

Einen kühlen Kopf bewahren

Wanddickenverteilung beim Thermoformen durch Kühlstempel anpassen

Durch eine gezielte Temperaturprofilierung der Folienhalbzeuge wird eine gleichmäßigere Wanddickenverteilung von thermogeformten Produkten erreicht. Kühlstempel sorgen dabei für lokal niedrige Folientemperaturen und damit höhere Verstreckwiderstände. Die kritischen Bereiche der Halbzeuge werden weniger verstreckt und Dünnstellen werden vermieden.

Eine materialeffiziente Produktion ist im Thermoformen aufgrund der hohen Materialkosten unabdingbar [1–3], sodass eine homogene Wanddickenverteilung der Formteile wie z.B. Joghurtbecher angestrebt wird. Beim Umformprozess mit Formluft ohne Verstreckhilfen ist problematisch, dass eine ungleichmäßige Wanddickenverteilung aufgrund von lokal unterschiedlichen Verstreckwegen der Folie in der Kavität resultiert. Bei rotationssymmetrischen Becherformteilen liegt die Dünnstelle meist im Übergangsbereich vom Formteilboden zur -wand. Abhilfe schafft eine Temperaturprofilierung der Folie. Durch diese kann eine gezielte Anpassung des Verstreckwiderstandes des Kunststoffes lokal erfolgen, sodass ein gleichmäßiges Ausdünnen der Folie bei verschiedenen

Verstreckwegen ermöglicht wird. Die nötigen Temperaturprofile auf der Folie können durch verfahrenstechnische Modifikationen wie einer Maskenprofilierung erzeugt werden [3–8].

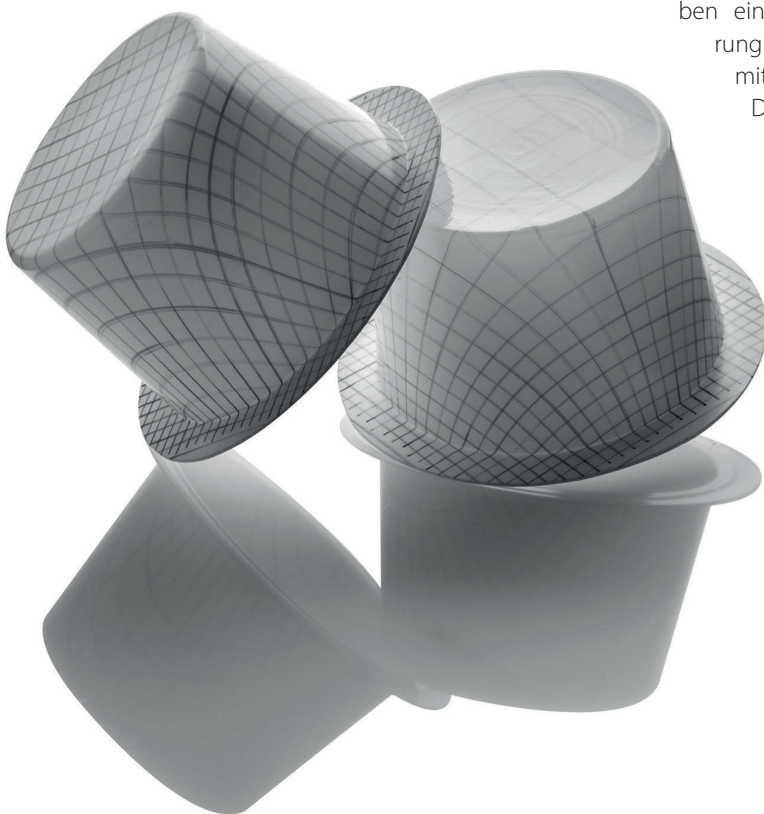
Aktive Kühlung der Folien

Ein weiterer Ansatz zur Homogenisierung der Wanddickenverteilung (WDV) ist der Einsatz eines Kühlstempels, der den klassischen Vorstreckstempel im Thermoformwerkzeug ersetzt. Dieser entzieht der Folie nach dem homogenen Aufheizen im Kontaktbereich die Wärme. In **Bild 1** ist die aktive Kühlung mittels Kühlstempel schematisch dargestellt.

