

# Von der Mikrozerspanung bis zur Ultrapräzision

Die Mikrozerspanung und die Ultrapräzisionsbearbeitung haben heute ihren festen Platz im **ANWENDUNGSSPEKTRUM** von Werkzeugmaschinen. Dabei sind die Unterschiede zu konventionellen Maschinen erheblich. Groß ist auch die Bandbreite an Applikationen – von der Optik über die Mikrofluidik bis hin zur Medizintechnik.



**Bild 1. Asphärenspiegel in Aluminium**

## KURT HASKIC

Die Begriffe Ultrapräzision (UP) und Mikrozerspanung haben sich schon seit Langem etabliert. Bereits vor etwa drei Jahrzehnten hat sich in Deutschland ein kleiner Industriezweig entwickelt, um den ursprünglich in den USA und Japan aufgekommenen Trend auch hierzulande umzusetzen. Dabei unterscheiden sich die UP-Maschinen noch immer grundlegend von konventionellen Maschinen. Die Versuche, auf Basis konventioneller Bearbeitungsmaschinen ein höheres Genauigkeitslevel zu erschließen, haben zur Entwicklung von Präzisions- oder Hochpräzisionsmaschinen geführt, die jedoch gewissen Grenzen unterliegen. Für die höchsten Positioniergenauigkeiten und besten optischen Oberflächeneigenschaften sind weiterhin UP-Anlagen erforderlich.

### Prozesskräfte und Oberflächengüte

Die Ultrapräzisionstechnik und die Mikrozerspanung zeichnen sich beide vornehmlich durch geringe Prozesskräfte aus. Bei der Mikrozerspanung befindet sich ein funktionales Element im Mikrometerbereich, zum Beispiel das Gesamtmaß einer Struktur. Jedoch ist die optische Oberflächengüte oft untergeordnet.

Hier schließt sich die UP-Technik an, bei der sehr hohe Genauigkeiten bei optischer Oberflächengüte gefordert werden. Die Abmaße bei der UP-Bearbeitung bewegen sich ebenfalls vom  $\mu\text{m}$ -Bereich bis hin zu mehreren Metern. Unabhängig vom Fertigungsverfahren kommen im UP-Bereich fast ausschließlich monokristalline Diamantwerkzeuge zum Einsatz, mit denen Rauheitswerte bis zu  $Sa \approx 1 \text{ nm}$  erreicht werden, während bei der Mikrozerspanung auch beschichtete und unbeschichtete Vollhartmetallwerkzeuge Anwendung finden.

UP-Bearbeitung oder Mikrozerspanung findet überall dort Anwendung, wo andere Fertigungsprozesse an ihre Grenzen stoßen. Vornehmlich seien hier Optiken aller Art genannt. Vor allem bei reflektiven Metalloptiken gibt es entscheidende Vorteile bei der UP-Bearbeitung mit geometrisch bestimmter Schneide, auf die im Folgenden eingegangen wird.

### Asphären als Laseroptiken

Vor allem in der Lasertechnik sind asphärische Spiegel weit verbreitet. Im Gegensatz zu klassischen fokussierenden Optiken ist die Kugelform des Spiegels mit mathematischen Koeffizienten höherer Ordnung überlagert, um den Strahl zusätzlich zur Fokussierung oder Defokussierung auch noch zu korrigieren. Die Asphärengleichung beschreibt die Geometrie des Spiegels eindeutig. Die Abweichungen von einer einfachen Sphäre betragen teilweise nur wenige Nanometer bis Mikrometer. Asphärenspiegel sind oft in der Off-Axis-Konfiguration umgesetzt und sind – bezogen auf die optischen Eigenschaften – rotations-symmetrisch (**Bild 1**).

