

Let's talk about solutions

**Aufbau und Charakterisierung eines
Mikrodispensers in Kunststoff-Mikro-
Spritzguss als kostengünstiges
Einwegbauteil
AiF 151 ZN**

**Kai Hiltmann, Daniel Warkentin und Wolfgang
Streule**

Institut für Mikro- und Informationstechnik
der Hahn-Schickard-Gesellschaft e.V.

Wilhelm-Schickard-Straße 10
78052 Villingen-Schwenningen

Tel.: +49 7721/943-0
Fax.: +49 7721/943-210

eMail: info@hsg-imit.de
web: www.hsg-imit.de

1 Zusammenfassung

In der Industrie und vor allem in biotechnologischen Anwendungen ist der Bedarf nach Dosiersystemen für den Bereich weniger bis einiger hundert Nanoliter sehr groß. In größeren Volumenbereichen kommt – gerade in der Biotechnologie – fast ausschließlich die Pipettentchnik zum Einsatz. Durch die hohen Anforderungen in z.B. Diagnostiksystemen ist es wichtig, dass alle Fluid führenden Elemente der Dispensers sehr einfach und kostengünstig ausgetauscht werden können oder idealerweise als Disposable ausgeführt sind.

Im Rahmen dieses Projektes wurde ein Dispenser entwickelt, der die Vorteile der Pipettentchnik (kostengünstig, einfache fluidische Schnittstelle, am Markt sehr gut eingeführt) nutzt, und den Dosierbereich von bisher minimal 1 µl auf wenige Nanoliter erweitert. Hierzu wird eine Pipettenspritze mit dem Pipejet-Dosierverfahren kombiniert.

Im Verlauf des Projekts wurde das Dosierelement selbst und eine passende Dosiereinheit konzipiert, konstruiert, gefertigt und optimiert. An den Teilen wurden umfangreiche Dosiertests vorgenommen, die sehr gute Ergebnisse erbrachten.

Das Ziel des Vorhabens wurde erreicht.

2 Angaben zum Projekt

Projektname:	151 ZN „Aufbau und Charakterisierung eines Mikrodispensers in Kunststoff-Mikrospritzguss als kostengünstiges Einwegbauteil“		
Forschungsstelle	HSG-IMIT (PN 313205)	HSG-IMAT	IMTEK
Projektleiter:	Dipl.-Ing. Kai Hiltmann	Dr.-Ing. Daniel Warkentin	Dipl.-Ing. Wolfgang Streule
Startdatum:	01.07.2004	Enddatum:	31.12.2005

3 Ziele und Ergebnisse des Projektes

3.1 Allgemeines

Bei der Entwicklung eines Mikro-Dosiersystems aus Kunststoff sollen vor allem die Gestaltungsmöglichkeiten der Mikrospritzgießtechnologie berücksichtigt werden. Damit besteht die Möglichkeit, Dispensersysteme zu realisieren, bei denen die mit dem zu dosierenden Medium in Kontakt stehenden Bauteile als Disposables ausgeführt sind. Es sollen im wesentlichen zwei Ziele verfolgt werden:

1. Aufbau eines Mikrodispensers als kostengünstiges Disposable in Kunststoff. Erstmals soll ein Dosierelement aus mikrospritzgegossenem Kunststoff eingesetzt werden. Basierend auf den dabei erarbeiteten Ergebnissen sollen kleine und mittlere Unternehmen in die Lage versetzt werden, solche Mikrodispenser in Mikrospritzguss-Technologie mit kalkulierbarem Entwicklungsrisiko anwendungsspezifisch zu adaptieren.
2. Optimierung und Weiterentwicklung von Mikrospritzgieß- und Fügeverfahren insbesondere im Hinblick auf Reproduzierbarkeit, die eine Erweiterung bisheriger technologischer Grenzen ermöglicht und somit für Technologieanbieter die Erschließung neuer Märkte sowie für Technologieanwender die Realisierung neuer Produkte ermöglicht.