Die Kühlung der Vorstreckstempel kann z.B. durch eine Fluidtemperierung erfolgen. Untersuchungen am Institut für Kunststoffverarbeitung zeigen, dass neben einer Wassertemperierung auch eine Kühlung mittels CO₂ möglich ist. Das Kühlmedium (CO₂) wird durch einen hohl

ausgeführten Stempel geleitet, wodurch dieser abkühlt [5]. So können Kühlstempelttemperaturen unterhalb der Raumtemperatur erreicht werden.

Zum Ermitteln des Einflusses der Temperaturprofilierung mittels lokaler Kühlung durch Kühlstempel wurden in einem ersten Schritt verschiedene Stempelüberstände (0 mm, 4 mm; vgl. **Bild 1**) sowie variierende Verzögerungszeiten der Formluftzuschaltung nach Schließen des Werkzeugs (0 s, 0,1 s und 0,2 s) untersucht. Durch den Stempelüberstand sowie durch die Verzögerungszeit werden die Wärmeausgleichsvorgänge länger und die Folienbereiche stärker gekühlt. Die Folie tritt bei einem größeren Stempelüberstand bei der Schließbewegung des Werkzeugs früher mit dem Stempel in Kontakt. Weiterhin werden die Stempeldurchmesser variiert. Beim verwendeten Formteil handelt es sich um einen Becher mit einem Öffnungsdurchmesser von 60 mm, einer Tiefe von 40 mm sowie einer Entformungsschräge von 4°. Für die Versuche wird eine Polystyrol-Folie mit einer Dicke von 0,8 mm der W.u.H. Fernholz GmbH & Co. KG, eingesetzt. Die Formteile werden über den gesamten Becherquerschnitt an den Messpunkten (MP) vermessen und die gegenüberliegenden Messpunkte anschließend gemittelt. Die Wanddickenmessungen erfolgen im Abstand von jeweils 5 mm. Pro Versuchspunkt werden fünf Formteile hergestellt. Die Wanddickenverteilung ist in **Bild 2** für eine verbesserte Übersicht anhand von einer Formteilhälfte dargestellt. MP 1 befindet sich mittig im Formteilboden, während MP 14 an der Formteilöffnung lokalisiert ist. Im Übergangsbereich von MP 6 zu MP 7 ist die charakteristische Dünnstelle des Formteils zu erkennen, die bei einer Formung ohne Verstreckhilfen nur



Bei rotationssymmetrischen Becherformen kann im Übergangsbereich vom Formteilboden zur -wand durch den Umformprozess eine Dünnstelle entstehen

© IKV/Fröls

mit Formluft auftritt. Die Darstellung der Temperaturverläufe auf dem Halbzeug nach dem Aufbringen der Temperaturprofile erfolgt analog, wobei die Messabstände bei einem Kavitätsthroughmesser von 60 mm auf dem Halbzeug 2 mm betragen [5].

Die Durchführung der Versuche erfolgt auf einer Einstationenformanlage mit ausgelagerter Heizstation Kiefel KD 20/25 der Kiefel GmbH, Freilassing. Die Prozesseinstellungen für die Formung sind in **Tabelle 1** zusammengefasst. Anzumerken ist, dass der Stempelüberstand nicht in eine zusätzliche Kontaktzeit verrechnet werden kann. Durch den Stempelüberstand erfolgt eine geringfügige Ver Streckung des Materials, die einem Vorstreckstempel ähnelt. Vorherige Untersuchungen ergaben, dass zum Aufbringen eines Temperaturprofils, durch welches die Ver Streckwiderstände der Folie ausreichend beeinflusst werden, eine Verzögerungszeit bis zum Zuschalten der Formluft notwendig ist. Weitere Informationen dazu können [5] entnommen werden. Um die Folientemperatur und damit die Ver Streckwiderstände so anzupassen, dass die Wanddickenverteilung beeinflusst wird, muss die Kontaktzeit erhöht werden. Durch diese Verzögerungszeit sowie dem Stempelüberstand werden Temperaturprofile mit größeren Temperaturgradienten erzeugt.

