

Erfahrungen mit einem offenen Sorptionskreislauf zur Trocknung von Prozessluft in Kombination mit einer Drain-Back-Solaranlage

U. Jordan, Y. Louvet, M. Jaradat, J. Addy, D. Fleig, K. Vajen
Universität Kassel, Institut für Thermische Energietechnik
Mönchebergstr. 19, 34125 Kassel
Tel.: 0561 – 804 3890; Fax: 0561 – 804 3993
solar@uni-kassel.de
www.solar.uni-kassel.de

1. Einleitung

Eine Drain-Back-Solaranlage mit einer Aperturfläche von ca. 127 m² wurde zur Wärmeversorgung in der Staatsdomäne Frankenhausen errichtet. Die Staatsdomäne ist ein landwirtschaftlicher Lehr- und Versuchsbetrieb der Universität Kassel. Vor einigen Jahren wurde die Energieversorgung des Anwesens von elektrischer Trinkwassererwärmung und einer Ölheizung auf Holzvergaser und thermische Solaranlage umgestellt. Das Wirtschafts- und Seminargebäude hat einen Energieverbrauch von ca. 150 MWh/a. Die Drain-Back-Solaranlage versorgt neben den Gebäuden zudem vollständig eine neu errichtete Heutrocknungsanlage mit 20 Heuballen-Trocknungsplätzen. Ein zusätzlicher Trocknungsplatz wurde mit einem Sorptionssystem verbunden, um die Trocknung auf einem niedrigeren Temperaturniveau mit vorgetrockneter Luft zu realisieren.

Das offene Sorptionssystem wurde an der Universität Kassel entwickelt, vermessen und als Demonstrationsanlage getestet. Es ist für den Einsatz von Lufttrocknungsanwendungen in der Landwirtschaft, in der Industrie oder zur Raumluftklimatisierung konzipiert. Neu konstruierte Komponenten wurden sowohl in einer Labor-Testumgebung als auch im Feldtest an der Heutrocknungsanlage vermessen. Die Regeneration der Salzlösung erfolgt mit der Drain-Back-Solaranlage, die ebenfalls messtechnisch überwacht wird.

2. Anwendung: Heuballentrocknung

Der Trocknungsbedarf ist auch in Deutschland insbesondere in der Landwirtschaft hoch. Einige Daten zum Trocknungsbedarf in Deutschland sind in Abb. 1 zusammengestellt. Allein für die Getreidetrocknung beträgt der Primärenergiebedarf ca. 3400 GWh/a, der in der Praxis häufig sehr ineffizient mit veralteten Ölkesseln bereitgestellt wird.

	Getreide	Klärschlamm	Holz	Gewürz- und Heilpflanzen	Hopfen
Aufkommen	35,1 Mio t _{TS} / a	2,26 Mio t _{TS} / a	11,5 Mio t _{TS} / a	11 000 t _{TS} / a	5300 t _{TS} / a
Anteil trocknungsbedürftiges Aufkommen	55%	15%	40..70 %	66%	100%
Primär-energiebedarf	3 400 GWh/a	224 GWh/a	165 GWh/a	85 GWh/a	38 GWh/a
Anz. Betriebe	245 000	10 000	2550	600	1550

Abb. 1: Trocknungsbedarf in Deutschland (verschiedene Quellen, zusammengestellt in [1].

Viele landwirtschaftliche Produkte sind in hohem Maße abhängig von der Trocknung zur Konservierung. Frische Produkte, die bei der Ernte einen Feuchtegehalt von über 80% aufweisen, müssen bis zu einem Feuchtegehalt von unter 15% getrocknet werden. Während viele Produkte bei hohen Temperaturen getrocknet werden können, müssen für andere normalerweise niedrigere Temperaturen verwendet werden, damit die Qualität nicht beeinträchtigt wird. Dies trifft auf viele Arznei- und Gewürzpflanzen zu, deren Wert in den wirksamen Inhaltsstoffen liegt, welche unterschiedlich stark thermolabil sind.

Die Produktion von Heu erfolgt üblicherweise während mehrerer Tage auf dem Boden mit Hilfe der Sonne und des Windes, wodurch dieser Prozess aufgrund der Abhängigkeit von den Wetterbedingungen ein großes Risiko birgt. Dies führt zu sehr unterschiedlicher Qualität des Endprodukts. Um eine gewisse Unabhängigkeit vom Wetter und ein konstant qualitativ hochwertiges Produkt zu erhalten, ist die Unterdachtrocknung der Bodentrocknung vorzuziehen. Erstere findet im Anschluss an eine verkürzte Trocknungszeit auf dem Feld statt.

Sowohl Heu als auch viele Arzneipflanzen werden mehrfach während der Vegetationsperiode geerntet. Durch die Verlängerung der Vegetationsperiode ist es unter Umständen möglich, Ertragssteigerungen zu erreichen, wodurch sich jedoch gleichzeitig der Trocknungsbedarf erhöht.

In der Heutrocknungsanlage in der Staatsdomäne Frankenhausen soll im Zeitraum von Mai bis Ende September insgesamt ca. 300 Heuballen getrocknet werden. Der Wärmebedarf dafür beträgt ca. 29 MWh/a. Die Gesamtanlage besteht aus einem Kollektorfeld, zwei Warmwasserspeichern, einem Rundballentrockner sowie einer Sorptionsanlage, in der Luft für einen zusätzlichen Heutrocknungsplatz konditioniert werden kann (siehe Abb. 2).