3.2 Ergebnisse

Ein Mikrodispensersystem wurde realisiert, bei dem alle Fluid führenden Teile unter Verwendung von Spritzgussverfahren in Kunststoff herstellbar sind. Es ist in der Lage, flüssige Medien in Mengen zwischen 0,5 nl und 100 nl präzise und kontaktlos zu dosieren. Eine Pipettenspitze

wurde hierzu an einen Polyimid- (PI-) Schlauch mit Innendurchmesser 500 μm angespritzt. Die Pipettenspitze wird in eine Mehrfach-Haltevorrichtung, Bild 1, eingesetzt, die die PI-Schläuche über Piezo-Stapelaktoren kurzzeitig seitlich komprimiert und so in deren Inneren Flüssigkeit entlang der Schlauchachse in beiden Richtungen verschiebt. Das Verhältnis der Strömungswiderstände bestimmt dabei den Anteil der abgegebenen Flüssigkeitsmenge.

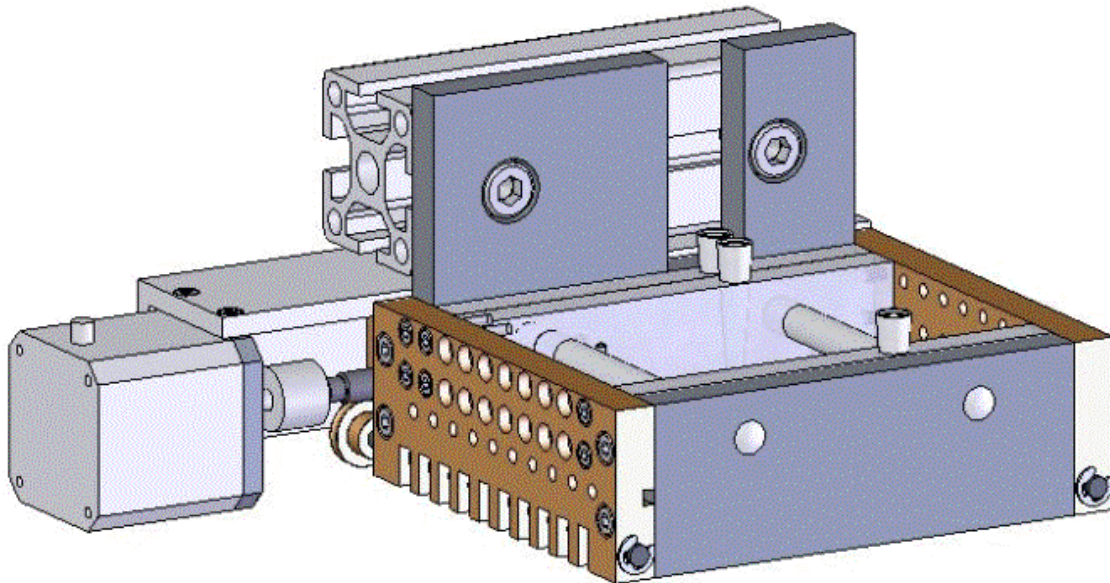


Bild 1: Dispensersystem, Gesamtaufbau. Es setzt sich modular zusammen aus einer Rahmeneinheit mit Klemmantrieb der Einzelmoduln, den einzelnen Dispensermoduln und einer Antriebseinheit.

3.3 Richtlinien für die Konstruktion mikrotechnischer Bauteile in Mikrospritzgießtechnologie (Design Rules)

Randbedingungen des Spritzgusses sind unter Anderem:

- Keine großen Sprünge/Unterschiede in den Wandstärken des Spritzgussteils
- Notwendigkeit von Auswerfern
- Vermeidung von Hinterschnitten, für deren Realisierung Schieber oder Einlegeteile notwendig wären, die die Werkzeugkosten und die Zykluszeit stark erhöhen würden
- Vermeidung von harten Kanten, die starken Abrieb am Werkzeug nach sich ziehen würden
- Verwendung des richtigen Materials unter Berücksichtigung der Anwendung (Biokompatibilität) und des Werkzeugs (Standzeit)
- Vorgänge der Formfüllung, der Abkühlung und der Entformung

