OPTIMIERUNG DER HOPFENTROCKNUNG
durch den Einsatz von Wärmebildtechnik

OPTIMIZATION OF HOP DRYING
Through the Use of Thermal Imaging

Die Trocknung von Hopfen erfordert ein ausreichendes Maß an Erfahrung und eine hohe Beobachtungsgabe des Bedienpersonals. Mithilfe von Messwerten und deren grafischer Aufbereitung sind die Vorgänge bei der Trocknung mittlerweile gut erklär-, steuer- und regelbar. Wegen der rasch wechselnden Einflüsse auf den Trocknungsverlauf (Witterung, Sorte, Reifegrad, Wassergehalt usw.) bleibt die Trocknung von Hopfen für den Praktiker ein stetiger Optimierungsprozess. Als Hilfsmittel zur Überwachung und Optimierung der Hopfentrocknung hat sich aus vielen Versuchen und Praxiserfahrungen der Einsatz der Wärmebildtechnik als weiteres hilfreiches Messsystem bewährt.

Voraussetzungen für die Trocknungsoptimierung

Bei der Hopfentrocknung handelt es sich um eine sogenannte Konvektionstrocknung, bei der die Trocknungsluft mehrere Funktionen erfüllt. Zum einen überträgt die erhitzte Luft Energie in Form von Wärme auf den zu trocknenden Hopfen. Zum anderen nimmt sie gleichzeitig das vom Hopfen abgegebene Wasser auf und transportiert es ab. Gemäß Abbildung 1 wandelt sich die Aufgabe der Luft während des Durchströmens des zu trocknenden Hopfens vom anfänglichen Wärmeträger immer mehr hin zum Wasserträger.

Ferner besitzt die Trocknungsluft einen zusätzlichen, für die Hopfentrocknung wertvollen Effekt: Beim Durchströmen der Hopfenschichten wird der Hopfen in einer Art Schwebezustand gehalten; dadurch werden einerseits die Dolden von der Trocknungsluft umströmt und andererseits gleichzeitig ein Zusammensacken verhindert!

The drying of hops requires an adequate level of experience and a high level of observation on the part of the operating personnel. With the help of measured values and their graphical processing, the drying processes can now be easily explained, controlled and regulated. Because of the rapidly changing influences on the drying process (weather, variety, degree of ripeness, water content, etc.), hop drying is a process that can be constantly optimized. Thermal imaging has proven to be another helpful measuring system from many trials and practical applications as an aid to monitoring and optimizing hop drying.

Requirements for Drying Optimization

Hop drying is a so-called convection drying process in which the drying air has several functions. On the one hand, the heated air transfers energy in the form of heat to the hops to be dried. On the other hand, it simultaneously absorbs the water released by the hops and carries it off. According to Figure 1, the task of the air changes more and more from initial heat carrier to water carrier as it flows through the hops to be dried.

Furthermore, the drying air has an additional effect that is valuable for hop drying: When flowing through the hop layers, the hops are kept in a kind of suspended state; on the one hand, this allows the drying air to flow around the cones and, at the same time, prevents them from sinking together.

