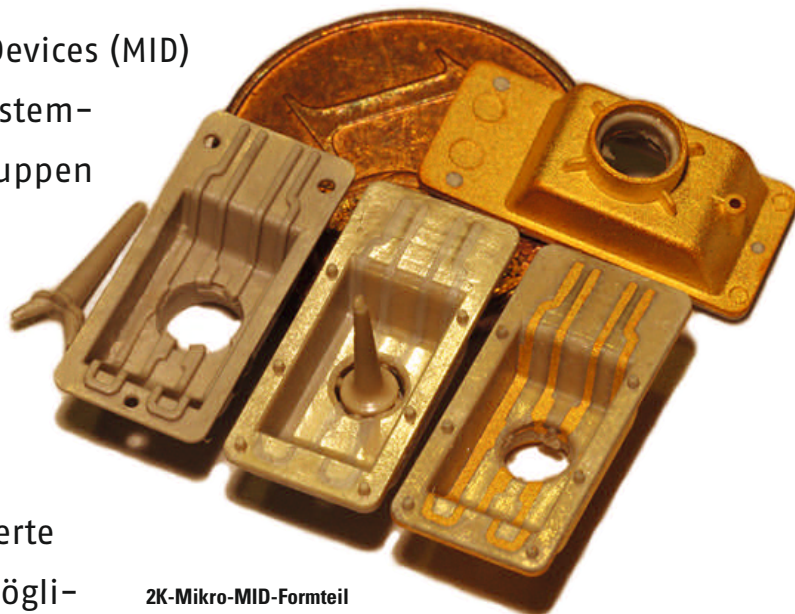


Wie man es dreht und wendet

2K-Mikro-MID. Molded Interconnect Devices (MID)

gewinnen als Systemträger für mikrosystemtechnische und mechatronische Baugruppen zunehmend an Bedeutung. In der Spritzgießpraxis bedeutet das, die gesamte Prozesskette auf deren feine Leiterbahnstrukturen auszurichten. Die mikrospritzgießgerechte Auslegung der Formteile und eine maßgeschneiderte Maschinen- und Werkzeugtechnik ermöglichen eine kosteneffiziente und losgrößenflexible Fertigung miniaturisierter 2K-MID.



2K-Mikro-MID-Formteil mit dreidimensionalen Leiterbahnstrukturen in verschiedenen Verarbeitungsphasen (v.l.n.r.): Vorspritzling, 2K-Spritzling, Formteil nach der Metallisierung. Die Oberseite (im Bild das obere Teil) ist komplett metallisiert

**GÁBOR JÜTTNER
WOLFGANG EBERHARDT U. A.**

Bereits einige Zeit vor der Laser-MID-Technik war die Zweikomponenten-Spritzgieß-MID-Technik (2K-MID-Technik) bekannt. Letztere bietet größere Freiheiten in der Gestaltung der Bauteilgeometrie und eine kürzere Prozesskette, in der dem Spritzgießen unmittelbar die Metallbeschichtung folgt. Im Folgenden wird gezeigt, wie die neuen Möglichkeiten einer 2K-Mikrospritzgießmaschine das Verfahren hinsichtlich Kosten, Werkstoffauswahl, Werkzeugtechnik und Miniaturisierbarkeit verbessern können.

Schussgewichtsoptimiertes 2K-Mikrospritzgießen

Die zentrale Herausforderung des Mikrospritzgießens ist die kontrollierte und dynamische Füllung von Formteilmolumina deutlich unter 100 mm^3 . Das Kunststoff-Zentrum in Leipzig (KuZ) und Desma Tec, ein Bereich der Klöckner Desma

Schuhmaschinen GmbH, Achim, entwickelten die Zweistufen-Kolbenspritzgießmaschine „formicaPlast“ mit dem Ziel, kleinste Schmelzemengen aufzubereiten und präzise einzuspritzen [1, 2]. Dadurch ist es möglich, das Schussvolumen gegenüber den bisher verfügbaren kommerziellen Mikrospritzgießmaschinen auf unter 10 mm^3 zu reduzieren. So können auch Mikroformteile, die nur wenige Kubikmillimeter Volumen haben, mit einem ausgewogenen Verhältnis zwischen Anguss und Formteil hergestellt

werden [1, 2]. Daraus ergeben sich direkte verfahrenstechnische und ökonomische Vorteile.

