

Konventionellen CAD/CAM-Systemen in der Mikrotechnik

Prof. Dr.-Ing. Jens P. Wulfsberg, Dipl.-Ing. Jörg Lehmann

Helmut-Schmidt-Universität / Universität der Bundeswehr Hamburg

Institut für Konstruktions- und Fertigungstechnik / Laboratorium Fertigungstechnik

Holstenhofweg 85, 22043 Hamburg

Tel.: +49(0)40-6541-2720 / -2610

Fax.: +49(0)40-6541-2839

e-Mail: jens.wulfsberg@hsu-hh.de, joerg.lehmann@hsu-hh.de

Internet: <http://laft.hsu-hh.de>

Inhalt

Im Bereich der Mikrofertigungstechnik gibt es heute mehrere Anbieter geeigneter Bearbeitungsmaschinen. Eine große Lücke existiert jedoch noch bei der über die eigentliche Fertigungseinrichtung hinausgehenden Systemtechnik. Es wird daher im Folgenden aufgezeigt, wie mit einem CAD/CAM-System aus dem Makrobereich erfolgreich eine CAD/CAM-Kette im Mikrobereich realisiert wurde und welche Besonderheiten bei der Fertigung realer Werkstücke zu beachten sind. Abschließend werden noch einige Beispiele für gefertigte Werkstücke vorgestellt.

Conventional CAD/CAM-Systems for microtechnology

Abstract

Today different manufacturers have suitable machinetools for micromanufacturing in the market. But one of the main problems of micromanufacturing is, that there are nearly no suitable tools for NC programming. So in the following article it is shown how it is possible to use e.g. a CAD/CAM-tool from the macromanufacturing also for the micromanufacturing and to which special features attention must be paid to. At the end some microworkpieces designed and produced with support of a CAD/CAM chain will be presented.

1. Einleitung

Produkte aus dem Bereich der Mikrotechnik finden immer weitere Verbreitung. Nicht nur in speziellen Bereichen, wie zum Beispiel der Medizintechnik, setzen sich Produkte aus diesem neuen Teilgebiet der Fertigungstechnik durch. Auch in alltäglichen Produkten finden sie oft unbemerkt vom Nutzer Anwendung. Viele heute im täglichen Gebrauch befindliche Produkte sind erst durch Herstellungsverfahren der Mikrotechnik bzw. der Mikrosystemtechnik und Mikroelektronik entstanden. Ein oft genanntes Beispiel in diesem Zusammenhang ist der Airbag-Sensor. Aber auch Handys oder Personal Digital Assistants (PDAs) gehören heute zu den Selbstverständlichkeiten des täglichen Lebens. Neben den Produkten der Mikroelektronik und der Mikrosystemtechnik, die in der Regel auf den Verfahren der Siliziumtechnik basieren, gewinnen Produkte des Mikromaschinenbaus immer mehr an Bedeutung [1, 2]. Diese hybriden Mikrosysteme werden aus den klassischen Ingenieurwerkstoffen des Maschinenbaus gefertigt und bestehen oft aus mehreren Bauteilen oder Baugruppen. Für die Fertigung der Teile kommen skalierte Herstellungsverfahren der Feinwerktechnik zur Anwendung. Um die Verfahren für eine Serienherstellung zu nutzen, müssen zum einen die Schwierigkeiten, die bei der Skalierung des Herstellungsverfahrens auftreten, gelöst werden und zum anderen die Anwendung der CNC-Technik auf den gleichen Entwicklungsstand wie in der Makrofertigung gebracht werden. Hierbei ist insbesondere der Aufbau einer CAD/CAM-Kette für die CNC-Fertigung von Mikrobauteilen wünschenswert, da dies zum einen das Simultaneous Engineering ermöglicht und zum anderen die Möglichkeit bietet, einzelne Bauteile einfach und schnell zu überarbeiten und die entsprechend veränderten Programme für die CNC-Steuerungen zu erstellen.