## > KONTAKT

HERSTELLER  
**LT Ultra-Precision Technology GmbH**  
 D-88634 Herdwangen-Schönach  
 Tel. +49 7552 40599-0  
 info@lt-ultra.com  
[www.lt-ultra.com](http://www.lt-ultra.com)

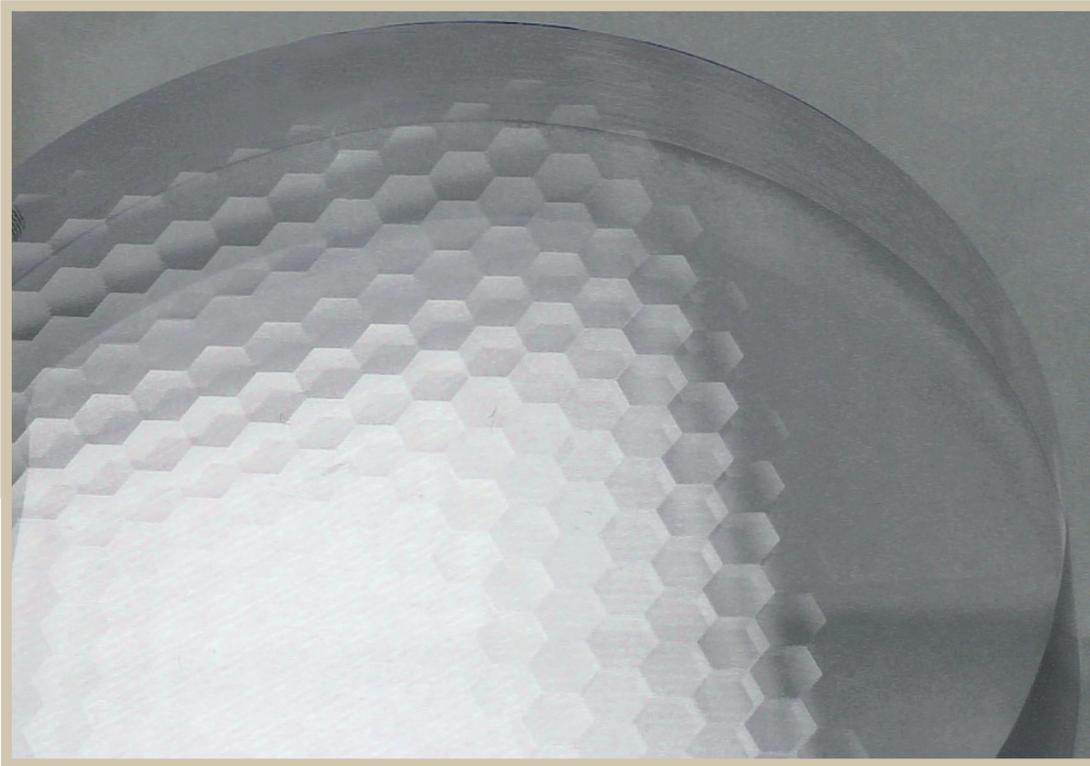


Bild 2. Via Fast Tool gedrehte Wabenstruktur

### Freiformflächen ohne Einschränkungen

Reicht der Grad der Strahlformung nicht aus, gibt es weitere Möglichkeiten. Neben rotationssymmetrischen Optiken fallen auch Freiformoptiken in den Bereich der UP-Bearbeitung. Hier können je nach Anwendung mit dem UP-Fräsen, -Hobeln oder -Drehen fast beliebig geformte Geometrien gefertigt werden. Vor allem das UP-Drehen mit Unterstützung des dynamischen Achsmodus (auch Slow Tool oder Unrunddrehen genannt) und der Einsatz von Fast-Tool-Achsen (FTA) finden ein breites Anwendungsfeld in der Optikfertigung. Typische Anwendungen sind UP-gedrehte Linsenarrays oder Wabenstrukturen (Bild 2).



Bild 3. Metalloptiken für die lasergestützte Weltraumkommunikation



## PEACOCK DAS MULTITALENT

Die Weiterentwicklung unserer Fräswerkzeuge für weiche, harte und pulvermetallurgische Stähle bis 70 HRC für ideale Oberflächenergebnisse.  
Die besten ihrer Art.



