	+23,6	+3,5	–7,1
		30 °C	–51,3	+59,8	–15,7	–19.8
6	2.	10 °C	+17,1	+64,8	+1,1	–17,4
		20 °C	+15,5	+90,2	+22,7	–0,1
		30 °C	–36,8	+140,1	+7,1	–4,2

sind (Mai bis Oktober).bedingt. Unter hochsommerlichen Temperaturen (August) war die Atmungsintensität sehr hoch. Im Vorsommer (Mai) und Herbst (Oktober) waren die Ergebnisse fast nur halb so hoch. Bei Arten mit einem engeren Erntezeitpunkt ist die Streuung beträchtlich kleiner (Salbei $s = \pm 61\,W\,t^{-1}$, Sonnenhut $s = \pm 27\,W\,t^{-1}$, Blattdill $s = \pm 61\,W\,t^{-1}$) (BÖTTCHER und GÜNTHER. 1999, 2001, 2002b).

Nach der Ernte stellt sich ein Rückgang der Atmung bei der Pfefferminze ein, der sich wie bei anderen Arzneipflanzen temperaturabhängig um 60 bis 40 % bewegt, dann aber ab dem 3. Tag nach der Ernte nahezu zum Stillstand kommt, da er sich asymptotisch der Regressionskonstante α nähert. Das Maß der Abnahme der Atmung in der Zeiteinheit während der Nachernte ist der Koeffizient 'c' in den geschätzten Regressionsfunktionen (Gleichung 2–4). Seine Höhe und seine starke Temperaturabstufung mit Werten zwischen –0,04512 und –0.08722 unterstreichen ebenfalls die bereits dargelegte Temperaturempfindlichkeit der physiologischen Prozesse, die in den Pfefferminze-Pflanzen ablaufen.

Die von CANTWELL und REID (1993) für den 3. Tag nach der Ernte angegebenen Werte für die Atmung decken sich mit den von uns gefundenen Aktivitäten. Auch bei ihnen ist an Hand des hohen Wertes für den Q_{10} von $\bar{x} = 3{,}5$ eine deutliche Temperaturempfindlichkeit für den Stoffwechsel der Pfefferminze gegeben. Bei keinem Versuch war in den gut belüfteten und damit optimal mit Sauerstoff versorgten Proben eine Ausbreitung von Mikroorganismen zu beobachten, die die Ergebnisse interferiert hätte. Für die Versuchsdauer von über 90 h reichte die natürliche Widerstandsfähigkeit des Erntegutes aus, um ihre Ausbereitung zu unterbinden (BÖTTCHER 1996). Ein Befallsbefund war in diesen Versuchen nicht nachweisbar (Tab. 2).

Die hohe Atmungsintensität wirkt sich durch ihre Wärmefreisetzung und ATP-Bereitstellung auch auf die Veränderungen der äußeren und inneren Qualitätseigenschaften aus. Die Atmung befördert die Transpiration durch Bereitstellung von Energie für die Abgabe von Zellwasser (Transpirationsenergie), so daß die dadurch ausgelöste Welke der Pflanzen zum wichtigsten Merkmal für den Qualitätsabbau nach der Ernte wird und unbedingt durch eine geeignete Belüftung im Minimum gehalten werden muß. Vergilbungserscheinungen an den Pfefferminze-Pflanzen werden erst zeitlich später sichtbar. Dieses Verhalten deckt sich mit den Ermittlungen von CANTWELL und REID (1993) über eine „geringere Ethylenbildungsrate" und „moderate Ethylenempfindlichkeit " von Pfefferminze. Daher hat die Vergilbung eine geringere Bedeutung für die Qualitätseinschätzung, obwohl sie dann zu einem späteren Termin schnell zum begrenzenden Merkmal, bes. bei 30 °C, wird.

Die therapeutischen Eigenschaften von Pfefferminze werden durch Gehalte und Zusammensetzung der ätherischen Öle bestimmt (BOMME und HILLENMEYER 2001; PETERSEN 2001). Diese ändern sich in Abhängigkeit von der Entwicklung des Pflanzenbestandes und von den Schnittzeitpunkten unterschiedlich. So stellten BOMME et al. (2000) beim Vergleich zweier Schnittzeiten für den zweiten Schnitt Abnahmen im Anteil von Menthon, Isomenthon und Cineol und andererseits Zunahmen von Menthol, Isomenthol und Menthylacetat fest. Auch KALITZKI (1954), BACHTHALER et al. (1976), FEHR (1984), MAROTTI et al. (1993), PICCAGLIA et al. (1993) und BIENVENUE (1998) bestätigten diese Verschiebung von Menthon zu Menthol/Menthylacetat.