Ziele der Untersuchungen zur Luft-Vortrocknung mit einer Absorptionsanlage sind, niedrige Trocknungstemperaturen mit sehr geringer Luftfeuchtigkeit bereit zu stellen und somit geringere Qualitätsverluste durch eine zu starke Erwärmung zu erzielen und gleichzeitig eine gleichmäßige Durchströmung der Heuballen zu erreichen.



Abb. 2a: Kollektorfeld, Aperturfläche ca. 127 m².



Abb. 2b: Zwei Warmwasserspeicher (Fa. Fsave Solartechnik GmbH) in Übersee-Containern, V_{ges} ca. 42 m³.



Abb. 2c: Rundballentrockner der Fa. LASCO Heu Technik GmbH mit 20 Trocknungsplätzen.



Abb. 2d: Sorptionsanlage mit Einzel-Heuballentrocknungsplatz im Vordergrund.

3. Drain-Back Solaranlage

3.1. Anlagenhydraulik

Die thermische Solaranlage besteht aus einem Kollektorfeld mit einer Aperturfläche von ca. 127 m² und zwei mit Wasser gefüllten Speicherbehältern mit einem Gesamtvolumen von ca. 42 m³. Das Kollektorfeld besteht aus 10 Kollektorelementen (Solar Roof, Fa. Wagner & Co. Solartechnik), die nach Tichelmann parallel verschaltet sind. Bei den Speichern handelt es sich um offene Polypropylen (PP)-Behälter, die in Übersee-Containern installiert sind. Ein Hydraulikschema der Anlage ist in Abbildung 3 dargestellt.

Die Solaranlage wird im „drain-back“ betrieben, d.h. dass sich das Kollektorfeld entleert, wenn die Anlage nicht in Betrieb ist. Die Anlage wird drucklos betrieben. Anstelle eines Wasser-Frostschutzmittel-Gemisches wird reines Wasser als Kollektorfluid verwendet. Zu Zeiten, in denen der Kollektor nicht in Betrieb ist, strömt das Wasser direkt zurück in den Speicher. Der sonst übliche Wärmeübertrager zwischen Kollektorfluid und Speicher entfällt. Diese Betriebsweise hat gegenüber der

Anhand von 50 Befüllvorgängen wurde eine durchschnittliche Befüllzeit der Anlage von ca. 152 s ermittelt. Die Messergebnisse sind in Abb. 5a dargestellt. Das Zeitintervall für die Datenerfassung betrug 10 s. Eine eindeutige Korrelation der Befüllzeit zu anderen Parametern konnte bisher nicht gefunden werden. Eine systematische Untersuchung von Befüllvorgängen an einem Labor-Prüfstand ist in [2] dargestellt.

b) Entleerung

Die durchschnittliche Entleerzeit von 50 Entleervorgängen betrug knapp 10 min (ca. 570 s), siehe Abb. 5b.

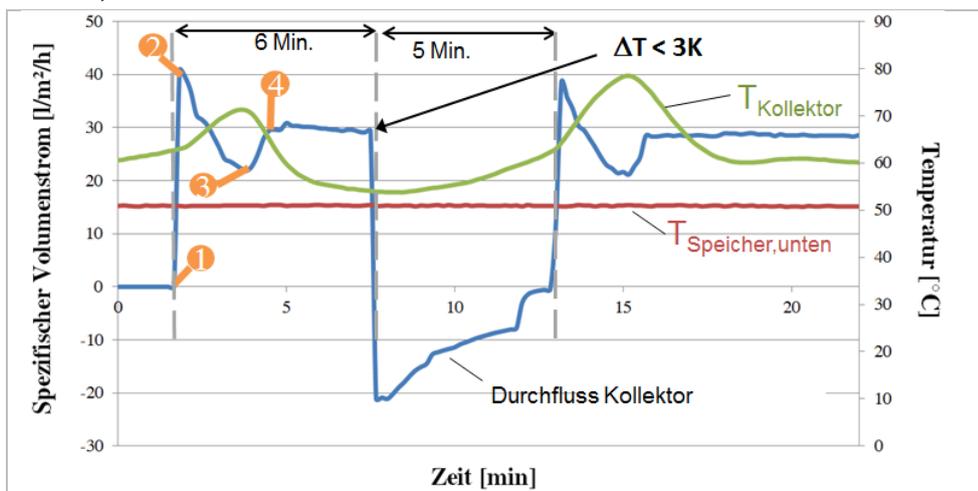


Abb. 4: Befüllvorgang: (1) Pumpenstart, (2) V_{max} , (3) max. Höhe erreicht, (4) Vorlauf komplett befüllt.

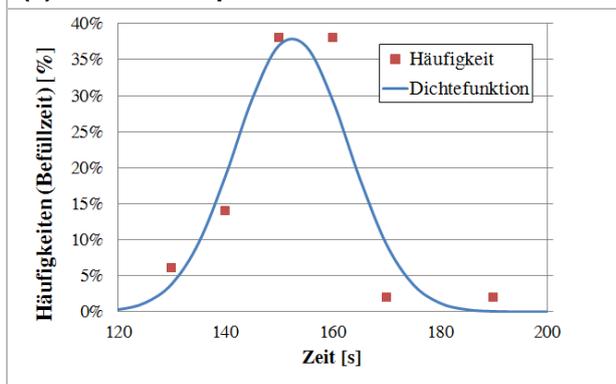


Abb. 5a: Häufigkeiten der Anlagen-Befüllzeit für 50 Befüllvorgänge.