# ZECHA



Besuchen Sie uns:

Halle A2  
Stand-Nr. A2-2308  
12. bis 16. Oktober 2021

[www.zecha.de](http://www.zecha.de)

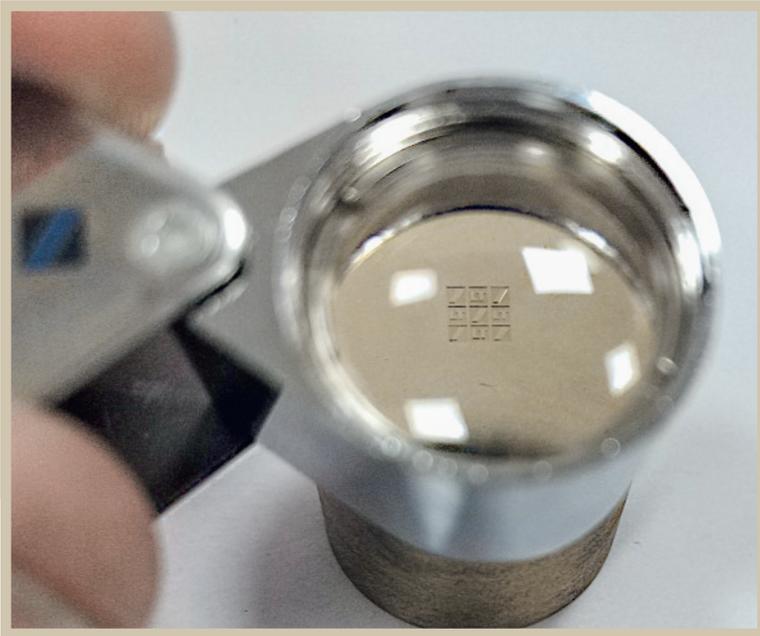


Bild 4. Beispiel einer gefrästen Mikrostruktur

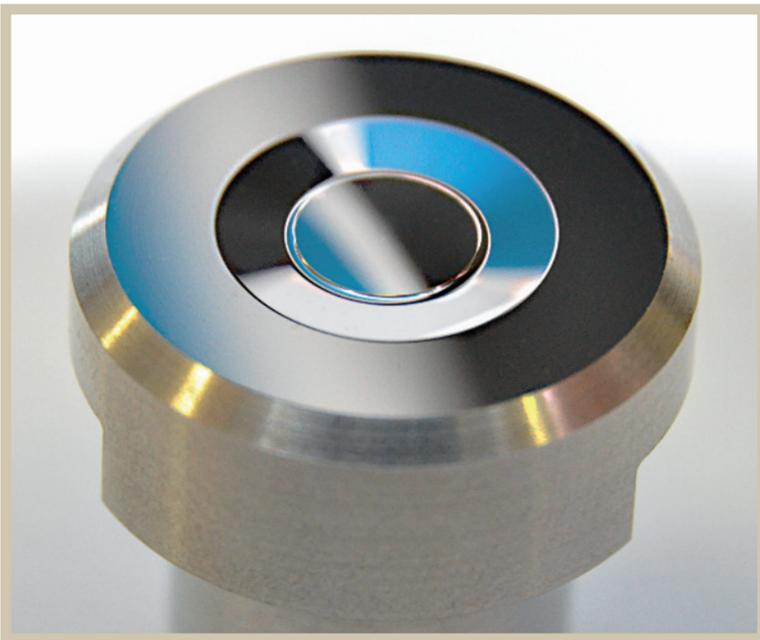


Bild 5. Aus Stahl gefertigter Formeinsatz zur Kontaktlinsenherstellung

### Lasergestützte Weltraumkommunikation

Neben der Kommunikationstechnik via Glasfaser kommen auch immer mehr Freistrahlkommunikationstechniken zum Einsatz. Weltweit beschäftigen sich mehrere Firmen gerade mit der Planung oder der Umsetzung von weltumspannenden Satellitennetzwerken. Es kommen fast ausschließlich Nanosatelliten zum Einsatz, von denen bis zu 100 Stück je Trägerrakete in den Orbit befördert werden. Die Nanosatelliten wiegen nur wenige Kilogramm und erlauben somit einen niedrigeren Orbit im Vergleich zu konventionellen Kommunikationssatelliten. Die