Bei der Formfüllung besitzen Angussform und Angusslage einen großen Einfluss auf den Schmelzefluss. Dieser hat bei der Formfüllung Orientierungen zur Folge, die insbesondere bei faserverstärkten Thermoplasten ein anisotropes Bauteilverhalten und durch richtungsabhängige Schwindung auch Verzug verursachen. Geometriebedingt können bei der Formfüllung Bindenähte oder Lufteinschlüsse entstehen, die im Bauteil eine Schwachstelle oder Inhomogenität darstellen. Dies kann durch Füllsimulationen mittels kommerziell verfügbarer FEM-Software vorab geprüft werden. Falls Bindenähte oder Lufteinschlüsse zu erwarten sind, kann durch Änderung der Strömungsverhältnisse im Bauteil die kritische Zone eliminiert oder verlagert werden. Die Strömungsverhältnisse können z.B. durch die Erweiterung des Bauteils durch ein Überlaufbecken, oder eine Anguss- oder Wanddickenveränderung beeinflusst und häufig gezielt gesteuert werden. Die Strömungsveränderung durch ein Überlaufbecken erweist sich vor Allem bei sehr kleinen Bauteilen als vorteilhaft, da das Schmelzevolumen vergrößert und somit der gesamte Spritzgussprozess stabilisiert wird. Der Überlauf wird nach dem Entformen entfernt. Das kann durch eine Anbindung des Überlaufbeckens durch einen Filmanguss geschehen. Des Weiteren muss beim Mikrospritzguss beachtet werden, dass zu tiefe Strukturen bzw. solche mit

zu großem Aspektverhältnis eventuell nicht mehr gefüllt werden. Die dabei erreichbare Fließweglänge hängt jedoch stark von den verwendeten Querschnitten, den eingesetzten Polymeren sowie von den Werkzeugtemperaturen ab und muss deshalb vorab untersucht werden. Ortsvariable Schwindung und als Folge davon Verzug können auch durch unterschiedliche Werkzeugtemperierung bzw. Abkühlung verursacht oder vermieden werden. Nach dem Abkühlen müssen die Teile aus dem Werkzeug entformt werden. Dazu müssen Auswerfer an geeigneten Stellen platziert, Entformungsschrägen einkalkuliert und für eventuelle Hinterschneidungen werkzeugtechnisch akzeptable Lösungen gesucht werden. Vor allem die Auswerfer benötigen oft mehr Raum als bei der eigentlichen Bauteilstruktur zur Verfügung steht. Sofern Standardauswerfer verwendet werden sollen, muss die Bauteilgeometrie dem entsprechend angepasst werden, weil häufig die Auswerfer nicht klein genug für die zur Verfügung stehenden Platzverhältnisse sind.

Im Plastijet-Projekt konnten diese Gesichtspunkte gänzlich erfüllt werden. Durch den radial-symmetrischen Aufbau konnte zudem das Werkzeug sehr einfach und kostengünstig mit hoher Präzision gebaut werden.

Gerade bei der Konstruktion von Werkzeugen für klassische mikrofluidische Systeme ist dies jedoch nicht immer der Fall. Geschlossene Kanäle sind zum Beispiel nur schwierig oder gar nicht realisierbar. Hier muss zum Beispiel ein offener Kanal gespritzt werden und dann später mittels aufwendiger Verfahren gedeckelt werden (vergl. hierzu AiF-Projekt Verbind). In anderen Fällen sind die Wandstärkensprünge sehr stark, was zum einen zu teureren Werkzeugen, zum anderen zu geringeren Standzeiten führt (vergl. hierzu AiF-Projekt Kundüs).

3.4 Spritzgießen der Schlauchpipette

Die Schlauchpipetten wurden mit einer hydraulischen Zweikomponenten-Spritzgießmaschine 320S 500 – 60/60 „Allrounder“ der Firma Arburg mit lagegeregelten Schnecken gefertigt. Dazu wurde nach jedem Öffnen des Spritzgießwerkzeugs und Entnehmen der Schlauchpipette jeweils ein neuer Kunststoffschlauch auf die Spitze der beweglichen Seite des Spritzgießwerkzeugs manuell aufgesteckt. In **Bild 2** ist eine spritzgegossene Schlauchpipette zu sehen.