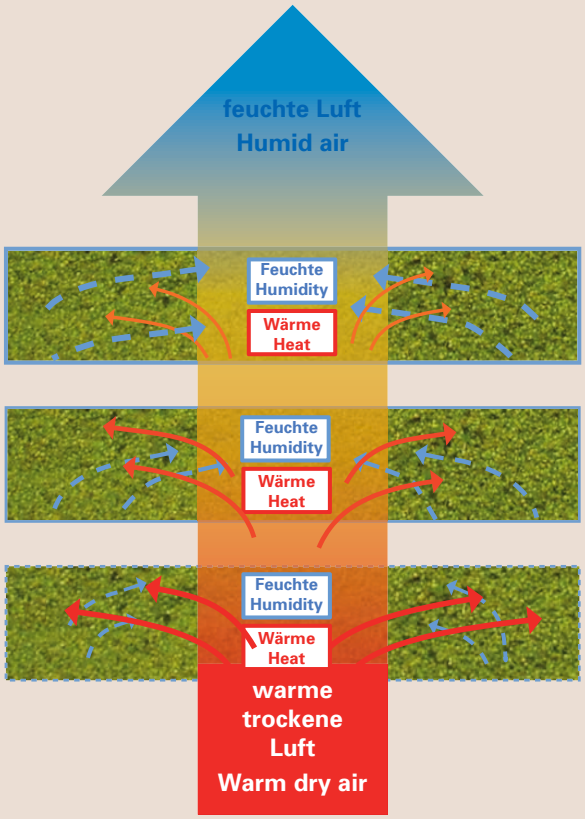

Abbildung 1: Trocknungsluft als Wärme- und Wasserträger schematisch dargestellt

Figure 1: Drying air as a heat and water carrier

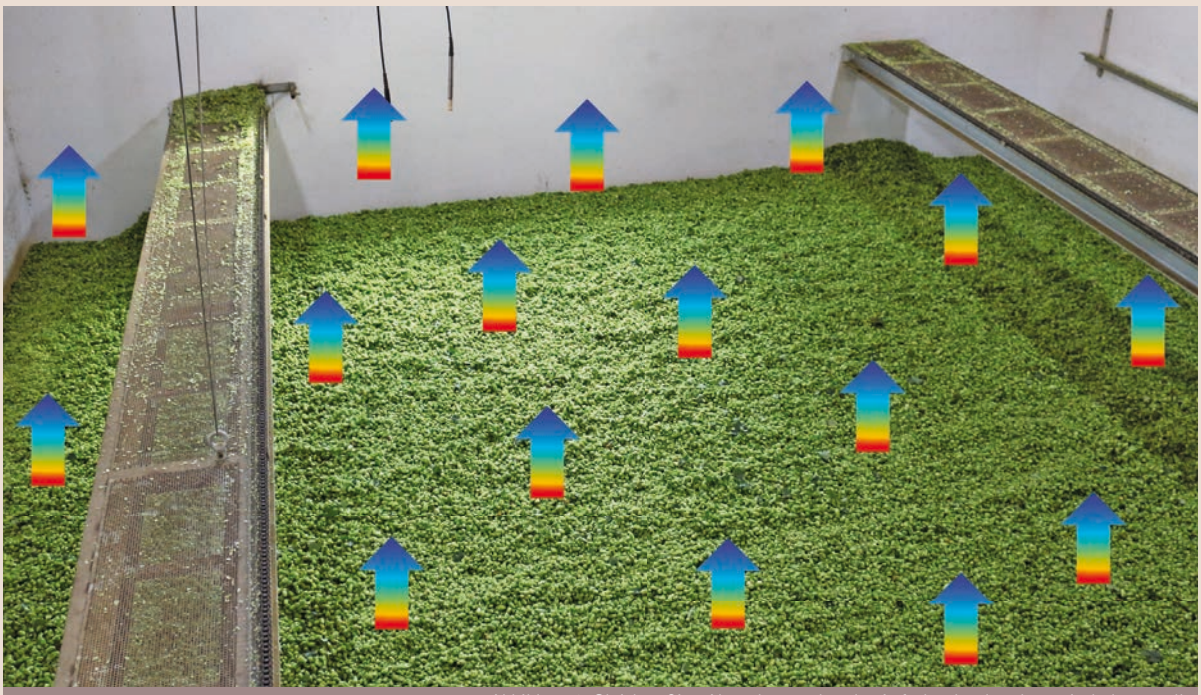

Abbildung 2: Gleichmäßige Abtrocknung über der Aufschütthorde schematisch dargestellt

Figure 2: Uniform drying across the top floor

Voraussetzung für einen optimale Trocknungsvorgang ist eine gleichmäßige Abtrocknung des Hopfens über die gesamte Trocknungsfläche in allen Trocknungslagen. Dies setzt voraus, dass die Trocknungsluft zu jedem Zeitpunkt über die gesamte Trocknungsfläche die Hopfenschichten mit gleicher Luftgeschwindigkeit, Temperatur und relativer Feuchte durchströmt (Abbildung 2).

