

Praxiserfahrungen bei der kommerziellen Umsetzung eines neuartigen Solartrocknungskonzepts

Uli Jakob, Ursula Eicker, Fachhochschule Stuttgart - Hochschule für Technik (HfT); Dietrich Schneider, global-suntec GbR

Im Verlauf der Feldtests im Rahmen der Entwicklungshilfeprojekten des Studiengang Bauphysik der Fachhochschule Stuttgart - Hochschule für Technik konnten wertvolle Erfahrungen und Kenntnisse zur kommerziellen Umsetzung der an der HfT Stuttgart in Kooperation mit der global-suntec GbR entwickelten „Solarvent 200“ Prototypen gesammelt werden. Im Zuge der Feldtests wurden 10 Solarvent-Trocknungssysteme in Asien und Afrika intensiv getestet und messtechnisch erfasst. Zwei Projektberichte über den Einsatz des Solartrockners im Norden Thailands sowie in Zentralaas im Rahmen studentischer Entwicklungshilfeprojekte der Fachhochschule Stuttgart - Hochschule für Technik, wurden in der „horizonte“ Nr. 19 [1] und Nr. 22 [3] veröffentlicht. Im Folgenden wird auf die in den Feldtests gewonnenen Praxiserfahrungen und die daraus resultierenden Weiterentwicklungen zum marktfähigen Produkt eingegangen.

Problematik

In den lukrativen Absatzgebieten Europas, der USA aber auch Asiens, entsteht im Zuge eines wachsenden Ernährungs- und Gesundheitsbewusstseins ein seit den 80iger Jahren stetig wachsender Markt für Trockenprodukte. Speziell nachgefragt werden qualitativ hochwertige tropische Trockenprodukte, wie tropische Früchte sowie getrocknete Heil- und Gewürzpflanzen. In den Anbauländern der Tropen, meist Schwellen- oder Entwicklungsländer, ist fossile Energie teuer, steht unregelmäßig zur Verfügung und trägt zu der bekannten CO₂-Problematik bei. Aus diesem Grund wurden an der HfT Stuttgart in Kooperation mit der global-suntec GbR solarthermische Konvektionstrocknungsverfahren entwickelt, die jedoch mit grundsätzlichen Problemen behaftet sind. Beim Entwicklungsansatz für die Solartrocknungsanlage „Solarvent 200“ stand zunächst die Aufgabe im Vordergrund den hohen Energieaufwand für den Trocknungsprozess durch einen möglichst hohen Solaranteil zu decken. In einem idealen Ansatz bedeutet dies einen solaren Deckungs-

grad von 100 %. Wird der Einsatzzweck auf die Trocknung von Gütern beschränkt, die nicht verderblich sind und immer zur Verfügung stehen und den Einsatz auf Gebiete mit hoher solarer Einstrahlung begrenzt, kann dieses Ziel erreicht werden. Die solare Lebensmittel-trocknung, insbesondere die Trocknung von tropischen Früchten wird jedoch von Parametern beeinflusst, die eine solche Vorgehensweise unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten nicht zulassen. Zunächst liegen tropische Produkte in der Regel nicht ganzjährig, sondern saisonal und in der Erntesaison in großen Mengen vor. Im Weiteren muss zumindest bei einigen Produkten davon ausgegangen werden, dass die Erntesaison mit der, in den Tropen oft heftigen und dementsprechend einstrahlungsarmen, Monsun- bzw. Regenzeit zusammenfällt. Weitere Besonderheiten der oben genannten Regionen stellen die unsichere Versorgungslage mit fossilen Brennstoffen und die von Ausfällen geprägte Netzstromversorgung dar. Um einerseits den Betreibern der solaren Trocknungsanlagen eine möglichst kurze Amortisationszeit zu ermöglichen und



Prof. Dr. U. Eicker



Dipl.-Ing. D. Schneider

andererseits eine möglichst hohe Produktionssicherheit garantieren zu können, musste eine Weiterentwicklung des solaren Trocknungskonzepts erfolgen.



