

Einfluß der Temperatur der Trocknungsluft, der Luftgeschwindigkeit und der chemischen Vorbehandlung auf das Trocknungsverhalten von Trauben

Von Wolfgang Eissen, Werner Mühlbauer, Heinz Dieter
Kutzbach und Erich Kirchner, Stuttgart-Hohenheim*)

DK 664.8.047:634.8.004.12

Voraussetzung für die Auslegung und Optimierung von solaren Traubentrocknungsanlagen ist die Kenntnis der funktionalen Zusammenhänge zwischen der Temperatur der Trocknungsluft, der Luftgeschwindigkeit, der chemischen Vorbehandlung und dem daraus resultierenden Trocknungsverhalten der Trauben.

Zur Bestimmung dieser Gesetzmäßigkeiten wurde eine Trocknungsanlage aufgebaut, mit der Temperaturen der Trocknungsluft von 20–80 °C, die Luftgeschwindigkeit im Bereich von 0,1–1,0 m/s variiert und der Trocknungsverlauf sowie die Beerentemperatur kontinuierlich gemessen werden können. Die Qualitätsbeurteilung der Rosinen erfolgte durch sensorische Prüfung von Farbe, Geschmack, Geruch, Konsistenz und Oberflächenbeschaffenheit nach dem "Karlsruher Bewertungsschema".

Die Untersuchungen zeigten, daß bei der solaren Traubentrocknung Lufttemperaturen um 60 °C bei Luftgeschwindigkeiten von 0,25–0,5 m/s anzustreben sind. Höhere Temperaturen führen zu einer Verschlechterung der Produktqualität, höhere Luftgeschwindigkeiten zu einer unnötigen Vergrößerung des Leistungsbedarfs des Gebläses. Eine chemische Vorbehandlung der Trauben vor der Trocknung ist unerläßlich.

*) Dr. W. Eissen und Dr.-Ing. W. Mühlbauer sind wissenschaftliche Mitarbeiter, Prof. Dr.-Ing. H.D. Kutzbach ist Inhaber des Lehrstuhls "Grundlagen der Landtechnik" am Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim, cand. agr. E. Kirchner ist Studierender der Allgemeinen Agrarwissenschaften an der Universität Hohenheim.

1. Einleitung

Weltweit werden jährlich etwa 1 Mio. t Rosinen produziert. Hauptanbaugelände sind Länder mit hoher Sonneneinstrahlung, wie beispielsweise Australien, Griechenland, Iran, Türkei und USA [1].

Rosinen sind Trauben, die auf lagerfähigen Zustand getrocknet wurden. Für die Rosinenproduktion werden vorzugsweise kernlose Trauben der Sorten "Sultana" und "Thompson Seedless" verwendet. Sie werden vorwiegend in der Süßwarenindustrie und als Backzutaten verwendet. Von der verarbeitenden Industrie und vom Verbraucher werden hohe Anforderungen an die Qualität der Rosinen gestellt. Neben einheitlicher Farbe und Größe wird insbesondere Wert darauf gelegt, daß die Rosinen frei von fremden Bestandteilen wie Staub, Sand, Pflanzenresten und Insekten sind [2]. Weiter wird ein aromatischer, fruchtiger Geruch und Geschmack gefordert.

Die für die Rosinenerzeugung bestimmten Trauben werden manuell geerntet, in eine alkalische Lösung getaucht und anschließend getrocknet. Durch das Tauchen der Trauben vor der Trocknung wird die Wasserdurchlässigkeit der Beerenhaut erhöht und dadurch die Trocknung beschleunigt.

Bei der traditionellen Bodentrocknung werden die Trauben auf Papier, perforierten Folien oder engmaschigen Kunststoffnetzen ausgelegt und in der Sonne getrocknet. Die Trauben haben im erntefrischen Zustand einen Feuchtegehalt von $U = 76-80\%$. Dies bedeutet, daß für die Trocknung auf einen lagerfähigen Zustand von $U = 14\%$ je t Rosinen zwischen 2580 und 3300 kg Wasser entzogen werden müssen. Die Trocknungszeit beträgt bei der natürlichen Trocknung je nach Witterungsbedingungen 8–10 Tage [3].

Bei der Bodentrocknung sind die Trauben nicht geschützt vor eventuellen Niederschlägen, Staubablagerungen und Insektenbefall. Das Auslegen der Trauben auf dem Boden führt zwangsläufig dazu, daß Fremdbestandteile in das Trocknungsgut gelangen, welche bei der nachfolgenden Reinigung nicht vollständig entfernt werden können. Außerdem können Niederschläge zum teilweisen, unter ungünstigen Bedingungen sogar zum völligen Verderb der Trauben führen. Ein weiterer Nachteil der Bodentrocknung ist die starke Bräunung der Rosinen, hervorgerufen durch direkte Sonnenbestrahlung in Verbindung mit langer Trocknungsdauer.

Durch Trocknungsgerüste, wie sie in Griechenland und Australien zur Traubentrocknung eingesetzt werden [3 bis 5], kann der Anteil der Fremdbestandteile reduziert werden. Weiter können durch eine Überdachung der Trocknungsgerüste die Trauben vor Niederschlägen geschützt werden. Der Nachteil der Gerüsttrocknung ist jedoch die im Vergleich zur Bodentrocknung etwa doppelt so lange Trocknungsdauer. Weitere Nachteile dieses Verfahrens sind die ungleichmäßige Trocknung sowie das erhöhte Risiko hinsichtlich Insektenbefall.

Trocknungsanlagen, bei denen die Trocknungsluft durch Verbrennung fossiler Energieträger erwärmt wird, werden infolge des hohen Energiebedarfs und der hohen Investitionskosten in der Praxis bislang nicht eingesetzt.

Im Rahmen eines deutsch-griechischen Forschungsvorhabens auf dem Gebiet der Nutzung von Solarenergie¹⁾ werden solare Trocknungsanlagen für Trauben entwickelt mit dem Ziel, die Produktqualität zu verbessern und Massenverluste während der Trocknung zu verhindern.

Zur Auslegung, konstruktiven Gestaltung und rechnerischen Optimierung der neu zu entwickelnden solaren Trocknungsanlagen muß der Einfluß der Trocknungsparameter auf das Trocknungsverhalten der Trauben und die Qualität der Rosinen bekannt sein. Die bisher vorliegenden Untersuchungen [4 bis 7] über das Trocknungsverhalten von Trauben sind hierfür nicht ausreichend, da bei den Versuchen weder die Temperatur der Trocknungsluft noch die Luftgeschwindigkeit in den bei der solaren Trocknung in Frage kommenden Bereichen variiert wurde. Lediglich über den Einfluß der chemischen Vorbehandlung auf das Trocknungsverhalten und die Qualität liegen umfangreiche Untersuchungen [6, 8 bis 12] vor.

