

Abluftquerschnitte – wie groß, wie viele?

Bohrungen, Schlitze und Schlitzdüsen richtig auslegen

Abluftquerschnitte sind Öffnungen in einem Formwerkzeug, um darüber beim Formvorgang die zwischen beheiztem Halbzeug und Werkzeugwandung eingeschlossene Luft zu entfernen. Größe und Platzierung der Abluftquerschnitte haben Auswirkungen auf den Formprozess und die Formteilqualität.

Um beim Thermoformen ein Formteil mit hoher Ausformschärfe und gleichmäßigem Eigenschaftsprofil zu erhalten, muss das aufgeheizte Halbzeug beim Formen komplett und in möglichst kurzer Zeit an der Werkzeugwandung zum Anliegen kommen. Beim Vakuumformen wird dazu die zwischen Halbzeug und Werkzeug eingeschlossene Luft durch Abluftquerschnitte im Werkzeug abgesaugt, beim Druckluftformen durch diese Kanäle herausgedrückt. Sämtliche Öffnungen in einem Formwerkzeug, die dazu dienen, die Luft zwischen dem beheizten Halbzeug und der formgebenden Oberfläche des Werkzeugs zu entfernen, werden als Abluftquerschnitte bezeichnet. Sie können als Bohrungen, Schlitze oder als Schlitzdüsen ausgeführt werden. Eine weitere Möglichkeit zum Entlüften besteht darin, poröse, luftdurchlässige Werkstoffe einzusetzen, was aber nur im Einzelfall für den Bau von Prototypwerkzeugen genutzt wird.

Die einzelnen Abluftquerschnitte werden im Inneren des Formsegments



Becherwerkzeug mit Abluftbohrungen am Becherrand (Ausschnitt oben links) und am Becherboden (oben rechts) (Bilder: Illig)

über ein Kanalsystem zusammengeführt. Beim Vorblasen des Halbzeugs und beim Entformen des Formteils wird die dafür benötigte Luft in der Regel durch dieselben Kanäle eingeblasen. Nur in Ausnahmefällen, wenn beispiels-

weise beim Vorblasen an bestimmten Kanalquerschnitten Schreckmarken durch zu hohe Strömungsgeschwindigkeit entstehen könnten, werden die Kanäle für das Vorblasen und für das Evakuieren separat ausgelegt. »

Thermoformverfahren, Ausformung	Vakuum-Formung	OFF mit Vakuum	Druckluft-Formung < 2 bar	Druckluft-Formung 2 bis 6 bar	Druckluft-Formung > 6 bar
Bohrungen für Materialgruppe 1 [mm]	0,8	0,6	0,6	0,5	0,4
Schlitze für Materialgruppe 1 [mm]	0,50	0,30	0,30	0,30	0,30
Bohrungen für Materialgruppe 2 [mm]	0,6	0,5	0,5	0,4	0,3
Schlitze für Materialgruppe 2 [mm]	0,30	0,20	0,20	0,20	0,20
Materialgruppe 1	PSHI, ABS, OPS, ASA, SAN, PVC-U, PMMA, PC, PPO, PA6GF15Z, PA12, APET, PETG, CPET, PSU, PES, PPS, CA, PVDF, PEI, PLA				
Materialgruppe 2	PP, PE-HD, TPE, PAN, PAR, POM, COC				

Tabelle 1. Empfohlene Größen für Abluftquerschnitte (Bohrungen und Schlitze), je nach eingesetztem Material und Formverfahren; OFF: Oberflächenformung – beinhaltet das Abformen von Oberflächenstrukturen des Formwerkzeugs, beispielsweise einer Ledernarbung oder einer feinen Maserung

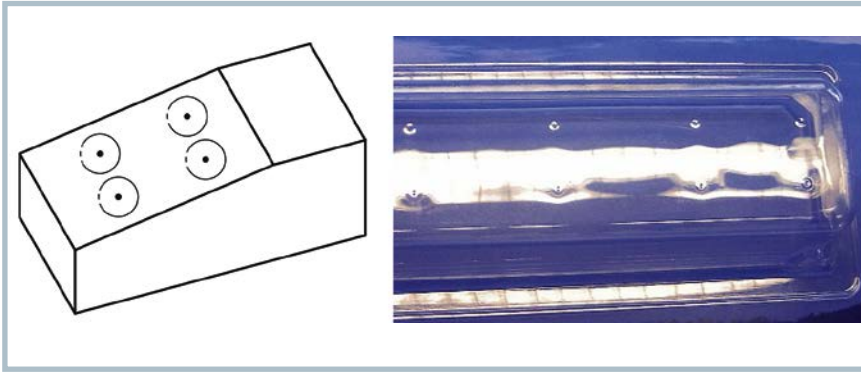


Bild 1. Kreisförmige Markierungen entstehen rings um Abluftbohrungen im Werkzeug, sichtbar insbesondere an glasklaren Formteilen (rechts)

