

3.8 Mikro-Montagespritzgießen

W. Michaeli und D. Opfermann

Institut für Kunststoffverarbeitung, RWTH Aachen

Als eines der wichtigsten Verarbeitungsverfahren für Kunststoffe hat sich das Spritzgießen durch standardisierte Prozessabläufe, einen hohen Automatisierungsgrad und kurze Zykluszeiten etabliert. Das Mikrospritzgießen als stark wachsende Technologie ermöglicht die kostengünstige Herstellung von komplexen Mikroteilen mit hoher Funktionsintegration in großen Stückzahlen.

Während die Fertigungsprozesse für mikrotechnische Komponenten zum großen Teil beherrscht oder zumindest beherrschbar sind, bildet die Montage dieser Komponenten zu hybriden Systemen ein Nadelöhr bei der industriellen Umsetzung. Die Montage von Mikrosystemen selbst besitzt einen sehr hohen Wertschöpfungsanteil, und ihre Bedeutung steigt mit zunehmender Komplexität und fortschreitender Miniaturisierung der Systeme (Ziegmann 2002).

3.8.1 Verfahrensbeschreibung

Aufgrund der steigenden Komplexität von Montagevorgängen in der Mikrosystemtechnik liegt die Idee nahe, das Mikrospritzgießen zur Herstellung und zur Montage hybrider Mikrosysteme einzusetzen.

Hierbei kann in einem Verarbeitungsschritt ein Verbund aus mehreren thermoplastischen Kunststoffen oder auch der Verbund von thermoplastischem Kunststoff mit Mikroteilen aus einem anderen Werkstoff, z.B. Metall, Silizium, Glas oder Keramik, hergestellt werden. Die Tatsache, dass zum Erstellen des Verbundes nur ein Verarbeitungsschritt nötig ist, rechtfertigt seine Existenz neben anderen Verfahren, wie dem Kleben, dem Löten, dem Schweißen oder dem Bonden. Das Verbundspritzgießen als vergleichbares Verfahren in der Makrowelt ist bei der Herstellung makroskopischer Bauteile schon etabliert und ist bereits Objekt wissenschaftlicher Untersuchungen gewesen (Brinkmann 1996). Die Kenngrößen, die dabei ermittelt werden, lassen sich jedoch nicht ohne weiteres auf das Verfahren der Montage hybrider Mikrostrukturen übertragen. Viele

wesentliche Einflussfaktoren können aufgrund der sehr kleinen Abmessungen und der für die Mikrosystemtechnik geltenden Besonderheiten nicht aus dem Makro- in den Mikrobereich übertragen werden. So werden zum Beispiel die Oberflächen/Volumen-Verhältnisse mit zunehmender Miniaturisierung immer größer. Die Strukturabmessungen bewegen sich teilweise in ähnlichen Größenordnungen wie herkömmliche Oberflächenrauheiten und der morphologische Schichtaufbau eines Mikrospritzgießbauteils unterscheidet sich unter Umständen deutlich vom makroskopischen Bauteil. Außerdem bekommen werkzeugtechnische Problemstellungen eine enorme Bedeutung. Der numerischen Simulation, die im makroskopischen Bereich etabliert ist, sind mikrotechnische Dimensionen gerade hinsichtlich der Fließvorgänge häufig nicht zugänglich.

Allen Varianten des Mikro-Montagespritzgießens ist gemeinsam, dass durch die Integration des Fügeprozesses in die Bauteilgenerierung ein hohes Rationalisierungspotenzial durch Einsparung zusätzlicher Handhabungs- und Fügeprozesse besteht. Dies stellt den Mehrwert dieses Verfahrens dar. Exemplarisch lässt sich das anhand der Adaption einer Mikrolinse an einem Bildleiter erläutern (Abb. 3.8-1).

