

Universität Kassel
Fachbereich Ökologische Agrarwissenschaften
und Fachbereich Maschinenbau



Strömungstechnische und energetische Optimierung einer landwirtschaftlichen Trocknungsanlage

Bachelorarbeit in den FG's Agrartechnik und Regenerative Prozesswärme

Studiengang „Regenerative Energien und Energieeffizienz“

1. Prüfer: Prof. Dr. Oliver Hensel
2. Prüfer: Dr. Ulrike Jordan

Vorgelegt von: Vitus Strahl-Schäfer

Witzenhausen, Oktober 2010

7 Zusammenfassung

Im Hinblick auf das Gesamtprojekt KLIMZUG soll diese Arbeit beim Einsatz von Ressourcen für die Trocknung landwirtschaftlicher Güter einen möglichen Weg aufzeigen, diese energieeffizient zu verwenden. Der Aufbau einer Trocknungsanlage und die Untersuchungen zur Funktionsweise des Trockners waren Hauptaufgaben der Arbeit. Dabei wurde das Augenmerk besonders auf eine gleichmäßige Trocknung gelegt. Wichtigste Maßnahme hierfür war die Vergleichmäßigung der Luftströmung, die dabei eine entscheidende Rolle spielt. Es wurde untersucht, welche Maßnahmen eine Strömung dahingehend vergleichmäßigen können, dass diese am Ort der Trocknung, nämlich in den Kisten, gleich wirkt. Eine Vergleichmäßigung kann am Ende nur eintreten, wenn schon ab dem Ventilator die Luftströmung zwangsweise gelenkt wird. Leiteinrichtungen und künstliche Widerstände im Strömungskanal sollten schon im Zuluftbereich zum so genannten Beruhigungsbehälter, welcher sich unterhalb der Kisten befindet, die Strömung vergleichmäßigen. Zur Erläuterung wird auf Bild 3-2, Bild 3-3 und Bild 3-4 verwiesen. Die Ausgestaltung der Leiteinrichtungen und Widerstände entschied eine Strömungssimulation mit dem Programm „Fluent“. Es diente als erste Näherung, um überhaupt die Wirkung dieser Maßnahmen zu rechtfertigen. Gerade diese Simulationen standen am Ende der Arbeit aber selbst auf dem Prüfstand, denn die Aussagekraft der verwendeten Programmeinstellungen in Fluent konnte vor dem praktischen Teil der Arbeit nicht sicher bestimmt werden.

Kriterium für die Optimierung des Trockners war die gleichmäßige Abnahme des Gewichtes aller Kisten. In direkter Beziehung zur Gewichtsreduktion standen in den Untersuchungen zur Funktionsweise des Trockners der Temperaturverlauf direkt über den einzelnen Kisten und die jeweils dort herrschende Strömungsgeschwindigkeit. Alles zusammen gesehen sollte dann die Effizienz der Maßnahmen darlegen, die die Luftströmung ab dem Ventilator gezwungen hatte, gleichmäßig in die Kisten zu fließen. Die Umgebungsbedingungen wurden anhand der vom Ventilator angesaugten Luft charakterisiert. Um überhaupt einen wiederholbaren Versuch durchführen zu können, wurden Voruntersuchungen gemacht, die die Messmethoden genauer beleuchteten.

Aufgrund der jahreszeitlichen Gegebenheiten musste ein Ersatzmaterial gefunden werden, welches die in der Praxis zu trocknenden Güter mustergültig vertritt. Die Gültigkeit der Messmethode muss nach mehreren Messwiederholungen gleich bleibend gegeben sein und darf nicht aufgrund der Veränderung im Material wegen der Wiederholung der Messungen verloren gehen. Es wurden Messungen mit Selleriegrün, Laub, Cellulose und Steinwolle durchgeführt. Bei allen Materialien waren die Möglichkeiten für weitere Folgeuntersuchungen begrenzt: Teilweise fehlte der Materialnachschub oder das Material konnte schlecht mit Wasser befeuchtet werden.

Da die Messung mit den Thermoelementen einen besonderen Stellenwert besaß, mussten die Einflüsse auf diese Messung genauer festgehalten werden. Es wurden Feuchttemperatur und Trockentemperatur im Material am selben Ort gemessen. Dazu war ein Thermofühler mit einem mit Wasser gesättigten Stoff umwickelt und sein Pendant war ohne Stoff. Auch die Einflüsse der Umwelt auf die Thermoelementenmessung waren zu hinterfragen. Daher wurde die Temperaturmessung erst im Material vorgenommen. Außerdem wurde untersucht, in wie fern die verwendeten Materialien des Versuchsaufbaus auf die Messung einen Einfluss haben könnte. Alle drei Fragestellungen beziehungsweise Methoden stellten sich als nicht notwendig beziehungsweise unpraktikabel heraus, so dass die Temperatur knapp über den Kisten mit den Thermoelementen robust gemessen werden konnte. Im Vergleich dazu wurden Temperaturmessungen mit einer Haube, ähnlich einem Balometer^[39], durchgeführt. Weitere Eigenschaften des Trockners wurden dabei mit erfasst. So zum Beispiel unterschiedliche Luftgeschwindigkeiten auf beiden Seiten bei jeweils unterschiedlichen Temperaturen.