2. Aufgabenstellung

Ziel der nachfolgend beschriebenen Untersuchungen ist, den Einfluß der Temperatur der Trocknungsluft, der Luftgeschwindigkeit und der chemischen Vorbehandlung auf das Trocknungsverhalten von Trauben zu ermitteln. Weiter soll die maximal zulässige Temperatur der Trocknungsluft, bei der noch keine negativen Qualitätsveränderungen auftreten, bestimmt werden.

Für die Trocknungsversuche soll eine Anlage entwickelt werden, mit der das Trocknungsverhalten von Beeren ermittelt werden kann. Die Trocknung soll bei konstantem Zustand der Trocknungsluft nach einem standardisierten Verfahren durchgeführt werden, mit dem reproduzierbare Ergebnisse erzielt werden können.

Die Temperatur der Trocknungsluft soll in dem für die solare Trocknung interessanten Bereich $\vartheta_L = 20-80\text{ °C}$, die Luftgeschwindigkeit im Bereich $v_L = 0,1-1,0\text{ m/s}$ variiert werden. Die Meß- und Regeleinrichtungen sollen so ausgelegt werden, daß die Temperatur der Trocknungsluft $\pm 1\text{ K}$ und die Luftgeschwindigkeit auf $\pm 2\%$ vom Meßwert konstant gehalten werden können. Bei den Versuchen sollen die Gewichtsabnahme des Trocknungsgutes und die Temperatur in Beerenmitte und an der Beerenoberfläche kontinuierlich gemessen werden. Farbe, Geschmack, Geruch, Konsistenz und Oberflächenbeschaffenheit sollen mangels objektiver Meßverfahren sensorisch bestimmt werden.

¹⁾ Die Verfasser danken dem Bundesministerium für Forschung und Technologie für die Bereitstellung der Mittel für das Forschungsvorhaben ET 5305 A "Trocknung von Trauben mit Solarenergie in Griechenland".

3. Versuchsaufbau

Zur Untersuchung des Trocknungsverhaltens von Beeren wurde die in Bild 1 in Form eines Blockschaltbildes dargestellte Versuchstrocknungsanlage entwickelt. Die Trocknungsluft wird von einem Radialgebläse angesaugt und der Volumenstrom der Luft mittels Meßleitung und Normblende nach DIN 1952 [13] bestimmt. Um den Volumenstrom in dem angestrebten Bereich $\dot{V}_L = 30-300\text{ m}^3/\text{h}$ (entsprechend $v_L = 0,1-1,0\text{ m/s}$ im Trockner) messen und regeln zu können, wurden zwei Meßleitungen von 50 und 100 mm ϕ parallel angeordnet, die wahlweise über manuell zu bedienende Schieber betrieben werden können. Zum Ausgleich von Durchsatzschwankungen infolge Dichteänderung der Umgebungsluft bzw. Verminderung des Luftwiderstandes der Beeren während der Trocknung, wird der Luftdurchsatz mit einem PI-Regler geregelt. Hierzu wird der Druckabfall an der Blende mit einer elektronischen Druckmeßdose gemessen und bei Abweichungen vom Sollwert der Luftdurchsatz durch ein saugseitig angeordnetes Ventil mit Stellantrieb nachgeregelt.

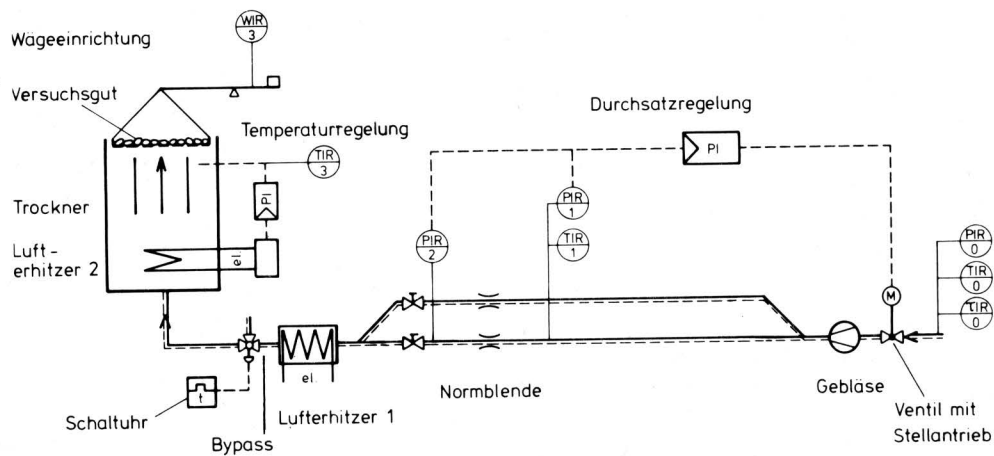


Bild 1. Schema der Versuchsanlage (mit Meß- und Regeleinrichtungen) für die Messung des Trocknungsverhaltens von Beeren.

Die Trocknungsluft wird zunächst in einem elektrischen Lufterhitzer erwärmt und strömt anschließend in eine Mischkammer, in der durch ein zusätzlich eingebautes Sieblochblech eine gleichmäßige Verteilung über den Querschnitt des Versuchstrockners ($d = 300\text{ mm } \phi$) erreicht wird, Bild 2.

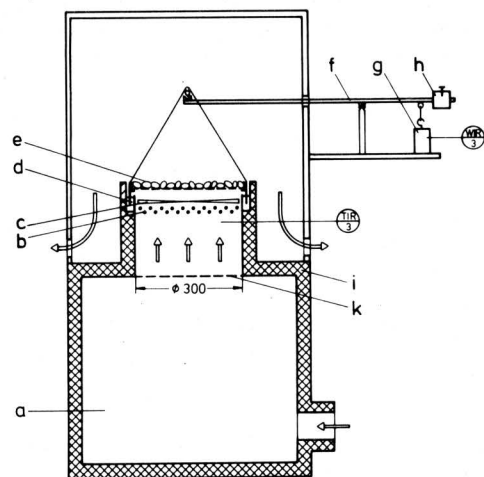


Bild 2. Schnitt durch den Trocknungsbehälter mit Wägevorrichtung.

- | | | |
|-----------------------|----------------|-----------------|
| a Mischkammer | e Einzelbeeren | h Gegengewicht |
| b Lufterhitzer | f Wägebalken | i Wärmedämmung |
| c statische Mischer | g Kraftmeßdose | k Sieblochblech |
| d Flüssigringdichtung | | |

Vorversuche haben gezeigt, daß mit nur einer elektrischen Heizung aufgrund der Trägheit des Systems eine Regelung der Trocknungslufttemperatur mit der geforderten Genauigkeit nicht erreicht werden kann. Es wurde deshalb eine zweite Elektroheizung unmittelbar unter dem Trocknungsgut eingebracht, die aus einem zweilagigen spiralförmig gewickelten Heizdraht ($d = 3 \text{ mm } \phi$) besteht. Durch die gewählte Anordnung der Zusatzheizung mit zwei nachgeschalteten statischen Mischern, konnte eine sehr gleichmäßige Temperaturverteilung über dem Trocknerquerschnitt erreicht werden.

