



Runde Flexringhülse mit einem Durchmesser von 43 mm, die zu Demonstrationszwecken mithilfe von Stellschrauben rein linearelastisch deformiert worden ist

## Illusion oder Zukunft?

**Flexringtechnik.** Durch den Einsatz einer dynamischen radialen Wanddickensteuerung gelingt es inzwischen auch, kleine blasgeformte Hohlkörper mit einer verbesserten Qualität herzustellen und dabei gleichzeitig die Zykluszeit weiter zu verkürzen. Die höhere Wanddickengenauigkeit verringert zudem den Materialeinsatz.

**HEINZ GROSS**

**K**leine Flaschen mit Füllvolumina von 1 Liter und weniger, die heute blasgeformt werden, besitzen nur noch ganz selten einen für den Verfahrenstechniker optimalen runden Flaschenkörper. Meist sind es Designer, die Flaschenkörper kreieren, die immer weiter von der für das Extrusionsblasformen idealen runden Geometrie abweichen. Bis heute muss der Blasformer bei der Fertigung derartiger Flaschen immer einen verfahrenstechnischen Kompromiss akzeptieren, da bisher keine überzeugende Lösung existierte, mit der die angestreb-

te Wanddickenverteilung in den Flaschen erreicht werden konnte. Man behilft sich bis heute mangels Alternativen notdürftig mit einer statischen Profilierung des Fließkanals im Blaskopf, was natürlich zur Folge hat, dass weder der runde Verschlussbereich der Flasche noch der von der runden Geometrie abweichende Flaschenkörper eine wirklich zufriedenstellende Wanddickenverteilung aufweisen können.

Bei der Herstellung von großvolumigen blasgeformten Behältern, wie beispielsweise Kunststoffkraftstofftanks, ist es inzwischen üblich, nicht nur die Wanddickenverteilung des Vorformlings in Auszugsrichtung (axial), sondern auch in Umfangsrichtung (radial) dynamisch zu profilieren. Damit könnte rein theoretisch



**Bild 1.** Flexringwerkzeug zur Herstellung eines Dichtprofils aus Silikon (Profilabschnitt liegt oben auf dem Werkzeug) mit einem Schnurdurchmesser von nur 9 mm

die Dicke der Wand im Vorformling lokal so beeinflusst werden, dass im fertigen Formteil eine auf den jeweiligen Formteilmereichen und auf den Einsatzfall optimierte Verteilung erreicht wird. Während man die Dicke in axialer Richtung in einfacher Weise durch Verschieben eines konischen Dorns dynamisch verändern kann, muss man allerdings zur dynamischen Beeinflussung in radialer Richtung Spaltweiten des Fließkanals im Blaskopf lokal begrenzt verändern können.

**ARTIKEL ALS PDF** unter [www.kunststoffe.de](http://www.kunststoffe.de)  
Dokumenten-Nummer KU110337

### Radiale Wanddickensteuerung bei großen Düsendurchmessern

Die seit vielen Jahren im Extrusionsblasformen etablierte partielle Wanddickensteuerung (PWDS) war lange Zeit die einzige existierende Lösung, mit der überhaupt Spaltweiten über dem Umfang des Kopfes in stark eingeschränktem Maß verändert werden konnten [1,2]. Dazu wird in den Blaskopf ein flexibler, einwandiger Ring integriert, der während des Austrags des Vorformlings mittels Hydraulikzylindern deformiert werden kann. Konstruktionsbedingt lässt sich allerdings der Radius des flexiblen Rings im Kräfteinleitungsbereich der Stellzylinder nicht verändern. Die größte Einschränkung besteht jedoch darin, dass man einerseits diese Technik aufgrund des relativ dickwandigen, massiven und damit eher steifen Rings natürlich nur bei Werkzeugdurchmessern oberhalb von 60 mm einsetzen kann, und dass andererseits auch keine großen Konturänderungen über einen begrenzten Umfangsbereich der Düse möglich sind. Damit kann schon bei komplexen technischen Teilen häufig nur unzureichend auf lokal auftretende Unterschiede im Verstreckgrad des Formteils reagiert werden. Eine radiale Wanddickensteuerung für kleine Flaschen war unter diesen Voraussetzungen unmöglich.