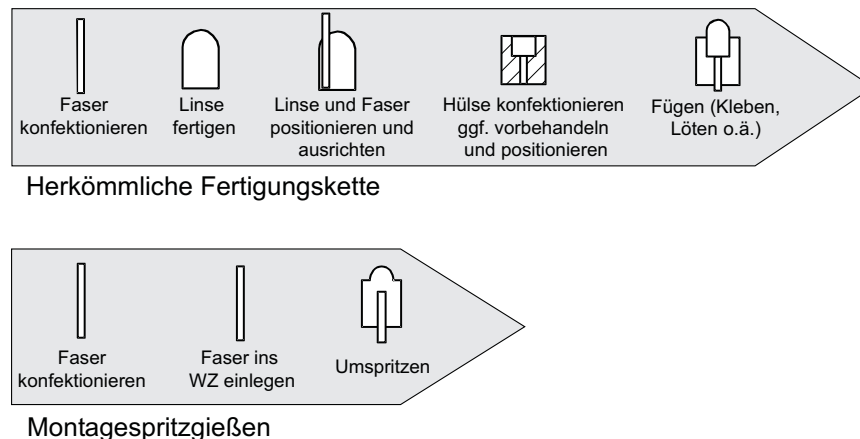


Abb. 3.8-1. Vergleich einer herkömmlichen Fertigungskette mit dem Mikro-Montagespritzgießen am Beispiel eines Lichtwellenleiters mit Mikrolinse

Ein solches Bauteil kann zum Beispiel als Optik in einem Endoskop eingesetzt werden. Bei dieser Fügeaufgabe muss eine sphärische Linse in einem definierten Abstand zur polierten Faserstirnfläche positioniert, die beiden Komponenten müssen ausgerichtet und dann mit Hilfe einer weite-

ren Komponente gefügt werden. Hierfür ist eine Vielzahl von Prozessschritten notwendig, die sich durch den Einsatz des Mikro-Montagespritzgießens deutlich reduzieren lässt. Bei der Gegenüberstellung der Verfahrensabläufe wird das Potential des Mikro-Montagespritzgießens deutlich (Abb. 3.8-1). Neben der reinen Anzahl der Verfahrensschritte, die eingespart werden, entfällt auch ein zusätzliches Bauteil, in diesem Fall die Hülse, und ein zusätzlicher Werkstoff, wie er beim Löten oder Kleben zum Einsatz kommt. Besonders augenscheinlich ist das Potenzial des Verfahrens bei der Fertigung von Arrays mit mehreren in einen Prozessschritt integrierten Fügevorgängen. Durch diese Parallelisierung in Form von mehreren Kavitäten im Spritzgießwerkzeug lässt sich der Vorteil des Mikro-Montagespritzgießens besser nutzen (Ziegmann 2002). Das nach dem Prinzip des Mikro-Montagespritzgießens gefertigte Demonstratorbauteil Linse mit Lichtleiter ist in Abb. 3.8-2 abgebildet.

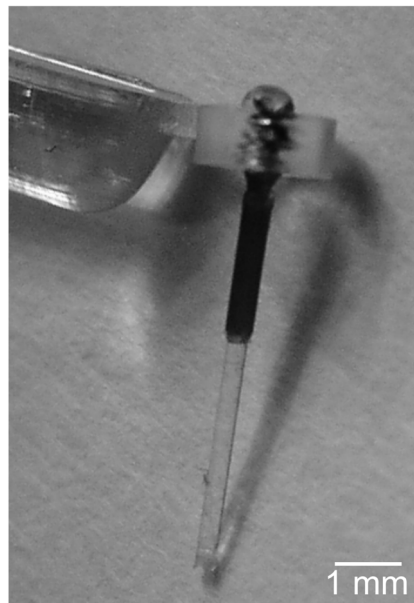


Abb. 3.8-2. Lichtleiter mit Mikrolinse (im Mikro-Montagespritzgießen hergestellt)

Aus den bisher angestellten Betrachtungen ergibt sich die folgerichtige Idee, das Mikrospritzgießen in verschiedenen Varianten für die Herstellung von hybriden Mikrostrukturen zu nutzen. Hierbei können die vielfäl-

tigen Vorteile des Spritzgießens und insbesondere der beschriebenen Mehrkomponentenverfahren auf die wirtschaftliche Fertigung von qualitativ hochwertigen Mikrosystemen in mittleren bis großen Stückzahlen übertragen werden.