Analyse der Temperaturprofilierung

Zur Bewertung der Temperaturprofile wurden Aufnahmen mittels einer Thermografiekamera vom Typ A320 der Flir Systems Inc. gemacht und mit dem Softwareprogramm Flir Systems ausgewertet.

In **Bild 3** sind ausgewählte Ergebnisse gezeigt, die den Einfluss der Kühlstempel verdeutlichen. Die dazugehörigen Temperaturprofile sind im Diagramm in **Bild 4** dargestellt. Wie anhand der resultierenden Temperaturverläufe zu erkennen ist, führt ein längerer Kontakt zwischen Folie und Stempel aufgrund der verlängerten Wärmeabfuhr zu lokal niedrigeren Folientemperaturen. Der Stempelüberstand erhöht die Kontaktzeit zusätzlich, da beim Zufahren des Werkzeugs der Kühlstempel mit der Folie früher in Kontakt tritt. Allerdings wird das Material dabei über den Stempel gezogen, sodass bereits eine geringe Ver Streckung erfolgt. Die deutliche Temperaturabnahme im Bereich der

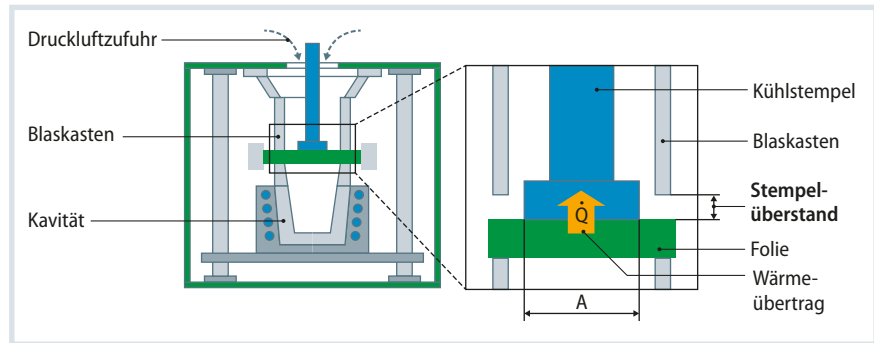


Bild 1. Schematische Darstellung der aktiven Kühlung mittels Kühlstempel [5]

Quelle: IKV; Grafik: © Hanser

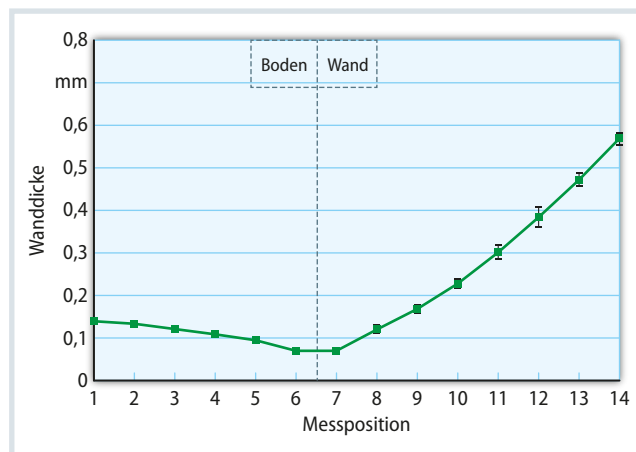


Bild 2. Messpositionen des Formteils und Wanddickenverteilung eines nur mit Formluft hergestellten Formteils [5]