### Stand der Technik bei kleinen Düsendurchmessern

Dies ist der Grund, weshalb es bis heute weltweit Stand der Technik ist, bei kleineren Blasköpfen, mit der erläuterten unbefriedigenden statischen Profilierung des Fließkanals zu arbeiten. Mit einer sol-

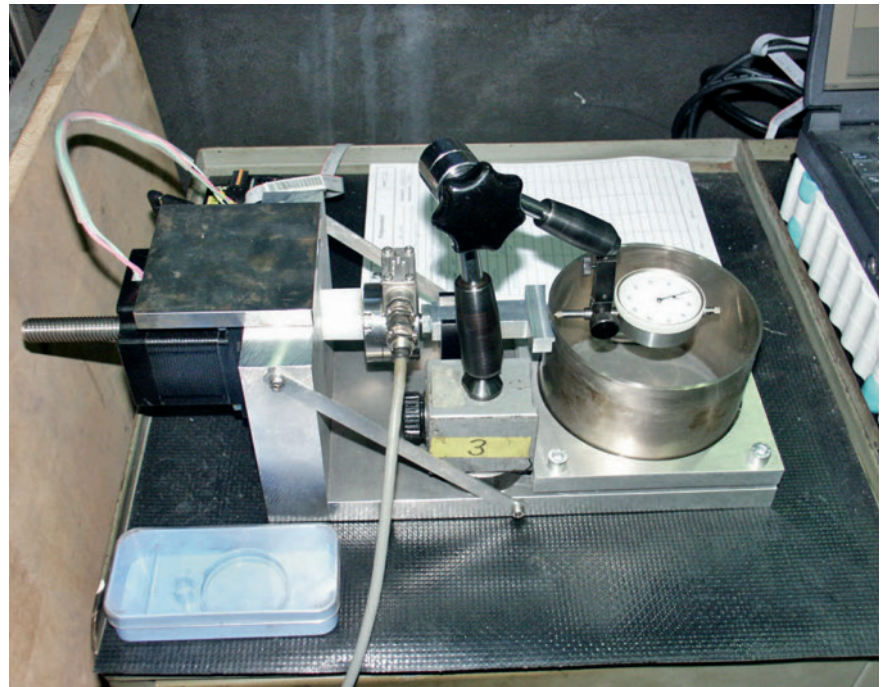


Bild 2. Versuchsausrüstung zur dynamischen Prüfung einer Flexringhülse (Foto: MPA Darmstadt)

chen statischen Fließkanalprofilierung werden allerdings Flaschen produziert, die weder im runden Verschlussbereich noch im Bereich des Flaschenkörpers eine überzeugende Wanddickenverteilung besitzen. In Ermangelung einer besseren Alternative hat man sich inzwischen daran gewöhnt, mit diesem Kompromiss zu leben. Lange Zeit wurde es deswegen von Fachleuten für völlig illusorisch gehalten, dass man bei Blasformköpfen mit einem Durchmesser von < 10 mm überhaupt eine dynamische radiale Wanddickensteuerung realisieren könnte. Noch weniger vorstellbar war es da natürlich, dass man eventuell sogar dynamische radiale Wanddickensteuerungen bei Mehrfachköpfen verwenden könnte.

Mehrfachköpfe werden beim Blasformen eingesetzt, um sehr wirtschaftlich kleinvolumige Flaschen herstellen zu können. So können inzwischen beispielsweise mit einer Bekum-Blasformmaschine, die mit einem 10-fach Kopf und einem neuartigen Tandem-Shuttle-Werkzeug ausgerüstet ist, das 40 Kavitäten besitzt, 19500 Flaschen pro Stunde produziert werden. Mit der Entwicklung einer völlig neuen Fertigungstechnologie [3], mit der es seit einiger Zeit gelingt, einstückige Düsen für Extrusionswerkzeuge herzustellen, die partiell mehrwandig sind, kann man nun auch die Fließkanalgeometrie in Köpfen, die einen kleinen Durchmesser besitzen, dynamisch verändern. →

