

## **Abschlussbericht für das Projekt "Technische Optimierung von Trocknungsprozessen"**

**Gefördert durch die Fachagentur Nachwachsende  
Rohstoffe e. V. (FNR)**

**Förderkennzeichen: 22013901**

**Zuwendungsempfänger:** Forschungsvereinigung der Arzneimittel-  
Hersteller e.V. (FAH)  
Kranzweiherweg 10  
53489 Sinzig

**Laufzeit des Vorhabens:** 15. Oktober 2001 bis 30. April 2002

## FAH - Forschungsvorhaben (FKZ: 22013901)

### „Technische Optimierung von Trocknungsprozessen“

#### Auswertung der Trocknungsversuche mit Artischockenkraut und Baldrianwurzeln

24.04.2002 - Dr.-Ing. Albert Heindl

#### Problemschilderung am Beispiel von Artischockenkraut

Zur Schonung der wertgebenden Inhaltsstoffe muss die Trocknung von Artischockenkraut bei niedrigen Lufttemperaturen ausgeführt werden. Hieraus resultiert eine stark verlangsamte Trocknung mit Durchlaufzeiten im Bandtrockner von bis zu 10 Stunden (Bild 1). Ein hoher spezifischer Energieverbrauch abhängig vom Eingangswassergehalt von bis zu 1,8 l Heizöl/kg Trockenprodukt ist die Folge. Außerdem bleibt die Produktoberflächentemperatur in den ersten Stunden der Trocknung auf einem niedrigen Niveau zwischen 28-38°C, was zu idealen Wachstumsbedingungen für Keime führt.

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens soll untersucht werden, inwieweit eine thermische Behandlung des Produktes durch Mikrowellen oder Dampf - ausgewählt wurden Artischockenkraut und Baldrianwurzeln - sich auf die Qualität hinsichtlich wertgebender Inhaltsstoffe und Gesamtkeimzahl auswirkt. Ferner sollen auch Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen durchgeführt werden.

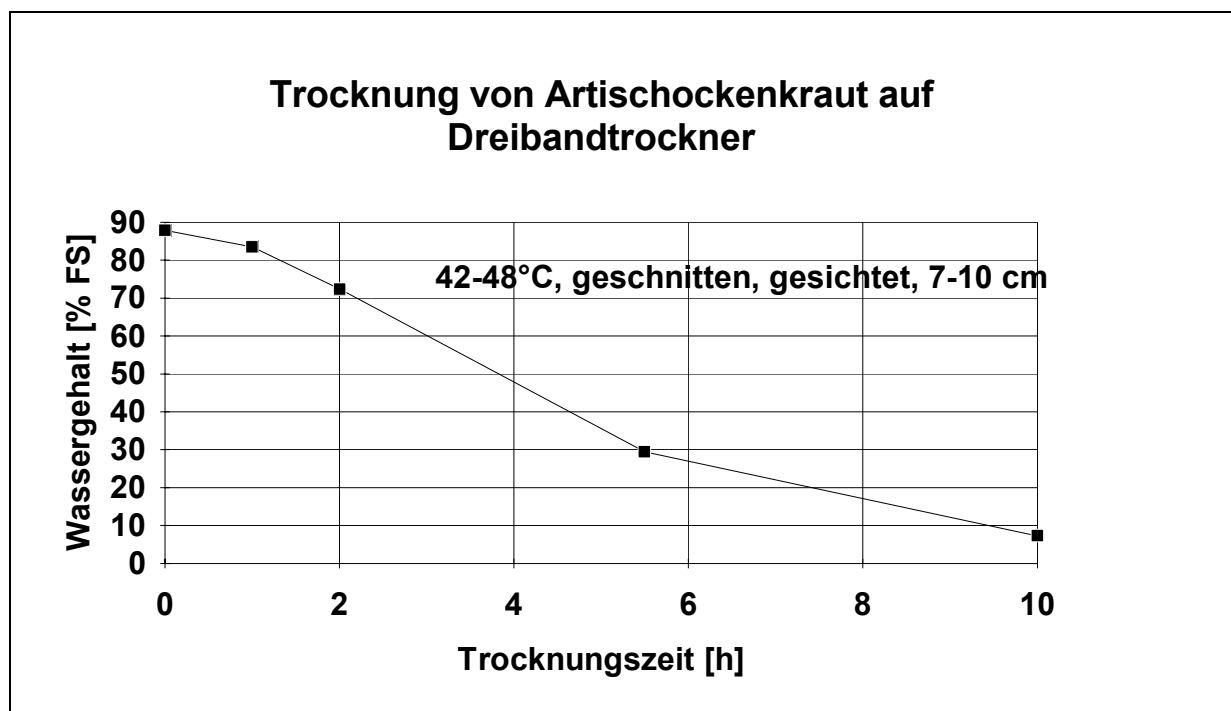


Bild 1

Trocknung von geschnittenem (4-5 cm), windgesiebtetem Artischockenkraut auf einem industriellen Dreibandtrockner (Aufgabeschütthöhe 7-10 cm, Trocknungstemperatur 42-48°C)

## **Versuchsdurchführungen**

### **Trocknungsversuche**

Das Material wurde in einem Hordentrockner bei 45°C getrocknet, die Luftgeschwindigkeit lag bei rund 0,25 m/s im Fall von Baldrianwurzeln und bei 0,50 m/s bei Artischockenkraut. Die Werte entsprechen in etwa den industriell üblichen Trocknungsparametern. Die Wassergehaltsbestimmungen wurden mit einem Sartorius Feuchtemesser MA30 ausgeführt, wobei bei Feuchtprodukten eine Einwaage von > 5g und eine Temperatur von 100°C und bei Trockenprodukten eine Einwaage von > 2g und eine Temperatur von 85°C eingestellt wurde.