2. Konventionelle CAD/CAM-Kette

Die CAD/CAM-Ketten für die konventionelle Bearbeitung bestehen aus einer CAD-Software (CAD: Computer Aided Design) für die Konstruktion bzw. Entwicklung der Bauteile und Baugruppen sowie zur Erstellung der benötigten Fertigungszeichnungen. Vervollständigt wird sie durch eine CAM-Software (CAM: Computer Aided Manufacturing) zur Erzeugung von CNC-Programmen. Zur Realisierung gibt es auf dem Markt eine ganze Reihe von CAD/CAM-Systemen, die sich grob in zwei Gruppen teilen lassen: Einerseits gibt es komplette CAD/CAM-Lösungen, bei denen sowohl die CAD- als auch die CAM-Software von einem Hersteller stammen und optimal aufeinander abgestimmt sind. Zum anderen werden auch Einzellösungen für die jeweilige CAD- bzw. CAM-Realisierung angeboten, wobei die CAM-Software dann in der Lage sein muss, das Ausgabeformat der verwendeten CAD-Software zu lesen [3].

Nachdem die Zeichnungen des Bauteils mit Hilfe des CAD-Systems erstellt worden sind, können in Verbindung mit einer CAM-Software aus den Zeichnungsdaten die Geometrieinformationen für die Verfahrensbewegungen der CNC-Maschine gewonnen werden. In die CAM-Software ist dazu ein sogenannter Postprozessor eingebunden, der im allgemeinen die standardisierten CNC-Befehle enthält und darüber hinaus maschinenspezifisch auf die jeweiligen Eigenarten der Bearbeitungsmaschine abgestimmt ist. Zusammen mit den festgelegten Bearbeitungsparametern (Vorschub, Drehzahl, ...) und den Werkzeugabmessungen, kann mit Hilfe der CAM-Software und dem Postprozessor aus den CAD-Daten automatisch das CNC-Programm für die gewünschte Werkstückgeometrie erzeugt werden (**Bild 1**). In der Regel sind dies sogenannte G-Code-Programme nach DIN 66025.

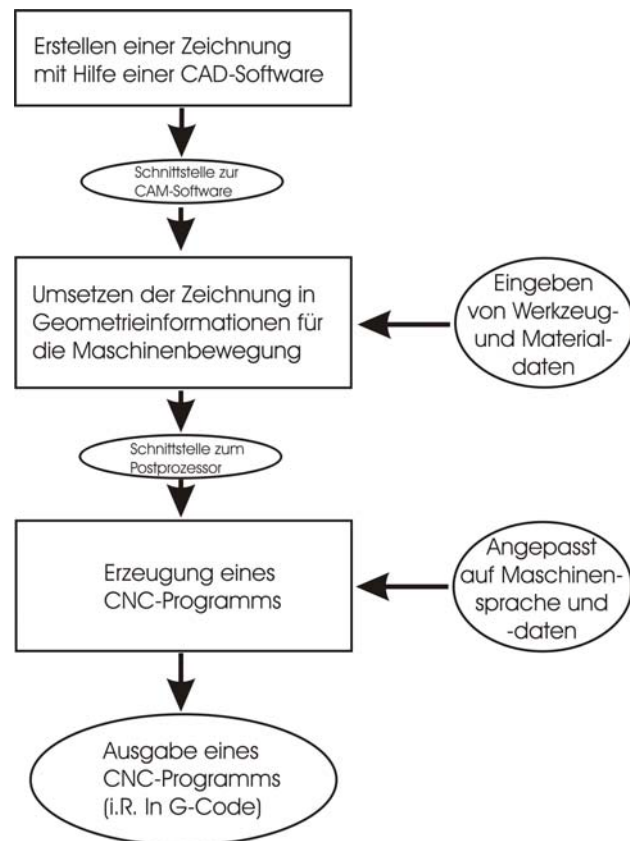


Bild 1: Aufbau der klassischen CAD/CAM-Kette im Makrobereich

Die Vorteile des Verfahrens liegen darin, dass die Programmerstellung schnell erfolgen kann und Änderungen leicht durchgeführt werden können. Zudem sind durch diese Vorgehensweise auch und gerade komplexe 3D-Geometrien bis hin zu Freiformflächen sicher zu programmieren.

