

## **Innenkühlluftsysteme zur Vermeidung von Kondensatbildung**

Dipl.-Ing. Georg Burmann  
ETA Kunststofftechnologie GmbH  
Troisdorf

Dipl.-Ing. Klaus-Peter Löckener  
Bischof + Klein GmbH & Co.  
Lengerich

### **Einleitung und Ziele**

Ziel nahezu aller Optimierungsansätze im technischen Bereich ist die Steigerung von Effizienz und Wirtschaftlichkeit bei Herstellung und Verarbeitung von Rohstoffen aller Art. Speziell bei der Herstellung von Blasfolien wird die Wirtschaftlichkeit durch Optimierung folgender Kriterien gesteigert:

- Höhere Durchsatzleistungen
- Kürzere Umstellzeiten bei Produktwechseln
- Vermeidung von Stillstand- und Reinigungszeiten
- Einsparung von Rohstoffen und Energie

Beim Blasfolienprozess wird die Durchsatzleistung im Allgemeinen durch die Kühlleistung begrenzt. Hier setzen viele Optimierungsansätze an, beispielhaft seien hier der Einsatz von Innenkühleinrichtungen und auch Weiterentwicklungen von Kühllufttringen genannt.

### **Optimierung der Luftführung**

Untersuchungen, die hier am Institut für Konstruktion und Kunststoffmaschinen durchgeführt wurden [1] zeigen, dass Optimierungen „im Umfeld der Kühlluftführung“ noch wesentliche Verbesserungen hinsichtlich Qualität (Folientoleranzen) und Durchsatzleistung erwarten lassen.

Alles das, was für die Außenkühlung einer Folienblase gilt, ist prinzipiell auch für die Ausführung einer Innenkühlufteinrichtung anwendbar. Allerdings sind hier aufgrund der schlechten Zugänglichkeit des Blaseninneren wesentliche Verbesserungen nur sehr schwierig umsetzbar. Detailoptimierungen sind hingegen einfach durchführbar. Sie umfassen:

- Optimierte Kühlluftführung mit dem Ziel, einen möglichst konstant strömenden Innenkühlluftstrom – ohne instationäre Wirbel (Large Eddies) – auf die Blase treffen zu lassen
- Analog zum Außenkühlflurtring, Innenkühlung mit „Doppelspalt“
- Adaption der Kühlluftsituation „innen“ an die „Außensituation“
- Günstigere Gestaltung der Strömungskanäle und der Luftverteilung im Innenkühlluftsystem [2]

- Möglichkeit der Integration einer Stelleinrichtung zur Foliendickenregelung von „innen“ (K-Design Vario-Cool-Duo).

Zur Umsetzung ist eine optimierte Gestaltung des Innenkühlluftsystems (IKS) erforderlich. Aber auch das Extrusionswerkzeug muss, zur Durchführung von Zu- und Abluft mit möglichst freiem, gut isoliertem Innendurchmesser gestalten werden.

### **Vermeidung der Kondensatbildung**

Ein weiterer Aspekt der Produktionsoptimierung ist die Vermeidung unnötiger Anlagen-Stillstandszeiten, wie sie zur Reinigung der Düsenpalte und Kühlluftseinrichtungen erforderlich sind.

Produktionszyklen ergeben sich aufgrund erforderlicher Reinigung am Düsenaustrittsspalt und der Einrichtungen für den Innenluftaustausch. Beides sind „Verunreinigungen“ deren Ausprägung vom Rohstoff abhängen. Die Ausbildung von Bärten am Düsenaustritt wird von der Werkzeugbeschichtung und auch von Details der Austrittsspaltdimensionierung beeinflusst und hier nicht näher betrachtet.

Bei der Herstellung von Folien neigen besonders HDPE und MDPE Folien zur so genannten „Kondensatbildung“. Als Kondensat wird ein Gemisch aus Restmonomeren, Oligomeren, und Verarbeitungshilfsstoffen bezeichnet, die direkt nach dem Austritt der Schmelze aus dem Düsenpalt aus der Schmelzeoberfläche heraus diffundieren und vom Kühlluftstrom mitgeführt werden.