Wichtig ist, dass die Luft im Bereich der gesamten Formfläche entfernt wird, auch im später abgetrennten Abfallbereich des Formteils. Nur die Anlage des Halbzeugs auf der gesamten Fläche des Formsegments erlaubt eine kontrollierte Kühlung des Formteils, was dessen Gebrauchseigenschaften entscheidend beeinflusst.

Abluftquerschnitte richtig dimensionieren

Die Einzelquerschnitte (Bohrungen, Schlitze) sollten nicht zu groß dimensioniert sein, weil sie sonst sichtbare Abdrücke (Markierungen) am Formteil hinterlassen (**Bild 1**). Solche Markierungen – meist kreisförmig ausgeprägt – können auch entstehen, wenn die Oberfläche des

Formsegments sehr glatt ist und die Abluftbohrung beim Ausformen verschlossen wird, bevor das Halbzeug komplett an der Formsegmentwandung anliegt. Dadurch bleibt Luft zwischen Formteil und Formsegment eingeschlossen. Falsch platzierte Abluftbohrungen auf der Werkzeugoberfläche verursachen ebenfalls Markierungen, wenn damit wie in **Bild 1** glasklare Formteile hergestellt werden sollen. Dies ist ein typischer Fehler bei Positiv-Formsegmenten, die für die Produktion von transparenten Blisterhauben eingesetzt werden. Einfluss auf die „zulässige“ Größe von Abluftquerschnitten hat neben der verarbeiteten Materialart auch das Formgebungsverfahren, d.h., ob es sich um eine Vakuum- oder eine Druckluftformung handelt (**Tabelle 1**). Zu groß

oder zu klein dimensionierte Querschnitte haben beide Folgen, jedoch unterschiedliche.

Abluftquerschnitte sind zu groß

Halbzeuge der Materialgruppen 1 und 2 gemäß **Tabelle 1** unterscheiden sich in der erzielbaren Ausformschärfe des Formteils bzw. der Abbildegenauigkeit von Oberflächenstrukturen eines Formsegments: Materialien der Gruppe 2 lassen sich schärfer ausformen als Materialien der Gruppe 1. Dies hat auch Auswirkungen auf die Abbildung der Umriss- von Abluftquerschnitten, seien es Bohrungen oder Schlitze. Wählt man beispielsweise beim Umformen eines Halbzeugs der Materialgruppe 2 aus **Tabelle 1** die Abluftöffnungen für Materialgruppe 1, also zu groß, bilden sich die Konturen der Abluftöffnungen als besonders starke Markierungen am Fertigteil ab:

- Formt man mit einem für PSHI gebauten Werkzeug, ausgestattet mit den entsprechend großen Abluftquerschnitten der Materialgruppe 1, ein Halbzeug aus PP (Gruppe 2), dringt im Extremfall der heiße Kunststoff so tief in die Abluftbohrungen bzw. Abluftschlitze ein, dass es sogar zu Schwierigkeiten beim Entformen kommt. Gleichzeitig sind dann auf dem Fertigteil „unschöne“ kleine Zapfen zu sehen (**Bild 2**).

Abluftquerschnitte sind zu klein

Werden die Einzel-Abluftöffnungen entgegen der Empfehlung zu klein dimensioniert, wobei aber die Summe der Abluftquerschnitte für die erforderliche Entlüftung ausreicht, hat dies keine negativen Auswirkungen auf die Formteilqualität (keine Markierungen). Negativ beeinflusst werden allerdings die Herstellkosten für das Formwerkzeug: Die Werkzeugkosten sind deutlich höher als bei Einhaltung der in **Tabelle 1** empfohlenen, größeren Abluftquerschnitte. Ein Beispiel:

- Für einen Gesamt-Abluftquerschnitt von 10 mm^2 sind bei einem Bohrungsdurchmesser von $0,8 \text{ mm}$ insgesamt 20 Bohrungen erforderlich,
- bei $0,3 \text{ mm}$ Durchmesser aber ein Vielfaches davon, nämlich insgesamt 142 Bohrungen.