Ein wesentlicher Nachteil des Verfahrens ist es jedoch, dass relativ schnell sehr große Programme entstehen, da die CAM-Systeme im Normalfall keine Schleifenstrukturen erzeugen, sondern entsprechend oft die erforderliche Sequenz in den Programmablauf schreiben. Die Schnelligkeit und Flexibilität der Systeme führt aber dazu, dass dieser Nachteil in Kauf genommen werden kann.

3. CAD/CAM-Kette für den Mikromaschinenbau

Wie bereits in [4] festgestellt wurde, eignen sich auf dem Markt befindliche CAD/CAM-Systeme im Prinzip auch für die Anwendung im Mikrobereich. Mit den am Markt verfügbaren CAD-Systemen können, wie es bereits seit langem in der konventionellen Fertigung üblich ist, auch Mikrobauerteile entwickelt bzw. konstruiert werden. Das zu entwerfende Bauteil wird erst durch die Zuweisung einer Längen- bzw. Maßstabsinformation zum Mikrobauerteil; dies beeinflusst die Arbeit des Konstrukteurs am Bildschirm jedoch nicht.

Problematischer ist hingegen die Nutzung der CAM-Software. Hier sind unter anderem auch Abmessungen der zu verwendende Werkzeuge anzugeben. Extrem kleine Werkzeuge (Durchmesser deutlich unter 0,5 mm) bereiten hier Probleme, da diese in der Regel im Bereich der Makrofertigung nicht verwendet werden. In vorliegenden Fall wurde z.B. versucht einen Fräser mit 0,1 mm Durchmesser zu verwenden, wobei in der verwendeten CAD/CAM-Umgebung dies jedoch nicht mehr möglich war. Folgende Anforderungen an die Maschinenprogrammierung im Mikrobereich über CAD/CAM-Systeme existieren also zusätzlich:

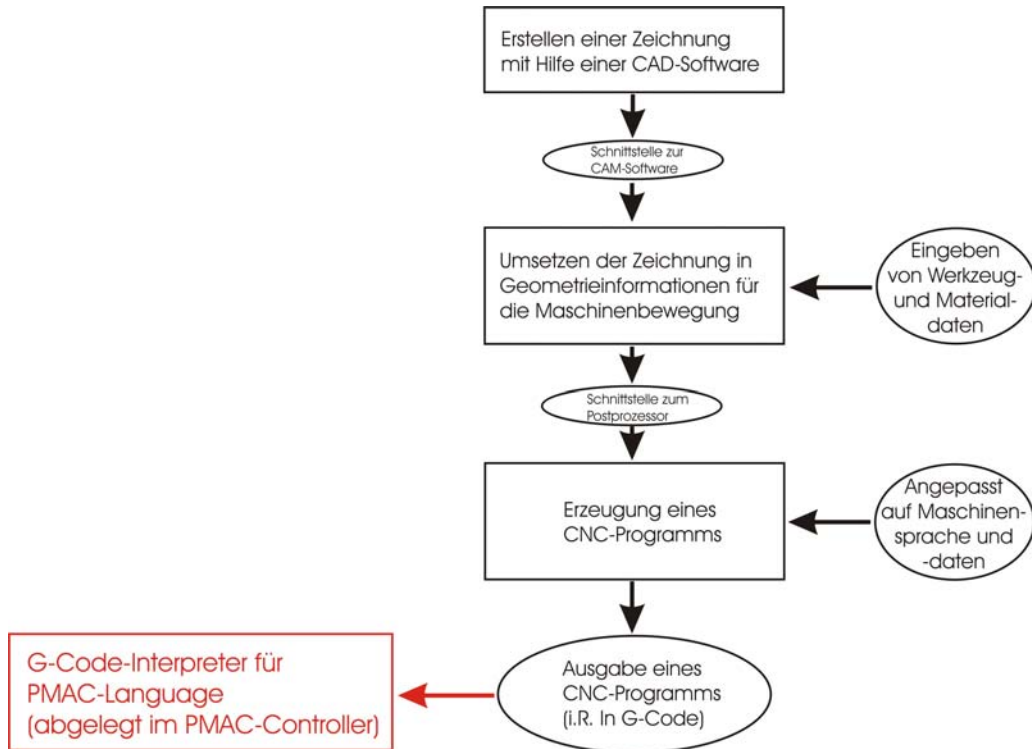


Bild 2: Um einen G-Code-Interpreter erweiterte CAD/CAM-Kette

- Berücksichtigung extrem kleiner Werkzeugdurchmesser
- Überprüfung der Übertragbarkeit der für die konventionelle Fertigung geltenden Toleranzfelder auf die Mikroproduktionstechnik
- Einfluss und Kompensation der bei Mikrozerspanverfahren (insbesondere Fräsen) relevanten Werkzeugabdrängungen