Abb. 1: Aufgebauter Solarvent 200 E als reiner Solartrockner mit PV-System. Foto HfT Stuttgart

Ausgangslage

Um einen Einblick in die Ausgangssituation zu gewähren, soll kurz die Funktionsweise des „Solarvent 200“ (Abb.1) erläutert werden.

Unter realen Bedingungen verläuft die Trocknung entlang einer trocken-gutspezifischen Feuchteabgabekurve. Dabei spielen auch bei gleichbleibenden Trockenluftbedingungen (relative Feuchte und Temperatur), Feuchttransportvorgänge im Trocknungsgut und andere Einflüsse vor allem im fortgeschrittenen Trocknungsstadium eine entscheidende Rolle für den Verlauf der Kurve.



Abb. 2: Regler DryControl in der Nachheizvariante. (Foto HfT Stuttgart)

Um sicherzustellen, dass die zu trocknenden Nahrungsmittel mit einer Trocknungsluft mit niedriger relativer Feuchte in Kontakt kommen und somit der Dampfdruck über den Nahrungsmitteln niedrig gehalten werden kann, ist eine möglichst gute Anströmung des Trocknungsguts erstrebenswert. Um dies zu gewährleisten, wird die Außenluft über den Ventilatoreinlauf angesaugt und im horizontalen Luftkollektor erhitzt, durchströmt anschließend von oben nach unten in die Beruhigungskammer und wird von der Seite über die Verteilbleche auf die einzelnen La-



Abb. 3: Trockenananas in Exportqualität aus Tansania. Foto: global-suntec GbR Stuttgart

gen verteilt. Das Trocknungsgut wird von oben und von unten (Lochbleche) angeströmt und die feuchte Luft wird unten aus dem Trockner ausgeblasen. Um Kurzschlüsse zwischen Ansaugung und Ausleitung zu verhindern, ist die Ausblasöffnung mit einem Ableitblech versehen. Die maximale Trocknungstemperatur wird vom Trocknungsgut vorgegeben (Schädigung von Inhaltsstoffen, Verfärbungen usw.).

Regelung des Solarvent 200

Der Hauptinnovation des Solarvent 200 gegenüber den üblichen Trocknern stellt der mit Hilfe eines elektronischen Reglers (DryControl) überwachte Trocknungsverlauf dar (Abb. 2). Um eine gleichbleibende, standardisierte Trocknungsqualität und eine

möglichst kurze Trocknungsdauer zu realisieren, ist bei empfindlichen Trocknungsgütern die Einhaltung folgender Größen erforderlich:

Als wichtigstes Kriterium darf die höchstzulässige Trocknungstemperatur eines Trocknungsguts nicht überschritten werden. So erfolgt z.B. bei der Ananastrocknung mit einem unregelmäßigen Trockner bei Überschreitung von 50°C Trocknungstemperatur eine Schwarzfärbung, sowie eine Geschmacksveränderung der Früchte (Maillard-Reaktion). In diesem Fall ist das Trocknungsgut nicht zu vermarkten.

Um eine möglichst kurze Trocknungsdauer (hohen Durchsatz) bei niedrigem Energieverbrauch zu erzielen, sollte mit niedrigem Luftvolumenstrom gefahren werden. Dabei darf jedoch weder die Trocknungsguttemperatur überschritten noch der zur Feuchteabfuhr erforderliche Volumenstrom unterschritten werden, sonst kommt es zur Fäulnis der Früchte oder bestenfalls zur Verlangsamung des Trocknungsvorgangs. Bei geringer Einstrahlung auf den Kollektor eines Solar Trockners kann ein niedriger Luftvolumenstrom noch auf die für die Ananastrocknung zulässige Trocknungsguttemperatur von 50°C aufgewärmt werden. Sobald bei zunehmender Einstrahlung die Trocknungstemperatur 50°C überschreitet, muß der Luftvolumenstrom angehoben werden, bis die zulässigen 50°C wieder erreicht werden.