Quelle: IKV; Grafik: © Hanser

Messposition 9 zeigt den Bereich der Folie, der mit dem Stempel in Kontakt tritt und in Abhängigkeit der Verzögerungszeit bzw. des Stempelüberstand besonders stark gekühlt wird. Von der Ausgangstemperatur der Folie von 120 °C beträgt die Temperaturabnahme bis zu 15 K. Durch den leichten Durchhang der Folie von ca. 2 mm in der Halbzeugmitte nach der Erwärmung führt ein vollflächiger, planer Kühlstempel zu einem eher ringförmigen Kreiskontakt. Der innere Bereich der Folie direkt unter dem Stempel

(MP 1) wird jedoch aufgrund von Wärmestrahlung und Konvektionseffekten ebenfalls leicht gekühlt, sodass die lokale Temperatur je nach Prozesseinstellung von 120 °C auf bis zu 109 °C abfällt.

Wanddickenverteilung der Formteile

Die Wanddickenverteilung der Becherformteile ist in **Bild 5** dargestellt. Wird ein Stempelüberstand von 0 mm in Relation zum Blaskasten verwendet, so tritt die Folie mit dem Kühlstempel erst in Kontakt,

Ergonomische Mikroskope und Messsysteme

Vision
ENGINEERING

Vision Engineering Ltd. | info@visioneng.de | www.visioneng.de

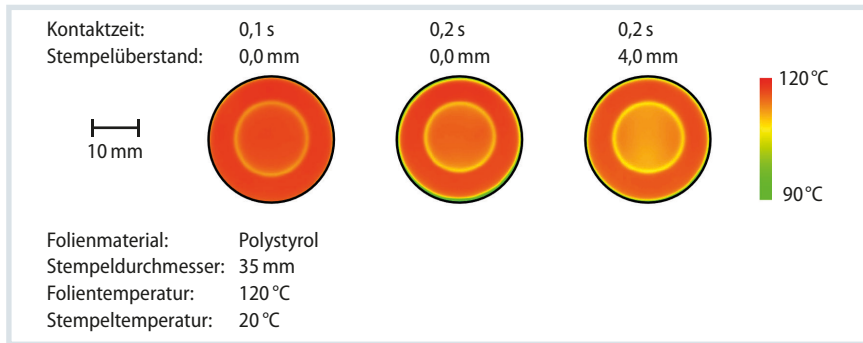


Bild 3. Temperaturprofile auf dem Halbzeug bei variierenden Prozesseinstellungen

Quelle: IKV; Grafik: © Hanser

wenn das Werkzeug vollständig geschlossen ist. Die Wärmeabfuhr wird somit nur in der Zeit von 0,1 s bzw. 0,2 s ermöglicht. Die Kontaktzeiten reichen aus, um die Wanddicke im Bodenbereich von MP 1 bis MP 4 zu erhöhen. Die geringeren Folientemperaturen führen zu einem ver-

änderten Materialverhalten. Bei niedrigen Folientemperaturen resultieren entsprechend höhere Verstreckwiderstände, sodass das Material in dem Bereich weniger ausdünn. Wird der Bodenbereich des Formteils (MP 1) aufgrund der geringeren Folientemperaturen in der Halbzeugmitte weniger verstreckt, wird der Formteilwandbereich von MP 10 bis MP 14 aufgrund der Materialkonstanz der Formteile stärker ausgedünnt.