Einsatz der Wärmebildtechnik in der Hopfentrocknung

Je länger unmittelbar nach dem Befüllen der obersten Trocknungslage – zum Zeitpunkt der höchsten Wasserabgabe des Hopfens – mit hoher Luftgeschwindigkeit getrocknet werden kann, desto höher ist die erzielbare Trocknungsleistung. Bei hohen Trocknungsleistungen ist auch der Energieeinsatz am effizientesten und die Hopfenqualität bleibt am besten erhalten, wie zahlreiche Versuche bestätigen.

Eine Gefahr hoher Luftgeschwindigkeiten, selbst bei optimal eingestellter Wärme- und Luftverteilung, besteht aber darin, dass es sehr schnell zu einer ungleichmäßigen Abtrocknung in der Aufschütthorde kommen kann. Ursache dafür können die unterschiedliche Lagerzeit des Grünhopfens im Hopfensilo vor der eigentlichen Trocknung, die variierende Verweilzeit des Hopfens in der Aufschütthorde von Beginn bis Ende der Befüllung sowie ungleiche Schütthöhen und Schüttdichten sein. Aus verschiedenen Strömungswiderständen resultieren wechselnde Luftgeschwindigkeiten der Trocknungsluft. Da die Trocknungsluft den Weg des geringsten Widerstands wählt, ergeben sich zwangsläufig Zonen mit unterschiedlichen Trocknungsgraden. Wird stets ungleichmäßig getrockneter Hopfen von der Aufschütthorde in die darunter liegenden Horden gekippt, kommt es sehr schnell zur bekannten „Nesterbildung“ und zum „Freiblasen von Löchern“.

The requirement for an optimum drying process is uniform drying of the hops over the entire drying area on all drying floors. This requires that the drying air flows through the hop layers with the same air speed, temperature and relative humidity over the entire drying area at all times (Figure 2).

Use of Thermal Imaging in Hop Drying

The longer drying can be carried out at high air speed immediately after filling the uppermost drying floor – at the time of highest water release from the hops – the higher the achievable drying performance. At high drying rates, energy use is also most efficient and hop quality is best preserved, as confirmed by numerous trials.

However, one danger of high air speeds, even with optimally adjusted heat and air distribution, is that uneven drying in the top floor can occur very quickly. This may be caused by varying storage times of the green hops in the hop silo before the actual drying, the varying dwell times of the hops on the top floor from the beginning to the end of filling, and uneven layer depths and layer densities. Different flow resistances result in varying speeds of the drying air. Since the drying air chooses the path of least resistance, this inevitably results in zones with different degrees of drying. If unevenly dried hops are always tipped from the top floor to the floors below, the familiar “nesting” and “blowing free of holes” will occur very quickly.

Since in such a situation the installed blower capacity can no longer be utilized due to the necessary reduction of the air speed, the drying capacity consequently decreases sharply and drying becomes increasingly uneven.

Da in einer solchen Situation die installierte Gebläseleistung durch die notwendige Reduzierung der Luftgeschwindigkeit nicht mehr ausgenutzt werden kann, geht die Trocknungsleistung folglich stark zurück und die Trocknung wird zunehmend ungleichmäßiger.

Mithilfe der Wärmebildtechnik (Abbildung 3) ist es möglich, anhand der Doldenoberflächentemperaturen die Temperaturverteilung über der gesamten Aufschütthorde zu erfassen. Dadurch kann der Trocknungsvorgang auf Gleichmäßigkeit überwacht bzw. bei Bedarf durch gezielte Korrekturmaßnahmen eine gleichmäßige Abtrocknung gewährleistet werden.

Bewährt hat sich inzwischen der Einbau fest installierter Infrarotkameras. Die berührungslose Temperaturmessung mit Infrarottechnik basiert auf der Wärmestrahlung, die jeder Körper abgibt. Jedes Objekt mit einer Temperatur oberhalb des absoluten Nullpunkts strahlt Infrarotlicht aus. Die Intensität der Strahlung ist abhängig von der Temperatur. Durch die Messung der Infrarotstrahlung mit geeigneten Sensoren lässt sich so eine genaue Temperaturmessung durchführen und diese wiederum lässt Rückschlüsse auf den Wassergehalt der Hopfendolden zu. Je niedriger die Oberflächentemperatur, desto feuchter ist der Hopfen. In den Infrarotkameras sind diese Sensoren wie in einer Videokamera auch in Pixel aufgeteilt, die jeweils die Temperatur mit einem Bildpunkt messen. Auf diese Weise entsteht ein Wärmebild der gemessenen Oberfläche und somit ein Bild über die Feuchtigkeitsverteilung (Abbildung 4).