Erfahrungen

Aus den in den Feldtests gewonnenen Erfahrungen in Thailand und Laos [2,3] sowie Eritrea, Tansania und den Philippinen können folgende Rückschlüsse gezogen werden:

In technischer Hinsicht erfüllen die Solarvent 200 E Geräte die in sie gesetzten Erwartungen. Bei guten Einstrahlungsverhältnissen sind die Trockner in der Lage qualitativ hochwertigste Trockenprodukte zu erzeugen. Die Trocknungsdauer liegt mit 2-4 Tagen (10-20 Std. effektive Trocknungszeit) für 70 kg Frischgut deutlich unter den Trocknungszeiten vergleichbarer Solar Trocknungssysteme (Abb.3).

Von den Betreibern wurde als positiv empfunden, dass aufgrund der exakten Temperatur- und Feuchterege- lung die Flexibilität hinsichtlich der zu trocknenden Frischwaren gewährt war und somit eine höhere Nutzungsdauer der Trock-

nungsanlagen erzielt werden konnte. Herkömmliche Solar Trocknungssysteme bieten diese Flexibilität nicht oder nur eingeschränkt. Unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten stellt die Erhöhung der Jahresnutzungsdauer durch das Ausweichen auf Nebenprodukte jedoch nur eine Notlösung dar. Für diese Nebenprodukte fehlt in vielen Fällen der Markt und die Preise, die für diese Produkte werden liegen unter denen der Hauptprodukte, d.h. der Gewinn für den Betreiber entspricht nicht dem maximal erzielbaren.

Der Hilfsenergiebedarf für Ventilatoren bzw. Regler (30W) spielte als Betriebskosten in wirtschaftlicher Hinsicht, je nach Bauform (mit PV-System oder mit Netzstromanschluß) keine oder eine zu vernachlässigende Rolle.

Eine weitere wirtschaftliche Größe stellt das Fassungsvermögen des Trockners dar. Die Feldtests zeigten jedoch, dass eine Vergrößerung über das doppelte des jetzigen Fassungsvermögens hinaus, keine Lösung zur Durchsatzerhöhung darstellt. Dies ist auf die hohen Arbeitsanforderung zurückzuführen, die für das Processing der Frischware erforderlich ist. Kleinere Erzeugergemeinschaften, bzw. Produktionsbetriebe sind nicht in der Lage höhere Arbeitsleistungen zu erbringen, um die Produkte für den eigentlichen Trocknungsprozess vorzubereiten.

Ein prinzipielles Problem stellt die Tatsache dar, dass der Erwerb einer solaren Trocknungsanlage für Betreiber in Entwicklungs- und Schwellenländern eine Investition darstellt, die von diesen allein nicht erbracht werden kann.



Abb. 4: Solarvent 200 E Hybrid mit angeschlossener Vor- und Rücklaufleitung. Foto: HfT Stuttgart



Abb. 5: Nachheizmodul des Solarvent 200 E Hybrid. Foto: HfT Stuttgart

Diese Tatsache besteht unabhängig von eventuell zu erzielenden Amortisationszeiten. Ein Betreiber tätigt eine solche Investition, falls er überhaupt Zugang zu Krediten dieser Größenordnung hat, nur bei einem zu vernachlässigenden wirtschaftlichen Risiko (niedrige Zinssätze, garantierte Abnahmepreise und -mengen über einen mehrjährigen Zeitraum). Kostenabschätzungen in Thailand und Uganda haben gezeigt, dass auch eine lokale Fertigung, unter der Voraussetzung, dass die selben Qualitätsansprüche an das Trocknungssystem und die Trockenprodukte gelegt werden, keine merkliche Kostenreduktion bedeuten würde. Sowohl in Afrika als auch in Asien muss davon ausgegangen werden, dass die erforderlichen hochwertigen Materialien nicht oder nur als teure Importware zur Verfügung stehen.