### **Dampfbehandlung**

Die Dampfbehandlung wurde in einem Siebkorb atmosphärisch durchgeführt, indem von unten Dampf durch einen Behälter gleitet wurde. Die Temperatur wurde mit einem Thermoelement in der Schüttung 5 cm unter der Oberfläche gemessen. Die Schütthöhe betrug bei Artischockenkraut 15 cm, bei Baldrianwurzeln etwa 10 cm. Die Behandlungsdauer lag bei Baldrian bei 2 Minuten und im Fall von Artischockenkraut bei 9,5 Minuten.

### **Mikrowellenbehandlung**

Die Mikrowellenbehandlung wurde stets bei voller Mikrowellenleistung von 1.100 W Einstrahlung durchgeführt, die Schütthöhe in der Horde lag in beiden Fällen bei 4,5 bis 5 cm. Von der Mikrowellenleistung wurde der reflektierte Anteil (je nach Versuch 30-60%) abgezogen, um die tatsächlich vom Produkt absorbierte Leistung zu ermitteln. Die Mikrowellenbehandlungsdauer lag bei 9 bis 13 Minuten.

### **Analytik**

Der Ätherisch-Öl-Gehalt, der CCS-Gehalt und die Wassergehaltsbestimmung und die aeroben Gesamtkeime pro g wurden gemäß dann nachfolgenden Analysenvorschriften durchgeführt. Auf Anfrage können auch noch Werte zu Pilzen, Schimmelpilzen, Hefen, E. coli und Salmonellen und Valerensäuren geliefert werden.

Es wurde jeweils nur eine Einfachbestimmung durchgeführt.

## **A     Artischockenkraut (Serie 1: 19.10.2001 und Serie 2: 18.11.2001)**

### **1     Rohware (Sorte Nizza, Herkunft Funke, Neuhaus)**

Die Proben wurde vor und aus einem Dreibandrockner entnommen und innerhalb von 3 bis 5 Stunden getrocknet. Problematisch erwies sich der unterschiedliche Zustand der Rohware. Die am 16.11.01 geerntete Ware unterlag schon Frosträchten mit bis zu -8°C. Dies hat gravierende Auswirkungen auf die Krautstruktur und den Gehalt an wertgebendem Inhaltsstoff. So wird die Schüttdichte des geschnittenen, windgesichteten Materials deutlich von 90 auf 220 kg/m<sup>3</sup> erhöht. Der wertgebende Inhaltsstoff CCS fällt bei der Rohware der Serie auf 50 % des Wertes der Rohware der Serie 1 ab.

