

# LIGA: Von der Trenndüse zu Zahnrädern für Luxusuhren

W. Bacher, V. Saile, IMT

## Entwicklung des LIGA-Verfahrens

Von der Gründung im Jahr 1957 bis zum Jahr 1988 wurde am damaligen Institut für Kernverfahrenstechnik (IKVT) unter der Leitung von E. W. Becker Forschung und Entwicklung für das Trenndüsenverfahren zur Anreicherung des leichten Uranisotops U-235 betrieben. Die technische Herausforderung bei dieser Technologie bestand darin, immer leistungsfähigere Trenndüsen herzustellen, d. h. feine Strukturen mit lateralen Dimensionen im Mikrometerbereich bei gleichzeitig großer Tiefe. Anfang der 80er Jahre waren die bis dahin entwickelten Herstellungsverfahren für Trenndüsen an die Grenze des technisch Machbaren gekommen. Um die weiter steigenden Anforderungen nach geringeren Abmessungen der Trenndüsen und immer höherer Präzision erfüllen zu können, wurde eine neue Strukturierungstechnik auf der Basis von Lithographie mit hochenergetischer Röntgenstrahlung entwickelt, die heute unter dem Namen LIGA-Technik (Lithografie, Galvanoformung und Ab-

formung) weltweit bekannt ist [1,2]. Geeignete Strahlung für den zentralen Prozessschritt Röntgentiefenlithografie wird von modernen Teilchenbeschleunigern wie der Synchrotronstrahlungsquelle ANKA [3] emittiert.

Nach dem Auslaufen der Arbeiten auf dem Gebiet der Kernverfahrenstechnik wurde die Mikrotechnik systematisch ausgebaut und 1989 das IKVT in das Institut für Mikrostrukturtechnik (IMT) überführt. Zahlreiche Ergebnisse demonstrierten in den 90er Jahren die Leistungsfähigkeit und das Potenzial der LIGA-Technik. Neben wissenschaftlichen Erfolgen konnte auch ein erster kommerzieller Erfolg verbucht werden: ein LIGA-Mikrospektrometer, das die Firma microParts in Dortmund in zunehmenden Stückzahlen fertigt und vertreibt. Während in der Fachwelt der Name „LIGA“ weltweit bekannt und wegen der wissenschaftlichen Erfolge anerkannt ist, hat die berühmte Ameise mit ihrem LIGA-

Zahnrad, die aus dem Forschungszentrum stammt, die Mikrotechnik in der breiten Öffentlichkeit populär gemacht (Abb. 2).

## Fertigung von Mikrobauteilen mit Synchrotronstrahlung an ANKA

Mit ANKA verfügt das Forschungszentrum Karlsruhe seit 2002 über eine eigene Synchrotronstrahlungsquelle. Damit wurde die entscheidende Lücke in der LIGA-Prozesskette geschlossen. So wurde es möglich, Mikrobauteile in großer Zahl und kostengünstig direkt mit Synchrotronstrahlung zu fertigen (Direkt-LIGA). Dabei wird jede Komponente einzeln lithografisch hergestellt, ähnlich wie dies in der Fertigung von Halbleiterbausteinen der Fall ist. Direkt-LIGA bietet entscheidende Vorteile hinsichtlich der Strukturtreue und Qualität der Komponenten, insbesondere könnte auch die Zahl der Fertigungsschritte drastisch

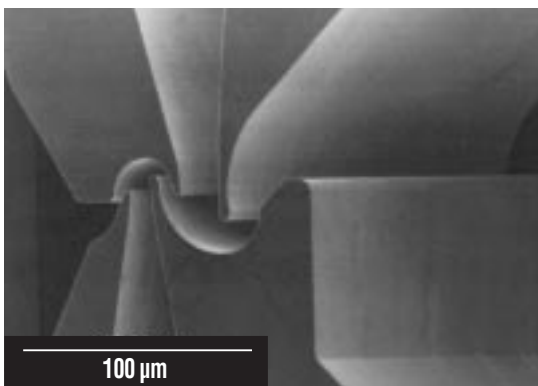


Abb. 1: Trenndüse (sog. Doppelumlenksystem) aus Nickel, hergestellt nach dem LIGA-Verfahren.