Bei dem für die Ausführung erforderlichen erhöhten Arbeits- und Zeitaufwand

Wert	Anwendungsbereich
0,4	Vakuumformung, Negativformung mit Vorstrecker
0,5	Vakuumformung, Positiv- oder Negativformung, jeweils ohne Vorstrecker
0,75	Druckluftformung, Negativformung mit Vorstrecker
0,9	Druckluftformung mit Vakuumunterstützung, Negativformung mit Vorstrecker
0,6	bei 2 bar Druckluftformung ohne Vorstrecker
1,2	bei 4 bar Druckluftformung ohne Vorstrecker
1,7	bei 6 bar Druckluftformung ohne Vorstrecker
2,2	bei 8 bar Druckluftformung ohne Vorstrecker
0,8	bei 2 bar Druckluft- und Vakuumformung kombiniert, ohne Vorstrecker
1,3	bei 4 bar Druckluft- und Vakuumformung kombiniert, ohne Vorstrecker
1,8	bei 6 bar Druckluft- und Vakuumformung kombiniert, ohne Vorstrecker
2,2	bei 8 bar Druckluft- und Vakuumformung kombiniert, ohne Vorstrecker

Tabelle 2. Faktor F_v für den Volumenstrom der Abluft

Wert	Anwendungsbereich
0,15 bis 0,2 [s/100 mm]	für Maschinen ab 35 Takte/min
0,2 bis 0,3 [s/100 mm]	für Maschinen bis 35 Takte/min
0,4 bis 0,5 [s/100 mm]	für Plattenmaschinen

Tabelle 3. Spezifische Absaugzeit pro 100 mm Ziehtiefe

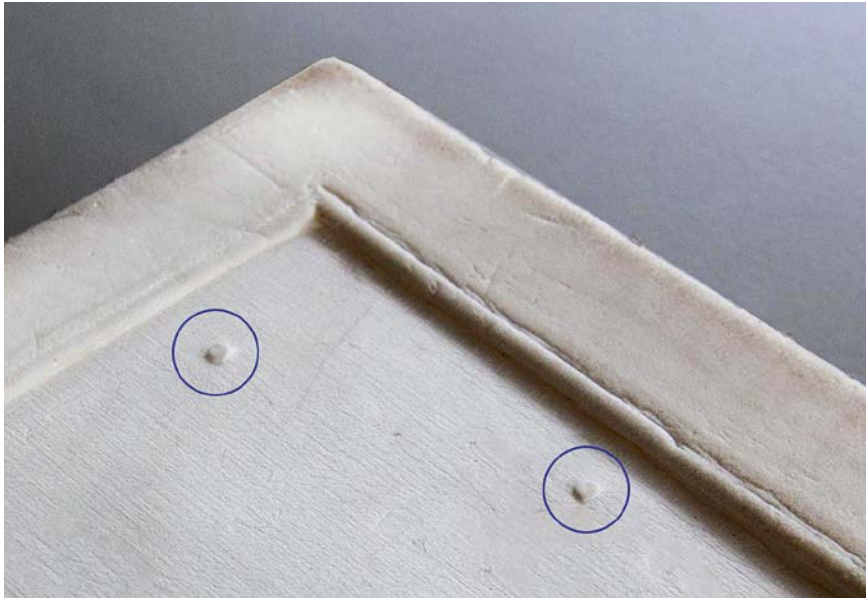


Bild 2. Sichtbare „Zapfen“ auf der Formteiloberfläche, entstanden als Abbild von Abluftbohrungen (umgeformt wurde hier eine Schaumfolie)

ist zusätzlich zu berücksichtigen, dass auch die Herstellung einer 0,3mm-Bohrung deutlich teurer ist als die einer 0,8mm-Bohrung.