So wurde in den Versuchen 5 und 6 der Aufwuchs des 1. und 2. Schnittzeitpunktes eines einjährigen Bestandes vergleichsweise untersucht, wobei das Erntegut im gleichen Pflanzenentwicklungszustand (Knospenansatz/beginnende Blüte) vom gleichen Feldbestand entnommen wurde. Dabei traten Abnahmen für Menthon, Isomenthon und Limonen und andererseits Zunahmen für Menthol, Menthofuran, Cineol und Pulegon in der in Tab. 3 zusammengestellten Höhe auf.

Bei Pfefferminze kommt es ebenso wie bei Thymian- und Majoran-Pflanzen (BÖTTCHER et al. 1999 a, 2001b) als Lamiaceae nach der Ernte zu Veränderungen der ätherischen Öle. ESDORN (1950) berichtet über die quantitative Zunahme der ätherischen Öle während der natürlichen Welke und Trocknung nach der Ernte und deutete dies als eine Ölneubildung, die nach dem Absterben der Pflanzen eintritt. KALITZKI (1954) bestimmte im welkenden Erntegut im Verlauf von neun Tagen eine Abnahme des Menthon-Anteiles um 2,33 %/24 h und Zunahme des Menthol-Anteiles um 1,55 %/24 h. FRANZ und WÜNSCH (1972) ermittelten in welkenden Pfefferminzblättern bei +22 °C eine Zunahme der Ölmenge um 0,757 bzw. 0,104 %/24 h.

Alle vorstehend durchgeführten Arbeiten berücksichtigten allerdings nicht die mit der Atmung und Transpiration im Verlauf des Aufbewahrens eingetretenen Masseveränderungen. Wenn man diese – wie in unserem Fall – einbezieht, erhöht sich die Menge an ätherischen Ölen in den vorgelegten Versuchen beim zweiten Schnitt um 7,77 %/24 h Nachlagerung. Da die Pflanzen zu diesem Zeitpunkt noch voll im Stoffwechsel stehen, wie die Atmungswerte in Abb. 3–5 belegen, handelt es sich somit in unseren Versuchen stets um eine Neubildung von ätherischen Ölen, die in den noch lebenden Pflanzen prämortal eintritt. Untersucht man nach dem gleichen Vorgehen die einzelnen Komponenten, ergeben sich nach 80 h Nachlagerung typische Abnahmen in unseren Versuchen für Menthon (vor allem 1. Schnitt um –3,76 %/24 h), Pulegon (erster Schnitt –4,05 %/24 h) und Carvon (–3,95 %/24 h). Dagegen belaufen sich die Zunahmen bei Menthol auf 10,21 %/24 h, Menthofuran auf 9,06 %/24 h, Isomenthon (zweiter Schnitt) auf 4,61 %/24 h, Cineol auf 0,83 %/24 h und Menthylacetat auf 23,05 %/24 h. Kein eindeutiges Verhalten konnte für Limonen bestimmt werden.

Für solche starken Veränderungen sind durchaus die Voraussetzungen gegeben. Nach unseren Ermittlungen verfügt Pfefferminze auch nach 80 h noch über eine beachtliche Atmungsintensität, bei 10 °C von $> 210\,W\,t^{-1}$ und bei 20 °C von $> 580\,W\,t^{-1}$, die ausreichend ATP auch für den sekundären Stoffwechsel zur Biosynthese von ätherischen Ölen in den Pflanzenorganen bereitstellt. Das für die Synthese benötigte L-Leucin (Precursor) steht auch genügend zur Verfügung, da nach FRANZ und WÜNSCH (1973) durch Welke- und Trocknungserscheinungen der Gehalt an dieser Aminosäure auf den 12,8-fachen Wert in den Pflanzen ansteigen kann.

