

## Sicherung der Hopfenqualität durch optimale Konditionierung

Jakob Münsterer, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Arbeitsgruppe Hopfenbau und Produktionstechnik, Wolnzach

Unmittelbar nach der Trocknung weist der Hopfen selbst bei optimalen Trocknungsbedingungen einen ungleichmäßigen Wassergehalt auf. Neben den hohen Wassergehaltsunterschieden zwischen Spindel und Doldenblättern und zwischen den Dolden innerhalb einer Auszugshorde, sind zusätzlich die durchschnittlichen Wassergehalte der Schüttungen während eines Erntetages sehr groß. Ein Ausgleich der Feuchtigkeit zur Erzielung der „Sackreife“ ist notwendig.

### Ziele der Konditionierung

- Sicherung der Hopfenqualität
- Ausgleich der unterschiedlichen Wassergehalte des inhomogenen Hopfens
- Feuchteausgleich zwischen Spindel und Doldenblätter
- Einstellen der gewünschte Hopfenfeuchte
- Erreichen einer optimale Lagerfähigkeit

### Nur gleichmäßig, nicht übertrockneter Hopfen kann optimal konditioniert werden

Der optimale Wassergehalt des Hopfens frisch aus der Darre liegt zwischen 8–10 %. In diesem Zustand liegt der Wassergehalt der Spindel zwischen 25-35 % und bei den Doldenblättern nur noch bei 4-7 %. Bei der Lagerung des Hopfens auf dem Hopfenboden und/oder beim Belüften in Konditionierungskammern werden die unterschiedlichen Wassergehalte des inhomogenen Hopfens und der große Feuchteunterschied zwischen Spindel und Doldenblättern ausgeglichen.

Der Ausgleich der großen Wassergehaltsunterschiede innerhalb der Dolden, zwischen Spindel und Doldenblättern beginnt bereits unmittelbar nach der Trocknung. Dabei wird das Spindelwasser über die Kapillaren an die Doldenblätter abgeführt. Zusätzlich nehmen die Doldenblätter auch Feuchtigkeit von der Umgebungsluft auf. Dieser Feuchteausgleich ist beendet, wenn die Spindel und die Doldenblätter den selben Wassergehalt erreicht haben. Bei ausgeglichenem Hopfen bleibt der Wassergehalt sehr stabil und ändert sich durch den Einfluss von Umgebungsluft oder Belüftungsluft nur noch sehr langsam. Solange Feuchteunterschiede zwischen Spindel und Doldenblättern vorhanden sind, kann durch die Umgebungsluft und durch die Belüftung in Konditionierungsanlagen der Wassergehalt der Dolden verändert bzw. beeinflusst werden.

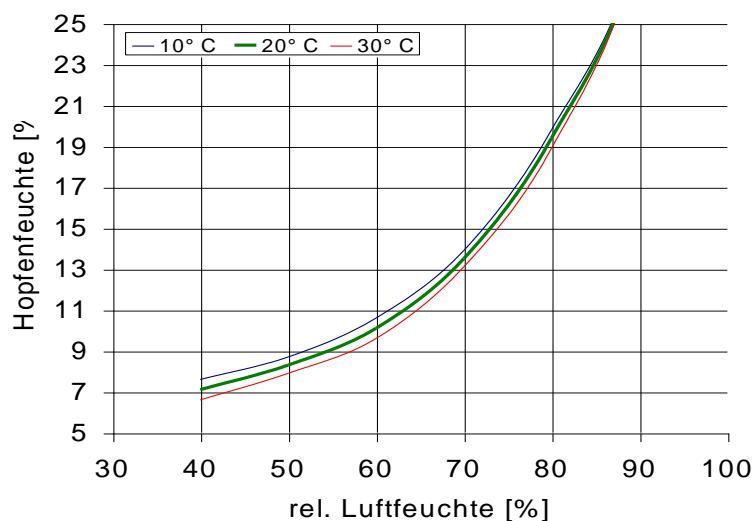


Abbildung: Sorptionsisotherme von Hopfen

### **Das Sorptionsverhalten von Hopfen muss bekannt sein**

Unter Sorptionsverhalten versteht man die Eigenschaft von Hopfen, Wasserdampf aus der Luft aufzunehmen bzw. abzugeben, bis sich ein Gleichgewichtszustand zwischen der Hopfenfeuchte und der Umgebungsfeuchte der Luft eingestellt hat.