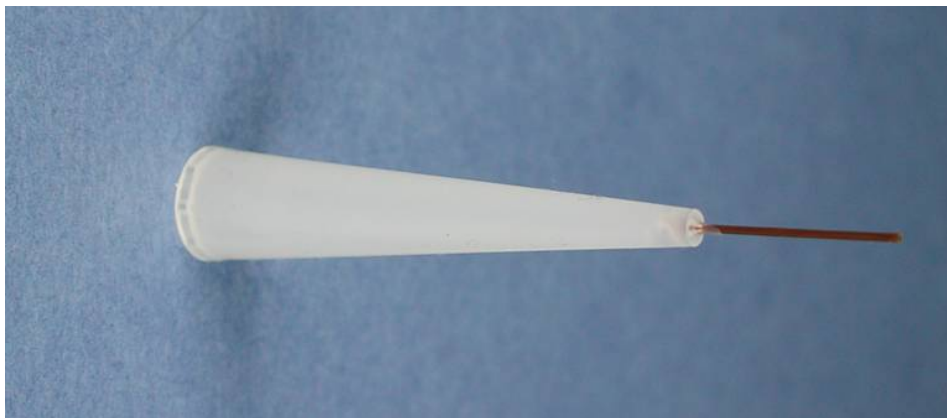


Bild 2: Schlauchpipette

3.5 Test und messtechnische Charakterisierung

Zur systematischen Charakterisierung des Dosierverfahrens wurde ein Messplan erstellt, der statistische Aussagen zur Dispenser- und Chargenabweichung (auch von unterschiedlichen Chargen der verwendeten Schläuche) ermöglicht.

In **Bild 3** ist die Dispenser-zu-Dispenser-Reproduzierbarkeit für zwei unterschiedliche Chargen

dargestellt. Die erzielten Standardabweichungen bei den Dosiervolumina liegen immer im Bereich des messtechnisch Möglichen (Präzision des Messaufbaus von ca. 1,5 nL), die Reproduzierbarkeit über die verschiedenen Dispensern – auch der unterschiedlicher Chargen – ist sehr gut.

Die Füllstandsabhängigkeit des Dosiervolumens ergab eine leichte lineare Abnahme; maximal konnten die Pipetten mit ca. 175 µl befüllt werden, bei höheren Füllständen kommt es zu unbeabsichtigten Tropfenabrissen. Ein exemplarisches Ergebnis ist in **Bild 4** dargestellt.

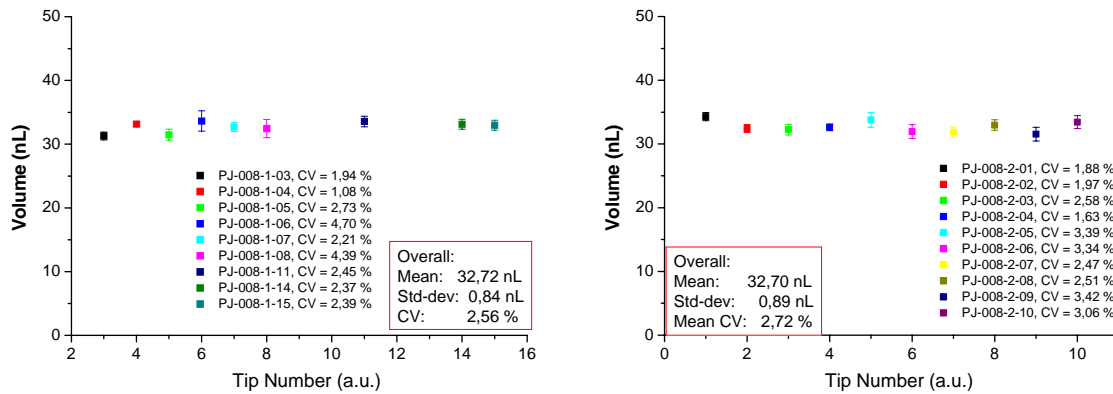


Bild 3: Erzielte Reproduzierbarkeiten von zwei verschiedene Chargen (links: PJ-008-1, rechts: links: PJ-008-2)

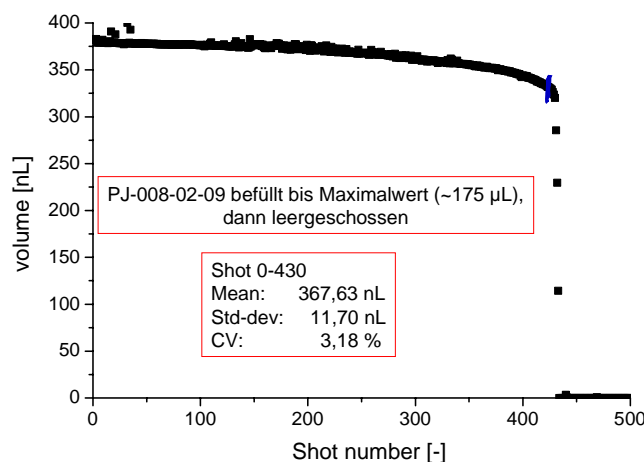


Bild 4: Exemplarische Messung zur Bestimmung des Maximalvolumens und der Füllstandsabhängigkeit (nicht kompensierter Betriebsmodus).