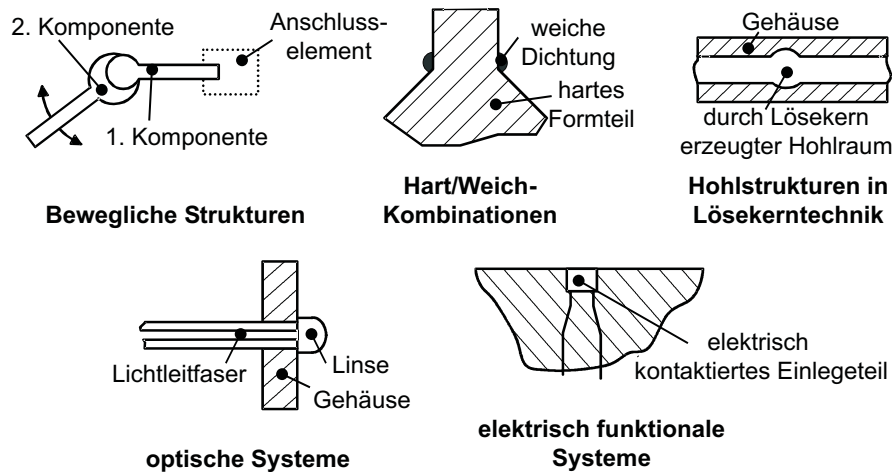


Abb. 3.8-3. Mögliche Verfahrensvarianten des Mikro-Montagespritzgießens

Die einfache Verfahrensidee lässt sich nun in vielfältigen Varianten ähnlich den makroskopischen Verfahren umsetzen (Michaeli et al. 2001; Michaeli u. Ziegmann 2001). In Abb. 3.8-3 sind einige der verschiedenen Möglichkeiten abgebildet. Sie unterscheiden sich z.B. hinsichtlich der Werkstoffeigenschaften, der Prozessfolge, der geometrischen Randbedingungen und vor allem der Funktionalität.

So können bewegliche Strukturen z.B. über ein 2K-Verfahren mit unverträglichen Werkstoffpaarungen oder aber durch Mikro-Filmscharniere erzeugt werden. Hart/Weich-Verbunde sind immer dort interessant, wo eine definierte Abdichtung erzielt werden soll. Strukturen für die Mikrofluidik oder Hohlräume können durch Lösekerntechnik erzeugt und gleichzeitig funktionelle Einlege-teile eingebracht werden. Optische Lichtleitfasern werden direkt mit einer Positionierstruktur versehen oder mit einer Abbildungsoptik kombiniert. Ebenso können mikroelektronische Komponenten in ein spritzgegossenes System integriert und direkt mit einer Kontaktierungsvorrichtung versehen werden.

Das Spritzgießwerkzeug und die Position der eingebauten Sensorik sind in Abb. 3.8-4 zu sehen. Bei dem benutzten Versuchswerkzeug handelt es

sich um ein Backenwerkzeug der Firma HASCO, Lüdenscheid, das über einen entnehmbaren Formeinsatz verfügt. Dieser Formeinsatz ist über seine konische Form und einen Führungsbolzen im Werkzeug definiert positioniert. Der entnehmbare Formeinsatz hat den Vorteil, dass Entformen und Beschicken mit Einlegeteilen außerhalb des Werkzeugs erfolgen kann.