Der Stempelüberstand beeinflusst die Dicke des Formteilm Bodens

Bei einer Erhöhung des Stempelüberstands, die zu einem längerem Stempelkontakt führt, werden die Folientemperaturen reduziert. Die Verstreckwiderstände erhöhen sich, was in den deutlich dickeren Formteilm Böden resultiert. Mit bis zu ca. 0,5 mm Foliendicke nach 0,2 s Kontaktzeit sowie einem Stempelüberstand von 4 mm ist der Formteilm Boden fast doppelt so dick wie bei einer Verzögerungszeit von 0,1 s und 0 mm Stempelüberstand. Zur Verdeutlichung des geringen Einflusses des Stempelüberstandes ohne Formluftverzögerung auf die Wanddickenverteilung wird die Verteilung bei 4 mm Überstand und 0 s Verzögerungs-

zeit zusätzlich dargestellt. Die Wanddickenverteilung ähnelt stark der des nur mit Formluft geformten Formteils aus **Bild 2**. Eine für das Thermoformen typische Herausforderung stellen Schreckmarken dar, die aufgrund einer Halbzeugkühlung durch Kontakt mit dem Werkzeug oder dem Kühlstempel entstehen. Schreckmarken werden im allgemeinen als Fehlstellen wahrgenommen, da sie bei transparenten Formteilen das Erscheinungsbild negativ beeinflussen [1, 3, 5]. Insbesondere an MP 8 und MP 9 sind diese Schreckmarken zu erkennen. Die lokalen Verdickungen von bis zu 0,3 mm sind an den Stellen, an denen Kontakt zum Kühlstempel besteht, besonders stark ausgeprägt. Die Verdickungen entstehen durch die starke Abkühlung der Folie (bis zu 15 °C, vgl. **Bild 4**). Die Position der Schreckmarke sowie die Standardabweichungen der Dicke variieren vergleichsweise stark, was darauf zurückzuführen ist, dass die Schreckmarkenposition zwischen den Messpositionen variiert. Der Wandbereich ist wenig beeinflusst, da dort die Folientemperatur bei allen Prozesseinstellungen kaum verändert wird. Die leichten Unterschiede entstehen aufgrund der unterschiedlichen Verstreckungen im Boden- bzw. Schreckmarkenbereich. Aufgrund der Materialkonstanz werden die Wände vom Formteil mit mehr Material im Boden- und Schreckmarkenbereich im Wandbereich stärker ausgedünnt. Die gleichmäßigste Wanddickenverteilung resultiert bei einer Verzögerungszeit von 0,2 s und einem Stempelüberstand von 0 mm. Eine Anpassung der Wanddickenverteilung mittels lokaler aktiver Kühlung ist somit möglich.

Neben der Prozesseinstellung hat auch der Kühlstempeldurchmesser einen Einfluss auf die WDV. Die Schreckmarkenposition kann beeinflusst werden, wenn durch einen geeigneten Stempeldurch-

Die Autoren

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Christian Hopmann

ist Leiter des Instituts für Kunststoffverarbeitung (IKV) in Industrie und Handwerk an der RWTH Aachen.

Dennis Balcerowiak, M.Sc., ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Bereich Thermoformen am IKV; dennis.balcerowiak@ikv.rwth-aachen.de

Dr.-Ing. Martin Facklam ist Leiter der Abteilung Extrusion und Kautschuktechnologie am IKV

Dank

Das IGF-Forschungsvorhaben (AiF-Forschungsvorhaben Nr. 20737 N) der Forschungsvereinigung Kunststoffverarbeitung wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Die Autoren bedanken sich für die Förderung und bei den beteiligten Unternehmen.

Service

Literatur & Digitalversion

Das Literaturverzeichnis und ein PDF des Artikels finden Sie unter www.kunststoffe.de/onlinearchiv

| Parameter | Einheit | Prozesseinstellungen |
|--------------------------------------|---------|-----------------------------|
| Stempeldurchmesser | [mm] | 22,5; 25,0; ...; 32,5; 35,0 |
| Stempeltemperatur | [°C] | 20 |
| Folientemperatur | [°C] | 120 |
| Kühlstempelüberstand über Blaskasten | [mm] | 0, 4 |
| Formluftverzögerungszeit | [s] | 0; 0,1; 0,2 |
| Formluftdruck | [bar] | 5 |
| Formluftdauer | [s] | 3 |