Der größte Anteil dieser Kondensate wird mit dem Abluftstrom aus dem System herausgeführt. Diejenigen Restkondensate, die sich auf den Oberflächen des IKS ablagern, laufen aufgrund der Schwerkraft herunter und werden letztendlich am Austrittsspalt des Kühlluftstroms von diesem mitgerissen und gegen die Innenoberfläche der Folienblase geschleudert. Diese Ölflecke können zu einer wesentlichen Qualitätsminderung des Endprodukts führen.

Für Produkte, an die hohe Anforderungen hinsichtlich der Reinheit der Verpackung gestellt werden, ist jede Kondensatbildung schädlich. Es sind dies besonders Verpackungsfolien für Medizintechnik-, Hygiene-, Lebensmittel- und Foto-Produkten. Ölflecke auf der Folieninnenseite kontaminieren dabei das zu verpackende Produkt und erzeugen ein – zumindest visuell – unsauberes Produkt. (z.B. Verpackung von Papiertaschentüchern oder Watte). Auch Siegelschichten an Lebensmittelverpackungen werden durch Öltröpfchen auf der Folie in ihrer Funktion nachteilig beeinflusst. Des weiteren beeinflussen feine

Öltröpfchen auf der Folieninnenoberfläche die Foliendicke nachteilig, da sich in einem solchen Punkt andere Abkühlbedingungen einstellen.

Bei LDPE-Folien ist eine Kondensatbildung nicht zu beobachten bzw. so gering, dass keine nachteiligen Auswirkungen zu beobachten sind. Am Markt ist jedoch die Tendenz zu beobachten, dass immer dünnere Folien Anwendung finden. Um jedoch gleich bleibende mechanische Eigenschaften (z.B. Steifigkeit für die Weiterverarbeitung in Verpackungsmaschinen) zu gewährleisten, werden zunehmend PE – Mischungen mit steigenden HDPE- und MDPE-Gehalten eingesetzt. Das Problem „Kondensatbildung“ wird deshalb sicher in der Zukunft an Bedeutung gewinnen.

Zur Vermeidung der Kondensatbildung bzw. zur Verminderung qualitätsmindernder Flecke werden verschiedene Lösungsansätze verfolgt:

- 1.) Oberfläche des Innenkühlsystems aus Werkstoffen mit geringer Wärmeleitfähigkeit.
- 2.) Einbau von „Kondensatspeichern“.
- 3.) Innenkühlluftsysteme mit Abtrennung der kalten Oberflächen von der kondensathaltiger (warmen) Kühlluft.

Mit den Systemen gemäß 1.) und 2.) wird ein Niederschlag auf der Oberfläche nur reduziert. System 3.) ist aufgrund der Trennung geeignet, die Reinigungszyklen erheblich zu verlängern.

Die genannten Qualitätskriterien erfordern eine regelmäßige Reinigung der Innenluftaustauschsysteme. Die Produktionserfahrungen bei Bischof + Klein haben gezeigt, dass durch eine geringere Anzahl der mit der Reinigung verknüpften Anlagenstillstände eine wesentliche Steigerung der Wirtschaftlichkeit einer Anlage verknüpft ist. Vor Einbau des ETA Innenkühlluftsystems (IKS) wurde die Innenkühlung pro Schicht einmal gereinigt. Jetzt ist eine Überprüfung mit vorsorglicher Reinigung nur alle 4 bis 5 Schichten erforderlich. Geht man davon aus, dass bei einer Anlage für eine erforderliche Reinigung eine Minderproduktion von 350 kg und ein Zeitbedarf von 1 Stunde angesetzt wird, so errechnet sich bei einem (zur Zeit sehr hohen) Rohstoffpreis von ca. 1,20 €/kg der Zugewinn recht einfach.