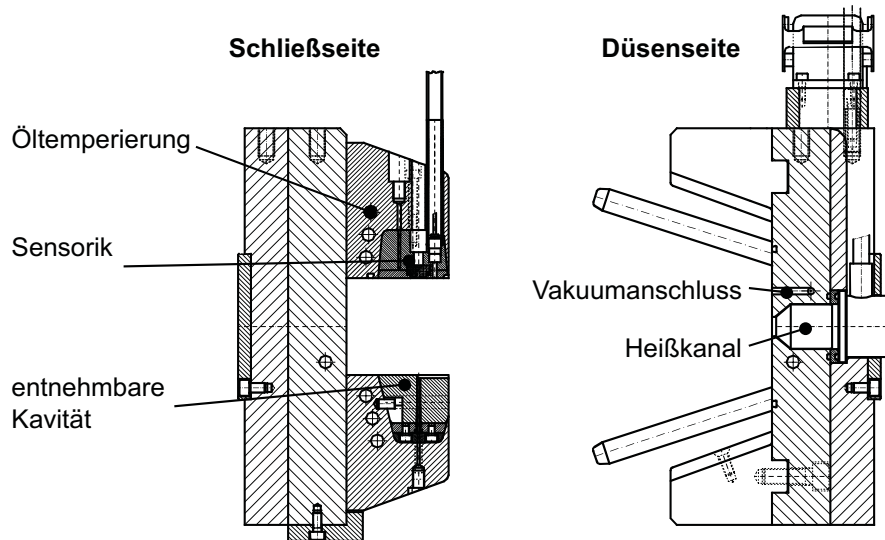


Abb. 3.8-4. Aufbau des Versuchswerkzeugs

Zur Prozessüberwachung ist in der oberen Backe des Werkzeugs ein Einsatz mit mehreren Sensoren integriert ist. Der Werkzeuginnendruck wird hier mit Hilfe eines Druckaufnehmers gemessen. Der Druckaufnehmer nimmt den Druck am Angussverteiler auf. Eine Messung direkt an Mikrostruktur oder -bauteil ist aufgrund der Abmessungen und Bauräume nicht möglich ist. Außerdem sind die durch den Druckaufnehmer entstehenden Abdrücke auf den Mikrobauteile und -strukturen besonders störend.

Die Temperatur in der oberen Backe, die im Wesentlichen stationär ist, wird mit Hilfe eines Thermofühlers nahe der Kavitätsoberfläche gemessen. Ein weiterer Thermofühler gleicher Art ist im Inneren des in der unteren Backe angeordneten Auswerfers platziert und reicht bis unmittelbar an den Kavitätsbereich heran. Mit diesem kann neben der stationären Temperatur auch der Temperatursprung bei einem variothermen Prozess bestimmt werden.

Zur Übermittlung von optischen Informationen, zum Beispiel über das Umströmen von Einlegeteilen, ist das Werkzeug mit einem Sichteinsatz aus Glas und einer endoskopischen Übertragungseinheit versehen. Der Glaseinsatz ist zentrisch über der Mikrokavität angeordnet und ermöglicht so die Beobachtung vielfältiger Strömungsvorgänge. Das Bild wird über ein starres Endoskop an eine CCD-Kamera übertragen. Aufgrund der teilweise sehr hohen Werkzeugtemperaturen ist es notwendig, das eingesetzte Endoskop mit Druckluft zu kühlen, um die Kamera und die optische Komponenten Kamera vor thermischen Schäden zu schützen. Das aufgezeichnete Bild wird an einen Bildverarbeitungsrechner weitergegeben, in dem es zunächst abgelegt wird und später analysiert werden kann.

Die Gesamtheit der mit dieser Sensorik erfassbaren Daten ermöglicht eine detaillierte Beschreibung der verschiedenen Prozessvarianten. Somit ist es möglich, anhand der beobachteten und aufgezeichneten Prozessparameter eine Korrelation mit den sich ergebenden Bauteileigenschaften vorzunehmen (Ziegmann 2002; Michaeli u. Opfermann 2004).

3.8.2 Bauteilbeispiele

Mögliche Anwendungen für das Mikro-Montagespritzgießen finden sich in den vielfältigen Feldern der Mikrosystemtechnik und den damit verknüpften Montageaufgaben. Beispielhaft ist hier ein Mikromischer aufgeführt. Der beschriebene Mikromischer ist ein Demonstratorbauteil des Sonderforschungsbereichs 440, zu dem auch die hier beschriebenen Untersuchungen gehören.

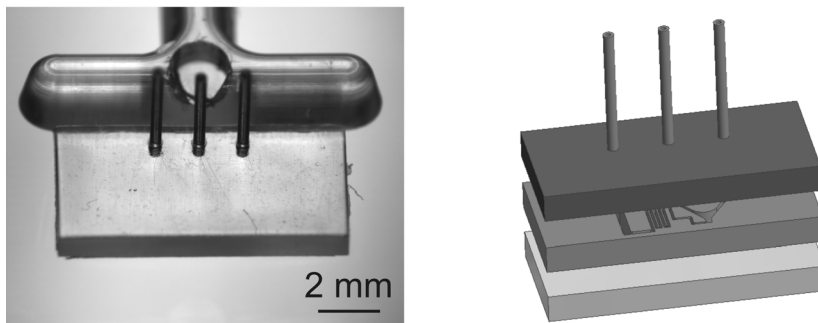


Abb. 3.8-5. Mikromischerdeckel mit umspritzten Kapillaren ($\varnothing = 400 \mu\text{m}$), schematischer Umbau des Mikromischers (rechts)

Die Voraussetzung für eine optimale Durchmischung der beiden Fluidströme gewährleisten Mischstrukturen, die feiner sind als die Diffusionswege der durchströmenden Fluide. Der Mikromischer besteht aus vier verschiedenen Bauelementen (Abb. 3.8-5): Einer Siliziumplatte mit den geätzten Mischerstrukturen, zwei Glasplatten als Deckel, von denen eine mit Präzisionsbohrungen versehen ist, und drei Kapillaren. Die beiden Glasplatten und die Siliziumplatte bilden einen Sandwichverbund. Die in der Mitte liegende Siliziumplatte wird nach unten von der ersten Glasplatte abgedichtet.