Die 2K-Ausführung der formicaPlast verbindet die Indextechnik (rotierende Werkzeugteile) und die Transfertechnik (parallel nebeneinander angeordnete Maschinen) miteinander [3, 4]. Diese Kombination bietet beim 2K-Mikrospritzgießen wesentliche Vorteile, z. B. eine große Variantenvielfalt und Designfreiheit sowie kurze Zykluszeiten durch gleichzeitiges Spritzen des Vor- und Fer-

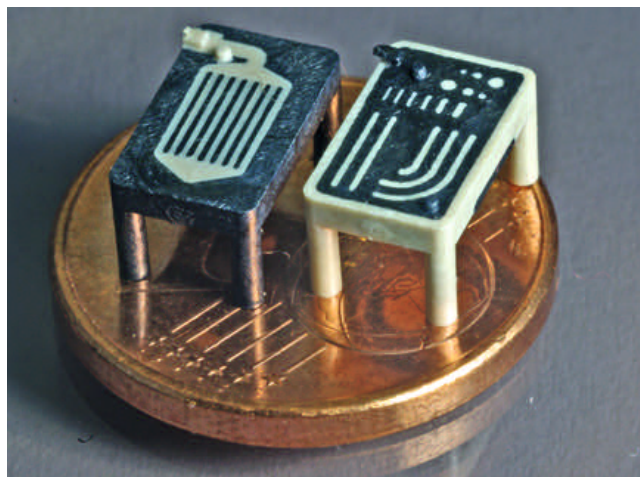


Bild 1. Spritzgessene Formteile mit ebener Struktur aus LCP. Die metallisierbare Komponente ist farblos, die nicht metallisierbare Komponente schwarz eingefärbt

(Bilder: KuZ)

ARTIKEL ALS PDF unter www.kunststoffe.de
Dokumenten-Nummer KU111348

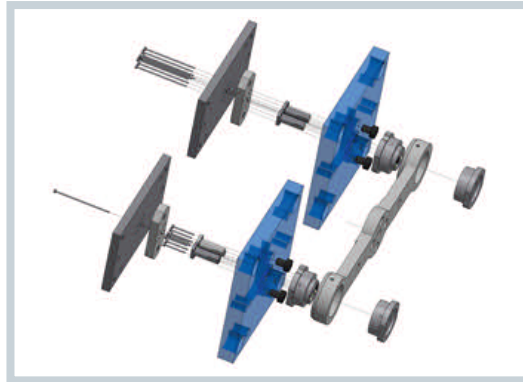
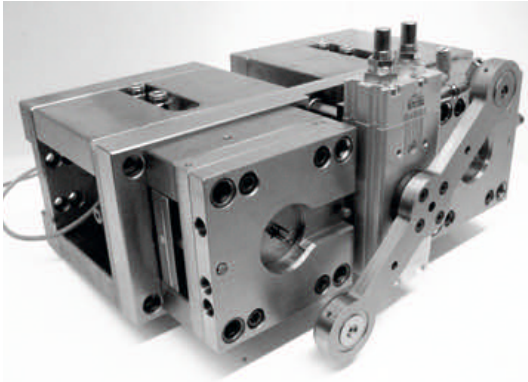


Bild 2. Stammwerkzeugkonzept: Links die auswerferseitige Werkzeughälfte mit der Aushub- und Dreheinheit, rechts die projektspezifischen Komponenten mit dem Indexarm

tigspritzlings – ohne überdimensionierten Anguss. Zahlreiche Formteile, darunter ein Lichtleiterbauteil mit einem bis dahin unerreichten Gesamtschussgewicht von 19 mg [3], Optogehäuse für die Sensortechnik, ein Lupenchip für die Blutanalyse [5] sowie ein 2K-Mikroprüfkörper [6] verdeutlichen die Potenziale der Maschine.