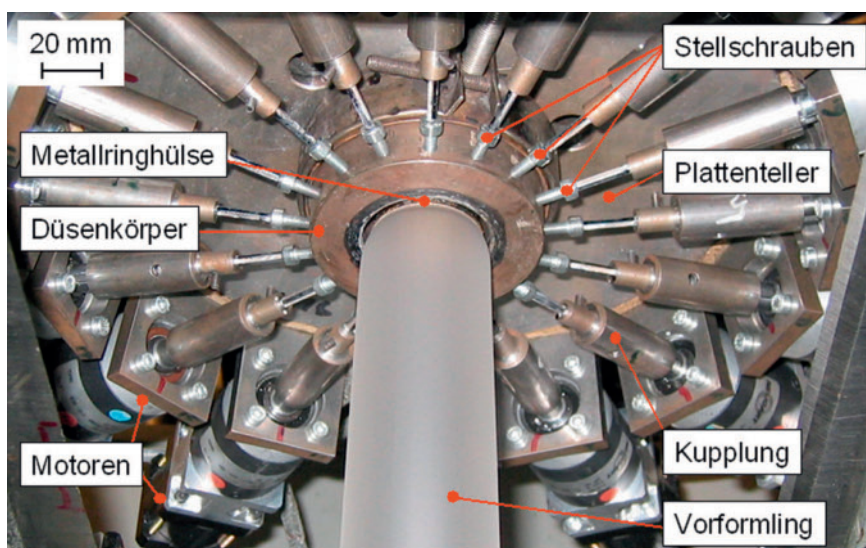


Bild 3. Flexringwerkzeug mit 16 Stellantrieben und Versuchsflasche, die mit dem Werkzeug hergestellt wurde (Foto: IKV Aachen)

## Neue Möglichkeiten durch Flexringtechnologie

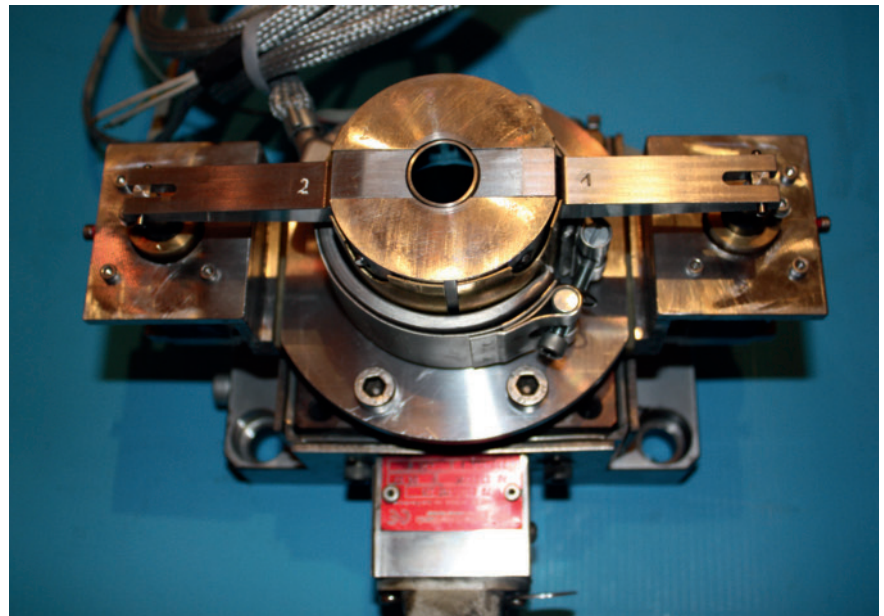
Die Möglichkeit, eine Fließkanalwand zwiebelartig oder blattfederartig aus mehreren Einzelschichten, die innig aufeinanderliegen und die sich somit in mechanischer Sicht gegenseitig abstützen, herstellen zu können, eröffnet auch für das Extrusionsblasformen völlig neue verfahrenstechnische Perspektiven. Da sowohl die Anzahl der Einzelwände als auch deren Dicke bis hinunter zu einer Wanddicke von 0,05 mm frei gewählt werden können, lassen sich nun metallische Hülsen für Extrusionswerkzeuge mit nahezu jeder gewünschten oder benötigten Flexibilität auslegen und bauen. Damit kann man auch bei runden Hülsen mit Durchmessern von nur 43 mm aufgrund des blattfederartigen Aufbaus eine erstaunliche Flexibilität erreichen. Die im **Titelbild** gezeigte Geometrie beruht auf einer rein linearelastischen Deformation der Düse, die somit wieder eine ideal runde Geometrie annimmt, wenn man alle Stellschrauben wieder zurückdreht.