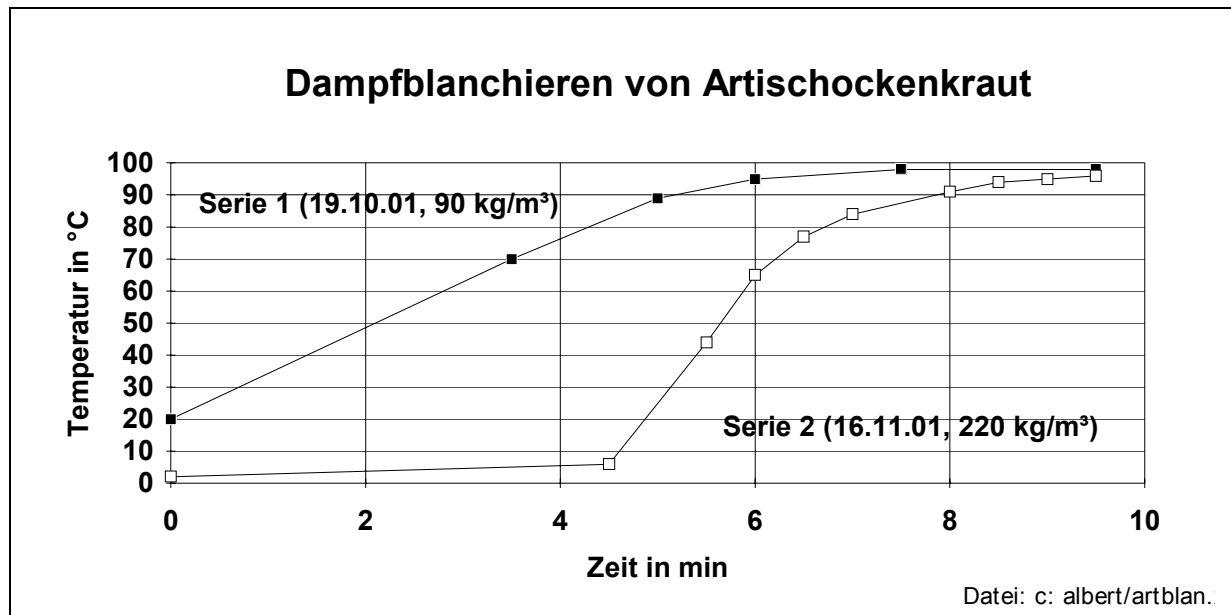
### **2     Blanchieren**

Nur das Rohmaterial wurde mit Dampf atmosphärisch in einem Sieb in einer 15 cm hohen Gutschicht blanchiert. Das unterschiedliche Rohmaterial wirkte sich auf das Blanchieren mit Dampf einer 15 cm hohen Gutschicht aus. Bei gleicher Blanchierdauer stieg die, mit einem Thermoelement in rund 5 cm Tiefe von der Schüttungsoberfläche gemessene Temperatur deutlich langsamer an. Dies lag an der höheren Flächenbeladung (33,3 kg/m<sup>2</sup> gegen 13,5 kg/m<sup>2</sup> Blancheurfläche) und an der niedrigeren Ausgangstemperatur (siehe Bild 2). Hieraus rührt eine kleinere Temperatur-Zeit-Belastung der Serie 2 mit Erntetermin 16.11.01 und auch ein kleinerer Keimzahlreduzierungseffekt.

Problematisch ist das Kollabieren der Krautschichtung durch das Blanchieren. Damit das Produkt überhaupt mit Warmluftdurchströmt werden kann, muss die Mattenbildung durch mehrere Lockerungsvorrichtungen (gegenläufige Stachelwalzen) am Ende des Blancheurs und im Bandrockner verhindert werden.

### 3 Mikrowellenbehandlung

Rohmaterial sowie vorgetrocknetes Material aus einem Bandrockner (Mitte erstes Band, Ende erstes Band wurde mikrowellenerwärmt. Das Temperaturniveau konnte nicht über 80°C aufgrund des Verdunstungskühleffektes angehoben werden.



**Bild 2 Dampfblanchieren von Artischockenkraut**

### 4 Versuchsergebnisse / Qualität

**Tabelle 1 Artischockenkraut Serie 1 (19.10.2001)**

Versuch	Wassergehalt Übergabe auf Wärmebehandlung (%)	Trocknungszeit in min	Mikrowellenenergieeinsatz in kWh/kg Trockenprodukt (10%)	max. Guttemperatur (°C)	CCS-Gehalt (%)	Aerobe Gesamtkeimzahl/g
BT		600	0	45	2,22	6.000.000
ROH	87,9	570	0	45	3,69	8.500.000
ROH-B	87,9	9,5+400	0	98	4,13	< 100
ROH-MWI	87,9	9,5+300	2,57	77	1,94	190.200
ROH-MW II	87,9	13+240	3,21	67 (?)*)	2,27	51.500
M1B-MW	83,5	60+10,5+260	2,17	78	1,40	185.000
E1B-MW	72,4	120+7,5+285	1,04	73	1,41	160.000

\*) Infrarot-Fehlmessung durch Wasserdampfnebelbildung

### 5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen Artischockenkraut

5.1 Durch Blanchieren vor der Warmlufttrocknung mit der richtigen Temperatur-Zeit-Belastung kann die Keimzahl um bis zu 4 Zehnerpotenzen gesenkt werden. Gleichzeitig bleibt der CCS-Gehalt auf gleichem Niveau oder ist sogar höher als der CCS-Gehalt der ausschließlich warmluftgetrockneten Ware (Serie 1). Das dampfblanchierte Produkt kollabiert jedoch in seiner Struktur, weshalb in industriellen Trocknungsanlagen mehrfach eine Vorrichtung zur Produktauflockerung installiert werden muss. Nur dadurch kann eine gleichmäßige und schnelle Trocknung gewährleistet werden. Im Versuch konnte die Trocknungszeit auf einen Wassergehalt von 6,5 % von 9,5 h auf 6,6 h, also um rund 30 % durch das Blanchieren verringert werden. Voraussetzung war jedoch, dass das blanchierte Produkt zur besseren Durchlüftung mehrfach aufgelockert wurde.

Eine grobe Energieverbrauchsabschätzung für ein Blanchieren von Artischockenkraut ergibt einen Energieverbrauch von rund 300 kcal oder 0,35 kWh/kg Frischprodukt bzw. rund 0,5 kg Dampf/kg Frischware. Dies entspricht einem Heizölverbrauch von 0,035 l/kg Frischprodukt bzw. 0,28 kg/kg Trockenprodukt bei einem Eintrocknungsgrad von 8:1. Hierbei wurde ein Wirkungsgrad des Blancheurs von 30 % angesetzt.