Nach den Sorptionsisothermen nimmt der Hopfen bei der Lagerung oder Belüftung bei einer relativen Luftfeuchte von 58-65% nach einer bestimmten Zeit einen Wassergehalt von 9-12% an.

### **Homogene Partien durch Mischen beim Befüllen der Kammer**

Wird der Hopfen vor oder beim Befüllen der Konditionierungskammer gemischt, beginnt bereits schon vor der Belüftung ein Feuchteausgleich des inhomogenen Hopfens. Bei der Belüftung werden dann v.a. die großen Wassergehaltsunterschiede zwischen Spindel und Doldenblättern ausgeglichen.

### **Beurteilung der Hopfenfeuchte vor der Belüftung**

Durch ein Messen der relativen Feuchte der Umgebungsluft des Hopfens in der Konditionierungskammer kann bereits vor der Belüftung der Wassergehalt des Hopfens abgeschätzt werden. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass zu Beginn der Belüftung das Spindelwasser über die relative Luftfeuchtigkeit der Belüftungsluft noch nicht ausreichend erfasst wird. Bei einer relativen Luftfeuchte von weniger als 45 % hat der Hopfen in der Kammer einen durchschnittlichen Wassergehalt von unter 9 %. Wird dagegen bereits am Anfang der Belüftung mit Umluft eine relative Feuchte von über 50 % gemessen, hat der Hopfen in der Kammer einen Wassergehalt von mindestens 9-10 %.

### **Optimale Belüftungsluft hat 20-24 °C und 58-65 % rel. Luftfeuchte**

Für eine optimale Homogenisierung und Einstellen einer gewünschten Hopfenfeuchte muss bei der Konditionierung die Temperatur und die relative Feuchte der Belüftungsluft geregelt werden. Da der Feuchteausgleich innerhalb der Dolde temperaturabhängig ist, hat die Temperatur einen größeren Einfluss als die relative Feuchte der Belüftungsluft auf den Wassergehalt des Hopfens.

Die Dolde ist homogenisiert, wenn Spindel und Doldenblätter den gleichen Wassergehalt haben. Für die Kapillarwasserbewegung von der Spindel in die Doldenblätter ist eine Temperatur von 20-24°C optimal, da die Doldenblätter sowohl Feuchte von der Spindel und gleichzeitig auch von der Belüftungsluft aufnehmen.

Mit steigenden Temperaturen über 25°C beschleunigt sich die Wasserabgabe aus der Spindel und somit der Feuchteausgleich innerhalb der Dolde. Der erreichte Wassergehalt der ausgeglichenen Dolde kann durch Belüftung nicht mehr erhöht werden. In der Praxis ist der Hopfen dann meist zu trocken.

Bei kühleren Temperaturen unter 20 °C verlangsamt sich der Wasserentzug aus der Spindel. Die Doldenblätter nehmen überwiegend Feuchtigkeit von der Belüftungsluft auf. Je kühler die Belüftungstemperatur, desto größer ist die Gefahr, dass die Dolde nach der Belüftung nicht ausreichend homogenisiert ist. In diesem Fall wird sich die Dolde nach der Belüftung auf einen höheren Wassergehalt einstellen. Damit besteht die Gefahr, dass der Hopfen für eine optimale Lagerfähigkeit zu feucht wird.

### **Entscheidend ist ein Messen der Belüftungsluft im Luftverteilterraum der Konditionierungskammer**

Durch ein Messen der Temperatur und der relativen Feuchte im Zuluftkanal bzw. im Luftverteilterraum der Konditionierungskammer kann über die Mischluftregelung die optimale Belüftungsluft eingestellt werden.

Ist der Hopfen in der Kammer zu trocken oder zu feucht, wird der Belüftungsluft nach Bedarf temperierte Luft mit höherer bzw. niedriger Feuchte zugemischt, bis die Mischluft die gewünschte Temperatur und relative Feuchte erreicht hat.