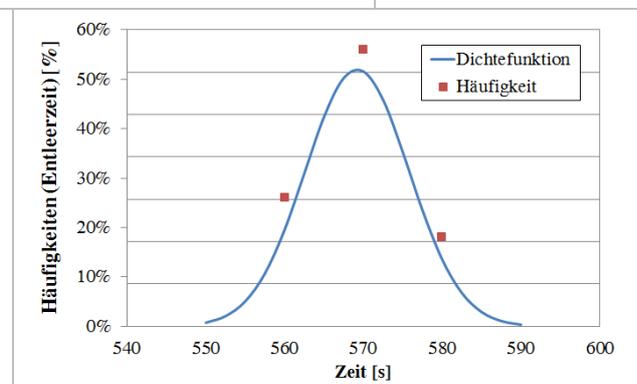


Abb. 5b: Häufigkeiten der Anlagen-Entleerzeit für 50 Entleerungsvorgänge.

c) Hysterese der Pumpe

Um ein unnötiges Takten der Pumpe zu vermeiden, wurde nach Auswertung der ersten Monitoring-Ergebnisse die Mindestpumplaufzeit erhöht. Aufgrund der niedrigeren Wärmekapazität der unbefüllten im Vergleich zu befüllten Kollektoren, heizt sich das Kollektorfeld schneller auf. Zugleich wird die Abschalt-Temperaturdifferenz bei Durchströmung des zunächst kalten Speicherwassers durch die aufgeheizten Kollektoren früher erreicht. Das führte in der untersuchten Anlage zunächst zu sehr hohen Taktungsraten. Trotz des anfangs ungünstigen

Betriebsverhaltens betrug die durchschnittliche Pumpenleistung ca. 285 W (η ca. 35%).

Das Maximum der Pumpleistung betrug in dem in Abb. 4 dargestellten Zeitraum in Punkt (1) ca. 365 W, das Minimum in Punkt (3) ca. 255 W.

d) Betriebsverhalten und Ertrag

In der ersten Monitoring-Periode von August 2014 bis Februar 2015 wurde eine mittlere Kollektortemperatur von ca. 64°C ermittelt.

In Abb. 6 sind beispielhaft gemessene und mit einem TRNSYS-Modell berechnete Werte von Temperaturen, Solarstrahlung und Kollektorleistungen für einen schönen Sommertag dargestellt. Die mittlere Abweichung zwischen gemessener und berechneter Kollektorleistung beträgt für diesen Tag ca. 13 W. Das entspricht einer Abweichung des Solarertrags von 0,2%.

Aufgrund eines inzwischen behobenen Regelungsfehlers schaltet die Pumpe ab ca. 19 Uhr nicht rechtzeitig ab, der Speicher wird entladen.

Mithilfe von TRNSYS-Simulationen konnte für die Anlage mit korrigiertem Regelalgorithmus eine Anlagen-Arbeitszahl $AZ=Q_{Koll}/P_{Pump}$ von 145 ermittelt werden.

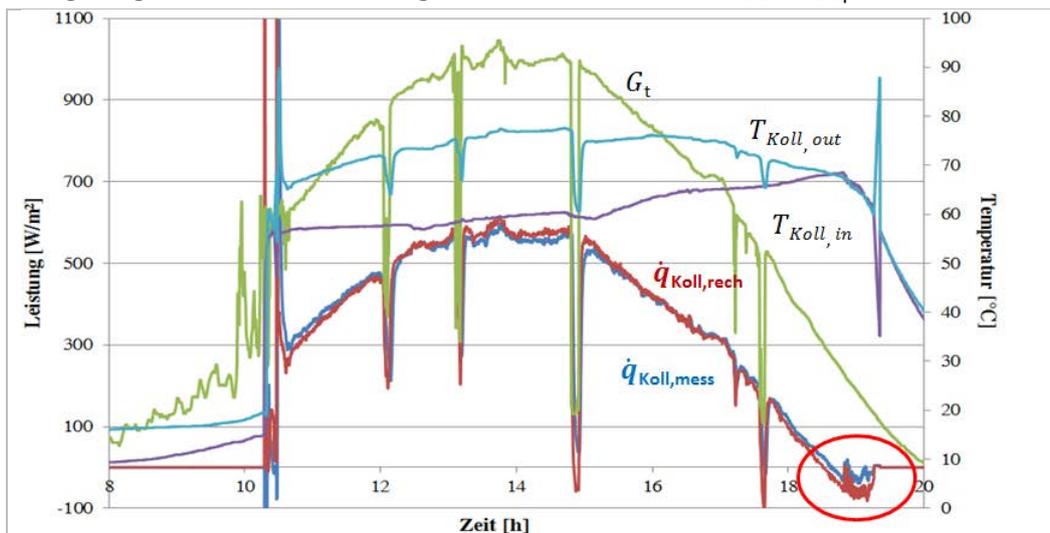


Abb. 6: Tagesverlauf (27.08.2014): gemessene Werte der Kollektortemperaturen und Einstrahlung auf die geneigte Fläche (G_t). Vergleich zwischen gemessenen und berechneten (TRNSYS) Kollektorleistungen.