Abb. 2: Die berühmteste Ameise der Welt – das Wappentier für die Mikrosystemtechnik.

reduziert werden. ANKA bietet die Möglichkeit, neue Konzepte zur Bestrahlung großer Flächen und damit einer Reduzierung der Kosten zu verwirklichen.

An ANKA werden heute zahlreiche LIGA-Projekte rund um die Uhr durchgeführt. Ein Feld, in dem die LIGA-Technik besonders erfolgreich eingesetzt werden kann, ist die Mikrooptik. Dabei werden Bauteile wie Filter mit Sub-Mikrometerstrukturen, Wellenleiter und Photonische Kristalle hergestellt. Die hohe Präzision von LIGA in Verbindung mit einem hohen Aspektverhältnis erlaubt auch die Fertigung von Haltestrukturen, Justagehilfen und optischen Bänken mit einer Genauigkeit, die mit anderen Methoden nicht erreichbar ist. Auf dieser Basis wurden Abstandssensoren, IR-Interferometer, Beamsplitter und viele andere optische Komponenten und Systeme realisiert [2]. Aus einer breiten Palette von Anwendungen sollen im Folgenden nur zwei ausgesucht werden: eines, das für die Forschung und Entwicklung von Instrumenten steht und eines, das einen konkreten kommerziellen Hintergrund hat.

### Beispiel aus der Wissenschaft: Röntgenlinsen

Mit dem LIGA-Verfahren werden an ANKA Linsenarrays (Abb. 3) hergestellt, die Röntgenstrahlen bündeln [4]. Das lithographische Verfahren ermöglicht die Darstellung sehr komplexer, vorher berechneter Strukturen in SU-8, das gegen Röntgenstrahlen beständig ist. Durch zweifache Belichtung des Kunststoffes werden Linsensysteme

hergestellt, die in zwei Richtungen fokussieren.

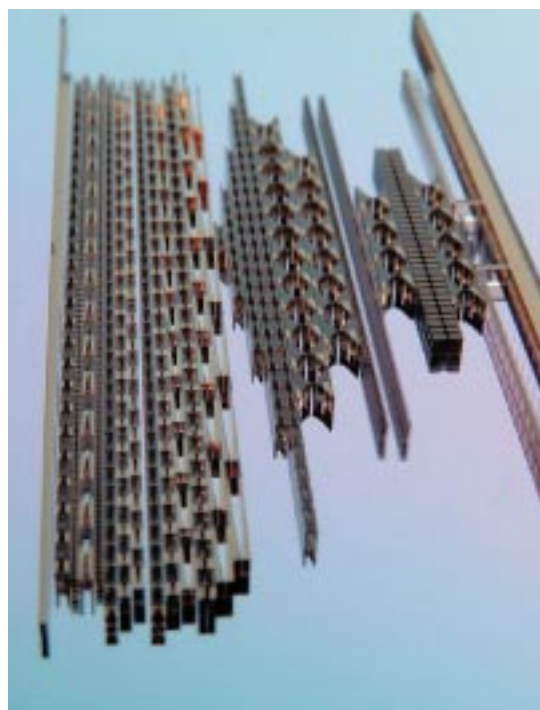
Die Einsatzmöglichkeiten für Röntgenlinsen sind vielfältig: So warten die Biologen auf Röntgenmikroskope, mit denen Auflösungen im Nanometerbereich möglich sind. Die Astronomen benötigen Röntgenlinsen, um Röntgenteleskope für den Einsatz auf Satelliten zu bauen. Die Einsatzmöglichkeiten in der ortsaufgelösten Analytik kleinster Materialproben sind fast unbegrenzt.

In Kooperation mit europäischen Partnern, die ihre Experimente an verschiedenen Synchrotron-Strahlungsquellen betreiben, werden Leistungsfähigkeit und Grenzen der neuartigen Linsensysteme getestet. Gemeinsam mit der Universität Karlsruhe wird der Einsatz an konventionellen Röntgenröhren untersucht.