Dem zusätzlichen Energieverbrauch für das Blanchieren steht eine Energieeinsparung für die Warmluftterzeugung durch die Verringerung der Trocknungszeit um rund 30 % gegenüber. Setzt man einen Praxiswert von rund 1,8 l Heizöl pro kg getrocknetes Artischockenkraut an, so ergäbe sich eine Heizölsparsparnis von rund 0,54 l/kg. Dieser Wert wird jedoch um den Verbrauch für den Blancheur von 0,28 l/kg erniedrigt. Somit ergibt sich eine tatsächliche Einsparung von 0,26 l/kg Trockenprodukt. Eine Bandtrocknungsanlage mit 1.000 kg/h Frischgutdurchsatz produziert rund 125 kg/h Trockengut. Bei 20 Stunden Betrieb pro Tag und 60 Tage Trocknung pro Jahr errechnet sich eine Heizöleinsparung von 39.000 l/Jahr entsprechend einer Kostenersparnis von rund 15.600 Euro pro Jahr (Heizölpreis 0,4 Euro/l). Es wird jedoch auch der Elektroenergiebedarf der Ventilatoren von 0,4 kWh/kg um 0,12 kWh/kg verringert, was zu einer zusätzlichen Energiekosteneinsparung von 18.000 kWh \* 0,13 Euro = 2.340 Euro führt. Die jährliche Gesamtenergiekosteneinsparung beträgt demnach 17.940 Euro.

Andererseits kostet ein neuer Blancheur rund 70.000 Euro. Rechnet man mit einem jährlichen Zinssatz von 5 % für Verzinsung und Wartung so ergibt sich eine Amortisationszeit von rund 5 Jahren. Dankbar wäre auch eine Einfachlösung des Blanchierens in einem umgebauten, kippbaren Wagen mit perforiertem Edelstahlblechboden und einer Dampfeinspeisung unterhalb davon. Hier können keine wirtschaftlichen Angaben gemacht werden, die Investitionskosten dürften sicher weit unterhalb des obigen Wertes von Euro 70.000 liegen, der Dampfverbrauch und der Arbeitskräfteeinsatz deutlich höher und die Gleichmäßigkeit der Erwärmung jedoch schlechter sein.

**Tabelle 2                      Artischockenkraut Serie 2 (16.11.2001)**

Versuch	Wassergehalt Übergabe auf Wärmebe- handlung (%)	Trocknungs- zeit in min	Mikrowellen- energieeinsatz in kWh/kg Trockenprodukt (10%)	max. Gut- temperatur (°C)	CCS- Gehalt (%)	Aerobe Gesamt- keim- zahl/g
BT		600	0	45	2,25	4.200.000
ROH	87,9	340	0	45	1,38	7.000.000
ROH-B	87,9	9,5+340	0	96	1,10	70.000
ROH-MW	87,9	9,5+285	1,94	71	0,46	80.000
M1B-MW	82,3	60+9,5+265	1,40	71	0,67	200.000
E1B-MW	78,5	120+9,5+238	1,43	70	0,90	150.000

5.2 Eine Mikrowellenbehandlung kann die Keimzahl um bis zu 2 Zehnerpotenzen senken. Aufgrund des Verdunstungskühleffektes steigt die Produkttemperatur nicht wesentlich über 70°C an. Durch die Mikrowellenanwendung kommt es jedoch bei allen Übergabefeuchtegehalten zu einem Abfall des CCS-Gehaltes gegenüber der ausschließlich warmluftgetrockneten Probe. Die Mikrowellenbehandlung auf teilweise weniger als 50 % des Referenzwertes ist nach den ersten Versuchen für die Keimzahlreduzierung bei Artischockenkraut weniger geeignet. Auf eine weitere energetische und wirtschaftliche Betrachtung wird deshalb verzichtet.

**Schlussfolgerung:** Zu einer drastischen Keimzahlreduzierung ist das atmosphärische Dampfblanchieren bei einer Flächenbelastung von rund 15 kg/m<sup>2</sup> und einer Temperatur-Zeit-Belastung von mehr als 6 Minuten über 70°C 10 Minuten gut geeignet, da auch der CCS-Gehalt in höherem Maße erhalten wird. Da es jedoch beim Blanchieren zu einer Struktur- und Farbveränderung, zu einem Saftaustritt und möglicherweise zu einer Veränderung des Inhaltsstoffspektrums kommt, würde die arzneimittelrechtliche Zulassung für die blanchierte Ware nicht mehr gewährleistet sein.

Die Mikrowellenbehandlung von Artischockenkraut kommt wegen der einhergehenden starken Minderung des CCS-Gehaltes ebenfalls nicht in Betracht.

Für den Fall von Artischockenkraut hat sich keines der untersuchten Erwärmungsverfahren als in allen Belangen zufriedenstellend erwiesen.

## B Baldrianwurzeln (Serie 1: 30.10.2001 und Serie 2: 22.11.2001)

### 1 Rohware (Serie 1: Russische Sorte, Sorte 2: BLBP-Sorte, LuRa Agrarhandelsgesellschaft, Ranis)

Die Wurzeln wurden gewaschen, in vier, sechs oder acht Teile zerschnitten und anschließend wärmebehandelt und getrocknet. Problematisch erweist sich die unterschiedliche Struktur der Wurzel. Während die Herzen sehr lange Trocknungszeiten benötigen, trocknen die feinen Wurzeln schneller. Dies führt dazu, dass bei der Mikrowellenwärmebehandlung der vorgetrockneten Proben Mikrowellenenergie vorzugsweise in den Herzen absorbiert wird und dass hier Temperaturen über 100°C erreicht werden. Die Herzen werden im Kern aufgebläht, da sich der im Inneren entstehende hohe Dampfdruck über Dampfdiffusion nur ungenügend durch die vorgetrockneten Randschichten abbauen kann.