Der Schnittzeitpunkt ist offenbar bei Pfefferminze von größerer Bedeutung für das Ausmaß der Veränderungen der Wirkstoffe als die klimatischen Bedingungen in den letzten Vegetationswochen vor der Ernte. Dagegen wirkt das Temperaturniveau während der Nacherntezeit minimal differenzierend. Da die Zunahmen der Mengen der ätherischen Öle und einzelner Komponenten relativ gleichgerichtet eintreten, ist Pfefferminze hinsichtlich ihrer Wirkstoffveränderungen entsprechend der Gruppierung von BÖTTCHER et al. (2001c), ebenso wie Majoran und Thymian (BÖTTCHER et al. 1999a, 2001b), dem Reaktionstyp 2 (ständige Zunahmen der wertgebenden Wirkstoffe während der Nacherntezeit) zuzuordnen.

Nachdem RINDER und BOMME (1998) die hohe Bedeutung des Wasserdampfes für den Erfolg der Destillation ätherischer Öle aus pflanzlichem Material herausstellten, kann von einem gleichgerichteten physikalischen Transport von Wärmeenergie, Wasserdampf und ätherischen Ölen und ihrer Komponenten auch während des Aufbewahrens nach der Ernte gerechnet werden (BÖTTCHER et al. 2001c). SCHILCHER (1987) spricht von einer „Mikrowasserdampf-Destillation" von ätherischen Ölen während der Nacherntezeit bei Kamillenblüten. Aber trotz der hohen atmungsbedingten Wassertranspiration, die sich an den hohen Frischmasseverlusten von 1,74 %/24 h (10 °C) zeigt, war in der Bilanzauswertung keine Abtragung von ätherischen Ölen aus den lagernden Pfefferminze-Pflanzen zu erkennen.

Obwohl in diesen Versuchen die ätherischen Öle aus versuchsmethodischen Gründen von Ganzpflanzen bestimmt worden sind, wurden die in der EUROPEAN PHARMACOPOEIA (2002) geforderten Mindestgehalte an ätherischen Ölen, die eigentlich nur für Blätter angegeben wurden, von 1,20 ml 100 g^{-1} Droge (nicht geschnittener Droge) in allen nicht gelagerten und gelagerten Proben überschritten.

Vergleicht man die Komponenten der ätherischen Öle mit den für *Mentha piperita aetheroleum* angegebenen Richtwerten in der EUROPEAN PHARMACOPOEIA (2002), so liegen die in unseren Versuchen gefundenen Anteile für Menthol, Isomenthon, Cineol, Menthylacetat, Carvon und Limonen an der unteren Grenze derselben, für Menthofuran und Pulegon im Mittelbereich und für Menthon im oberen Grenzbereich.

Mit diesen Ergebnissen wird erstmals aufgezeigt, daß die aus der Bestandesentwicklung bekannten Veränderungen der Menge und der Zusammensetzung der ätherischen Öle von Pfefferminze auch klar für die unterschiedlichen Schnittzeitpunkte und für das Verhalten während der Nachlagerung zutrifft, wenn sie unter Beachtung der physiologisch bedingten Masseveränderungen im Produkt quantifiziert werden.

Die nachgewiesenen quantitativen Verschiebungen, die einen Qualitätssprung bedeuten können, und die 8 von 9 der wichtigsten Komponenten des ätherischen Öles betreffen, laufen während der Nacherntezeit ohne Lichteinfluß, ohne hohes Temperaturniveau (10 °C) und ebenso ohne ausgeprägte Welkeerscheinungen (FMV < 1,74 %/24 h bei 10 °C) ab. Sie sind offensichtlich pflanzenphysiologisch in der Pfefferminze festgelegt, denn es gibt nur geringe graduelle Differenzen zwischen den geprüften Versuchsvarianten mit den abgestuften Nacherntetemperaturen (unterschiedlichen Varianten).

Nutzung der Ergebnisse zur Nacherntegestaltung

Für Nutzungsarten der Pfefferminze, bei denen die grüne Farbe und das gute Aussehen der Droge von hoher Bedeutung sind, muß das Erntegut unbedingt nach der Ernte sofort bei Temperaturen < 10 °C aufbewahrt werden. Sie erfordern eine sorgsame Belüftung. Dafür ist unbedingt die Intervallbelüftung vorwiegend mit kalter Nachtluft auszunutzen, um die Atmungswärme regelmäßig abzuführen, bzw. auch die produkteigene Feldwärme unmittelbar nach dem Schnitt auszutragen. Eine gute Dosierung der Lüftungsdauer (< 10 h/24 h) ist ebenfalls notwendig, um das Ausmaß von Welkeerscheinungen zu minimieren.