### Beispiel für die Kommerzialisierung des LIGA-Verfahrens: Uhrenzahnäder

Anker und Ankerräder für Luxusuhren der Schweizer Traditionsmarke H. Moser & Cie. werden serienmäßig im LIGA-Verfahren hergestellt [5]. Die LIGA-Bauteile führen wegen ihrer geometrischen Exaktheit und sehr glatten Seitenwände zu einem Qualitätssprung für die Präzision und Ganggenauigkeit der Uhrwerke. Da die Teile aus (fast reinem) Gold bestehen, passen sie zu den ästhetischen und wertvollen Uhren.

Mit Hilfe des LIGA-Verfahrens können Teile des Uhrwerks jetzt mit so hoher Präzision gefertigt werden, dass auf die Schmierung vollstän-



**Abb. 3: Anordnung von Kunststofflinsen auf einer Linsenplatte: Unterschiedliche Linsensysteme fokussieren Röntgenstrahlen mit verschiedenen Brennweiten.**

dig verzichtet werden kann. Dies führt unmittelbar zu größeren Wartungsintervallen und einer längeren Lebensdauer der Uhrwerke. Als Material für die Uhrenbauteile wird galvanisch aufgewachsenes Gold eingesetzt, das durch Zugabe geringer Mengen anderer Metalle eine große Härte erreicht. Zudem sind die Goldteile antimagnetisch und korrosionsbeständig, zwei wichtige Eigenschaften in einem mechanischen Uhrwerk. Dies ist besonders wichtig für Anker und Ankerrad, zwei der am meisten beanspruchten Bauteile, die mit hohen Schwingungsfrequenzen maßgeblich für die Ganggenauigkeit der Uhr verantwortlich sind. Diese Teile wurden in größeren Stückzahlen an den Kooperationspartner Precision Engineering AG

in Schaffhausen in der Schweiz geliefert.

Das Forschungszentrum Karlsruhe baut derzeit an der Synchrotronstrahlungsquelle ANKA im Rahmen des BMBF-geförderten Projekts FELIG eine weitgehend automatisierte Fertigungsstraße für die Herstellung von LIGA-Bauteilen. FELIG, das ab 2008 betriebsbereit ist, erlaubt eine um den Faktor 20 höhere Fertigungskapazität. Die Herstellungskosten werden aufgrund der Automatisierung gegenüber heute um mindestens 50 Prozent sinken. Damit wird auch eine Fertigung von mechanischen Bauteilen für weniger exklusive Anwendungen wie z. B. Zahnräder für mechanische Getriebe attraktiv.



**Abb. 4:** Anker und Zahnrad aus hartem Gold für mechanische Uhrwerke werden im Forschungszentrum Karlsruhe mit dem LIGA-Verfahren so präzise hergestellt, dass keine Schmierung mehr erforderlich ist.

## Literatur

- 1] E.W. Becker, *Von der Kerntechnik zur Mikro-technik – 30 Jahre Institut für Kernverfahrenstechnik, Kernforschungszentrum Karlsruhe, Bericht KfK 4607 (1988) und darin zitierte Quellen*
- 2] W. Menz, J. Mohr, O. Paul, *Mikrosystemtechnik für Ingenieure, 3. Auflage, WILEY-VCH, Weinheim (2005)*
- 3] V. Saile, *Vorgeschichte und Konzept der Karlsruher Synchrotronstrahlungsquelle* sowie V. Saile et al., *Ausblick und Visionen für ANKA, Nachrichten 32, 4 (2000), 261–263 und 378–382*
- 4] V. Nazmov, V. Saile, E. Reznikova, J. Mohr, M. Börner, T. Mappes, T. Ernst, R. Simon, *Planare refraktive Röntgenlinsen, Nachrichten 37, 4 (2005), 219–223*
- 5] M. Arendt, *Direkt-LIGA für die Herstellung von Zahnrädern, Nachrichten 37, 4 (2005), 210–214*