### 2 Blanchieren

Nur das Rohmaterial wurde mit Dampf atmosphärisch in einem Sieb in einer 15 cm hohen Gutschicht blanchiert. Die Blanchierzeit mit Dampf betrug in beiden Fällen 2 Minuten. Zu diesem Zeitpunkt wurden Oberflächentemperaturen von über 90°C erreicht. Im nachhinein betrachtet wäre eine verlängerte Dampfbehandlung hinsichtlich der Keimzahlreduzierung besser gewesen. Die Belegung im Blanchiertrichter betrug rund 15 kg/m<sup>2</sup> bei einer Schütthöhe von rund 8-10 cm.

### 3 Mikrowellenbehandlung

Rohmaterial sowie im Hordentrockner vorgetrocknetes Material wurde mikrowellenerwärmt. Das Temperaturniveau konnte nicht über 81°C aufgrund des Verdunstungskühleffektes angehoben werden.

### 4 Versuchsergebnisse / Qualität

**Tabelle 3 Baldrianwurzeln Serie 1 (30.10.2001)**

Versuch	Wassergehalt Übergabe auf Wärmebehandlung (%)	Trocknungszeit in h	Mikrowellenenergieeinsatz in kWh/kg Trockenprodukt (10%)	max. Guttemperatur (°C)	Ätherischöl-Gehalt (%)	Aerobe Gesamtkeimzahl/g
ST			0	45	0,43	900.000
ROH	74,8	62,5	0	45	0,28	2.700.000
ROH-B	74,8-80,7%*)	2min +62,5	0	92	0,32	50.000
ROH-MW	74,8	9,5min+ 62	0,73	81	0,29	60.000
VT-MW	56,6	170min+ 10min+ 59,3	0,56	81	0,63	50.000

\*) zweiter Wert entspricht Wassergehalt nach dem Blanchieren

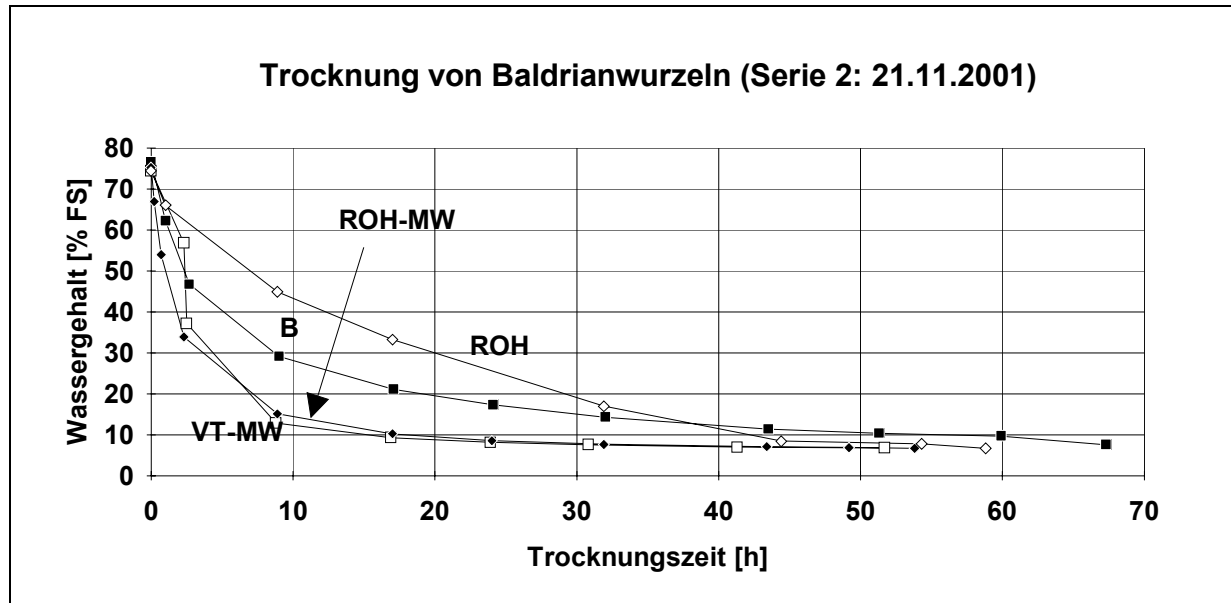
ST: Probe von einem industriellen Satztrockner

**Tabelle 4 Baldrianwurzeln Serie 2 (22.11.2001)**

Versuch	Wassergehalt Übergabe auf Wärmebehandlung (%)	Trocknungszeit in h	Mikrowellenenergieeinsatz in kWh/kg Trockenprodukt (10%)	max. Guttemperatur (°C)	Ätherischöl-Gehalt (%)	Aerobe Gesamtkeimzahl/g
ST			0	45	0,63	400.000
ROH	74,4	58,8	0	45	0,65	500.000
ROH-B	74,4-74,7%*)	2min +61,1	0	92	0,67	39.000