Die Temperatur der Trocknungsluft wird unterhalb des Versuchsgutes mit einem NiCr-Ni-Thermoelement ($d = 0,25 \text{ mm } \phi$) gemessen und das Signal in einem Meßverstärker verstärkt. Das Temperatursignal wird einem PI-Regler zugeführt, welcher über einen Thyristorsteller die Heizleistung des Lufterhitzers 2 stufenlos regelt und die Lufttemperatur auf dem eingestellten Sollwert hält. Die Beeren werden auf einem Sieb in den Luftstrom eingebracht. Durch eine gleichmäßige Verteilung der Beeren auf dem Sieb und Abdichtung gegenüber der Trocknerwandung mit einer Flüssigringdichtung wird eine gleichmäßige Trocknung der einzelnen Beeren erreicht. Auf dem Sieb können ca. 400 Beeren gleichzeitig getrocknet werden. Dadurch wird sichergestellt, daß die bei biologischen Gütern stets vorhandenen Inhomogenitäten ausgeglichen werden.

Die Messung des Beerengewichtes während der Trocknung erfolgt kontinuierlich mittels einer Kraftmeßdose. Die von Sieb und Beeren ausgeübte Vertikalkraft wird dabei über einen Hebelmechanismus auf die Kraftmeßdose übertragen. Durch ein Ausgleichsgewicht kann die Vorlast durch Sieb und Wägebalken weitgehend kompensiert werden, so daß auf die Kraftmeßdose nur noch das Gewicht der Beeren wirkt. Durch diese Meßanordnung kann eine höhere Genauigkeit der Gewichtsmessung erreicht werden.

Um eine Beeinflussung der Trocknung durch Wärmeverluste an die Umgebung zu verhindern, wurden Mischkammer und Trocknerwandung mit einer 50 mm dicken Steinwollschicht wärmegeämmt. Strahlungsverluste wurden durch Verkleidung des Trockners mit einem Blechmantel und seitlichen Austritt der Abluft unterhalb des Siebes vermieden.

Die Beeren sind während der Trocknung einer im Vergleich mit anderen landwirtschaftlichen Produkten, wie beispielsweise Körnerfrüchten, extrem starken Schrumpfung ausgesetzt, wodurch sich der Luftwiderstand der Beeren vermindert. Bei der Anströmung der Beeren senkrecht von unten nach oben wird das um die Luftkraft verminderte Gewicht von Beeren und Sieb kontinuierlich gemessen. Die Luftkraft verändert sich infolge Schrumpfung der Beeren während der Trocknung. Um diesen Einfluß zu eliminieren, wurde vor dem Trockner eine Bypassklappe eingebaut, mit der, über eine Zeitschaltuhr gesteuert, die Trocknungsluft kurzzeitig ins Freie geblasen wird und somit das momentane Beerengewicht bestimmt werden kann.

Für die Ermittlung des zeitlichen Verlaufs der Beerentemperatur wurden bei getrennten Versuchen Thermoelemente in der Mitte und direkt unter der Oberfläche der Beeren angebracht und die Beeren der Trocknungsluft ausgesetzt. Um zu verhindern, daß Wärme über das Thermoelement an den Meßort strömt, wurde der Thermodraht gegenüber der Trocknungsluft durch Auffädeln weiterer Beeren isoliert. Die Messung der Beerentemperatur wurde gleichzeitig an 5 Beeren durchgeführt und daraus ein Mittelwert für die Temperatur in Beerenmitte und an der Beerenoberfläche gebildet.

Die für die Versuchsüberwachung und -auswertung notwendigen Meßgrößen werden mit einem Meßwerterfassungssystem in vorgegebenen Zeitintervallen erfaßt und die Daten über eine Datenfernübertragungseinrichtung direkt in einen Prozeßrechner eingelesen. Im Prozeßrechner werden die zur Versuchsüberwachung notwendigen Größen, wie Trocknungszeit, Temperatur der Trocknungsluft, Luftgeschwindigkeit im Trockner und Gewicht der Trauben, berechnet und auf einem Drucker ausgegeben. Die gemessenen und berechneten Größen werden auf Magnetplatte zur nachfolgenden

Auswertung gespeichert. Bei der Versuchsauswertung werden die den Trocknungsverlauf beschreibenden Größen, wie Feuchtegehalt, Feuchtegrad der Trauben, Trocknungsgeschwindigkeit, Temperatur an der Oberfläche und im Innern der Beeren, berechnet und graphisch dargestellt.

4. Material

Die experimentellen Untersuchungen wurden mit Trauben der kernlosen Sorte Sultana durchgeführt. Da es sich bei Trauben um ein biologisches Gut handelt, sind die das Trocknungsverhalten beeinflussenden Kenngrößen, wie beispielsweise geometrische Abmessungen, Feuchtegehalt, Säure- und Zuckergehalt, naturgemäß von Erntejahr, Erntezeitpunkt und Standort abhängig, **Tafel 1**.

Um reproduzierbare Versuche durchführen zu können, wurden die Beeren manuell verlesen. Dabei wurde darauf geachtet, daß die Beerenhaut keinerlei Verletzungen aufwies und die Stiele noch fest mit der Beere verbunden waren. Weiter wurden ausschließlich voll ausgereifte Beeren ($U_1 = 76-78 \%$, Reifegrad $20-22^\circ \text{ Brix}$) mit einer Masse $m_B = 1,8-2,2 \text{ g}$ ausgewählt.

Länge	mm	13,3–19,3	Dichte	g/cm ³	1,1–1,16
Breite	mm	11,7–16,0	Reifegrad	° Brix	18–24
Masse	g	1,1– 3,0	Säuregehalt	%	3,3–7,5
Volumen	cm ³	1,0– 2,6	Zuckergehalt	%	16,5–22,2
Oberfläche	cm ²	4,7– 9,2	Feuchtegehalt	%	76–80

Tafel 1. Eigenschaften der Trauben für die Trocknungsversuche; Sorte Sultana, Iraklion (Kreta), 1982.

5. Versuchsdurchführung²⁾

Die Trauben wurden in erntefrischem Zustand wöchentlich von Kreta eingeflogen und bis zum Beginn der Trocknungsversuche in einer Klimakammer bei 4 °C und 90 % relativer Feuchte gelagert. Dadurch wurde sichergestellt, daß während der Lagerung keine das Trocknungsverhalten beeinflussenden Veränderungen des Versuchsgutes auftraten.