Eine Besonderheit der am Laboratorium Fertigungstechnik (LaFT) der Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg vorhandenen Kugler Mikrobearbeitungsmaschinen vom Typ Microgantry Gu [5] ist neben ihrer hohen Präzision, die Ausstattung mit Steuerungen des amerikanischen Herstellers Delta Tau [6], die über eine eigene Programmiersprache verfügen und sich nicht ohne weiteres mit den üblichen G-Code-Programmen nach DIN 65022 programmieren lassen.

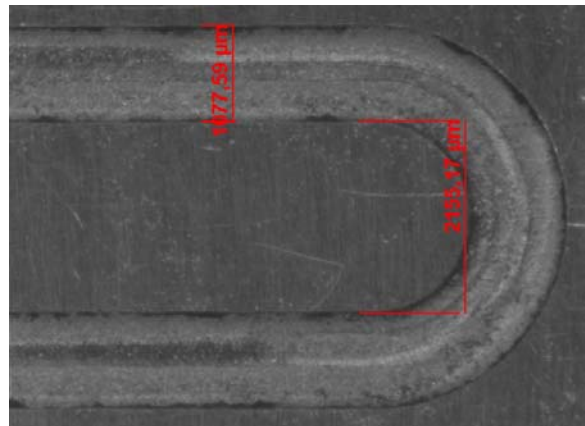


Bild 3: 2-dimensionale CNC-gefräste Testgeometrie

Da einer der Vorgaben für den Aufbau der CAD/CAM-Kette war, die bereits vorhandene Software aus der Makrofertigung zu verwenden, musste zunächst ein G-Code-Interpreter für die Delta Tau Steuerung entwickelt und getestet werden. **Bild 2** zeigt die um den Interpreter erweiterte CAD/CAM-Kette, **Bild 3** eine einfache 2D-Geometrie, die während der Testphasen mit Hilfe der CAD/CAM-Kette konstruiert und programmiert wurde.

4. Aufbau und Test

Ausgehend von den geschilderten Überlegungen und Erfahrungen, ist eine CAD/CAM-Kette zur Programmierung einer Kugler Mikrobearbeitungsmaschine realisiert worden. Ziel des Aufbaus der CAD/CAM-Kette war die Erzeugung komplexer Geometrien, insbesondere von 3D-Geometrien. Nachdem in der Testphase bereits erfolgreich Programme für 2D-Strukturen erzeugt werden konnten, ist zum Abschluss der

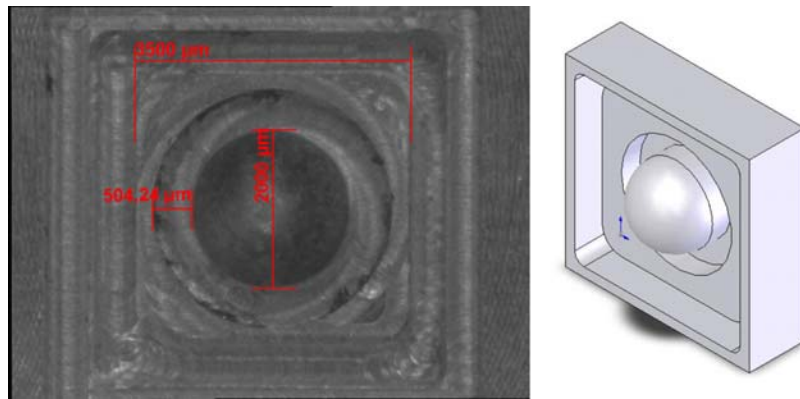


Bild 4: Komplexe CNC-gefräste Testgeometrie

Entwicklung ein Testbauteil mit deutlich aufwendiger Geometrie erstellt worden. Durch die realisierte maschinenspezifische CAD/CAM-Kette konnte das in **Bild 4** gezeigte Bauteil, welches eine Kugelkalotte in einer prismatischen Struktur enthält, zuverlässig und reproduzierbar gefertigt werden.