ROH-MW	74,4	10min+ 53,6	0,85	57	0,78	25.000
VT-MW	52,8	136min+ 10min+ 49,2	0,65	76	0,84	13.000

ST: Probe von einem industriellen Satz Trockner, \*) zweiter Wert entspricht Wassergehalt nach dem Blanchieren



**Bild 3 Trocknung von Baldrianwurzeln (Serie 2: 21.11.2001)**

(ROH: Rohware satzgetrocknet bei 45°C, B: Ware dampfblanchiert und anschließend satzgetrocknet, ROH-MW: mikrowellenbehandelt und satzgetrocknet, VT-MW: satzgetrocknet, mikrowellenbehandelt und satzgetrocknet)

## 5 Zusammenfassung Baldrianwurzeln

5.1 Durch Dampfblanchieren über 2 Minuten vor der Warmlufttrocknung kann die Keimzahl um bis zu 1,5 Zehnerpotenzen gesenkt werden, ohne dass sich der Ätherischöl- oder Valerensäuregehalt gegenüber der normalen Warmlufttrocknung verändert. Auch die Trocknungszeit bleibt trotz des höheren Anfangswassergehaltes nahezu unverändert. Eine verlängerte Dampfbehandlung kann möglicherweise die Keimreduzierung ähnlich wie bei Artischockenkraut noch verbessern. Da Baldrianwurzeln vorzugsweise in diskontinuierlichen Satz Trocknern getrocknet werden, ist ein Dampfblanchieren in einem speziell umgebauten Kippwagen denkbar. Der Energieverbrauch ist ähnlich dem Blanchieren von Artischockenkraut anzusetzen.

5.2 Eine Mikrowellenbehandlung kann die Keimzahl um bis zu 1,5 Zehnerpotenzen senken. Aufgrund des Verdunstungskühleffektes steigt die Produkttemperatur nicht wesentlich über 80°C an. Die mikrowellenerwärmte Rohware zeigt kaum Unterschiede zur normal warmluftgetrockneten Ware hinsichtlich Valerensäure- oder Ätherischölgehalt. Interessant ist die Mikrowellenanwendung nach einer Vortrocknung auf einen Wassergehalt von rund 53-55 % (Serie 1). Hier ist bei Serie 1 ein um 100 % höherer und bei Serie 2 ein um 30 % höherer Ätherischölgehalt festzustellen.

Durch den Einsatz von Mikrowellen im Energiebereich von 650-850 Wh/kg Trockenprodukt mit Endwassergehalt von 10 % lässt sich die Trocknungszeit deutlich auf rund 40 % des Wertes der normalen Warmlufttrocknung verringern (Bild 3). Dadurch können fossile Brennstoffe für die Warmluftherzeugung von rund  $0,60 \cdot 2$  l/kg Trockenprodukt = 1,2 l/kg Trockenprodukt eingespart werden. Eine Satz Trocknungsanlage mit 400 m² Trocknungsfläche erzielt einen Trockenproduktumsatz von rund 150 kg/h bzw. 3.600 kg/Tag. Die tägliche Heizölsparsparnis wäre dem gemäß rund 4.320 l oder rund 1.728 Euro. Bei einer Trocknungskampagne von 60 Tagen wird eine jährliche Heizöl-Kostenersparnis von etwa 103.680 Euro erreicht.

An Mikrowellenleistung müsste rund 130 kW installiert werden, wobei eine kontinuierliche Mikrowellenbehandlungsanlage dieser Leistung auf rund 300.000 Euro kosten würde. Die zusätzlichen Elektroenergiekosten für die Mikrowellenanlage würden bei einem Energieverbrauch von 185 kWh/h rund 23,6 Euro/h bzw. 0,157 Euro/kg betragen. Dadurch ergeben sich jährliche Zusatzkosten von rund 34.984 Euro. Dem steht jedoch ein verminderter Energieverbrauch für die Ventilatoren der Satztrockner gegenüber von  $0,60 \cdot 0,39$  kWh/kg Trockenprodukt. Hieraus errechnet sich eine Einsparung an Elektroenergie von 50.544 kWh oder 6.460 Euro.

Die tatsächliche Einsparung an Energiekosten pro Jahr würde dem gemäß rund 75.156 Euro betragen. Rechnet man mit einer Verzinsung von 5 % p.a., so würde sich eine Amortisationszeit von rund 5,1 Jahren ergeben.

Die Mikrowellenbehandlung könnte nach dem Umsetzen der Baldrianlage nach rund 2 Tagen ausgeführt werden, ohne dass der übliche Verfahrensablauf zu stark gestört werden würde. Dabei wird die Charge mit einem Greifer aufgenommen und auf eine Mikrowellendurchlaufanlage aufgegeben. Das behandelte Produkte würde anschließend auf eine bereits aufbereitete Lage umgesetzt werden.