Erhabene Strukturen oder Leiterbahnen in Gräben

Für die Fertigung von MID-Komponenten im 2K-Spritzgießverfahren gibt es zwei Möglichkeiten: Entweder stehen die Leiterbahnen erhaben auf dem Vorspritzling aus metallisierbarem Kunststoff und werden durch die zweite Komponente aus nicht metallisierbarem Kunststoff (Isolierschicht), die die Zwischenräume auffüllt, voneinander getrennt (Methode 1). Oder der Vorspritzling aus nicht metallisierbarem Kunststoff enthält die späteren Leiterbahnen in Form von Gräben, die im zweiten Spritzvorgang mit metallisierbarem Kunststoff gefüllt werden (Methode 2).

In der Praxis kommt die erste Methode wegen der höheren Flexibilität bei der Leiterbahngestaltung häufiger zum Einsatz. Da die Leiterbahnen sich hier auf einem gemeinsamen Grundkörper befinden, kann es bei unvollständigem Formschluss beider Komponenten zu Unterwanderungseffekten im Metallisierungsprozess und somit zu Kurzschlüssen kommen. Eine Unterwanderung ist hauptsächlich an den Grenzflächen zwischen den beiden Komponenten und in den Bindenahtbereichen zu erwarten. Da die Fließquerschnitte im Vergleich zur Methode 2 in der Regel groß sind, lassen sich die leitenden Strukturen bei geringeren Drücken leichter füllen. Die Leiterbahnen werden als Gräben im Werkzeug eingesetzt, die aktuell angestrebten Strukturbreiten sind durch Mikrofräsen gut herstellbar.

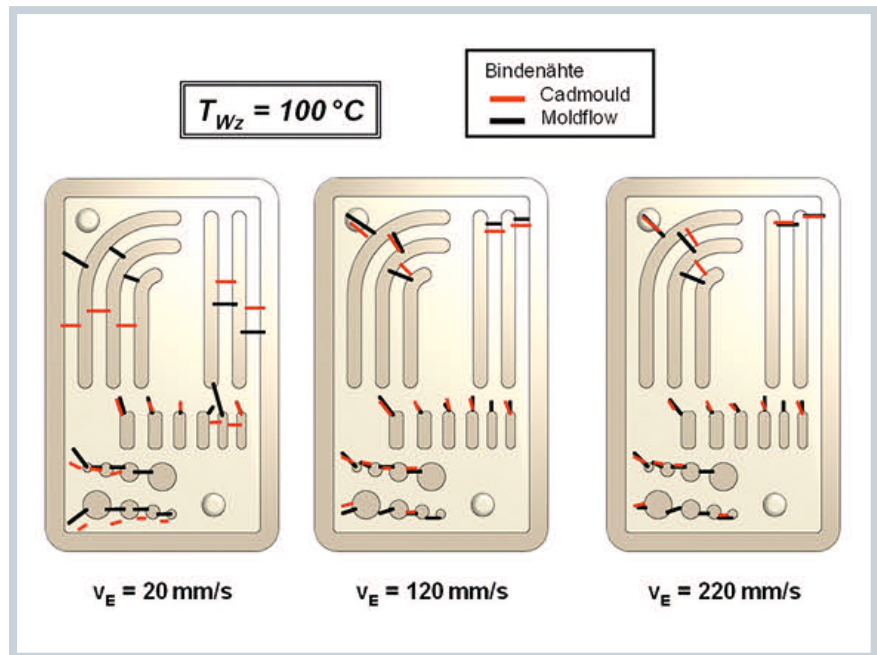


Bild 3. Die Simulationsergebnisse von Autodesk Moldflow und Cadmould 3D-F über die Entstehung von Bindenähten zeigen einen hohen Übereinstimmungsgrad

Bei der zweiten Methode haben die Bahnen wegen des fehlenden gemeinsamen Untergrunds keine Verbindungsstellen miteinander. Deshalb besteht die Gefahr eines Kurzschlusses durch Unterwanderungen beim Metallisierungsprozess nicht. Die einzelnen Bahnen müssen aber individuell verankert und angespritzt werden. Letzteres grenzt die Möglichkeiten beim Leiterbahnlayout stark ein. Elemente zur Durchkontaktierung zweier Funktionsebenen mit beidseitig offenen Bahnen sind aber gut machbar. Zur Füllung der filigranen Leiterbahnquerschnitte sind hohe Drücke nötig. Diese verursachen häufig eine Gratbildung an der zweiten Komponente und deformieren die Grundkomponente.