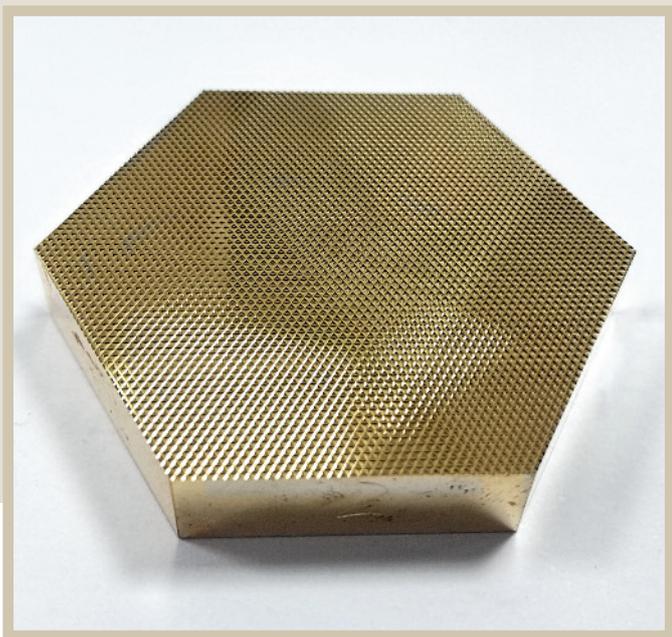
Kommunikation zwischen den Satelliten selbst wie auch zur Erde erfolgt via Laser. Die UP-gedrehten Laseroptiken bringen den Laserstrahl auf die richtige Bahn und ermöglichen so Übertragungreichweiten von mehreren Zehntausend Kilometern (Bild 3).

### Mikrozerspanung, Uhrenteile und Lab-on-a-Chip

Die Hauptanwendungsgebiete der Mikrozerspanung sind die Uhrenindustrie und Fluidik-Systeme beziehungsweise Lab-on-a-Chip-Systeme (Bild 4). Die filigranen Elemente in mechanischen Uhren werden zum Beispiel zu Hunderten auf einem Wafer galvanisiert. Jedoch sind so prozessbedingt nur 2,5D-Strukturen möglich. Mittels Mikrofräsen werden an den Bauteilen weitere Details herausgearbeitet, beispielsweise Fasen, funktionale Absätze, Senkungen oder Verzierungen in Form von Gravuren.

Mit Lab-on-a-Chip-Systemen werden komplexe Aufbauten miniaturisiert. Die erforderlichen Strukturen werden für das Prototyping direkt in Kunststoff gefräst, oder es wird ein Replikationsmaster beziehungsweise Formeinsatz gefertigt, beispielsweise in Nickelphosphor. Eine typische Anwendung ist die Durchflusszytometrie. In der Umsetzung als replizierter Einwegchip sind die erforderlichen Probenmengen äußerst gering, und die Handhabung wird deutlich vereinfacht. In diesen Chips befinden sich unter anderem Komponenten, die den Probenstrom fokussieren und dafür sorgen, dass die zu analysierenden Zellen/Blutzellen sich in der Mitte des Stroms befinden. Die optischen und elektrischen Analyseverfahren sind auch an den Chip angekoppelt und erlauben eine Identifizierung und Analyse der Zellen. Mit zusätzlicher Aktorik können die Zellen auch sortiert werden. Hierbei werden kurz vor einer Y-Verzweigung gezielt Druckstöße eingebracht, mit denen die Zellen in die richtige Bahn gezwungen werden.

Bei der Fertigung der optischen Komponenten kommen wie beim UP-Fräsen Diamantwerkzeuge zum Einsatz, wohingegen die Fluidik-Kanäle oft mit VHM-Fräsern erzeugt werden. Einer der Vorteile von



**Bild 6. UP-gefräster (Flycutting) Replikationsmaster für Retroreflektoren**

gefrästen Fluidik-Strukturen gegenüber lithografisch erzeugten Strukturen ist die Option, wirklich runde Kanalquerschnitte mittels Kugelfräsern definiert herzustellen.

### Von Retroreflektoren bis zu künstlichen Augenlinsen

Der große Massenmarkt ergibt sich oftmals nur mit einer kostengünstigen Replikationstechnik. Eine typische Anwendung sind Linsen, die in verschiedene Kunststoffe repliziert werden, wie Kontaktlinsen oder Kameraoptiken für Mobiltelefone. Die Replikationsmaster und Formeinsätze werden oft mit monokristallinen Diamantwerkzeugen direkt in Stahl gedreht (**Bild 5**). Hierbei bedient man sich einer Ultraschallunterstützung, um den Werkzeugverschleiß drastisch zu reduzieren und die UP-Zerspanung wirtschaftlich zu machen. Es werden die gleichen Rauheitswerte wie in Buntmetallen erreicht ( $Sa \approx 1 \text{ nm}$ ). Gegenüber dem Polieren bietet sich hier der Vorteil, dass die Formtreue erhalten bleibt und auch Mikrostrukturen, Fresnellinsen und Freiformflächen via UP-Drehen direkt in Stahl ohne weitere Nacharbeit eingebracht werden.