Tabelle 1. Stempeldurchmesser sowie Prozessparameter für die Thermoformversuche

Quelle: IKV

messer andere Verstreckbedingungen erzeugt werden. In **Bild 6** sind die Wanddickenverteilungen beim Einsatz von Stempeldurchmessern von 22,5 bis 35 mm dargestellt. Der Stempelüberstand beträgt 0 mm und die Kontaktzeit 0,2 s. Mit abnehmendem Stempeldurchmesser werden die Halbzeuge in Richtung Mitte stärker gekühlt und daher weniger verstrekt. Der Bodenbereich beim Einsatz von 22,5 mm Kühlstempeln zeigt jedoch, dass die Positionierung der Schreckmarke und die leichten Verzerrungen der Folie während der Umformung die genaue Positionierung der dickeren Formteilmereiche erschweren. Die Wanddicke liegt bei ca. 0,45 mm und nimmt bis zum Übergangsbereich von MP 6 bis 7 stark ab. Der Bereich wird wie auch bei reiner Formluftzuschaltung stark ausgedünnt, wodurch sich zeigt, dass der Kühlstempeldurchmesser von 22,5 mm für eine gleichmäßige Wanddickenverteilung nicht geeignet ist. Die homogensten Wanddickenverteilungen resultieren beim Einsatz der Stempel mit den Durchmessern von 27,5 bzw. 30,0 mm. Die gekühlten Bereiche entsprechen denen, die bei der Verstreckung in den stark verstreckten Formteilmereichen resultieren. Die Wanddicken im Übergangsbereich von MP 6 und MP 7 (ca. 0,18 mm) werden gegenüber der reinen Formluftumformung mehr als verdoppelt (**Bild 2**, 0,06 mm). Die Bereiche von MP 11 bis MP 14 des Formteils verbleiben vergleichsweise dick, da diese der freien Verstreckung ohne Temperatureinfluss unterliegen.

Fazit und Ausblick

Gezeigt werden konnte, dass die WDV durch den Einsatz von CO₂-Kühlstempeln vergleichmäßigt wird, wenn die Kühlzeiten sowie die Kühlstempelgeometrie entsprechend aufeinander abgestimmt werden. Weiterhin weist der Stempelüberstand einen Einfluss auf, weil zum einen das Material durch den Kontakt während der Schließbewegung des Werkzeugs vorgeformt und zum anderen die Kontaktzeit erhöht wird. Aus der erhöhten Wärmeabfuhr resultieren niedrigere lokale Folientemperaturen, die zu erhöhten Verstreckwiderständen des Kunststoffes führen. In zusätzlichen Untersuchungen wird der Einfluss der Stempelgeometrie weiteruntersucht, um die Schreckmarken im Formteilmereichen nach

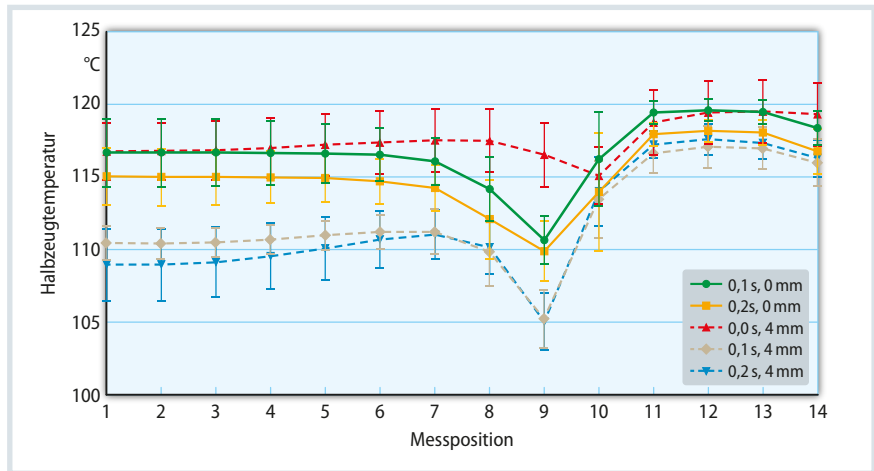


Bild 4. Temperaturverlauf über dem Halbzeug bei variierten Formluftverzögerungszeiten sowie Stempelüberständen Quelle: IKV; Grafik: © Hanser