4. Offene Sorptionstrocknung (Feldtestanlage)

4.1. Funktionsweise

Das Sorptionssystem besteht im Wesentlichen aus einem Absorber, einem Regenerator sowie zwei Speichereinheiten für die Sorptionlösung (Abb. 7). Die zu trocknende Luft wird im Absorber an einer LiCl-Lösung entlang geleitet. Dadurch wird ein Teil des Wasserdampfes in der Luft durch die LiCl-Lösung absorbiert. Die so verdünnte Lösung wird bei Bedarf mit Niedertemperaturwärme im Regenerator wieder aufkonzentriert. Der Wärme- und Stoffübertrager des Absorbers wurde in Plattengeometrie und der des Regenerator als Rohrbündel (Abb. 8a) ausgeführt. Auf

den Übertragungsflächen sind Textilien aufgebracht, um eine gleichmäßige Verteilung der LiCl-Lösung bei geringen Massenströmen zu gewährleisten (Abb. 8b).

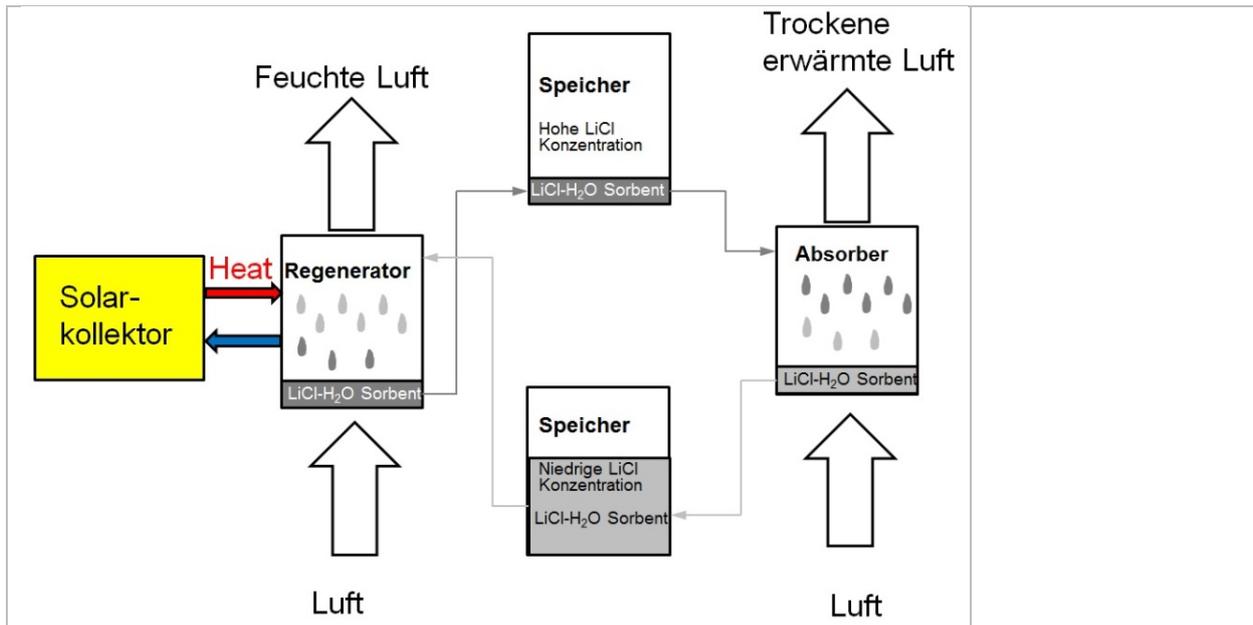


Abb.:7: Offenes Absorptionssystem. Lufttrocknung Absorber, Regeneration der LiCl-Lösung & Speichereinheiten.

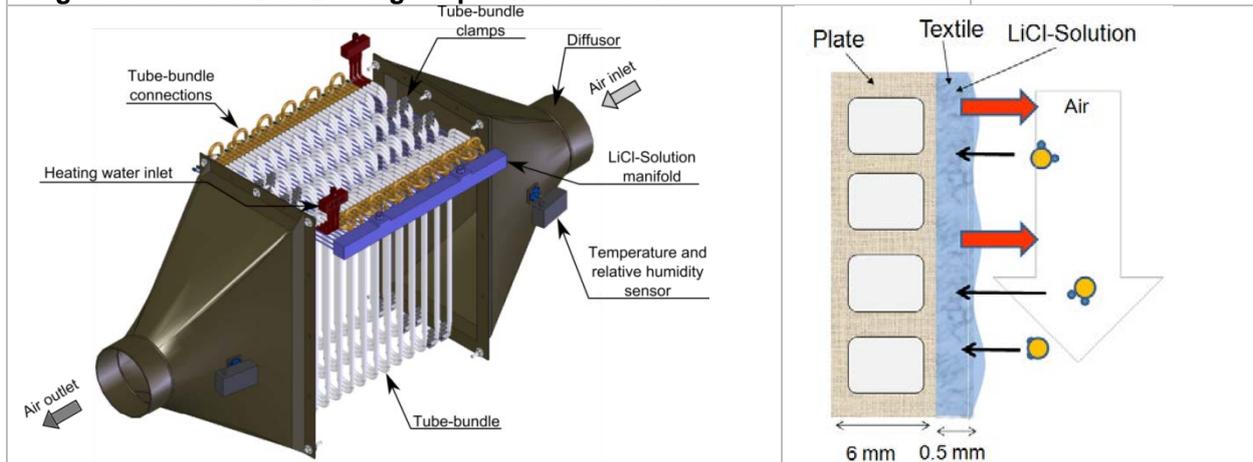


Abb. 8a: Rohrbündel-Wärme- und Stoff-übertrager (Absorber/Regenerator). Sorbensströmung entlang der Rohre.

