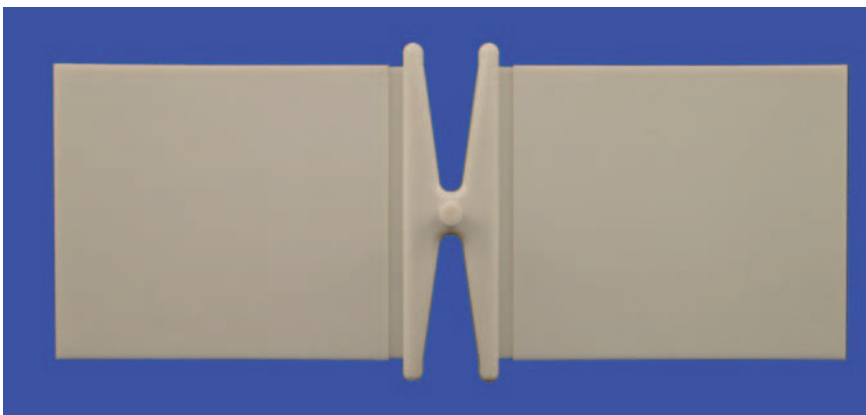


# Fließen schneller und sparen Energie

**Nachhaltige Materialien.** Immer mehr Hersteller bieten leichter fließende Kunststofftypen für die Spritzgießverarbeitung an. Die verbesserte Abformung der Oberflächen und die zunehmende Miniaturisierung von Bauteilen sind nur zwei der Gründe für die Entwicklung solcher Kunststoffe. Aber lässt sich im Sinne einer nachhaltigen Teilefertigung damit auch Energie einsparen? Antwort: Es kommt auf die Anwendung an.



**Bild 1.** Das spritzgegossene Formteil ist eine einfache Platte (2-Kavitäten-Werkzeug), das gesamte Schussvolumen beträgt ca. 64 cm<sup>3</sup>

## SVEN WENIGMANN

**K**unststoffe mit verbesserter Fließfähigkeit können im Vergleich zu ihren konventionellen Pendanten dort Punkte sammeln, wo es große Fließweg/Wanddicken-Verhältnisse zu überwinden gilt. Ein typisches Einsatzgebiet ist beispielsweise die Fertigung von Steckern für die Elektronikindustrie [1, 2]. Durch die zunehmende Miniaturisierung der Stecker bei gleichzeitiger Integration von mehr Funktionselementen werden die Steckergehäuse immer komplexer. Charakteristisch ist bei diesen Anwendungen, dass in ein und demselben Teil Abschnitte sowohl mit großen als auch mit sehr geringen Wanddicken vorkommen.

Gelang es mit Standardeinstellungen bisher nicht, solche Bauteile in guter Qualität zu produzieren, so gab es für den

Spritzgießer bislang nur zwei Möglichkeiten: entweder die Masstemperatur oder die Werkzeugtemperatur anzuheben – im ungünstigsten Fall gleich beides. In der Folge verlängert sich die Zykluszeit, und die Produktion wird teurer. Hier ist der Nutzen eines besser fließenden Materials unmittelbar erkennbar. Umgekehrt stellt sich die Frage, worin der Nutzen eines leicht fließenden Kunststoffs besteht, wenn ein Formteil im bestehenden Produktionsaufbau bereits einwandfrei hergestellt werden kann; was also die Möglichkeit, bei niedrigeren Masstemperaturen zu fertigen, im Detail bringt. Um den Einspareffekt zu quantifizieren, hat die BASF SE eine Spritzgießmaschine so umgerüstet, dass alle zu- und abgeführten Masse- und Energieströme erfasst werden können. So ist es möglich, den Spritzgießprozess energetisch vollständig zu bilanzieren sowie Art und Größe der Energieeinsparungen zu identifizieren.

Die versuchstechnischen Rahmenbedingungen orientieren sich an den Ver-

hältnissen, wie sie in der Elektroindustrie anzutreffen sind. Als Formteil wird eine einfache Platte (2-Kavitäten-Werkzeug) verwendet, das Schussvolumen beträgt ca. 64 cm<sup>3</sup> (Bild 1). Als Material kommt ein PBT mit 30 % Glasfaseranteil (Typ: Ultradur B4300G6; Hersteller: BASF) zum Einsatz. Es steht auch in einer Hochgeschwindigkeitsvariante, also in einer bei sonst gleichen Eigenschaften deutlich fließverbesserten Variante zur Verfügung. Eine vollelektrische Spritzgießmaschine (Typ: IntElect100; Hersteller: Sumitomo (SHI) Demag Plastics Machinery GmbH, Schwaig) wird, dem Formteil angepasst, mit einer Schnecke von 30 mm Durchmesser betrieben.

