

Entwicklung einer Konvektionstrocknungsanlage mit Lufttrocknung durch solarthermisch regenerierte Flüssigsorptionsmittel

T. Päßler, U. Eicker

Forschungszentrum nachhaltige Energietechnik zafh.net, Hochschule für Technik
Stuttgart

Schellingstrasse 24, D-70174 Stuttgart, Germany

www.hft-stuttgart.de

ursula.eicker@hft-stuttgart.de

tina.paessler@hft-stuttgart.de

Einleitung

In lukrativen Absatzgebieten wie Europa, den USA aber auch in Asien, entsteht im Zuge eines wachsenden Ernährungs- und Gesundheitsbewusstseins ein stetig wachsender Markt für Trockenprodukte. Speziell nachgefragt werden qualitativ hochwertige tropische Trockenfrüchte sowie getrocknete Arznei- 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.

Auf Grund der Energiekosten bzw. der Energieverfügbarkeit wurden zur Herstellung solcher Trockenprodukte solarthermische Konvektionstrocknungsverfahren bzw. solare Warmlufttrocknungsanlagen entwickelt, die jedoch mit grundsätzlichen Problemen behaftet sind. Durch die unvorteilhaften äußeren Bedingungen, wie hoher Umgebungsluftfeuchte und –temperatur ist es unter tropischen Verhältnissen besonders schwierig, eine für die Trocknungsgeschwindigkeit ausschlaggebende hohe Dampfdruckdifferenz zwischen Trocknungsgut und Trocknungsluft zu erzeugen. Weiterhin spricht gegen eine effektive Trocknung in den Tropen die Tatsache, dass für viele tropische Trocknungsgüter die Erntezeit nicht mit der strahlungsreichen und strahlungskonstanten Trockenzeit übereinstimmt. Ebenso ist bei ungepufferten Systemen bzw. Systemen ohne Nachheizung eine Trocknung bei Nacht nicht möglich. Während der relativ kurzen Ernteperiode fallen große Mengen an Erntegut an, die aus ökonomischen Überlegungen schnellstmöglich getrocknet werden müssen. Gegen eine Erhöhung der Trocknungslufttemperatur zur Beschleunigung des Trocknungsvorgangs sprechen in der Regel Schädigungen hinsichtlich der inneren und äußeren Qualität (z. B. Inhaltsstoffe und Farbe) der sensiblen Trocknungsgüter.

Ziel des Forschungsvorhabens

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens wird an der Hochschule für Technik - Stuttgart eine Konvektionstrocknungsanlage mit solarthermisch regeneriertem Flüssigsorptionsmittel zur Trocknung temperaturempfindlicher Trocknungsgüter und zur Verkürzung der Trocknungsdauer entwickelt. Durch die Kombination von Trocknungseinrichtungen mit einer solar regenerierten Flüssigsorptionseinheit, die es ermöglicht Außenluft gleichzeitig zu trocknen und zu erwärmen, werden innovative Lösungen für die Probleme solarer Trocknungsanlagen erzielt. Beispielsweise kann zum einen durch eine sorptive Zulufttrocknung im Gegensatz zu den Standardverfahren die Trocknungsdauer deutlich reduziert werden. Zum anderen kann durch die solarthermische Regeneration von flüssigen Sorptionsmitteln eine verlustfreie, regenerative Energiespeicherung mit extrem hoher Speicherdichte erzielt werden. Abb. 1 zeigt eine Systemskizze der geplanten Konvektionstrocknungsanlage in Kombination mit einer Flüssigsorptionseinheit.