Abb. 8b: Absorption von Wasserdampf in der LiCl-Lösung.

4.2 Aufbau und Messtechnik

Die Sorptionskomponenten wurden mit den erforderlichen Hilfsgeräten und Messtechnik in einem 20 Fuß großen Seecontainer installiert (siehe Abb. 9). Die Sorptionsanlage besteht aus zwei luftdurchströmten Strängen, in die der Absorber bzw. der Regenerator eingebunden sind. Außenluft wird in beiden Strängen zunächst gefiltert und hinter dem Absorber bzw. Regenerator von einem Kanalventilator gefördert. Im Absorber wird die Luft entfeuchtet, wodurch sie sich erwärmt. Durch eine Nacherwärmung mit einem Rohrbündel-Wärmeübertrager, der (in Strömungsrichtung) hinter dem Absorber installiert ist, wird die Lufttemperatur je nach Bedarf weiter erhöht.



Abb. 9a: Sorptionsanlage im Feldtest, Vordergrund: Heuballentrocknungsplatz



Abb. 9b: Sorptionsanlage (Container-Innenansicht) mit Rohrbündel-Regenerator, Plattenabsorber und Sorbens-Speicher.

Der Wärmeübertrager wird mit solarthermisch erwärmtem Wasser aus dem Solarspeicher durchströmt. Die Luft aus dem Absorberstrang wird schließlich direkt durch den Heuballen geleitet.

Der Regeneratorstrang verfügt neben Luftfilter und Ventilator über eine Wärmerückgewinnungseinheit, mit der die Zuluft zum Regenerator durch die Abluft vorgewärmt wird. Nach Durchströmen der Wärmerückgewinnungseinheit wird die Luft in einem Rohrbündelwärmeübertrager mit Wasser aus dem Solarspeicher weiter erwärmt, bis sie die für die Regeneration benötigte Temperatur erreicht hat. Im Regenerator wird die Luft durch die Salzlösung befeuchtet und kühlt sich dabei ab. Die Salzlösung wird dabei getrocknet (regeneriert). Die aus dem Regenerator strömende Luft wird schließlich durch die Wärmerückgewinnungseinheit geleitet, um (Rest-)Wärme an die Zuluft zu übertragen, und dann in die Umgebung abgeführt.

Die konzentrierte bzw. verdünnte Salzlösung wird jeweils in Behältern aus Polypropylen mit einem Volumen von 1 m³ gespeichert. Die Salzlösungen strömen jeweils vom entsprechenden Speicher durch den Absorber bzw. Regenerator und werden von dort in den jeweils anderen Speicher geleitet. In dem Speicher für die konzentrierte Salzlösung ist eine Kühlvorrichtung integriert, mit der die aus dem Regenerator strömende konzentrierte Salzlösung abgekühlt werden kann, um die für den Absorptionsprozess nötige niedrigere Temperatur zu erreichen. Ebenso wird die verdünnte Salzlösung in einem Wärmeübertrager mit Wasser aus dem Solarspeicher vorgewärmt, bevor sie in den Regenerator tritt.

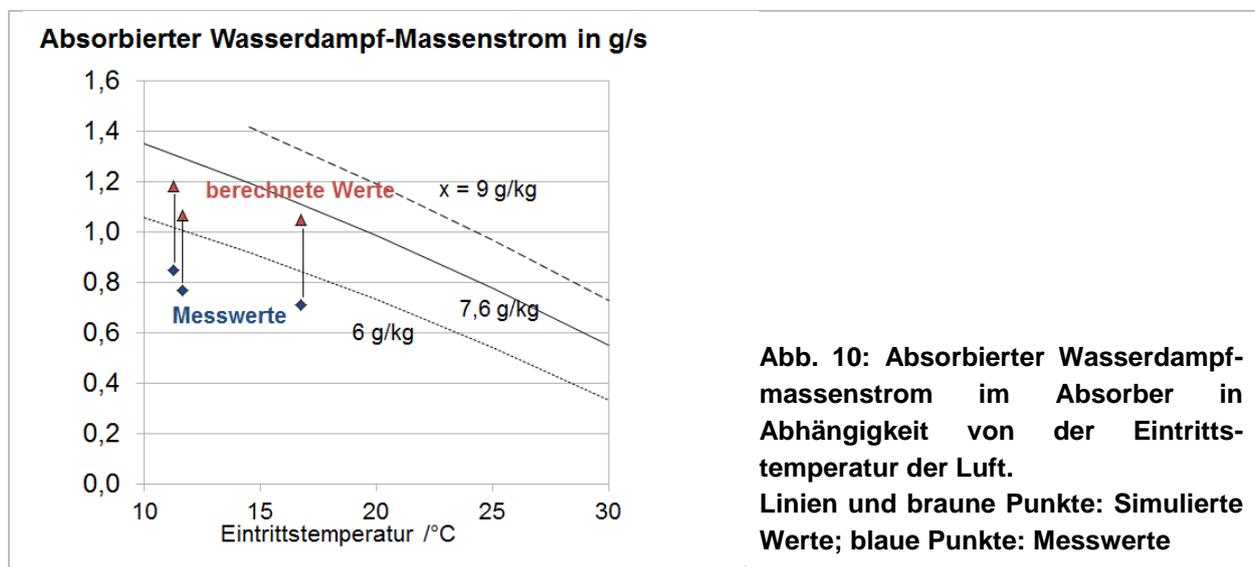
Ein- und Austrittstemperaturen der Luft, des Sorbens und von Heiz- und Kühlkreisen der Komponenten Absorber, Regenerator und der Wärmeübertrager werden mit PT-Sensoren aufgenommen. Zudem werden relative Feuchten der Luft vor und hinter dem Absorber und dem Regenerator vermessen. Zur Vermessung von Luftvolumenströmen in beiden Strängen kommen Vortexsensoren zum Einsatz. Die Sorbenskonzentration wird mit einem Dichtemessgerät und Sorbensvolumenströme werden mit MID-Sensoren (magnetisch-induktiv) vermessen.