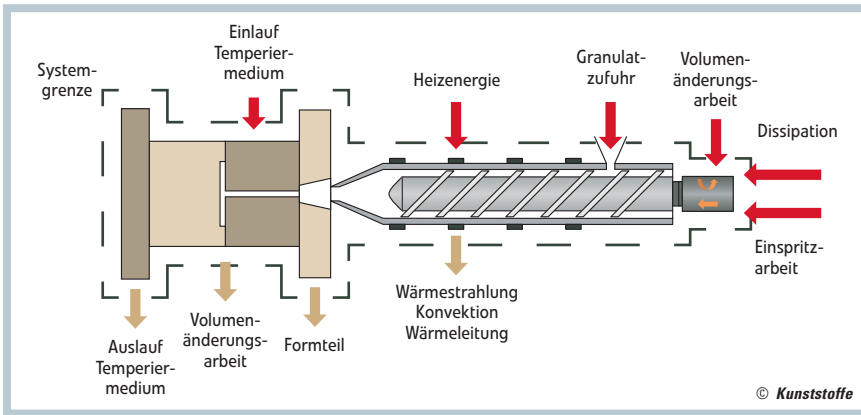
## Energieverbrauch im zyklischen Prozess

Um zu einer belastbaren Aussage über den Energieverbrauch zu kommen, ist es notwendig, eine Energie- und Stoffbilanz für den gesamten Prozess aufzustellen und alle ein- und austretenden Ströme zu messen. Als Bilanzraum wird das Plastifizieraggregat samt Werkzeug gewählt. Alle dem System zugeführten Größen sind mit roten Pfeilen, die abgehenden Energie- und Stoffströme mit beige Pfeilen gekennzeichnet (Bild 2).



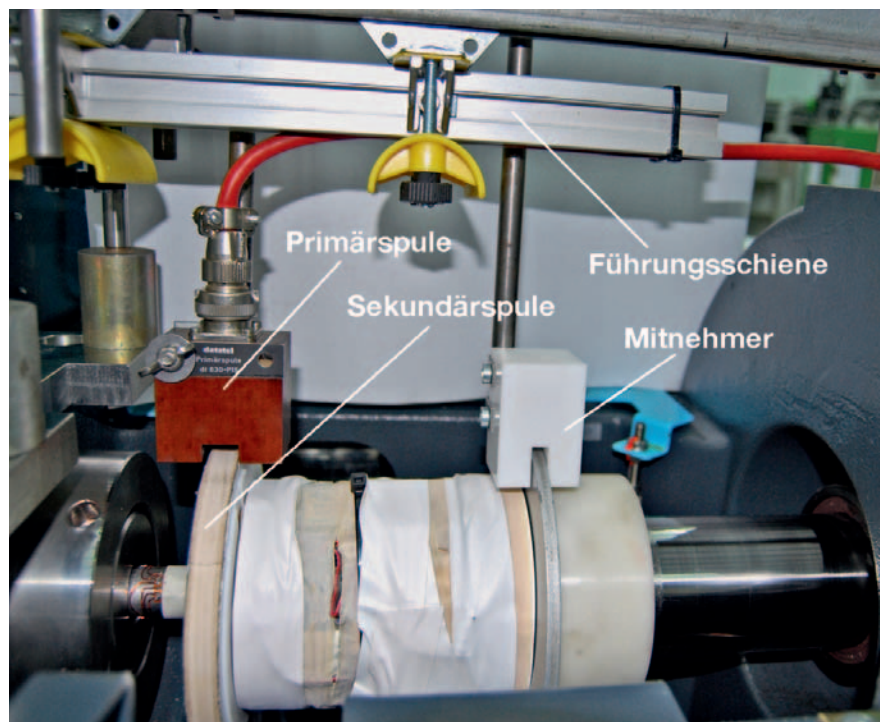
## i Kontakt

**BASF SE**  
**D-67056 Ludwigshafen**  
**E-Mail: [Ultraplaste.infopoint@basf.com](mailto:Ultraplaste.infopoint@basf.com)**  
**→ [www.plasticsportal.eu](http://www.plasticsportal.eu)**