Stammwerkzeug mit formteilspezifischen Elementen

Anhand eines Testbauteils mit ebenen Leiterbahnstrukturen untersuchte eine Ar-

beitsgruppe am KuZ in Kooperation mit HSG-IMAT die grundlegenden Möglichkeiten des schussgewichtsoptimierten Spritzgießens nach dem formicaPlast-Prinzip. Auf den ebenen Flächen des Formteils ($8 \times 5 \text{ mm}^2$) lassen sich unterschiedliche Strukturen unterbringen. Die Grundkörper der Formteile werden durch einen Tunnelanschnitt angespritzt. Somit wird der Anguss nach dem ersten Spritzvorgang beim Öffnen des Werkzeugs abgetrennt und ausgeworfen. Die zweite Komponente hat eine rechteckige Direktanbindung an der frontseitigen Strukturfläche und verbleibt nach der Entformung am Formteil. Über Durchbrüche im Grundkörper gelangt die Schmelze auf die Rückseite des Formteils, sodass die zweite Komponente mechanisch verankert ist.

Die erste Variante des Formteils folgt der Methode 1 und beinhaltet unterschiedliche Leiterbahnbreiten zwischen 0,2 und 0,3 mm, freistehende Kontaktstellen in Form von Kreiszyklindern zwi-

schen 0,2 und 0,6 mm Durchmesser sowie mehrere Durchbrüche (**Bild 1 rechts**). Die Nutzung der Indextechnik erlaubt ein beidseitiges Aufbringen der zweiten Komponente. So befinden sich auf der Rückseite Strukturen, um die Haftung der Metallschicht zu untersuchen. Die Variante, die das Auffüllen von Leiterbahn-Gräben mit metallisierbarem Kunststoff gemäß Methode 2 vorsieht, demonstriert gleichzeitig die Vorteile des Stammwerkzeugkonzepts. Die Struktur teilt die Schmelze der zweiten Komponente fächerförmig in acht jeweils 0,2 mm breite Einzelbahnen mit 0,2 mm Abstand zueinander auf und vereint diese am Fließwegende wieder. Die Rückseite dient in diesem Fall nur der Verankerung (**Bild 1 links**).

Als Werkzeug-Grundaufbau wird ein formicaPlast-2K-Stammwerkzeug verwendet (**Bild 2**). Dieses erfordert nur wenige formteilspezifische Elemente, die neu gefertigt werden: Werkzeugeinsätze und Konturkerne sowie Auswerferkomponenten. Um das Formteil nach Methode 2 herzustellen, sind lediglich zwei weitere Teile notwendig: ein düsenseitiger Werkzeugeinsatz und ein auswerferseitiger Konturkern. Der Vorspritzling wird gemeinsam mit dem auswerferseitigen Einsatz in die zweite Spritzposition geschwenkt. Dabei wird das Formteil im Einsatz nur partiell gehalten. Dieses Vorgehen ermöglicht es, neben der üblichen düsenseitigen 2K-Struktur auch eine auswerferseitige 2K-Struktur zu erzeugen.

Von der Spritzgieß-Füllsimulation zur Funktionsintegration

Eine Füllsimulation ermöglicht es, in der Entwurfphase Bindenahtstellen zu lokalisieren, an denen eine Unterwanderung der Metallschicht zu befürchten ist. Darüber hinaus geben die Druckverhältnisse frühzeitig über die Dichtheit der Isolierschicht, die Deformation des Vorspritzlings und eine mögliche Gefahr der Überspritzung Auskunft. Die Komplexität der Simulation ergibt sich aus den kleinen Dimensionen (Kanalquerschnitte und Wanddicken), der komplexen Strömungssituation mit zahlreichen Fließhindernissen sowie aus dem zweiten Spritzvorgang, bei dem die Kanalwand teils aus Kunststoff und teils aus Stahl besteht.

Ein Vergleich zweier Softwareprodukte (Autodesk Moldflow 2011 und Cadmould 3D-F V4.5) untereinander zeigt eine gute Übereinstimmung der Ergebnisse bei praxisrelevanten hohen Einspritzgeschwindigkeiten (**Bild 3**). Die Simulationsergebnisse stimmen auch mit einer praktischen Füllstudie, bei der die Füllstufen durch die Veränderung des Umschaltpunktes entstehen, gut überein (**Bild 4**). Voraussetzung ist stets, dass die Wärmeübergangskoeffizienten an die Dynamik der Einspritzphase angepasst sind.