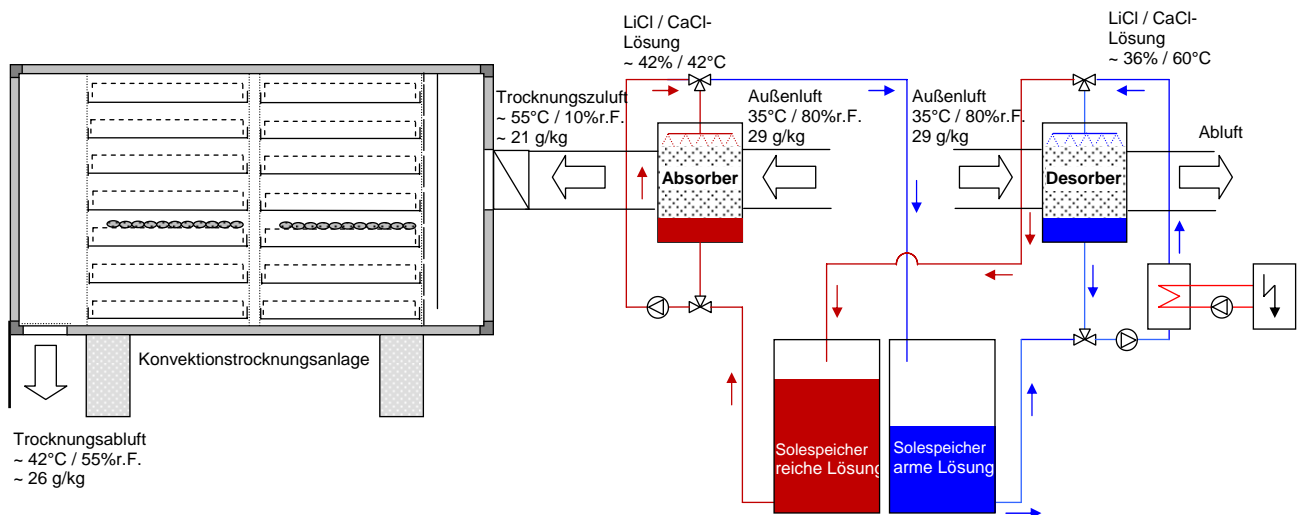


Abb. 1: Systemskizze solare Flüssigsorptionstrocknungsanlage

Solare Konvektionstrocknungsanlage

Aus Gründen der mangelnden Qualität von Trockenprodukten und deren geringen Exportmöglichkeit wurden bereits in den 70er Jahren solare Warmlufttrocknungsanlagen unterschiedlichster Bauform entwickelt, die zur Erzeugung qualitativ hochwertiger Trockenprodukte sowohl in den gemäßigten Zonen als auch in den Tropen eingesetzt wurden. Bei dem Konvektionstrocknungsverfahren wird dabei die für die Verdampfung erforderliche Wärme durch heiße Luft oder andere Gase an das Gut überführt. Solare Trocknungssysteme stellen eine Sonderform der Konvektionstrocknung dar und erzeugen die für den Trocknungsprozess erforderliche Energie in unterschiedlichen technischen Lösungen mit Hilfe solarthermischer Kollektoren.

In Zusammenarbeit mit dem gewerblichen Partner global suntec wurde im Rahmen des Forschungsvorhabens eine Konvektionstrocknungsanlage konzipiert, die sowohl in Kombination mit einer Flüssigsorptionsanlage betrieben werden kann als auch als reiner solarer Konvektionstrockner eingesetzt werden kann. Die Anlage wurde in Kastenbauform als Hordentrockner mit integriertem Kollektor entwickelt.