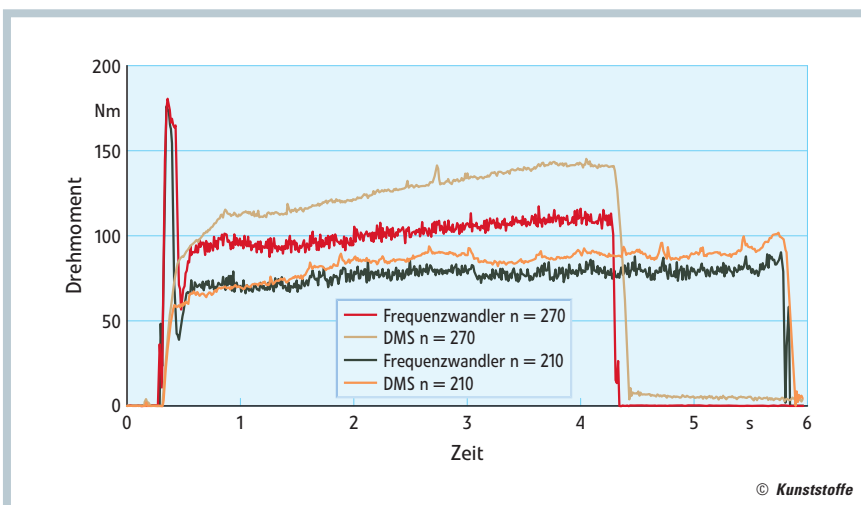


**Bild 2. Thermodynamische Betrachtung des Spritzgießprozesses.** Zur Energiebilanzierung werden auf der einen Seite die dem System zugeführten Energie- und Stoffströme betrachtet (rot), die abgehenden Ströme sind beige gekennzeichnet

Zwar verhält sich der Spritzgießprozess zyklisch, er kann jedoch als quasistationärer Prozess angesehen und somit über den ersten Hauptsatz der Thermodynamik bilanziert werden [3]. Die zugehörige Formel (Gleichung, siehe **Kasten** auf S. 107) zeigt die relevanten Größen für die ein- und austretenden Energie- und Stoffströme, die in der Regel einfach über Temperaturfühler oder bereits in der Maschine vorhandene Sensoren erfasst werden können. Die Heizenergie bestimmt man über die der Heizung zugeführte Strommenge unter der Annahme, dass alle Energie in Wärme umgesetzt wird. Die Wärmeverluste durch Strahlung und Konvektion können schwer messtechnisch erfasst werden, hier sind Schätzungen auf Basis der Gesetzmäßigkeiten der Wärmeübertragung nötig: Über die Oberflächentemperaturen und unter Annahme eines Zylinders mit freier Konvektion kann beispielsweise der konvektive Wärmeübergang abgeschätzt werden [4].



**Bild 3. Stromversorgung der DMS-Gitter:** Das Drehmoment kann so direkt auf der Schnecke ermittelt werden. Die Stromversorgung erfolgt über Induktionsspulen, die Datenübertragung per Telemetriesystem. Axiale Schneckenbewegung ist möglich



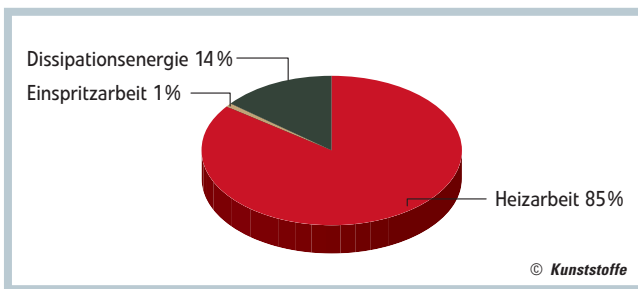
**Bild 4. Drehmomentkurven aus Frequenzwandler und DMS bei zwei Plastifizierungsgeschwindigkeiten:** Die starken Unterschiede zwischen den beiden Messmethoden werden besonders bei hohen Drehmomenten deutlich

fen wird, jedoch sind hier – nach Angaben des Herstellers der Frequenzwandler – Fehler von bis zu 30 % möglich [5]. Das ist für eine Energiebilanz zu ungenau. Aus diesem Grund wurden auf die Schnecke vier DMS-Gitter (DMS: Dehnungsmessstreifen) aufgebracht, sodass das Drehmoment über die Verformung direkt auf der Schnecke abzugreifen ist. Auf diese Weise ist eine unmittelbare Messung möglich, es sind keine Elemente wie Motor oder Getriebe zwischengeschaltet, die den gemessenen Drehmomentwert verfälschen könnten [6].