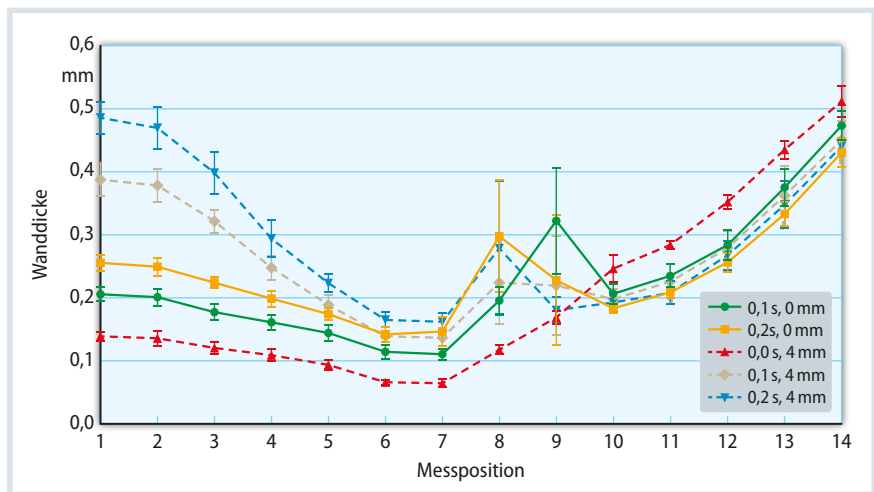


Bild 5. Wanddickenverteilung der Becherformteile bei verschiedenen Kontaktzeiten sowie Stempelüberständen Quelle: IKV; Grafik: © Hanser

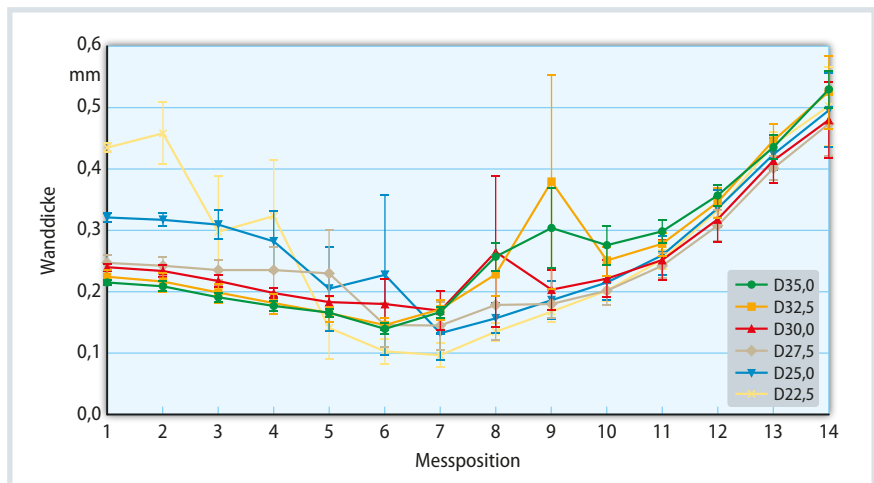


Bild 6. Wanddickenverteilung der Becherformteile bei verschiedenen Stempeldurchmessern Quelle: IKV; Grafik: © Hanser

Möglichkeit zu minimieren. Dazu werden Beschichtungen eingesetzt, die das Abgleiten der Folie vom Stempel verbessern sollen. Zusätzlich werden an Stempeln

Radien vorgesehen, die den Bereich des Erstkontakts mit der Folie vergrößern, sodass die Kühlung nicht punktuell, sondern flächiger erzeugt wird. ■