Die weit verbreitete Materialkombination zweier LCP (Typ: Vectra E820iPd und Vectra E130i, Hersteller: Ticona

GmbH) erlaubt ein breites Verarbeitungsfenster mit guten Metallisierungsergebnissen (**Bild 5**). Eine Versuchsserie mit weiteren, für das Reflow-Löten geeigneten Hochtemperaturwerkstoffen belegt, dass sich verschiedene PPA- und PPE-Typen ähnlich gut verarbeiten lassen. PPS ist dagegen wegen des engen Verarbeitungsfensters und des hohen Druckbedarfs kaum für die gewählte Anwendung geeignet.

Das oben dargestellte Testbauteil dient zur Klärung prinzipieller Fragen und beschränkt sich auf ebene Strukturen. Ein weiteres, dreidimensionales Formteil aus der beim Testbauteil bewährten LCP-LCP-Kombination mit den Abmessungen →

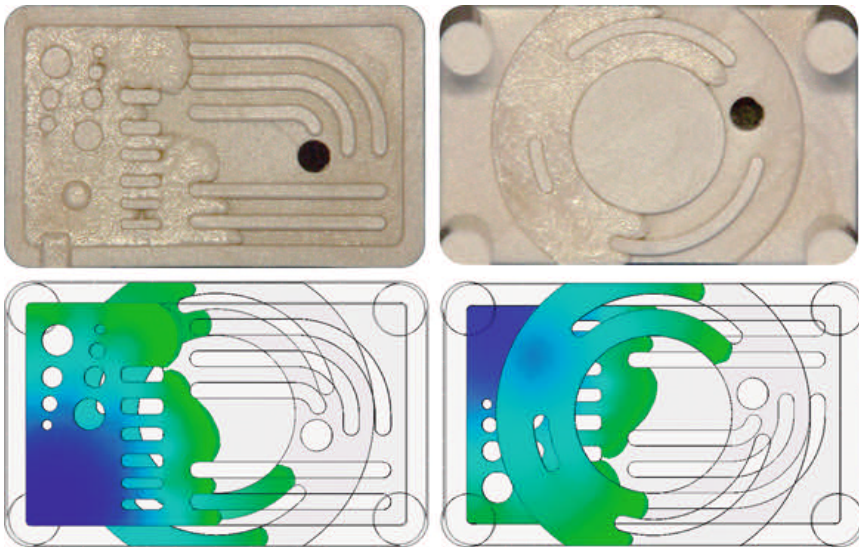


Bild 4. Ausschnitt aus dem sequenziellen Vergleich der Simulationsergebnisse von Moldflow (unten) mit den praktisch durchgeführten Füllstudien (oben) mit einer Einspritzgeschwindigkeit von 20 mm/s. Die Bilder links zeigen die Ober-, die rechts die Unterseite des Formteils

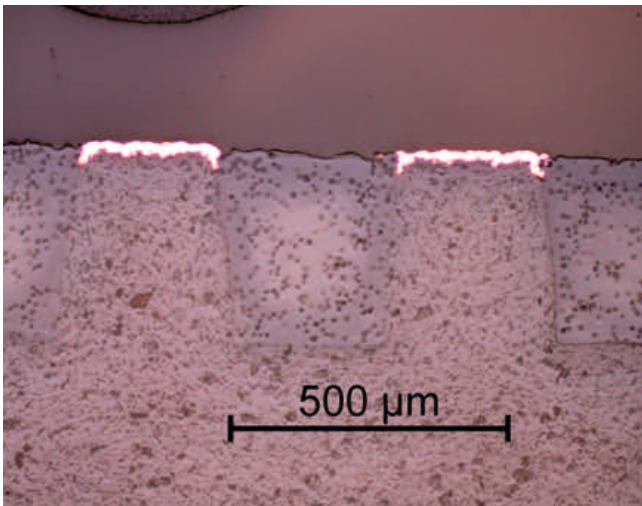


Bild 5. Der Querschliff eines metallisierten 2K-MID zeigt die spaltfreie Abdichtung zwischen der metallisierbaren Komponente und der Isolierschicht sowie das gleichmäßige Metallisierungsergebnis (Bild: HSG-IMAT)