Für die notwendigen nacherntephysiologischen Berechnungen zur technischen Gestaltung des Belüftens, Lagerns oder Trocknens können die erarbeiteten Meßwerte für frisch geerntete Pfefferminze-Pflanzen in Abb. 2 herangezogen werden.

Für Extraktionszwecke könnte das Erntegut einer temperaturabgestuften Nachlagerung für 2 bis 3 Tage mit entsprechender Belüftung unterzogen werden, um den Gehalt an ätherischen Ölen oder an bestimmten Komponenten, wie Menthol, Isomethon, Menthofuran , Menthylacetat, Cinerol oder Pulegon zu erhöhen. Doch die praktische Anwendung einer solchen Maßnahme bedarf noch vertiefender Untersuchungen.

Die Inhaltsstoff-Analysen wurden freundlicher Weise von der addipharma GmbH, Hamburg durchgeführt.

Literatur

BACHTHALER, G., Ch. FRANZ, D. FRITZ und J. HÖLZL 1976: Vergleichende Untersuchungen verschiedener Herkünfte und Sorten von *Mentha piperita* L., 2.Teil. Bayer. Landw. Jahrbuch **53**, 35–47.

BIENVENU, F. E. 1998: Perfumer and Florist **23** (6), 25–29; zitiert in: FRANZ et al. (2001).

BOMME, U., G. HILLENMEYER, H. REITER und R. RINDER 2000: Optimierte Verfahren zur praxisnahen Wasserdampf-Destillation ätherischer Öle aus frischen Pflanzenteilen. 2. Mitt. Mehrjährige Ergebnisse zu Pfefferminze, Zitronenmelisse, Baldrian und Angelika. Zeitschr. Arznei Gewürzpfl. **5**, 132–144.

BOMME, U. und G. HILLENMEYER 2001: Einfluß von Sorte und Herkunft auf die Zusammensetzung des ätherischen Öls von Pfefferminze (*Mentha x piperita* L.). 36. Vortragstagung Deutsche Gesellschaft für Qualitätsforschung (Pflanzl. Nahrungsmittel e.V.), Jena, 113–122.

BOMME, U., E. FEICHT und W. SCHILLING 2001: Ergebnisse aus mehrjährigen Leistungsprüfungen mit ausgewählten Herkünften von Pfefferminze (*Mentha x piperita* L.). Zeitschr. Arznei Gewürzpflanzen **6**, 202–208.

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

BÖTTCHER, H.und I. GÜNTHER 1999: Physiologisches Nachernteverhalten von Salbei (*Salvia officinalis* L.). Zeitschr. Arznei Gewürzpfl. **4**, 119–125.

BÖTTCHER, H., I. GÜNTHER und U. BAUERMANN 1999a: Physiological postharvest responses of marjoram (*Majorana hortensis* Moench). Postharvest Biology 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 K. WARNSTORFF 2000a: Physiologisches Nachernteverhalten von Bohnenkraut (*Satureja hortensis* L.). Gartenbauwissenschaft **65**, 22–29.

BÖTTCHER, H., I. GÜNTHER und R. FRANKE 2000b: Physiologisches Nachernteverhalten von Zitronenmelisse (*Melissa officinalis* L.). Zeitschr. Arznei Gewürzpfl. **5,** 145**–**153.

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

BÖTTCHER, H., I. GÜNTHER, R. FRANKE, K. und WARNSTORFF 2001a: Physiological postharvest responses of Matricaria (*Matricaria recutita* L.) flowers. Postharvest Biology and Technology **18**, 39–51.

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

BÖTTCHER, H., I. GÜNTHER, und R. FRANKE 2001c: Vergleichende Untersuchungen zum Nachernteverhalten ausgewählter Arznei- und Gewürzpflanzen. Zeitschr. Arznei Gewürzpfl. **6**, 129–137.

BÖTTCHER, H.und I. GÜNTHER 2002a: Physiologisches Nachernteverhalten von Wermut-Pflanzen (*Artemisia absinthium* L.) Drogenreport **15** (27), 3–8.

BÖTTCHER, H.und I. GÜNTHER 2002b: Physiologisches Nachernteverhalten von Blattdill (*Anethum graveolens* L. var. *hortorum* Alef.). Zeitschr. Arznei Gewürzpflanzen **7**, (im Druck).

BÖTTCHER, H., I. GÜNTHER, und R. FRANKE 2002a: Quantitative Veränderungen der Wirkstoffe des Salbei (*Salvia officinalis* L.) während der Nacherntezeit. Zeitschr. Arznei Gewürzpfl. **7**, 382–386.