**Schlussfolgerung:** Ein Dampfblanchieren zu einer weiteren Keimzahlreduzierung bei verlängerten Blanchierzeiten müsste untersucht werden. Es muss weiter überprüft werden, ob die verlängerte Blanchierzeit einen merklichen Einfluss auf die Qualität ausübt.

Liegt der Hauptaugenmerk jedoch auf den Erhalt an Ätherischölen, so erscheint die Mikrowellenanwendung nach einer Vortrocknung die bessere Wahl. Nach der Vortrocknung auf einem Satztrockner würde die thermische Behandlung zum üblichen Umsetzzeitpunkt nach rund 2 Tagen in einer Mikrowellendurchlaufanlage durchgeführt werden. Die Endtrocknung würde anschließend wieder auf einem Satztrockner erfolgen. Wichtig wäre es jedoch das Material vor Einlauf in die Mikrowellenanlage durch einen Metalldetektor laufen zu lassen, um die Brandgefahr in der Mikrowellenanlage durch erhitzte Metallteile auszuschließen.

Für dieses Jahr könnte eine größere Versuchsmenge auf einer zu mietenden Mikrowellen-Durchlaufanlage getestet werden, um die positiven Ergebnisse der Mikrowellenbehandlung nach einer Vortrocknung anhand größerer Chargen zu untermauern. Anschließend könnte eine Mikrowellen-Großanlage für den Einsatz mit Satztrocknern konzipiert werden.

**Anmerkung:** Die angegebenen Energiedaten verstehen sich als grobe Richtwerte, die je nach Anlagenkonzeption und Wassergehalt bzw. Aufbereitungsform des Rohproduktes unter- oder überschritten werden können.

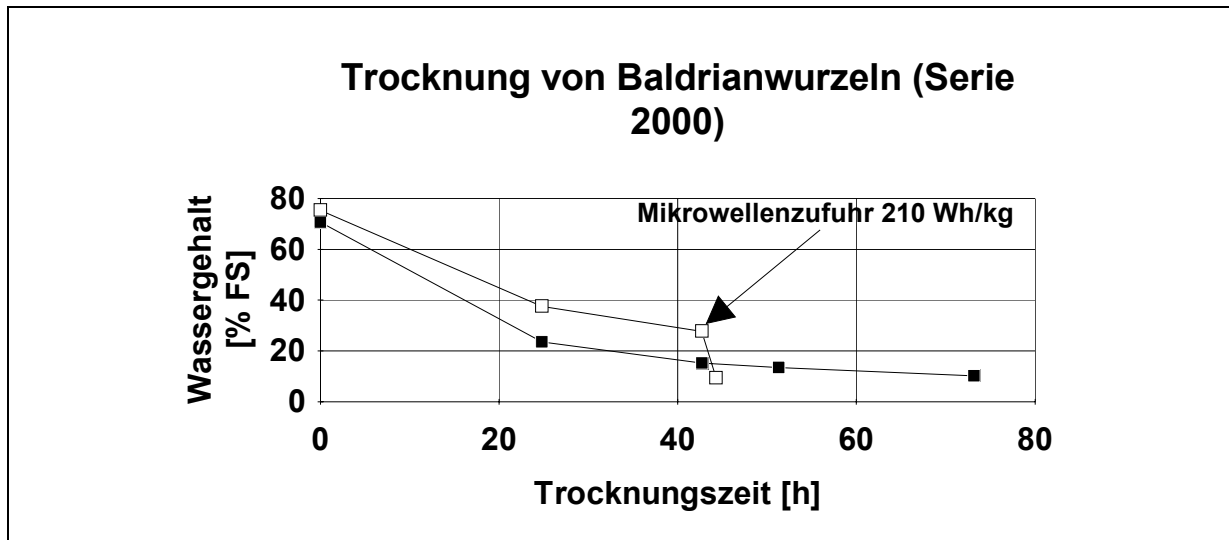
#### **ANHANG ZUR MIKROWELLENUNTERSTÜTZTEN NACHTROCKNUNG VON BALDRIANWURZELN (Untersuchungen aus dem Jahr 2000)**

Die bereits im Jahr 2000 durchgeführten Untersuchungen bestätigen die Möglichkeit einer Keimzahlreduzierung um 1,5 bis 2 Zehnerpotenzen durch den Einsatz von Mikrowellenenergie nach einer Warmluft-Vortrocknungsphase. Auch hier ist ein höherer Ätherischölgehalt der mikrowellenbehandelten Proben festzustellen. Außerdem kann die Trocknungszeit um 40 % verkürzt werden (siehe Tabelle 5 und Bild 4).

