

Aktuelle Auslegungsansätze für eisabscheidende Kondensatoren zur Leistungssteigerung von Gefriertrocknungsanlagen

Harald Schuchmann¹, Gerald Ruß², Arthur Rudek^{2,3}

¹Wilhelm Büchner Hochschule, Darmstadt, Deutschland; ²Hochschule Darmstadt, Deutschland

³TREAVES GmbH, Liederbach i.Ts., Deutschland

Semikontinuierlich arbeitende Gefriertrocknungsanlagen in der Lebensmittelindustrie (z. B. löslicher Kaffee) arbeiten mit einer Trocknungsleistung von bis zu 1,5 Tonnen Wasser/Stunde. Ein Großteil des Wassers wird sublimiert, in einem zweiten Trocknungsabschnitt wird das restliche Wasser verdampft. Dazu muss in der Trocknungskammer im ersten Trocknungsabschnitt ein ausreichendes Vakuum aufrechterhalten werden.

Eine Oberfläche mit niedriger Temperatur im Kondensator ist am besten geeignet, um den entstandenen Wasserdampf auszufrieren und dabei das Vakuum (10-50 Pa) aufrecht zu erhalten. Die Kondensatortemperatur muss dabei niedriger sein als die dem jeweiligen Druck entsprechende Gefriertemperatur. Die Größe der Kondensatorfläche und die Fläche des Verbindungsrohres zum Sublimationstunnel bestimmen die maximale Saugleistung (Wasserdampfbelastung) sowie die akzeptable Eisleistung (Dicke des Eismantels).

Derzeitige Kondensatorsysteme werden mit automatischen Abtausystemen ausgestattet, wobei zyklisch unter Vakuum abgetaut wird. Für einen kontinuierlichen Trocknungsprozess werden verschiedene Kondensatoren an die einzelnen Tunnelabschnitte angeschlossen, die zeitlich verschoben abgetaut werden. Bei den verwendeten Temperaturen können andere Gase (Leckage oder im Produkt gelöste Gase) nicht kondensiert werden und müssen über Vakuumpumpen entfernt werden.

Unter der Annahme eines Kontinuums ergeben sich für die abscheidbare Eismasse zwei einfache Gleichungen:

$$\dot{M}_{\text{Eis}} = \frac{A_{\text{Kondensator}} \cdot \lambda_{\text{Eis}} \cdot (T_{\text{Eis,O}} - T_{\text{Kond}})}{d_{\text{Eis}} \cdot \Delta h_{\text{Eis}}} \quad \dot{M}_{\text{A}} = \frac{P \cdot D_{\text{A-B}} \cdot M_{\text{A}}}{r_1 \cdot \ln(r_2/r_1) \cdot R \cdot T} \cdot \ln\left(\frac{P_{\text{B2}}}{P_{\text{B1}}}\right)$$

Bei der Prozessbetrachtung muss allerdings berücksichtigt werden, dass sich alle Parameter mit der Zeit und dem Ort ändern. So ist beispielsweise im Gebiet der mäßig verdünnten Gase auch die Wärmeleitfähigkeit der Gase eine Funktion des lokalen Drucks.

Die Ergebnisse der mit einem Euler-Ansatz erzielten Berechnungen lassen sich übersichtlich als Funktionen des lokalen Partialdruckverhältnisses, des Gesamtdrucks und der Kühlmitteltemperatur darstellen. Fraglich ist dabei die Grenze für den Einsatz des Euler-Ansatzes.

Veröffentlichungen zu deutlich kleineren Kondensatoren (1-10 kg/h Eisabscheidung) an pharmazeutischen Anlagen zeigen die Vorteile einer CFD Simulation [1, 2]. In einem zweiten Beitrag soll deshalb ein neues Konzept für eine zukünftige CFD Lösung unter Berücksichtigung nicht kondensierbarer Gase mit einer ausreichenden Trocknungsleistung für große Anlagen und variabler Kondensatorgeometrie vorgestellt werden, das dann auch für niedrigere Drücke geeignet ist.

1 G. Shivkumar et al: Freeze-Dryer Equipment Capability Limit: Comparison of Computational Modeling With Experiments at Laboratory Scale. <https://doi.org/10.1016/j.xphs.2019.04.016>

2 A. Ganguly et al: Spatial variation of pressure in the lyophilization product chamber part 1: computational modeling. AAPS PharmSciTech. 2017; 18(3):577-585