Vor Beginn der Trocknungsversuche wurden zunächst die physikalischen und biologischen Kenngrößen der Trauben bestimmt. Der Reifegrad wurde mit einem Zuckerrefraktometer, der Säuregehalt mittels Titrationsverfahren ermittelt. Aus dem Reifegrad kann der Zuckergehalt berechnet werden. Zur Bestimmung des Anfangsfeuchtegehalts wurden die Trauben bei 60 °C und 1 300 Pa in einem Vakuumschrank 24 Stunden getrocknet. Zur chemischen Vorbehandlung wurden die Trauben, je nach dem verwendeten Mittel, zwischen 10 und 180 s in die Emulsion getaucht. Nach dem Abtropfen der überschüssigen Emulsion wurden die Trauben auf dem Sieb gleichmäßig verteilt und in den Versuchstrockner eingebracht. Nach Beendigung der Trocknungsversuche wurde ein Teil der Rosinen zur Trockenmassebestimmung, der andere Teil zur Qualitätsbeurteilung herangezogen.

6. Qualitätsbeurteilung

Die Qualität von Rosinen wird einerseits vom Reifezustand der Trauben, andererseits von den Trocknungsbedingungen und der chemischen Vorbehandlung beeinflusst. Durch die Trocknung von weitgehend homogenem Ausgangsmaterial vom gleichen Standort wurden Einflüsse des Reifezustandes und standortbedingter Variationen der Inhaltsstoffe auf die Qualität der Rosinen ausgeschlossen, soweit dies bei biologischen Materialien überhaupt möglich ist.

²⁾ Die Verfasser danken der chem.-techn. Assistentin Frau *Dorothea Weidmann* für die Mitarbeit bei der Durchführung und Auswertung der Versuche.

Die zur Einteilung in Handelsklassen herangezogenen Qualitätsmerkmale, wie Farbe und Beerengröße [2, 14, 15] sind für die Untersuchung des Einflusses unterschiedlicher Trocknungsbedingungen und verschiedenartiger chemischer Vorbehandlung nicht ausreichend.

In Ermangelung objektiver Meßmethoden wurden die Rosinen einer sensorischen Beurteilung nach dem "Karlsruher Bewertungsschema" [16] unterzogen.³⁾ Bei diesem Bewertungsschema werden Farbe, Geruch, Geschmack und Konsistenz von einer Gruppe geschulter Testpersonen unter exakt definierten Bedingungen nach einer 9 Noten umfassenden Skala bewertet. Dabei charakterisieren die Noten

- 1-3 mangelhaft bis schlecht – unverkäuflich
- 4-6 ausreichend bis befriedigend – noch handelsüblich
- 7-9 gut bis sehr gut – einwandfreie Handelsware.

Bei der Prüfung werden die Merkmale zunächst getrennt bewertet und anschließend zu einer Gesamtnote zusammengefaßt. Um den Anforderungen sowohl des Handels als auch der Verbraucher gerecht zu werden, wurden bei der Bildung der Gesamtnote Gewichtungsfaktoren eingeführt. Die Farbe wurde mit dem Faktor 3, der Geschmack mit dem Faktor 2, Geruch und Konsistenz mit dem Faktor 1 gewichtet.

7. Versuchsergebnisse

7.1 Trocknungsverlauf

Die für die Trocknung von Trauben typischen Trocknungskurven $X = f(t)$, $g_D = f(t)$ und $\vartheta_B = f(t)$ sind in Bild 3 für unterschiedliche Temperaturen der Trocknungsluft dargestellt. Wie Bild 3 zeigt, weisen die Trauben den für hochfeuchte hygroskopische Stoffe ($X > 1,0$) charakteristischen Trocknungsverlauf mit zwei ausgeprägten Trocknungsabschnitten auf.

Im 1. Trocknungsabschnitt, in dem die Trocknungsgeschwindigkeit konstant ist ($g_{D1} = \text{const.}$), wird zunächst die durch die chemische Vorbehandlung aufgebrachte Benetzungsfuchte verdunstet. Das Eintauchen der Beeren in eine alkalische Lösung bewirkt durch die Einlagerung von Fettsäuren und deren Estern in die Kapillaren der wachshaltigen Kutikula eine Umwandlung der ursprünglich hydrophoben Wachs Oberfläche in eine Oberfläche mit hydrophilen Eigenschaften. Die hydrophilen Gruppen an der Wachs Oberfläche unterstützen die Kapillarwasserbewegung durch die Kutikula und bewirken einen ungehinderten Feuchtetransport zum Ort der Verdunstung. Innerhalb der Beere wird die Feuchtebewegung durch osmotische Kräfte aufrechterhalten, die eine Diffusion der Feuchte durch die semipermeablen Zellwände infolge Konzentrationsdifferenzen bewirken. Darauf weisen die geringen Temperaturdifferenzen zwischen der Beerenoberfläche und der Beerenmitte hin.

Bild 3 zeigt weiter, daß die Temperatur der Beeren zu Beginn der Trocknung schnell ansteigt, bis sich nach etwa 10 Minuten eine Beharrungstemperatur einstellt. Ein weiterer Anstieg der Beeren temperatur tritt erst nach Beendigung des 1. Trocknungsabschnittes auf. Der Beginn des Abschnittes fallender Trocknungsgeschwindigkeit äußert sich in einem ausgeprägten Knickpunkt der Kurve $g_D = f(t)$.

Der 1. Knickpunkt X_{Kn1} wird dann erreicht, wenn die Oberfläche der Beere an einer Stelle auf den Gleichgewichtszustand herabgetrocknet ist. Das Austrocknen der Beerenhaut bewirkt einen erhöhten Diffusionswiderstand und der Ort der Verdunstung wird immer weiter ins Beereninnere verlegt. Der erhöhte Widerstand muß durch einen höheren Dampfdruck überwunden werden, so daß im 2. Trocknungsabschnitt die Trocknungsgeschwindigkeit abnimmt bei gleichzeitigem Anstieg der Beeren temperatur.

Der Übergang vom 2. zum 3. Trocknungsabschnitt erfolgt bei Trauben fließend ohne ausgeprägten Knickpunkt. Da dieser Abschnitt für die Praxis von untergeordneter Bedeutung ist, soll an dieser Stelle nur darauf hingewiesen werden, daß im 3. Trocknungsabschnitt sich die Temperaturen der Beerenoberfläche und des Innern der Beere angeglichen haben und sich der Feuchtegrad dem Gleichgewichtszustand asymptotisch nähert. Gleiches gilt für die Annäherung der Temperatur der Beeren an die Temperatur der Trocknungsluft.