Diese Situation spiegelt sich in der Tatsache wieder, dass die meisten Trocknungsanlagen entweder über Projektfördergelder teilfinanziert wurden oder von kapitalkräftigen ausländischen Investoren mit bestehender Vermarktungs- und Exportinfrastruktur erworben werden. In jedem Fall sollte bei der Weiterentwicklung mögliches Kostenreduktionspotential berücksichtigt werden.

Konsequenzen

Als Konsequenz aus den Beobachtungen im Verlauf der 3jährigen Feldtestphase der „Solarvent 200 und 200 E-Modelle“ müssen in erster Linie wirtschaftliche Aspekte in die Weiterentwicklung des Trocknungssystems einfließen. Die positiven Entwicklungsschritte aus der ersten Phase müssen in der zweiten Entwicklungsstufe jedoch berücksichtigt werden.

In der Vorphase für die 2. Entwicklungsstufe wurden folgende Entwicklungsziele gesteckt:

- Beibehaltung der technischen Spezifikationen, Maße, Beladefähigkeit, Luftführung, Regelstrategie, verwendete Materialien.
Ziel: Produktqualität.
- Möglichst flexible Nachheizeinrichtung und Erweiterung sowie sinnvolle Integration der Regelstrategie um einen Nachheizblock. Besondere Berücksichtigung soll die Nachheizung mit nachwachsenden Rohstoffen finden.
Ziel: Höchstmöglicher Durchsatz in Stoßzeiten, CO₂-neutrale Nachheizung.
- Solare Energieerträge sollen auch während des Nachheizmodus genutzt werden und den Nachheizenergiebedarf senken.
Ziel: möglichst niedrige Betriebskosten.
- Wahlweise Umschaltung auf rein solare Betriebsweise mit PV-System und Pufferbatterie.
Ziel: Produktionssicherheit bei Stromausfall und Brennstoffmangel für die Nachheizung sowie niedrige Betriebskosten in produktionschwachen Phasen.
- Suche nach Einsparmöglichkeiten in der Produktion sowie bei der Materialwahl.
Ziel: Senkung der Investitionskosten

Umsetzung

Unter den obengenannten Vorgaben wurde in einer einjährigen Entwicklungs- und Testphase (2003 - 2004) das Hybridtrocknungssystem „Solarvent 200 E Hybrid“ gebaut (Abb.4). Im „Solarvent 200 Hybrid“ konnten sämtliche Entwicklungsziele die in der Vorentwicklungsphase gesteckt wurden er-

reicht werden. Der ursprüngliche Aufbau des „Solarvent 200 E“ wurde beibehalten und durch einen Luft-Wasser Wärmetauscher ergänzt. Der Wärmetauscher wird an Stelle des ursprünglichen Beimischventilators eingebaut und führt im Nachheizmodus der Mischkammer über einen nun dem Heizregister vorgeschalteten Ventilator solange Wärme zu, bis die am Regler eingestellte maximale Trocknungslufttemperatur erreicht ist. Über ein Mischventil wird der Vorlauf des Nachheizregisters so geregelt, dass bei Solarertrag über den Kollektor das Register nur die Energiemenge zuführen muss, die benötigt wird um die geforderte Temperatur zu erreichen (Abb.5).

Ein wassergeführtes Nachheizsystem wurde aus mehreren Gründen gewählt. Zum einen sind fast alle auf dem Markt verfügbaren Wärmeerzeuger wassergeführt zum anderen bietet ein wassergeführtes System bessere, wenn auch nicht optimale, Speichermöglichkeiten als luftgeführte Systeme. Diese Tatsache kommt vor allem beim Einsatz regenerativer Nachheizsysteme, wie thermische Warmwassersolaranlagen und Biomasseanlagen zum Tragen (Abb.5).

Im reinen Solarbetrieb erfüllt der Nachheizventilator wieder seine Beimischfunktion und das Nachheizregister wird nicht durchströmt. Ventilatoren und Regler sind weiterhin auf 12V Gleichstrom ausgelegt und können aus der PV-gespeisten Pufferbatterie versorgt werden.