- [1] Spirgatis, J. Untersuchungen des Einflusses des instationären konvektiven Wärmeübergangs bei der Folienherstellung auf die Produktqualität  
Dissertation, Universität Duisburg-Essen, 2004
- [2] Sidiropoulos, V. The aerodynamics of blown film bubble cooling,  
Vlachopoulos, J. [www.polydynamics.com/  
Aerodynamics\\_of\\_Blown\\_Film\\_Bubble\\_Coolin.PDF](http://www.polydynamics.com/Aerodynamics_of_Blown_Film_Bubble_Coolin.PDF)  
- submitted for publication

# Innenkühlluftsysteme zur Vermeidung von Kondensatbildung

Dipl.-Ing. Georg Burmann  
Dipl.-Ing. Klaus-Peter Löckener

[Innenkühlluftsysteme zur Vermeidung von Kondensatbildung]

## Gliederung

Ziele und Ansätze für Optimierungen  
Allgemeine Anforderungen an Blasfolienwerkzeuge  
Kondensatbildung und Lösungen  
Funktionsweise eines Luftaustauschsystems  
Ausblick und Resüme

[Innenkühlluftsysteme zur Vermeidung von Kondensatbildung]

## Optimierungsziele im Blasfolienprozess



### Technische Ziele:

- Höhere Durchsatzleistungen
- Kürzere Umstellzeiten bei Produktwechseln
- Vermeidung von Stillstand- und Reinigungszeiten
- Verbesserung der optischen und mechanischen Folieneigenschaften
- Einsparung von Rohstoffen und Energie

### Wirtschaftliche Ziele:

- Produktivitätssteigerung
- Senken der Produktionskosten
- Gewinnmaximierung

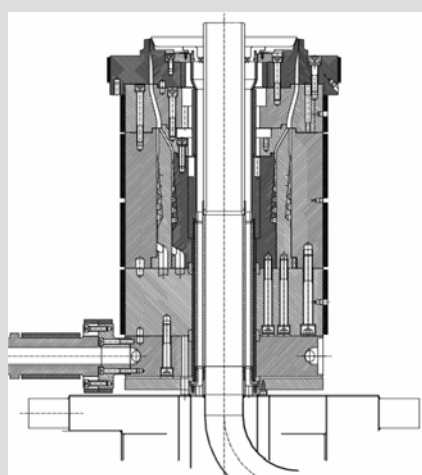
[Innenkühlungssysteme zur Vermeidung von Kondensatbildung]

## Blasfolienwerkzeuge mit freiem zentralem Innendurchmesser



**3-Schicht Blasfolienwerkzeug  
mit inverser Schmelzeführung**

[Innenkühlungssysteme zur Vermeidung von Kondensatbildung]



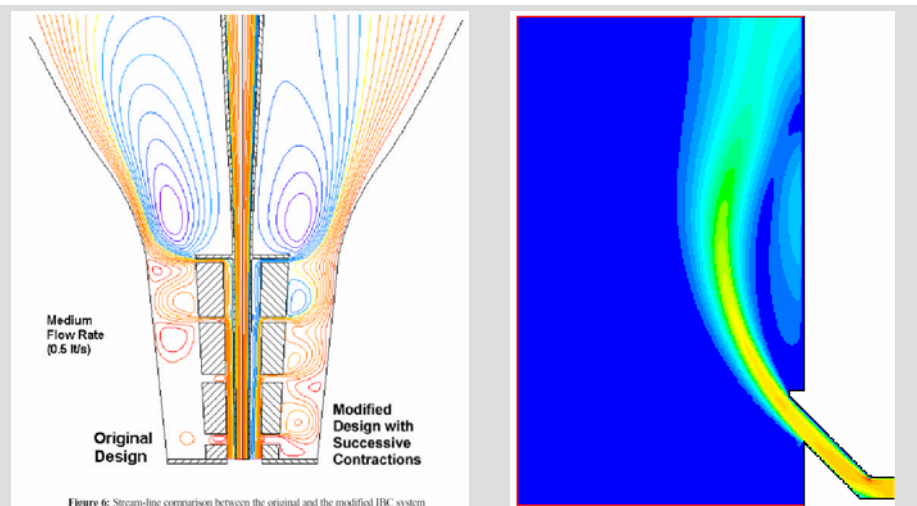
**2-Schicht Blasfolienwerkzeug  
Düsendurchmesser 400 mm**

## ETA-Innenkühlsystem für Blasfolie



[Innenkühlungssysteme zur Vermeidung von Kondensatbildung]

## Konzepte zur Kühlluftführung



### Innenkühlungssystem mit „Etagenkühlung“ [2]

### ETA IKS Kühlluftführung

[Innenkühlungssysteme zur Vermeidung von Kondensatbildung]