Auch für die Fertigung von künstlichen Ersatzlinsen (Intraokularlinsen, IOL), um grauen Star (Katarakt) zu behandeln, kommt UP-Technik zum Einsatz. Hier ist es jedoch üblich, die Linse direkt aus dem zu implantierenden Material zu fertigen, wobei Freiformflächen keine Seltenheit sind, um gleich auch noch verschiedene Sehschwächen des Patienten zu korrigieren. Die Linsenelemente zur Fixierung des Implantats im menschlichen Auge werden je nach Aufbau ebenfalls mittels UP-Drehen oder Mikrofräsen herausgearbeitet. ▶

**forplan.**  
surface technology

Entgraten und Polieren von kleinen und komplexen Teilen mit einzigartigen Technologien.



**wir beginnen**  
wo andere aufhören



Besuchen Sie uns auf folgenden Messen:

**DEBURRING EXPO**

12.–14.10.2021  
in Karlsruhe  
Stand 605

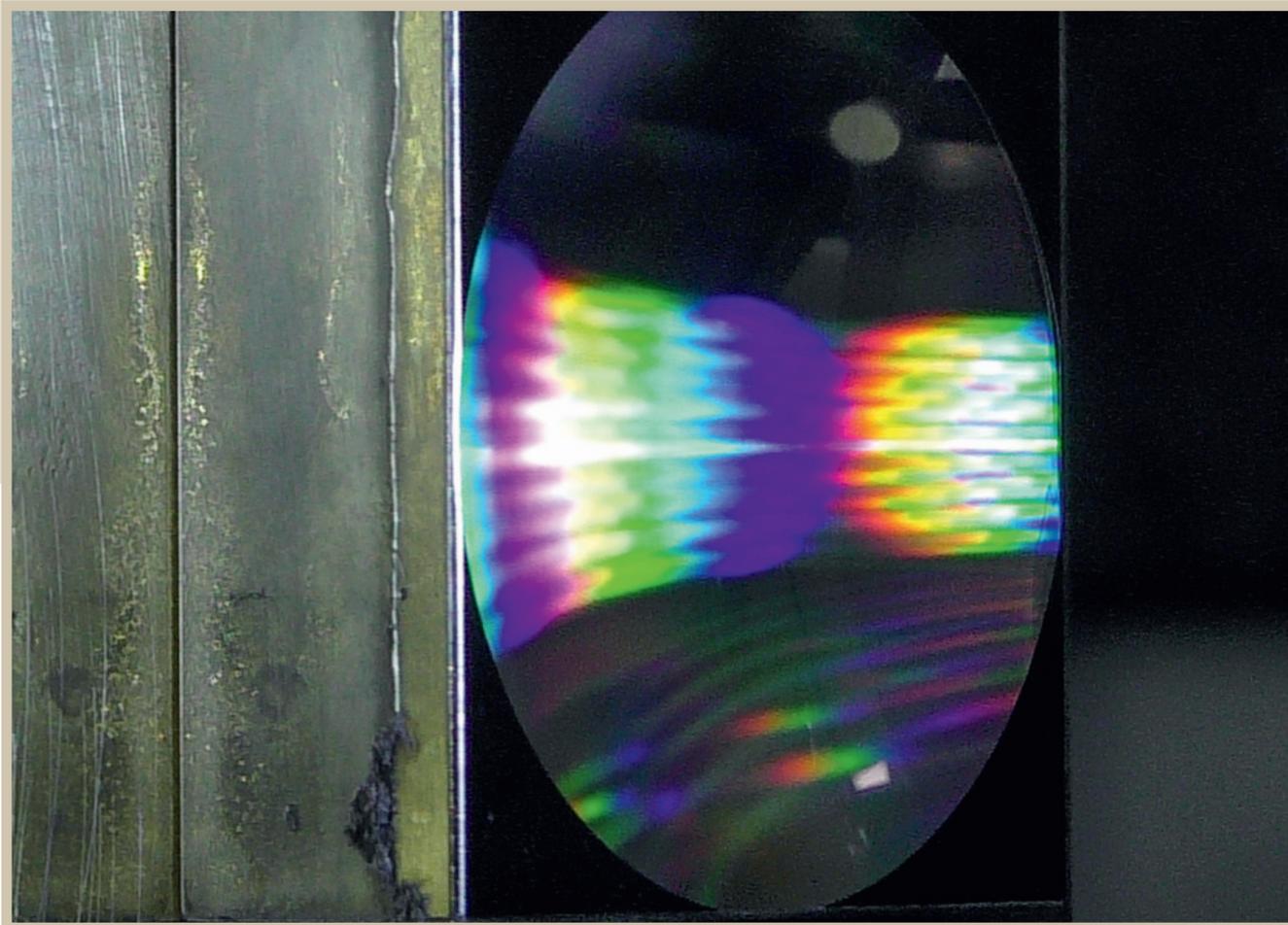
**DST DREH-UND SPANTAGE SÜDWEST**

20.–22.10.2021  
in Villingen-Schwenningen  
Stand C123 (mit Wolfgang Sixt WZM)

**Forplan AG**

Bernstrasse 18  
CH – 2555 Brügg

[www.forplan.ch](http://www.forplan.ch)  
[info@forplan.ch](mailto:info@forplan.ch)



**Bild 7. Hybridoptik, DOE und Sphäre in einem. Spektrale Zerlegung eines Weißlicht-LED-Arrays**

Die größten Replikationsstückzahlen werden im Bereich der Reflektoren erreicht. Ein UP-gefertigter Master wird verwendet, um eine sehr große Anzahl von Retroreflektoren abzuformen oder zu spritzgießen (**Bild 6**). Die Replikation erfolgt heutzutage vollautomatisch. Die Grundformen sind oft plane Grundkörper, und es kommen verschiedene Fertigungstechniken aus dem UP-Bereich infrage, um die Retroreflektor-Strukturen aus dem Master herauszuarbeiten. Die Grundformen können jedoch ebenfalls Freiformflächen sein, in die dann die Retroreflektor-Struktur entweder UP-gefräst oder UP-gehobelt wird. Typische Anwendungen hierfür sind unter anderem die Reflektoren in Fahrzeugbremsleuchten.