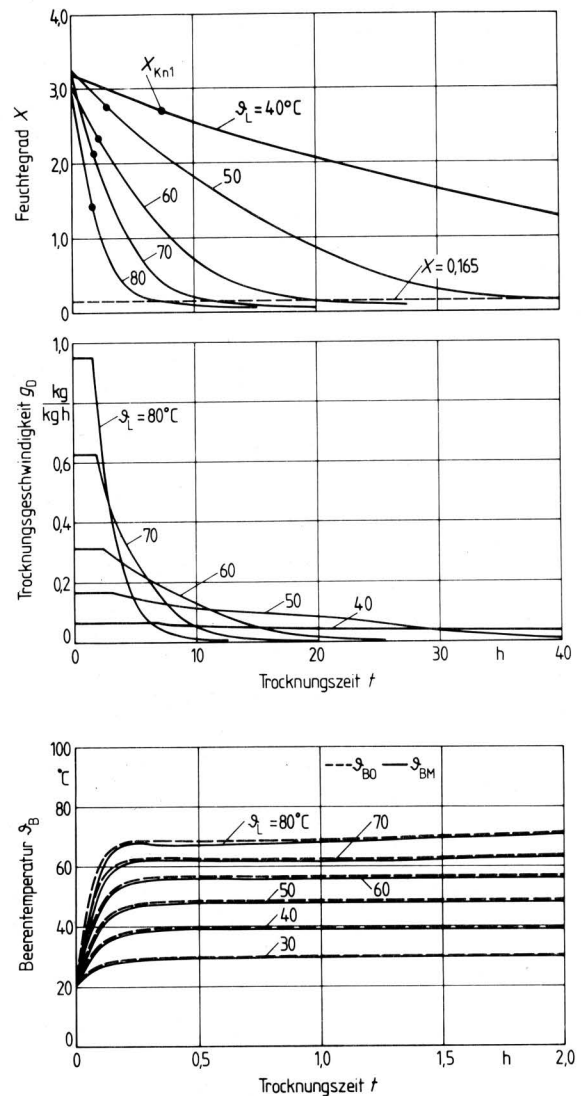


Bild 3. Feuchtegrad, Trocknungsgeschwindigkeit und Beeren temperatur als Funktion der Zeit bei der Trocknung mit unterschiedlichen Lufttemperaturen; ϑ_{BO} Oberflächentemperatur, ϑ_{BM} Temperatur in Beerenmitte; Vorbehandl.: Wasser + 7 % K_2CO_3 + 0,4 % Olivenöl; $v_L = 0,5$ m/s.

7.2 Einfluß der Temperatur der Trocknungsluft

Eine wichtige Voraussetzung zur Verminderung der Massenverluste bei der Rosinentrocknung ist in vielen Anbauländern die Verkürzung der Trocknungsdauer, um die Trocknungskampagne noch vor Eintreten der Regenperiode beenden zu können. Ziel der solaren Trocknung ist daher in erster Linie die Reduzierung der Trocknungsdauer bei gleichzeitiger Erhaltung bzw. Verbesserung der Produktqualität.

³⁾ Die Verfasser danken dem Akad. Dir. H. Hansen vom Institut für Biologie der Bundesforschungsanstalt für Ernährung in Karlsruhe für die Durchführung der sensorischen Beurteilung.

Die Untersuchungen haben gezeigt, daß der Trocknungsverlauf und damit verbunden auch die Trocknungsdauer der Trauben in starkem Maße von der Temperatur der Trocknungsluft beeinflusst werden, Bild 4 und 5.

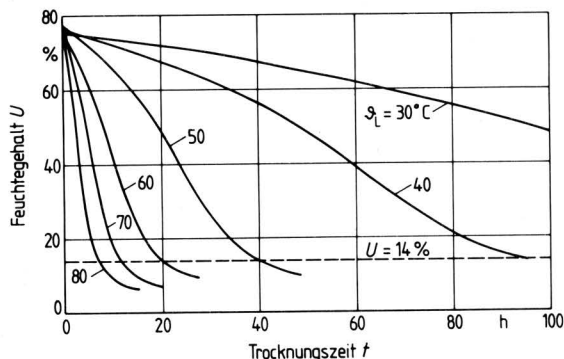


Bild 4. Feuchtegehalt als Funktion der Zeit bei der Trocknung von Trauben mit unterschiedlichen Lufttemperaturen; Vorbehandl.: Wasser + 7 % K_2CO_3 + 0,4 % Olivenöl; $v_L = 0,5$ m/s.

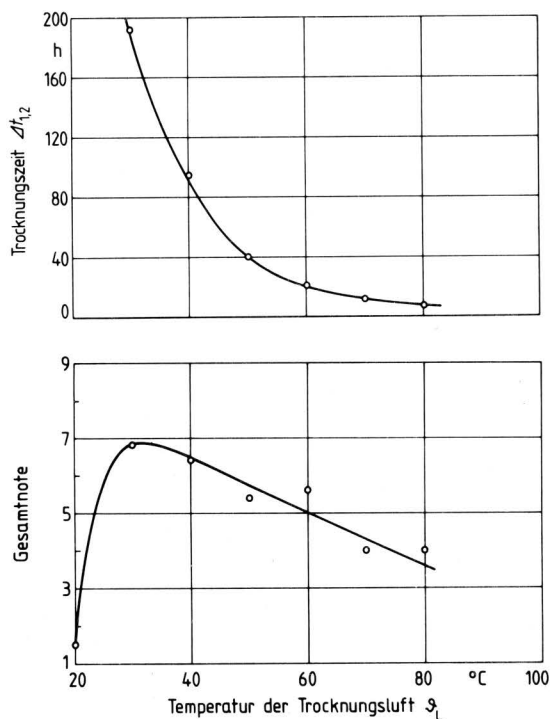


Bild 5. Trocknungszeit und Gesamtnote der Qualitätsbeurteilung der Rosinen in Abhängigkeit von der Temperatur der Trocknungsluft; Anfangsfeuchte $U_1 = 76$ %, Endfeuchte $U_2 = 14$ %, $v_L = 0,5$ m/s, Vorbehandl.: Wasser + 7 % K_2CO_3 + 0,4 % Olivenöl.

Bei der Bodentrocknung beträgt die Trocknungsdauer je nach den Witterungsbedingungen zwischen 200 und 240 h [3]. Unter Laborbedingungen kann die gleiche Trocknungsdauer bei einer Temperatur von 30 °C und einer Luftgeschwindigkeit von 0,5 m/s erreicht werden. Eine Temperaturerhöhung auf 40 °C hat bereits eine Reduzierung der Trocknungsdauer auf 95 h zur Folge, während bei 60 °C lediglich noch 20 h zur Trocknung auf lagerfähigen Zustand notwendig sind. Dies bedeutet, daß durch eine Erhöhung der Temperatur von 30 °C auf 60 °C die Trocknungsdauer auf

10 % des ursprünglichen Wertes vermindert wird. Eine weitere Erhöhung der Temperatur führt zwar zu noch kürzeren Trocknungszeiten, gleichzeitig steigt jedoch wieder das Risiko einer Qualitätsverminderung der Rosinen (Bild 5). Bild 6 gibt Aufschluß über den Einfluß der Temperatur der Trocknungsluft auf die der Beurteilung zugrunde liegenden Qualitätsmerkmale. Die Trocknung bei einer Lufttemperatur von 20 °C ergab als Folge der extrem langen Trocknungsdauer und der dabei ablaufenden enzymatischen Reaktionen eine inakzeptable Qualität. Starke Bräunung, verbunden mit dem Verlust des für Rosinen charakteristischen fruchtigen Aromas führte zu der negativen Bewertung.