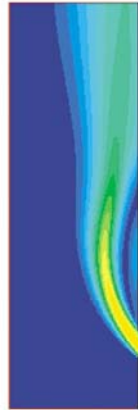
# ETA-Innenkühlsystem - Luftgeschwindigkeiten



## FEM Simulation

[m/s]

- 28,5-30
- 27-28,5
- 25,5-27
- 24-25,5
- 22,5-24
- 21-22,5
- 19,5-21
- 18-19,5
- 16,5-18
- 15-16,5
- 13,5-15
- 12-13,5
- 10,5-12
- 9-10,5
- 7,5-9
- 6-7,5
- 4,5-6
- 3-4,5
- 1,5-3
- 0-1,5

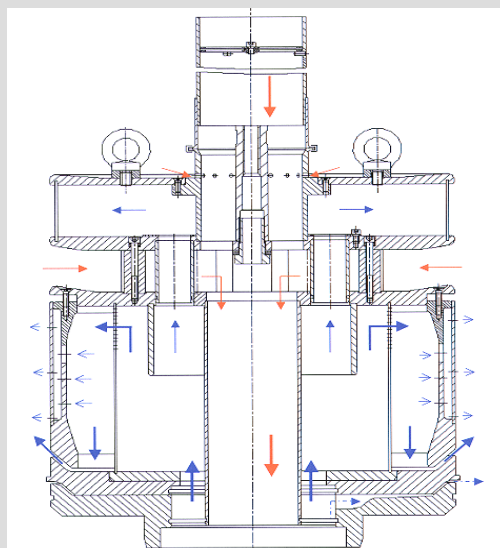


## Messung



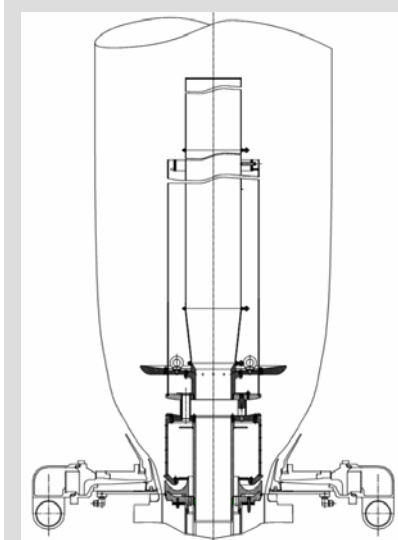
[Innenkühlurssysteme zur Vermeidung von Kondensatbildung]

# Luftverteilung (ETA-IKS 400)



[Innenkühlurssysteme zur Vermeidung von Kondensatbildung]

## Ausblick, weitere Entwicklungen

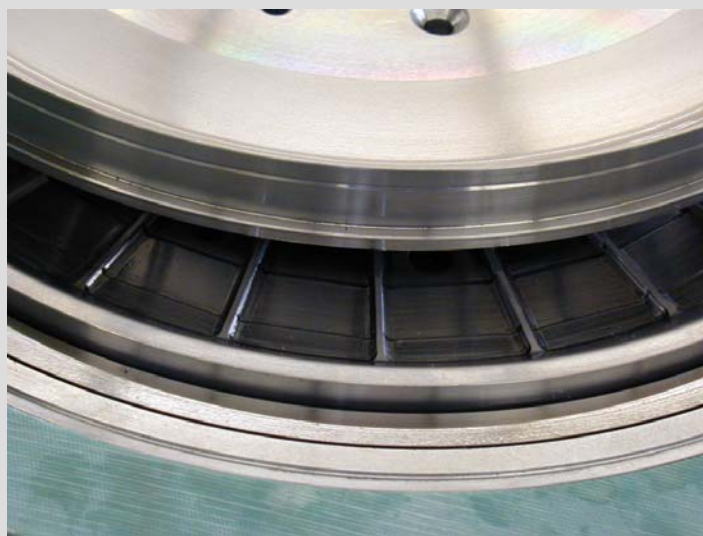


[Innenkühlungssysteme zur Vermeidung von Kondensatbildung]

Gezielte Kühlluftführung  
im Blaseninneren



## Integration einer Foliendickenregelung Vario-Cool-Duo (K-Design)



[Innenkühlungssysteme zur Vermeidung von Kondensatbildung]