Durch so genannte Netzmessungen unterhalb der Kisten und am Ausgang der Zuluftkanäle in die Beruhigungsbehälter sollten einerseits optimale Referenzpunkte für Messungen gefunden werden, andererseits die Gleichmäßigkeit der Strömung in verschiedenen Ebenen bestimmt werden. Die Referenzmessstellen sollten aufgrund der begrenzten Anzahl von Thermoelementsteckplätzen an dem Ort angebracht sein, wo die herrschenden Temperaturbedingungen stellvertretend für den Bereich unterhalb der Kisten sind. So waren die Messungen direkt in nächster Nähe zum Kistenboden am gleichmäßigsten. Im Nachhinein wurden die Netzmessungen vor den Umbaumaßnahmen zur Strömungsverbesserungen mit den Netzmessungen nach den Umbaumaßnahmen verglichen. Dabei wurden jeweils die Mittelwertschwankungen der

Temperaturen gegenüber gestellt, um ein Maß zu bekommen, was „Gleichmäßigkeit der Temperaturverteilung“ bedeuten könnte. Im Ergebnis hat sich aber nach den vorgenommenen Einbauten keine gleichmäßigere Temperaturlausbildung eingestellt.

Im Unterschied dazu wurden die Netzmessungen am Ausgang der Zuluftkanäle in die Beruhigungsbehälter mit Hilfe des Hitzedrahtanemometers durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen aufgrund der Einbauten eine relativ gleichmäßige Strömung über den Querschnitt der Einblasöffnung. Dies ist als positives Ergebnis im Hinblick auf die Simulationsergebnisse mit Fluent zu werten, die ein ähnliches Bild der durchgeführten Maßnahmen prognostizierte. Ein Zusammenhang zwischen Kistenfüllung und Strömungsausbildung kann festgestellt werden. Mit Hilfe der Wärmebildkamera konnten Leckagen, ungenutzte Wärmeabflüsse aus dem Trockner und besonders temperaturbelastete Bauteile komfortabel und schnell bestimmt werden. Die Software der Kamera ermöglichte jedoch keine Auswertemöglichkeit für genauere Untersuchungen.

Die in den Hauptuntersuchungen gemachten Ergebnisse wurden mit Hilfe von „SPSS“ statistisch bewertet. Dazu wurde zu aller erst mit Hilfe von Kastendiagrammen (Box-Plots) eine Datenexploration durchgeführt. Bei allen drei Variablen - Strömungsgeschwindigkeit, Temperatur und Kistengewicht - wurde keine Normalverteilung ausgegeben. Auch konnte über den Interquartilsabstand, der 50 Prozent der Messwerte enthält, die Schwankungsbreite der Werte festgestellt werden, was für oder gegen eine Gleichmäßigkeit spricht. Dabei ist eine Verringerung dieser Abstände bei den Gewichtsabnahmen nach den Einbauten in Versuch 4, 5 und 6 nur vage zu erkennen. Der Grund dafür ist vor allem in der fehlenden Gleichmäßigkeit der Temperaturwerte zu vermuten. Diese lässt sich nach den Ergebnissen auch kaum durch die Einbauten beeinflussen. Eher waren diese abhängig vom Kistenfüllstand. Dagegen wurde die Strömungsgeschwindigkeit nachhaltig durch Einbauten in den Kanälen verändert, so dass diese über den Kisten gleichmäßig verteilt war. Außerdem sind kaum übermäßige Volumenstromreduktionen durch die Einbauten aufgetreten. Durch die Angabe von Normalverteilungsdiagrammen lässt sich die Annahme aus den Kastendiagrammen bestätigen, dass die gemessenen Werte der Variablen nicht normal verteilt sind.

Mit den Korrelationsuntersuchungen sollte ein eindeutiger Zusammenhang zwischen den einzelnen Variablen ausgewiesen werden. Alle drei Variablen sind durch Korrelationen miteinander verbunden. Doch legten unterschiedliche Stärken der Verbundenheit den Auftrag nahe, diese auf Scheinkorrelationen hin zu überprüfen. Zwischen der

Strömungsgeschwindigkeit und dem Hackschnitzelgewicht besteht mit größter Voraussicht kein Zusammenhang. Dagegen ist der Zusammenhang zwischen Temperatur und Hackschnitzelgewicht stark: Die Temperatur ist umso höher, je geringer das Hackschnitzelgewicht.

Zum Schluss der Auswertungen im Hauptversuch wurde versucht mit Kreuztabellen einen Zusammenhang zwischen der Wirkung der Einbauten und den Gewichten der Kisten zu untersuchen. Dazu wurden die Gewichtsabnahmen vor und nach den Einbauten in Gruppen gleicher Breite eingeteilt. Durch das Ergebnis kann grundsätzlich festgehalten werden, dass zwischen den Variablen „mit“ oder „ohne Strömungseinbauten“ und der „Gewichtsgruppierung“ ein Zusammenhang besteht. Dieser ist zwar gering, doch stellt dieser grundsätzlich die Wirksamkeit von bautechnischen Maßnahmen an der Trocknungsanlage auf die Gewichtsabnahmen heraus.