Sieht man von dem bei 20 °C durchgeführten Versuch ab, so zeigt sich mit zunehmender Temperatur eine stärkere Bräunung als Folge nichtenzymatischer Reaktionen (Bild 6). Die Trocknung bei 30 °C erbrachte unter Laborbedingungen die vom Handel am höchsten bewertete helle Färbung. Im Temperaturbereich $\vartheta_L = 40$ –60 °C erfolgte im Vergleich mit $\vartheta_L = 30$ °C zwar eine stärkere Bräunung, die Farbe entspricht aber durchaus dem geforderten Standard. Eine deutliche Beeinträchtigung aller Qualitätsmerkmale konnte bei Temperaturen ab 70 °C festgestellt werden. Infolge der hohen Temperaturen tritt zu Beginn der Trocknung zunächst eine Volumenvergrößerung der Beeren auf. Durch den in der Beere entstehenden Druck bilden sich in der Beerenhaut feine Risse, durch welche Zellsaft austritt. Der enthaltene Zucker kristallisiert an der Oberfläche aus und führt zu dem unerwünschten Verkleben der Rosinen.

Die im Temperaturbereich oberhalb 70 °C verstärk ablaufenden nichtenzymatischen Reaktionen, insbesondere das Karamelisieren der Zucker, führt zu einer starken Bräunung und einer starken Beeinträchtigung des Geschmacks.

An dieser Stelle ist anzumerken, daß die sensorische Prüfung an Rosinen durchgeführt wurde, die unter Laborbedingungen ohne Einwirkung von Sonnenstrahlung getrocknet und anschließend nicht der sonst üblichen Aufbereitung unterzogen wurden. Die Aufbereitung führt im allgemeinen zu einer Verbesserung der Konsistenz und Oberflächenbeschaffenheit, eventuell auch zu einer Geruchs- und Geschmacksverbesserung. Die nicht durchgeführte Aufbereitung erklärt die relativ schlechten Gesamtnoten.

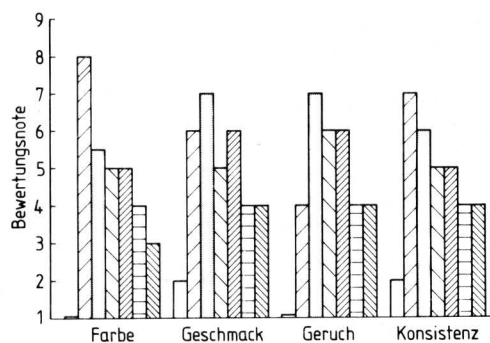


Bild 6. Qualitätsbewertung von Rosinen bei Trocknung mit unterschiedlichen Lufttemperaturen; $U_1 = 76$ %, $v_L = 0,5$ m/s, Vorbehandl.: Wasser + 7 % K_2CO_3 + 0,4 % Olivenöl.

- $\vartheta_L = 20$ °C
- $\vartheta_L = 30$ °C
- $\vartheta_L = 40$ °C
- $\vartheta_L = 50$ °C
- $\vartheta_L = 60$ °C
- $\vartheta_L = 70$ °C
- $\vartheta_L = 80$ °C

7.3 Einfluß der Luftgeschwindigkeit

Die Trocknung der Trauben erfolgt vorwiegend im Weinberg. Da dort im Normalfall kein Stromanschluß vorhanden ist, wird bei der solaren Trocknung angestrebt, die zum Abtransport der Feuchte notwendige Luftbewegung durch Wind oder freie Konvektion

zu erzeugen. Falls die angestrebte Trocknungsleistung jedoch nur durch den Einsatz eines Ventilators erreicht werden kann, sollte aus wirtschaftlichen Gründen der Leistungsbedarf des Ventilators möglichst gering sein. Daraus ergibt sich die Forderung nach einem möglichst niedrigen Luftdurchsatz. Andererseits muß aber sichergestellt sein, daß die Feuchte so schnell den Trauben entzogen und abgeführt wird, daß gerade noch keine negative Beeinflussung der Qualität eintritt.

Den Einfluß der Luftgeschwindigkeit auf das Trocknungsverhalten von Trauben und die Trocknungsdauer zeigen **Bild 7 und 8**. Aus den Bildern ist ersichtlich, daß eine Erhöhung der Luftgeschwindigkeit um den Faktor 10 von 0,1 auf 1,0 m/s lediglich zu einer Verminderung der Trocknungsdauer um ca. 40 % führt. Oberhalb 0,5 m/s kann die Trocknungsgeschwindigkeit nur noch unwesentlich über eine Vergrößerung der Luftgeschwindigkeit erhöht werden. Der relativ geringe Einfluß der Luftgeschwindigkeit auf das Trocknungsverhalten kann damit erklärt werden, daß der Wärme- und Stoffübergang an der Oberfläche des Trocknungsgutes nur im 1. Trocknungsabschnitt von der Luftgeschwindigkeit abhängig ist. Im 2. Trocknungsabschnitt sind die Diffusionswiderstände leistungsbegrenzend. Dies bedeutet, daß über eine Erhöhung der Luftgeschwindigkeit der Stofftransport vom Inneren an die Oberfläche nicht vergrößert werden kann. Im Gegensatz zur Temperatur hat die Luftgeschwindigkeit keinen Einfluß auf Qualität. Bei einer Temperatur der Trocknungsluft von 60 °C konnten bei Luftgeschwindigkeiten zwischen 0,1 und 1,0 m/s Schwankungen der Gesamtnote von 5,3 bis 5,6 festgestellt werden.

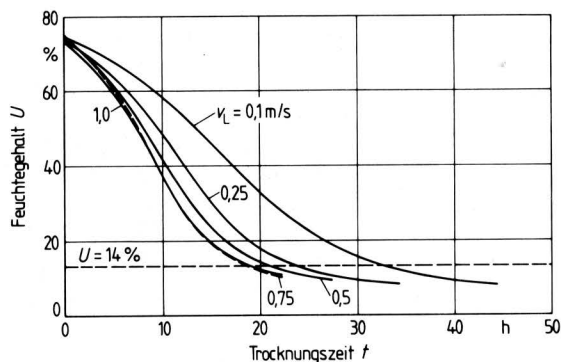


Bild 7. Feuchtegehalt als Funktion der Zeit bei der Trocknung von Trauben mit unterschiedlichen Luftgeschwindigkeiten; $\vartheta_L = 60$ °C; Vorbehandl.: Wasser + 7 % K_2CO_3 + 0,4 % Olivenöl.