5. Beispiel für die Anwendung der CAD/CAM-Kette

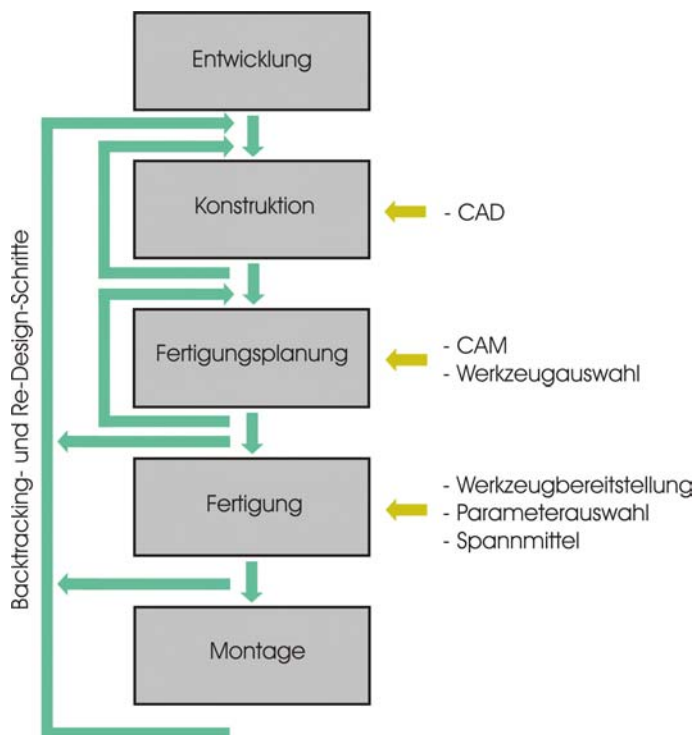


Bild 5: Schematischer Ablauf einer Produktentwicklung und -fertigung

Nachdem der Aufbau der CAD/CAM-Kette am LaFT erfolgreich abgeschlossen wurde, sollten anhand eines Beispielwerkstückes die typischen Schritte einer Produktentwicklung durchlaufen werden (**Bild 5**).

Als Versuchsobjekt wurde eine Verkleinerung der Scharfenberg®-Mittelpufferkupplung¹ gewählt, da diese nicht aus einem Bauteil besteht, sondern aus mehreren Komponenten zu einem mikromechanischen System montiert werden muss, so dass die Anforderungen durchaus mit denen einer realen Produktentwicklung zu vergleichen sind.

Die Scharfenberg®-Kupplung wurde 1903 von Karl Scharfenberg erfunden und dient der mechanischen Verbindung zweier Schienenfahrzeuge.

Das spezielle Profil des Kupplungskopfes mit Kegel und Trichter garantiert einen großen Greifbereich der Kupplung und ermöglicht das automatische Kuppeln in Kurven und bei unterschiedlichsten Kupplungshöhen mit geringen Kraftaufwand. Aufgrund der Parallelogrammanordnung der Kupplungsverschlüsse verteilt sich die Zugkraft gleichmäßig und ermöglicht ein ruckfreies Beschleunigen und Bremsen. [7]

Bild 6 stellt die Funktionsweise der Scharfenberg®-Kupplung schematisch dar.