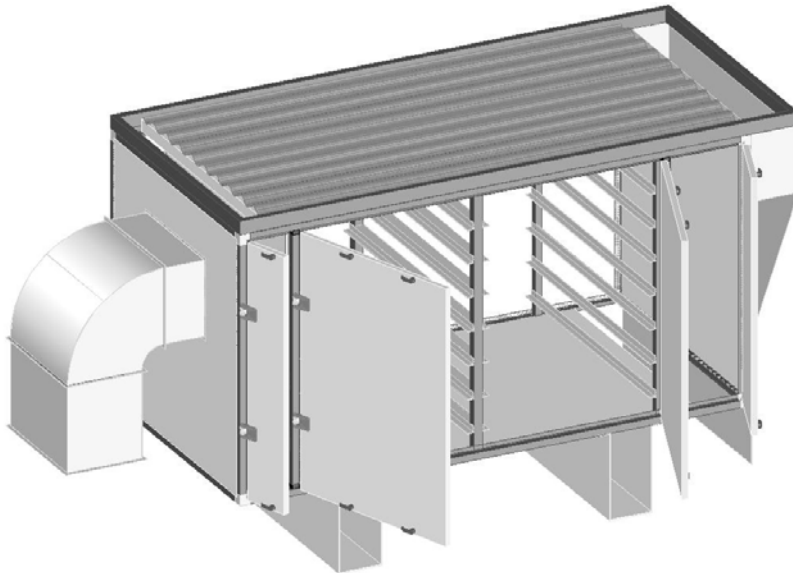


Abb. 2: Konstruktionszeichnung Konvektionstrocknungsanlage

Das in Abb. 2 dargestellte entwickelte Trocknungssystem besitzt eine Gesamtlänge von ca. 2,70 m und eine Höhe bzw. Breite von ca. 1,30 m. Um die Wärmeverluste an die Umgebung möglichst gering zu halten besteht das Gehäuse der Trocknungsanlage aus 25 mm dicken PU-Aluminiumsandwichelementen. Sie verfügt über eine Gesamtladekapazität von ca. 70 kg und eine Gesamttrocknungsfläche von ca. 13 m².

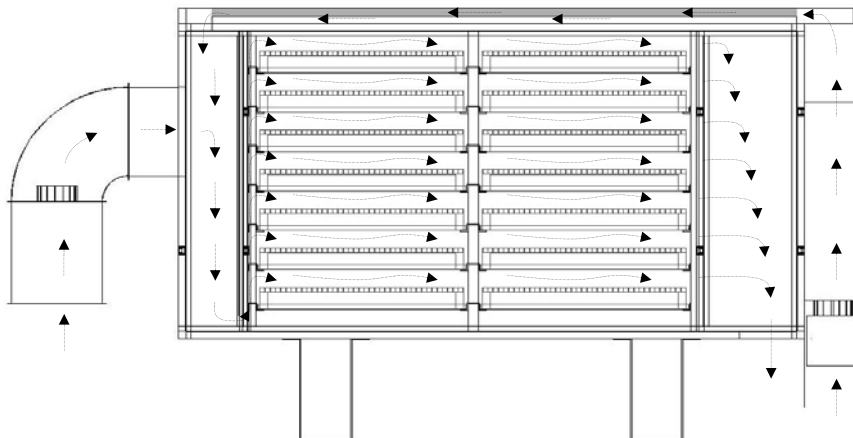


Abb. 3: Luftführung Konvektionstrocknungsanlage

Im Vergleich zu herkömmlichen Hordentrocknern bietet die in Abb. 3 dargestellte Art der Luftführung den Vorteil, dass der Trocknungsluftvolumenstrom parallel über die einzelnen Trocknungsgitter und somit nicht über die gesamte Trocknungsfläche ge-

führt wird. Bei herkömmlichen Hordentrocknungsanlagen besteht die Gefahr, dass sich die Trocknungsluft noch während des Überströmens vollständig mit Wasserdampf aus dem zu trocknenden Gut belädt und sich bereits in der Trocknungskammer ein Gleichgewichtszustand zwischen dem Trocknungsgut und der Trocknungsluft einstellt, was zu einem ungleichmäßigen Trocknungsergebnis sowie zu einer längeren Trocknungsdauer führen kann.

Trocknungsprozess unter tropischen Verhältnissen

Durch die Kombination einer Konvektionstrocknungsanlage mit einer solar regenerierten Flüssigsorptionseinheit ergeben sich für den Sorptions- und Trocknungsprozess die in Abb. 4 dargestellten Zustandsänderungen der Prozessluft.