Flexringhülsen wurden zuerst in Extrusionsanlagen zur Herstellung von Rohren oder Profilen eingesetzt und erprobt [3]. Dabei ging es meist vorrangig darum, Produktionskosten einzusparen, indem die Wanddicke des Rohrs oder des Profils beim Anfahren durch eine Feineinstellung des Austrittsspalts über dem Umfang des Werkzeugs optimiert werden kann. Beispielhaft zeigt **Bild 1** ein Entwicklungswerkzeug zur Herstellung einer Dichtschnur aus Silikon für den Airbus A380. Bei diesem Werkzeug kann man die kritische Wanddicke der Rundschnur der Dichtung mithilfe der über dem Umfang angeordneten Stellschrauben feinfühlig optimieren, um eine genau vorgegebene Dichtkraft an der Lippe der Dichtschnur bei einer ebenfalls genau definierten Stauung des runden Schnurbereichs zu erreichen. Das kleinste bisher gebaute, statisch zu verstellende Flexringwerkzeug war ein Werkzeug mit einem Durchmesser von 8 mm, das zur Herstellung von Bewässerungsschläuchen verwendet wird. In diesem Fall ging es ausschließlich darum, die Dickentoleranzen gegenüber denen, die mit dem konventionellen Werkzeug erreicht wurden, weiter zu verringern, um Material einzusparen.

## Flexringdüsen beim Extrusionsblasformen

Erste Bemühungen, Flexringwerkzeuge zur dynamischen radialen Wanddicken-

steuerung beim Extrusionsblasformen einzusetzen, scheiterten aufgrund der noch vorhandenen Zweifel, dass die Flexringhülse tatsächlich im dynamischen Betrieb eine ausreichende Biege-wechselfestigkeit erreichen könnte. Inzwischen wurde allerdings die Biege-wechselfestigkeit einer Flexringhülse an der Staatlichen Materialprüfungsanstalt an der Technischen Universität Darmstadt gezielt untersucht. Nachdem auch nach 600 000 Lastspielen keine Ermüdung der Flexringhülse festzustellen war [4], die mitgeschriebene Kraft, die zum Erreichen der eingestellten Verformungen notwendig war, blieb konstant, wurde der Versuch beendet. **Bild 2** zeigt die für die Untersuchung verwendete Versuchseinrichtung. Die Prüfungen erfolgten bei Raumtemperatur und nicht bei der normalen Betriebstemperatur eines Extrusionswerkzeugs.



**Bild 4. Nachrüstsatz bestehend aus dem Gehäuse mit zwei angeflanschten elektrischen Stellantrieben, der integrierten Flexringhülse und dem Heizband**

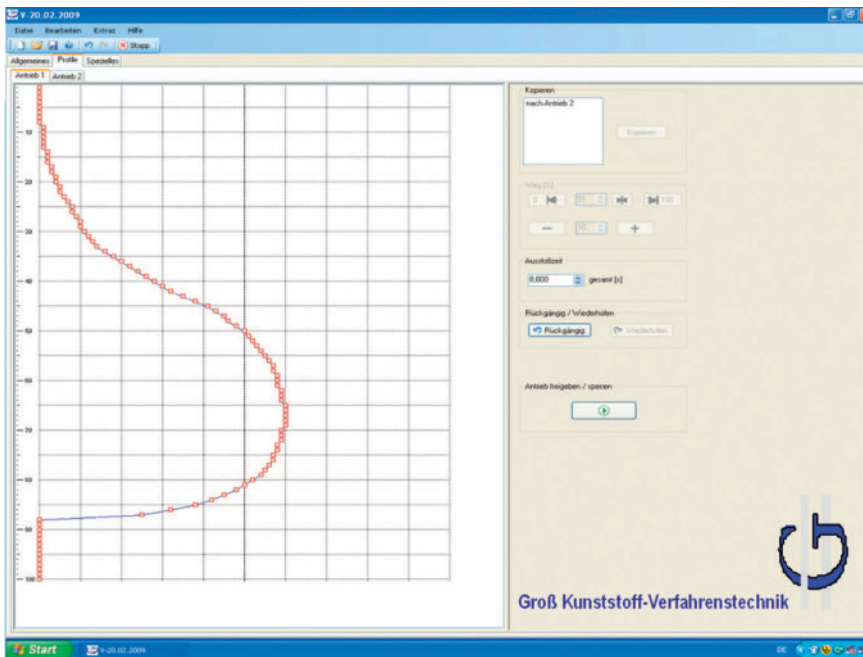
Erste dynamische Versuche mit einem Blasformwerkzeug, in das eine Flexringhülse integriert wurde, führte Grünewald [5] in den Jahren 2003 und 2004 auf einer realen Blasformmaschine am Institut für Kunststoffverarbeitung (IKV) an der RWTH Aachen durch. Der verwendete Blaskopf, in den eine Flexringhülse integriert war und der einen Austrittsdurchmesser von nur 34 mm besaß, wurde mit 16 Stellantrieben ausgerüstet (**Bild 3**). Dies demonstrierte einmal mehr, dass eine Flexringhülse sehr lokal begrenzt deformiert werden kann, hatte aber ansonsten eher akademischen Wert. Für den ovalen Flaschenbereich hätten zwei und für den