¹ „Scharfenberg“ ist ein eingetragenes Warenzeichen der Voith Turbo Scharfenberg GmbH & Co. KG

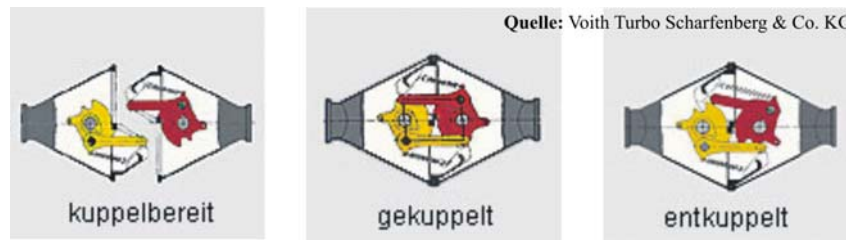


Bild 6: Darstellung des Scharfenberg®-Kupplungsmechanismus

6. Entwicklung, Konstruktion und Fertigung

Im Entwicklungsstadium wurde die Originalmechanik der Scharfenberg®-Kupplung erheblich vereinfacht. Die Kupplungsmechanik wurde durch einen kleinen Haken ersetzt, der mit einer Verlängerung nach hinten aus dem Kupplungsgehäuse heraus zu bedienen ist bzw. bewegt werden kann. Beim Kupplungsgehäuse sind entsprechende Aussparungen für die Durchführung dieses Bedienungsarms vorzusehen. Das Innere des Gehäuses ist so zu konstruieren, dass der Haken auf der Kupplungsforderseite genügend Bewegungsfreiheit in der Horizontalen hat, damit er zum Kuppeln und Lösen weit genug geöffnet werden kann.

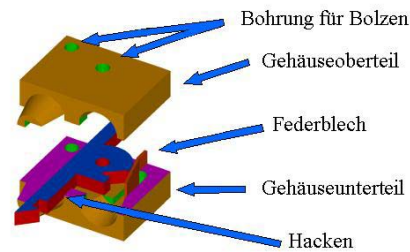
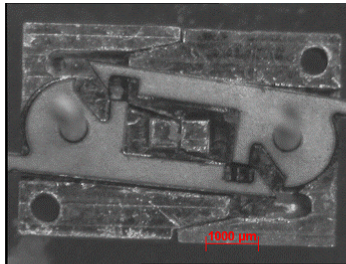
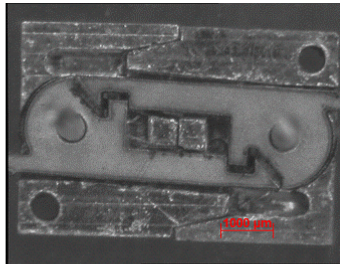


Bild 7: Konstruktionszeichnung des entwickelten Kupplungsmechanismus

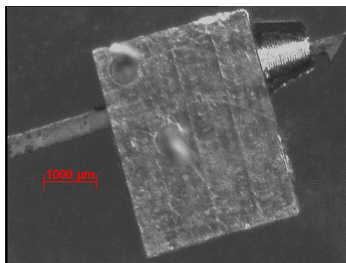
Die eigentliche Konstruktion der Kupplungsgehäuse wurde zweiteilig ausgeführt, um später den Haken leichter montieren zu können. Außerdem war nur so die Möglichkeit gegeben das Innere des Gehäuses bearbeiten zu können. Der Mechanismus wurde auf nur ein Bauteil reduziert. Die Funktionalität der original Scharfenberg®-Mechanik bleibt dennoch erhalten und wird durch die Geometrie des Hakens sichergestellt. Diese ist so gewählt worden, dass die zwei Haken eines Kupplungspaares sich im geschlossenen Zustand ineinander verhaken. Der Lagerbolzen des Hakens dient zusammen mit einem weiteren Bolzen zur Montage und Fixierung der Gehäusehälften und des Hakens. Ein vorgesehene Federblech soll das ungewollte aufspringen der Kupplung verhindern. Die mit der CAD-Software erzeugten 3D-Bauteilmodelle zeigt Bild 7.



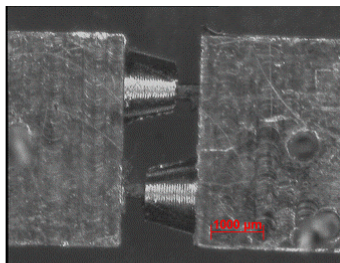
a) zwei geöffnete Kupplungen
Haken geöffnet



b) zwei geöffnete Kupplungen
Haken geschlossen



c) einzelne Kupplung
komplett montiert



d) zwei Kupplungen
komplett montiert

Bild 8: Kupplung während der Montage

Die zur Fertigung benötigten CNC-Programme wurden anschließend über die CAM-Software erzeugt. Dazu sind zum einen die zu verwendenden Fertigungsverfahren festzulegen und zum anderen die benötigten Prozessparameter zu ermitteln.