4.3 Modellierung

Die durchgeführten Absorptionsmessungen wurden mit Ergebnissen eines idealisierten Finite-Differenzen-Modells für die Plattengeometrie verglichen. In diesem Modell wird die Wärme- und Stoffübertragung in einem drei-dimensionalen Netzwerk in den Fluiden sowie an der Phasengrenze berechnet. Das Modell berücksichtigt jeweils den konvektiven Transport in Strömungsrichtung der Fluide und den diffusiven Transport senkrecht zur Strömungsrichtung. Es handelt sich um ein physikalisches Modell, das ausschließlich auf Stoff- und Transportgrößen basiert. Das Modell nimmt eine laminare Strömung aller Fluide an und ist somit in der vorliegenden Form nur für Plattengeometrien geeignet. Desweiteren wird im Modell eine gleichmäßige Strömungsverteilung in allen Fluiden und somit eine ideale Benetzung des Sorbens auf dem Textil vorausgesetzt.

In Abb. 10 sind beispielhaft Simulationsergebnisse für die Absorption dargestellt. Dort ist der absorbierte Wasserdampf-Massenstrom in Abhängigkeit von der Eintrittstemperatur der Luft in den Absorber dargestellt. Der Scharparameter der Kurven ist der Wassergehalt der Luft am Absorbereintritt in g Wasser / kg trockene Luft. Erwartungsgemäß sinkt der absorbierte Wasserdampf-Massenstrom mit steigender Eintrittstemperatur und sinkendem Wassergehalt der Luft am Eintritt.

Zudem sind in Abb. 10 gemessene und berechnete Ergebnisse für drei Betriebszustände dargestellt. Wie erwartet liegen die Messwerte um einen nahezu konstanten Faktor unter den berechneten Werten.



4.4 Messergebnisse

Es wurden Laboruntersuchungen mit konstanten Eintrittsbedingungen der Fluide durchgeführt und u.a. der übertragenen Wasserdampfmassestrom ausgewertet. Diese Untersuchungen sowie nähere Informationen über die Labortestumgebung, Messtechnik und Komponenten sind in [4] zusammengestellt.

Erste Messergebnisse von der oben beschriebenen Feldtestanlage sind in den Abbildungen 10 bis 12 zusammengestellt. Während in der mobilen Versuchsanlage die Eingangswerte zum Teil zeitlich sehr stark schwanken und sowohl die Luft- als auch die Sorbensströmung im Absorber ungleichmäßig verteilt sind, liegen dem Modell vollständig idealisierte Annahmen zugrunde. Daher sind niedrigere Werte für den übertragenen Dampfmassenstrom in den Versuchen im Vergleich zum Modell zu erwarten.