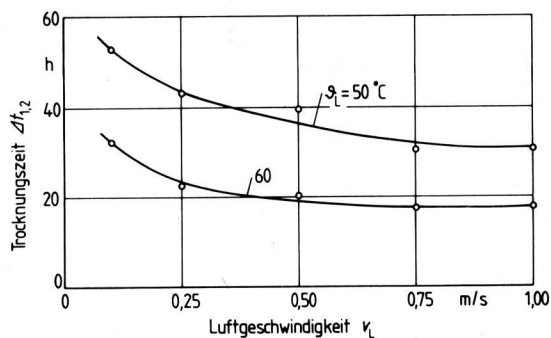


Bild 8. Trocknungszeit in Abhängigkeit von der Luftgeschwindigkeit bei der Trocknung von Trauben bei zwei verschiedenen Trocknungslufttemperaturen; $U_1 = 76$ %, $U_2 = 14$ %; Vorbehandl.: Wasser + 7 % K_2CO_3 + 0,4 % Olivenöl.

7.4 Chemische Vorbehandlung

Bei früheren Untersuchungen [6, 8 bis 12, 14] wurde festgestellt, daß durch eine chemische Vorbehandlung der Trauben sowohl die Trocknungsdauer verkürzt als auch die Qualität verbessert werden kann. Zur Untersuchung des Einflusses der chemischen Vorbehandlung auf Trocknungsverhalten und Qualität wurden Trauben unter gleichen Bedingungen getrocknet, nachdem sie folgenden Vorbehandlungen unterzogen worden waren:

- unbehandelt
- Emulsion aus Wasser, 7 % K_2CO_3 u. 0,4 % Olivenöl
- Emulsion aus Wasser, 2,5 % K_2CO_3 u. 2 % Sultafinoöl.⁴⁾

Die in Griechenland vorwiegend eingesetzte Tauchlösung mit Kaliumcarbonat und Olivenöl führte bei $\vartheta_L = 50$ °C und $v_L = 0,5$ m/s zu einer Verkürzung der Trocknungsdauer von 60 auf 40 h im Vergleich mit unbehandelten Trauben. Noch günstigere Werte für die Trocknungsdauer konnten mit dem in Griechenland neuerdings unter dem Handelsnamen "Sultafino" vertriebenen Tauchmittel erzielt werden. Mit diesem ca. 40 % Ethyloleat enthaltenen Tauchmittel konnte die Trocknungsdauer auf 25 h verkürzt werden, **Bild 9**. Durch die chemische Vorbehandlung konnte darüber hinaus eine Verbesserung, insbesondere hinsichtlich der Farbe, erzielt werden, **Tafel 2**.

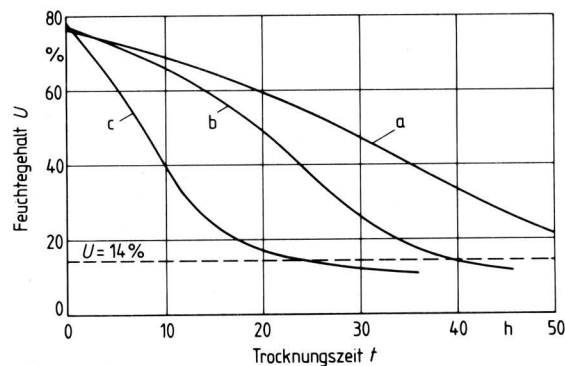


Bild 9. Feuchtegehalt in Abhängigkeit von der Trocknungszeit bei verschiedener Vorbehandlung der Trauben; $\vartheta_L = 50$ °C; $v_L = 0,5$ m/s.

- a ohne Vorbehandlung
- b getaucht in Wasser + 7 % K_2CO_3 + 0,4 % Olivenöl
- c getaucht in Wasser + 2,5 % K_2CO_3 + 2 % Sultafinoöl

Chemische Vorbehandlung	Qualitätsnote				
	Farbe	Geschmack	Geruch	Konsistenz	Gesamtnote
unbehandelt	5	4	3–4	4	4,6
Wasser m. 7 % K_2CO_3 + 0,4 % Olivenöl	5	5	6	5	5,4
Wasser m. 2,5 % K_2CO_3 + 2 % Sultafinoöl	7	6	6	6	6,5

Tafel 2. Qualität von Rosinen aus gleicher Trocknung nach unterschiedlicher Vorbehandlung; Trocknungsbedingungen: $\vartheta_L = 50$ °C, $v_L = 0,5$ m/s.

Benotung

- 1–3 mangelhaft–schlecht; unverkäuflich
- 4–6 ausreichend–befriedigend; noch handelsüblich
- 7–9 gut–sehr gut; einwandfreie Handelsware

⁴⁾ Hersteller: Fa. AKZO-Chemie, Amersfoort, Niederlande.

Insbesondere die Emulsion aus Kaliumcarbonat und Sultafinoöl brachte im Vergleich mit unbehandelten Trauben eine wesentliche Verbesserung der Gesamtnote von 4,6 auf 6,5. Die deutliche Verbesserung der Farbe ist einerseits auf die kürzere Trocknungsdauer, andererseits auf eine starke Reduzierung der Aktivität von Polyphenoloxidase zu Beginn der Trocknung zurückzuführen. Der schnelle Feuchteentzug ist mit einer Erhöhung der Zuckerkonzentration im Zellsaft verbunden, wodurch die Enzyme in ihrer Aktivität gehemmt werden.

Die Versuche zeigten allerdings deutlich, daß bei einem Einsatz dieses Tauchhols in der Praxis die Beimischung eines Emulgators unumgänglich ist, um eine Entmischung der Bestandteile zu verhindern.

7.5 Einfluß der Beerengröße

Zur Quantifizierung des Einflusses der Beerengröße auf das Trocknungsverhalten wurde jeweils eine Probe von relativ kleinen Beeren (mittlere Beerenmasse $m_B = 1,1$ g) und von relativ großen Beeren (mittlere Beerenmasse $m_B = 2,4$ g) unter konstanten Bedingungen getrocknet. Wie Bild 10 zeigt, ist die Trocknung bei den kleinen Beeren bereits nach 32 h abgeschlossen, während zur Trocknung der großen Beeren etwa 45 h erforderlich sind. Die unterschiedliche Trocknungsdauer erklärt sich durch die um den Faktor 1,5 größere spezifische Oberfläche der kleinen Beeren (s.a. Tafel 1).