von $14,6 \times 6,8 \times 4,5 \text{ mm}^3$ nutzt mit den Merkmalen Durchbruch, Dom und Rippe die Möglichkeiten des Spritzgießens zur kunststoffgerechten Funktionsintegration (**Titelbild**). Die Leiterbahnen weisen gezielt für die 2K-MID-Technik kritische Formteilmerkmale auf, wie räumliche Leiterbahnführungen über enge Radien und mit Bindenahtstellen. Zur Prüfung der elektrischen Funktionen ist das Bauteil kompatibel mit dem Mini-USB-Stecker. Auch in diesem Fall wird das Formteil beidseitig (Düsen- und Auswerferseite) mit der zweiten Komponente überspritzt. Trotz stark unterschiedlicher Formteilmerkmale und Anschnittlage bleibt das Spritzgießprinzip für alle vorgestellten Formteile gleich. So wird auch für dieses Formteil das oben beschriebene Werkzeugkonzept verwendet.

Die hergestellten Formteile bestehen die Zuverlässigkeitsprüfungen wie Tem-

peraturschocktests. Als Ergebnis der Untersuchungen stehen auch neue Erkenntnisse zur optimalen konstruktiven Gestaltung von 2K-MID zur Verfügung.

Fazit

Die Versuche mit zwei ausgewählten Formteilen weisen die Eignung der Zweistufen-Kolbenspritzgießmaschine „formicaPlast“ zur Herstellung miniaturisierter 2K-MID nach. Das verwendete Index-Umsetzverfahren beinhaltet viele Möglichkeiten zur beidseitigen 2K-Strukturierung der Formteile. ■

DANK

Das IGF-Vorhaben Nr. 335ZBG wurde über die Arbeitsgemeinschaft Industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e. V. (AiF) im Rahmen des Programms zur Förderung der IGF aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestags gefördert.

LITERATUR

- 1 Jüttner, G.: Plastifiziereinheiten für kleinste Schussgewichte. *Kunststoffe* 94 (2004) 1, S. 53–55
- 2 Dormann, B.; Jüttner, G.: Klein, fleißig, kooperativ – Große Anforderungen für kleine Teile an Mikrospritzanlagen. *Plastverarbeiter* 58 (2007) 2, S. 60–62.
- 3 Jüttner, G.; Jacob, S.: Immer kleiner, immer präziser – Flexible Fertigung von Zweikomponententeilen durch Mikrospritzgießen. *Plastverarbeiter* 57 (2005) 11, S. 62–64.
- 4 Dormann, B.; Jüttner, G.: Hochpräzise Miniaturen – 2K-Mikrospritzgießen. *Kunststoffe* 99 (2009) 2, S. 34–37
- 5 Jüttner, G.; Freitag, H.; Dormann, B.: Mikrospritzgießen mit Automatisierung nach Maß. *Mikroproduktion* (2010) 5, S. 12–17
- 6 Jüttner, G.; Stübiger, A.; Härtel, T.: Der bessere Prüfkörper für 2K-Mikrobauteile. *Mikroproduktion* (2011) 6, S. 48–51

DIE AUTOREN

DR.-ING. GÁBOR JÜTTNER, geb. 1970, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Kunststoff-Zentrum (KuZ) in Leipzig gGmbH und leitet das Team Spritzgießen; juettner@kuz-leipzig.de

DR. WOLFGANG EBERHARDT, geb. 1968, ist seit 1998 als wissenschaftlicher Mitarbeiter im Hahn-Schickard-Institut für Mikroaufbautechnik (HSG-IMAT) in Stuttgart tätig. Derzeit leitet er dort die Abteilung Technologie.

DIPL.-ING. PETER BUCKMÜLLER, geb. 1978, ist seit 2007 als wissenschaftlicher Mitarbeiter im HSG-IMAT tätig. Seit 2011 leitet er dort die Gruppe Konstruktion, Werkzeugbau und Spritzguss.

DIPL.-WI.-ING. CINDY LÖSER, geb. 1978, ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am KuZ.