Auf der regelungstechnischen Seite konnte der Nachheizmodus ohne Hardwareänderung umgesetzt werden. Bei einer Einstellung des Temperaturwahlpotentiometers auf Anschlag springt die Software in den Nachheizmodus und übernimmt die Regelung von Trocknungslufttemperatur und Feuchte.

Seit der Markteinführung des „Solarvent 200 E Hybrid“ im Frühling 2004 wurde dieser Typ zunehmend nachgefragt und ist vornehmlich im gewerblichen Bereich in Asien und Afrika im Einsatz.

Ausblick

Um einerseits die Wirtschaftlichkeit für die Betreiber zu gewährleisten und andererseits den Bedarf an fossilen Energieträgern zur Nachheizung weiter zu senken bemühen sich die HfT Stuttgart und global-suntec GbR um weitere FuE-Projekte.

So soll im Rahmen weiterer FuE-Vorhaben an der HfT Stuttgart, in Kooperation mit global suntec GbR eine Konvektionstrocknungsanlage in Kombination mit Lufttrocknung durch solarthermisch regenerierte Flüssigabsorptionsmittel entwickelt werden. Ziel ist eine schonende Trocknung temperaturempfindlicher Trocknungsgüter und eine Verkürzung der Trocknungsdauer. Im Verlauf der Vorhaben sollen zudem Untersuchungen zur Speichertechnik, Systemtechnik, Regelungsstrategie, Verfahren zur Vermeidung von Aerosoleintrag in die Trocknungskammer, Materialwahl für die Komponenten und Eigenschaften der unterschiedlichen Flüssigabsorbentien durchgeführt werden. Es wird erwartet, dass zum Abschluss der FuE-Projekte ein innovatives Trocknungsverfahren dargestellt werden kann, bei dem Solarenergie mit höchstmöglicher Speicherdichte und ohne Speicherverluste dem Trocknungsprozess zugeführt wird und somit die Trocknungsphase vom solaren Energieangebot entkoppelt werden kann. Durch dieses neuartige Verfahren wird

der Primärenergieeinsatz für Trocknungsverfahren auf ein Minimum beschränkt und erzielt somit die oben beschriebenen ökonomisch und ökologisch positiven Effekte. Dieses Trocknungsverfahren kann mit denselben positiven Effekten auf Trocknungsprozesse in Deutschland, beispielsweise zur Trocknung von Biomasse oder Klärschlamm aber auch auf industrielle Trocknungsanwendungen übertragen werden.

Literatur

- [1] SCHNEIDER, D. und MÄNDLE, G. (2001). „Ein Solartrockner für Chatrakan – Bauphysikstudenten leisten technische Entwicklungshilfe im Norden Thailands“. *horizonte*. Nr.19 (Dezember), Seite 53. ISSN 1432-9174.
- [2] JAKOB, U. und BIESINGER, A. und PÄSSLER, T. und EICKER, U. und SCHNEIDER, D. (2002). „Neuartige solare Trocknung von Früchten und Gewürzen“. *Sonne, Wind & Wärme*. 26. Jahrgang, Nr. 9 (September), Sei-

te 36-39. ISSN 0944-8772.

- [3] JAKOB, U. und EICKER, U. und SCHNEIDER, D. und PÄSSLER, T. und BIESINGER, A. (2003). „Entwicklung eines neuartigen Solartrockners“. *horizonte*. Nr. 22 (Juli). Seite 44-47. ISSN 1432-9174.

Kontakt

Prof. Dr. Ursula Eicker, Fachhochschule Stuttgart - Hochschule für Technik, Fachbereich Bauingenieurwesen, Bauphysik und Wirtschaft, Studiengang Bauphysik, Schellingstrasse 24, 70174 Stuttgart, Tel. 0711/121-2831, Fax. 0711/121-2698, e-mail: ursula.eicker@hft-stuttgart.de

Dipl.Ing.(FH) Uli Jakob, e-mail: uli.jakob@hft-stuttgart.de

Dipl.-Ing. Dietrich Schneider, global-suntec GbR, Am Pfaffenwaldring 10A, 70569 Stuttgart, Tel. 0711/685-8254, e-mail: contact@global-suntec.com

Das Esslinger Diesel-Motorrad EDIMO fährt, und wie!