Nach oben ermöglicht die zweite Glasplatte mit ihren passgenauen Bohrungen den Anschluss an die Glaskapillaren. Über sie erfolgt die Einbringung der zu mischenden Flüssigkeiten und die Abführung der gemischten Flüssigkeit. Die obere Glasplatte kann durch ein Kunststoffbauteil ersetzt werden. Durch das Mikro-Montagespritzgießen können die drei Kapillaren direkt bei der Herstellung des Deckels integriert werden (Abb. 3.8-5). Ein zusätzlicher Fügeschritt entfällt.

Anhand einer anderen Teststruktur werden die Einflussgrößen beim Spritzgießen beweglicher Mehrkomponententeile untersucht. Aufgrund der hohen Aussagekraft bei einfachen geometrischen Randbedingungen wird ein Scharniergelenk ausgewählt (Abb. 3.8-6).

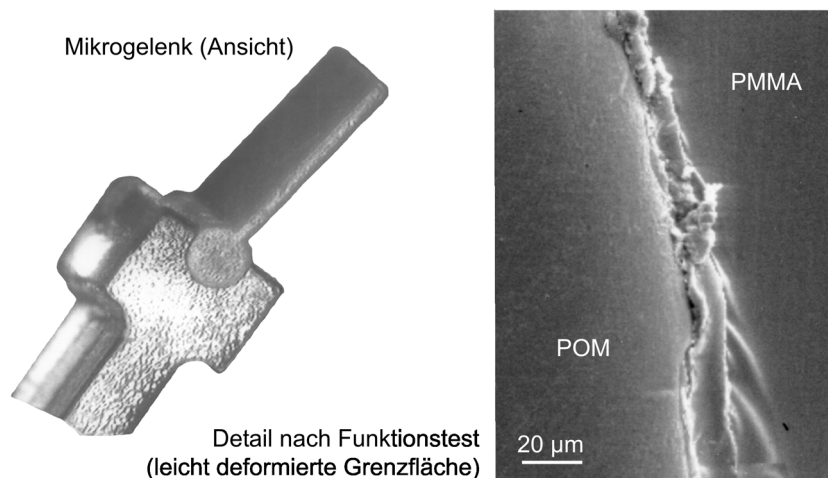


Abb. 3.8-6. Mikrogelenk und REM-Aufnahme der Grenzfläche

Die ersten beweglichen Strukturen werden mit einer Kombination aus POM Hostaform C 52021 (Ticona) und PMMA VQ 101 S (Röhm) realisiert. Obwohl die Schmelzetemperaturen dieser Werkstoffe im gleichen

Bereich liegen, werden hiermit gute Ergebnisse hinsichtlich der Funktionalität erzielt.

Die Aufnahme zeigt die Grenzfläche des Bauteils nach dem Spritzgießprozess. Zwar bildet sich hier die für den funkenerosiven Fertigungsverfahren der Kavität charakteristische Rauigkeit an den Bauteiloberflächen ab. Die Grenzfläche ist jedoch definiert ausgebildet und weist einen gleichmäßigen Verlauf auf. Die REM-Aufnahme zeigt eine Grenzfläche nach Auslenkung des Scharniergelenks. An der PMMA-Komponente wird eine durch die Auslenkung mechanisch beeinflusste Zone mit einer Breite von ca. 10 µm sichtbar, die zum einen durch die Unrundheit des Vorspritzlings und zum anderen durch die Reibung zwischen den Komponenten hervorgerufen werden kann. Auf jeden Fall ist die Funktionalität der Struktur bei dieser Konstellation gewährleistet.

Einen entscheidenden Einfluss auf die Ausbildung der Grenzfläche und damit die Funktionalität des Bauteils hat neben der Werkstoffkombination auch die Reihenfolge der Verarbeitung. Dieser Sachverhalt lässt sich anhand der in Abb. 3.8-7 dargestellten Schnitte durch die Funktionsstruktur erläutern. Die Werkstoffkombination besteht in diesem Fall aus den teilkristallinen Werkstoffen POM Hostaform C 52021 (Ticona) und sPS Schultec GF30 (Schulman).