Aufgrund der beiden Bewegungen (Rotation und Translation), die die Schnecke ausführt, erfordert eine solche Art der Drehmomentmessung einen beträchtlichen Aufwand. Induktionsspulen versorgen die Elektronik für die Verstärkung der DMS-Signale mit Strom, die aufbereiteten Signale werden über ein Telemetriesystem an einen Funkempfänger gesandt und von einem Messrechner ausgewertet und aufgezeichnet (Bild 3). Doch der Aufwand lohnt sich: Am Beispiel eines Dosiervorgangs werden in Vorversuchen die Drehmomentverläufe über

**Tabelle 1. Die Energiebilanz wird in acht Versuchen mit unterschiedlichen Maschinenparametern erstellt**

Versuch	Staudruck [bar]	Plastifiziergeschwindigkeit [mm/s]	Einspritzvolumenstrom [cm³/s]
1	80	300	40
2	40	300	40
3	80	200	40
4	40	200	40
5	80	300	20
6	40	300	20
7	80	200	20
8	40	200	20



**Bild 5. Den Löwenanteil der in den Spritzgießprozess eingehenden Energieströme macht die Heizarbeit aus**

gleich der einzelnen Versuchspunkte zeigt außerdem, dass die Energieeinsparung bei hohen Einspritzgeschwindigkeiten höher ausfällt. Das ist plausibel, da sich hier die bessere Fließfähigkeit des Materials am ehesten bemerkbar macht. Allerdings sind die Unterschiede zwischen den einzelnen Versuchen eher gering, da der Hauptanteil der aufgenommenen Energie über die Heizung zugeführt wird. Die leichtere Fließfähigkeit würde sich bei der Einspritzarbeit bemerkbar machen, die am Gesamtenergieverbrauch jedoch nur einen kleinen Anteil hat.

der Zeit für zwei verschiedene Plastifiziergeschwindigkeiten gemessen, wie sie einmal der Frequenzwandler und einmal das DMS-Gitter liefern. Insbesondere bei höheren Drehmomenten zeigt sich eine deutliche Diskrepanz zwischen den Maschinen- und den DMS-Werten. In der Spitze beträgt die Differenz bis zu 30 Nm. Auch ist der Fehler nicht linear: Bei etwa 70 Nm schneiden sich die Kurven (niedrige Plastifiziergeschwindigkeit), dann driften sie mit zunehmendem Drehmoment weiter auseinander (Bild 4).

bei niedrigerer Massetemperatur erreicht, schlägt sich entsprechend in den Verarbeitungstemperaturen (255 bzw. 285 °C) nieder.

**Weitere Ersparnis über Zykluszeitverkürzung**

Für jede Type werden acht Versuche gefahren (Tabelle 1). Dabei ist der Anteil der Heizenergie an der dem Kunststoff insgesamt zugeführten Energie mit 85 % sehr hoch (Bild 5). Die durch Scherung eingebrachte Dissipationsenergie und die Einspritzarbeit spielen dagegen eine untergeordnete Rolle. Die verschiedenen Maschineneinstellungen haben kaum Einfluss auf die Verteilung. Diese Ergebnisse gelten für eine Schnecke mit 30 mm Durchmesser, für größere Schneckendurchmesser wird die Energieverteilung anders ausfallen.

Ziel der Versuche ist der energetische Vergleich zwischen einem Standard-PBT (Ultradur B4300G6) und der schnell fließenden Variante. Dazu werden die beiden Typen bei gleicher Viskosität verarbeitet. Dass das Hochgeschwindigkeitsmaterial aufgrund seiner besseren Fließfähigkeit die Viskosität der Standardtype

Die Ergebnisse des Materialvergleichs zeigen, dass man durch den bloßen Einsatz einer leichter fließenden Type bis zu 13 % Energie einsparen kann (Tabelle 2). Für die Versuchssystematik wurde in diesem Fall für beide Materialien die Zykluszeit konstant bei 38 s gehalten. Der Ver-

Berücksichtigt man nun zusätzlich, dass der Einsatz eines fließverbesserten Materials durch die niedrigere Massetemperatur die Zykluszeit verkürzen kann, ergibt sich daraus eine weitere Energieeinsparung: Auf Basis der verwendeten 255 °C und bei gleichen Entformungstemperaturen von Standard- und High-Speed-Type berechnet sich über die Kühlzeitformel für das Formteil eine Verkürzung der Zykluszeit um 6 s. Da die Heizzeit bei kürzeren Zykluszeiten ebenfalls abnimmt, schlägt sich der hohe Anteil der Heizenergie in der Gesamtbilanz besonders positiv nieder (Tabelle 3): Im besten Fall sind fast 30 % Gesamtenergieeinsparung möglich.