4 Wirtschaftlicher Nutzen und industrielle Anwendungsmöglichkeiten

In vielen verschiedenen Anwendungsbereichen der Industrie ist ein Bedarf an Mikrodispensersystemen vorhanden. Insbesondere Systeme sind gefragt, bei denen die mit dem zu dosierenden Medium in Kontakt stehenden Bauteile als Disposable ausgeführt sind und nach Gebrauch ausgetauscht und entsorgt werden können. Im Anschluss an das Vorhaben laufen zur Zeit Gespräche, um den realisierten Demonstrator in Zusammenarbeit mit Industriepartnern für verschiedene Anwendungsbereiche zur Serienreife weiterzuentwickeln.

Die im Bereich der Weiterentwicklung und Optimierung der Mikrospritzgießtechnologie erarbeiteten Forschungsergebnisse können für eine Vielzahl von Fachgebieten und Wirtschaftszweigen von hohem Nutzen sein. In allen Bereichen, wo ein Bedarf an mikrotechnischen Bauteilen und Systemen besteht und etablierte Technologien wie beispielsweise die Siliziumtechnologie aus Kostengründen zu nicht konkurrenzfähigen Produkten führen, besteht ein

Nutzungspotential für die Mikrospritzgießtechnologie.

Der hauptsächliche Nutzen der angestrebten Forschungsergebnisse wird folglich in den Fachbereichen „Chemie“, „Verfahrenstechnik“, „Lebensmittel- Bio- und Gentechnik“, „Mikrobiologie, Hygiene“, „Umwelttechnik“, „Produktion“ und „Elektrotechnik, Mikrosystemtechnik, Medizintechnik“ sowie in den Wirtschaftszweigen „Ernährungsgewerbe“, „Chemische Industrie“, „Maschinenbau“, „Büromaschinen, Datenverarbeitungsgeräte, Elektrotechnik, Feinmechanik und Optik“ und „Energie- und Wasserversorgung“ gesehen. Darüber hinaus ist die Nutzung in allen Bereichen möglich, in denen kleinste Flüssigkeitsmengen präzise, kontaktlos dosiert werden müssen bzw. Mikrospritzgießtechnologie als Herstellungsverfahren interessant ist.

Die im Projekt erreichte technologische Weiterentwicklung und Optimierung der Mikrospritzgießprozesse hat über die Anwendung in einem Mikrodispensersystem hinaus natürlich auch für andere mikrofluidische bzw. mikrotechnische Anwendungen ein erhebliches wirtschaftliches Potential. In vielen Bereichen der Mikrotechnik sind Verfahren gefordert, welche die kostengünstige Herstellung von Bauteilen auch in mittleren Stückzahlen ermöglichen. Kunststoffverarbeitende Verfahren, insbesondere Mikrospritzgießverfahren sind dazu hervorragend geeignet.

Über die bisher genannten indirekten Verwertungsmöglichkeiten der Projektergebnisse in anderen Anwendungen hinaus gibt es zum Ende des Projektes unmittelbares Interesse einiger Firmen aus dem Bereich der Laborautomatisierung an der beschriebenen disposable Schlauchpipette. Die im Verlauf des Projekts diesen Firmen vorgestellten Ergebnisse veranlasste die Firmen sich zu einem Konsortium bestehend aus einem Pipettenfertiger, Anlagenbauer in der Biotechnologie und einem Hersteller von Diagnostikautomaten zusammenzuschließen. Dieses Konsortium untersucht derzeit in einer erweiterten Machbarkeitsstudie, welche vom IMTEK begleitet wird, ob die vorgestellte Technologie zu angemessenen Kosten in die Produktion überführt werden kann. Falls die Machbarkeitsstudie positiv ausfällt und die Firmen an Ihrem Engagement festhalten, könnte eine Markteinführung einer entsprechenden Pipettenspitze mit passender Aktorik bereits Ende 2007 erfolgen.

5 Danksagung

Das Forschungsvorhaben 151 ZN der Hahn-Schickard-Gesellschaft für angewandte Forschung wurde im Programm zur Förderung der "Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF)" vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie über die AIF finanziert. Für diese Förderung sei gedankt.