Abluftquerschnitte berechnen

Der für die störungsfreie Herstellung eines Formteils insgesamt erforderliche Abluftquerschnitt (Summe der Einzelquerschnitte) eines Werkzeugs kann wie folgt ermittelt werden:

$$A = 4 \cdot \frac{F_V}{0,5} \cdot \frac{100}{Ziehtiefe} \cdot \frac{\text{zu evakuierendes Volumen}}{\text{spezifische Absaugzeit}} \cdot F_r \cdot F_k \quad (1)$$

Dieser Berechnungsansatz ist für die Auslegung von Abluftquerschnitten im Thermoformen einfach anwendbar, aus-

Wert	Anwendungsbereich
1,0 bis 2,0	für sehr kurze Abluftwege aus dem Werkzeug werden kleinere Werte (ab 1,0) angesetzt, der Wert 2,0 für ein kompliziertes Abluftkanalsystem

Tabelle 4. Faktor F_r für den Rückstau der Abluft im Luftkanalsystem

Wert	Anwendungsbereich
1,0	für saubere, gratfreie Abluftquerschnitte
1,0 bis 2,0	für Abluftquerschnitte mit Grat, der den Durchfluss der Abluft behindert

Tabelle 5. Faktor F_k für die Ausführungsqualität der Kanten der Abluftquerschnitte

reichend genau und in der Praxis erprobt (**Link für weitere Informationen im Service-Kasten**). In diesem Ansatz sind A der erforderliche Abluftquerschnitt in mm^2 , F_V ein Faktor für den Volumenstrom der Abluft (Werte entsprechend **Tabelle 2**), die Ziehtiefe des Formteils in mm, das zu evakuierende Abluftvolumen in l, die spezifische Absaugzeit in s/100 mm (**Tabelle 3**), F_r ein Faktor für den Rückstau der Abluft im Luftkanalsystem (**Tabelle 4**) sowie F_k ein Faktor für die Ausführungsqualität der Kanten der Abluftquerschnitte (**Tabelle 5**).

Formel 1 kann für zwei Schritte angewandt werden:

- im ersten Schritt zur Berechnung des erforderlichen Gesamt-Abluftquerschnitts und
- in einem zweiten Schritt auch zur Berechnung des Abluftquerschnitts für einen Teilbereich des Formsegments, in dem die Folie beispielsweise zeitverzögert zur Anlage an die Werkzeugwandung kommt.

Ein Beispiel

Bei einer Plattenmaschine mit Vakuumformung kommt ein Negativwerkzeug mit Vorstreckstempel zum Einsatz. Angenommene Parameter für Formteil und Werkzeug sind:

- Die Ziehtiefe des Formteils beträgt 250 mm, das Luft-Absaugvolumen im Formsegment 200 l.

- Die Luft wird über Schlitze im Werkzeugboden abgesaugt; die Schlitzbreite beträgt 0,5 mm, die Gesamtlänge der Schlitze 1900 mm.
 - Das Abluftkanalsystem ist mehrstufig ausgelegt; hierfür wird ein Rückstaufaktor von $F_r = 1,5$ angesetzt.
 - Die Kanten der Abluftschlitze sind gratfrei; als Faktor für die Ausführungsqualität wird daher $F_k = 1,0$ angesetzt.
- Gemäß **Formel 1** ergibt sich damit ein erforderlicher Gesamtquerschnitt für die Abluftkanäle von mindestens:

$$A = 4 \cdot \frac{0,4}{0,5} \cdot \frac{100}{250} \cdot \frac{200}{0,5} \cdot 1,5 \cdot 1 = 768 \text{ mm}^2 \quad (2)$$

Mit dem im Werkzeug realisierten Abluftquerschnitt von insgesamt 950 mm^2 (0,5 mm Breite x 1900 mm Länge) ist demnach das Absaugen der eingeschlossenen Luft zwischen Halbzeug und Formsegment beim Ausformen zum Formteil störungsfrei möglich. ■

Der Autor

Dipl.-Ing. Peter Schwarzmann ist öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger der IHK Heilbronn-Franken für Thermoformen/Warmumformen und beratend tätig für die Illig Maschinenbau GmbH & Co. KG, Heilbronn; peter.schwarzmann@illig.de

Aus der Praxis — für die Praxis

Neunter Beitrag aus der Artikelreihe über Praxiswissen für Thermoformer. Die hierzu veröffentlichten Beiträge geben Antworten auf Fragen, die über Jahre in zahlreichen Kundenschulungen und praxisorientierten Fortbildungen gestellt wurden. Jeder Beitrag behandelt in der Regel ein abgeschlossenes Thema.

Service

Digitalversion & weitere Informationen

- » Ein PDF des Artikels sowie Informationen zum im Test ermitteltem Fließverhalten von Luft finden Sie unter www.kunststoffe.de/1070127

English Version

- » Read the English version of the article in our magazine *Kunststoffe international* or at www.kunststoffe-international.com