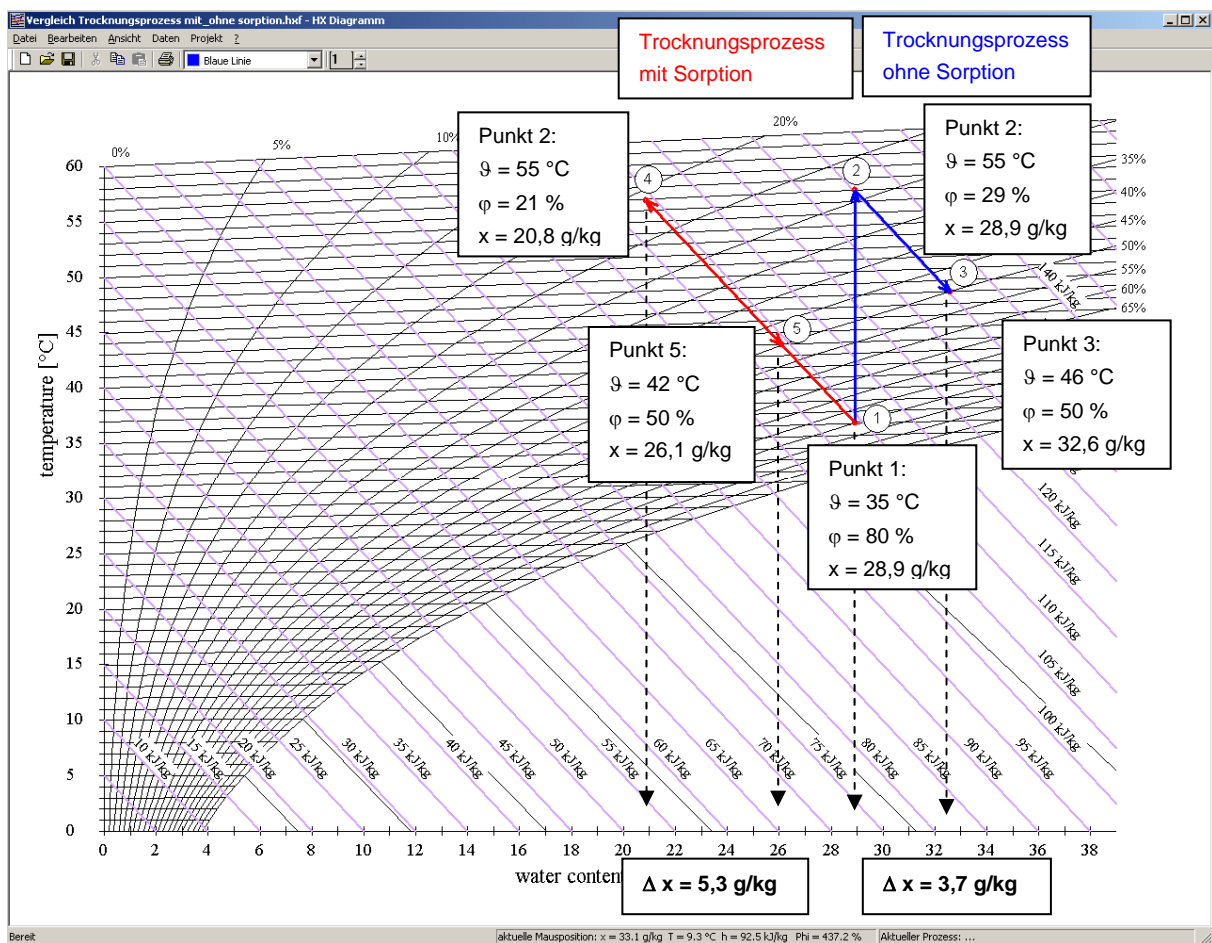


Abb. 4: Trocknungsprozess unter tropischen Außenluftbedingungen mit und ohne sorptive Luftentfeuchtung

Ausgehend von einem isenthalpen Ablauf des Absorptionsprozesses wird dabei die Prozessluft bei einem Entfeuchtungspotenzial der Sorptionseinheit von ca. 8 g/kg auf 55 °C erwärmt und der absolute Feuchtegehalt auf 21 g/kg reduziert.

Aus den im hx Diagramm dargestellten Trocknungsprozessen wird deutlich, dass im Fall eines Trocknungsprozesses ohne vorherige Luftentfeuchtung die Trocknungsluft ca. 30 % weniger Wasser aus der Trocknungsluft aufnehmen kann, als

bei dem Einsatz einer Flüssigsorptionseinheit. Durch die Kombination einer Konvektionstrocknungsanlage mit einer Flüssigsorptionseinheit lässt sich folglich die Trocknungsdauer um signifikante 30 % senken.