**Fazit**

Der Einsatz leichter fließender Kunststoffe erlaubt neben einer besseren Formfüllung und Oberflächenabformung eine deutliche Energieeinsparung. Voraussetzung dafür ist, dass das Formteil auch mit einer Standardtype zu füllen wäre. Bei relativ kleinen Schneckendurchmessern wie dem hier verwendeten, der repräsentativ für Stecker oder ähnlich kleine Bauteile aus der Elektroindustrie ist, bestehen aufgrund des hohen Anteils der Heizenergie große Einsparpotenziale, die bis zu 30 % betragen können. Solche Bauteile werden oft in PBT, z. B. im Ultradur (High Speed)

**! Gleichung**

$$\int_{t_1}^{t_2} \dot{Q}_H dt + \int_{t_1}^{t_2} \dot{m}_K (h_{gr} - h_{fl}) dt + \int_{t_1}^{t_2} \dot{m}_W (h_{W,ein} - h_{W,aus}) dt + \dot{V}_{sp} \int_{t_1}^{t_2} dt_{sp} \int_{p_1}^{p_2} dp_{sp} + \int_{t_1}^{t_2} M\omega dt_{pl} = 0$$

Die Bilanz erfolgt über den ersten Hauptsatz der Thermodynamik: Die Dissipationsenergie lässt sich aus dem an der Schnecke anliegenden Drehmoment, der Drehzahl und der Zeit berechnen

Versuch (gleicher Zyklus)	Energieeinsparung gegenüber Standardtype [%]
1	12,6
2	11,0
3	10,9
4	9,0
5	9,4
6	10,9
7	9,2
8	6,3

**Tabelle 2. Die in Abhängigkeit der Maschinenparameter ermittelten Energieeinsparungen des High-Speed-Materials (bei gleichen Zykluszeiten von 38 s) betragen bis zu 13 %**

der BASF, ausgeführt. Je größer der Schneckendurchmesser ist, desto geringer ist jedoch der Einfluss der Heizenergie und desto geringer ist das Einsparpotenzial, da die dissipativen Energieanteile zunehmen.

Bei großen Bauteilen, wie klassischen Motorraumkomponenten (Motorabdeckungen, Ansaugrohre), die nicht in PBT, sondern in PA (Polyamid, bevorzugt PA6) gefertigt werden, rücken mit fließverbesserten Typen andere Vorteile in den Vordergrund: Spritzdruck und Zuhaltkraft sinken, sodass der Verarbeiter auf kleineren Maschinen produzieren kann. Auch dies stellt einen deutlichen Mehrwert dar, denn bekanntlich steigen die Betriebskosten einer Spritzgießmaschine überproportional mit ihrer Größe. Diese Argu-

Versuch (kürzerer Zyklus)	Energieeinsparung gegenüber Standardtype [%]
1	29,7
2	28,1
3	28,5
4	27,3
5	26,3
6	28,3
7	26,4
8	23,9

**Tabelle 3. Wird die geringere Zykluszeit (32 s) beim Einsatz des High-Speed-Materials berücksichtigt, steigt das Potenzial zur Energieeinsparung auf fast 30 %**

mente haben die BASF veranlasst, ihr Sortiment an fließverbesserten technischen Kunststoffen zu erweitern [7, 8]. Nach Ultradur High Speed (PBT) sowie Ultramid A High Speed (PA66) hat das Unternehmen auf der K 2010 mit Ultramid B3WG6 High Speed nun auch sein erstes fließverbessertes PA6-Compound vorgestellt. ■

**DANK**

Die Untersuchungen wurden in Zusammenarbeit mit der Hochschule Karlsruhe, Technik und Wirtschaft, durchgeführt. Unser Dank gilt Niko Weber und Prof. Frank Pöhler für die Betreuung der Arbeit.