### **Diffraktive optische Elemente (DOEs)**

Ein perfektes Beispiel der UP-Technik, in der höchste Oberflächengüte und Positioniergenauigkeit vereint werden müssen, sind diffraktive optische Elemente (DOEs, Blazegitter). Die diffraktiven Nano- und Mikrostrukturen können auch direkt auf einem sphärischen Grundkörper eingebracht werden. Diese Hybridoptiken verbinden gleich zwei Eigenschaften: Einerseits wird der Strahlengang durch die Form des Grundkörpers fokussiert, und andererseits sorgt die diffraktive Struktur für die spektrale Zerlegung (**Bild 7**). Somit vereinfacht sich der Justageaufwand,

und der erforderliche Platzbedarf wird verringert, da die Anzahl der optischen Elemente in dem System reduziert wird. Des Weiteren kommt es im Vergleich zu Glasoptiken nicht zu einer statischen Aufladung. Diese Vorteile sind vor allem in Weltraumanwendungen oft entscheidend. Neben der Einzelfertigung finden auch Replikationsmaster mit Hybridoptiken ihre Anwendung, sei es in Laborgeräten oder auch in Lab-on-a-Chip-Systemen.

Dies sind nur einige Beispiele, wo heutzutage UP-Bearbeitung und Mikrozerspanung eingesetzt werden. Für die Fertigung der hier vorgestellten Anwendungen stellt das Unternehmen LT Ultra-Precision Technology die notwendigen Maschinen, Peripheriegeräte, Technologien und Softwaretools aus einer Hand bereit. Die Lohnfertigung auf einer von über 30 UP-Maschinen, vom Einzelstück bis zur Serienfertigung, gehört ebenfalls zum Leistungsspektrum. ■ MI110711

### **AUTOR**

Dr.-Ing. KURT HASKIC ist zuständig für Forschung und Entwicklung bei LT Ultra-Precision Technology in Herdewangen-Schönach; kurt.haskic@lt-ultra.com