

Die Anwendung  
von hochfrequentem Wechselstrom  
zum Trocknen von Fruchtsäften im Vakuum

---

Von der  
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN  
HOCHSCHULE IN ZÜRICH

zur Erlangung  
der Würde eines Doktors der  
technischen Wissenschaften  
genehmigte

PROMOTIONSARBEIT

Vorgelegt von  
FRANZ EMCH  
dipl. Ing. Agr. ETH  
von Mühledorf SO

Referent: Herr Prof. Dr. E. Zollikofer

Korreferent: Herr Dr. H. Lüthi

## 4 Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit stellt einen Versuch dar, Apfel-, Birnen- und Traubensaftkonzentrate mit hochfrequentem Wechselstrom zu trocknen. Die zusammenfassend beschriebenen, bis heute bekannten Trocknungsmethoden weisen alle gewisse Unzulänglichkeiten auf, z. B. zu lange Trocknungszeiten, kleine absolute Arbeitsdrucke, Qualitäts- und Aromaverluste, hohe Endwassergehalte, große Anlagekosten, Diskontinuität des Verfahrens.

Die Anwendung von Hochfrequenzenergie erlaubt, die Erhitzungs- und Verdampfungswärme direkt im Wasser des zu verarbeitenden Gutes zu erzeugen. Dadurch fällt der Wärmetransport über beheizte Wände und im Trocknungsgut bis zu den einzelnen Wasserteilchen weg. Es wird eine gleichmäßige Erhitzung ohne Randschädigungen ermöglicht.

Die Untersuchungen wurden mit einer in der Arbeit beschriebenen Versuchsanlage durchgeführt. Die notwendige Hochfrequenzenergie lieferte ein 4 kW-Generator. Die Spannung wurde mit einem Hochfrequenzvoltmeter an den Generatorelektroden gemessen und auf die Hochfrequenzspannung an den senkrechten Arbeitselektroden umgerechnet. Die Temperaturmessungen im Hochfrequenzfeld erfolgten mit Toluolthermometern.

Die Ergebnisse zahlreicher Trocknungsversuche an Obst- und Traubensaftkonzentraten verschiedener Provenienz ergaben im wesentlichen nachstehende Resultate:

Das Trocknen unter normalem Luftdruck führt zu einem sofortigen Qualitätsrückgang. Es entsteht eine starke Bräunung, im Produkt treten entsprechende geschmackliche Veränderungen auf.

Beim Arbeiten unter Vakuum führen Arbeitsdrucke von 25 und 50 mm Hg abs. zu den besten Resultaten. Es konnten in Trocknungszeiten von 400 bis 1200 Sekunden bei verschiedenen Hochfrequenzspannungen Endwassergehalte von 0,8 bis 2,8 % erreicht werden, ohne erfaßbare Qualitätseinbußen des Ausgangsmaterials. Allfällig vorhandene Aromastoffe gehen allerdings auch bei diesem Trocknungsprozeß verloren.

Generell ist festzuhalten, daß jedes Überschreiten der Temperaturzone von 85 bis 95 Grad C zu einer sofortigen Qualitätsverschlechterung führt. Solche Qualitätsveränderungen wurden durch Degustationen, zum Teil kombiniert mit Absorptionsmessungen im sichtbaren Teil des Spektrums erfaßt (Geschmack und Farbe).

Der Trocknungsverlauf in einem gegebenen Hochfrequenzfeld läßt sich rechnerisch erfassen, wenn die dielektrischen Eigenschaften des Ausgangsproduktes bekannt sind. Diesbezügliche Messungen ergaben erhebliche Unterschiede, je nach Art, Zusammensetzung und Wassergehalt des zu trocknenden Produktes.

Die getrockneten Konzentrate zeigen ausgesprochen thermoplastisches Verhalten. Je nach Wassergehalt erstarren sie bei Temperaturen zwischen 25 und 35 Grad C zu einer amorphen Masse. Eine schwammige Struktur war trotz des starken Schäumens während der Trocknung nicht zu beobachten.

Die thermoplastischen und hygroskopischen Eigenschaften der getrockneten Säfte erschweren das Mahlen. Einigermaßen befriedigendes Mahlen ist nur möglich, wenn der Raum kühl ist und eine niedrige relative Luftfeuchtigkeit aufweist.

Die Lösungsgeschwindigkeit des durch einfache Mahlung hergestellten Pulvers ist nicht sehr groß. Es läßt sich aber in Wasser ohne jeden Rückstand lösen.

Die Untersuchung über die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens ergibt, daß der besprochene Trocknungsprozeß sich kostenmäßig zu mindest so günstig stellt, wie die bisher bekannten Verfahren.