viereckigen Bereich vier Stellantriebe ausgereicht. Jeder zusätzliche Stellantrieb ist aus betriebswirtschaftlicher Sicht fehl am Platz, da er unnötigen technischen Aufwand erfordert und zusätzlich auch noch technische Probleme hervorrufen kann.

## Dynamische Wanddickensteuerung bei Mehrfachwerkzeugen

Bemühungen bei unterschiedlichen Herstellern von kleinformatigen Flaschen, einen existierenden Blaskopf einer Produktionsanlage mit einer Flexringhülse nachzurüsten, waren über längere Zeit erfolglos. Erst 2008 ergab sich die Gelegenheit, den Beweis antreten zu können, dass es möglich ist, auch in ein Mehrfachwerkzeug eine Flexringhülse zu integrieren. Dazu wurde eine Kavität eines für eine neue Flaschengeometrie (Füllvolumen 200 ml) gebauten Zwölf-fachwerkzeugs

mit einer Flexringhülse nachgerüstet. Mit dem Blaskopf (Düsendurchmesser 18 mm) werden Flaschen mit einem runden Schraubverschluss und einem in erster Näherung ovalen Flaschenkörper hergestellt. Das genaue Flaschendesign unterliegt zurzeit noch der Geheimhaltung. Zur dynamischen Verstellung des Fließkanal-spalts wurde eine Kavität mit zwei kleinen Schrittmotoren in Linearausführung ausgestattet, die über Hebelarme die Geometrie der Düse am Austritt des Blaskopfs ovalisieren. **Bild 4** zeigt den kompletten Nachrüstsatz. Es ist deutlich zu erkennen, dass das Stichmaß von 104 mm des Mehrfachwerkzeugs von den erforderlichen An-



**Bild 5.** Bedienoberfläche der Software zur Programmierung der für die radiale Wanddickensteuerung verwendeten Schrittmotoren mit einer typischen Fahrkurve für eine ovale Flasche

bauteilen bei Weitem nicht ausgeschöpft wird, womit erstmals bewiesen werden konnte, dass das geringe Stichmaß eines Mehrfachwerkzeugs kein Hindernis darstellt, um auch bei Mehrfachköpfen eine dynamische radiale Wanddickensteuerung realisieren zu können.

Da die Schrittmotoren mit einer hohen Präzision und Wiederholgenauigkeit Fahrbewegungen ausführen, kann bei dieser Lösung generell auf eine Regelung der Antriebe verzichtet werden. Somit sind prinzipiell auch keine Wegaufnehmer erforderlich. Da die Praktiker in dieser Hinsicht allerdings noch nicht vollständig von diesem Konzept überzeugt werden konnten, wurde an einen Stellantrieb dennoch ein Wegaufnehmer angebracht. Ziel dieser Maßnahme war es, die oben aufgestellte These im Dauereinsatz unter realen Produktionsbedingungen verifizieren zu können, um dann bei der nächsten Installation auch auf den Wegaufnehmer zu verzichten.

Mit der nachgerüsteten Kavität gelang es nun erstmalig, für den runden Schraubverschluss auch mit einem idealen runden Fließkanal zu arbeiten, um dann im Übergangsbereich allmählich den Fließkanalspalt so lange immer stärker zu ovalisieren, bis er tatsächlich das für den ovalen Flaschenkörper optimale Maß erreicht hat. In Vorversuchen wurde ermittelt, dass mit der ausgelegten Flexringdüse problemlos eine Differenz zwischen der Haupt- und der Nebenachse der ovalisierten Düse von 1,2 mm erzeugt werden kann, ohne dabei den

linearelastischen Deformationsbereich der partiell mehrwandigen Hülse zu überschreiten.