Anhand der Farbverläufe der Wärmebilddarstellung sind bereits während der Trocknung entstehende „Nester" bzw. ungleich getrocknete Bereiche frühzeitig erkennbar. Somit kann bei Bedarf durch Korrekturmaßnahmen, wie beispielsweise Umverteilung des Hopfens von Hand mit einem Rechen oder Aufstechen feuchter Zonen in der Aufschütthorde mit einer Gabel, die Gleichmäßigkeit der Abtrocknung schnell wiederhergestellt werden (Abbildung 5).

Abbildung 3: Kontrolle auf gleichmäßige Abtrocknung mit einer Wärmebildkamera als Handgerät

Figure 3: Checking for uniform drying with a handheld thermal imaging camera

With the aid of thermal imaging (Figure 3), it is possible to record the temperature distribution over the entire top floor on the basis of the cone surface temperatures. In this way, the drying process can be monitored for uniformity or, if necessary, targeted corrective measures can be taken to ensure uniform drying.

In the meantime, the use of permanently installed infrared cameras has proven its worth. Non-contact temperature measurement with infrared technology is based on the heat radiation emitted by every physical body. Any object with a temperature above absolute zero emits infrared light. The intensity of the radiation depends on the temperature. By measuring the infrared radiation with the appropriate sensors, an accurate temperature measurement can be made, which in turn allows conclusions to be drawn about the water content of the hop cones. The lower the surface temperature, the moister the hops. In the infrared cameras, as in a video camera, these sensors are also divided into pixels, each measuring the temperature with a pixel. This produces a thermal image of the measured surface and thus a picture of the moisture distribution (Figure 4).

Based on the colors of the thermal image, "nests" or unevenly dried areas can be identified at an early stage during the drying process. This means that, if necessary,

Abbildung 4: Wärmebildkamera, Messfläche über der Aufschütthorde, zugehöriges Wärmebild

Figure 4: Thermal imaging camera, measuring area across the top floor, corresponding thermal image

Abbildung 5: Kontrolle auf gleichmäßige Schüttdichte nach dem Befüllen der Aufschütthorde und auf Gleichmäßigkeit während der Trocknung

Figure 5: Checking for uniform layer density after filling the top floor and for consistent drying

Bei automatischen Befüllungen kann durch entsprechende Veränderungen der Einstellungen spätestens beim erneuten Befüllvorgang mit Grünhopfen rasch auf entstehende Ungleichmäßigkeiten bei der Trocknung reagiert werden. Auf diese Weise lassen sich mit den einfachen Hilfsmitteln der Wärmebildtechnik die Gleichmäßigkeit der Trocknung verbessern, Fehler im Trocknungsvorgang schneller erkennen und höhere Trocknungsleistungen erzielen. Zudem bestätigt die Wärmebildtechnik die alte Erfahrung des Hopfentrockners: „In der obersten Lage wird der Hopfen getrocknet!".

corrective measures, such as redistribution of the hops by hand with a rake or piercing of moist zones on the top floor with a fork, can quickly restore the uniformity of the drying process (Figure 5).

In the case of automatic filling, it is possible to react quickly to any inconsistencies arising during drying by changing the settings accordingly, at the latest during the next filling with green hops. In this way, the simple aids of thermal imaging can be used to improve the uniformity of drying, detect errors in the drying process more quickly, and achieve greater drying performance. In addition, the thermal imaging confirms the traditional experience of the hop dryer: "The top floor is where the hops are dried!".

Autor: Jakob Münsterer, Arbeitsgruppe Hopfenbau,
Produktionstechnik am Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung
der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft
Fotos: Jakob Münsterer, Helmut Hofer und Georg Selmeier

Anzeige / Advertisement