Damit auch bei heißen Erntetagen die optimale Belüftungstemperatur von 20–24 °C eingehalten wird, haben Praxisversuche gezeigt, dass ein korrekt auf die Anlagengröße dimensioniertes Kühlpad für die optimale Belüftungsluft sorgen kann. Diese „Kühl-Pads“ bestehen aus einem, in einem Rahmen senkrecht stehendem, gefalteten Papier, über welches ständig Wasser herabfließt. Bei geschickter Anordnung und Auswahl des Pads kann dieses die Funktion eines Luftbefeuchters als auch einer Kühlung übernehmen. Eine stetige Einstellung der erforderlichen Belüftungsparameter ist durch eine elektronische Steuereinheit sinnvoll.

Die Beschickung des Kühl-Pads mit Außenluft ist nicht sinnvoll, weil sich zum einen Temperatur und Luftfeuchte während eines Tages ständig ändern und zum anderen bei kühlen Außentemperaturen deren Befeuchtung nicht notwendig ist. Deshalb muss das Kühl-Pad in die Mischluftregelung integriert sein.

### **Kontrolle der Belüftungsluft ist wichtig!**

In der Praxis werden zum Messen der Belüftungsluft Handmessgeräte oder stationär eingebaute Temperatur- und Feuchtefühler eingesetzt. Über diese kann die Mischluftregelung gesteuert werden.

Wichtig ist, dass die Temperatur und Feuchte der Belüftungsluft während der Belüftung im Zuluftkanal oder im Luftverteilterraum über eine Digitalanzeige oder einen PC-Bildschirm mitverfolgt werden kann. Zahlreiche Messgeräte können die aus Temperatur und relativer Feuchte berechnete absolute Feuchte der Luft in g Wasser/kg Luft anzeigen. Über diesen Wert kann eine Veränderung der Mischluft sehr schnell festgestellt und auch beurteilt werden, ob der Hopfen in der Kammer durch die Belüftung ausgeglichen, angefeuchtet oder nachgetrocknet wird.

Bei 22°C besteht zudem eine enge Korrelation zwischen der absoluten Feuchte in g/kg Luft und der erzielbaren Hopfenfeuchte.

### **Absolute Feuchte in g/kg Luft in Abhängigkeit von Temperatur und rel. Luftfeuchte**

Temperatur in °C	Rel Luftfeuchte in %						
	58 %	60 %	62 %	64 %	66 %	68 %	70 %
14 °C	5,6	6,1	6,3	6,5	6,7	6,8	7,1
16 °C	6,6	6,8	7,1	7,3	7,5	7,8	8,0
18 °C	7,5	7,8	8,0	8,3	8,5	8,8	9,0
20 °C	8,4	8,7	9,0	9,3	9,6	9,8	10,1
21 °C	8,9	9,2	9,5	9,8	10,1	10,4	10,7
22 °C	<b>9,4</b>	<b>9,8</b>	<b>10,1</b>	<b>10,4</b>	10,7	11,1	11,4
23 °C	10,0	10,3	10,7	11,0	11,4	11,7	12,1
24 °C	10,6	10,9	11,3	11,7	12,0	12,4	12,8
26 °C	11,8	12,2	12,7	13,1	13,5	13,9	14,3
28 °C	13,2	13,7	14,2	14,6	15,1	15,5	16,0
30 °C	14,8	15,3	15,8	16,3	16,8	17,3	17,8

## **Das Messen in der Kammer ist eine zusätzliche Kontrolle und optimiert die Belüftungszeit**

Der Konditioniervorgang bei idealer Belüftungsluft sollte solange fortgesetzt werden, bis sich die Feuchteunterschiede der gesamten Dolde vollständig ausgeglichen haben.

Dies kann zum einen durch eine ausreichend lange Belüftungszeit bewerkstelligt werden oder über eine direkte oder indirekte Messung der Absolutfeuchte des Hopfens überprüft werden. Ändert sich z.B. der Wert eines Absolutfeuchtemessgerätes über einen Zeitraum von 30 Minuten nicht mehr oder nur kaum, dann kann angenommen werden, dass der Hopfen ausgeglichen ist. Ebenso kann dies auch auf einfache Weise über eine indirekte Messung der Temperatur und der relativen Feuchte überwacht werden. Es sollte aber eine Mindestbelüftungszeit von 4 Stunden eingehalten werden.