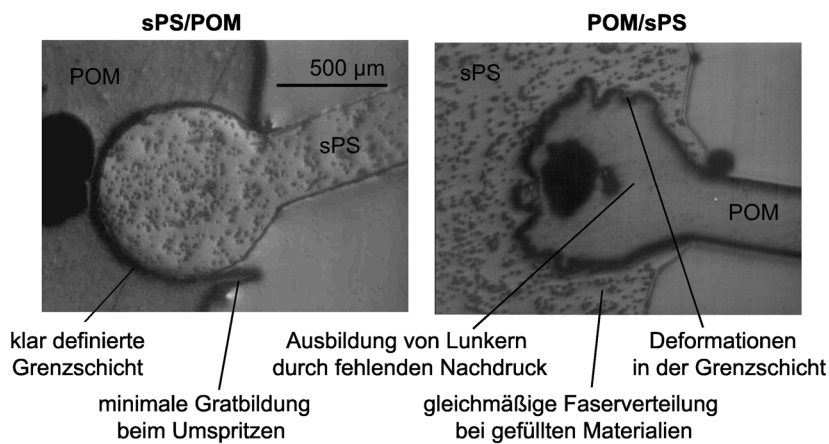


Abb. 3.8-7. Einfluss der Verarbeitungsreihenfolge

3.8.3 Untersuchung der Verbundfestigkeit

Um die Vorteile des Mikro-Montagespritzgießen nutzen zu können, muss die Verbundfestigkeit des erzeugten Systems bekannt sein. Das Mikro-

Montagespritzgießen konkurriert hier mit Verfahren wie dem Kleben, dem Löten und dem Bonden. Um einen Vergleich der Verfahren zu ermöglichen und Vor- und Nachteile abwägen zu können, müssen die erzielbaren Verbundfestigkeiten bekannt sein.

Um die Verbundfestigkeit der hybrider Prüfkörper zu testen, erscheint eine Versuchsanordnung nach dem Prinzip des Pull-Out-Tests vielversprechend (Abb. 3.8-8). Bei dieser Anordnung ist das Einlegeteil eine zylindrische Faser oder ein Draht, die bzw. der im Spritzgießprozess mit einem ringförmigen Kunststoffteil umspritzt wird. Um bei dieser Probengeometrie die Haftung zwischen Einlegeteil und Kunststoff zu untersuchen, wird auf einer Zugprüfmaschine mit entsprechend empfindlicher Kraftmessdose die Faser oder der Draht aus dem ringförmigen Kunststoffelement herausgezogen und die dazu benötigte Kraft über dem Weg gemessen (Michaeli et al. 2004).

Die Vorteile einer solchen Anordnung sind neben der Vermeidung einer formschlüssigen Verbindung bei gleichzeitiger Ausbildung einer kraftschlüssigen Verbindung die einfache Entformung des hybriden Formteils aus der Kavität und die Berücksichtigung von Einflussgrößen wie der Schwindung. Allerdings hat eine solche Versuchsanordnung auch Nachteile. So liegt in der Fügeebene ein undefinierter Spannungszustand vor, so dass aus den Messwerten keine direkte Bildung von Kennwerten möglich ist.