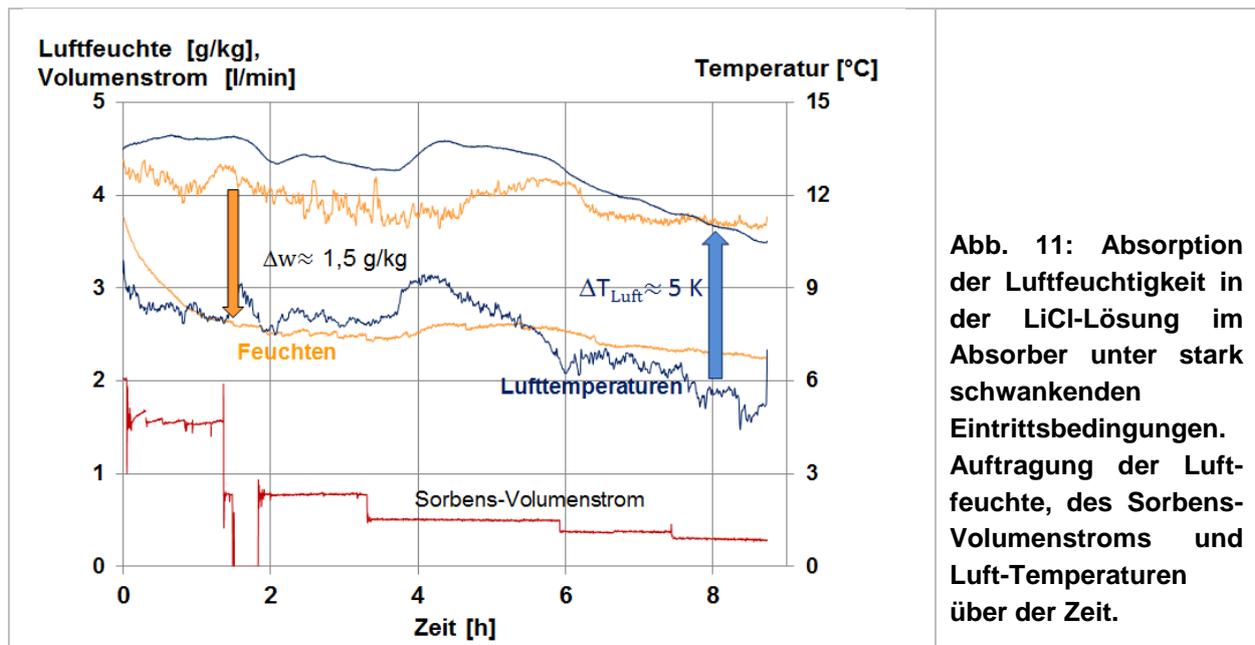


Abb. 11: Absorption der Luftfeuchtigkeit in der LiCl-Lösung im Absorber unter stark schwankenden Eintrittsbedingungen. Auftragung der Luftfeuchte, des Sorbens-Volumenstroms und Luft-Temperaturen über der Zeit.

In Abb. 11 sind beispielhaft die Luftfeuchte, -temperaturen und der Sorbensvolumenstrom über einen Zeitraum von mehreren Stunden aufgetragen. Da die Luft innerhalb der Remise angesaugt wird, schwanken die Eingangszustände im Tagesverlauf stark. Die Messung wurde im Februar bei Temperaturen und Luftfeuchten durchgeführt, die weit unterhalb der zu erwartenden Werte für den normalen Betrieb für Heuballentrocknung liegen. Die Luft-Eintrittstemperatur liegt zwischen 9°C und 6°C, die Eintrittsfeuchte bei ca. 4 g/kg. Während des Absorptionsprozesses wird die Luft um ca. 5 K erwärmt, während die relative Feuchte von ca. 60% (4,5 g/kg) auf 30% (3 g/kg) gesenkt wird. Im betrachteten Zeitraum wurde der Salzlösungsmassenstrom in 5 Schritten gesenkt. Bei nahezu konstantem Luftmassenstrom erhöht sich somit das Massenstromverhältnis $\dot{m}_{\text{Luft}} / \dot{m}_{\text{Sorbens}}$ stufenweise

Die in diesen 5 Betriebszuständen gemessenen Änderungen des Massenanteils LiCl im Sorbens und die daraus resultierende Speicherkapazität in MJ pro m³ verdünnter Lösung ist in Abb. 12 aufgetragen. Es ist zu erkennen, dass die Speicherkapazität des Sorbens für den extrem trockenen und kalten Betriebszustand bei relativ hohen Massenstromverhältnissen (Luft/Sorbens) in dem Bereich von der Speicherkapazität von Warmwasserspeichern liegt.

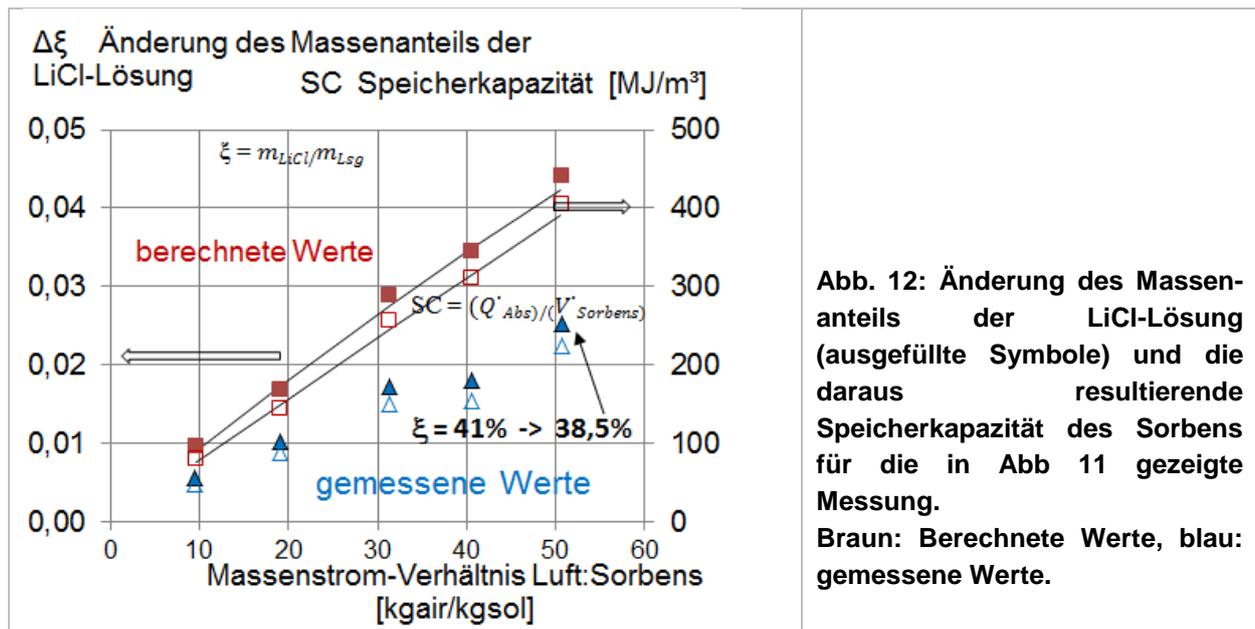


Abb. 12: Änderung des Massenanteils der LiCl-Lösung (ausgefüllte Symbole) und die daraus resultierende Speicherkapazität des Sorbens für die in Abb 11 gezeigte Messung. Braun: Berechnete Werte, blau: gemessene Werte.