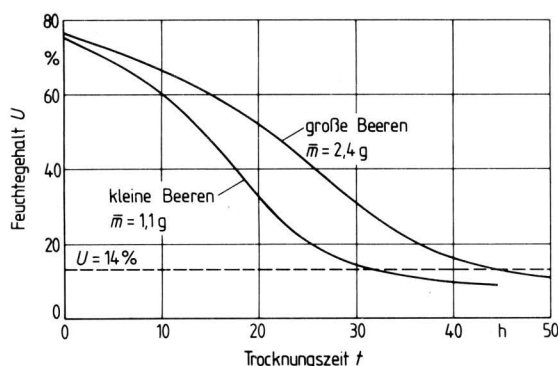


Bild 10. Feuchtegehalt als Funktion der Trocknungszeit beim Trocknen von Trauben verschiedener Größe; $\vartheta_L = 50$ °C, $v_L = 0,5$ m/s.

8. Zusammenfassung

Die Untersuchung des Einflusses der Temperatur der Trocknungsluft, der Luftgeschwindigkeit sowie der chemischen Vorbehandlung und der Beerengröße auf das Trocknungsverhalten und die Qualität der Rosinen brachte in bezug auf die Auslegung von solaren Trocknungsanlagen folgende Erkenntnisse:

1. Die Temperatur der Trocknungsluft hat von den untersuchten Parametern den größten Einfluß auf die Trocknungsgeschwindigkeit und damit auch auf die Trocknungsdauer. Bei der solaren Trocknung sollten Temperaturen um 60 °C angestrebt werden, um eine schnelle Trocknung ohne wesentliche Qualitätsbeeinträchtigung zu erzielen und das Witterungsrisiko zu vermindern. Höhere Temperaturen führen zwar zu kürzeren Trocknungszeiten, aber auch zu einer deutlichen Verschlechterung der Qualität.
2. Die Luftgeschwindigkeit hat im Vergleich zur Temperatur der Trocknungsluft nur einen untergeordneten Einfluß auf die Trocknungsdauer. Ein Einfluß der Luftgeschwindigkeit auf die Qualität konnte nicht festgestellt werden. Bei der Trocknung von Traubenschüttungen sollte eine Luftgeschwindigkeit im Bereich $v_L = 0,25$ – $0,5$ m/s angestrebt werden [3]. Niedrigere Luftgeschwindigkeiten können zu einem unzureichenden Abtransport der Feuchte, höhere Luftgeschwindigkeiten zu einem nicht gerechtfertigten Anstieg des Leistungsbedarfs des Ventilators führen.

3. Zur Erzeugung qualitativ hochwertiger Rosinen ist eine chemische Vorbehandlung unerlässlich. Im Vergleich mit unbehandelten Trauben führt das Tauchen in eine Emulsion aus Wasser, 7 % K_2CO_3 und 0,4 % Olivenöl zu einer Verkürzung der Trocknungsdauer um 33 % bei gleichzeitiger Verbesserung der Produktqualität. Das Tauchen in eine Emulsion aus Wasser, 2,5 % K_2CO_3 und 2 % "Sultafinoöl" resultiert in einer Reduzierung der Trocknungszeit um mehr als 50 % und einer deutlichen Verbesserung der qualitätsbestimmenden Merkmale, insbesondere der Farbe.

Die Ergebnisse der Laboruntersuchungen in bezug auf den Einfluß der Trocknung auf die Qualität können direkt auf solare Trocknungsanlagen übertragen werden, bei denen die Trauben vor Sonnenstrahlung geschützt sind. Sind die Trauben bei der solaren Trocknung jedoch der direkten Strahlung ausgesetzt, so kann unter Einwirkung der UV-Strahlung eine verstärkte Bräunungsreaktion einsetzen.

Schrifttum

Bücher sind durch • gekennzeichnet

- [1] •FAO Production Yearbook 1975–81. FAO Statistic Series. Rom: FAO Verlag 1976–82.
- [2] Jahresbericht des Waren-Vereins der Hamburger Börse e.V., Hamburg, 1983.
- [3] Eissen, W.: Trocknung von Trauben mit Solarenergie. Bundesministerium für Forschung und Technologie, Forschungsbericht T84-089, Bonn, 1984.
- [4] Grncarevic, M. u. W.J. Lewis: Drying of grapes in Australia. Food Technology in Australia, No. 28 (1976).
- [5] James, K.R.: Dehydration of grapes using a heated granular medium. Agric. Eng. Center, Dept. of Agric. Werrabee (Australia), Report No. 2, (1978) S. 1/49.
- [6] Ponting, J.D. u. D.M. McBean: Temperature and dipping treatment effects on drying times of grapes, prunes and other waxy fruits. Food Technology Bd. 24 (1970) S. 1403/1406.
- [7] Martin, R.J.L. u. G.L. Stott: The physical factors involved in the drying of sultana grapes. Austral. J. Agric. Research Bd. 8 (1957) Nr. 5, S. 444/59.
- [8] Grncarevic, M.: Effect of various dipping treatments on the drying rate of grapes for raisins. J. Enol. and Viticulture Bd. 14 (1963) Nr. 4, S. 230/34.
- [9] Grncarevic, M., F. Radler u. J.V. Possingham: The dipping effect causing increased drying of grapes demonstrated with an artificial cuticle. J. Enol. and Viticulture Bd. 19 (1968) Nr. 1, S. 27/29.
- [10] Grncarevic, M. u. F. Radler: A review of the surface lipids of grapes and their importance in the drying process. Am. J. Enol. and Viticulture Bd. 22 (1971) Nr. 2, S. 80/86.
- [11] Grncarevic, M. u. J.S. Hawker: Browning of sultana grape berries during drying. J. Sc. Food and Agriculture Bd. 22 (1971) S. 270/72.
- [12] Petrucci, V., N. Canata, H.R. Bolin, G. Fuller u. A.E. Stafford: Use of oleic acid derivatives to accelerate drying of Thompson seedless grapes. J. Am. Oil Chemists Soc. (JAOCS) Bd. 51 (1974) Nr. 3, S. 77/80.
- [13] DIN 1952: Durchflußmessung mit genormten Düsen, Blenden und Venturidüsen (VDI-Durchflußmeßregeln). Berlin, Köln: Beuth-Vertrieb, 1971.
- [14] United States Standards for grades of processed raisins. US Dept. of Agric. Food Safety and Quality Service, Wash. DC, 1976.
- [15] Recommended International Standard for Raisins RS 67. Codex Alimentarius Commission der ECE/WHO, 1974.
- [16] Paulus, K., J. Gutschmidt u. F. Fricker: Karlsruher Bewertungsschema – Entwicklung, Anwendbarkeit, Modifikationen. Lebensmittel- Wissenschaft und Technologie Bd. 2 (1969) S. 132/39.