BRASH, D., Ch. M. CHARLES, S. WRIGHT und B. L. BYCROFT 1995: Shelf-life of stored asparagus is strongly related to postharvest respiratory activity. Postharv. Biol. Technol. **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 .

COURT, W. A., R. ROY and R. POCS 1993: Effect of harvest date on the yield and quality of the essential oil of peppermint. Canadian Journal of Plant Science **73**, 815–824.

ESDORN, I. 1950: Untersuchungen über den ätherischen Ölgehalt welkender Pflanzen. Die Pharmazie **5**, 481–488.

EUROPEAN PHARMACOPOEIA 2002: 4. edition. Deutscher Apotheker-Verlag, Stuttgart, 1722–1723.

FEHR, D. 1984: Veränderungen des Menthon- und Mentholgehaltes in Pfefferminzblättern während der Lagerung. Pharmazeutische Zeitung **129**, 51–53.

FRANZ, Ch. 2001: Qualitätssicherung von Heil- und Gewürzpflanzen. 36. Vortragstagung Deutsche Gesellschaft für Qualitätsforschung (Pflanzl. Nahrungsmittel e.V.), Jena, 15–24.

FRANZ, Ch. und A. WÜNSCH 1972: Veränderungen im Stickstoff-Stoffwechsel und im Gehalt an ätherischem Öl welkender Pfefferminzblätter. Angew. Botanik **46**, 223–226.

FRANZ, Ch. und A. WÜNSCH 1973: Zur Nach-Ernte-Physiologie der Pfefferminze. Planta medica **24** (1), 1–7.

KALITZKI, M. 1954: Untersuchungen über die Veränderungen des ätherischen Öles von *Mentha piperita* L und *Anethum graveolens* L. mit besonderer Berücksichtigung des Welkevorganges. Pharmazie **9**, 61–82.

MAROTTI, M., V. DELLACECCA, R. PICCAGLIA und E. GIOVANELLI 1993: Effect of harvesting stage on yield and essential oil composition of peppermint (*Mentha x piperita* L). Acta Horticulturae **344**, 370–379.

PANK, F., W. SCHMIDT und O. SCHRADER 1994: Qualität gegenwärtig genutzter Pfefferminzsorten (*Mentha x piperita* L.) und ihre Eignung für die Produktion von Teedroge. Herba Germanica **2**, 69–77.

PETERSEN, M. 2001: Naturstoffe in Heil- und Gewürzpflanzen der Lamiaceen. 36. Vortragstagung Deutsche Gesellschaft für Qualitätsforschung (Pflanzl. Nahrungsmittel e.V.), Jena, 103–112.

PICCAGLIA. R, V. DELLACECCA, M. MAROTTI, und E. GIOVANELLI 1993: Agronomic factors affecting the yields and the essential oil composition of peppermint (*Mentha x piperita* L.). Acta Horticulturae **344**, 29–40.

RINDER, R. und BOMME, U. 1998: Wasserdampf-Destillation ätherischer Öle aus frischen oder angewelkten Pflanzen. Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau, Freising-München, 1–12.

SCHILCHER, H. 1987: Die Kamille – Handbuch für Ärzte, Apotheker und andere Naturwissenschaftler. Wiss. Verlagsanstalt, Stuttgart.

STAHN, T. und U. BOMME 1997: Beurteilung eines großen Sortimentes von *Mentha-x-piperita*-Herkünften. Zeitschr. Arznei Gewürzpfl. **4**, 164–172.

WARNSTORFF, K. und H. DÖRFEL, H. 1999: Anwendung nichtlinearer Wachstumsfunktionen und aus ihnen abgeleitete relevante Größen. Journal of Agronomy and Crop Science **182**, 259–271.

WHITE, J. G. H., S. H. ISKANDAR und M. F. BARNES 1987: Peppermint: Effect of time of harvest on yield and quality of oil. New Zealand Journal of Experimental Agriculture **15**, 73–79.

Eingereicht: 05.09.02 / 23.12.02

Anschrift der Verfasser: Prof. Dr. H. Böttcher und Ingeborg Günther, Institut für Ernährungswissenschaften der Landwirtschaftlichen Fakultät Halle, Emil-Abderhalden-Str. 26, D-06108 Halle (Saale) und Dr. R. Franke, Salus-Haus GmbH & Co. KG, D-83052 Bruckmühl