

Modellierung und experimentelle Überprüfung einer Pilotanlage zur solaren Holz Trocknung

Abstract

Für die Untersuchung der solaren Holz Trocknungsanlage mit natürlicher Konvektion in Resistencia wurde wegen der vielfältigen Wechselwirkungen des Systems, des Aufwands für die Errichtung eines Prototyps und der Wetterabhängigkeit beim Betrieb der Anlage die Methode der Modellierung als Untersuchungsmittel gewählt. So können zeitaufwendige Versuche durch - vergleichsweise - kurze Simulationen ersetzt werden, um die Auswirkungen von Systemänderungen abschätzen zu können.

Die Modellierung stützt sich auf das Simulationsprogramm TRNSYS, das weltweit zur Auslegung von Solaranlagen eingesetzt wird. Durch seine modulare Struktur ist TRNSYS flexibel und lässt sich zur Simulation unterschiedlichster Systeme verwenden. Für die Modellierung der solaren Holz Trocknungsanlage wurden neue TRNSYS Komponenten zur Beschreibung der Holz Trocknung und des Aufwindkamins entwickelt.

Die Modellierung der Holz Trocknung folgt gängigen Theorien der Trocknung und der technischen Strömungslehre. Die wesentlichen physikalischen Vorgänge bei der Holz Trocknung betreffen die Feuchtebindung im Holz, den Stoff- und Wärmeübergang an der Trocknungsoberfläche und den Stoff- und Wärmetransport im Holzinernen. Über die Angabe von Sorptionsisothermen, Feuchteleitwerten und weiterer Stoffeigenschaften lässt sich die Abhängigkeit der Holz Trocknung vom Material erfassen.

Das Modell bestimmt mit Hilfe der Methode der finiten Elemente den örtlichen und zeitlichen Verlauf der Feuchte und Temperatur des Holzes und der Trocknungsluft im Stapel¹. Es ermöglicht unter anderem die Simulation der mittleren Holzfeuchte im Stapel, der Gleichgewichtsfeuchte und der Trocknungsgeschwindigkeit. Zur Untersuchung der Trocknung nach energetischen Gesichtspunkten wird der Wärmestrom in den Stapel berechnet. Weitere Ausgabewerte ermöglichen die Abschätzung der Trocknungsqualität anhand der Simulation.

Die Holz Trocknung ist ein wichtiges Verfahren zur Hebung der Holzqualität. Die solare Holz Trocknung ermöglicht eine wesentliche Verbesserung der Trocknungsqualität und -geschwindigkeit gegenüber der Freilandtrocknung. Gleichzeitig vermeidet die solare Trocknung Nachteile der konventionellen Trocknung, wie zum Beispiel die Abhängigkeit von Brennstoffen oder Elektrizität zum Betrieb der Anlage - verbunden mit hohen Betriebskosten -, die durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe verursachte Umweltbelastung und die hohen Investitionskosten für die Trocknungskammer.

Die solare Holz Trocknungsanlage mit natürlicher Konvektion in Resistencia wird vollständig mit Sonnenenergie betrieben. Luft wird in einem Folienkollektor erwärmt und strömt dann in die Trocknungskammer mit dem Holzstapel. Dort geht Feuchte vom Trocknungsgut an die Trocknungsluft über. Die feuchte Abluft fließt über einen Kamin

¹ Statt der Trocknung eines Stapels kann als Spezialfall auch die Trocknung eines einzelnen Brettes untersucht werden.

zurück in die Umgebung. Der Kamin sorgt aufgrund des Auftriebs der warmen Abluft und wegen des durch Wind verursachten Sogs für einen steten Luftstrom durch die Trocknungsanlage. Die Klimaverhältnisse am Standort der Anlage in Nordargentinien ermöglichen einen ganzjährigen Betrieb bei hervorragenden Strahlungsbedingungen und somit hohen Temperaturen in der Trocknungskammer.

Die Modellierung der Anlage gliedert das System in seine Hauptkomponenten "Tunnelkollektor", "Trocknungskammer", "Holzstapel" und "Kamin". Die bestehenden Wechselwirkungen des Systems - Stoff-, Energie- und Informationsströme - werden durch vom Rechner erfäßbare Gleichungen dargestellt und numerisch ausgewertet. Die wesentliche Vereinfachung, die das Modell trifft, besteht in der Nichtberücksichtigung der Inhomogenität und Anisotropie des Holzes, zum Beispiel bei der Feuchteleitung. Die daraus folgende relative Ungenauigkeit der Modellierung bei der Berechnung der Holzfeuchte im Laufe einer Simulation beträgt bis zu etwa 30 %.

Die Überprüfung des Modells erfolgte anhand von Klimakammerversuchen und anhand des ersten Trocknungsversuchs in Resistencia. In Resistencia wurden Versuchsstapel mit Algarrobo-Schnittholz aus einem ortsansässigen kleinen Sägewerk getrocknet. Algarrobo ist ein in der Region reichlich vorkommendes Hartholz, das vorwiegend zum Bau von Möbeln verwendet wird. Zur Untersuchung der Anlage wurden an verschiedenen Punkten Messungen des Luftzustands durchgeführt (relative Luftfeuchte, Lufttemperatur und Luftgeschwindigkeit), Wetterwerte aufgezeichnet (Sonnenstrahlung, relative Luftfeuchte, Lufttemperatur und Windgeschwindigkeit) und regelmäßig die Holzfeuchten mehrerer Proben bestimmt. Für die Modellierung wurden mittels Parameteridentifikation die nicht bekannten Feuchteleitwerte für Algarrobo festgelegt und die nur ungenau bekannten Sorptionsisothermen ergänzt.

Die Versuche zeigen, daß es möglich ist, mit der Anlage in Resistencia eine qualitativ hochwertige und rasche Trocknung zu erreichen. Die Trocknungsdauer ist etwas länger als bei konventioneller Trocknung, jedoch sehr viel kürzer als bei Freilufttrocknung in der feuchtwarmen Klimaregion des Chaco. Eine Schädigung des Holzes durch Umwelteinflüsse oder zu scharfe Trocknung tritt nicht auf. Das Modell beschreibt die wesentlichen Vorgänge bei der Holz Trocknung im Rahmen der zuvor abgeschätzten Genauigkeit zufriedenstellend. Die Validierung der Modellierung des Kamins muß wegen der bisher nicht ausreichenden Anzahl an Meßwerten für die Windgeschwindigkeit fortgeführt werden.

Nach der vollständigen Validierung des Modells kann mit seiner Anwendung begonnen werden. Neben der Optimierung der bestehenden Anlage dient das Modell zur Planung und Auslegung neuer Systeme. Gerade bei Solaranlagen ist die Modellierung hilfreich bei der Anpassung an stets unterschiedliche Klima-, Anlagen- und Betriebsbedingungen. Mit dem Modell lassen sich Wirtschaftlichkeitsstudien durchführen und potentielle Betreiber über die Leistung eines Solartrockners informieren. Die Steuerung konventioneller Trocknungsanlagen läßt sich durch das Einbeziehen des Modells flexibler gestalten, um so Trocknungszeiten zu kürzen - bei gleichbleibender Qualität der Trocknung.

Die Modellierung weiterer Trocknungsvorgänge ist denkbar - aufbauend auf dem Modell der Holz Trocknung. Wirtschaftlich interessant sind die Modellierung der Trocknung von Baustoffen und - wegen des großen Platzbedarfs bei der Deponierung - von Klärschlamm und Gülle. Es ist zu untersuchen, ob die Trocknung landwirtschaftlicher Produkte mit dem vorgestellten Modell beschrieben werden kann.