**Tabelle 5 Baldrianwurzeln (Serie 2000)**

Versuch	Wassergehalt Übergabe auf Wärmebe- handlung (%)	Trock- nungs- zeit in h	Mikrowellen- energieeinsatz in kWh/kg Trockenprodukt (10%)	max. Gut- temperatur (°C)	Ätheri- schöl- Gehalt (%)	Aerobe Gesamt- keim- zahl/g
ST		120	0	45	0,33	60.000?
ROH (BA3)	70,7	73,2	0	45	0,34	1.300.000
VT-MW (BA1)	24,8	42,7+1,6	210	128	0,55	70.000
VT-MW (BA2)	24,8	42,7+2,6	145	90	0,39	120.000





**Bild 4      Mikrowellenunterstützte Nachtrocknung von Baldrianwurzeln (Serie 2000)**

Datei: c:\albert\fnrfahr.doc

**Tabelle 1                      Artischockenkraut Serie 1 (19.10.2001)**

Versuch	Wassergehalt Übergabe auf Wärmebe- handlung (%)	Trock- nungs- zeit in min	Mikrowellen- energieeinsatz in kWh/kg Trocken- produkt (10%)	max. Gut- tem- peratur (°C)	CCS- Gehalt (%)	Aerobe Gesamt- keim- zahl/g
BT		600	0	45	2,22	6.000.000
ROH	87,9	570	0	45	3,69	8.500.000
ROH-B	87,9	9,5+400	0	98	4,13	< 100
ROH- MWI	87,9	9,5+300	2,57	77	1,94	190.200
ROH-MW II	87,9	13+240	3,21	67 (?)*)	2,27	51.500
M1B-MW	83,5	60+10,5+ 260	2,17	78	1,40	185.000
E1B-MW	72,4	120+7,5+ 285	1,04	73	1,41	160.000

\*) Infrarot-Fehlmessung durch Wasserdampfnebelbildung

**Tabelle 2                      Artischockenkraut Serie 2 (16.11.2001)**

Versuch	Wassergehalt Übergabe auf Wärmebe- handlung (%)	Trock- nungs- zeit in min	Mikrowellen- energieeinsatz in kWh/kg Trockenprodukt (10%)	max. Gut- tem- peratur (°C)	CCS- Gehalt (%)	Aerobe Gesamt- keim- zahl/g
BT		600	0	45	2,25	4.200.000
ROH	87,9	340	0	45	1,38	500.000
ROH-B	87,9	9,5+340	0	96	1,10	80.000
ROH-MW	87,9	9,5+285	1,94	71	0,46	80.000
M1B-MW	82,3	60+9,5+ 265	1,40	71	0,67	200.000
E1B-MW	78,5	120+9,5 +238	1,43	70	0,90	150.000

**Tabelle 3      Baldrianwurzeln Serie 1 (30.10.2001)**

Versuch	Wassergehalt Übergabe auf Wärmebe- handlung (%)	Trock- nungs- zeit in h	Mikrowellen- energieeinsatz in kWh/kg Trockenprodukt (10%)	max. Gut- tem- peratur (°C)	Ätherischöl- Gehalt (%)	Aerobe Gesamt- keim- zahl/g
ST			0	45		
ROH	74,8	62,5	0	45	0,28	2.700.000
ROH-B	74,8-80,7%*)	2min +62,5	0	92	0,32	50.000
ROH- MW	74,8	9,5min+ 62	0,73	81	0,29	60.000
VT-MW	56,6	170min+ 10min+ 59,3	0,56	81	0,63	50.000

# **FAH-Forschungsvorhaben (FKZ: 22013901)**

## **„Technische Optimierung von Trocknungsprozessen“**

**(Stand zum 10.12.2001)**

**Ziel:**

**Keimzahlreduzierung durch Einsatz von Mikrowellen  
oder Dampf**

**Produkte:**

**Artischockenkraut & Baldrianwurzeln**

## **Aufbereitung Rohware**

**Baldrian: Waschen, Teilen (4/6/8), Waschen**

**Artischocke: Schneiden (4 cm), Windsichten**

## **Dampfblanchieren**

**atmosphärisch im Siebbehälter, Schütthöhe ca. 15 cm bei  
Artischocke, ca. 10 cm bei Baldrian, 2 Minuten bei Baldrian,  
9,5 Minuten bei Artischockenkraut**

## **Mikrowellenbehandlung**

**volle Leistung mit ca. 1.100 W , Schütthöhe ca. 5 cm,  
Dauer 9 bis 13 Minuten**

## **Trocknung**

**im Hordentrockner bei rund 7 cm Schütthöhe, Lufttemperatur 45°C,  
Luftgeschwindigkeit 0,25 m/s bei Baldrian, 0,55 m/s bei Artischocke**

## **Vorläufige Ergebnisse / Schlussfolgerungen**

### **Artischocke**

**Dampfblanchieren sowohl in der Keimzahlreduktion (bis zu 4 Zehnerpotenzen möglich) als auch im Erhalt an wertgebenden Inhaltsstoffen (CCS) überlegen (ca. 0,3 l Heizöl/kg TP)**

### **Baldrian**

**Keimzahlreduktion um 1,5 Zehnerpotenzen ohne Qualitätsverschlechterung mit Mikrowellen (ca. 1 kWh/kg TP) und Dampf (ca. 0,3 l Heizöl/kg TP) möglich,**  
**verlängertes Dampfblanchieren möglicherweise noch günstiger,**  
**bei Hauptaugenmerk auf Erhalt von Ätherischölen Vortrocknung / Mikrowellenerwärmung / Nachtrocknung am günstigsten**