**LITERATUR**

- 1 Stransky, R.; Bernat, A.; Reinfrank, K.-M.; Völkel, M.; Zeiher, V.: Immer mehr Strom – und Kunststoff. *Kunststoffe* 99 (2009) 6, S. 82–86

- 2 Rosenau, B.; Fernández-Rodiles, R.: Polyamide (PA). *Kunststoffe* 98 (2008) 10, S. 145–149
- 3 Baehr, H. D.; Kabelac, S.: *Thermodynamik*. 14. Auflage, Springer Dordrecht, Heidelberg, London, New York 2009
- 4 Baehr, H. D.; Stephan, K.: *Wärme- und Stoffübertragung*. 6. Auflage, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg 2008
- 5 Fritzensmeier, T.: *KEB-Antriebstechnik* Karl E. Brinkmann GmbH, Schneeberg. Persönliche Mitteilung, 2009
- 6 Weber, N.: *Untersuchung der Möglichkeiten zur Energieeinsparung durch den Einsatz leichter fließender Kunststofftypen im Spritzgießprozess*. Diplomarbeit, Hochschule Karlsruhe, 2010
- 7 Bernat, A.: *Alles fließt*. Pressekonferenz der BASF zur K 2010, Frankenthal, 22.–23. Juni 2010
- 8 Eipper, A.; Stransky, R.: *Kleine Teilchen – großer Effekt*. *Kunststoffe* 98 (2008) 1, S. 94–96

**DER AUTOR**

DIPL.-ING. SVEN WENIGMANN, geb. 1976, ist in der Abteilung Processing Technologies, Engineering Plastics Europe, der BASF SE, Ludwigshafen, tätig.

**SUMMARY**

**FLOWING FASTER, SAVING ENERGY**

“SUSTAINABLE MATERIALS”. Ever more manufacturers are offering freer flowing polymer grades for injection molding. Improved reproduction of surfaces and increasing miniaturization of parts are but two of the reasons for developing such polymers. However, can these materials save energy and so contribute to sustainable parts production? It all depends on the application.

Read the complete article in our magazine *Kunststoffe international* and on [www.kunststoffe-international.com](http://www.kunststoffe-international.com)

## Drehteller mit großen Durchmessern

**Werkzeugbau.** Die neueste Generation von Drehtellern der Braunform GmbH, Bahlingen, steht nicht nur für schnelle Wendezeiten und Robustheit. Deren Kernpunkt ist der abgedeckte Drehkranz, der hohe Lebenszeitzyklen verspricht. Die Drehteller zeichnen sich zudem durch niedrige Bauhöhen aus und erlauben so kürzere Hübe bei Öffnung des Werkzeugs, die Zykluszeit sparen bzw. mehr Raum für den Einbau komplexer Werkzeuge lassen. In der Standard-Indexierung (Basic Line) arbeitet ein Hydraulikmotor endlos drehend im Wendewinkel von 180° mit hydraulischer Verriegelung in Endlagenposition. Als Premium Line offeriert Braunform einen Hydraulikmotor für Wendewinkel mit 120° und 90° für zusätzliche Mehrkomponenten-Aufgaben. Erhältlich

ist auch ein elektrischer Servomotor inklusive SPS. In der Premium Line sind bis zu sechs Kühlkreisläufe plus Luft- und Hydraulikkreisläufe integrierbar.

Mit der Zunahme komplexer Bauteilgeometrien und Multikavitätenstrategien beobachtet Braunform seit einiger Zeit einen Trend zu größeren Drehtellerwerkzeugen. Ein aktuelles Beispiel aus dem bis 1400 mm Durchmesser reichenden Sortiment zeigte das Unternehmen auf der K 2010: einen 900 mm-Drehteller, der mit der Werkzeughälfte einer 32+32-fach-Form bestückt wird. Darauf fertigt ein Kunde ein 2K-Rasiererteil als TPE-PS-Kombination mit einem Teilgewicht von je 0,83 g. Dieser Drehteller eignet sich nach Auskunft von Braunform für Maschinen im Schließkraftbereich zwischen



**Kurze Zyklen durch schnelles Drehen: Das 32+32-fach-Werkzeug für ein 2K-Rasiererteil sitzt auf einem 900er-Drehteller (Foto: Braunform)**

2500 und 2750 kN bei einer Wendezeit von 1,5 s im Dauereinsatz.

→ [www.braunform.com](http://www.braunform.com)