Messtechnische Untersuchung des Sorptionsverhaltens

Im Rahmen dieses Vorhabens wurde ein Prüfstand zur Analyse des Absorptions- und Desorptionsverhaltens verschiedener Trägermaterialien und Flüssigsorbentien aufgebaut. Der Stoffaustauschapparat, der sowohl als Absorptionseinheit als auch als Regenerator untersucht wird, wurde als Kreuzstromapparat ausgeführt. Als Trägermaterialien werden zum einen eine Rieselmatrix auf Zellulosebasis sowie zwei verschiedene Füllkörperschüttungen aus Keramik und Kunststoff untersucht. Die Prozessluft wird dabei horizontal durch den Stoffaustauschapparat, der von oben mit einer Salzlösung berieselt wird, geführt. Die Berieselung der Füllkörperschüttung bzw. der Rieselmatrix mit der Salzlösung erfolgt über ein quadratisches Verteilsystem im oberen Teil der Sorptionseinheit. Diese besitzt symmetrisch angeordnete Austrittsöffnungen mit einem Innendurchmesser von ca. 1 mm und einem Abstand von 2 cm. Der Aufbau des Sorptionsprüfstands kann Abb. 5 entnommen werden.

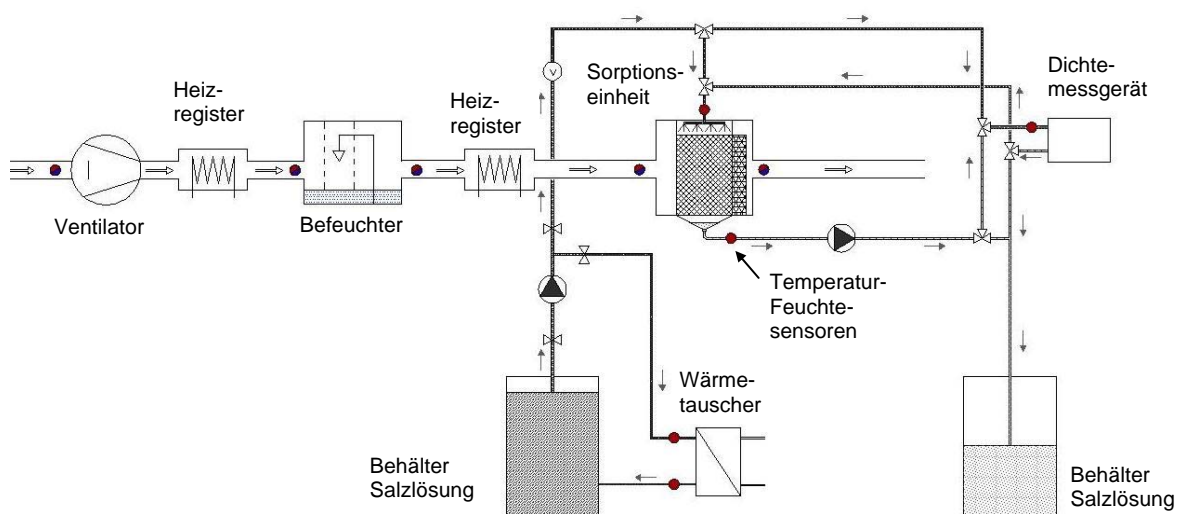


Abb. 5: Prüfstandsaufbau der Sorptionseinheit

Zur Analyse des Sorptionspotenzials des Stoffaustauschapparats werden in der momentanen Projektphase mehrere Messreihen mit unterschiedlichen Berieselungsdichten der Salzlösung und Anströmgeschwindigkeiten der Prozessluft durchgeführt. Abb. 6 zeigt die bisherigen Untersuchungsergebnisse des Desorptionspotenzials einer mit Lithiumchloridlösung berieselten Matrix aus Zellulose. Die Anströmgeschwindigkeit der Prozessluft (30 °C / 65 % rel. F.) betrug bei den durchgeführten Messrei-

hen 0,65 m/s und die Berieselungsdichte der 36%igen Lithiumchloridlösung $4\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$. Dem Diagramm ist zu entnehmen, dass bei den bisher durchgeführten Messreihen im Regenerationsbetrieb durch eine Erhöhung der Lösungstemperatur die Auffeuchtungsbreite der Regenerationsluft auf bis zu 13 g/kg gesteigert werden kann. Dies lässt sich auf die höhere Partialdruckdifferenz im Stoffaustauschapparat zurückführen.