In ersten Messungen an einem Heuballen wurde die Luft im Absorber von durchschnittlich 19°C auf 30°C erwärmt. Die relative Feuchte wurde dabei von ca. 62% auf 29% gesenkt. Der Luftmassenstrom betrug bei diesen Messungen durchschnittlich 1360 kg/h , der Sorbensmassenstrom ca. 46 kg/h . Zur Trocknung eines Heuballens mit einem Wasseranteil von ca. 30% auf ca. 9% wurden lediglich vier Stunden benötigt.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen des oben beschriebenen Forschungs- und Umsetzungsprojekts wurde eine Demonstrationsanlage zur Heuballentrocknung mit einer Drain-Back-Solaranlage entwickelt, errichtet und vermessen.

Es konnte gezeigt werden, dass es möglich ist, eine derartige Heuballen-Trocknungsanlage zu 100% mit Solarenergie zu beheizen. Das Drain-Back Verfahren hat sich im Vergleich zu herkömmlichen Anlagen als energieeffizient und kostengünstig erwiesen. Für die Energieversorgung von 20 Heuballen-Trocknungsplätzen wurden eine Kollektor-Aperturfläche von ca. 127 m^2 sowie ein Warmwasserspeicher mit einem Gesamtvolumen von 42 m^3 errichtet. Mit dieser Anlage können darüber hinaus auch Teile des Energieverbrauchs für weitere Trocknungs- und Heizungsanwendungen an der Staatsdomäne Frankenhäusen gedeckt werden.

Das Befüll- und Entleerverhalten sowie Kollektorkreisnutzungsgrade wurden im Rahmen von einem Anlagen-Monitoring evaluiert. Anfängliche Regelungsprobleme der Solaranlage führten zu unnötig hohen Betriebstemperaturen und zu zu langen Pumpenlaufzeiten. Trotzdem konnten hohe Anlagenarbeitszahlen ermittelt werden und es hat sich von Anfang an ein gutes Befüll- und Entleerverhalten gezeigt. Das Monitoring der Anlage wird weiter fortgeführt.

Die Errichtung und der Betrieb der Absorptionsanlage hat sich als sehr aufwändig erwiesen. Große Herausforderungen waren insbesondere Korrosion, die durch die LiCl-Lösung verursacht wurde sowie die Benetzung der Übertragungsflächen im Absorber und Regenerator. Zudem ist das bisher verwendete LiCl zu teuer für eine wirtschaftliche Nutzung des Systems. Im Rahmen des derzeitigen Forschungsprojekts werden daher alternative Sorbentien entwickelt und getestet.

Experimentelle Untersuchungen haben gezeigt, dass die Sorptions-Feldtestanlage funktionsfähig ist. Lufttrocknung ist auch bei sehr niedrigen relativen Feuchten möglich. Erste Messungen haben plausible Ergebnisse gezeigt, die gut mit numerischen Untersuchungen übereinstimmen. Zudem konnte ein leistungsfähiges numerisches Modell entwickelt werden, mit dem idealisierte Betriebszustände berechnet werden können.

In ersten Heuballentrocknungsversuchen wurde die Zulufttemperatur im Absorber um ca. 11K erhöht und die relative Feuchte auf ca. 29% gesenkt. Das hat zu einer erheblichen Verkürzung der Trocknungszeit von erfahrungsgemäß ungefähr 24 Stunden auf ca. 4 Stunden geführt.

Danksagung

Die Drain-Back-Solaranlage mit Sorptionssystem wurde im Rahmen des Verbundprojekts „KlimZug Nordhessen“ entwickelt, errichtet und untersucht [07/2008-06/2013]. Das Forschungs- und Umsetzungsvorhaben wurde durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert.

Das Forschungsprojekt „Offene Absorptions-Speichersysteme zur Beheizung von Wohngebäuden und für Lufttrocknungsanwendungen (OpenSorp)“ [10/2012-09/2017] wird im Rahmen der Förderinitiative Energiespeicher ebenfalls durch das BMBF gefördert.

Literatur

- [1] O. Kley (2007), *Identifizierung von Anwendungsgebieten und energetische und ökonomische Bewertung für solarthermisch betriebene sorptionsgestützte Klimatisierungs- und Trocknungstechnologien*, Diplomarbeit Univ. Kassel.
- [2] Botpaev, R., Orozaliev, J. und Vajen, K. (2014), *Experimental investigation of the filling and draining processes of the drainback system (Part 1)*, Energy Procedia 57, pp. 2467-2476.
- [3] Suter, J.-M. et al. (2003), *Durability and reliability of solar combisystems*, In: W. Weiss, ed. Solar Heating Systems for Houses - A design handbook for solar combisystems. London: Solar Heating and Cooling Executive Committee of the International Energy Agency (IEA), pp. 163-190.
- [4] M. Jaradat, D. Fleig, J. Addy, K. Vajen, U. Jordan: *Vermessung von Komponenten einer Absorptionsanlage*, 25. Symposium Thermische Solarenergie, Online-Tagungsband, Bad Staffelstein 6.-8.5.2015