(Pressestelle FH Esslingen - HfT) Dass der moderne Dieselmotor auch im Motorrad Fahrspaß mit Ökologie verbinden kann, wird mit dem Esslinger Diesel-Motorrad (EDIMO) bewiesen. Denn gerade bei Freizeitaktivitäten sollte der Einzelne seiner Verantwortung gegenüber Umwelt und Gesellschaft gerecht werden. Bei dem an der Fachhochschule Esslingen - Hochschule für Technik durchgeführten Projekt geht es aber auch um die Ausbildung junger Ingenieure. Bei allen Details wird daher auf die Umsetzbarkeit im engen Termin- und Kostenrahmen geachtet. Die Innovation liegt im Objekt selbst: eine bis dahin unbekannte Kombination eines modernen Dieselmotors mit einem speziell dafür entworfenen Zweirad.

Unter der Leitung von Prof. Schellmann wurden an diesem Verbundprojekt in 4 Jahren 150 Studenten in 40 Gruppen ausgebildet. Voraussetzung für ein brauchbares Ergebnis war eine klare Aufgabendefinition, die Bereitstellung der notwendigen Hilfsmittel, z.B. computergestützter Entwicklungswerkzeuge und eine Arbeitsweise nach industriellem Vorbild: Zielformulierung, Lastenheft, Projektplan, Zeichnungs- und Stücklistenwesen, Zentralrechner, Kommunikationsmittel usw.

Dank dieses praxisnahen Vorgehens konnte die Zuwendung verschiedener Institutionen und Firmen gewonnen werden: Die Anschubfinanzierung wurde über das Modell Theoprax aus BMBF-Mitteln gewährt. Die Firmen Behr, DaimlerChrysler, Eberspächer und Magura leisteten erhebliche Beiträge. Weitere Mittel steuerten die FHTE, die Fachbereiche Fahrzeugtechnik und Maschinenbau und das Labor Verbrennungsmotoren und weitere Labors der FHTE bei. Der Wert des so entstandenen Prototyps beträgt etwa 300.000 Euro.

Inzwischen sind Konstruktion und Aufbau des Prototyps abgeschlossen,



Das Dieselmotorrad und Studierende der FH Esslingen

eine Straßenzulassung wurde erreicht und erste Versuchsergebnisse liegen vor. Das Fahrzeug wurde auf der größten Zweiradmesse der Welt, der INTERMOT in München im September 2004 und auf der Hannover Messe Industrie 2005 der Fachwelt vorgestellt.

Zwischenbilanz: Mit dem von einem smart cdi-Motor angetriebenen Motorrad wird bei günstigem Kraftstoffverbrauch ein ausgeprägtes Fahrvergnügen erreicht, obwohl sich infolge der handwerklichen Herstellung ein relativ hohes Gewicht nicht vermeiden ließ. In den nächsten Teilprojekten werden nach Anpassung eines Dieselpartikelfilters die spezifischen Eigenschaften eines Dieselmotorrads herausgearbeitet: Umweltverträglichkeit, Wirtschaftlichkeit, Fahrleistungen und Gebrauchsverhalten im Vergleich zu üblichen Motorrädern.

Die wichtigsten technischen Daten:

Radstand: 1510 mm, Leergewicht: 279 kg, Kraftstoffverbrauch (Landstraße): 3,2 l/100 km; Motor: smart cdi-Motor, 3-Zyl., 800 cm³; Abgasturboaufladung und Ladeluftkühler; Leistung 30 kW, Drehmoment 100 Nm; 5-Gang-Getriebe, Trockenkupplung

Weitere Infos: Prof. Dipl.-Ing. Klaus Schellmann, Tel. 0711/397-3321, e-mail: Klaus.Schellmann@fht-esslingen.de