## **Zusammenfassende Hinweise zur Steuerung von Belüftungsanlagen**

- Voraussetzung ist eine optimale Reife des Hopfens
- Gleichmäßige Trocknung auf 8–10 % Wassergehalt
- Gleichmäßige Verteilung und Durchmischung des Hopfens beim Befüllen der Kammer
- Beurteilung der Hopfenfeuchte in der Kammer vor der Belüftung
- Rechtzeitiger Belüftungsbeginn mit Umluft oder Mischluft
- Messen der Belüftungsluft im Luftverteilteraum der Kammer
- Optimale Belüftungsluft: 20–24 °C und 58–65 % r .F.
- Kontrolle der Belüftungsluft über die absolute Feuchte in g/kg
- Messwerte im belüfteten Hopfen sind eine zusätzliche Kontrolle
- Belüftungszeit: 4–6 Stunden
- Ruhephase des belüfteten Hopfens bis zum Pressen von mindestens 6 Stunden
- Dokumentation der Messwerte des Belüftungsvorganges
- Geringere Doldenzerblätterung bei optimaler Belüftungstemperatur (20–24 °C)
- Gewünschte Hopfenfeuchte ist erreicht, wenn INPUT = OUTPUT

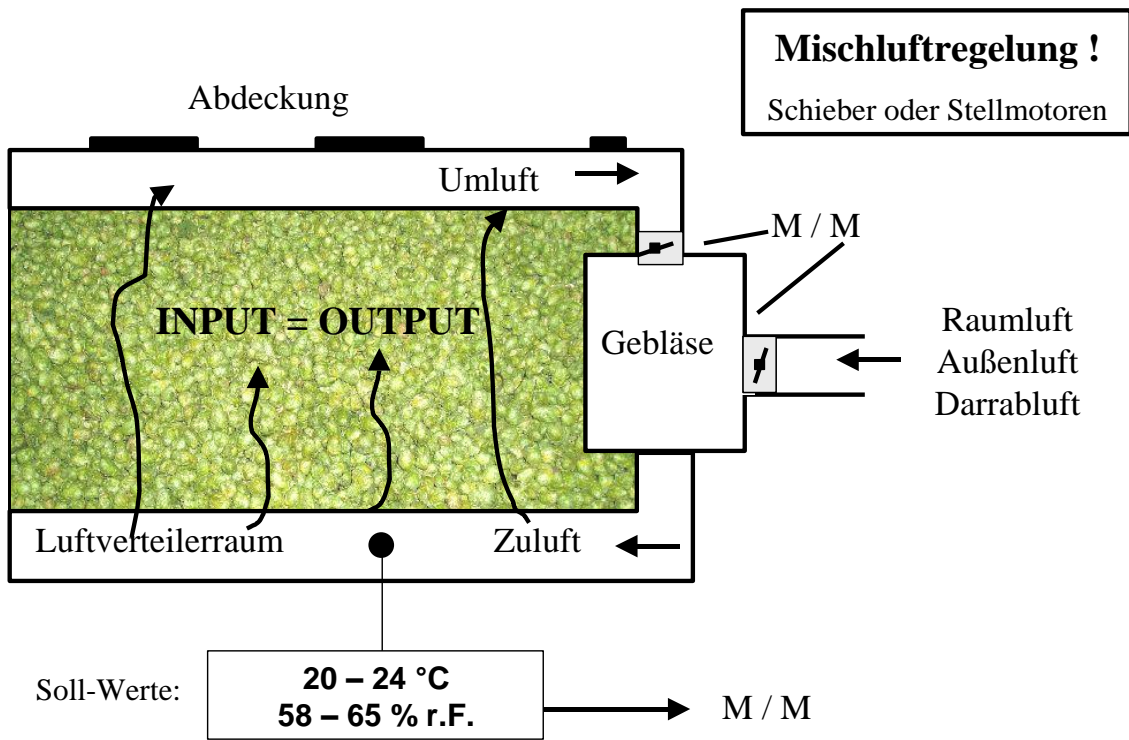


Abbildung: Schema der Nachbehandlung des Hopfens in Konditionierungskammern