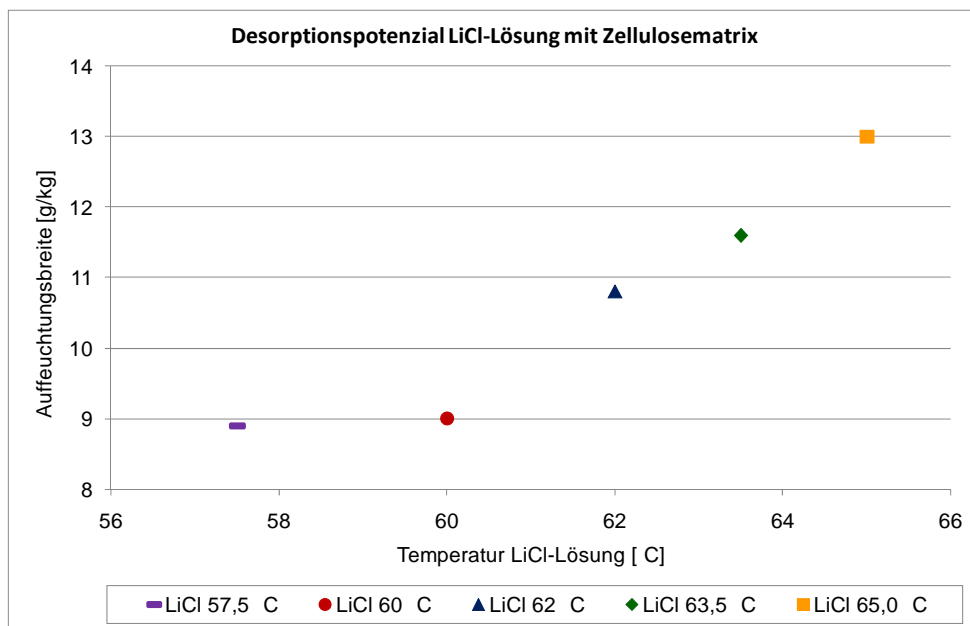


Abb. 6: Messergebnisse im Regenerationsbetriebs der Sorptionseinheit

In weiteren Messreihen sollen die bereits beschriebenen Füllkörperschüttungen sowie der Einsatz einer Calciumchloridlösung hinsichtlich ihres Sorptionspotenzials untersucht werden. Nach Abschluss dieser Untersuchungen soll die Wahl eines geeigneten Sorbens und Materials erfolgen. Nach Ermittlung der notwendigen Stoffübertragungsflächen der Absorptions- und Regenerationseinheit für den kombinierten Betrieb mit der bereits konzipierten Konvektionstrocknungsanlage sollen weitere messtechnische Untersuchungen am Gesamtsystem erfolgen, sowie Untersuchungen zur Speichertechnik, Systemtechnik und Regelungsstrategie durchgeführt werden. Es wird erwartet, dass zum Abschluss des Projekts ein innovatives Trocknungsverfahren dargestellt werden kann, bei dem Solarenergie mit höchstmöglicher Dichte gespeichert und dem Trocknungsprozess zugeführt wird und somit die Trocknungsphase vom solaren Energieangebot entkoppelt werden kann. Durch die Kombination der bereits beschriebenen Konvektionstrocknungsanlage mit einer solar regenerierten Flüssigsorptionseinheit, die es ermöglicht Außenluft gleichzeitig zu trocknen und zu erwärmen, wird der Primärenergieeinsatz für Trocknungsverfahren auf ein Minimum beschränkt und es können die bereits beschriebenen ökonomisch und ökologisch positiven Effekte erzielt werden.