Zur Optimierung der Wanddicke bei der produzierten Flasche wurde lediglich eine Differenz von 0,4 mm benötigt, um bereits am ersten Versuchstag eine bessere Dickenverteilung im Vergleich zu den Flaschen zu erreichen, die mit einer statischen Profilierung hergestellt worden waren. Die Versuchsflaschen erfüllten bei einem um 7 % verringerten Gewicht alle geforderten mechanischen Tests.

Eine Wanddickenoptimierung unter Verwendung einer Flexringhülse ist sehr einfach, da man von Schuss zu Schuss sehr feinfühlig die Fließkanalgeometrie verändern kann, ohne dass dafür die Maschine angehalten und das Werkzeug wieder auseinandergelassen werden muss, um den Fließkanal spanabhebend nachbearbeiten zu können. Es besteht auch nicht die Gefahr, einmal zu viel oder an der falschen Stelle zu profilieren und deswegen gezwungen zu sein, wieder von vorn beginnen zu müssen. Inzwischen steht auch ein komfortables Programm zur Verfügung, mit dem die Fahrprogramme von bis zu sechs Schrittmotoren individuell programmiert werden können (Bild 5). Mit dem Programm kann, wie es auch bei der axialen Wanddickensteuerung üblich ist, die Ausstoßzeit in einzelnen gleichmäßige Zeitinkremente aufgeteilt werden, wobei sich das vom Anlagenbediener eingegebene Fahrprofil bei einer Variation der Zykluszeit ebenfalls automatisch proportional ändert.

## Fazit: Produktqualität verbessern

Mit Einsatz einer dynamischen radialen Wanddickensteuerung gelingt es, kleine blasgeformte Hohlkörper mit einer verbesserten Qualität herzustellen und dabei gleichzeitig auch noch die Zykluszeit weiter zu verkürzen und Rohstoff einzusparen. So lässt sich beispielsweise bei einer ovalen Flasche die im Verschlussbereich störende Halsovalität, die sich üblicherweise bei einer statischen Profilierung des Fließkanals zwangsläufig einstellt, weiter reduzieren. Gleichzeitig wird im Bereich des ovalen Flaschenkörpers eine deutlich verbesserte Wanddickenverteilung erreicht. Mit der Vermeidung von unnötigen Dickstellen in der Flasche ergibt sich dann auch noch zusätzlich eine Verringerung der Kühlzeit, sodass die Taktzeit insgesamt kleiner wird. Designer, die sich vorrangig damit beschäftigen, interessantere und raffiniertere Formen bzw. Geometrien zu kreieren, werden sich darüber freuen, dass die Vielfalt der technisch zu realisierenden Formen zunimmt. Mit der Verwendung von Flexringdüsen beim Extrusionsblasformen werden bestehende technologische Grenzen überwunden und verbesserte technologische und auch betriebswirtschaftliche Rahmenbedingungen für die Herstellung von Hohlkörpern geschaffen. ■

## LITERATUR

- 1 Feuerherm, H.: Vorrichtung zum Regeln und/oder Einstellen der Wandstärke von aus thermoplastischem Kunststoff gebildeten Hohlkörpern. Deutsches Patent Nr. 28 23 999 C2, eingereicht am: 01.06.1978
- 2 Deckwerth, H.: Von der Problemstellung zur Lösung: Der Weg zur sicheren und wirtschaftlichen Fertigung durch den kombinierten Einsatz von PWDS, SFDR und WDLS. Blasformen '07, Konzepte für zukünftige Marktanforderungen. VDI Verlag Düsseldorf 2007, S. 95–121
- 3 Groß, H.: Einstellbare Fließkanalgeometrien – die Zukunft im Extrusionswerkzeugbau? Kunststoffe, 96 (2006) 10, S. 153–157
- 4 Kaiser, B.; Labudda, H.: Unveröffentlichter Untersuchungsbericht S 08 1330, Staatliche Materialprüfungsanstalt, TU Darmstadt
- 5 Grünewald, J.: Entwicklung und Erprobung neuer Werkzeugkonzepte zur radialen Wanddickenbeeinflussung beim Extrusionsblasformen. Dissertation, RWTH Aachen, 2004

## DER AUTOR

DR.-ING. HEINZ GROSS, geb. 1950, ist seit 1993 Inhaber der Groß Kunststoff-Verfahrenstechnik, Roßdorf; heinz-gross@t-online.de