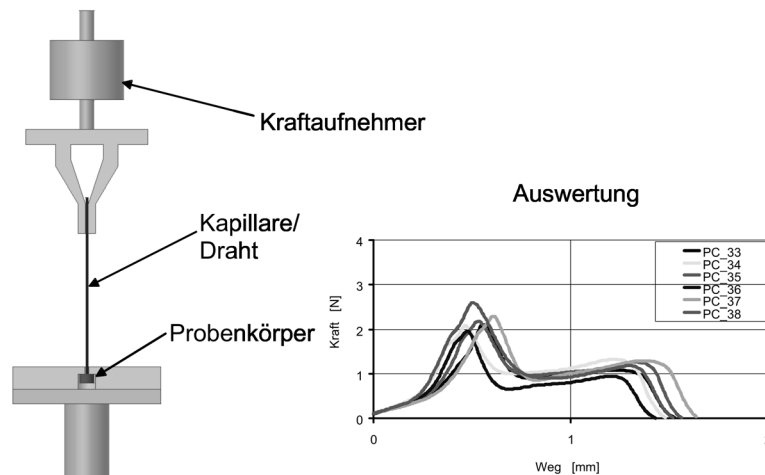


Abb. 3.8-8. Schema des Pull-Out-Tests

3.8.4 Ausblick

Prinzipiell ist die Funktionsfähigkeit des Mikro-Montagespritzgießens als Fügeverfahren nachgewiesen. Bei dem bis jetzt hauptsächlich untersuchten Verbunden handelt es sich um metallische Einlegeteile, die mit Thermoplasten umspritzt werden. Die Auswertung der durchgeführten Versuche hat gezeigt, dass im Rahmen der möglichen Parametervariationen kein grundsätzlicher Einfluss der Herstellbedingungen auf die resultierende Verbundfestigkeit besteht. Der Einfluss der Streuung verdeutlicht erneut die Problematik der Mikrotechnik. Hier spielen Effekte eine Rolle, die im makroskopischen Bereich leicht vernachlässigt werden können oder gar nicht messbar sind. Daher ist in weitergehenden Untersuchungen ein anderer Weg angedacht. Da die Haftung mit den Vorgängen in der Grenzfläche zusammenhängt, besteht die Möglichkeit, die Grenzfläche zu modifizieren. Die kann zum einen mechanisch in Form einer definierten Oberflächenrauheit des Einlegeteils geschehen oder auch chemisch durch das Aufbringen von Haftvermittlern. Um die Möglichkeit des Umspritzens weiterer Materialien der Mikrotechnik zu untersuchen, werden ähnliche Versuche auch mit Einlegeteilen aus Silizium, Glas und Keramik angestrebt.

Literatur

- Brinkmann S (1996) Verbesserte Vorhersage der Verbundfestigkeit von 2-Komponenten-Spritzgießbauteilen. Dissertation, RWTH Aachen
- Michaeli W, Haberstroh E, Gärtner R, Lützeler R, Schulz J, Wehr H, Ziegmann C (2002) Mikrotechnik – Neue Anwendungsfelder, Maschinen- und Verfahrenstechnik. 21. Internationales Kunststofftechnisches Kolloquium, Aachen
- Michaeli W; Haberstroh E; Schmachtenberg E; Lützeler R; Opfermann D; Kuhlmann K; Tüchert C (2004) Verbinden von Kunststoffteilen. 22. Internationales Kunststofftechnisches Kolloquium, Aachen
- Michaeli W, Rogalla A, Ziegmann C, Klein H (1998) Montage hybrider Mikrosysteme. VDI-Z 140 (1-2):50-52
- Michaeli W, Rogalla A, Ziegmann C (2000) Processing technologies for the injection moulding of hybrid microstructures. Macromol. Mater. Eng. 279:42-45
- Michaeli W, Rogalla A, Ziegmann C (2001) Micro Assembly Injection Molding of Hybrid Microstructures. Journal of Polymer Engineering 21 (2/3):99-109
- Michaeli W, Ziegmann C (2001) Micro Assembly Injection Molding – Mold and Processing Technologies. Proceedings ANTEC (Annual Technical Conference), SPE, Dallas
- Michaeli W, Ziegmann C (2001) Micro Assembly Injection Moulding for the Generation of Hybrid Microstructures. Proceedings Micro System Technologies, Düsseldorf

- Michaeli W, Ziegmann C (2003) Micro assembly injection moulding for the generation of hybrid microstructures. *Microsystem Technologies* 9:427-430
- Michaeli W, Opfermann D (2004) Festigkeitsuntersuchungen beim Mikro-Montagespritzgießen. *Plastverarbeiter* 55 (10):150-152
- Opfermann D (2004) Micro injection moulding – micro assembly injection moulding. (Vortrag im Rahmen von Vision Online “Precision and Micro Engineering – In the Application”. Aachen, 11.–15.10.2004)
- Ziegmann C (2002) Kunststofftechnische Prozesse für die Mikromontage. Dissertation, RWTH Aachen

Montage hybrider Mikrosysteme
Handhabungs- und Fügetechniken für die Klein- und
Mittelserienfertigung
Dilthey, U.; Brandenburg, A. (Hrsg.)
2005, X, 218 S., Hardcover
ISBN: 978-3-540-23706-8