Nach Abschluss der Bauteilfertigung erfolgte als nächster Schritt einer Vermessung der gefertigten Teile (Qualitätsüberwachung) sowie die Montage und der Funktionstest der verkleinerten Kupplungsmechanik. **Bild 8** zeigt die gefertigten Kupplungsteile bei der Montage.

7. Ausblick

Mit dem bestehenden CAD/CAM-System aus dem Makrobereich und dem für die spezielle Mikrobearbeitungsmaschine entwickelten G-Code-Interpreter, konnten bisher erfolgreich Testprogramme für die Kugler Mikrobearbeitungsmaschine erstellt werden. Auch bei Einsätzen in Studien- und Diplomarbeiten hat sich das System bewährt. Einziger bisher aufgetretener Schwachpunkt dieser Lösung ist die oben erwähnte Schwierigkeit bei der Verwendung extrem kleiner Werkzeuge. Ein Test von weiteren CAD/CAM-Systemen wird zeigen, ob dieses Problem generell besteht, oder nur bei dem bisher verwendeten Softwarepaket auftritt.

Die grundsätzlich erfolgreiche Umsetzung der CAD/CAM-Programmierung im Mikrobereich eröffnet für die Herstellung von komplexen Mikrobauanteilen und Baugruppen neue Perspektiven. Beispielsweise ist es möglich CNC-Programme für die Herstellung von 3D-Bauteilen z.B. mit Freiformflächen oder von optischen Komponenten im Mikrobereich zu erzeugen. Aber auch der Formenbau, z.B. für den Mikrospritzguss, ist ein weitreichendes Anwendungsgebiet, bei dem das Vorhandensein einer kompletten CAD/CAM-Kette notwendig ist.

Zu beachten ist jedoch, dass die allgemeinen Anforderungen der Mikrobearbeitung, z.B. bei der Auswahl der geeigneten Bearbeitungsparameter für das Mikrofräsen, damit nicht gelöst sind. Außerdem muss geprüft werden, ob die im Makrobereich angewandten Bearbeitungsstrategien bei der Erstellung von CNC-Programmen für die Mikrobearbeitung direkt übernommen werden können.

Literatur:

- [1] Hesselbach, J.; Raatz, A.; Wrege, J.; Herrmann, H.; Weule, H.; Buchholz, H.; Tritschler, H.; Knoll, M.; Elsner, J.; Klocke, F.; Weck, M.; Bodenhausen, J. von; Klitzing, A. von: mikroPRO: Untersuchung zum internationalen Stand der Mikroproduktionstechnik wt Werkstattstechnik online (2003), Nr. 3, Springer VDI Verlag, Düsseldorf
- [2] Schmidt, Jürgen; Hüntrup, Volker; Tritschler, Hanno: Mikrozerspanung mit großem Potential Werkstatt und Betrieb WB 5/2001, Hanser-Verlag, München
- [3] Nüßl, Alfons: Auswahlkriterien für CAD/CAM-Systeme MM MaschinenMarkt, 50/2001, Vogel Industriemedien GmbH & Co Kg, Würzburg
- [4] Abele, Eberhard; Stanik, Markus: Mikro-CAM – Spezielle CAM-Systeme für die Mikrozerspanung VDI-Z 144 (2002), Nr. 6- Juni ; Springer-VDI-Verlag, Düsseldorf
- [5] N.N. Highlights auf der Laser 2003 München Prospekt Kugler GmbH, Heiligenbergerstraße 100, D-88682 Salem
- [6] N.N. PMAC Programmable Multi-Axis Controller Firmenschrift 1994, Delta Tau Data Systems Inc, Northridge, California/USA
- [7] N.N. Scharfenberg®-Systeme: Weltweit für Sie am Zug Firmenschrift 2002 Voith Turbo Scharfenberg & Co. KG, Salzgitter-Watenstedt