## 4 Résumé

Le travail décrit un essai de séchage à courant alternatif à haute fréquence, agissant sur des concentrés de jus de pomme, de poire et de raisin. Les méthodes à sécher actuellement connues sont résumées. Toutes comportent certaines insuffisances, comme le temps à sécher prolongé, de faibles pressions effectives dans l'appareil, des pertes de qualité et d'arômes, des teneurs d'humidité finale élevées, de hauts frais de construction, la discontinuité du procédé.

L'emploi d'énergie à haute fréquence permet à produire la chaleur sensible et latente directement dans l'eau du matériel à sécher, exposé au champ électrique. La transmission de la chaleur par parois chauffées et par le produit traité n'est plus nécessaire, ce qui permet un chauffage régulier sans endommager le matériel de bordure.

Le dispositif d'essais est décrit. L'énergie à haute fréquence est produite avec un générateur de 4 kW. La tension est mesurée par un voltmètre à haute fréquence, les températures du produit dans le champ électrique sont relevées par thermomètres à toluole.

Les résultats essentiels de nombreux essais sont les suivants:

Le séchage sous pression atmosphérique entraîne une détérioration immédiate de qualité. Le produit brunit, ses propriétés organoleptiques changent conformément à la couleur fonçante.

Travaillant sous vide, des pressions de 25 et 50 mm Hg abs. donnent les meilleurs résultats. Sous diverses tensions à haute fréquence, des temps de séchage de 400 à 1200 secondes résultaient, les teneurs en eau variaient de 0,8 à 2,8 %, des changements de la qualité initiale de purent être constatés. Les arômes éventuellement contenus dans les concentrés se vaporisent pendant le séchage.

En général, le dépassement de la zone de température de 85 à 95°C provoque une perte de qualité. Les changements de qualité étaient relevés par dégustations et cette méthode fut partiellement combinée avec un mesurage d'absorption dans la partie visible du spectre.

Les propriétés diélectriques des concentrés, influençant le séchage dans le champ électrique, étaient mesurées. Elles changent selon l'origine, la teneur d'eau et la composition chimique des produits.

Une thermoplasticité marquée représente une particularité des concentrés séchés, leur solidification en masse amorphe se produit entre 25 à 35°C selon la teneur d'eau.

Malgré la formation d'une forte écume pendant le séchage, une structure spongieuse finale n'était pas à observer.

Les propriétés thermoplastiques et hygroscopiques des jus séchés demandent la mouture dans des chambres à l'air plutôt froide et d'une basse humidité relative.

La poudre, gagnée par simple mouture, ne se dissoud pas très rapidement dans l'eau, mais y est soluble sans aucun résidu.

Des études économiques sur le procédé proposé donnent des frais au moins comparables aux méthodes de séchage actuellement connues.

## 4 Summary

A new method of drying apple, pear and grape juice by high frequency alternating current has been tried out. The deficiencies of the formerly used methods for drying — e. g. too long drying periods, small absolute working pressure, damages to quality and aroma, high final water content, expensive installation and discontinuation of the working process — are described.

High frequency energy can produce the evaporation heat directly in the concentrate. Therefore the heat transmission over heated walls and in the concentrate to the water particles is omitted, thus securing a uniform heating effect without damaging the material on peripheral zone.

The experiments were carried out with specially constructed equipment containing a 4 kW generator for the production of the high frequency energy. The voltage was measured with a high frequency voltmeter at the generators electrodes and then translated into the high frequency voltage at the vertical working electrodes. The temperatures in the electric field were measured with toluol thermometers.

The results of numerous drying experiments with different fruit- and grape juice concentrates can be described as following:

Drying under normal atmospheric pressure resulted in an immediate quality decrease, that is intensive browning, and alterations of the flavour.

The best results were obtained when working under a pressure of 25 — 50 mm Hg abs. At different high frequency voltages and drying periods of 400 — 1200 seconds, the final water content reached 0,8 — 2,8 %. There was no noticeable deterioration of quality under these conditions except for a complete loss of the aroma.

Generally observed, the exceeding of a temperature of 85 — 95°C leads to instant quality decreases which were discovered by organoleptic examinations partly combined with absorption measurements in the visible part of the spectrum.

The drying process in a given high frequency field can be calculated if the dielectric properties of the original product are known. Measurements revealed great differences according to type, composition and water content of the product to be dried.

The dried concentrates show distinct thermoplastic properties. According to their water contents they solidify to form an amorphous body at temperatures between 25 — 35°C. In spite of strong foaming during the drying process no spongy structure could be observed.

The thermoplastic and hygroscopic properties of the dried juices are not favourable to grinding which can only be carried out with good results in a cool room at low air humidity.

The solving speed of the single ground dried product is low, it does, however, solve in water without residue.

The examination of the economy of the method shows that the discussed drying process is at least not more expensive than any other processes known up to this day.